

KLINGELNBERG TECHNISCHES HILFSBUCH

Herausgegeben
von
Ernst Preger
und
Rudolf Reindl



Springer

KLINGELNBERG TECHNISCHES HILFSBUCH

Herausgegeben

von

Baurat Dipl.-Ing. **Ernst Preger**

Oberursel (Taunus)

und

Dipl.-Ing. **Rudolf Reindl**

Jena

Zehnte, überarbeitete Auflage von

SCHUCHARDT & SCHÜTTE^s

TECHNISCHES HILFSBUCH

Mit zahlreichen Abbildungen

und Zahlentafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1940

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1940

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1940

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1940

ISBN 978-3-662-35419-3 ISBN 978-3-662-36247-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-36247-1

Vorwort zur neunten Auflage.

Nachdem die ersten acht Auflagen des Technischen Hilfsbuches unter dem Namen der Firma Schuchardt & Schütte liefen und zuletzt von Dr.-Ing. e. h. Josef Reindl † selbst herausgegeben waren, erscheint die vorliegende neunte Auflage unter dem Namen der Firma W. Ferd. Klingelberg Söhne, herausgegeben von Ernst Preger und Rudolf Reindl.

Nach wie vor soll das Technische Hilfsbuch den Bedürfnissen der unmittelbaren Praxis in Konstruktionsbüro und Werkstattbetrieb vom Betriebsleiter bis zum Facharbeiter dienen und den auf engstem Raum zusammengefaßten Stoff leichtverständlich ohne weiteres anwendbar darbieten. Zahlreiche Hinweise auf Buch- und Zeitschriften-Schrifttum führt suchende Leser zu ausführlicheren Darstellungen in dem betreffenden Gebiet.

Eine Erweiterung des Umfanges ließ sich nicht umgehen, weil besonders die Gebiete Dauerfestigkeit, neuzeitliche Werkstoffe, Messen, Zahnradberechnung, Zahnradprüfung, Stufung von Drehzahlen neu aufgenommen oder den heutigen Bedürfnissen entsprechend ausführlicher behandelt werden mußten.

Auszüge aus Normblättern erfolgten mit Zustimmung des Deutschen Normenausschusses, dem hierfür besonders gedankt sei. Für die Normenangaben ist zu beachten, daß jeweils nur die neueste Ausgabe der DIN-Blätter (beziehbar durch den Beuth-Vertrieb GmbH., Berlin SW 68) verbindlich ist.

Oberursel (Taunus) und Berlin, im März 1939.

Vorwort zur zehnten Auflage.

Die neunte Auflage war in weniger als einem Jahr abgesetzt. Einberufungen zur Wehrmacht verzögerten die Herausgabe der zehnten Auflage. In dieser sind die im letzten Jahre besonders auf dem Gebiet der Roh- und Werkstoffe herausgekommenen Fortschritte berücksichtigt. Die Aufeinanderfolge der Abschnitte, die im Laufe der Auflagen unübersichtlich geworden war, ist neu geordnet.

Die Herausgeber danken für die Anregungen aus Leserkreisen zur Verbesserung des Buches, die größtenteils berücksichtigt werden konnten, und bitten, Wünsche und Vorschläge für die künftige Ausgestaltung des Technischen Hilfsbuches und gegebenen Falles gefundene Unrichtigkeiten über die Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, an sie zu leiten.

Oberursel (Taunus) und Jena, im Oktober 1940.

Preger. Reindl.

Als Verfasser wirkten mit:

- Professor Dr.-Ing. **W. Arndt**, Berlin-Charlottenburg, TH. Licht-
technik.
- Dipl.-Ing. **Walter Axhausen**, Berlin-Charlottenburg, TH. Preß-
und Schrumpfsitze.
- Dr.-Ing. **Kurt Bayer**, Berlin W 50, Zinkberatungsstelle GmbH.
Werkstoffe.
- Dr.-Ing. **Ernst Brödner**, Berlin, Fritz Werner A.-G. Fräsen.
- Professor Dipl.-Ing. **Bürgel**, Chemnitz, Staatliche Akademie für
Technik. Werkstoffe.
- Ingenieur **Carl Büttner**, Jena, Carl Zeiss. Feinstbearbeitung.
- Dr.-Ing. **Horst von Conrady**, Berlin-Johannisthal, Ambibudd-
Preßwerk. Schweißen.
- Dr. **Rudolf Debar**, Leipzig, Ingenieurschule der Reichsmesse-
stadt Leipzig. Chemie, Wärme.
- Ingenieur **J. Dinnebir**, Berlin, Gesellschaft für elektrische
Unternehmungen, Loewe-Fabriken. Bohren, Senken, Reiben.
- Dr.-Ing. **Gerhard Elssner**, Leipzig, Langbein-Pfanhauser-Werke
A.-G. Oberflächenschutz, Hartverchromung.
- Professor Dr.-Ing. **E. vom Ende**, München, TH. Riementreibe.
- Studiendirektor Dr. **Max Hauptmann**, Leipzig, Ingenieurschule
der Reichsmessestadt Leipzig. Mathematik, Rechenhilfen.
- Dipl.-Ing. **Paul Herber**, Essen, Fried. Krupp A.-G. Ketten.
- Professor Dr. **Paul Hirsch**, Oberursel (Taunus). Chemie.
- Dipl.-Ing. **Kurt Jaekel**, Braunschweig, TH. Zahnräder.
- Oberingenieur **Hans Jehnigen**, Essen, Ruhrgas A.-G. Verbren-
nung.
- Dipl.-Ing. **H. H. Klein**, Berlin, R. Stock A.-G. Fräsen, Her-
stellen von Gewinde.
- Dr.-Ing. habil. **Ernst Lehr**, Augsburg MAN. Dauerfestigkeit.
- Dr.-Ing. **Wolfram Lindner**, Remscheid, W. Ferd. Klingelberg
Söhne. Kegelräder.
- Dipl.-Ing. **Helmut Lorbeer**, Berlin-Charlottenburg, TH. Härte-
prüfung.
- Oberingenieur **Karl Meis**, Bremen, Fried. Krupp A.-G. Hart-
metalle.
- Professor Dr.-Ing. **Gustav Niemann**, Braunschweig, TH. Kupp-
lungen, Zahnräder.
- Dr.-Ing. **Fritz Pohl**, Berlin-Charlottenburg, TH. Messen von
Zahnrädern, Herstellen von Zahnrädern, Schneckengetriebe.
- Dipl.-Ing. **Kurt Potyka**, Prag. Schleifen, Schärfen von Kreis-
sägen.
- Baurat Dipl.-Ing. **Ernst Preger**, Oberursel (Taunus). Arbeits-
vorbereitung, Werkstattvorkalkulation, Stufung von Drehzahlen
und Vorschüben, logarithmische Drehzahlbilder, Schraubenfedern.

- Dr.-Ing. **Kurt Rantsch**, Jena, Carl Zeiss. Messen von Gewinde.
 Dr.-Ing. **Alfred Raupp**, Hamburg, Heidenreich & Harbeck.
 Schleifen von Gewinde.
 Dipl.-Ing. **Rudolf Reindl**, Jena, Carl Zeiss. Festigkeitslehre,
 Messen, Passungen.
 Dipl.-Ing. **Walter Reuschle**, Düsseldorf-Oberkassel, Rhenania-
 Ossag. Schmiermittel.
 Oberingenieur **J. Rietveld**, Wetzlar, Röchlingstahl. Werkstoffe,
 Hartmetalle, Werkzeugstähle, Warmbehandlung von Werkzeug-
 und Baustählen.
 Dr.-Ing. **H. Roelig**, Leverkusen, I.G. Farben Industrie A.-G.
 Natürlicher und synthetischer Gummi.
 Dipl.-Ing. **Heinrich Sass**, Berlin-Charlottenburg, HWA. Elektro-
 technik.
 Dr.-Ing. **Artur Schatz**, Berlin-Charlottenburg, TH. Räumen.
 Oberingenieur Dipl.-Ing. **L. Schneider**, Berlin, Osram-Gesell-
 schaft. Lichttechnik.
 Dr. **Erich Thieler**, Frankfurt a. M., Metall-Gesellschaft A.-G.
 Werkstoffe, Oberflächenschutz, Hartverchromung.
 Geheimer Regierungsrat Professor Dr.-Ing. e. h. **A. Wallich**,
 Aachen, TH. Drehen.
 Professor Dipl.-Ing. Dipl.-Kaufmann, Dr. techn. habil. **Walter
 Weigmann**, Göttingen, Universität. Industrielle Selbstkosten-
 rechnung.

Inhaltsverzeichnis.

Rechnen.

	Seite
Potenzen, Wurzeln, natürliche Logarithmen, reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte	1
Primzahlen und -Faktoren der Zahlen 1 bis 1000	22
Logarithmisches Rechnen	27
Kreisfunktionen	30
Winkellehre	34
Dreiecksberechnungen	37
Bogenlängen, Bogenhöhen, Sehnenlängen, Kreisabschnitte für den Halbmesser 1	40
Vielecke	42
Kugelinhalte	45
Flächen- und Körperberechnungen	46
Häufig vorkommende Zahlenwerte	51
Einige Rechenhilfen	52
Mathematische Zeichen	55

Maß-System.

Maße und Gewichte verschiedener Länder	56
Zoll und Millimeter	60
Umrechnung von englischem (amerikanischem) Gewicht in Kilogramm	67
Abkürzung der metrischen Maße	69
Das metrische Maß-System	70
Maß-Einheiten nach dem C-G-S-System.	72
Einige Bezeichnungen	73
Kraft und Druck	81

Chemie und Physik.

Technisch wichtige Stoffe	83
Chemische Elemente	86
Bestimmung der Wichte	87
Wichte (spezifische Gewichte)	88

Gewichtstafeln.

Gewichte von Stabeisen	94
Gewichte von Metallplatten, Blechen und Drähten und Rohren	105

Technische Hilfswissenschaften.

Aus der Festigkeitslehre	115
Dauerfestigkeit	126
Kennfarben für Rohrleitungen	136
Aus dem Gebiet der Elektrotechnik	137
Lichttechnik	148
Wärme	154
Verbrennung	166

Werkstoffe.		Seite
Neue deutsche Werkstoffe, Metallische Werkstoffe		173
Nichtmetallische Werkstoffe		198
Werkzeugstähle		222
Warmbehandlung von Werkzeugstählen und Baustählen		232
Deutsche Hartmetalle		246
Härteprüfung		254
Schleiffunkenprobe		265
Oberflächenschutz		267
Hartverchromung		277
Schmiermittel		279

Spanlose Bearbeitung.

Schweißtechnik	285
Einätzen von Schriften in Metall	294

Spangebende Bearbeitung.

Drehen	295
Bohren, Senken, Reiben	318
Fräsen	338
Schärfen der Metallsägen	378
Schleifen	379
Feinstbearbeitung	393
Räumen	400
Maschinenmesser	407
Herstellen von Gewinde	409
Schleifen von Gewinde	432

Feinmeßwesen.

Maßstäbe, Endmaße, Schraub- und Schieblehren, Lineale, Tuschie- platten	435
Messen, Grundlagen	438
Meßmittel	444
Kegel	489
Gewindepassungen und Gewindemessen	496
Tafeln über Gewinde und Schrauben	514

Maschinenelemente.

Vierkante für Werkzeugmaschinen	558
Niete	559
Keile	561
Riemen und Riemengetriebe	563
Stufenlos regelbare Getriebe	587
Wellenkupplungen	590
Zahnräder, Grundlagen	600
Berechnung und Bemessung der Verzahnung	607
Kegelräder	617
Messen der Zahnräder	633
Herstellung der Zahnräder	657
Schneckengetriebe	661
Kettengetriebe	666

Allgemeines über Werkzeugmaschinen.		Seite
Stufung von Drehzahlen und Vorschüben		670
Normungszahlen DIN 323		672
Leerlaufdrehzahlen VDW		674
Nenn-drehzahlen ISA		674
Schnelldrehzahlen und -frequenzen		676
Logarithmische Drehzahlbilder		679
Schraubenfedern		680
 Organisatorische Werkstattfragen.		
Arbeitsvorbereitung		683
Werkstattvorkalkulation		684
Industrielle Selbstkostenrechnung		689
Alphabete		700
Papierformate		701
Sachverzeichnis		702

Allgemeine Zahlentafeln.

Die Zahlentafeln auf S. 2 bis 21 können nicht nur zum Aufsuchen der unmittelbar in den Spalten angegebenen Werte benutzt werden. Durch Interpolation, die auch mit dem Rechenschieber nach den Tafeldifferenzen von einem der angegebenen Werte zum nächsten geschehen kann, findet man leicht auch Zwischenwerte mit für technische Zwecke meist völlig ausreichender Genauigkeit.

Beispiel 1. Gesucht $x = 522,37^2 = (522 + 0,37)^2 = (n + d)^2 = n^2 + d^2 + 2 \cdot n \cdot d$.

Auf Seite 12 ist zu finden:

$$n^2 = 272\ 484$$

auf Seite 2 ist zu finden:

$$d^2 = 0,1369$$

auf dem Rechenschieber findet man:

$$2 \cdot n \cdot d \approx \underline{\underline{386,5}}$$

$$x \approx 272\ 870,8369$$

$$\text{gerundet } x \approx 272\ 871$$

$$x = 522,37^2 = 272\ 870,4169.$$

Nachprüfung:

Bei verlangter Genauigkeit auf 5 Stellen ist d^2 vernachlässigbar, auf 6 Stellen nur, wenn $d \leq 1/1000 n$ ist.

Zum Ziehen von Quadrat- und Kubikwurzeln aus Zahlen über 1000 oder aus Zwischenwerten bis 1000 ist es vielfach bequemer, in den Spalten n^2 bzw. n^3 nachzusehen und den gesuchten Wurzelwert in der Spalte n , notfalls unter Zuhilfenahme einer überschlägigen, im Kopf vorgenommenen oder einer genaueren auf dem Rechenschieber vorgenommenen Interpolation zu finden. Sinngemäß kann man mit dem Suchen von Durchmessern zu gegebenen Kreisumfängen bzw. Kreisinhalt verfahren.

Beispiel 2. Gesucht $x = \sqrt[3]{4567}$;

Lösung: Durch überschlägige Kopfrechnung findet man, daß x zwischen 60 ($60^3 = 3600$) und 70 ($70^3 = 4900$) liegen muß. Man sieht auf S. 15 unter

$$n_1^3 = 455625, \text{ da\ss } n_1 = 675$$

$$x^3 - n_1^3 = 1075$$

$$x^3 = 4567$$

$$n_2^3 - n_1^3 = 1351.$$

$$n_2^3 = 456976, \text{ da\ss } n_2 = 676$$

Durch Interpolation auf dem Rechenschieber findet man die weiteren Stellen zu

$$1075/1351 \approx -,796, \text{ also ist}$$

$$x \approx 67,5796.$$

Nachprüfung:

$$67,5796^3 = 4567,0023.$$

Beispiel 3. Gesucht Durchmesser d zum Kreisinhalt

$$\frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 5000;$$

Lösung: Auf S. 17 ist zu sehen unter

$$\frac{n_1^2 \cdot \pi}{4} = 498892, \text{ da\ss } n = 797$$

$$\frac{x^2 \cdot \pi}{4} - \frac{n_1^2 \cdot \pi}{4} = 1108$$

$$\frac{x^2 \cdot \pi}{4} = 500000$$

$$\frac{n_2^2 \cdot \pi}{4} - \frac{n_1^2 \cdot \pi}{4} = 1253.$$

$$\frac{n_2^2 \cdot \pi}{4} = 500145, \text{ da\ss } n = 798$$

Durch Interpolation auf dem Rechenschieber findet man die weiteren Stellen zu

$$1108/1253 \approx -,884, \text{ also ist}$$

$$x \approx 79,7884$$

Nachprüfung:

$$\frac{3,1416 \cdot 79,7884^2}{4} = 4999,938.$$

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
1	1	1	1,0000	1,0000	0,00000	1000,000	3,142	0,7854	1
2	4	8	1,4142	1,2599	0,69315	500,000	6,283	3,1416	2
3	9	27	1,7321	1,4422	1,09861	333,333	9,425	7,0686	3
4	16	64	2,0000	1,5874	1,38629	250,000	12,566	12,5664	4
5	25	125	2,2361	1,7100	1,60944	200,000	15,708	19,6350	5
6	36	216	2,4495	1,8171	1,79176	166,667	18 850	28,2743	6
7	49	343	2,6458	1,9129	1,94591	142,857	21,991	38,4845	7
8	64	512	2,8284	2,0000	2,07944	125,000	25,133	50,2655	8
9	81	729	3,0000	2,0801	2,19722	111,111	28,274	63,6173	9
10	100	1000	3,1623	2,1544	2,30259	100,000	31,416	78,5398	10
11	121	1331	3,3166	2,2240	2,39790	90,9091	34,558	95,0332	11
12	144	1728	3,4641	2,2894	2,48491	83,3333	37,699	113,097	12
13	169	2197	3,6056	2,3513	2,56495	76,9231	40,841	132,732	13
14	196	2744	3,7417	2,4101	2,63906	71,4286	43,982	153,938	14
15	225	3375	3,8730	2,4662	2,70805	66,6667	47,124	176,715	15
16	256	4096	4,0000	2,5198	2,77259	62,5000	50,265	201,062	16
17	289	4913	4,1231	2,5713	2,83321	58,8235	53,407	226,980	17
18	324	5832	4,2426	2,6207	2,89037	55,5556	56,549	254,469	18
19	361	6859	4,3589	2,6684	2,94444	52,6316	59,690	283,529	19
20	400	8000	4,4721	2,7144	2,99573	50,0000	62,832	314,159	20
21	441	9261	4,5826	2,7589	3,04452	47,6190	65,973	346,361	21
22	484	10648	4,6904	2,8020	3,09104	45,4545	69,115	380,133	22
23	529	12167	4,7958	2,8439	3,13549	43,4783	72,257	415,476	23
24	576	13824	4,8990	2,8845	3,17805	41,6667	75,398	452,389	24
25	625	15625	5,0000	2,9240	3,21888	40,0000	78,540	490,874	25
26	676	17576	5,0990	2,9625	3,25810	38,4615	81,681	530,929	26
27	729	19683	5,1962	3,0000	3,29584	37,0370	84,823	572,555	27
28	784	21952	5,2915	3,0366	3,33220	35,7143	87,965	615,752	28
29	841	24389	5,3852	3,0723	3,36730	34,4828	91,106	660,520	29
30	900	27000	5,4772	3,1072	3,40120	33,3333	94,248	706,858	30
31	961	29791	5,5678	3,1414	3,43399	32,2581	97,389	754,768	31
32	1024	32768	5,6569	3,1748	3,46574	31,2500	100,531	804,248	32
33	1089	35937	5,7446	3,2075	3,49651	30,3030	103,673	855,299	33
34	1156	39304	5,8310	3,2396	3,52636	29,4118	106,814	907,920	34
35	1225	42875	5,9161	3,2711	3,55535	28,5714	109,956	962,113	35
36	1296	46656	6,0000	3,3019	3,58352	27,7778	113,097	1017,88	36
37	1369	50653	6,0828	3,3322	3,61092	27,0270	116,239	1075,21	37
38	1444	54872	6,1644	3,3620	3,63759	26,3158	119,381	1134,11	38
39	1521	59319	6,2450	3,3912	3,66356	25,6410	122,522	1194,59	39
40	1600	64000	6,3246	3,4200	3,68888	25,0000	125,66	1256,64	40
41	1681	68921	6,4031	3,4482	3,71357	24,3902	128,81	1320,25	41
42	1764	74088	6,4807	3,4760	3,73767	23,8095	131,95	1385,44	42
43	1849	79507	6,5574	3,5034	3,76120	23,2558	135,09	1452,20	43
44	1936	85184	6,6332	3,5303	3,78419	22,7273	138,23	1520,53	44
45	2025	91125	6,7082	3,5569	3,80666	22,2222	141,37	1590,43	45
46	2116	97336	6,7823	3,5830	3,82864	21,7391	144,51	1661,90	46
47	2209	103823	6,8557	3,6088	3,85015	21,2766	147,65	1734,94	47
48	2304	110592	6,9282	3,6342	3,87120	20,8333	150,80	1809,56	48
49	2401	117649	7,0000	3,6593	3,89182	20,4082	153,94	1885,74	49

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
50	2500	125000	7,0711	3,6840	3,91202	20,0000	157,08	1963,50	50
51	2601	132651	7,1414	3,7084	3,93183	19,6078	160,22	2042,82	51
52	2704	140608	7,2111	3,7325	3,95124	19,2308	163,36	2123,72	52
53	2809	148877	7,2801	3,7563	3,97029	18,8679	166,50	2206,18	53
54	2916	157464	7,3485	3,7798	3,98898	18,5185	169,65	2290,22	54
55	3025	166375	7,4162	3,8030	4,00733	18,1818	172,79	2375,83	55
56	3136	175616	7,4833	3,8259	4,02535	17,8571	175,93	2463,01	56
57	3249	185193	7,5498	3,8485	4,04305	17,5439	179,07	2551,76	57
58	3364	195112	7,6158	3,8709	4,06044	17,2414	182,21	2642,08	58
59	3481	205379	7,6811	3,8930	4,07754	16,9492	185,35	2733,97	59
60	3600	216000	7,7460	3,9149	4,09434	16,6667	188,50	2827,43	60
61	3721	226981	7,8102	3,9365	4,11087	16,3934	191,64	2922,47	61
62	3844	238328	7,8740	3,9579	4,12713	16,1290	194,78	3019,07	62
63	3969	250047	7,9373	3,9791	4,14313	15,8730	197,92	3117,25	63
64	4096	262144	8,0000	4,0000	4,15888	15,6250	201,06	3216,99	64
65	4225	274625	8,0623	4,0207	4,17439	15,3846	204,20	3318,31	65
66	4356	287496	8,1240	4,0412	4,18965	15,1515	207,35	3421,19	66
67	4489	300763	8,1854	4,0615	4,20469	14,9254	210,49	3525,65	67
68	4624	314432	8,2462	4,0817	4,21951	14,7059	213,63	3631,68	68
69	4761	328509	8,3066	4,1016	4,23411	14,4928	216,77	3739,28	69
70	4900	343000	8,3666	4,1213	4,24850	14,2857	219,91	3848,45	70
71	5041	357911	8,4261	4,1408	4,26268	14,0845	223,05	3959,19	71
72	5184	373248	8,4853	4,1602	4,27667	13,8889	226,19	4071,50	72
73	5329	389017	8,5440	4,1793	4,29046	13,6986	229,34	4185,39	73
74	5476	405224	8,6023	4,1983	4,30407	13,5135	232,48	4300,84	74
75	5625	421875	8,6603	4,2172	4,31749	13,3333	235,62	4417,86	75
76	5776	438976	8,7178	4,2358	4,33073	13,1579	238,76	4536,46	76
77	5929	456533	8,7750	4,2543	4,34381	12,9870	241,90	4656,63	77
78	6084	474552	8,8318	4,2727	4,35671	12,8205	245,04	4778,36	78
79	6241	493039	8,8882	4,2908	4,36945	12,6582	248,19	4901,67	79
80	6400	512000	8,9443	4,3089	4,38203	12,5000	251,33	5026,55	80
81	6561	531441	9,0000	4,3267	4,39445	12,3457	254,47	5153,00	81
82	6724	551368	9,0554	4,3445	4,40672	12,1951	257,61	5281,02	82
83	6889	571787	9,1104	4,3621	4,41884	12,0482	260,75	5410,61	83
84	7056	592704	9,1652	4,3795	4,43082	11,9048	263,89	5541,77	84
85	7225	614125	9,2195	4,3968	4,44265	11,7647	267,04	5674,50	85
86	7396	636056	9,2736	4,4140	4,45435	11,6279	270,18	5808,80	86
87	7569	658503	9,3274	4,4310	4,46591	11,4943	273,32	5944,68	87
88	7744	681472	9,3808	4,4480	4,47734	11,3636	276,46	6082,12	88
89	7921	704969	9,4340	4,4647	4,48864	11,2360	279,60	6221,14	89
90	8100	729000	9,4868	4,4814	4,49981	11,1111	282,74	6361,73	90
91	8281	753571	9,5394	4,4979	4,51086	10,9890	285,88	6503,88	91
92	8464	778688	9,5917	4,5144	4,52179	10,8696	289,03	6647,61	92
93	8649	804357	9,6437	4,5307	4,53260	10,7527	292,17	6792,91	93
94	8836	830584	9,6954	4,5468	4,54329	10,6383	295,31	6939,78	94
95	9025	857375	9,7468	4,5629	4,55388	10,5263	298,45	7088,22	95
96	9216	884736	9,7980	4,5789	4,56435	10,4167	301,59	7238,23	96
97	9409	912673	9,8489	4,5947	4,57471	10,3093	304,73	7389,81	97
98	9604	941192	9,8995	4,6104	4,58497	10,2041	307,88	7542,96	98
99	9801	970299	9,9499	4,6261	4,59512	10,1010	311,02	7697,69	99

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	4,60517	10,00000	314,16	7853,98	100
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	4,61512	9,90099	317,30	8011,85	101
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	4,62497	9,80392	320,44	8171,28	102
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	4,63473	9,70874	323,58	8332,29	103
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	4,64439	9,61538	326,73	8494,87	104
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	4,65396	9,52381	329,87	8659,01	105
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	4,66344	9,43396	333,01	8824,73	106
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	4,67283	9,34579	336,15	8992,02	107
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	4,68213	9,25926	339,29	9160,88	108
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	4,69135	9,17431	342,43	9331,32	109
110	12100	1331000	10,4881	4,7914	4,70048	9,09091	345,58	9503,32	110
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	4,70953	9,00901	348,72	9676,89	111
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	4,71850	8,92857	351,86	9852,03	112
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	4,72739	8,84956	355,00	10028,7	113
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	4,73620	8,77193	358,14	10207,0	114
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	4,74493	8,69565	361,28	10386,9	115
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	4,75359	8,62069	364,42	10568,3	116
117	13689	1601613	10,8167	4,8910	4,76217	8,54701	367,57	10751,3	117
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	4,77068	8,47458	370,71	10935,9	118
119	14161	1685159	10,9087	4,9187	4,77912	8,40336	373,85	11122,0	119
120	14400	1728000	10,9545	4,9324	4,78749	8,33333	376,99	11309,7	120
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	4,79579	8,26446	380,13	11499,0	121
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	4,80402	8,19672	383,27	11689,9	122
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	4,81218	8,13008	386,42	11882,3	123
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	4,82028	8,06452	389,56	12076,3	124
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	4,82831	8,00000	392,70	12271,8	125
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	4,83628	7,93651	395,84	12469,0	126
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	4,84419	7,87402	398,98	12667,7	127
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	4,85203	7,81250	402,12	12868,0	128
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	4,85981	7,75194	405,27	13069,8	129
130	16900	2197000	11,4018	5,0658	4,86753	7,69231	408,41	13273,2	130
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	4,87520	7,63359	411,55	13478,2	131
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	4,88280	7,57576	414,69	13684,8	132
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	4,89035	7,51880	417,83	13892,9	133
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	4,89784	7,46269	420,97	14102,6	134
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	4,90527	7,40741	424,12	14313,9	135
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	4,91265	7,35294	427,26	14526,7	136
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	4,91998	7,29927	430,40	14741,1	137
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	4,92725	7,24638	433,54	14957,1	138
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	4,93447	7,19424	436,68	15174,7	139
140	19600	2744000	11,8322	5,1925	4,94164	7,14286	439,82	15393,8	140
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	4,94876	7,09220	442,96	15614,5	141
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	4,95583	7,04225	446,11	15836,8	142
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	4,96284	6,99301	449,25	16060,6	143
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	4,96981	6,94444	452,39	16286,0	144
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	4,97673	6,89655	455,53	16513,0	145
146	21316	3112136	12,0830	5,2656	4,98361	6,84932	458,67	16741,5	146
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	4,99043	6,80272	461,81	16971,7	147
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	4,99721	6,75676	464,96	17203,4	148
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	5,00395	6,71141	468,10	17436,6	149

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	5,01064	6,66667	471,24	17671,5	150
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	5,01728	6,62252	474,38	17907,9	151
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	5,02388	6,57895	477,52	18145,8	152
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	5,03044	6,53595	480,66	18385,4	153
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	5,03695	6,49351	483,81	18626,5	154
155	24025	3723875	12,4499	5,3717	5,04343	6,45161	486,95	18869,2	155
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	5,04986	6,41026	490,09	19113,4	156
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	5,05625	6,36943	493,23	19359,3	157
158	24964	3944312	12,5698	5,4061	5,06260	6,32911	496,37	19606,7	158
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	5,06890	6,28931	499,51	19855,7	159
160	25600	4096000	12,6491	5,4288	5,07517	6,25000	502,65	20106,2	160
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	5,08140	6,21118	505,80	20358,3	161
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	5,08760	6,17284	508,94	20612,0	162
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	5,09375	6,13497	512,08	20867,2	163
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	5,09987	6,09756	515,22	21124,1	164
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	5,10595	6,06061	518,36	21382,5	165
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	5,11199	6,02410	521,50	21642,4	166
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	5,11799	5,98802	524,65	21904,0	167
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	5,12396	5,95238	527,79	22167,1	168
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	5,12990	5,91716	530,93	22431,8	169
170	28900	4913000	13,0384	5,5397	5,13580	5,88235	534,07	22698,0	170
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	5,14166	5,84795	537,21	22965,8	171
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	5,14749	5,81395	540,35	23235,2	172
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	5,15329	5,78035	543,50	23506,2	173
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	5,15906	5,74713	546,64	23778,7	174
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	5,16479	5,71429	549,78	24052,8	175
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	5,17048	5,68182	552,92	24328,5	176
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	5,17615	5,64972	556,06	24605,7	177
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	5,18178	5,61798	559,20	24884,6	178
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	5,18759	5,58659	562,35	25164,9	179
180	32400	5832000	13,4164	5,6462	5,19296	5,55556	565,49	25446,9	180
181	32761	5929741	13,4536	5,6567	5,19850	5,52486	568,63	25730,4	181
182	33124	6028568	13,4907	5,6671	5,20401	5,49451	571,77	26015,5	182
183	33489	6128489	13,5277	5,6774	5,20949	5,46448	574,91	26302,2	183
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	5,21494	5,43478	578,05	26590,4	184
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	5,22036	5,40541	581,19	26880,3	185
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	5,22575	5,37634	584,34	27171,6	186
187	34969	6539203	13,6748	5,7185	5,23111	5,34759	587,48	27464,6	187
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	5,23644	5,31915	590,62	27759,1	188
189	35721	6751269	13,7477	5,7388	5,24175	5,29101	593,76	28055,2	189
190	36100	6859000	13,7840	5,7489	5,24702	5,26316	596,90	28352,9	190
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	5,25227	5,23560	600,04	28652,1	191
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	5,25750	5,20833	603,19	28952,9	192
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	5,26269	5,18135	606,33	29255,3	193
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	5,26786	5,15464	609,47	29559,2	194
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	5,27300	5,12821	612,61	29864,8	195
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	5,27811	5,10204	615,75	30171,9	196
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	5,28320	5,07614	618,89	30480,5	197
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	5,28827	5,05051	622,04	30790,7	198
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	5,29330	5,02513	625,18	31102,6	199

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	5,29832	5,00000	628,32	31415,9	200
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	5,30330	4,97512	631,46	31730,9	201
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	5,30827	4,95050	634,60	32047,4	202
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	5,31321	4,92611	637,74	32365,5	203
204	41616	8489664	14,2829	5,8868	5,31812	4,90196	640,88	32685,1	204
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	5,32301	4,87805	644,03	33006,4	205
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	5,32788	4,85437	647,17	33329,2	206
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	5,33272	4,83092	650,31	33653,5	207
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	5,33754	4,80769	653,45	33979,5	208
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	5,34233	4,78469	656,59	34307,0	209
210	44100	9261000	14,4914	5,9439	5,34711	4,76190	659,73	34636,1	210
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	5,35186	4,73934	662,88	34966,7	211
212	44944	9528128	14,5602	5,9627	5,35659	4,71698	666,02	35298,9	212
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	5,36129	4,69484	669,16	35632,7	213
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	5,36598	4,67290	672,30	35968,1	214
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	5,37064	4,65116	675,44	36305,0	215
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	5,37528	4,62963	678,58	36643,5	216
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	5,37990	4,60829	681,73	36983,6	217
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	5,38450	4,58716	684,87	37325,3	218
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	5,38907	4,56621	688,01	37668,5	219
220	48400	10648000	14,8324	6,0368	5,39363	4,54545	691,15	38013,3	220
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	5,39816	4,52489	694,29	38359,6	221
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	5,40268	4,50450	697,43	38707,6	222
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	5,40717	4,48430	700,58	39057,1	223
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	5,41165	4,46429	703,72	39408,1	224
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	5,41610	4,44444	706,86	39760,8	225
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	5,42053	4,42478	710,00	40115,0	226
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	5,42495	4,40529	713,14	40470,8	227
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	5,42935	4,38596	716,28	40828,1	228
229	52441	12008989	15,1327	6,1180	5,43372	4,36681	719,42	41187,1	229
230	52900	12167000	15,1658	6,1269	5,43808	4,34783	722,57	41547,6	230
231	53361	12326391	15,1987	6,1358	5,44242	4,32900	725,71	41909,6	231
232	53824	12487168	15,2315	6,1446	5,44674	4,31034	728,85	42273,3	232
233	54289	12649337	15,2643	6,1534	5,45104	4,29185	731,99	42638,5	233
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	5,45532	4,27350	735,13	43005,3	234
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	5,45959	4,25532	738,27	43373,6	235
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	5,46383	4,23729	741,42	43743,5	236
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	5,46806	4,21941	744,56	44115,0	237
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	5,47227	4,20168	747,70	44488,1	238
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	5,47646	4,18410	750,84	44862,7	239
240	57600	13824000	15,4919	6,2145	5,48064	4,16667	753,98	45238,9	240
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	5,48480	4,14938	757,12	45616,7	241
242	58564	14172488	15,5563	6,2317	5,48894	4,13223	760,27	45996,1	242
243	59049	14348907	15,5885	6,2403	5,49306	4,11523	763,41	46377,0	243
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	5,49717	4,09836	766,55	46759,5	244
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	5,50126	4,08163	769,69	47143,5	245
246	60516	14886936	15,6844	6,2658	5,50533	4,06504	772,83	47529,2	246
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	5,50939	4,04858	775,97	47916,4	247
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	5,51343	4,03226	779,11	48305,1	248
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	5,51745	4,01606	782,26	48695,5	249

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	5,52146	4,00000	785,40	49087,4	250
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	5,52545	3,98406	788,54	49480,9	251
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	5,52943	3,96825	791,68	49875,9	252
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	5,53339	3,95257	794,82	50272,6	253
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	5,53733	3,93701	797,96	50670,7	254
255	65025	16581375	15,9687	6,3413	5,54126	3,92157	801,11	51070,5	255
256	65536	16777216	16,0000	6,3496	5,54518	3,90625	804,25	51471,9	256
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	5,54908	3,89105	807,39	51874,8	257
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	5,55296	3,87597	810,53	52279,2	258
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	5,55683	3,86100	813,67	52685,3	259
260	67600	17576000	16,1245	6,3825	5,56068	3,84615	816,81	53092,9	260
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	5,56452	3,83142	819,96	53502,1	261
262	68644	17984728	16,1864	6,3988	5,56834	3,81679	823,10	53912,9	262
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	5,57215	3,80228	826,24	54325,2	263
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	5,57595	3,78788	829,38	54739,1	264
265	70225	18609625	16,2788	6,4232	5,57973	3,77358	832,52	55154,6	265
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	5,58350	3,75940	835,66	55571,6	266
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	5,58725	3,74532	838,81	55990,2	267
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	5,59099	3,73134	841,95	56410,4	268
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	5,59474	3,71747	845,09	56832,2	269
270	72900	19683000	16,4317	6,4633	5,59842	3,70370	848,23	57255,5	270
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	5,60212	3,69004	851,37	57680,4	271
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	5,60580	3,67647	854,51	58106,9	272
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	5,60947	3,66300	857,65	58534,9	273
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	5,61313	3,64964	860,80	58964,6	274
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	5,61677	3,63636	863,94	59395,7	275
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	5,62040	3,62319	867,08	59828,5	276
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	5,62402	3,61011	870,22	60262,8	277
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	5,62762	3,59712	873,36	60698,7	278
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	5,63121	3,58423	876,50	61136,2	279
280	78400	21952000	16,7332	6,5421	5,63479	3,57143	879,65	61575,2	280
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	5,63835	3,55872	882,79	62014,8	281
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	5,64191	3,54610	885,93	62458,0	282
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	5,64545	3,53357	889,07	62901,8	283
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	5,64897	3,52113	892,21	63347,1	284
285	81225	23149125	16,8819	6,5808	5,65249	3,50877	895,35	63794,0	285
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	5,65599	3,49650	898,50	64242,4	286
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	5,65948	3,48432	901,64	64692,5	287
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	5,66296	3,47222	904,78	65144,1	288
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	5,66643	3,46021	907,92	65597,2	289
290	84100	24389000	17,0294	6,6191	5,66988	3,44828	911,06	66052,0	290
291	84681	24642171	17,0587	6,6267	5,67332	3,43643	914,20	66508,3	291
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	5,67675	3,42466	917,35	66966,2	292
293	85849	25153757	17,1172	6,6419	5,68017	3,41297	920,49	67425,6	293
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	5,68358	3,40136	923,63	67886,7	294
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	5,68698	3,38983	926,77	68349,3	295
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	5,69036	3,37838	929,91	68813,4	296
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	5,69373	3,36700	933,05	69279,2	297
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	5,69709	3,35570	936,19	69746,5	298
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	5,70044	3,34448	939,34	70215,4	299

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	5,70378	3,33333	942,48	70685,8	300
301	90601	27270901	17,3494	6,7018	5,70711	3,32226	945,62	71157,9	301
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	5,71043	3,31126	948,76	71631,5	302
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	5,71373	3,30033	951,90	72106,6	303
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	5,71703	3,28947	955,04	72583,4	304
305	93025	28372625	17,4642	6,7313	5,72031	3,27869	958,19	73061,7	305
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	5,72359	3,26797	961,33	73541,5	306
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	5,72685	3,25733	964,47	74023,0	307
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	5,73010	3,24675	967,61	74506,0	308
309	95481	29503629	17,5784	6,7606	5,73334	3,23625	970,75	74990,6	309
310	96100	29791000	17,6068	6,7679	5,73657	3,22581	973,89	75476,8	310
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	5,73979	3,21543	977,04	75964,5	311
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	5,74300	3,20513	980,18	76453,8	312
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	5,74620	3,19489	983,32	76944,7	313
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	5,74939	3,18471	986,46	77437,1	314
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	5,75257	3,17460	989,60	77931,1	315
316	99856	31554496	17,7764	6,8113	5,75574	3,16456	992,74	78426,7	316
317	100489	31855013	17,8045	6,8185	5,75890	3,15457	995,88	78923,9	317
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	5,76205	3,14465	999,03	79422,6	318
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	5,76519	3,13480	1002,2	79922,9	319
320	102400	32768000	17,8885	6,8399	5,76832	3,12500	1005,3	80424,8	320
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	5,77144	3,11526	1008,5	80928,2	321
322	103684	33386248	17,9444	6,8541	5,77455	3,10559	1011,6	81433,2	322
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	5,77765	3,09598	1014,7	81939,8	323
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	5,78074	3,08642	1017,9	82448,0	324
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	5,78383	3,07692	1021,0	82957,0	325
326	106276	34646976	18,0555	6,8824	5,78690	3,06748	1024,2	83469,0	326
327	106929	34968783	18,0831	6,8894	5,78996	3,05810	1027,3	83981,8	327
328	107584	35293552	18,1108	6,8964	5,79301	3,04878	1030,4	84496,3	328
329	108241	35621289	18,1384	6,9034	5,79606	3,03951	1033,6	85012,3	329
330	108900	35952000	18,1659	6,9104	5,79909	3,03030	1036,7	85529,9	330
331	109561	36286491	18,1934	6,9174	5,80212	3,02115	1039,9	86049,0	331
332	110224	36624688	18,2209	6,9244	5,80513	3,01205	1043,0	86569,7	332
333	110889	36966607	18,2483	6,9313	5,80814	3,00300	1046,2	87092,0	333
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	5,81114	2,99401	1049,3	87615,9	334
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	5,81413	2,98507	1052,4	88141,3	335
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	5,81711	2,97619	1055,6	88668,3	336
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	5,82008	2,96736	1058,7	89196,9	337
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	5,82305	2,95858	1061,9	89727,0	338
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	5,82600	2,94985	1065,0	90258,7	339
340	115600	39304000	18,4391	6,9795	5,82895	2,94118	1068,1	90792,0	340
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	5,83188	2,93255	1071,3	91326,9	341
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	5,83481	2,92398	1074,4	91863,3	342
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	5,83773	2,91545	1077,6	92401,3	343
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	5,84064	2,90698	1080,7	92940,9	344
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	5,84354	2,89855	1083,8	93482,0	345
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	5,84644	2,89017	1087,0	94024,7	346
347	120409	41781923	18,6279	7,0271	5,84932	2,88184	1090,1	94569,0	347
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	5,85220	2,87356	1093,3	95114,9	348
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	5,85507	2,86533	1096,4	95662,3	349

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	5,85793	2,85714	1099,6	96211,3	350
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	5,86079	2,84900	1102,7	96761,8	351
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	5,86363	2,84091	1105,8	97314,0	352
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	5,86647	2,83286	1109,0	97867,7	353
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	5,86930	2,82486	1112,1	98423,0	354
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	5,87212	2,81690	1115,3	98979,8	355
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	5,87493	2,80899	1118,4	99538,2	356
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	5,87774	2,80112	1121,5	100098	357
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	5,88053	2,79330	1124,7	100660	358
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	5,88332	2,78552	1127,8	101223	359
360	129600	46656000	18,9737	7,1138	5,88610	2,77778	1131,0	101788	360
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	5,88888	2,77008	1134,1	102354	361
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	5,89164	2,76243	1137,3	102922	362
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	5,89440	2,75482	1140,4	103491	363
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	5,89715	2,74725	1143,5	104062	364
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	5,89990	2,73973	1146,7	104635	365
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	5,90263	2,73224	1149,8	105209	366
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	5,90536	2,72480	1153,0	105784	367
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	5,90808	2,71739	1156,1	106362	368
369	136161	50243409	19,2094	7,1726	5,91080	2,71003	1159,2	106941	369
370	136900	50653000	19,2354	7,1791	5,91350	2,70270	1162,4	107521	370
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	5,91620	2,69542	1165,5	108103	371
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	5,91889	2,68817	1168,7	108687	372
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	5,92158	2,68097	1171,8	109272	373
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	5,92426	2,67380	1175,0	109858	374
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	5,92693	2,66667	1178,1	110447	375
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	5,92959	2,65957	1181,2	111036	376
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	5,93225	2,65252	1184,4	111628	377
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	5,93489	2,64550	1187,5	112221	378
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	5,93754	2,63852	1190,7	112815	379
380	144400	54872000	19,4936	7,2432	5,94017	2,63158	1193,8	113411	380
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	5,94280	2,62467	1196,9	114009	381
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	5,94542	2,61780	1200,1	114608	382
383	146689	56181887	19,5704	7,2622	5,94803	2,61097	1203,2	115209	383
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	5,95064	2,60417	1206,4	115812	384
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	5,95324	2,59740	1209,5	116416	385
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	5,95584	2,59067	1212,7	117021	386
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	5,95842	2,58398	1215,8	117628	387
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	5,96101	2,57732	1218,9	118237	388
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	5,96358	2,57069	1222,1	118847	389
390	152100	59319000	19,7484	7,3061	5,96615	2,56410	1225,2	119459	390
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	5,96871	2,55754	1228,4	120072	391
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	5,97126	2,55102	1231,5	120687	392
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	5,97381	2,54453	1234,6	121304	393
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	5,97635	2,53807	1237,8	121922	394
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	5,97889	2,53165	1240,9	122542	395
396	156816	62099136	19,8997	7,3434	5,98141	2,52525	1244,1	123163	396
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	5,98394	2,51889	1247,2	123786	397
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	5,98645	2,51256	1250,4	124410	398
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	5,98896	2,50627	1253,5	125036	399

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	5,99146	2,50000	1256,6	125664	400
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	5,99396	2,49377	1259,8	126293	401
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	5,99645	2,48756	1262,9	126923	402
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	5,99894	2,48139	1266,1	127556	403
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	6,00141	2,47525	1269,2	128190	404
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	6,00389	2,46914	1272,3	128825	405
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	6,00635	2,46305	1275,5	129462	406
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	6,00881	2,45700	1278,6	130100	407
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	6,01127	2,45098	1281,8	130741	408
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	6,01372	2,44499	1284,9	131382	409
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	6,01616	2,43902	1288,1	132025	410
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	6,01859	2,43309	1291,2	132670	411
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	6,02102	2,42718	1294,3	133317	412
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	6,02345	2,42131	1297,5	133965	413
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	6,02587	2,41546	1300,6	134614	414
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	6,02828	2,40964	1303,8	135265	415
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	6,03069	2,40385	1306,9	135918	416
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	6,03309	2,39808	1310,0	136572	417
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	6,03548	2,39234	1313,2	137228	418
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	6,03787	2,38663	1316,3	137885	419
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	6,04025	2,38095	1319,5	138544	420
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	6,04263	2,37530	1322,6	139205	421
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	6,04501	2,36967	1325,8	139867	422
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	6,04737	2,36407	1328,9	140531	423
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	6,04973	2,35849	1332,0	141196	424
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	6,05209	2,35294	1335,2	141863	425
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	6,05444	2,34742	1338,3	142531	426
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	6,05678	2,34192	1341,5	143201	427
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	6,05912	2,33645	1344,6	143872	428
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	6,06146	2,33100	1347,7	144545	429
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	6,06379	2,32558	1350,9	145220	430
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	6,06611	2,32019	1354,0	145896	431
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	6,06843	2,31481	1357,2	146574	432
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	6,07074	2,30947	1360,3	147254	433
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	6,07304	2,30415	1363,5	147934	434
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	6,07535	2,29885	1366,6	148617	435
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	6,07764	2,29358	1369,7	149301	436
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	6,07993	2,28833	1372,9	149987	437
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	6,08222	2,28311	1376,0	150674	438
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	6,08450	2,27790	1379,2	151363	439
440	193600	85184000	20,9762	7,6059	6,08677	2,27273	1382,3	152053	440
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	6,08904	2,26757	1385,4	152745	441
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	6,09131	2,26244	1388,6	153439	442
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	6,09357	2,25734	1391,7	154134	443
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	6,09582	2,25225	1394,9	154830	444
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	6,09807	2,24719	1398,0	155528	445
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	6,10032	2,24215	1401,2	156228	446
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	6,10256	2,23714	1404,3	156930	447
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	6,10479	2,23214	1407,4	157633	448
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	6,10702	2,22717	1410,6	158337	449

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	6,10925	2,22222	1413,7	159043	450
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	6,11147	2,21729	1416,9	159751	451
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	6,11368	2,21239	1420,0	160460	452
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	6,11589	2,20751	1423,1	161171	453
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	6,11810	2,20264	1426,3	161883	454
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	6,12030	2,19780	1429,4	162597	455
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	6,12249	2,19298	1432,6	163313	456
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	6,12468	2,18818	1435,7	164030	457
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	6,12687	2,18341	1438,8	164748	458
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	6,12905	2,17865	1442,0	165468	459
460	211600	97336000	21,4476	7,7194	6,13123	2,17391	1445,1	166190	460
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	6,13340	2,16920	1448,3	166914	461
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	6,13556	2,16450	1451,4	167639	462
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	6,13773	2,15983	1454,6	168365	463
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	6,13988	2,15517	1457,7	169093	464
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	6,14204	2,15054	1460,8	169823	465
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	6,14419	2,14592	1464,0	170554	466
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	6,14633	2,14133	1467,1	171287	467
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	6,14847	2,13675	1470,3	172021	468
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	6,15060	2,13220	1473,4	172757	469
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	6,15273	2,12766	1476,5	173494	470
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	6,15486	2,12314	1479,7	174234	471
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	6,15698	2,11864	1482,8	174974	472
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	6,15910	2,11416	1486,0	175716	473
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	6,16121	2,10970	1489,1	176460	474
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	6,16331	2,10526	1492,3	177205	475
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	6,16542	2,10084	1495,4	177952	476
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	6,16752	2,09644	1498,5	178701	477
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	6,16961	2,09205	1501,7	179451	478
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	6,17170	2,08768	1504,8	180203	479
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	6,17379	2,08333	1508,0	180956	480
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	6,17587	2,07900	1511,1	181711	481
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	6,17794	2,07469	1514,2	182467	482
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	6,18002	2,07039	1517,4	183225	483
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	6,18208	2,06612	1520,5	183984	484
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	6,18415	2,06186	1523,7	184745	485
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	6,18621	2,05761	1526,8	185508	486
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	6,18826	2,05339	1530,0	186272	487
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	6,19032	2,04918	1533,1	187038	488
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	6,19236	2,04499	1536,2	187805	489
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	6,19441	2,04082	1539,4	188574	490
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	6,19644	2,03666	1542,5	189345	491
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	6,19848	2,03252	1545,7	190117	492
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	6,20051	2,02840	1548,8	190890	493
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	6,20254	2,02429	1551,9	191665	494
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	6,20456	2,02020	1555,1	192442	495
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	6,20658	2,01613	1558,2	193221	496
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	6,20859	2,01207	1561,4	194000	497
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	6,21060	2,00803	1564,5	194782	498
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	6,21261	2,00401	1567,7	195565	499

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	6,21461	2,00000	1570,8	196350	500
501	251001	125751501	22,3830	7,9423	6,21661	1,99601	1573,9	197136	501
502	252004	126506008	22,4054	7,9476	6,21860	1,99203	1577,1	197923	502
503	253009	127263527	22,4277	7,9528	6,22059	1,98807	1580,2	198713	503
504	254016	128024064	22,4499	7,9581	6,22258	1,98413	1583,4	199504	504
505	255025	128787625	22,4722	7,9634	6,22456	1,98020	1586,5	200296	505
506	256036	129554216	22,4944	7,9686	6,22654	1,97628	1589,6	201090	506
507	257049	130323843	22,5167	7,9739	6,22851	1,97239	1592,8	201886	507
508	258064	131096512	22,5389	7,9791	6,23048	1,96850	1595,9	202683	508
509	259081	131872229	22,5610	7,9843	6,23245	1,96464	1599,1	203482	509
510	260100	132651000	22,5832	7,9896	6,23441	1,96078	1602,2	204282	510
511	261121	133432831	22,6053	7,9948	6,23637	1,95695	1605,4	205084	511
512	262144	134217728	22,6274	8,0000	6,23832	1,95312	1608,5	205887	512
513	263169	135005697	22,6495	8,0052	6,24028	1,94932	1611,6	206692	513
514	264196	135796744	22,6716	8,0104	6,24222	1,94553	1614,8	207499	514
515	265225	136590875	22,6936	8,0156	6,24417	1,94175	1617,9	208307	515
516	266256	137388096	22,7156	8,0208	6,24611	1,93798	1621,1	209117	516
517	267289	138188413	22,7376	8,0260	6,24804	1,93424	1624,2	209928	517
518	268324	138991832	22,7596	8,0311	6,24998	1,93050	1627,3	210741	518
519	269361	139798359	22,7816	8,0363	6,25190	1,92678	1630,5	211556	519
520	270400	140608000	22,8035	8,0415	6,25383	1,92308	1633,6	212372	520
521	271441	141420761	22,8254	8,0466	6,25575	1,91939	1636,8	213189	521
522	272484	142236648	22,8473	8,0517	6,25767	1,91571	1639,9	214008	522
523	273529	143055667	22,8692	8,0569	6,25958	1,91205	1643,1	214829	523
524	274576	143877824	22,8910	8,0620	6,26149	1,90840	1646,2	215651	524
525	275625	144703125	22,9129	8,0671	6,26340	1,90476	1649,3	216475	525
526	276676	145531576	22,9347	8,0723	6,26530	1,90114	1652,5	217301	526
527	277729	146363183	22,9565	8,0774	6,26720	1,89753	1655,6	218128	527
528	278784	147197952	22,9783	8,0825	6,26910	1,89394	1658,8	218956	528
529	279841	148035889	23,0000	8,0876	6,27099	1,89036	1661,9	219787	529
530	280900	148877000	23,0217	8,0927	6,27288	1,88679	1665,0	220618	530
531	281961	149721291	23,0434	8,0978	6,27476	1,88324	1668,2	221452	531
532	283024	150568768	23,0651	8,1028	6,27664	1,87970	1671,3	222287	532
533	284089	151419437	23,0868	8,1079	6,27852	1,87617	1674,5	223123	533
534	285156	152273304	23,1084	8,1130	6,28040	1,87266	1677,6	223961	534
535	286225	153130375	23,1301	8,1180	6,28227	1,86916	1680,8	224801	535
536	287296	153990656	23,1517	8,1231	6,28413	1,86567	1683,9	225642	536
537	288369	154854153	23,1733	8,1281	6,28600	1,86220	1687,0	226484	537
538	289444	155720872	23,1948	8,1332	6,28786	1,85874	1690,2	227329	538
539	290521	156590819	23,2164	8,1382	6,28972	1,85529	1693,3	228175	539
540	291600	157464000	23,2379	8,1433	6,29157	1,85185	1696,5	229022	540
541	292681	158340421	23,2594	8,1483	6,29342	1,84843	1699,6	229871	541
542	293764	159220088	23,2809	8,1533	6,29527	1,84502	1702,7	230722	542
543	294849	160103007	23,3024	8,1583	6,29711	1,84162	1705,9	231574	543
544	295936	160989184	23,3238	8,1633	6,29895	1,83824	1709,0	232428	544
545	297025	161878625	23,3452	8,1683	6,30079	1,83486	1712,2	233283	545
546	298116	162771336	23,3666	8,1733	6,30262	1,83150	1715,3	234140	546
547	299209	163667323	23,3880	8,1783	6,30445	1,82815	1718,5	234998	547
548	300304	164566592	23,4094	8,1833	6,30628	1,82482	1721,6	235858	548
549	301401	165469149	23,4307	8,1882	6,30810	1,82149	1724,7	236720	549

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
550	302500	166375000	23,4521	8,1932	6,30992	1,81818	1727,9	237583	550
551	303601	167284151	23,4734	8,1982	6,31173	1,81488	1731,0	238448	551
552	304704	168196608	23,4947	8,2031	6,31355	1,81159	1734,2	239314	552
553	305809	169112377	23,5160	8,2081	6,31536	1,80832	1737,3	240182	553
554	306916	170031464	23,5372	8,2130	6,31716	1,80505	1740,4	241051	554
555	308025	170953875	23,5584	8,2180	6,31897	1,80180	1743,6	241922	555
556	309136	171879616	23,5797	8,2229	6,32077	1,79856	1746,7	242795	556
557	310249	172808693	23,6008	8,2278	6,32257	1,79533	1749,9	243669	557
558	311364	173741112	23,6220	8,2327	6,32436	1,79211	1753,0	244545	558
559	312481	174676879	23,6432	8,2377	6,32615	1,78891	1756,2	245422	559
560	313600	175616000	23,6643	8,2426	6,32794	1,78571	1759,3	246301	560
561	314721	176558481	23,6854	8,2475	6,32972	1,78253	1762,4	247181	561
562	315844	177504328	23,7065	8,2524	6,33150	1,77936	1765,6	248063	562
563	316969	178453547	23,7276	8,2573	6,33328	1,77620	1768,7	248947	563
564	318096	179406144	23,7487	8,2621	6,33505	1,77305	1771,9	249832	564
565	319225	180362125	23,7697	8,2670	6,33683	1,76991	1775,0	250719	565
566	320356	181321496	23,7908	8,2719	6,33859	1,76678	1778,1	251607	566
567	321489	182284263	23,8118	8,2768	6,34036	1,76367	1781,3	252497	567
568	322624	183250432	23,8328	8,2816	6,34212	1,76056	1784,4	253388	568
569	323761	184220009	23,8537	8,2865	6,34388	1,75747	1787,6	254281	569
570	324900	185193000	23,8747	8,2913	6,34564	1,75439	1790,7	255176	570
571	326041	186169411	23,8956	8,2962	6,34739	1,75131	1793,8	256072	571
572	327184	187149248	23,9165	8,3010	6,34914	1,74825	1797,0	256970	572
573	328329	188132517	23,9374	8,3059	6,35089	1,74520	1800,1	257869	573
574	329476	189119224	23,9583	8,3107	6,35263	1,74216	1803,3	258770	574
575	330625	190109375	23,9792	8,3155	6,35437	1,73913	1806,4	259672	575
576	331776	191102976	24,0000	8,3203	6,35611	1,73611	1809,6	260576	576
577	332929	192100033	24,0208	8,3251	6,35784	1,73310	1812,7	261482	577
578	334084	193100552	24,0416	8,3300	6,35957	1,73010	1815,8	262389	578
579	335241	194104539	24,0624	8,3348	6,36130	1,72712	1819,0	263298	579
580	336400	195112000	24,0832	8,3396	6,36303	1,72414	1822,1	264208	580
581	337561	196122941	24,1039	8,3443	6,36475	1,72117	1825,3	265120	581
582	338724	197137368	24,1247	8,3491	6,36647	1,71821	1828,4	266033	582
583	339889	198155287	24,1454	8,3539	6,36819	1,71527	1831,6	266948	583
584	341056	199176704	24,1661	8,3587	6,36990	1,71233	1834,7	267865	584
585	342225	200200625	24,1868	8,3634	6,37161	1,70940	1837,8	268783	585
586	343396	201230056	24,2074	8,3682	6,37332	1,70648	1841,0	269703	586
587	344569	202262003	24,2281	8,3730	6,37502	1,70358	1844,1	270624	587
588	345744	203297472	24,2487	8,3777	6,37673	1,70068	1847,3	271547	588
589	346921	204336469	24,2693	8,3825	6,37843	1,69779	1850,4	272471	589
590	348100	205379000	24,2899	8,3872	6,38012	1,69492	1853,5	273397	590
591	349281	206425071	24,3105	8,3919	6,38182	1,69205	1856,7	274325	591
592	350464	207474688	24,3311	8,3967	6,38351	1,68919	1859,8	275254	592
593	351649	208527857	24,3516	8,4014	6,38519	1,68634	1863,0	276184	593
594	352836	209584584	24,3721	8,4061	6,38688	1,68350	1866,1	277117	594
595	354025	210644875	24,3926	8,4108	6,38856	1,68067	1869,2	278051	595
596	355216	211708736	24,4131	8,4155	6,39024	1,67785	1872,4	278986	596
597	356409	212776173	24,4336	8,4202	6,39192	1,67504	1875,5	279923	597
598	357604	213847192	24,4540	8,4249	6,39359	1,67224	1878,7	280862	598
599	358801	214921799	24,4745	8,4296	6,39526	1,66945	1881,8	281802	599

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
600	360000	216000000	24,4949	8,4343	6,39693	1,66667	1885,0	282743	600
601	361201	217081801	24,5153	8,4390	6,39859	1,66389	1888,1	283687	601
602	362404	218167208	24,5357	8,4437	6,40026	1,66113	1891,2	284631	602
603	363609	219256227	24,5561	8,4484	6,40192	1,65837	1894,4	285578	603
604	364816	220348864	24,5764	8,4530	6,40357	1,65563	1897,5	286526	604
605	366025	221445125	24,5967	8,4577	6,40523	1,65289	1900,7	287475	605
606	367236	222545016	24,6171	8,4623	6,40688	1,65017	1903,8	288426	606
607	368449	223648543	24,6374	8,4670	6,40853	1,64745	1906,9	289379	607
608	369664	224755712	24,6577	8,4716	6,41017	1,64474	1910,1	290333	608
609	370881	225866529	24,6779	8,4763	6,41182	1,64204	1913,2	291289	609
610	372100	226981000	24,6982	8,4809	6,41346	1,63934	1916,4	292247	610
611	373321	228099131	24,7184	8,4856	6,41510	1,63666	1919,5	293206	611
612	374544	229220928	24,7386	8,4902	6,41673	1,63399	1922,7	294166	612
613	375769	230346397	24,7588	8,4948	6,41836	1,63132	1925,8	295128	613
614	376996	231475544	24,7790	8,4994	6,41999	1,62866	1928,9	296092	614
615	378225	232608375	24,7992	8,5040	6,42162	1,62602	1932,1	297057	615
616	379456	233744896	24,8193	8,5086	6,42325	1,62338	1935,2	298024	616
617	380689	234885113	24,8395	8,5132	6,42487	1,62075	1938,4	298992	617
618	381924	236029032	24,8596	8,5178	6,42649	1,61812	1941,5	299962	618
619	383161	237176659	24,8797	8,5224	6,42811	1,61551	1944,6	300934	619
620	384400	238328000	24,8998	8,5270	6,42972	1,61290	1947,8	301907	620
621	385641	239483061	24,9199	8,5316	6,43133	1,61031	1950,9	302882	621
622	386884	240641848	24,9399	8,5362	6,43294	1,60772	1954,1	303858	622
623	388129	241804367	24,9600	8,5408	6,43455	1,60514	1957,2	304836	623
624	389376	242970624	24,9800	8,5453	6,43615	1,60256	1960,4	305815	624
625	390625	244140625	25,0000	8,5499	6,43775	1,60000	1963,5	306796	625
626	391876	245314376	25,0200	8,5544	6,43935	1,59744	1966,6	307779	626
627	393129	246491883	25,0400	8,5590	6,44095	1,59490	1969,8	308763	627
628	394384	247673152	25,0599	8,5635	6,44254	1,59236	1972,9	309748	628
629	395641	248858189	25,0799	8,5681	6,44413	1,58983	1976,1	310736	629
630	396900	250047000	25,0998	8,5726	6,44572	1,58730	1979,2	311725	630
631	398161	251239591	25,1197	8,5772	6,44731	1,58479	1982,3	312715	631
632	399424	252435968	25,1396	8,5817	6,44889	1,58228	1985,5	313707	632
633	400689	253636137	25,1595	8,5862	6,45047	1,57978	1988,6	314700	633
634	401956	254840104	25,1794	8,5907	6,45205	1,57729	1991,8	315696	634
635	403225	256047875	25,1992	8,5952	6,45362	1,57480	1994,9	316692	635
636	404496	257259456	25,2190	8,5997	6,45520	1,57233	1998,1	317690	636
637	405769	258474853	25,2389	8,6043	6,45677	1,56986	2001,2	318690	637
638	407044	259694072	25,2587	8,6088	6,45834	1,56740	2004,3	319692	638
639	408321	260917119	25,2784	8,6132	6,45990	1,56495	2007,5	320695	639
640	409600	262144000	25,2982	8,6177	6,46147	1,56250	2010,6	321699	640
641	410881	263374721	25,3180	8,6222	6,46303	1,56006	2013,8	322705	641
642	412164	264609288	25,3377	8,6267	6,46459	1,55763	2016,9	323713	642
643	413449	265847707	25,3574	8,6312	6,46614	1,55521	2020,0	324722	643
644	414736	267089984	25,3772	8,6357	6,46770	1,55280	2023,2	325733	644
645	416025	268336125	25,3969	8,6401	6,46925	1,55039	2026,3	326745	645
646	417316	269586136	25,4165	8,6446	6,47080	1,54799	2029,5	327759	646
647	418609	270840023	25,4362	8,6490	6,47235	1,54560	2032,6	328775	647
648	419904	272097792	25,4558	8,6535	6,47389	1,54321	2035,8	329792	648
649	421201	273359449	25,4755	8,6579	6,47543	1,54083	2038,9	330810	649

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
650	422500	274625000	25,4951	8,6624	6,47697	1,53846	2042,0	331831	650
651	423801	275894451	25,5147	8,6668	6,47851	1,53610	2045,2	332853	651
652	425104	277167808	25,5343	8,6713	6,48004	1,53374	2048,3	333876	652
653	426409	278445077	25,5539	8,6757	6,48158	1,53139	2051,5	334901	653
654	427716	279726264	25,5734	8,6801	6,48311	1,52905	2054,6	335927	654
655	429025	281011375	25,5930	8,6845	6,48464	1,52672	2057,7	336955	655
656	430336	282300416	25,6125	8,6890	6,48616	1,52439	2060,9	337985	656
657	431649	283593393	25,6320	8,6934	6,48768	1,52207	2064,0	339016	657
658	432964	284890312	25,6515	8,6978	6,48920	1,51976	2067,2	340049	658
659	434281	286191179	25,6710	8,7022	6,49072	1,51745	2070,3	341083	659
660	435600	287496000	25,6905	8,7066	6,49224	1,51515	2073,5	342119	660
661	436921	288804781	25,7099	8,7110	6,49375	1,51286	2076,6	343157	661
662	438244	290117528	25,7294	8,7154	6,49527	1,51057	2079,7	344196	662
663	439569	291434247	25,7488	8,7198	6,49677	1,50830	2082,9	345237	663
664	440896	292754944	25,7682	8,7241	6,49828	1,50602	2086,0	346279	664
665	442225	294079625	25,7876	8,7285	6,49979	1,50376	2089,2	347323	665
666	443556	295408296	25,8070	8,7329	6,50129	1,50150	2092,3	348368	666
667	444889	296740963	25,8263	8,7373	6,50279	1,49925	2095,4	349415	667
668	446224	298077632	25,8457	8,7416	6,50429	1,49701	2098,6	350464	668
669	447561	299418309	25,8650	8,7460	6,50578	1,49477	2101,7	351514	669
670	448900	300763000	25,8844	8,7503	6,50728	1,49254	2104,9	352565	670
671	450241	302111711	25,9037	8,7547	6,50877	1,49031	2108,0	353618	671
672	451584	303464448	25,9230	8,7590	6,51026	1,48810	2111,2	354673	672
673	452929	304821217	25,9422	8,7634	6,51175	1,48588	2114,3	355730	673
674	454276	306182024	25,9615	8,7677	6,51323	1,48368	2117,4	356788	674
675	455625	307546875	25,9808	8,7721	6,51471	1,48148	2120,6	357847	675
676	456976	308915776	26,0000	8,7764	6,51619	1,47929	2123,7	358908	676
677	458329	310288733	26,0192	8,7807	6,51767	1,47710	2126,9	359971	677
678	459684	311665752	26,0384	8,7850	6,51915	1,47493	2130,0	361035	678
679	461041	313046839	26,0576	8,7893	6,52062	1,47275	2133,1	362101	679
680	462400	314432000	26,0768	8,7937	6,52209	1,47059	2136,3	363168	680
681	463761	315821241	26,0960	8,7980	6,52356	1,46843	2139,4	364237	681
682	465124	317214568	26,1151	8,8023	6,52503	1,46628	2142,6	365308	682
683	466489	318611987	26,1343	8,8066	6,52649	1,46413	2145,7	366380	683
684	467856	320013504	26,1534	8,8109	6,52796	1,46199	2148,8	367453	684
685	469225	321419125	26,1725	8,8152	6,52942	1,45985	2152,0	368528	685
686	470596	322828856	26,1916	8,8194	6,53088	1,45773	2155,1	369605	686
687	471969	324242703	26,2107	8,8237	6,53233	1,45560	2158,3	370684	687
688	473344	325660672	26,2298	8,8280	6,53379	1,45349	2161,4	371764	688
689	474721	327082769	26,2488	8,8323	6,53524	1,45138	2164,6	372845	689
690	476100	328509000	26,2679	8,8366	6,53669	1,44928	2167,7	373928	690
691	477481	329939371	26,2869	8,8408	6,53814	1,44718	2170,8	375013	691
692	478864	331373888	26,3059	8,8451	6,53959	1,44509	2174,0	376099	692
693	480249	332812557	26,3249	8,8493	6,54103	1,44300	2177,1	377187	693
694	481636	334255384	26,3439	8,8536	6,54247	1,44092	2180,3	378276	694
695	483025	335702375	26,3629	8,8578	6,54391	1,43885	2183,4	379367	695
696	484416	337153536	26,3818	8,8621	6,54535	1,43678	2186,5	380459	696
697	485809	338608873	26,4008	8,8663	6,54679	1,43472	2189,7	381553	697
698	487204	340068392	26,4197	8,8706	6,54822	1,43266	2192,8	382649	698
699	488601	341532099	26,4386	8,8748	6,54965	1,43062	2196,0	383746	699

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
700	490000	343000000	26,4575	8,8790	6,55108	1,42857	2199,1	384845	700
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	6,55251	1,42653	2202,3	385945	701
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	6,55393	1,42450	2205,4	387047	702
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	6,55536	1,42248	2208,5	388151	703
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	6,55678	1,42045	2211,7	389256	704
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	6,55820	1,41844	2214,8	390363	705
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	6,55962	1,41643	2218,0	391471	706
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	6,56103	1,41443	2221,1	392580	707
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	6,56244	1,41243	2224,2	393692	708
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	6,56386	1,41044	2227,4	394805	709
710	504100	357911000	26,6458	8,9211	6,56526	1,40845	2230,5	395919	710
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	6,56667	1,40647	2233,7	397035	711
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	6,56808	1,40449	2236,8	398153	712
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	6,56948	1,40252	2240,0	399272	713
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	6,57088	1,40056	2243,1	400393	714
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	6,57228	1,39860	2246,2	401515	715
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	6,57368	1,39665	2249,4	402639	716
717	514089	368601813	26,7769	8,9503	6,57508	1,39470	2252,5	403765	717
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	6,57647	1,39276	2255,7	404892	718
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	6,57786	1,39082	2258,8	406020	719
720	518400	373248000	26,8328	8,9628	6,57925	1,38889	2261,9	407150	720
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	6,58064	1,38696	2265,1	408282	721
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	6,58203	1,38504	2268,2	409415	722
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	6,58341	1,38313	2271,4	410550	723
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	6,58479	1,38122	2274,5	411687	724
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	6,58617	1,37931	2277,7	412825	725
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	6,58755	1,37741	2280,8	413965	726
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	6,58893	1,37552	2283,9	415106	727
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	6,59030	1,37363	2287,1	416248	728
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	6,59167	1,37174	2290,2	417393	729
730	532900	389017000	27,0185	9,0041	6,59304	1,36986	2293,4	418539	730
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	6,59441	1,36799	2296,5	419686	731
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	6,59578	1,36612	2299,6	420835	732
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	6,59715	1,36426	2302,8	421986	733
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	6,59851	1,36240	2305,9	423138	734
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	6,59987	1,36054	2309,1	424293	735
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	6,60123	1,35870	2312,2	425447	736
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	6,60259	1,35685	2315,4	426604	737
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	6,60394	1,35501	2318,5	427762	738
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	6,60530	1,35318	2321,6	428922	739
740	547600	405224000	27,2029	9,0450	6,60665	1,35135	2324,8	430084	740
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	6,60800	1,34953	2327,9	431247	741
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	6,60935	1,34771	2331,1	432412	742
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	6,61070	1,34590	2334,2	433578	743
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	6,61204	1,34409	2337,3	434746	744
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	6,61338	1,34228	2340,5	435916	745
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	6,61473	1,34048	2343,6	437087	746
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	6,61607	1,33869	2346,8	438259	747
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	6,61740	1,33690	2349,9	439433	748
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	6,61874	1,33511	2353,1	440609	749

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	6,62007	1,33333	2356,2	441786	750
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	6,62141	1,33156	2359,3	442965	751
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	6,62274	1,32979	2362,5	444146	752
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	6,62407	1,32802	2365,6	445328	753
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	6,62539	1,32626	2368,8	446511	754
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	6,62672	1,32450	2371,9	447697	755
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	6,62804	1,32275	2375,0	448883	756
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	6,62936	1,32100	2378,2	450072	757
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	6,63068	1,31926	2381,3	451262	758
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	6,63200	1,31752	2384,5	452453	759
760	577600	438976000	27,5681	9,1258	6,63332	1,31579	2387,6	453646	760
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	6,63463	1,31406	2390,8	454841	761
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	6,63595	1,31234	2393,9	456037	762
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	6,63726	1,31062	2397,0	457234	763
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	6,63857	1,30890	2400,2	458434	764
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	6,63988	1,30719	2403,3	459635	765
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	6,64118	1,30548	2406,5	460837	766
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	6,64249	1,30378	2409,6	462041	767
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	6,64379	1,30208	2412,7	463247	768
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	6,64509	1,30039	2415,9	464454	769
770	592900	456533000	27,7489	9,1657	6,64639	1,29870	2419,0	465663	770
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	6,64769	1,29702	2422,2	466873	771
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	6,64898	1,29534	2425,3	468085	772
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	6,65028	1,29366	2428,5	469298	773
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	6,65157	1,29199	2431,6	470513	774
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	6,65286	1,29032	2434,7	471730	775
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	6,65415	1,28866	2437,9	472948	776
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	6,65544	1,28700	2441,0	474168	777
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	6,65673	1,28535	2444,2	475389	778
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	6,65801	1,28370	2447,3	476612	779
780	608400	474552000	27,9285	9,2052	6,65929	1,28205	2450,4	477836	780
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	6,66058	1,28041	2453,6	479062	781
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	6,66185	1,27877	2456,7	480290	782
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	6,66313	1,27714	2459,9	481519	783
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	6,66441	1,27551	2463,0	482750	784
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	6,66568	1,27389	2466,2	483982	785
786	617796	485587656	28,0357	9,2287	6,66696	1,27226	2469,3	485216	786
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	6,66823	1,27065	2472,4	486451	787
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	6,66950	1,26904	2475,6	487688	788
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	6,67077	1,26743	2478,7	488927	789
790	624100	493039000	28,1069	9,2443	6,67203	1,26582	2481,9	490167	790
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	6,67330	1,26422	2485,0	491409	791
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	6,67456	1,26263	2488,1	492652	792
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	6,67582	1,26103	2491,3	493897	793
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	6,67708	1,25945	2494,4	495143	794
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	6,67834	1,25786	2497,6	496391	795
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	6,67960	1,25628	2500,7	497641	796
797	635209	506261573	28,2312	9,2716	6,68085	1,25471	2503,8	498892	797
798	636804	508169592	28,2489	9,2754	6,68211	1,25313	2507,0	500145	798
799	638401	510082399	28,2666	9,2793	6,68336	1,25156	2510,1	501399	799

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
800	640000	512000000	28,2843	9,2832	6,68461	1,25000	2513,3	502655	800
801	641601	513922401	28,3019	9,2870	6,68586	1,24844	2516,4	503912	801
802	643204	515849608	28,3196	9,2909	6,68711	1,24688	2519,6	505171	802
803	644809	517781627	28,3373	9,2948	6,68835	1,24533	2522,7	506432	803
804	646416	519718464	28,3549	9,2986	6,68960	1,24378	2525,8	507694	804
805	648025	521660125	28,3725	9,3025	6,69084	1,24224	2529,0	508958	805
806	649636	523606616	28,3901	9,3063	6,69208	1,24069	2532,1	510223	806
807	651249	525557943	28,4077	9,3102	6,69332	1,23916	2535,3	511490	807
808	652864	527514412	28,4253	9,3140	6,69456	1,23762	2538,4	512758	808
809	654481	529475129	28,4429	9,3179	6,69580	1,23609	2541,5	514028	809
810	656100	531441000	28,4605	9,3217	6,69703	1,23457	2544,7	515300	810
811	657721	533411731	28,4781	9,3255	6,69827	1,23305	2547,8	516573	811
812	659344	535387328	28,4956	9,3294	6,69950	1,23153	2551,0	517848	812
813	660969	537367797	28,5132	9,3332	6,70073	1,23001	2554,1	519124	813
814	662596	539353144	28,5307	9,3370	6,70196	1,22850	2557,3	520402	814
815	664225	541343375	28,5482	9,3408	6,70319	1,22699	2560,4	521681	815
816	665856	543338496	28,5657	9,3447	6,70441	1,22549	2563,5	522962	816
817	667489	545338513	28,5832	9,3485	6,70564	1,22399	2566,7	524245	817
818	669124	547343432	28,6007	9,3523	6,70686	1,22249	2569,8	525529	818
819	670761	549353259	28,6182	9,3561	6,70808	1,22100	2573,0	526814	819
820	672400	551368000	28,6356	9,3599	6,70930	1,21951	2576,1	528102	820
821	674041	553387661	28,6531	9,3637	6,71052	1,21803	2579,2	529391	821
822	675684	555412248	28,6705	9,3675	6,71174	1,21655	2582,4	530681	822
823	677329	557441767	28,6880	9,3713	6,71296	1,21507	2585,5	531973	823
824	678976	559476224	28,7054	9,3751	6,71417	1,21359	2588,7	533267	824
825	680625	561515625	28,7228	9,3789	6,71538	1,21212	2591,8	534562	825
826	682276	563559976	28,7402	9,3827	6,71659	1,21065	2595,0	535858	826
827	683929	565609283	28,7576	9,3865	6,71780	1,20919	2598,1	537157	827
828	685584	567663552	28,7750	9,3902	6,71901	1,20773	2601,2	538456	828
829	687241	569722789	28,7924	9,3940	6,72022	1,20627	2604,4	539758	829
830	688900	571787000	28,8097	9,3978	6,72143	1,20482	2607,5	541061	830
831	690561	573856191	28,8271	9,4016	6,72263	1,20337	2610,7	542365	831
832	692224	575930368	28,8444	9,4053	6,72383	1,20192	2613,8	543671	832
833	693889	578009537	28,8617	9,4091	6,72503	1,20048	2616,9	544979	833
834	695556	580093704	28,8791	9,4129	6,72623	1,19904	2620,1	546288	834
835	697225	582182875	28,8964	9,4166	6,72743	1,19760	2623,2	547599	835
836	698896	584277056	28,9137	9,4204	6,72863	1,19617	2626,4	548912	836
837	700569	586376253	28,9310	9,4241	6,72982	1,19474	2629,5	550226	837
838	702244	588480472	28,9482	9,4279	6,73102	1,19332	2632,7	551541	838
839	703921	590589719	28,9655	9,4316	6,73221	1,19190	2635,8	552858	839
840	705600	592704000	28,9828	9,4354	6,73340	1,19048	2638,9	554177	840
841	707281	594823321	29,0000	9,4391	6,73459	1,18906	2642,1	555497	841
842	708964	596947688	29,0172	9,4429	6,73578	1,18765	2645,2	556819	842
843	710649	599077107	29,0345	9,4466	6,73697	1,18624	2648,4	558142	843
844	712336	601211584	29,0517	9,4503	6,73815	1,18483	2651,5	559467	844
845	714025	603351125	29,0689	9,4541	6,73934	1,18343	2654,6	560794	845
846	715716	605495736	29,0861	9,4578	6,74052	1,18203	2657,8	562122	846
847	717409	607645423	29,1033	9,4615	6,74170	1,18064	2660,9	563452	847
848	719104	609800192	29,1204	9,4652	6,74288	1,17925	2664,1	564783	848
849	720801	611960049	29,1376	9,4690	6,74406	1,17786	2667,2	566116	849

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
850	722500	614125000	29,1548	9,4727	6,74524	1,17647	2670,4	567450	850
851	724201	616295051	29,1719	9,4764	6,74641	1,17509	2673,5	568786	851
852	725904	618470208	29,1890	9,4801	6,74759	1,17371	2676,6	570124	852
853	727609	620650477	29,2062	9,4838	6,74876	1,17233	2679,8	571463	853
854	729316	622835864	29,2233	9,4875	6,74993	1,17096	2682,9	572803	854
855	731025	625026375	29,2404	9,4912	6,75110	1,16959	2686,1	574146	855
856	732736	627222016	29,2575	9,4949	6,75227	1,16822	2689,2	575490	856
857	734449	629422793	29,2746	9,4986	6,75344	1,16686	2692,3	576835	857
858	736164	631628712	29,2916	9,5023	6,75460	1,16550	2695,5	578182	858
859	737881	633839779	29,3087	9,5060	6,75577	1,16414	2698,6	579530	859
860	739600	636056000	29,3258	9,5097	6,75693	1,16279	2701,8	580880	860
861	741321	638277381	29,3428	9,5134	6,75809	1,16144	2704,9	582232	861
862	743044	640503928	29,3598	9,5171	6,75926	1,16009	2708,1	583585	862
863	744769	642735647	29,3769	9,5207	6,76041	1,15875	2711,2	584940	863
864	746496	644972544	29,3939	9,5244	6,76157	1,15741	2714,3	586297	864
865	748225	647214625	29,4109	9,5281	6,76273	1,15607	2717,5	587655	865
866	749956	649461896	29,4279	9,5317	6,76388	1,15473	2720,6	589014	866
867	751689	651714363	29,4449	9,5354	6,76504	1,15340	2723,8	590375	867
868	753424	653972032	29,4618	9,5391	6,76619	1,15207	2726,9	591738	868
869	755161	656234909	29,4788	9,5427	6,76734	1,15075	2730,0	593102	869
870	756900	658503000	29,4958	9,5464	6,76849	1,14943	2733,2	594468	870
871	758641	660776311	29,5127	9,5501	6,76964	1,14811	2736,3	595835	871
872	760384	663054848	29,5296	9,5537	6,77079	1,14679	2739,5	597204	872
873	762129	665338617	29,5466	9,5574	6,77194	1,14548	2742,6	598575	873
874	763876	667627624	29,5635	9,5610	6,77308	1,14416	2745,8	599947	874
875	765625	669921875	29,5804	9,5647	6,77422	1,14286	2748,9	601320	875
876	767376	672221376	29,5973	9,5683	6,77537	1,14155	2752,0	602696	876
877	769129	674526133	29,6142	9,5719	6,77651	1,14025	2755,2	604073	877
878	770884	676836152	29,6311	9,5756	6,77765	1,13895	2758,3	605451	878
879	772641	679151439	29,6479	9,5792	6,77878	1,13766	2761,5	606831	879
880	774400	681472000	29,6648	9,5828	6,77992	1,13636	2764,6	608212	880
881	776161	683797841	29,6816	9,5865	6,78106	1,13507	2767,7	609595	881
882	777924	686128968	29,6985	9,5901	6,78219	1,13379	2770,9	610980	882
883	779689	688465387	29,7153	9,5937	6,78333	1,13250	2774,0	612366	883
884	781456	690807104	29,7321	9,5973	6,78446	1,13122	2777,2	613754	884
885	783225	693154125	29,7489	9,6010	6,78559	1,12994	2780,3	615143	885
886	784996	695506456	29,7658	9,6046	6,78672	1,12867	2783,5	616534	886
887	786769	697864103	29,7825	9,6082	6,78784	1,12740	2786,6	617927	887
888	788544	700227072	29,7993	9,6118	6,78897	1,12613	2789,7	619321	888
889	790321	702595369	29,8161	9,6154	6,79010	1,12486	2792,9	620717	889
890	792100	704969000	29,8329	9,6190	6,79122	1,12360	2796,0	622114	890
891	793881	707347971	29,8496	9,6226	6,79234	1,12233	2799,2	623513	891
892	795664	709732288	29,8664	9,6262	6,79347	1,12108	2802,3	624913	892
893	797449	712121957	29,8831	9,6298	6,79459	1,11982	2805,4	626315	893
894	799236	714516984	29,8998	9,6334	6,79571	1,11857	2808,6	627718	894
895	801025	716917375	29,9166	9,6370	6,79682	1,11732	2811,7	629124	895
896	802816	719323136	29,9333	9,6406	6,79794	1,11607	2814,9	630530	896
897	804609	721734273	29,9500	9,6442	6,79906	1,11483	2818,0	631938	897
898	806404	724150792	29,9666	9,6477	6,80017	1,11359	2821,2	633348	898
899	808201	726572699	29,9833	9,6513	6,80128	1,11235	2824,3	634760	899

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
900	810000	729000000	30,0000	9,6549	6,80239	1,11111	2827,4	636173	900
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	6,80351	1,10988	2830,6	637587	901
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	6,80461	1,10865	2833,7	639003	902
903	815409	736314327	30,0500	9,6656	6,80572	1,10742	2836,9	640421	903
904	817216	738763264	30,0666	9,6692	6,80683	1,10619	2840,0	641840	904
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	6,80793	1,10497	2843,1	643261	905
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	6,80904	1,10375	2846,3	644683	906
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	6,81014	1,10254	2849,4	646107	907
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	6,81124	1,10132	2852,6	647533	908
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	6,81235	1,10011	2855,7	648960	909
910	828100	753571000	30,1662	9,6905	6,81344	1,09890	2858,8	650388	910
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	6,81454	1,09769	2862,0	651818	911
912	831744	758550528	30,1993	9,6976	6,81564	1,09649	2865,1	653250	912
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	6,81674	1,09529	2868,3	654684	913
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	6,81783	1,09409	2871,4	656118	914
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	6,81892	1,09290	2874,6	657555	915
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	6,82002	1,09170	2877,7	658993	916
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	6,82111	1,09051	2880,8	660433	917
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	6,82220	1,08932	2884,0	661874	918
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	6,82329	1,08814	2887,1	663317	919
920	846400	778688000	30,3315	9,7259	6,82437	1,08696	2890,3	664761	920
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	6,82546	1,08578	2893,4	666207	921
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	6,82655	1,08460	2896,5	667654	922
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	6,82763	1,08342	2899,7	669103	923
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	6,82871	1,08225	2902,8	670554	924
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	6,82979	1,08108	2906,0	672006	925
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	6,83087	1,07991	2909,1	673460	926
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	6,83195	1,07875	2912,3	674915	927
928	861184	799178752	30,4631	9,7540	6,83303	1,07759	2915,4	676372	928
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	6,83411	1,07643	2918,5	677831	929
930	864900	804357000	30,4959	9,7610	6,83518	1,07527	2921,7	679291	930
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	6,83626	1,07411	2924,8	680752	931
932	868624	809557568	30,5287	9,7680	6,83733	1,07296	2928,0	682216	932
933	870489	812166237	30,5450	9,7715	6,83841	1,07181	2931,1	683680	933
934	872356	814780504	30,5614	9,7750	6,83948	1,07066	2934,2	685147	934
935	874225	817400375	30,5778	9,7785	6,84055	1,06952	2937,4	686615	935
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	6,84162	1,06838	2940,5	688084	936
937	877969	822656953	30,6105	9,7854	6,84268	1,06724	2943,7	689555	937
938	879844	825293672	30,6268	9,7889	6,84375	1,06610	2946,8	691028	938
939	881721	827936019	30,6431	9,7924	6,84482	1,06496	2950,0	692502	939
940	883600	830584000	30,6594	9,7959	6,84588	1,06383	2953,1	693978	940
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	6,84694	1,06270	2956,2	695455	941
942	887364	835896888	30,6920	9,8028	6,84801	1,06157	2959,4	696934	942
943	889249	838561807	30,7083	9,8063	6,84907	1,06045	2962,5	698415	943
944	891136	841232384	30,7246	9,8097	6,85013	1,05932	2965,7	699897	944
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	6,85118	1,05820	2968,8	701380	945
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	6,85224	1,05708	2971,9	702865	946
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	6,85330	1,05597	2975,1	704352	947
948	898704	851971392	30,7896	9,8236	6,85435	1,05485	2978,2	705840	948
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	6,85541	1,05374	2981,4	707330	949

Potenzen, Wurzeln, Natürliche Logarithmen, Reziproke Werte, Kreisumfänge und -inhalte.

n	n^2	n^3	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$	$\ln n$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$	n
950	902500	857375000	30,8221	9,8305	6,85646	1,05263	2984,5	708822	950
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	6,85751	1,05152	2987,7	710315	951
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	6,85857	1,05042	2990,8	711809	952
953	908209	865523177	30,8707	9,8408	6,85961	1,04932	2993,9	713306	953
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	6,86066	1,04822	2997,1	714803	954
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	6,86171	1,04712	3000,2	716303	955
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	6,86276	1,04603	3003,4	717804	956
957	915849	876467493	30,9354	9,8546	6,86380	1,04493	3006,5	719306	957
958	917764	879217912	30,9516	9,8580	6,86485	1,04384	3009,6	720810	958
959	919681	881974079	30,9677	9,8614	6,86589	1,04275	3012,8	722316	959
960	921600	884736000	30,9839	9,8648	6,86693	1,04167	3015,9	723823	960
961	923521	887503681	31,0000	9,8683	6,86797	1,04058	3019,1	725332	961
962	925444	890277128	31,0161	9,8717	6,86901	1,03950	3022,2	726842	962
963	927369	893056347	31,0322	9,8751	6,87005	1,03842	3025,4	728354	963
964	929296	895841344	31,0483	9,8785	6,87109	1,03734	3028,5	729867	964
965	931225	898632125	31,0644	9,8819	6,87213	1,03627	3031,6	731382	965
966	933156	901428696	31,0805	9,8854	6,87316	1,03520	3034,8	732899	966
967	935089	904231063	31,0966	9,8888	6,87420	1,03413	3037,9	734417	967
968	937024	907039232	31,1127	9,8922	6,87523	1,03306	3041,1	735937	968
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	6,87626	1,03199	3044,2	737458	969
970	940900	912673000	31,1448	9,8990	6,87730	1,03093	3047,3	738981	970
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	6,87833	1,02987	3050,5	740506	971
972	944784	918330048	31,1769	9,9058	6,87936	1,02881	3053,6	742032	972
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	6,88038	1,02775	3056,8	743559	973
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	6,88141	1,02669	3059,9	745088	974
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	6,88244	1,02564	3063,1	746619	975
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	6,88346	1,02459	3066,2	748151	976
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	6,88449	1,02354	3069,3	749685	977
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	6,88551	1,02249	3072,5	751221	978
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	6,88653	1,02145	3075,6	752758	979
980	960400	941192000	31,3050	9,9329	6,88755	1,02041	3078,8	754296	980
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	6,88857	1,01937	3081,9	755837	981
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	6,88959	1,01833	3085,0	757378	982
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	6,89061	1,01729	3088,2	758922	983
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	6,89163	1,01626	3091,3	760466	984
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	6,89264	1,01523	3094,5	762013	985
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	6,89366	1,01420	3097,6	763561	986
987	974169	961504803	31,4166	9,9565	6,89467	1,01317	3100,8	765111	987
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	6,89568	1,01215	3103,9	766662	988
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	6,89669	1,01112	3107,0	768214	989
990	980100	970299000	31,4643	9,9666	6,89770	1,01010	3110,2	769769	990
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	6,89871	1,00908	3113,3	771325	991
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	6,89972	1,00806	3116,5	772882	992
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	6,90073	1,00705	3119,6	774441	993
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	6,90174	1,00604	3122,7	776002	994
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	6,90274	1,00503	3125,9	777564	995
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	6,90375	1,00402	3129,0	779128	996
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	6,90475	1,00301	3132,2	780693	997
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	6,90575	1,00200	3135,3	782260	998
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	6,90675	1,00100	3138,5	783828	999

Primzahlen und Faktoren der Zahlen von 1—1000.

1		51	3×17	101		151	
2		52	$2^2 \times 13$	102	$2 \times 3 \times 17$	152	$2^3 \times 19$
3		53		103		153	$3^2 \times 17$
4	2^2	54	2×3^2	104	$2^3 \times 13$	154	$2 \times 7 \times 11$
5		55	5×11	105	$3 \times 5 \times 7$	155	5×31
6	2×3	56	$2^3 \times 7$	106	2×53	156	$2^2 \times 3 \times 13$
7		57	3×19	107		157	
8	2^3	58	2×29	108	$2^2 \times 3^2$	158	2×79
9	3^2	59		109		159	3×53
10	2×5	60	$2^2 \times 3 \times 5$	110	$2 \times 5 \times 11$	160	$2^5 \times 5$
11		61		111	3×7	161	7×23
12	$2^2 \times 3$	62	2×31	112	$2^4 \times 7$	162	2×3^4
13		63	$3^2 \times 7$	113		163	
14	2×7	64	2^6	114	$2 \times 3 \times 19$	164	$2^2 \times 41$
15	3×5	65	5×13	115	5×23	165	$3 \times 5 \times 11$
16	2^4	66	$2 \times 3 \times 11$	116	$2^2 \times 29$	166	2×83
17		67		117	$3^2 \times 13$	167	
18	2×3^2	68	$2^2 \times 17$	118	2×59	168	$2^3 \times 3 \times 7$
19		69	3×23	119	7×17	169	13^2
20	$2^2 \times 5$	70	$2 \times 5 \times 7$	120	$2^2 \times 3 \times 5$	170	$2 \times 5 \times 17$
21	3×7	71		121	11^2	171	$3^2 \times 19$
22	2×11	72	$2^3 \times 3^2$	122	2×61	172	$2^2 \times 43$
23		73		123	3×41	173	
24	$2^3 \times 3$	74	2×37	124	$2^2 \times 31$	174	$2 \times 3 \times 29$
25	5^2	75	3×5^2	125	5^3	175	$5^2 \times 7$
26	2×13	76	$2^2 \times 19$	126	$2 \times 3^2 \times 7$	176	$2^4 \times 11$
27	3^3	77	7×11	127		177	3×59
28	$2^2 \times 7$	78	$2 \times 3 \times 13$	128	2^7	178	2×89
29		79		129	3×43	179	
30	$2 \times 3 \times 5$	80	$2^4 \times 5$	130	$2 \times 5 \times 13$	180	$2^2 \times 3^2 \times 5$
31		81	3^4	131		181	
32	2^5	82	2×41	132	$2^2 \times 3 \times 11$	182	$2 \times 7 \times 13$
33	3×11	83		133	7×19	183	3×61
34	2×17	84	$2^2 \times 3 \times 7$	134	2×67	184	$\times 23$
35	5×7	85	5×17	135	$3^2 \times 5$	185	5×37
36	$2^2 \times 3^2$	86	2×43	136	$2^2 \times 17$	186	$2 \times 3 \times 31$
37		87	3×29	137		187	11×17
38	2×19	88	$2^2 \times 11$	138	$2 \times 3 \times 23$	188	$2^2 \times 47$
39	3×13	89		139		189	$3^2 \times 7$
40	$2^3 \times 5$	90	$2 \times 3^2 \times 5$	140	$2^2 \times 5 \times 7$	190	$2 \times 5 \times 19$
41		91	7×13	141	3×47	191	
42	$2 \times 3 \times 7$	92	$2^2 \times 23$	142	2×71	192	$2^6 \times 3$
43		93	3×31	143	11×13	193	
44	$2^2 \times 11$	94	2×47	144	$2^4 \times 3^2$	194	2×97
45	$3^2 \times 5$	95	5×19	145	5×29	195	$3 \times 5 \times 13$
46	2×23	96	$2^5 \times 3$	146	2×73	196	$2^2 \times 7^2$
47		97		147	3×7^2	197	
48	$2^4 \times 3$	98	2×7^2	148	$2^2 \times 37$	198	$2 \times 3^2 \times 11$
49	7^2	99	$3^2 \times 11$	149		199	
50	2×5^2	100	$2^2 \times 5^2$	150	$2 \times 3 \times 5^2$	200	$2^3 \times 5^2$

Primzahlen und Faktoren der Zahlen von 1—1000.

201	3 × 67	251		301	7 × 43	351	3 ³ × 13
202	2 × 101	252	2 ² × 3 ² × 7	302	2 × 151	352	2 ⁵ × 11
203	7 × 29	253	11 × 23	303	3 × 101	353	
204	2 ² × 3 × 17	254	2 × 127	304	2 ⁴ × 19	354	2 × 3 × 59
205	5 × 41	255	3 × 5 × 17	305	5 × 61	355	5 × 71
206	2 × 103	256	2 ⁸	306	2 × 3 ² × 17	356	2 ² × 89
207	3 ³ × 23	257		307		357	3 × 7 × 17
208	2 ⁴ × 13	258	2 × 3 × 43	308	2 ² × 7 × 11	358	2 × 179
209	11 × 19	259	7 × 37	309	3 × 103	359	
210	2 × 3 × 5 × 7	260	2 ² × 5 × 13	310	2 × 5 × 31	360	2 ³ × 3 ² × 5
211		261	3 ² × 29	311		361	19 ²
212	2 ² × 53	262	2 × 131	312	2 ³ × 3 × 13	362	2 × 181
213	3 × 71	263		313		363	3 × 11 ²
214	2 × 107	264	2 ² × 3 × 11	314	2 × 157	364	2 ² × 7 × 13
215	5 × 43	265	5 × 53	315	3 ² × 5 × 7	365	5 × 73
216	2 ³ × 3 ³	266	2 × 7 × 19	316	2 ² × 79	366	2 × 3 × 61
217	7 × 31	267	3 × 89	317		367	
218	2 × 109	268	2 ² × 67	318	2 × 3 × 53	368	2 ⁴ × 23
219	3 × 73	269		319	11 × 29	369	3 ² × 41
220	2 ² × 5 × 11	270	2 × 3 ² × 5	320	2 ⁵ × 5	370	2 × 5 × 37
221	13 × 17	271		321	3 × 107	371	7 × 53
222	2 × 3 × 37	272	2 ⁴ × 17	322	2 × 7 × 23	372	2 ² × 3 × 31
223		273	3 × 7 × 13	323	17 × 19	373	
224	2 ² × 7	274	2 × 137	324	2 ² × 3 ⁴	374	2 × 11 × 17
225	3 ² × 5 ²	275	5 ² × 11	325	5 ² × 13	375	3 × 5 ³
226	2 × 113	276	2 ² × 3 × 23	326	2 × 163	376	2 ³ × 47
227		277		327	3 × 109	377	13 × 29
228	2 ² × 3 × 19	278	2 × 139	328	2 ³ × 41	378	2 × 3 ² × 7
229		279	3 ² × 31	329	7 × 47	379	
230	2 × 5 × 23	280	2 ² × 5 × 7	330	2 × 3 × 5 × 11	380	2 ³ × 5 × 19
231	3 × 7 × 11	281		331		381	3 × 127
232	2 ² × 29	282	2 × 3 × 47	332	2 ² × 83	382	2 × 191
233		283		333	3 ² × 37	383	
234	2 × 3 ² × 13	284	2 ² × 71	334	2 × 167	384	2 ⁷ × 3
235	5 × 47	285	3 × 5 × 19	335	5 × 67	385	5 × 7 × 11
236	2 ² × 59	286	2 × 11 × 13	336	2 ⁴ × 3 × 7	386	2 × 193
237	3 × 79	287	7 × 41	337		387	3 ² × 43
238	2 × 7 × 17	288	2 ⁵ × 3 ²	338	2 × 13 ²	388	2 ² × 97
239		289	17 ²	339	3 × 113	389	
240	2 ² × 3 × 5	290	2 × 5 × 29	340	2 ² × 5 × 17	390	2 × 3 × 5 × 13
241		291	3 × 97	341	11 × 31	391	17 × 23
242	2 × 11 ²	292	2 ² × 73	342	2 × 3 ² × 19	392	2 ³ × 7 ²
243	3 ⁵	293		343	7 ³	393	3 × 131
244	2 ² × 61	294	2 × 3 × 7 ²	344	2 ² × 43	394	2 × 197
245	5 × 7 ²	295	5 × 59	345	3 × 5 × 23	395	5 × 79
246	2 × 3 × 41	296	2 ³ × 37	346	2 × 173	396	2 ² × 3 ² × 11
247	13 × 19	297	3 ³ × 11	347		397	
248	2 ³ × 31	298	2 × 149	348	2 ² × 3 × 29	398	2 × 199
249	3 × 83	299	13 × 23	349		399	3 × 7 × 19
250	2 × 5 ³	300	2 ² × 3 × 5 ²	350	2 × 5 ² × 7	400	2 ⁴ × 5 ²

Primzahlen und Faktoren der Zahlen von 1—1000.

401		451	11 × 41	501	3 × 167	551	19 × 29
402	2 × 3 × 67	452	2 ² × 113	502	2 × 251	552	2 ³ × 3 × 23
403	13 × 31	453	3 × 151	503		553	7 × 79
404	2 ² × 101	454	2 × 227	504	2 ³ × 3 ² × 7	554	2 × 277
405	3 ² × 5	455	5 × 7 × 13	505	5 × 101	555	3 × 5 × 37
406	2 × 7 × 29	456	2 ³ × 3 × 19	506	2 × 11 × 23	556	2 ² × 139
407	11 × 37	457		507	3 × 13 ²	557	
408	2 ³ × 3 × 17	458	2 × 229	508	2 ² × 127	558	2 × 3 ² × 31
409		459	3 ² × 17	509		559	13 × 43
410	2 × 5 × 41	460	2 ³ × 5 × 23	510	2 × 3 × 5 × 17	560	2 ⁴ × 5 × 7
411	3 × 137	461		511	7 × 73	561	3 × 11 × 17
412	2 ² × 103	462	2 × 3 × 7 × 11	512	2 ⁹	562	2 × 281
413	7 × 59	463		513	3 ² × 19	563	
414	2 × 3 ² × 23	464	2 ⁴ × 29	514	2 × 257	564	2 ² × 3 × 47
415	5 × 83	465	3 × 5 × 31	515	5 × 103	565	5 × 113
416	2 ² × 13	466	2 × 233	516	2 ² × 3 × 43	566	2 × 283
417	3 × 139	467		517	11 × 47	567	3 ⁴ × 7
418	2 × 11 × 19	468	2 ³ × 3 ² × 13	518	2 × 7 × 37	568	2 ³ × 71
419		469	7 × 67	519	3 × 173	569	
420	2 ³ × 3 × 5 × 7	470	2 × 5 × 47	520	2 ³ × 5 × 13	570	2 × 3 × 5 × 19
421		471	3 × 157	521		571	
422	2 × 211	472	2 ³ × 59	522	2 × 3 ² × 29	572	2 ² × 11 × 13
423	3 ² × 47	473	11 × 43	523		573	3 × 191
424	2 ² × 53	474	2 × 3 × 79	524	2 ² × 131	574	2 × 7 × 41
425	5 ² × 17	475	5 ² × 19	525	3 × 5 ² × 7	575	5 ² × 23
426	2 × 3 × 71	476	2 ³ × 7 × 17	526	2 × 263	576	2 ⁵ × 3 ²
427	7 × 61	477	3 ² × 53	527	17 × 31	577	
428	2 ² × 107	478	2 × 239	528	2 ⁴ × 3 × 11	578	2 × 17 ²
429	3 × 11 × 13	479		529	23 ²	579	3 × 193
430	2 × 5 × 43	480	2 ⁵ × 3 × 5	530	2 × 5 × 53	580	2 ² × 5 × 29
431		481	13 × 37	531	3 ² × 59	581	7 × 83
432	2 ⁴ × 3 ²	482	2 × 241	532	2 ² × 7 × 19	582	2 × 3 × 97
433		483	3 × 7 × 23	533	13 × 41	583	11 × 53
434	2 × 7 × 31	484	2 ² × 11 ²	534	2 × 3 × 89	584	2 ³ × 73
435	3 × 5 × 29	485	5 × 97	535	5 × 107	585	3 ² × 5 × 13
436	2 ² × 109	486	2 × 3 ⁵	536	2 ² × 67	586	2 × 293
437	19 × 23	487		537	3 × 179	587	
438	2 × 3 × 73	488	2 ³ × 61	538	2 × 269	588	2 ³ × 3 × 7 ²
439		489	3 × 163	539	7 ² × 11	589	19 × 31
440	2 ³ × 5 × 11	490	2 × 5 × 7 ²	540	2 ² × 3 ² × 5	590	2 × 5 × 59
441	3 ² × 7 ²	491		541		591	3 × 197
442	2 × 13 × 17	492	2 ³ × 3 × 41	542	2 × 271	592	2 ⁴ × 37
443		493	17 × 29	543	3 × 181	593	
444	2 ² × 3 × 37	494	2 × 13 × 19	544	2 ² × 17	594	2 × 3 ² × 11
445	5 × 89	495	3 ² × 5 × 11	545	5 × 109	595	5 × 7 × 17
446	2 × 223	496	2 ⁴ × 31	546	2 × 3 × 7 × 13	596	2 ² × 149
447	3 × 149	497	7 × 71	547		597	3 × 199
448	2 ⁵ × 7	498	2 × 3 × 83	548	2 ² × 137	598	2 × 13 × 23
449		499		549	3 ² × 61	599	
450	2 × 3 ² × 5 ²	500	2 ² × 5 ³	550	2 × 5 ² × 11	600	2 ³ × 3 × 5 ²

Primzahlen und Faktoren der Zahlen von 1—1000.

601		651	$3 \times 7 \times 31$	701		751	
602	$2 \times 7 \times 43$	652	$2^2 \times 163$	702	$2 \times 3^2 \times 13$	752	$2^4 \times 47$
603	$3^2 \times 67$	653		703	19×37	753	3×251
604	$2^2 \times 151$	654	$2 \times 3 \times 109$	704	$2^2 \times 11$	754	$2 \times 13 \times 29$
605	5×11^2	655	5×131	705	$3 \times 5 \times 47$	755	5×151
606	$2 \times 3 \times 101$	656	$2^4 \times 41$	706	2×353	756	$2^2 \times 3^2 \times 7$
607		657	$3^2 \times 73$	707	7×101	757	
608	$2^2 \times 19$	658	$2 \times 7 \times 47$	708	$2^2 \times 3 \times 59$	758	2×379
609	$3 \times 7 \times 29$	659		709		759	$3 \times 11 \times 23$
610	$2 \times 5 \times 61$	660	$2^2 \times 3 \times 5 \times 11$	710	$2 \times 5 \times 71$	760	$2^2 \times 5 \times 19$
611	13×47	661		711	$3^2 \times 79$	761	
612	$2^2 \times 3^2 \times 17$	662	2×331	712	$2^2 \times 89$	762	$2 \times 3 \times 127$
613		663	$3 \times 13 \times 17$	713	23×31	763	7×109
614	2×307	664	$2^2 \times 83$	714	$2 \times 3 \times 7 \times 17$	764	$2^2 \times 191$
615	$3 \times 5 \times 41$	665	$5 \times 7 \times 19$	715	$5 \times 11 \times 13$	765	$3^2 \times 5 \times 17$
616	$2^2 \times 7 \times 11$	666	$2 \times 3^2 \times 37$	716	$2^2 \times 179$	766	2×383
617		667	23×29	717	3×239	767	13×59
618	$2 \times 3 \times 103$	668	$2^2 \times 167$	718	2×359	768	$2^8 \times 3$
619		669	3×223	719		769	
620	$2^2 \times 5 \times 31$	670	$2 \times 5 \times 67$	720	$2^4 \times 3^2 \times 5$	770	$2 \times 5 \times 7 \times 11$
621	$3^2 \times 23$	671	11×61	721	7×103	771	3×257
622	2×311	672	$2^2 \times 3 \times 7$	722	2×19^2	772	$2^2 \times 193$
623	7×89	673		723	3×241	773	
624	$2^2 \times 3 \times 13$	674	2×337	724	$2^2 \times 181$	774	$2 \times 3^2 \times 43$
625	5^4	675	$3^2 \times 5^2$	725	$5^2 \times 29$	775	$5^2 \times 31$
626	2×313	676	$2^2 \times 13^2$	726	$2 \times 3 \times 11^2$	776	$2^2 \times 97$
627	$3 \times 11 \times 19$	677		727		777	$3 \times 7 \times 37$
628	$2^2 \times 157$	678	$2 \times 3 \times 113$	728	$2^2 \times 7 \times 13$	778	2×389
629	17×37	679	7×97	729	3^5	779	19×41
630	$2 \times 3^2 \times 5 \times 7$	680	$2^2 \times 5 \times 17$	730	$2 \times 5 \times 73$	780	$2^2 \times 3 \times 5 \times 13$
631		681	3×227	731	17×43	781	11×71
632	$2^2 \times 79$	682	$2 \times 11 \times 31$	732	$2^2 \times 3 \times 61$	782	$2 \times 17 \times 23$
633	3×211	683		733		783	$3^2 \times 29$
634	2×317	684	$2^2 \times 3^2 \times 19$	734	2×367	784	$2^4 \times 7^2$
635	5×127	685	5×137	735	$3 \times 5 \times 7^2$	785	5×157
636	$2^2 \times 3 \times 53$	686	2×7^2	736	$2^2 \times 23$	786	$2 \times 3 \times 131$
637	$7^2 \times 13$	687	3×229	737	11×67	787	
638	$2 \times 11 \times 29$	688	$2^4 \times 43$	738	$2 \times 3^2 \times 41$	788	$2^2 \times 197$
639	$3^2 \times 71$	689	13×53	739		789	3×263
640	$2^7 \times 5$	690	$2 \times 3 \times 5 \times 23$	740	$2^2 \times 5 \times 37$	790	$2 \times 5 \times 79$
641		691		741	$3 \times 13 \times 19$	791	7×113
642	$2 \times 3 \times 107$	692	$2^2 \times 173$	742	$2 \times 7 \times 53$	792	$2^2 \times 3^2 \times 11$
643		693	$3^2 \times 7 \times 11$	743		793	13×61
644	$2^2 \times 7 \times 23$	694	2×347	744	$2^2 \times 3 \times 31$	794	2×397
645	$3 \times 5 \times 43$	695	5×139	745	5×149	795	$3 \times 5 \times 53$
646	$2 \times 17 \times 19$	696	$2^2 \times 3 \times 29$	746	2×373	796	$2^2 \times 199$
647		697	17×41	747	$3^2 \times 83$	797	
648	$2^2 \times 3^4$	698	2×349	748	$2^2 \times 11 \times 17$	798	$2 \times 3 \times 7 \times 19$
649	11×59	699	3×233	749	7×107	799	17×47
650	$2 \times 5^2 \times 13$	700	$2^2 \times 5^2 \times 7$	750	$2 \times 3 \times 5^2$	800	$2^2 \times 5^3$

Primzahlen und Faktoren der Zahlen von 1—1000.

801	$3^3 \times 89$	851	23×37	901	17×53	951	3×317
802	2×401	852	$2^3 \times 3 \times 71$	902	$2 \times 11 \times 41$	952	$2^3 \times 7 \times 17$
803	11×73	853		903	$3 \times 7 \times 43$	953	
804	$2^2 \times 3 \times 67$	854	$2 \times 7 \times 61$	904	$2^3 \times 113$	954	$2 \times 3^3 \times 53$
805	$5 \times 7 \times 23$	855	$3^3 \times 5 \times 19$	905	5×181	955	5×191
806	$2 \times 13 \times 31$	856	$2^3 \times 107$	906	$2 \times 3 \times 151$	956	$2^2 \times 239$
807	3×269	857		907		957	$3 \times 11 \times 29$
808	$2^3 \times 101$	858	$2 \times 3 \times 11 \times 13$	908	$2^3 \times 227$	958	2×479
809		859		909	$3^3 \times 101$	959	7×137
810	$2 \times 3^4 \times 5$	860	$2^3 \times 5 \times 43$	910	$2 \times 5 \times 7 \times 13$	960	$2^3 \times 3 \times 5$
811		861	$3 \times 7 \times 41$	911		961	31^2
812	$2^3 \times 7 \times 29$	862	2×431	912	$2^4 \times 3 \times 19$	962	$2 \times 13 \times 37$
813	3×271	863		913	11×83	963	$3^3 \times 107$
814	$2 \times 11 \times 37$	864	$2^5 \times 3^3$	914	2×457	964	$2^2 \times 241$
815	5×163	865	5×173	915	$3 \times 5 \times 61$	965	5×193
816	$2^4 \times 3 \times 17$	866	2×433	916	$2^3 \times 229$	966	$2 \times 3 \times 7 \times 23$
817	19×43	867	3×17^2	917	7×131	967	
818	2×409	868	$2^3 \times 7 \times 31$	918	$2 \times 3^3 \times 17$	968	$2^3 \times 11^2$
819	$3^3 \times 7 \times 13$	869	11×79	919		969	$3 \times 17 \times 19$
820	$2^3 \times 5 \times 41$	870	$2 \times 3 \times 5 \times 29$	920	$2^3 \times 5 \times 23$	970	$2 \times 5 \times 97$
821		871	13×67	921	3×307	971	
822	$2 \times 3 \times 137$	872	$2^3 \times 109$	922	2×461	972	$2^3 \times 3^5$
823		873	$3^3 \times 97$	923	13×71	973	7×139
824	$2^3 \times 103$	874	$2 \times 19 \times 23$	924	$2^2 \times 3 \times 7 \times 11$	974	2×487
825	$3 \times 5^3 \times 11$	875	$5^3 \times 7$	925	$5^3 \times 37$	975	$3 \times 5^3 \times 13$
826	$2 \times 7 \times 59$	876	$2^3 \times 3 \times 73$	926	2×463	976	$2^4 \times 61$
827		877		927	$3^3 \times 103$	977	
828	$2^3 \times 3^3 \times 23$	878	2×439	928	$2^5 \times 29$	978	$2 \times 3 \times 163$
829		879	3×293	929		979	11×89
830	$2 \times 5 \times 83$	880	$2^4 \times 5 \times 11$	930	$2 \times 3 \times 5 \times 31$	980	$2^3 \times 5 \times 7^2$
831	3×277	881		931	$7^2 \times 19$	981	$3^3 \times 109$
832	$2^6 \times 13$	882	$2 \times 3^3 \times 7^2$	932	$2^3 \times 233$	982	2×491
833	$7^2 \times 17$	883		933	3×311	983	
834	$2 \times 3 \times 139$	884	$2^3 \times 13 \times 17$	934	2×467	984	$2^3 \times 3 \times 41$
835	5×167	885	$3 \times 5 \times 59$	935	$5 \times 11 \times 17$	985	5×197
836	$2^3 \times 11 \times 19$	886	2×443	936	$2^3 \times 3^3 \times 13$	986	$2 \times 17 \times 29$
837	$3^3 \times 31$	887		937		987	$3 \times 7 \times 47$
838	2×419	888	$2^3 \times 3 \times 37$	938	$2 \times 7 \times 67$	988	$2^3 \times 13 \times 19$
839		889	7×127	939	3×313	989	23×43
840	$2^3 \times 3 \times 5 \times 7$	890	$2 \times 5 \times 89$	940	$2^2 \times 5 \times 47$	990	$2 \times 3^3 \times 5 \times 11$
841	29^2	891	$3^4 \times 11$	941		991	
842	2×421	892	$2^3 \times 223$	942	$2 \times 3 \times 157$	992	$2^5 \times 31$
843	3×281	893	19×47	943	23×41	993	3×331
844	$2^2 \times 211$	894	$2 \times 3 \times 149$	944	$2^4 \times 59$	994	$2 \times 7 \times 71$
845	5×13^2	895	5×179	945	$3^3 \times 5 \times 7$	995	5×199
846	$2 \times 3^3 \times 47$	896	$2^7 \times 7$	946	$2 \times 11 \times 43$	996	$2^3 \times 3 \times 83$
847	7×11^2	897	$3 \times 13 \times 23$	947		997	
848	$2^4 \times 53$	898	2×449	948	$2^3 \times 3 \times 79$	998	2×499
849	3×283	899	29×31	949	13×73	999	$3^3 \times 37$
850	$2 \times 5^3 \times 17$	900	$2^3 \times 3^3 \times 5^2$	950	$2 \times 5^3 \times 19$	1000	$2^3 \times 5^4$

Logarithmisches Rechnen.

Rechnungsart	Wird zurückgeführt auf	Berechnung $\lg N =$
Multiplizieren $a \cdot b$	Addieren	$\lg(a \cdot b) = \lg a + \lg b.$
Dividieren $\frac{a}{b}$	Subtrahieren	$\lg \frac{a}{b} = \lg a - \lg b.$
Potenzieren a^n	Multiplizieren	$\lg a^n = n \cdot \lg a;$ $\lg a^{\frac{n}{m}} = \frac{n}{m} \cdot \lg a.$
Radizieren $\sqrt[n]{a}$	Dividieren	$\lg \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \cdot \lg a;$ $\lg \sqrt[n]{a^m} = \frac{m}{n} \cdot \lg a.$

Das Aufsuchen des Logarithmus (Logarithmieren):

Beispiel:		Regel:	
Gegebene Zahl N	Zugehöriger Logarithmus $\lg N$	Gegebene Zahl N	Zugehöriger Logarithmus $\lg N$
2160	3,3345	4 stellig	3, Mantisse
216	2,3345	3 "	2, "
21,6	1,3345	2 "	1, "
2,16	0,3345	1 "	0, "
0,216	0,3345 - 1	0,.....	0, " - 1
0,0216	0,3345 - 2	0,0....	0, " - 2
0,00216	0,3345 - 3	0,00...	0, " - 3

Der rechts vom Komma stehende Teil (3345) des Logarithmus heißt Mantisse und wird aus der Logarithmentafel (S. 28/29) entnommen. Der übrige Teil des Logarithmus heißt Kennziffer und ergibt sich aus der Stellenzahl der gegebenen Zahl.

Das Aufsuchen des Ergebnisses (Delogarithmieren) ist die Umkehrung des Logarithmierenens.

Beziehungen zwischen dem Briggsschen Logarithmus \lg (S. 28/29) und dem natürlichen Logarithmus \ln (Spalte 6 der S. 2—21).

1. $\ln x = \ln 10 \cdot \lg x = 2,302585 \lg x;$
2. $\lg x = \lg e \cdot \ln x = 0,434294 \ln x;$
3. $\ln 10 \cdot \lg e = 1$ (über e siehe S. 51).

Beispiel.

$$\begin{aligned} \ln 348 &= 2,3026 \cdot \lg x = 2,3026 \cdot 2,5416 = 5,8522; \\ \lg 348 &= 0,4343 \cdot \ln x = 0,4343 \cdot 5,8522 = 2,5416. \end{aligned}$$

Mantissen der Briggschen Logarithmen.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	0000	0004	0009	0013	0017	0022	0026	0030	0035	0039
101	0043	0048	0052	0056	0060	0065	0069	0073	0077	0082
102	0086	0090	0095	0099	0103	0107	0111	0116	0120	0124
103	0128	0133	0137	0141	0145	0149	0154	0158	0162	0166
104	0170	0175	0179	0183	0187	0191	0195	0199	0204	0208
105	0212	0216	0220	0224	0228	0233	0237	0241	0245	0249
106	0253	0257	0261	0265	0269	0273	0278	0282	0286	0290
107	0294	0298	0302	0306	0310	0314	0318	0322	0326	0330
108	0334	0338	0342	0346	0350	0354	0358	0362	0366	0370
109	0374	0378	0382	0386	0390	0394	0398	0402	0406	0410
110	0414	0418	0422	0426	0430	0434	0438	0441	0445	0449
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981

Mantissen der Briggschen Logarithmen.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996

Kreisfunktionen.

Grad	SINUS							
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83
7	0,12187	0,12476	0,12766	0,13055	0,13344	0,13629	0,13917	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40142	0,40408	0,40674	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Grad
COSINUS								

Kreisfunktionen.

Grad	COSINUS							
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	0,99985	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	0,99939	88
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	0,99863	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	0,99756	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	0,99619	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	0,99452	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	0,99255	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	0,99027	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	0,98769	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	0,98481	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	0,98163	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	0,97815	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	0,97437	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	0,97030	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	0,96593	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206	0,96126	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	0,95630	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	0,95106	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	0,94552	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068	0,93969	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	0,93358	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	0,92718	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	0,92050	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	0,91355	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	0,90631	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	0,89879	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	0,89101	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	0,88295	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	0,87462	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	0,86603	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	0,85717	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	0,84805	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	0,83867	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	0,82904	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	0,81915	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072	0,80902	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	0,79864	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	0,78801	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	0,77715	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791	0,76604	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	0,75471	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	0,74314	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	0,73135	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136	0,71934	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	0,70711	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Grad
	SINUS							

Kreisfunktionen.

Grad	TANGENS							
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758	0,14054	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953	63
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Grad
COTANGENS								

Kreisfunktionen.

Grad	COTANGENS							
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	∞	343,77371	171,88540	114,58865	85,93979	68,75009	57,28996	89
1	57,28996	49,10388	42,96408	38,18846	34,36777	31,24158	28,63625	88
2	28,63625	26,43160	24,54176	22,90377	21,47040	20,20555	19,08114	87
3	19,08114	18,07498	17,16934	16,34986	15,60478	14,92442	14,30067	86
4	14,30067	13,72674	13,19688	12,70621	12,25051	11,82617	11,43005	85
5	11,43005	11,05943	10,71191	10,38540	10,07803	9,78817	9,51436	84
6	9,51436	9,25530	9,00983	8,77689	8,55555	8,34496	8,14435	83
7	8,14435	7,95302	7,77035	7,59575	7,42871	7,26873	7,11537	82
8	7,11537	6,96823	6,82694	6,69116	6,56055	6,43484	6,31375	81
9	6,31375	6,19703	6,08444	5,97576	5,87080	5,76937	5,67128	80
10	5,67128	5,57638	5,48451	5,39552	5,30928	5,22566	5,14455	79
11	5,14455	5,06584	4,98940	4,91516	4,84300	4,77286	4,70463	78
12	4,70463	4,63825	4,57363	4,51071	4,44942	4,38969	4,33148	77
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	4,06107	4,01078	76
14	4,01078	3,96165	3,91364	3,86671	3,82083	3,77595	3,73205	75
15	3,73205	3,68909	3,64705	3,60588	3,56557	3,52609	3,48741	74
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521	3,27085	73
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	3,13972	3,10842	3,07768	72
18	3,07768	3,04749	3,01783	2,98869	2,96004	2,93189	2,90421	71
19	2,90421	2,87700	2,85023	2,82391	2,79802	2,77254	2,74748	70
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791	2,60509	69
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597	2,47509	68
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504	2,35585	67
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374	2,24604	66
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090	2,14451	65
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553	2,05030	64
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97680	1,96261	63
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90741	1,89400	1,88073	62
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649	1,80405	61
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375	1,73205	60
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530	1,66428	59
31	1,66428	1,65337	1,64256	1,63185	1,62125	1,61074	1,60033	58
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972	1,53987	57
33	1,53987	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190	1,48256	56
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44598	1,43703	1,42815	55
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,38484	1,37638	54
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511	1,32704	53
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30323	1,29541	1,28764	1,27994	52
38	1,27994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227	1,23490	51
39	1,23490	1,22758	1,22031	1,21310	1,20593	1,19882	1,19175	50
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715	1,15037	49
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11713	1,11061	48
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864	1,07237	47
43	1,07237	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158	1,03553	46
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583	1,00000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Grad
	TANGENS							

Zeichnerische Darstellung der Winkelfunktionen und Vorzeichen in den vier Quadranten.

		sin	cos	tg	ctg
	I	+	+	+	+
	II	+	-	-	-
	III	-	-	+	+
	IV	-	+	-	-

Winkelfunktionen in den Quadranten.

	$\pm \alpha$	$90^\circ \pm \alpha$	$180^\circ \pm \alpha$	$270^\circ \pm \alpha$	$360^\circ \pm \alpha$
sin	$\pm \sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\pm \sin \alpha$
cos	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\pm \sin \alpha$	$+\cos \alpha$
tg	$\pm \operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \operatorname{tg} \alpha$
ctg	$\pm \operatorname{ctg} \alpha$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$\pm \operatorname{ctg} \alpha$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$\pm \operatorname{ctg} \alpha$

Grenzwerte und besondere Werte.

	0° 360°	90°	180°	270°	30°	45°	60°
sin	0	1	0	-1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$
cos	1	0	-1	0	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$
tg	0	∞	0	∞	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$
ctg	∞	0	∞	0	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

Zusammenhänge der Funktionen.

	sin α	cos α	tg α	ctg α
sin $\alpha =$		$\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$	$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}}$
cos $\alpha =$	$\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$		$\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$	$\frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}}$
tg $\alpha =$	$\frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}$	$\frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha}$		$\frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha}$
ctg $\alpha =$	$\frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha}$	$\frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}$	$\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$	

Sonstige Zusammenhänge.

1. $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha;$
2. $\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha;$
3. $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1.$

Formeln für den doppelten und halben Winkel.

- $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$;
- $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$;
- $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{2}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha}$;
- $\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha} = \frac{1}{2}(\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha)$;
- $\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \cos \alpha)} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + \sin \alpha} - \sqrt{1 - \sin \alpha})$;
- $\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1}{2}(1 + \cos \alpha)} = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + \sin \alpha} + \sqrt{1 - \sin \alpha})$;
- $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = \sqrt{(1 - \cos \alpha) : (1 + \cos \alpha)}$;
- $\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} = \sqrt{(1 + \cos \alpha) : (1 - \cos \alpha)}$;
- $2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = \sin \alpha$.

Potenzen von sin und cos.

- | | |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1. $2 \sin^2 \alpha = 1 - \cos 2\alpha$; | 4. $2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} = 1 + \cos \alpha$; |
| 2. $2 \cos^2 \alpha = 1 + \cos 2\alpha$; | 5. $4 \sin^3 \alpha = 3 \sin \alpha - \sin 3\alpha$; |
| 3. $2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - \cos \alpha$; | 6. $4 \cos^3 \alpha = 3 \cos \alpha + \cos 3\alpha$. |

Funktionen zweier Winkel.

- $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$;
- $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$;
- $\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = (\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta) : (1 \mp \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)$;
- $\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = (\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \mp 1) : (\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha)$;
- $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cdot \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$;
- $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$;
- $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$;
- $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$;
- $\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$;
- $\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta = \frac{\sin(\beta \pm \alpha)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}$;
- $\sin^2 \alpha - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta - \cos^2 \alpha = \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin(\alpha - \beta)$;
- $\cos^2 \alpha - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta - \sin^2 \alpha = \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)$;

13. $\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)];$
 14. $\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)];$
 15. $\sin \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)];$
 16. $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta};$ 17. $\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta = \frac{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}.$

Beziehungen zwischen den Dreieckswinkeln

$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ (siehe auch S. 37–39).

1. $\sin \alpha + \sin \beta + \sin \gamma = 4 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2};$
2. $\cos \alpha + \cos \beta + \cos \gamma = 4 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} + 1;$
3. $\sin \alpha + \sin \beta - \sin \gamma = 4 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2};$
4. $\cos \alpha + \cos \beta - \cos \gamma = 4 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2} - 1;$
5. $\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta + \sin^2 \gamma = 2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma + 2;$
6. $\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta - \sin^2 \gamma = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma;$
7. $\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \gamma;$
8. $\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2};$
9. $\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \gamma = 1;$
10. $\sin 2\alpha + \sin 2\beta + \sin 2\gamma = 4 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma;$
11. $\sin 2\alpha + \sin 2\beta - \sin 2\gamma = 4 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma.$

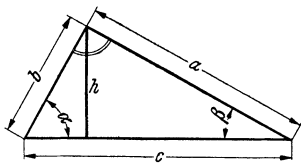
Dreiecksstücke, ausgedrückt durch die Winkel und den Halbmesser des umschriebenen Kreises r (siehe auch S. 37–39).

$$\left(s = \frac{a + b + c}{2}; \delta = \alpha - \beta; h_a = \text{Höhe auf Seite } a \right).$$

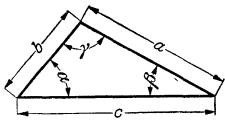
1. $a + b = 4 \cdot r \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\delta}{2};$ 2. $a - b = 4 \cdot r \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \sin \frac{\delta}{2};$
3. $s = 4 \cdot r \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2};$
4. $s - a = 4 \cdot r \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2};$
 $s - b = 4 \cdot r \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2};$
 $s - c = 4 \cdot r \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2};$
5. $h_a = 2 \cdot r \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma; h_b = 2 \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \gamma; h_c = 2 \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta$
6. Dreiecksfläche $F = 2 \cdot r^2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma = \frac{a \cdot b \cdot c}{4r};$
7. $r = \frac{a}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{b}{2 \cdot \sin \beta} = \frac{c}{2 \cdot \sin \gamma} = \frac{a \cdot b \cdot c}{4 \cdot F}.$

Berechnung des rechtwinkligen Dreiecks.

Gegeben	Gesucht	Auflösung
a, b	{	α $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \alpha = 90^\circ - \beta;$
		β $\operatorname{tg} \beta = \frac{b}{a}; \quad \beta = 90^\circ - \alpha;$
		c $c = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad c = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\cos \alpha};$
		F $F = \frac{a \cdot b}{2};$
		$h = \frac{a \cdot b}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$ $F = \text{Fläche.}$
a, c	{	α $\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \alpha = 90^\circ - \beta;$
		β $\cos \beta = \frac{a}{c}; \quad \beta = 90^\circ - \alpha;$
		b $b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(c+a) \cdot (c-a)} = c \cdot \cos \alpha = c \cdot \sin \beta;$
		F $F = \frac{a}{2} \sqrt{(c+a) \cdot (c-a)} = \frac{1}{2} a \cdot c \cdot \sin \beta;$
		$h = \frac{a \sqrt{c^2 - a^2}}{c}.$
a, α	{	b $b = a \cdot \operatorname{ctg} \alpha;$
		c $c = \frac{a}{\sin \alpha};$
		F $F = \frac{a^2}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha;$
		$h = a \cdot \cos \alpha.$
b, α	{	a $a = b \cdot \operatorname{tg} \alpha;$
		c $c = \frac{b}{\cos \alpha};$
		F $F = \frac{b^2}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha;$
		$h = b \cdot \sin \alpha;$
c, α	{	a $a = c \cdot \sin \alpha;$
		b $b = c \cdot \cos \alpha;$
		F $F = \frac{c^2}{2} \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{c^2}{4} \sin 2\alpha;$
		$h = b \cdot \sin \alpha.$



Berechnung des schiefwinkligen Dreiecks.

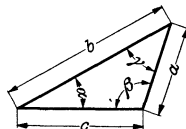
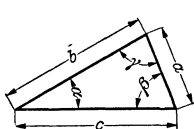
Gegeben	Gesucht	Auflösung
a, b, γ	$\left\{ \begin{array}{l} c \\ \alpha \\ \beta \\ F \end{array} \right.$	$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cdot \cos \gamma};$
		$\sin \alpha = \frac{a \cdot \sin \gamma}{c}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{a \cdot \sin \gamma}{b - a \cdot \cos \gamma};$
		$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \gamma}{c}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{b \cdot \sin \gamma}{a - b \cdot \cos \gamma};$
		$F = \frac{a \cdot b \cdot \sin \gamma}{2}.$
		$\alpha = 180^\circ - (\beta + \gamma); \quad \gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta);$ $\beta = 180^\circ - (\alpha + \gamma).$
a, β, γ oder a, α, β	$\left\{ \begin{array}{l} b \\ c \\ F \end{array} \right.$	$b = \frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{a \cdot \sin \beta}{\sin (\beta + \gamma)};$
		$c = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha} = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sin (\beta + \gamma)};$
		$F = \frac{a^2 \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{a^2}{2 (\operatorname{ctg} \beta + \operatorname{ctg} \gamma)}.$
		
		$a > b, \text{ darum } \beta \text{ jedenfalls spitz}; \quad \beta < \alpha$
a, b, α	$\left\{ \begin{array}{l} \beta \\ \gamma \\ c \\ F \end{array} \right.$	$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a};$
		$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta);$
		$c = a \cdot \cos \beta + b \cdot \cos \alpha = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha}$ $= b \cdot \cos \alpha + \sqrt{a^2 - b^2 \cdot \sin^2 \alpha};$
		$F = \frac{a \cdot b \cdot \sin \gamma}{2} = \frac{b \cdot c \cdot \sin \alpha}{2}.$

Gegeben

Gesucht

Auflösung

$b > a$. Dreieck unvollständig bestimmt,
weil zweideutige Lösung möglich; $\beta \geq 90^\circ$.


 a, b, α

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta \\ \gamma \\ c \\ F \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a}; \quad \cos \beta = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \beta}; \\ \gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta) = \geq \beta; \\ c = b \cdot \cos \alpha \pm \sqrt{a^2 - b^2 \cdot \sin^2 \alpha}; \\ F = \frac{a \cdot b \cdot \sin \gamma}{2} = \frac{b \cdot c \cdot \sin \alpha}{2}. \end{array}$$

$$\left(s = \text{halbe Länge der Seiten} = \frac{a + b + c}{2} \right).$$

 a, b, c

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ F \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{s(s-a)}{bc}}; \\ \sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(s-b) \cdot (s-c)}{bc}}; \quad \sin \alpha = \frac{2F}{b \cdot c}; \\ \cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}; \quad \cos \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{s(s-b)}{ac}}; \\ \sin \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(s-a) \cdot (s-c)}{a \cdot c}}; \quad \sin \beta = \frac{2F}{a \cdot c}; \\ \cos \gamma = \frac{b^2 + a^2 - c^2}{2ab}; \quad \cos \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{s(s-c)}{ab}}; \\ \sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(s-a) \cdot (s-b)}{a \cdot b}}; \quad \sin \gamma = \frac{2F}{a \cdot b}; \\ F = \sqrt{s(s-a) \cdot (s-b) \cdot (s-c)}. \end{array}$$

Bogenlängen, Bogenhöhen, Sehnenlängen, Kreisabschnitte für den Halbmesser 1.

Zentriwinkel in Grad	Bogenlänge b	Bogenhöhe h	$\frac{b}{h}$	Sehnenlänge s	Inhalt des Kreisabschn	Zentriwinkel in Grad	Bogenlänge b	Bogenhöhe h	$\frac{b}{h}$	Sehnenlänge s	Inhalt des Kreisabschn.
1	0,0175	0,0000	458,36	0,0175	0,00000	46	0,8029	0,0795	10,10	0,7815	0,04176
2	0,0349	0,0002	229,19	0,0349	0,00000	47	0,8203	0,0829	9,89	0,7975	0,04448
3	0,0524	0,0003	152,79	0,0524	0,00001	48	0,8378	0,0865	9,69	0,8135	0,04731
4	0,0698	0,0006	114,60	0,0698	0,00003	49	0,8552	0,0900	9,50	0,8294	0,05025
5	0,0873	0,0010	91,69	0,0872	0,00006	50	0,8727	0,0937	9,31	0,8452	0,05331
6	0,1047	0,0014	76,41	0,1047	0,00010	51	0,8901	0,0974	9,14	0,8610	0,05649
7	0,1222	0,0019	64,01	0,1221	0,00015	52	0,9076	0,1012	8,97	0,8767	0,05978
8	0,1396	0,0024	56,01	0,1395	0,00023	53	0,9250	0,1051	8,80	0,8924	0,06319
9	0,1571	0,0031	50,96	0,1569	0,00032	54	0,9425	0,1090	8,65	0,9080	0,06673
10	0,1745	0,0038	45,87	0,1743	0,00044	55	0,9599	0,1130	8,49	0,9235	0,07039
11	0,1920	0,0046	41,70	0,1917	0,00059	56	0,9774	0,1171	8,35	0,9389	0,07417
12	0,2094	0,0055	38,23	0,2091	0,00076	57	0,9948	0,1212	8,21	0,9543	0,07808
13	0,2269	0,0064	35,28	0,2264	0,00097	58	1,0123	0,1254	8,07	0,9696	0,08212
14	0,2443	0,0075	32,78	0,2437	0,00121	59	1,0297	0,1296	7,94	0,9848	0,08629
15	0,2618	0,0086	30,60	0,2611	0,00149	60	1,0472	0,1340	7,81	1,0000	0,09059
16	0,2793	0,0097	28,04	0,2783	0,00181	61	1,0647	0,1384	7,69	1,0151	0,09502
17	0,2967	0,0110	27,01	0,2956	0,00217	62	1,0821	0,1428	7,56	1,0301	0,09958
18	0,3142	0,0123	25,35	0,3129	0,00257	63	1,0996	0,1474	7,46	1,0450	0,10428
19	0,3316	0,0137	24,17	0,3301	0,00302	64	1,1170	0,1520	7,35	1,0598	0,10911
20	0,3491	0,0152	22,98	0,3473	0,00352	65	1,1345	0,1566	7,24	1,0746	0,11408
21	0,3665	0,0167	21,95	0,3645	0,00408	66	1,1519	0,1613	7,14	1,0893	0,11919
22	0,3840	0,0184	20,90	0,3816	0,00468	67	1,1694	0,1661	7,04	1,1039	0,12443
23	0,4014	0,0201	20,00	0,3987	0,00535	68	1,1868	0,1710	6,94	1,1184	0,12982
24	0,4189	0,0219	19,17	0,4158	0,00607	69	1,2043	0,1759	6,85	1,1328	0,13535
25	0,4363	0,0237	18,47	0,4329	0,00686	70	1,2217	0,1808	6,76	1,1472	0,14102
26	0,4538	0,0256	17,71	0,4499	0,00771	71	1,2392	0,1859	6,67	1,1614	0,14683
27	0,4712	0,0276	17,06	0,4669	0,00862	72	1,2566	0,1910	6,58	1,1756	0,15279
28	0,4887	0,0297	16,45	0,4838	0,00961	73	1,2741	0,1961	6,50	1,1896	0,15889
29	0,5061	0,0319	15,89	0,5008	0,01067	74	1,2915	0,2014	6,41	1,2036	0,16514
30	0,5236	0,0341	15,37	0,5176	0,01180	75	1,3090	0,2066	6,34	1,2175	0,17154
31	0,5411	0,0364	14,88	0,5345	0,01301	76	1,3265	0,2120	6,26	1,2312	0,17808
32	0,5585	0,0387	14,42	0,5512	0,01429	77	1,3439	0,2174	6,18	1,2450	0,18477
33	0,5760	0,0412	13,99	0,5680	0,01566	78	1,3614	0,2229	6,11	1,2586	0,19160
34	0,5934	0,0437	13,58	0,5847	0,01711	79	1,3788	0,2284	6,04	1,2722	0,19859
35	0,6109	0,0463	13,20	0,6014	0,01864	80	1,3963	0,2340	5,97	1,2856	0,20573
36	0,6283	0,0489	12,84	0,6180	0,02027	81	1,4137	0,2396	5,90	1,2989	0,21301
37	0,6458	0,0517	12,50	0,6346	0,02198	82	1,4312	0,2453	5,83	1,3121	0,22045
38	0,6632	0,0545	12,17	0,6511	0,02378	83	1,4486	0,2510	5,77	1,3252	0,22804
39	0,6807	0,0574	11,87	0,6676	0,02568	84	1,4661	0,2569	5,71	1,3383	0,23578
40	0,6981	0,0603	11,58	0,6840	0,02767	85	1,4835	0,2627	5,65	1,3512	0,24367
41	0,7156	0,0633	11,30	0,7004	0,02976	86	1,5010	0,2686	5,59	1,3640	0,25171
42	0,7330	0,0664	11,04	0,7167	0,03195	87	1,5184	0,2746	5,53	1,3767	0,25990
43	0,7505	0,0696	10,78	0,7330	0,03425	88	1,5359	0,2807	5,47	1,3893	0,26825
44	0,7679	0,0728	10,55	0,7492	0,03664	89	1,5533	0,2867	5,42	1,4018	0,27675
45	0,7854	0,0761	10,32	0,7654	0,03915	90	1,5708	0,2929	5,36	1,4142	0,28540

Zu einer gegebenen Bogenlänge b und Bogenhöhe h findet man den Halbmesser r aus $r = b : b_0$, wo b_0 die Bogenlänge ist, die beim Halbmesser 1 zu dem gegebenen $\frac{b}{h}$ gehört. Ist r der Kreishalbmesser und φ der Zentriwinkel in Grad, so ergibt sich

1. die Sehnenlänge $s = 2r \sin \frac{\varphi}{2}$;
2. die Bogenhöhe $h = r \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{s}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} = 2r \sin^2 \frac{\varphi}{4}$;
3. die Bogenlänge $b = \pi r \cdot \frac{\varphi}{180} = 0,017453 r \varphi = \sqrt{s^2 + \frac{16}{3} h^2}$ (angenähert);

Bogenlängen, Bogenhöhen, Sehnenlängen, Kreisabschnitte für den Halbmesser 1 (Fortsetzung von S. 40).

Zentriwinkel in Grad	Bogenlänge b	Bogenhöhe h	$\frac{b}{h}$	Sehnenlänge s	Inhalt des Kreisabschn.	Zentriwinkel in Grad	Bogenlänge b	Bogenhöhe h	$\frac{b}{h}$	Sehnenlänge s	Inhalt des Kreisabschn.
91	1,5882	0,2991	5,31	1,4265	0,29420	136	2,3736	0,6254	3,80	1,8544	0,83949
92	1,6057	0,3053	5,26	1,4387	0,30316	137	2,3911	0,6335	3,77	1,8608	0,85455
93	1,6232	0,3116	5,21	1,4507	0,31226	138	2,4086	0,6416	3,75	1,8672	0,86971
94	1,6406	0,3180	5,16	1,4627	0,32152	139	2,4260	0,6498	3,73	1,8733	0,88497
95	1,6580	0,3244	5,11	1,4746	0,33093	140	2,4435	0,6580	3,71	1,8794	0,90034
96	1,6755	0,3309	5,06	1,4863	0,34050	141	2,4609	0,6662	3,69	1,8853	0,91580
97	1,6930	0,3374	5,02	1,4979	0,35021	142	2,4784	0,6744	3,67	1,8910	0,93135
98	1,7104	0,3439	4,97	1,5094	0,36008	143	2,4958	0,6827	3,66	1,8966	0,94700
99	1,7279	0,3506	4,93	1,5208	0,37009	144	2,5133	0,6910	3,64	1,9021	0,96274
100	1,7453	0,3572	4,89	1,5321	0,38026	145	2,5307	0,6993	3,62	1,9074	0,97858
101	1,7628	0,3639	4,84	1,5432	0,39058	146	2,5482	0,7076	3,60	1,9126	0,99449
102	1,7802	0,3707	4,80	1,5543	0,40104	147	2,5656	0,7160	3,58	1,9176	1,01050
103	1,7977	0,3775	4,76	1,5652	0,41166	148	2,5831	0,7244	3,57	1,9225	1,02658
104	1,8151	0,3843	4,72	1,5760	0,42242	149	2,6005	0,7328	3,55	1,9273	1,04275
105	1,8326	0,3912	4,68	1,5867	0,43333	150	2,6180	0,7412	3,53	1,9319	1,05900
106	1,8500	0,3982	4,65	1,5973	0,44439	151	2,6354	0,7496	3,52	1,9363	1,07532
107	1,8675	0,4052	4,61	1,6077	0,45560	152	2,6529	0,7581	3,50	1,9406	1,09171
108	1,8850	0,4122	4,57	1,6180	0,46695	153	2,6704	0,7666	3,48	1,9447	1,10818
109	1,9024	0,4193	4,54	1,6282	0,47845	154	2,6878	0,7750	3,47	1,9487	1,12472
110	1,9199	0,4264	4,50	1,6383	0,49008	155	2,7053	0,7836	3,45	1,9526	1,14132
111	1,9373	0,4336	4,47	1,6483	0,50187	156	2,7227	0,7921	3,44	1,9563	1,15799
112	1,9548	0,4408	4,43	1,6581	0,51379	157	2,7402	0,8006	3,42	1,9598	1,17472
113	1,9722	0,4481	4,40	1,6678	0,52586	158	2,7576	0,8092	3,41	1,9633	1,19151
114	1,9897	0,4554	4,37	1,6773	0,53807	159	2,7751	0,8178	3,39	1,9665	1,20835
115	2,0071	0,4627	4,34	1,6868	0,55041	160	2,7925	0,8264	3,38	1,9696	1,22525
116	2,0246	0,4701	4,31	1,6961	0,56289	161	2,8100	0,8350	3,37	1,9726	1,24221
117	2,0420	0,4775	4,28	1,7053	0,57551	162	2,8274	0,8436	3,35	1,9754	1,25921
118	2,0595	0,4850	4,25	1,7143	0,58827	163	2,8449	0,8522	3,34	1,9780	1,27626
119	2,0769	0,4925	4,22	1,7233	0,60116	164	2,8623	0,8608	3,33	1,9805	1,29335
120	2,0944	0,5000	4,19	1,7321	0,61418	165	2,8798	0,8695	3,31	1,9829	1,31049
121	2,1118	0,5076	4,16	1,7407	0,62734	166	2,8972	0,8781	3,30	1,9851	1,32766
122	2,1293	0,5152	4,13	1,7492	0,64063	167	2,9147	0,8868	3,28	1,9871	1,34487
123	2,1468	0,5228	4,11	1,7576	0,65404	168	2,9322	0,8955	3,27	1,9890	1,36212
124	2,1642	0,5305	4,08	1,7659	0,66759	169	2,9496	0,9042	3,26	1,9908	1,37940
125	2,1817	0,5383	4,05	1,7740	0,68125	170	2,9671	0,9128	3,25	1,9924	1,39671
126	2,1991	0,5460	4,03	1,7820	0,69505	171	2,9845	0,9215	3,24	1,9938	1,41404
127	2,2166	0,5538	4,00	1,7899	0,70897	172	3,0020	0,9302	3,23	1,9951	1,43140
128	2,2340	0,5616	3,98	1,7976	0,72301	173	3,0194	0,9390	3,22	1,9963	1,44878
129	2,2515	0,5695	3,95	1,8052	0,73716	174	3,0369	0,9477	3,20	1,9973	1,46617
130	2,2689	0,5774	3,93	1,8126	0,75144	175	3,0543	0,9564	3,19	1,9981	1,48359
131	2,2864	0,5853	3,91	1,8199	0,76584	176	3,0718	0,9651	3,18	1,9988	1,50101
132	2,3038	0,5933	3,88	1,8271	0,78034	177	3,0892	0,9738	3,17	1,9993	1,51845
133	2,3213	0,6013	3,86	1,8341	0,79497	178	3,1067	0,9825	3,16	1,9997	1,53589
134	2,3387	0,6093	3,84	1,8410	0,80970	179	3,1241	0,9913	3,15	1,9999	1,55334
135	2,3562	0,6173	3,82	1,8478	0,82454	180	3,1416	1,0000	3,14	2,0000	1,57080

4. der Inhalt des Kreisabschnittes = $\frac{r^3}{2} \left(\frac{\pi}{180} \varphi - \sin \varphi \right)$;

5. „ „ „ Kreisabschnittes = $\frac{\varphi}{360} \pi r^3 = 0,008\ 726\ 65 \varphi r^3$;

6. $b = r$ entspricht $\varphi = 57^\circ 17' 44,806'' = 57,295\ 779\ 5^\circ = 206\ 264,806''$;

7. $\text{arc } 1^\circ = \pi : 180 = 0,017\ 453\ 292\ 52$; $\lg \text{arc } 1^\circ = 0,241\ 877\ 367\ 6 - 2$;

8. $\text{arc } 1' = \pi : 10\ 800 = 0,000\ 290\ 888\ 21$; $\lg \text{arc } 1' = 0,463\ 726\ 117\ 2 - 4$;

9. $\text{arc } 1'' = \pi : 648\ 000 = 0,000\ 004\ 848\ 14$; $\lg \text{arc } 1'' = 0,685\ 574\ 866\ 8 - 6$.

Berechnung des regelmäßigen Vielecks.

	Benennung	Zeichen
	Anzahl der Seiten	n
	Seite des Vielecks (s. Seite 43)	s
	Halbmesser des umschriebenen Kreises	R
	Halbmesser des eingeschriebenen Kreises	r
Fläche des Vielecks	F	

Zeichen	Berechnung
s	$= 2 \cdot R \cdot \sin \frac{180^\circ}{n} = 2 \cdot r \cdot \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}$;
R	$= \frac{s}{2} : \sin \frac{180^\circ}{n} = r : \cos \frac{180^\circ}{n}$;
r	$= \frac{s}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{n} = R \cdot \cos \frac{180^\circ}{n}$;
F	$= \frac{n}{2} \cdot R^2 \cdot \sin \frac{360^\circ}{n} = n \cdot r^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n} = n \cdot \frac{s^2}{4} \cdot \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{n}$.

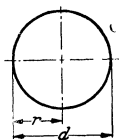
n	s		R		r		F		
3	1,732 R	3,464 r	0,577 s	2,000 r	0,289 s	0,500 R	0,433 s ²	1,299 R ²	5,196 r ²
4	1,414 R	2,000 r	0,707 s	1,414 r	0,500 s	0,707 R	1,000 s ²	2,000 R ²	4,000 r ²
5	1,176 R	1,453 r	0,851 s	1,236 r	0,688 s	0,809 R	1,721 s ²	2,378 R ²	3,633 r ²
6	1,000 R	1,155 r	1,000 s	1,155 r	0,866 s	0,866 R	2,598 s ²	2,598 R ²	3,464 r ²
7	0,868 R	0,963 r	1,152 s	1,110 r	1,038 s	0,901 R	3,635 s ²	2,736 R ²	3,371 r ²
8	0,765 R	0,828 r	1,307 s	1,082 r	1,207 s	0,924 R	4,828 s ²	2,828 R ²	3,314 r ²
9	0,684 R	0,728 r	1,462 s	1,064 r	1,374 s	0,940 R	6,182 s ²	2,893 R ²	3,276 r ²
10	0,618 R	0,650 r	1,618 s	1,052 r	1,539 s	0,951 R	7,694 s ²	2,939 R ²	3,249 r ²
11	0,564 R	0,587 r	1,775 s	1,042 r	1,703 s	0,960 R	9,364 s ²	2,974 R ²	3,230 r ²
12	0,518 R	0,536 r	1,932 s	1,035 r	1,866 s	0,966 R	11,196 s ²	3,000 R ²	3,215 r ²
16	0,390 R	0,398 r	2,563 s	1,020 r	2,514 s	0,981 R	20,109 s ²	3,062 R ²	3,183 r ²
20	0,313 R	0,317 r	3,196 s	1,013 r	3,157 s	0,988 R	31,569 s ²	3,090 R ²	3,168 r ²
24	0,261 R	0,263 r	3,831 s	1,009 r	3,798 s	0,991 R	45,575 s ²	3,106 R ²	3,160 r ²
32	0,196 R	0,197 r	5,101 s	1,005 r	5,077 s	0,995 R	81,225 s ²	3,121 R ²	3,152 r ²
48	0,131 R	0,131 r	7,645 s	1,002 r	7,629 s	0,998 R	183,08 s ²	3,133 R ²	3,146 r ²
64	0,098 R	0,098 r	10,190 s	1,001 r	10,178 s	0,999 R	325,69 s ²	3,137 R ²	3,144 r ²

Teilung des Kreisumfangs in n Teile.

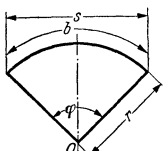
$$\text{Teilungsstrecke} = \text{Sehne} = \text{Durchmesser} \cdot \sin \frac{180}{n}$$

n	$\sin \frac{180}{n}$	n	$\sin \frac{180}{n}$	n	$\sin \frac{180}{n}$	n	$\sin \frac{180}{n}$
1	0,00000	26	0,12054	51	0,06156	76	0,04132
2	1,00000	27	0,11609	52	0,06038	77	0,04079
3	0,86603	28	0,11196	53	0,05924	78	0,04027
4	0,70711	29	0,10812	54	0,05814	79	0,03976
5	0,58779	30	0,10453	55	0,05709	80	0,03926
6	0,50000	31	0,10117	56	0,05607	81	0,03878
7	0,43388	32	0,09802	57	0,05509	82	0,03830
8	0,38268	33	0,09506	58	0,05414	83	0,03784
9	0,34202	34	0,09227	59	0,05322	84	0,03739
10	0,30902	35	0,08964	60	0,05234	85	0,03695
11	0,28173	36	0,08716	61	0,05148	86	0,03652
12	0,25882	37	0,08481	62	0,05065	87	0,03610
13	0,23932	38	0,08258	63	0,04985	88	0,03569
14	0,22252	39	0,08047	64	0,04907	89	0,03529
15	0,20791	40	0,07846	65	0,04831	90	0,03490
16	0,19509	41	0,07655	66	0,04758	91	0,03452
17	0,18375	42	0,07473	67	0,04687	92	0,03414
18	0,17365	43	0,07300	68	0,04618	93	0,03377
19	0,16459	44	0,07134	69	0,04551	94	0,03341
20	0,15643	45	0,06976	70	0,04486	95	0,03306
21	0,14904	46	0,06824	71	0,04423	96	0,03272
22	0,14231	47	0,06679	72	0,04362	97	0,03238
23	0,13617	48	0,06540	73	0,04302	98	0,03205
24	0,13053	49	0,06407	74	0,04244	99	0,03173
25	0,12533	50	0,06279	75	0,04188	100	0,03141

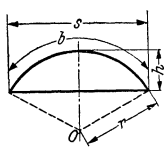
Beispiel: Der Umfang eines Kreises mit dem Durchmesser $D = 24$ cm soll in 33 Teile geteilt werden. Die in den Zirkel zu nehmende Teilstrecke = $24 \text{ cm} \cdot 0,09506 = 2,28 \text{ cm}$.



Kreis.



Kreisausschnitt.



Kreisabschnitt.

Kreis.

Halbmesser	r	$\frac{U}{2\pi}$; $\frac{U}{6,28318}$; $0,56419\sqrt{F}$.
Durchmesser	d	$\frac{U}{\pi}$; $\frac{U}{3,1416}$; $1,12838\sqrt{F}$.
Umfang	U	$r \cdot 2\pi$; $r \cdot 6,28318$; $d \cdot 3,1416$; $\frac{d}{0,3183}$.
Fläche	F	$\pi \cdot r^2$; $3,1416 r^2$; $0,785 d^2$; $0,079578 U^2$.

Bogenlänge für einen Zentriwinkel von $1^\circ = 0,0087265 d$.

„ „ „ „ „ „ $n^\circ = 0,0087265 \cdot n \cdot d$.

Zentriwinkel für $b = r \dots 57,2958^\circ = 3437,75' = 206265''$

(vgl. S. 41 Anm. 6).

Kreisausschnitt und Kreisabschnitt.

Bogenlänge	b	$\frac{r \cdot \varphi \cdot 3,1416}{180}$; $0,017453 \cdot r \cdot \varphi$; $\frac{2F}{r}$.
Zentriwinkel in Grad .	φ	$57,296 \cdot \frac{b}{r}$.
Halbmesser	r	$2 \frac{F}{b}$; $57,296 \frac{b}{\varphi}$; $\frac{s^2 + 4h^2}{8h}$.
Sehnenlänge	s	$2\sqrt{h(2r-h)}$.
Bogenhöhe.	h	$r - \frac{1}{2}\sqrt{4r^2 - s^2}$.
Fläche des Ausschnittes	F_1	$\frac{r \cdot b}{2}$; $0,0087265 \cdot \varphi \cdot r^2$; $\frac{r^2 \cdot \pi \cdot \varphi}{360}$.
Fläche des Abschnittes	F_2	$\frac{r(b-s) + s \cdot h}{2}$; $\frac{r^2}{2} \left(\frac{\varphi \cdot \pi}{180} - \sin \varphi \right)$.

Kugelinhalte.

d	,0	,25	,5	,75	d	,0	,5	d	,0	,5
10	523,60	563,86	606,13	650,46	40	33510	34783	70	179594	183471
11	696,91	745,51	796,33	849,40	41	36087	37423	71	187402	191389
12	904,78	962,52	1022,7	1085,3	42	38792	40194	72	195432	199532
13	1150,3	1218,0	1288,2	1361,2	43	41630	43099	73	203689	207903
14	1436,8	1515,1	1596,3	1680,3	44	44602	46141	74	212175	216505
15	1767,1	1857,0	1949,8	2045,7	45	47713	49321	75	220893	225341
16	2144,7	2246,8	2352,1	2460,6	46	50965	52645	76	229847	234414
17	2572,4	2687,6	2806,2	2928,2	47	54362	56115	77	239040	243728
18	3053,6	3182,6	3315,2	3451,5	48	57906	59734	78	248475	253284
19	3591,4	3735,0	3882,4	4033,7	49	61601	63506	79	258155	263088
20	4188,8	4347,8	4510,8	4677,9	50	65450	67433	80	268083	273141
21	4849,0	5024,3	5203,7	5387,4	51	69456	71519	81	278262	283447
22	5575,3	5767,6	5964,1	6165,2	52	73622	75767	82	288696	294010
23	6370,6	6580,6	6795,2	7014,3	53	77952	80178	83	299387	304831
24	7238,2	7466,7	7700,1	7938,3	54	82448	84760	84	310339	315915
25	8181,2	8429,2	8682,0	8939,9	55	87114	89511	85	321555	327264
26	9202,8	9470,8	9744,0	10022	56	91952	94438	86	333038	338882
27	10306	10595	10889	11189	57	96967	99541	87	344791	350771
28	11494	11805	12121	12443	58	102160	104826	88	356818	362935
29	12770	13103	13442	13787	59	107536	110294	89	369121	375378
30	14137	14494	14856	15224	60	113097	115949	90	381704	388102
31	15599	15979	16366	16758	61	118847	121794	91	394569	401109
32	17157	17563	17974	18392	62	124788	127832	92	407720	414405
33	18817	19248	19685	20129	63	130924	134067	93	421160	427991
34	20580	21037	21501	21972	64	137258	140501	94	434893	441871
35	22449	22934	23425	23924	65	143793	147138	95	448921	456047
36	24429	24942	25461	25988	66	150533	153980	96	463247	470524
37	26522	27063	27612	28168	67	157479	161032	97	477875	485302
38	28731	29302	29880	30466	68	164636	168295	98	492807	500388
39	31059	31661	32270	32886	69	172007	175774	99	508047	515785

Kugeloberfläche: $F = 4\pi r^2 = 12,566 r^2 = \pi d^2$.

Oberfläche der Kalotte oder Zone: $F = 2\pi r h$.

Kugelinhalt: $J = \frac{2}{3} \cdot \pi r^3 = 4,1888 r^3 = 0,5236 d^3$; Halbmesser $r = 0,62035 \sqrt[3]{J}$.

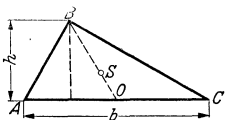
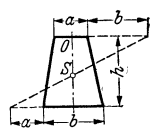
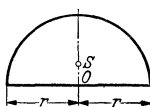
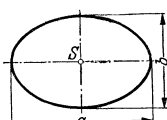
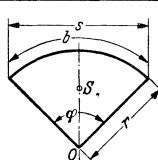
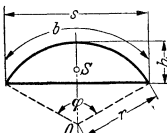
Inhalt des Kugelabschnittes: $J = \frac{1}{6} \cdot \pi h (3a^2 + h^2) = \frac{1}{6} \cdot \pi h^2 (3r - h)$, wenn r der Radius der Kugel, a der der Schnittfläche und h die Höhe des Abschnittes.

Inhalt der Kugelzone: $J = \frac{1}{6} \cdot \pi h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$, wenn a und b die Radien der Endflächen.

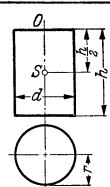
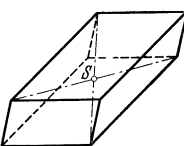
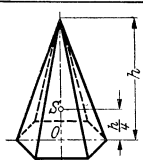
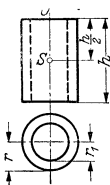
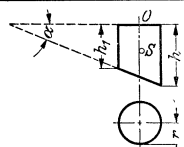
Inhalt des Kugelausschnittes: $J = \frac{2}{3} \cdot \pi r^2 h$, wenn h die Höhe der entsprechenden Kalotte ist.

Gewicht = Inhalt \times spez. Gewicht.

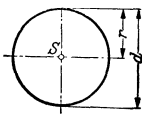
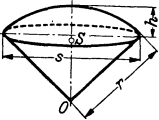
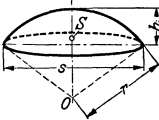
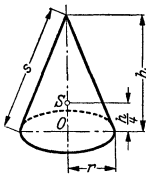
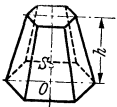
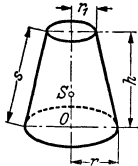
Flächenberechnung.

	Flächeninhalt F	Lage des Schwerpunkts S
 <p style="text-align: center;">Dreieck.</p>	$F = \frac{b \cdot h}{2}$	$AO = OC$ $SO = \frac{1}{3} BO$ (Schwerpunkt = Schnittpunkt der Mittellinien)
 <p style="text-align: center;">Trapez.</p>	$F = \frac{a + b}{2} \cdot h$	$SO = \frac{1}{3} h \cdot \frac{2b + a}{a + b}$
 <p style="text-align: center;">Halbkreis.</p>	$F = \frac{\pi r^2}{2}$	$SO = \frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi} = 0,43 \cdot r$
 <p style="text-align: center;">Ellipse.</p>	$F = \frac{a \cdot b \cdot \pi}{4}$	Schnittpunkt der Achsen
 <p style="text-align: center;">Kreisausschnitt.</p>	$F = \frac{b \cdot r}{2}$ $= \frac{\varphi}{360} \cdot \pi \cdot r^2$	$SO = \frac{2}{3} \cdot \frac{r \cdot s}{b}$
 <p style="text-align: center;">Kreisabschnitt.</p>	$F = \frac{r(b - s) + s \cdot h}{2}$	$SO = \frac{s^3}{12 F}$ (F = Flächeninhalt)

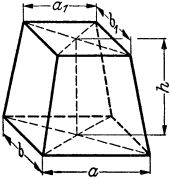
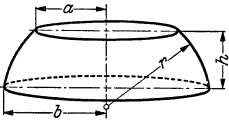
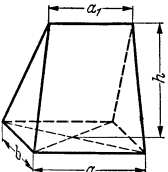
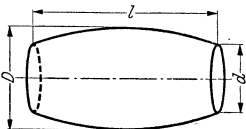
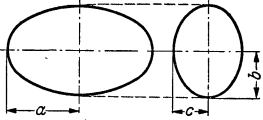
Körperberechnung.

	Mantelfläche M Oberfläche O	Lage des Schwerpunkts S	Rauminhalt J
 <p>Zylinder.</p>	$M = 2 \pi r h$ $= \pi d h$	$SO = \frac{h}{2}$	$J = \pi r^2 h$ $= \frac{d^2 \pi}{4} \cdot h$
 <p>Prisma.</p>	$O = \text{Umfang}$ $\times \text{Höhe}$ $+ \text{doppelte}$ Grundfläche	Schnittpunkt der Diagonalen	$J = \text{Länge}$ $\times \text{Breite}$ $\times \text{Höhe}$
 <p>Pyramide.</p>	$O = \text{Summe der}$ begrenzenden Dreiecke $+ \text{Grundfläche}$	$SO = \frac{1}{4} h$	$J = \frac{h}{3}$ $\times \text{Grundfläche}$
 <p>Hohlzylinder.</p>	$M = \text{innerer}$ $+ \text{äußerer}$ Mantel $= 2 \pi h \cdot (r + r_1)$	$SO = \frac{h}{2}$	$J = \pi \cdot h$ $\cdot (r^2 - r_1^2)$
 <p>Schief abgeschnittener Zylinder.</p>	$M = \pi r (h + h_1)$	$SO = \frac{h + h_1}{4}$ $+ \frac{1}{4} \cdot \frac{r^2 \cdot \text{tg}^2 \alpha}{h + h_1}$	$J = \pi r^2 \frac{h + h_1}{2}$

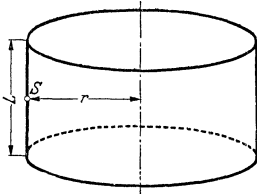
Körperberechnung.

	Oberfläche O Mantelfläche M	Lage des Schwerpunktes S	Rauminhalt J
 <p style="text-align: center;">Kugel.</p>	$O = 4\pi r^2$ $= \pi d^2$	im Mittelpunkt	$J = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$ $= \frac{\pi \cdot d^3}{6}$
 <p style="text-align: center;">Kugelausschnitt.</p>	$O =$ $\frac{\pi \cdot r}{2} \cdot (4h + s)$	$SO =$ $\frac{3}{4} \cdot \left(r - \frac{h}{2} \right)$	$J = \frac{2}{3}\pi \cdot r^2 \cdot h$
 <p style="text-align: center;">Kugelabschnitt.</p>	$M = 2\pi r \cdot h =$ $\frac{\pi}{4} \cdot (s^2 + 4h^2)$	$SO =$ $\frac{3}{4} \cdot \frac{(2r - h)^2}{3r - h}$	$J = \pi \cdot h^2 \cdot \left(r - \frac{h}{3} \right)$ $= \pi h \cdot \left(\frac{s^2}{8} + \frac{h^2}{6} \right)$
 <p style="text-align: center;">Kegel.</p>	Fläche des Kegel-Mantels $= \pi \cdot r \cdot s$ $= \pi \cdot r \sqrt{r^2 + h^2}$	$SO = \frac{1}{4}h$	$J = \frac{h}{3} \cdot r^2 \pi$
 <p style="text-align: center;">Abgestumpfte Pyramide.</p>	$O =$ Summe der begrenzenden Trapeze + obere + untere Grundfläche	$SO = \frac{h}{4}$ $\cdot \frac{F + 2\sqrt{F \cdot f} + 3f}{F + \sqrt{F \cdot f} + f}$	$J = \frac{h}{3}$ $\cdot (F + f + \sqrt{F \cdot f})$ (f obere, F untere Grundfl.)
 <p style="text-align: center;">Abgestumpfter Kegel.</p>	$M = \pi s (r + r_1)$	$SO = \frac{h}{4}$ $\cdot \frac{r^2 + 2r \cdot r_1 + 3r_1^2}{r^2 + r \cdot r_1 + r_1^2}$	$J = (r^2 + r_1^2 + r r_1)$ $\cdot \frac{\pi h}{3}$

Körperberechnung.

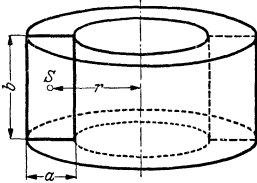
	Oberfläche O Mantelfläche M	Rauminhalt J
 <p style="text-align: center;">Obelisk.</p>	<p>$O =$ Summe der 4 Trapeze + beide Endflächen</p>	$J = \frac{h}{6} [(2a + a_1) \cdot b + (2a_1 + a) \cdot b_1]$ $= \frac{h}{6} [a \cdot b + a_1 \cdot b_1 + (a + a_1) \cdot (b + b_1)]$
 <p style="text-align: center;">Kugelzone.</p>	<p>$M = 2r \cdot \pi \cdot h$</p>	$J = \frac{\pi \cdot h}{6} \cdot (3a^2 + 3b^2 + h^2)$
 <p style="text-align: center;">Keil.</p>	<p>$O =$ Summe der 2 Trapeze, der beiden Seitendreiecke und der recht- eckigen Endfläche</p>	$J = (2a + a_1) \cdot \frac{b \cdot h}{6}$
 <p style="text-align: center;">Faß.</p>	<p>Durch einfache Formeln nicht ausdrückbar</p>	<p>angenähert:</p> $J = \frac{\pi \cdot l}{15} \cdot (2D^2 + D \cdot d + 0,75d^2)$
 <p style="text-align: center;">Ellipsoid.</p>	<p>Durch einfache Formeln nicht ausdrückbar</p>	$J = \frac{4}{3} \cdot a \cdot b \cdot c \cdot \pi$

Guldinsche Regel.



Der Inhalt F einer Umdrehungsfläche, die durch Drehung einer Linie L um eine Achse entstanden ist, ist gleich der erzeugenden Linie L multipliziert mit dem Weg, den der Schwerpunkt S mit dem Abstand r von der Drehachse beschreibt.

$$F = L \cdot 2 r \pi .$$



Der Inhalt J eines Umdrehungskörpers, der durch Drehung einer Fläche F um eine Achse entstanden ist, ist gleich dem Flächeninhalt F multipliziert mit dem Weg, den der Schwerpunkt S mit dem Abstand r von der Drehachse beschreibt.

$$F = a \cdot b ;$$

$$J = F \cdot 2 r \pi = a \cdot b \cdot 2 r \pi .$$

Beispiel: Zylindrischer Ring



$$F = 4 \pi^2 \cdot R \cdot r = 39,478 \cdot R \cdot r$$

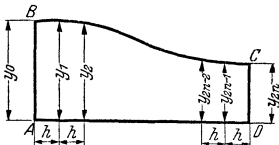
$$= \pi^2 \cdot D \cdot d = 9,8696 \cdot D \cdot d .$$

$$J = \frac{\pi^2 R d^2}{2} = 4,9348 R d^2$$

$$= \frac{\pi^2 D d^2}{4} = 2,4674 D d^2$$

$$= 2 \pi^2 \cdot R \cdot r^2 = 19,739 R \cdot r^2 .$$

Ermittlung des Inhaltes einer beliebig begrenzten Fläche (Simpsonsche Regel).



Begrenzung der Fläche durch:

$$BA = y_0 \perp AD ;$$

$$CD = y_{2n} \perp AD ;$$

BC beliebige Kurve.

Die Fläche wird in eine gerade Anzahl ($2n$) von Teilen geteilt, indem in gleichen Abständen h zu y_0 Parallele gezogen werden. Es ist dann

$$F = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{2n-2} + 4y_{2n-1} + y_{2n}) .$$

Häufig vorkommende Zahlenwerte.

π die Ludolphsche Zahl; g die Beschleunigung durch die Schwere = 9,81 m/s² = 32,18 Fuß engl./s² (genau s. S. 72 u. 81); e Basis der nat. Logarithmen = 2,718281828.

Größe	Zahlenwert	Größe	Zahlenwert	Größe	Zahlenwert
π	3,14159265 ...	$\sqrt[3]{\frac{\pi}{2}}$	1,162447	$\log \pi$	0,49715
$\pi \sqrt{2}$	4,44288	$\sqrt[3]{\frac{\pi^2}{2}}$	2,145029	$\log \pi^2$	0,99430
$\frac{1}{2} \pi$	1,570796	$\pi \sqrt[3]{\pi}$	4,601151	$\log \pi^3$	1,49145
$\frac{1}{3} \pi$	1,047198	$\pi \sqrt[3]{\pi^2}$	6,738808	$\log \sqrt{\pi}$	0,24858
$\frac{1}{4} \pi$	0,785398	$\frac{1}{\pi}$	0,318310	$\log \sqrt[3]{\pi}$	0,16572
$\frac{1}{6} \pi$	0,523599	$\frac{16}{\pi}$	5,092958	$\log \frac{1}{\pi}$	0,50285 - 1
$\frac{1}{12} \pi$	0,261799	$\frac{64}{\pi}$	20,371833	$\log \frac{1}{\pi^2}$	0,00570 - 1
$\frac{1}{16} \pi$	0,196350	$\frac{180}{\pi}$	57,295780	$\log \frac{1}{\pi^3}$	0,50856 - 2
$\frac{1}{32} \pi$	0,098175	$\frac{1}{\pi^2}$	0,101321	$\log \sqrt{\frac{1}{\pi}}$	0,75143 - 1
$\frac{1}{64} \pi$	0,049087	$\frac{1}{\pi^3}$	0,032252	$\log \sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0,83428 - 1
$\frac{1}{90} \pi$	0,034907	$\frac{1}{\pi^4}$	0,010266	g	9,81
$\frac{1}{180} \pi$	0,017453	$\frac{1}{\pi^5}$	0,003268	g^2	96,2361
$\frac{\pi}{\sqrt{2}}$	2,221442	$\frac{1}{\pi^6}$	0,001040	\sqrt{g}	3,132092
π^2	9,869604	$\sqrt{\frac{1}{\pi}}$	0,564190	$\pi \sqrt{g}$	9,839757
$4\pi^2$	39,478418	$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0,797885	$2\sqrt{g}$	6,264184
$\frac{1}{4} \pi^2$	2,467401	$\sqrt{\frac{3}{\pi}}$	0,977205	$\sqrt{2g}$	4,429447
$\frac{1}{16} \pi^2$	0,616850	$\sqrt{\frac{90}{\pi}}$	5,352372	$\pi \sqrt{2g}$	13,91536
π^3	31,006277	$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0,682784	$1 : g$	0,101936
π^4	97,409091	$\sqrt[3]{\frac{2}{\pi}}$	0,860254	$\pi^2 : g$	1,006075
π^5	306,019685	$\sqrt[3]{\frac{3}{\pi}}$	0,977205	$1 : 2g$	0,050968
π^6	961,389194	$\sqrt[3]{\frac{90}{\pi}}$	5,352372	$1 : g^2$	0,010391
$\sqrt{\pi}$	1,772454	$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0,682784	$\frac{1}{\sqrt{g}}$	0,319275
$2\sqrt{\pi}$	3,544908	$\sqrt[3]{\frac{2}{\pi}}$	0,860254	$\frac{\pi}{\sqrt{g}}$	1,003033
$\sqrt{2\pi}$	2,506628	$\sqrt[3]{\frac{3}{\pi}}$	0,977205	$\frac{\pi}{2\sqrt{g}}$	0,709252
$\sqrt{\frac{1}{2}\pi}$	1,253314	$\sqrt[3]{\frac{90}{\pi}}$	5,352372	e^2	7,389056
$\pi \sqrt{\pi}$	5,568328	$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	0,682784	$1 : e$	0,367879
$\sqrt[3]{\pi}$	1,464592	$\sqrt[3]{\frac{2}{\pi}}$	0,860254	$1 : e^2$	0,135335
$\sqrt[3]{2\pi}$	1,845261	$\sqrt[3]{\frac{3}{\pi}}$	0,974745	\sqrt{e}	1,648721
				$\sqrt[3]{e}$	1,395612

Einige Rechenhilfen.

I. Regeln für Kopfrechnen.

a) Es gilt allgemein für **Faktoren im gleichen Zehnerbereich**, deren Endziffern sich zu 10 ergänzen:

$$(a + b) \cdot (a + 10 - b) = a(a + 10) + b(10 - b), \text{ also z. B.}$$

$$43 \cdot 47 = 40 \cdot 50 + 3 \cdot 7 = 2021.$$

Man rechnet **im Kopfe**:

$$75 \cdot 75 = 70 \cdot 80 + 5 \cdot 5 = 5625,$$

$$32 \cdot 38 = 30 \cdot 40 + 2 \cdot 8 = 1216.$$

$$13,2 \cdot 13,8 = 13 \cdot 14 + 0,2 \cdot 0,8 = 182,16,$$

$$104 \cdot 106 = 100 \cdot 110 + 4 \cdot 6 = 11024.$$

b) Es gilt allgemein für **Faktoren in benachbarten Zehnerbereichen**, deren Endziffern sich zu 10 ergänzen:

$$(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2,$$

$$82 \cdot 78 = (80 + 2) \cdot (80 - 2) = 80 \cdot 80 - 2 \cdot 2 = 6396.$$

Man rechnet **im Kopfe**:

$$33 \cdot 47 = 40 \cdot 40 - 7 \cdot 7 = 1551,$$

$$7,1 \cdot 8,9 = 8 \cdot 8 - 0,9 \cdot 0,9 = 63,19.$$

c) Es gilt für **Quadrate**:

$$(a + b)^2 = a^2 + b[a + (a + b)].$$

Man rechnet **im Kopfe**:

$$21^2 = 20^2 + 1[20 + 21] = 441,$$

$$22^2 = 20^2 + 2[20 + 22] = 484,$$

$$23^2 = 20^2 + 3[20 + 23] = 529,$$

$$25^2 = 20^2 + 5[20 + 25] = 625.$$

Letzteres bequemer nach Regel 1a

$$25^2 = 20 \cdot 30 + 25 = 625,$$

$$(a - b)^2 = a^2 - b[a + (a - b)].$$

Man rechnet **im Kopfe**:

$$29^2 = 30^2 - 1[30 + 29] = 841,$$

$$28^2 = 30^2 - 2[30 + 28] = 784,$$

$$27^2 = 30^2 - 3[30 + 27] = 729.$$

2. Man rechnet **mit Spalte** $\frac{1000}{n}$ **der Zahlentafel**

$$\frac{788}{787} = 1 + \frac{1}{787} = 1,00127 \quad \text{und} \quad \frac{785}{787} = 1 - \frac{2}{787} = 0,99746.$$

3. Das **geometrische Mittel** einander **nahe** liegender Zahlen ist ihrem **arithmetischen Mittel** nahezu gleich:

$$\sqrt{3,61 \cdot 3,73} \approx \frac{3,61 + 3,73}{2} = 3,67,$$

$$\sqrt{25,4 \cdot 26,2} \approx \frac{25,4 + 26,2}{2} = 25,8.$$

4. Man rechnet **mit Spalte \sqrt{n} der Zahlentafel**

$$\sqrt{76,21} \approx 8,718 \text{ (d. i. } \sqrt{76}) + \frac{0,21}{2 \cdot 8,718} = 8,718 + 0,012 = 8,730,$$

$$\sqrt{927,43} \approx 30,447 \text{ (d. i. } \sqrt{927}) + \frac{0,43}{2 \cdot 30,447} = 30,447 + 0,007 + 30,454$$

$$\text{oder } \sqrt{76,21} \approx \sqrt{76} + \frac{0,21}{2 \cdot \sqrt{76}} = \sqrt{76} \left(1 + \frac{0,21}{2 \cdot 76} \right) 8,718 \cdot 1,00138 = 8,730.$$

5. Bei **Zahlen nahe 1** rechnet man so:

$$1,03 \cdot 1,06 \approx 1 + 0,03 + 0,06 = 1,09,$$

$$1,03 \cdot 0,94 \approx 1 + 0,03 - 0,06 = 0,97.$$

6. Mit **Zahlen nahe 1** rechnet man, wie die Beispiele zeigen. (Es ist $1,027 = 1 + 0,027$ und $0,973 = 1 - 0,027$.)

$$1,027^2 \approx 1 + 2 \cdot 0,027 = 1,054, \quad \sqrt{1,027} \approx 1 + \frac{1}{2} \cdot 0,027 = 1,0135.$$

$$1,027^3 \approx 1 + 3 \cdot 0,027 = 1,081, \quad \sqrt[3]{1,027} \approx 1 + \frac{1}{3} \cdot 0,027 = 1,009,$$

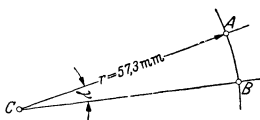
$$0,973^2 \approx 1 - 2 \cdot 0,027 = 0,946, \quad \sqrt{0,973} \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot 0,027 = 0,9865.$$

$$0,973^3 \approx 1 - 3 \cdot 0,027 = 0,919, \quad \sqrt[3]{0,973} \approx 1 - \frac{1}{3} \cdot 0,027 = 0,991,$$

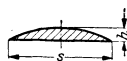
$$\frac{1}{1,027} \approx 1 - 0,027 = 0,973, \quad \frac{1}{0,973} \approx 1 + 0,027 = 1,027.$$

7. **Auftragen und Messen von Winkeln** bis etwa 15° mittels Kreises von $r = 57,3$ mm:

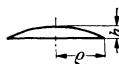
Millimeterzahl der Sehne \overline{AB} sehr nahe gleich der **Gradzahl** von γ ; so entspricht einer Sehne von 12,7 mm ein Winkel von $12,7^\circ$. Größter Fehler bei $15^\circ \approx 0,1^\circ$.



8. „**Fläche**“ **Kreisabschnitte** haben einen **Flächeninhalt** sehr nahe gleich $\frac{2}{3}sh$. Die Fläche wird um weniger als 1 vH unterschätzt, falls $h < \frac{1}{3}s$.



9. „**Fläche**“ **Kugelabschnitte** haben einen **Rauminhalt** sehr nahe gleich $\frac{1}{2}\pi\rho^2 h$. Der Rauminhalt wird um weniger als 1 vH unterschätzt, falls $h < \frac{1}{6}\rho$.



10. **Abgekürzte Multiplikation**. Die beiden Faktoren seien ohne Rücksicht auf Kommastellung und etwaige Nullen vorn und hinten, also nur in

der Ziffernfolge, 9175326 bzw. 280676. Man beachte höchstens nur die ersten 5 Ziffern, deren letzte richtig abgerundet und gleich abgeteilt wird. Das in Klammern Stehende soll die Rechnung erläutern; der Einfluß der kleingedruckten Ziffern wird jedesmal im Kopfe zugeschlagen.

9175	3 · 2806|8	oder	2806	8 · 9175|3
18351	(= 2 · 9175 ₃)		25261	(= 9 · 2806 ₈)
7340	(= 8 · 917 ₅)		281	(= 1 · 280 ₆)
0	(= 0 · 91 ₇)		196	(= 7 · 28 ₀)
55	(= 6 · 9 ₁)		14	(= 5 · 2 ₈)
7	(= 8 · 0 ₆)		1	(= 3 · 0 ₂)
25753			25753	

Die genauere Ziffernfolge des Ergebnisses heißt 25752|938. Die Kommastellung im Ergebnis wird durch Überschlag bestimmt.

II. Abgekürzte Division. Auch hier wird nur mit Ziffernfolgen gearbeitet; die Kommastellung im Ergebnis durch Überschlag bestimmt. Man schreibe Dividend und Divisor je mit höchstens 5 Ziffern, die letzte richtig abgerundet, und teile vom Divisor die letzte Ziffer ab, falls, als fünfstellige Zahlen betrachtet, der Dividend kleiner als der Divisor ist.

46739 : 6914|7 = 67594	23456 : 21741 = 10789
41488	21741
5251	1715
4840	1522
411	193
346	174
65	19
62	20
3	9
3	2

Neugrad und Altgrad (vgl. DIN 1315).

	1 Neu- grad 1 ^g	1 Neu- minute 1 ^c	1 Neu- sekunde 1 ^{cc}	1 Alt- grad 1 ^o	1 Alt- minute 1 [']	1 Alt- sekunde 1 ^{''}
1 Neugrad (1 ^g)	1	100	10000	0,9	54	3240
1 Neuminute (1 ^c) . . .	0,01	1	100	0,0090	0,54	32,4
1 Neusekunde (1 ^{cc}) . .	0,0001	0,01	1	0,00009	0,0054	0,324
1 Altgrad (1 ^o)	1,111	111,11	11111,1	1	60	3600
1 Altminute (1 ['])	0,0185	1,850	185	0,01667	1	60
1 Altsekunde (1 ^{''}) . . .	0,000309	0,0309	3,09	0,000278	0,01667	1

Mathematische Zeichen.

Aufgestellt vom Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF)
nach DIN 1302.

Zeichen	Bedeutung	Zeichen	Bedeutung
1. 1)	erstens	!	Fakultat
()	Benummerung von Formeln	Δ	endliche Zunahme
% vH	Hundertel, vom Hundert, Prozent	d	vollständiges Differential
‰ vT	Tausendstel, vom Tausend, Promille	∂	partielles Differential
/	in 1, für 1, auf 1, pro, je	δ	Variation, virtuelle Änderung
() [] }	Klammer	đ	Diminutiv
,	Dezimalzahlen	Σ	Summe von; Grenzbezeichnungen sind unter und über das Zeichen zu setzen. Die Summationsvariable wird unter das Zeichen gesetzt.
,	Komma unten oder Punkt oben. Zur Gruppenabteilung bei größeren Zahlen sind weder Komma noch Punkt, sondern Zwischenräume zu verwenden.	\int	Integral
+	plus, mehr, und	||	parallel
-	minus, weniger	$\#$	gleich und parallel
· ×	mal, multipliziert mit Der Punkt steht auf halber Zeilenhöhe. Das Multiplikationszeichen darf weggelassen werden.	$\uparrow\uparrow$	parallel und gleichgerichtet
:	geteilt durch	$\uparrow\downarrow$	parallel und entgegengesetzt gerichtet
=	gleich	\perp	rechtwinklig zu
\equiv	identisch mit	\triangle	Dreieck
\neq	nicht gleich	\cong	kongruent
\neq	nicht identisch gleich	\sim	ähnlich, proportional
\approx	nahezu gleich, rund, etwa	\sphericalangle	Winkel
$<$	kleiner als	\overline{AB}	Strecke AB
$>$	größer als	\widehat{AB}	Bogen AB
\ll	klein gegen	log	Logarithmus
\gg	groß gegen	${}^a\log$	Logarithmus zur Basis a
\approx	kleiner oder gleich	lg	Briggsscher Logarithmus
\approx	größer oder gleich	ln	natürlicher Logarithmus
∞	unendlich	$^\circ$	Grad
...	bis Drei Punkte auf der Zeile. Z. B. 12 ... 25 bedeutet 12 bis 25. Die Grenzen gelten als eingeschlossen; soll die obere oder untere Grenze ausgeschlossen sein, so ist dies besonders anzugeben, z. B. 12 ... (25 oder 12) ... 25; usw., unbegrenzt	'	Minute
$\sqrt{\quad}$	Wurzelzeichen	"	Sekunde Beispiel: $32^\circ 15' 13''$, 42
$\begin{vmatrix} | & | \\ | & | \end{vmatrix}$	Determinante	g	hochgestellt $\left\{ \begin{array}{l} \text{Neugrad} \\ \text{Neuminute} \\ \text{Neusekunde} \end{array} \right.$
$\begin{vmatrix} | & | \\ | & | \end{vmatrix}$	Betrag einer reellen oder komplexen Größe	c	
		cc	1 Rechter; $90^\circ = 100^g$ $1^\circ = 1^g 11' 11,11 \dots cc$
		$1L$	Umrechnungstafel s. S. 54.
		rad	Radian-Winkel von Bogenmaß 1 $1 \text{ rad} = 57^\circ 17' 44,8'' = 57,29578^\circ$
		sin	sinus
		cos	cosinus
		tg	tangens
		ctg	cotangens
		arc sin	arcus sinus
		arc cos	arcus cosinus
		arc tg	arcus tangens
		arc ctg	arcus cotangens

Maße und Gewichte

Das metrische Maßsystem

Ländernamen	Längenmaße	1 m =	Flächenmaße	1 m² =
China (das metrische System ist in Einführung)	1 Tschì (Covid, Fuß) als Feldmaß = 0,3196 m n. Vertr. m. Engl. = 0,3581 m als Handelsmaß = 0,373 m 1 Tschì zu 10 Tsun (Zoll) zu 10 Fên (Linie) zu 10 Li zu 10 Hao 1 Pu (Doppelschritt) = 5 Tschì 1 Tschang (Rute) = 10 Tschì 1 Li (Meile) = 180 Faden = 0,5755 km	3,125 2,793 2,681	1 Mau = 631 m² 1 King = 0,2453 ha 1 ha = 4,0766 King Seidenzeug nach Gewicht	1,5848 1000
Frankreich	metrisch, früher: 1 Pariser Fuß = 0,324839 m (1 m = 443,296 Par. Lin.)	3,0784 0,0022558	metrisch	
Griechenland	metrisch 1 griechische Meile = 10 km	0,0001	metrisch 1 Stremma = 10 a	0,001
England (das metrische Maß und Gewicht sind zugelassen ¹⁾)	1 Zoll, Inch (16- od. 12 teilig) = 25,4 mm 1 Fuß (= 12 Zoll) = 304,8 mm 1 Yard (= 3 Fuß) = 0,9144 m 1 Fathom = 2 Yards = 6 Fuß = 72 Zoll = 1,8288 m 1 Chain zu 100 Links zu 7,92 Inches = 20,12 m 1 Statute Mile zu 8 Furlongs zu 40 Ruten zu 2,75 Fathoms zu 2 Yards = 1760 Yards = 1,609344 km Die Normaltemperatur, bei der ein englischer Maßstab seinem Nennwert entsprechen soll, beträgt 20° C = 68° F Kaufmännisch 12 Yards = 11 m	39,37 3,2808 1,0936 0,5468 0,0497	1 Qu.-Zoll = 6,4516 cm² 1 Qu.-Fuß = 0,09290 m² 1 Qu.-Yard = 0,8361 m² 1 Acre = 160 Qu.-Ruten = 4848 Qu.-Yard = 40,5356 a 1 Yard of land = 30 Acres = 12,1607 ha 1 Hide of land = 100 Acres = 40,536 ha 1 Mile of land = 640 Acres = 2,5943 km² 1 ha = 2,4670 Acres = 0,02467 Hide of land = 0,0822 Yard of land = 0,0038 547 Mile of land	15,50 10,7643 1,19617
Ostindien (britisch)	1 Guz zu 2 Hat zu 24 Angli = 1 engl. Yard = 0,9144 m 1 Meile zu 1000 engl. Faden zu 4 Cubits oder 2 Bombay-Guz = 1,8288 km 1 Cubit (Madras) = 0,4572 m 1 Guz (Bombay) = 0,6858 m 1 Guz (Bengalen) = 0,9144 m Im Großhandel d. engl. Yard	1,0936 2,1872 1,4582 1,0936	1 Qu.-Yard = 0,8361 m² 1 Acre = 40,4671 a 1 Qu.-Fuß = 0,0929 m² 1 Qu.-Cubit = 0,209 m² 1 Qu.-Guz (Bombay) = 0,4703 m² 1 Qu.-Meile = 3,3444 km²	1,19617 10,7643 4,7847 2,1262
Japan	metrisch und englisch 1 Shaku (Fuß) zu 10 Sun (Zoll) zu 10 Bu (Linien) zu 10 Mo = 0,303 m 1 Ri (Meile) zu 36 Tschô zu 60 Ken zu 6 Shaku = 3,92727 km 1 Shaku für Stoffe = 0,3788 m	3,3003 2,6385	metrisch und englisch 1 Qu.-Tschô zu 10 Tan zu 10 Se zu 30 Tsubo zu 36 Qu.-Shaku = 0,99174 ha 1 ha = 1,00833 Qu.-Tschô	

¹⁾ Umrechnung Zoll—mm siehe Seite 60ff.

verschiedener Länder.

siehe S. 69 bis 71. (Z. T. nach „Hütte“.)

Raummaße	1 hl =	Gewichte	1 kg =	Ländernamen
1 Tschì Getreide zu 10 Sching = 1,031 hl 1 Sai Getreide zu 2 Hwo zu 10 Sching = 1,2243 hl (Getreide und Flüssigkeiten sonst meist nach Gewicht.)	0,9708 0,8168	1 Tael (Unze, liang) = 37,783 g 1 Picul (Zentner, tan) = 100 Catties (Pfund) = 60,453 kg 1 Catty = 16 Taels = 604,53 g Dezimale Unterteilung des Tael in Mace = Tschien, Can dareen = Fên, Cash = li, hao.	26,467 1,6542 100	China (das metrische System ist in Einführung)
metrisch 1 Stère = 1000 l	0,1	metrisch		Frankreich
metrisch 1 Kiló = 1 hl	1	metrisch 1 Stater = 56,32 kg	1,775 56 100	Griechenland
1 Kub.-Zoll = 16,387 cm ³ 1 Kub.-Fuß = 0,028 317 m ³ 1 Kub.-Yard = 0,7645 m ³ 1 Register-Ton = 100 Kub.-Fuß = 2,832 m ³ 1 Imperial Gallon v. 277,2738 Kub.-Zoll = 4,54 396 l ¹⁾ 1 alter (Winchester-) Gallon von 231 Kub.-Zoll = ⁵ / ₈ Imp. Gallon = 3,78 540 l 1 Last zu 10 Quarters zu 8 Bushels zu 4 Peks zu 2 Gallons = 29,0813 hl 1 Barrel zu 2 Kilderkin zu 2 Firkin zu 9 Gallons = 1,636 hl 1 Anker = 10 Imp. Gallons von 1824 = 0,454 396 hl 1 Tun zu 2 Pipes (Butts) zu 2 Hogsheads zu 63 Gallons = 11,45 hl	6103 3,53 166 0,13 080 0,03 532 22,01 26,42 0,0344 0,6116 2,2009 0,0873	1 Ounce = 28,3495 g 1 Pfd avoirdupoids (lbs.) [Handelsgewicht] zu 16 Ounces zu 16 Drams = 0,453 59 kg = 7000 Troygrains 1 Troypfund [Gold-, Silber- und Münz-, sowie Apothekergewicht] zu 12 Ounces zu 20 Pennyweights (dw) = 5760 Grains = 0,340 194 kg 1 Schiffston (short ton, Kanada, Ver. St. [siehe d.]) = 2000 Pfund (lbs.) = 907,18 kg 1 Ton (long ton) = 20 Hundred- (cent-) weight zu 4 Quarters zu 28 Pfund (= 2240 lbs.) = 1016,05 kg	2,204 62 2,9395 1,102 31 1000 0,984 206 1000	England (das metrische Maß und Gewicht sind zugelassen)
Flüssigkeiten nach engl: Imperial Gallons oder, wie Getreide, nach Gewicht. 1 Khahoon (Bengalen) zu 16 Soallees wiegt 1354,73 kg 1 Kandry Reis (Bombay) wiegt 97,95 kg 1 Garce (Madras) zu 80 Parahs zu 5 Markals = 4,916 m ³	1 kg = 0,738 15 1000 0,0102	1 Bazar Maund zu 40 Sihrs (Seers) zu 16 Chittaks zu 5 Tolas = 37,324 kg 1 Faktorei Maund = 33,868 kg 1 Madras Maund = 11,34 kg 1 Bombay Maund zu 40 Sihrs zu 30 Parahs = 12,70 kg	0,026 79 0,029 53 0,088 18 0,078 74	Ostindien (britisch)
metrisch und englisch 1 Sho zu 10 Go zu 10 Sai zu 10 Satsu = 1,803 907 l 1 Koku zu 10 To zu 10 Sho = 1,803 907 hl	1 hl = 55,44 0,5544	metrisch und englisch 1 Kin zu 160 Momme zu 10 Fun zu 10 Rin zu 10 Mò = 0,600 kg 1 Kwan zu 1000 Momme = 3,7565 kg	1,667 0,266 19	Japan

¹⁾ Imperial Gallon von 1824. Mit der Jahreszahl 1890 wird 1 Imperial Gallon zu 277,463 Kub.-Zoll = 4,546 509 l angegeben; 1 l = 0,219949 Imperial Gallons. Hieraus ergibt sich 1 hl = 2,7466 Bushel; 1 Bushel = 0,3637 hl. 1 Imperial Gallon zu 4 Quarts zu 2 Pints zu 4 Gills.

Maße und Gewichte

Das metrische Maßsystem

Ländernamen	Längenmaße	1 m =	Flächenmaße	1m² =
Rußland (UdSSR)	metrisch; früher: 1 Saschehn (zu 7 Fuß oder zu 3 Arschin zu 16 Werschok) = 2,133 57 m 1 russ. Fuß = 1 engl. Fuß (Zoll 10 teilig) 1 Werst zu 500 Saschehn = 1,066 781 km 1 Meile zu 7 Werst = 7,467 465 km 1 km = 0,9374 Werst = 0,1339 Meilen	0,4687	metrisch; früher: 1 Dessätine zu 2400 Qu.-Saschehn = 1,0925 ha 1 Qu.-Saschehn = 9 Qu.-Arschin = 2304 Qu.-Werschok = 4,5521 m² 1 Qu.-Werst = 1,138 02 km² 1 Lofstelle ~ 1/2 Dessätine 1 ha = 0,9153 Dessätine 1 km² = 0,87872 Qu.-Werst	0,21 968
Schweden	metrisch; früher: 1 Famn zu 3 Alen zu 2 Fuß zu 10 Zoll = 1,7814 m 1 Fuß = 0,296 901 m 1 Meile = 10,6886 km	0,5614 3,36813 0,0936	metrisch; früher: 1 Tunnlund zu 2Spanland zu 16Kappland zu 3 1/2 Kannland = 56000 Qu.-Fuß = 0,493 641 ha 1 ha = 2,02 576 Tunnlund	
Ver- einigte Staaten von Nord- amerika (das metrische Maß und Gewicht sind zu- gelassen)	englisch; jedoch: 1 yard = 0,914 402 = $\frac{3600}{3937}$ m 1 amer. Zoll = 25,400051 mm Justiertemperatur für amer. Yardmaße +20° C 1 Statute Mile = 1,609 32 km 1 Naut. M. = 1,854 96 km 1 League = 3 Naut. Miles oder = 3 Statute Miles 1 km = 0,6214 Statute Mile = 0,5391 Naut. Mile	1,093 611	englisch 1 Qu.-Meile (Sektion) = 2,5899 km² 1 Township zu 36 Sektionen = 93,236 km² 1 km² = 0,3861 Qu.-Meile = 0,01 073 Township	

Internationale Längenmaße:

- 1 geogr. Meile = 7420,4 m (15 Meilen = 1° des Äquators).
- 1 deutsche und französische Seemeile ist gleich der mittleren Länge einer Bogen- minute des Erdmeridians = 1852 m = 6076,23 engl. Fuß.
- (1 Knoten = 1 engl. Seemeile [admiralty knot] = 1853,2 m = 6080 engl. Fuß).
- 1 Faden (engl. Tiefenmaß) = 1,8288 m.

Internationales Gewicht:

- 1 Karat (Einheit der Juwelengewichte) = 200 mg; vgl. Mitt. d. Physik.-Techn. Reichs- amt, Abt. I f. Maß u. Gewicht 1927, S. 27; RGBl. I, 1935, S. 1499.

Alte

	Baden und Schweiz	Bayern	Österreich
Längen- maß	1 Fuß = 0,3000 m 1 m = 3,3333 Fuß 1 Fuß zu 10 Zoll zu 10 Linien 10 Fuß = 1 Rute	1 Fuß = 0,29186 m 1 m = 3,42631 Fuß 1 Fuß zu 12 Zoll zu 12 Linien 10 Fuß = 1 Rute	1 Fuß = 0,3161 m 1 m = 3,1637 Fuß 1 Fuß zu 12 Zoll zu 12 Linien 12 Fuß = 1 Rute
Feldmaß	1 Morg. (Juchart) = 36 a 1 ha = 2,7778 Morgen 1 Morgen = 400 Qu.-Ruten	1 Tagwerk = 34,0727 a 1 ha = 2,9349 Tagwerk 1 Tagwerk = 100 Dezimal = 400 Qu.-Ruten	1 Wiener Joch = 57,5464 a 1 ha = 1,7377 Joch 1 Joch = 300 Qu.-Ruten
Gewicht	1 Pfund = 0,5 kg 1 kg = 2 Pfund 1 Pfund = 0,467 711 kg (bis 1 kg = 2,1381 Pfund [1839])	1 Pfund = 0,56 kg 1 kg = 1,7857 Pfund	1 Pfund = 0,56 kg 1 kg = 1,7857 Pfund

verschiedener Länder (Fortsetzung).

siehe S. 69 bis 71. (Z. T. nach „Hütte“.)

Raummaße	1 hl =	Gewichte	1 kg =	Ländernamen
metrisch 1 Kub. Saschne = 9,7123 m ³ 1 Botscka zu 40 Wedro zu 100 Tscharka = 4,9195 hl 1 Krutschka (Stoof) = 1,229 89 l 1 Tschetwert zu 8 Tschet- werik zu 8 Garnitzi = 2,099 hl 1 Wedro (Eimer) = $\frac{1}{40}$ Botscka (Faß) = 10 Stoof = 20 Flaschen = 12,299 l	0,1030 $\frac{10}{10}$ 0,2033 81,31 0,4764	1 Pfund = 0,409 511 kg 1 Pud zu 40 Pfund zu 32 Lot zu 3 Solotnik zu 96 Doli = 16,380 46 kg 1 Tonne zu 6,2 Berkowitz zu 10 Pud = 1015,5 kg 1 Last = 2025,44 kg	2,441 93 0,061 05 $\frac{0,9847}{1000}$ 0,4937 $\frac{1000}{1000}$	Rußland (UdSSR)
metrisch; früher: 1 Ahm zu 6 Kub.-Fuß zu 10 Kannen = 1,570 313 hl 1 Tonne = 1,6489 hl	0,6368 0,6065	metrisch; früher: 1 Zentner zu 100 Skálpund zu 100 Ort = 42,507 58 kg 1 Schiffspfund = 170,028 kg 1 Schiffslast = 5760 Pfund = 2450 kg	0,023 52 $\frac{5,881 38}{1000}$ 0,408 16 $\frac{1000}{1000}$	Schweden
altenglisch 1 (Wein-)Gallon zu 4 Quarts zu 2 Pints zu 4 Gills zu 4 Fluid Ounces = 3,785 2 l 1 Trocken-Gall. (Getreidem.) von 268,803 Kub.-Zoll = 4,404 6 l (1 Bushel = 8 Trocken-Gall.) 1 gehäuft. Gallon = $1\frac{1}{4}$ Trocken-Gallons 1 Barrel Petroleum zu 42 Gallons = 1,589 8 hl 1 Barrel Bier zu 31 Gallons = 1,173 hl	26,42 22,70 0,6291 0,8525	englisch 1 Hundred-weight häufig (z. B. in New York) zu 4 Quarters zu 25 Pfund = 45,359 kg 1 Ton (short ton) zu 2000 Pfund (lbs.) = 907,185 3 kg 1 long ton zu 2240 Pfund (lbs.) = 1016,047 5 kg 1 Barrel Mehl zu 196 Pfund = 88,9 kg 1 Barrel Fleisch zu 220 Pfund = 90,72 kg 1 Barrel Salz = 280 Pfund 1 Humpheon Maismehl zu 800 Pfund = 362,88 kg	2,204 63 $\frac{100}{1,102 31}$ $\frac{1000}{0,984 206}$ $\frac{1000}{1,125}$ $\frac{100}{1,102 3}$ $\frac{100}{1,102 3}$ 2,756 1000	Vereinigte Staaten von Nord- amerika (das metrische Maß und Gewicht sind zu- gelassen)

Schiffsmaß:

1 Reg.-Ton = 100 engl. Kub.-Fuß = 2,832 m³; 1 m³ = 0,353 Reg.-Ton.

Bruttotonnagehalt = Gesamtinhalt aller Schiffsräume einschließlich Aufbauten.

Nettotonnagehalt = Inhalt des nutzbaren Schiffsraumes = Bruttotonnagehalt weniger die zum Betrieb nötigen Räume.

Maße.

Preußen	Sachsen (Königreich)	Württemberg	
1 Fuß (sog. rheinl.) = 0,3139 m 1 m = 3,1862 Fuß 1 Fuß zu 12 Zoll zu 12 Linien 12 Fuß = 1 Rute	1 Fuß = 0,2832 m 1 m = 3,5312 Fuß 1 Fuß zu 12 Zoll zu 12 Linien 15 $\frac{1}{6}$ Fuß = 1 Rute	1 Fuß = 0,2865 m 1 m = 3,4905 Fuß 1 Fuß zu 10 Zoll zu 10 Linien 10 Fuß = 1 Rute	Längen- maß
1 Morgen = 25,53 225 a 1 ha = 3,9166 Morgen 1 Morgen = 180 Qu.-Ruten	1 Acker = 55,3423 a 1 ha = 1,8069 Acker 1 Acker = 300 Qu.-Ruten	1 Morgen = $\frac{2}{3}$ Jauchert = 31,517 a 1 ha = 3,1729 Morgen 1 Morgen = 384 Qu.-Ruten	Feldmaß
1 Pfund = 0,5 kg 1 kg = 2 Pfund	1 Pfund = 0,4676 kg 1 kg = 2,1386 Pfund	1 Pfund = 0,4677 kg 1 kg = 2,1380 Pfund	Gewicht

Zoll und Millimeter.

England und Amerika haben anstatt der früheren Bezugstemperatur von $16\frac{2}{3}^{\circ}\text{C} = 62^{\circ}\text{F}$ nunmehr für die Maße des öffentlichen Verkehrs die Bezugstemperatur $20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$ angenommen.

Das Verhältnis zwischen dem englischen Yard und dem internationalen Meterprototyp wird vom National Physical Laboratory Teddington von Zeit zu Zeit durch Vergleichsmessung festgestellt. Der jetzt gültige Vergleichswert beträgt $1'' = 25,399956\text{ mm}^1$).

Der amerikanische Zoll ist nach der gesetzlichen Definition: $1'' = 25,400051$.

In England ist durch Herausgabe der britischen Norm¹⁾ für Handelszwecke der Umrechnungsfaktor $1'' = 25,4\text{ mm}$ zugelassen.

In Amerika ist durch Herausgabe der amerikanischen Norm²⁾ ebenfalls der Umrechnungsfaktor $1'' = 25,4\text{ mm}$ für industrielle Zwecke festgelegt. Ein nach deutschen Normen hergestelltes Stahlmaß von dem Nenn-Maß $25,4\text{ mm}$ kann also sowohl ein englisches wie ein amerikanisches Zollmaß aus Stahl gleicher Ausdehnung ersetzen.

Der Deutsche Normenausschuß hat in DIN 4890, 4892 und 4893 Umrechnungstabellen Zoll—Millimeter mit der Beziehung $1'' = 25,400\text{ 000}$ herausgegeben. Allgemein ist somit

$$1'' = 25,4\text{ mm}$$

zu setzen; nur für Maße und Messungen allerhöchster Genauigkeit ist mit den gesetzlich festgelegten Werten für englischen und amerikanischen Zoll zu rechnen. Sollen diese Werte (s. oben) zugrunde gelegt werden, so ist dies bei Bestellung besonders zu vereinbaren.

Umrechnungstabelle Zoll in Millimeter.

Umrechnungswert $1'' = 25,4\text{ mm}$. Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

Zoll	0	1	2	3	4	5	
0	—	25,400	50,800	76,200	101,600	127,000	
$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{64}$	0,397	25,797	51,197	76,597	101,997	127,397
	$\frac{3}{64}$	0,794	26,194	51,594	76,994	102,394	127,794
$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	1,191	26,591	51,991	77,391	102,791	128,191
	$\frac{3}{16}$	1,588	26,988	52,388	77,788	103,188	128,588
	$\frac{5}{16}$	1,984	27,384	52,784	78,184	103,584	128,984
	$\frac{7}{16}$	2,381	27,781	53,181	78,581	103,981	129,381
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	2,778	28,178	53,578	78,978	104,378	129,778
	$\frac{3}{8}$	3,175	28,575	53,975	79,375	104,775	130,175
	$\frac{5}{8}$	3,572	28,972	54,372	79,772	105,172	130,572
	$\frac{3}{4}$	3,969	29,369	54,769	80,169	105,569	130,969
$\frac{3}{16}$	$\frac{7}{8}$	4,366	29,766	55,166	80,566	105,966	131,366
	$\frac{15}{8}$	4,763	30,163	55,563	80,963	106,363	131,763
	$\frac{17}{8}$	5,159	30,559	55,959	81,359	106,759	132,159
	$\frac{19}{8}$	5,556	30,956	56,356	81,756	107,156	132,556
	$\frac{21}{8}$	5,953	31,353	56,753	82,153	107,553	132,953
$\frac{1}{4}$	$\frac{23}{8}$	6,350	31,750	57,150	82,550	107,950	133,350
	$\frac{25}{8}$	6,747	32,147	57,547	82,947	108,347	133,747
	$\frac{27}{8}$	7,144	32,544	57,944	83,344	108,744	134,144
	$\frac{29}{8}$	7,541	32,941	58,341	83,741	109,141	134,541
$\frac{5}{16}$	$\frac{31}{8}$	7,938	33,338	58,738	84,138	109,538	134,938
	$\frac{33}{8}$	8,334	33,734	59,134	84,534	109,934	135,334
	$\frac{35}{8}$	8,731	34,131	59,531	84,931	110,331	135,731
	$\frac{37}{8}$	9,128	34,528	59,928	85,328	110,728	136,128
$\frac{3}{8}$	$\frac{39}{8}$	9,525	34,925	60,325	85,725	111,125	136,525
	$\frac{41}{8}$	9,922	35,322	60,722	86,122	111,522	136,922

¹⁾ Vgl. Veröffentlichung Nr. 350/1930 der British Engineering Standards Association.

²⁾ Vgl. Veröffentlichung B 48.1—1933 der American Standards Association.

Zoll in Millimeter.

Umrechnungswert 1'' = 25,4 mm.

Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

Zoll	0	1	2	3	4	5
$\frac{13}{32}$	10,319	35,719	61,119	86,519	111,919	137,319
	$\frac{27}{64}$	10,716	36,116	61,516	86,916	112,316	137,716
$\frac{7}{16}$	11,113	36,513	61,913	87,313	112,713	138,113
	$\frac{29}{64}$	11,509	36,909	62,309	87,709	113,109	138,509
$\frac{15}{32}$	11,906	37,306	62,706	88,106	113,506	138,906
	$\frac{31}{64}$	12,303	37,703	63,103	88,503	113,903
$\frac{1}{2}$	12,700	38,100	63,500	88,900	114,300	139,700
	$\frac{33}{64}$	13,097	38,497	63,897	89,297	114,697	140,097
$\frac{17}{32}$	13,494	38,894	64,294	89,694	115,094	140,494
	$\frac{35}{64}$	13,891	39,291	64,691	90,091	115,491	140,891
$\frac{9}{16}$	14,288	39,688	65,088	90,488	115,888	141,288
	$\frac{37}{64}$	14,684	40,084	65,484	90,884	116,284	141,684
$\frac{19}{32}$	15,081	40,481	65,881	91,281	116,681	142,081
	$\frac{39}{64}$	15,478	40,878	66,278	91,678	117,078	142,478
$\frac{5}{8}$	15,875	41,275	66,675	92,075	117,475	142,875
	$\frac{41}{64}$	16,272	41,672	67,072	92,472	117,872	143,272
$\frac{21}{32}$	16,669	42,069	67,469	92,869	118,269	143,669
	$\frac{43}{64}$	17,066	42,466	67,866	93,266	118,666	144,066
$\frac{11}{16}$	17,463	42,863	68,263	93,663	119,063	144,463
	$\frac{45}{64}$	17,859	43,259	68,659	94,059	119,459	144,859
$\frac{23}{32}$	18,256	43,656	69,056	94,456	119,856	145,256
	$\frac{47}{64}$	18,653	44,053	69,453	94,853	120,253	145,653
$\frac{3}{4}$	19,050	44,450	69,850	95,250	120,650	146,050
	$\frac{49}{64}$	19,447	44,847	70,247	95,647	121,047	146,447
$\frac{25}{32}$	19,844	45,244	70,644	96,044	121,444	146,844
	$\frac{51}{64}$	20,241	45,641	71,041	96,441	121,841	147,241
$\frac{13}{16}$	20,638	46,038	71,438	96,838	122,238	147,638
	$\frac{53}{64}$	21,034	46,434	71,834	97,234	122,634	148,034
$\frac{27}{32}$	21,431	46,831	72,231	97,631	123,031	148,431
	$\frac{55}{64}$	21,828	47,228	72,628	98,028	123,428	148,828
$\frac{7}{8}$	22,225	47,625	73,025	98,425	123,825	149,225
	$\frac{57}{64}$	22,622	48,022	73,422	98,822	124,222	149,622
$\frac{29}{32}$	23,019	48,419	73,819	99,219	124,619	150,019
	$\frac{59}{64}$	23,416	48,816	74,216	99,616	125,016
$\frac{15}{16}$	23,813	49,213	74,613	100,013	125,413	150,813
	$\frac{61}{64}$	24,209	49,609	75,009	100,409	125,809	151,209
$\frac{31}{32}$	24,606	50,006	75,406	100,806	126,206	151,606
	$\frac{63}{64}$	25,003	50,403	75,803	101,203	126,603	152,003
Zoll	6	7	8	9	10	11 *
0	152,400	177,800	203,200	228,600	254,000	279,400
$\frac{1}{64}$	152,797	178,197	203,597	228,997	254,397	279,797
$\frac{1}{32}$	153,194	178,594	203,994	229,394	254,794	280,194
	$\frac{3}{64}$	153,591	178,991	204,391	229,791	255,191	280,591
$\frac{1}{16}$	153,988	179,388	204,788	230,188	255,588	280,988
	$\frac{5}{64}$	154,384	179,784	205,184	230,584	255,984	281,384
$\frac{3}{32}$	154,781	180,181	205,581	230,981	256,381	281,781
	$\frac{7}{64}$	155,178	180,578	205,978	231,378	256,778	282,178
$\frac{1}{8}$	155,575	180,975	206,375	231,775	257,175	282,575
	$\frac{9}{64}$	155,972	181,372	206,772	232,172	257,572	282,972
$\frac{5}{32}$	156,369	181,769	207,169	232,569	257,969	283,369
	$\frac{11}{64}$	156,766	182,166	207,566	232,966	258,366	283,766
$\frac{3}{16}$	157,163	182,563	207,963	233,363	258,763	284,163
	$\frac{13}{64}$	157,559	182,959	208,359	233,759	259,159	284,559

Zoll in Millimeter.

Umrechnungswert 1'' = 25,4 mm.

Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

Zoll	6	7	8	9	10	11	
$\frac{7}{32}$		157,956	183,356	208,756	234,156	259,556	284,956
	$\frac{15}{64}$	158,353	183,753	209,153	234,553	259,953	285,353
$\frac{1}{4}$		158,750	184,150	209,550	234,950	260,350	285,750
	$\frac{17}{64}$	159,147	184,547	209,947	235,347	260,747	286,147
$\frac{9}{32}$		159,544	184,944	210,344	235,744	261,144	286,544
	$\frac{19}{64}$	159,941	185,341	210,741	236,141	261,541	286,941
$\frac{5}{16}$		160,338	185,738	211,138	236,538	261,938	287,338
	$\frac{21}{64}$	160,734	186,134	211,534	236,934	262,334	287,734
$\frac{11}{32}$		161,131	186,531	211,931	237,331	262,731	288,131
	$\frac{23}{64}$	161,528	186,928	212,328	237,728	263,128	288,528
$\frac{3}{8}$		161,925	187,325	212,725	238,125	263,525	288,925
	$\frac{25}{64}$	162,322	187,722	213,122	238,522	263,922	289,322
$\frac{13}{32}$		162,719	188,119	213,519	238,919	264,319	289,719
	$\frac{27}{64}$	163,116	188,516	213,916	239,316	264,716	290,116
$\frac{7}{16}$		163,513	188,913	214,313	239,713	265,113	290,513
	$\frac{29}{64}$	163,909	189,309	214,709	240,109	265,509	290,909
$\frac{15}{32}$		164,306	189,706	215,106	240,506	265,906	291,306
	$\frac{31}{64}$	164,703	190,103	215,503	240,903	266,303	291,703
$\frac{1}{2}$		165,100	190,500	215,900	241,300	266,700	292,100
	$\frac{33}{64}$	165,497	190,897	216,297	241,697	267,097	292,497
$\frac{17}{32}$		165,894	191,294	216,694	242,094	267,494	292,894
	$\frac{35}{64}$	166,291	191,691	217,091	242,491	267,891	293,291
$\frac{9}{16}$		166,688	192,088	217,488	242,888	268,288	293,688
	$\frac{37}{64}$	167,084	192,484	217,884	243,284	268,684	294,084
$\frac{19}{32}$		167,481	192,881	218,281	243,681	269,081	294,481
	$\frac{39}{64}$	167,878	193,278	218,678	244,078	269,478	294,878
$\frac{5}{8}$		168,275	193,675	219,075	244,475	269,875	295,275
	$\frac{41}{64}$	168,672	194,072	219,472	244,872	270,272	295,672
$\frac{21}{32}$		169,069	194,469	219,869	245,269	270,669	296,069
	$\frac{43}{64}$	169,466	194,866	220,266	245,666	271,066	296,466
$\frac{11}{16}$		169,863	195,263	220,663	246,063	271,463	296,863
	$\frac{45}{64}$	170,259	195,659	221,059	246,459	271,859	297,259
$\frac{23}{32}$		170,656	196,056	221,456	246,856	272,256	297,656
	$\frac{47}{64}$	171,053	196,453	221,853	247,253	272,653	298,053
$\frac{3}{4}$		171,450	196,850	222,250	247,650	273,050	298,450
	$\frac{49}{64}$	171,847	197,247	222,647	248,047	273,447	298,847
$\frac{25}{32}$		172,244	197,644	223,044	248,444	273,844	299,244
	$\frac{51}{64}$	172,641	198,041	223,441	248,841	274,241	299,641
$\frac{13}{16}$		173,038	198,438	223,838	249,238	274,638	300,038
	$\frac{53}{64}$	173,434	198,834	224,234	249,634	275,034	300,434
$\frac{27}{32}$		173,831	199,231	224,631	250,031	275,431	300,831
	$\frac{55}{64}$	174,228	199,628	225,028	250,428	275,828	301,228
$\frac{7}{8}$		174,625	200,025	225,425	250,825	276,225	301,625
	$\frac{57}{64}$	175,022	200,422	225,822	251,222	276,622	302,022
$\frac{29}{32}$		175,419	200,819	226,219	251,619	277,019	302,419
	$\frac{59}{64}$	175,816	201,216	226,616	252,016	277,416	302,816
$\frac{15}{16}$		176,213	201,613	227,013	252,413	277,813	303,213
	$\frac{61}{64}$	176,609	202,009	227,409	252,809	278,209	303,609
$\frac{31}{32}$		177,006	202,406	227,806	253,206	278,606	304,006
	$\frac{63}{64}$	177,403	202,803	228,203	253,603	279,003	304,403

12'' = 1 Fuß = 304,800 mm

Millimeter in Zoll.

Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

Zoll

Meter	0	0,001	0,002	0,003	0,004
0	0	0,03937''	0,07874''	0,11811''	0,15748''
0,01	0,39370''	0,43307''	0,47244''	0,51181''	0,55118''
0,02	0,78740''	0,82677''	0,86614''	0,90551''	0,94488''
0,03	1,18110''	1,22047''	1,25984''	1,29921''	1,33858''
0,04	1,57480''	1,61417''	1,65354''	1,69291''	1,73228''
0,05	1,96851''	2,00788''	2,04725''	2,08662''	2,12599''
0,06	2,36221''	2,40158''	2,44095''	2,48032''	2,51969''
0,07	2,75591''	2,79528''	2,83465''	2,87402''	2,91339''
0,08	3,14961''	3,18898''	3,22835''	3,26772''	3,30709''
0,09	3,54331''	3,58268''	3,62205''	3,66142''	3,70079''
Meter	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0	0,19685''	0,23622''	0,27559''	0,31496''	0,35433''
0,01	0,59055''	0,62992''	0,66929''	0,70866''	0,74803''
0,02	0,98425''	1,02362''	1,06299''	1,10236''	1,14173''
0,03	1,37795''	1,41732''	1,45669''	1,49606''	1,53543''
0,04	1,77165''	1,81102''	1,85039''	1,88976''	1,92913''
0,05	2,16536''	2,20473''	2,24410''	2,28347''	2,32284''
0,06	2,55906''	2,59843''	2,63780''	2,67717''	2,71654''
0,07	2,95276''	2,99213''	3,03150''	3,07087''	3,11024''
0,08	3,34646''	3,38583''	3,42520''	3,46457''	3,50394''
0,09	3,74016''	3,77953''	3,81890''	3,85827''	3,89764''
0,1 m = 3,93701''					
Meter	0	0,1	0,2	0,3	0,4
0	0	3,93701''	7,87402''	11,81102''	15,74803''
1	39,37008''	43,30709''	47,24409''	51,18110''	55,11811''
2	78,74016''	82,67717''	86,61417''	90,55118''	94,48819''
3	118,1102''	122,0472''	125,9843''	129,9213''	133,8583''
4	157,4803''	161,4173''	165,3543''	169,2913''	173,2283''
5	196,8504''	200,7874''	204,7244''	208,6614''	212,5984''
6	236,2205''	240,1575''	244,0945''	248,0315''	251,9685''
7	275,5906''	279,5276''	283,4646''	287,4016''	291,3386''
8	314,9606''	318,8976''	322,8346''	326,7717''	330,7087''
9	354,3307''	358,2677''	362,2047''	366,1417''	370,0787''
Meter	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	19,68504''	23,62205''	27,55906''	31,49606''	35,43307''
1	59,05512''	62,99213''	66,92913''	70,86614''	74,80315''
2	98,42520''	102,3622''	106,2992''	110,2362''	114,1732''
3	137,7953''	141,7323''	145,6693''	149,6063''	153,5433''
4	177,1654''	181,1024''	185,0394''	188,9764''	192,9134''
5	216,5354''	220,4724''	224,4095''	228,3465''	232,2835''
6	255,9055''	259,8425''	263,7795''	267,7165''	271,6535''
7	295,2756''	299,2126''	303,1496''	307,0866''	311,0236''
8	334,6457''	338,5827''	342,5197''	346,4567''	350,3937''
9	374,0158''	377,9528''	381,8898''	385,8268''	389,7638''

Beispiel: 9,462 m = ? Zoll
 9,4 m = 370,0787
 0,062 m = 2 44095

 9,462 m = 372,51965''

10 m = 393,7008''

Zoll in Millimeter.

Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

mm

Zoll	0''	0,001''	0,002''	0,003''	0,004''
0	0	0,0254	0,0508	0,0762	0,1016
0,01''	0,2540	0,2794	0,3048	0,3302	0,3556
0,02''	0,5080	0,5334	0,5588	0,5842	0,6096
0,03''	0,7620	0,7874	0,8128	0,8382	0,8636
0,04''	1,0160	1,0414	1,0668	1,0922	1,1176
0,05''	1,2700	1,2954	1,3208	1,3462	1,3716
0,06''	1,5240	1,5494	1,5748	1,6002	1,6256
0,07''	1,7780	1,8034	1,8288	1,8542	1,8796
0,08''	2,0320	2,0574	2,0828	2,1082	2,1336
0,09''	2,2860	2,3114	2,3368	2,3622	2,3876
Zoll	0,005''	0,006''	0,007''	0,008''	0,009''
0	0,1270	0,1524	0,1778	0,2032	0,2286
0,01''	0,3810	0,4064	0,4318	0,4572	0,4826
0,02''	0,6350	0,6604	0,6858	0,7112	0,7366
0,03''	0,8890	0,9144	0,9398	0,9652	0,9906
0,04''	1,1430	1,1684	1,1938	1,2192	1,2446
0,05''	1,3970	1,4224	1,4478	1,4732	1,4986
0,06''	1,6510	1,6764	1,7018	1,7272	1,7526
0,07''	1,9050	1,9304	1,9558	1,9812	2,0066
0,08''	2,1590	2,1844	2,2098	2,2352	2,2606
0,09''	2,4130	2,4384	2,4638	2,4892	2,5146
0,1'' = 2.54					
Zoll	0''	0,1''	0,2''	0,3''	0,4''
0	0	2,54	5,08	7,62	10,16
1''	25,4	27,94	30,48	33,02	35,56
2''	50,8	53,34	55,88	58,42	60,96
3''	76,2	78,74	81,28	83,82	86,36
4''	101,6	104,14	106,68	109,22	111,76
5''	127,0	129,54	132,08	134,62	137,16
6''	152,4	154,94	157,48	160,02	162,56
7''	177,8	180,34	182,88	185,42	187,96
8''	203,2	205,74	208,28	210,82	213,36
9''	228,6	231,14	233,68	236,22	238,76
Zoll	0,5''	0,6''	0,7''	0,8''	0,9''
0	12,70	15,24	17,78	20,32	22,86
1''	38,10	40,64	43,18	45,72	48,26
2''	63,50	66,04	68,58	71,12	73,66
3''	88,90	91,44	93,98	96,52	99,06
4''	114,30	116,84	119,38	121,92	124,46
5''	139,70	142,24	144,78	147,32	149,86
6''	165,10	167,64	170,18	172,72	175,26
7''	190,50	193,04	195,58	198,12	200,66
8''	215,90	218,44	220,98	223,52	226,06
9''	241,30	243,84	246,38	248,92	251,46

Beispiel: $4,687'' = ?$ mm $4,6'' = 116,84$
 $0,087'' = 2,2098$

 $4,687'' = 119,0498$ mm

Fuß und Zoll in Millimeter.

Umrechnungsart 1'' = 25,4 mm.

Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

Fuß	0	1	2	3	4	5
0		304,8	609,6	914,4	1219,2	1524,0
1''	25,4	330,2	635,0	939,8	1244,6	1549,4
2''	50,8	355,6	660,4	965,2	1270,0	1574,8
3''	76,2	381,0	685,8	990,6	1295,4	1600,2
4''	101,6	406,4	711,2	1016,0	1320,8	1625,6
5''	127,0	431,8	736,6	1041,4	1346,2	1651,0
6''	152,4	457,2	762,0	1066,8	1371,6	1676,4
7''	177,8	482,6	787,4	1092,2	1397,0	1701,8
8''	203,2	508,0	812,8	1117,6	1422,4	1727,2
9''	228,6	533,4	838,2	1143,0	1447,8	1752,6
10''	254,0	558,8	863,6	1168,4	1473,2	1778,0
11''	279,4	584,2	889,0	1193,8	1498,6	1803,4
Fuß	6	7	8	9	10	11
0''	1828,8	2133,6	2438,4	2743,2	3048,0	3352,8
1''	1854,2	2159,0	2463,8	2768,6	3073,4	3378,2
2''	1879,6	2184,4	2489,2	2794,0	3098,8	3403,6
3''	1905,0	2209,8	2514,6	2819,4	3124,2	3429,0
4''	1930,4	2235,2	2540,0	2844,8	3149,6	3454,4
5''	1955,8	2260,6	2565,4	2870,2	3175,0	3479,8
6''	1981,2	2286,0	2590,8	2895,6	3200,4	3505,2
7''	2006,6	2311,4	2616,2	2921,0	3225,8	3530,6
8''	2032,0	2336,8	2641,6	2946,4	3251,2	3556,0
9''	2057,4	2362,2	2667,0	2971,8	3276,6	3581,4
10''	2082,8	2387,6	2692,4	2997,2	3302,0	3606,8
11''	2108,2	2413,0	2717,8	3022,6	3327,4	3632,2
Fuß	12	13	14	15	16	17
0''	3657,6	3962,4	4267,2	4572,0	4876,8	5181,6
1''	3683,0	3987,8	4292,6	4597,4	4902,2	5207,0
2''	3708,4	4013,2	4318,0	4622,8	4927,6	5232,4
3''	3733,8	4038,6	4343,4	4648,2	4953,0	5257,8
4''	3759,2	4064,0	4368,8	4673,6	4978,4	5283,2
5''	3784,6	4089,4	4394,2	4699,0	5003,8	5308,6
6''	3810,0	4114,8	4419,6	4724,4	5029,2	5334,0
7''	3835,4	4140,2	4445,0	4749,8	5054,6	5359,4
8''	3860,8	4165,6	4470,4	4775,2	5080,0	5384,8
9''	3886,2	4191,0	4495,8	4800,6	5105,4	5410,2
10''	3911,6	4216,4	4521,2	4826,0	5130,8	5435,6
11''	3937,0	4241,8	4546,6	4851,4	5156,2	5461,0

Quadratzoll in Quadratcentimeter.

Umrechnungszahl 1 □ Zoll = 6,4516 cm².
 Bezugstemperatur = 20° (s. S. 60 und 71).

□ Zoll	0	1	2	3	4	5	6
0	—	6,4516	12,9032	19,3548	25,8064	32,2580	38,7096
¹ / ₃₂	0,2016	6,6532	13,1048	19,5564	26,0080	32,4596	38,9112
¹ / ₁₆	0,4032	6,8548	13,3064	19,7580	26,2096	32,6612	39,1128
³ / ₃₂	0,6048	7,0564	13,5080	19,9596	26,4112	32,8628	39,3144
¹ / ₈	0,8065	7,2581	13,7097	20,1613	26,6129	33,0645	39,5161
⁵ / ₃₂	1,0081	7,4597	13,9113	20,3629	26,8145	33,2661	39,7177
³ / ₁₆	1,2097	7,6613	14,1129	20,5645	27,0161	33,4677	39,9193
⁷ / ₃₂	1,4113	7,8629	14,3145	20,7661	27,2177	33,6693	40,1209
¹ / ₄	1,6129	8,0645	14,5161	20,9677	27,4193	33,8709	40,3225
⁹ / ₃₂	1,8145	8,2661	14,7177	21,1693	27,6209	34,0725	40,5241
⁵ / ₁₆	2,0161	8,4677	14,9193	21,3709	27,8225	34,2741	40,7257
¹¹ / ₃₂	2,2177	8,6693	15,1209	21,5725	28,0241	34,4757	40,9273
³ / ₈	2,4194	8,8710	15,3226	21,7742	28,2258	34,6774	41,1290
¹³ / ₃₂	2,6210	9,0726	15,5242	21,9758	28,4274	34,8790	41,3306
⁷ / ₁₆	2,8226	9,2742	15,7258	22,1774	28,6290	35,0806	41,5322
¹⁵ / ₃₂	3,0242	9,4758	15,9274	22,3790	28,8306	35,2822	41,7338
¹ / ₂	3,2258	9,6774	16,1290	22,5806	29,0322	35,4838	41,9354
¹⁷ / ₃₂	3,4274	9,8790	16,3306	22,7822	29,2338	35,6854	42,1370
⁹ / ₁₆	3,6290	10,0806	16,5322	22,9838	29,4354	35,8870	42,3386
¹⁹ / ₃₂	3,8306	10,2822	16,7338	23,1854	29,6370	36,0886	42,5402
⁵ / ₈	4,0323	10,4839	16,9355	23,3871	29,8387	36,2903	42,7419
²¹ / ₃₂	4,2339	10,6855	17,1371	23,5887	30,0403	36,4919	42,9435
¹¹ / ₁₆	4,4355	10,8871	17,3387	23,7903	30,2419	36,6935	43,1451
²³ / ₃₂	4,6371	11,0887	17,5403	23,9919	30,4435	36,8951	43,3467
³ / ₄	4,8387	11,2903	17,7419	24,1935	30,6451	37,0967	43,5483
²⁵ / ₃₂	5,0403	11,4919	17,9435	24,3951	30,8467	37,2983	43,7499
¹³ / ₁₆	5,2419	11,6935	18,1451	24,5967	31,0483	37,4999	43,9515
²⁷ / ₃₂	5,4435	11,8951	18,3467	24,7983	31,2499	37,7015	44,1531
⁷ / ₈	5,6452	12,0968	18,5484	25,0000	31,4516	37,9032	44,3548
²⁹ / ₃₂	5,8468	12,2984	18,7500	25,2016	31,6532	38,1048	44,5564
¹⁵ / ₁₆	6,0484	12,5000	18,9516	25,4032	31,8548	38,3064	44,7580
³¹ / ₃₂	6,2500	12,7016	19,1532	25,6048	32,0564	38,5080	44,9596
□ Zoll	7	8	9	10	11	12	13
0	45,1612	51,6128	58,0644	64,5160	70,9676	77,4192	83,8708
¹ / ₃₂	45,3628	51,8144	58,2660	64,7176	71,1692	77,6208	84,0724
¹ / ₁₆	45,5644	52,0160	58,4676	64,9192	71,3708	77,8224	84,2740
³ / ₃₂	45,7660	52,2176	58,6692	65,1208	71,5724	78,0240	84,4756
¹ / ₈	45,9677	52,4193	58,8709	65,3225	71,7741	78,2257	84,6773
⁵ / ₃₂	46,1693	52,6209	59,0725	65,5541	71,9757	78,4273	84,8789
³ / ₁₆	46,3709	52,8225	59,2741	65,7257	72,1773	78,6289	85,0805
⁷ / ₃₂	46,5725	53,0241	59,4757	65,9273	72,3789	78,8305	85,2821
¹ / ₄	46,7741	53,2257	59,6773	66,1289	72,5805	79,0321	85,4837
⁹ / ₃₂	46,9757	53,4273	59,8789	66,3305	72,7821	79,2337	85,6853
⁵ / ₁₆	47,1773	53,6289	60,0805	66,5321	72,9837	79,4353	85,8869
¹¹ / ₃₂	47,3789	53,8305	60,2821	66,7337	73,1853	79,6369	86,0885
³ / ₈	47,5806	54,0322	60,4838	66,9354	73,3870	79,8386	86,2902
¹³ / ₃₂	47,7822	54,2338	60,6854	67,1370	73,5886	80,0402	86,4918
⁷ / ₁₆	47,9838	54,4354	60,8870	67,3386	73,7902	80,2418	86,6934
¹⁵ / ₃₂	48,1854	54,6370	61,0886	67,5402	73,9918	80,4434	86,8950
¹ / ₂	48,3870	54,8386	61,2902	67,7418	74,1934	80,6450	87,0966
¹⁷ / ₃₂	48,5886	55,0402	61,4918	67,9434	74,3950	80,8466	87,2982
⁹ / ₁₆	48,7902	55,2418	61,6934	68,1450	74,5966	81,0482	87,4998
¹⁹ / ₃₂	48,9918	55,4434	61,8950	68,3466	74,7982	81,2498	87,7014
⁵ / ₈	49,1935	55,6451	62,0967	68,5483	74,9999	81,4515	87,9031
²¹ / ₃₂	49,3951	55,8467	62,2983	68,7499	75,2015	81,6531	88,1047
¹¹ / ₁₆	49,5967	56,0483	62,4999	68,9515	75,4031	81,8547	88,3063
²³ / ₃₂	49,7983	56,2499	62,7015	69,1531	75,6047	82,0563	88,5079
³ / ₄	49,9999	56,4515	62,9031	69,3547	75,8063	82,2579	88,7095
²⁵ / ₃₂	50,2015	56,6531	63,1047	69,5563	76,0079	82,4595	88,9111
¹³ / ₁₆	50,4031	56,8547	63,3063	69,7579	76,2095	82,6611	89,1127
²⁷ / ₃₂	50,6047	57,0563	63,5079	69,9595	76,4111	82,8627	89,3143
⁷ / ₈	50,8064	57,2580	63,7096	70,1612	76,6128	83,0644	89,5160
²⁹ / ₃₂	51,0080	57,4596	63,9112	70,3628	76,8144	83,2660	89,7176
¹⁵ / ₁₆	51,2096	57,6612	64,1128	70,5644	77,0160	83,4676	89,9192
³¹ / ₃₂	51,4112	57,8628	64,3144	70,7660	77,2176	83,6692	90,1208

Umrechnung von englischem (amerik.) Gewicht in Kilogramm.

1 Ton = 20 Hundred- (cent-) weight (cwt) = 80 Quarters (qu) = 2240 Pfund (lbs)

1 Hundredweight (cwt) = 4 Quarters (qu) = 112 Pfund (lbs) = 50,8 kg

1 Quarter (qu) = 28 Pfund (lbs); 1 Pfund (lb) = 0,45359 kg

16 Ounces (oz) = 1 Pfund; 1 Ounce (oz) = 28,3495 g.

(In Amerika ist noch eine „short ton“ zu 2000 lbs = 907,18 kg handelsüblich.)

Engl. Pfund (lbs)	kg	Engl. Pfund (lbs)								
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
25	11,34	453,6	907,1	1360,7	1814,3	2267,9	2721,5	3175,1	3628,7	4082,3
50	22,68	464,9	918,4	1372	1825,6	2279,2	2732,8	3186,4	3640	4093,6
75	34,02	476,3	929,8	1383,4	1837	2290,6	2744,2	3197,8	3651,4	4105
		487,6	941,1	1394,7	1848,3	2301,9	2755,5	3209,1	3662,7	4116,3
100	45,36	498,9	952,5	1406,1	1859,7	2313,6	2766,9	3220,5	3674,1	4127,6
125	56,70	510,2	963,8	1417,4	1871	2324,9	2778,2	3231,8	3685,4	4138,8
150	68,03	521,6	975,2	1428,8	1882,4	2336	2789,6	3243,2	3696,8	4150,3
175	79,39	532,9	986,5	1440,1	1893,7	2347,3	2800,9	3254,5	3708,1	4161,6
200	90,71	544,3	997,9	1451,4	1905	2358,6	2812,2	3265,8	3719,4	4173
225	102,06	555,6	1009,2	1462,7	1916,3	2369,9	2823,5	3277,1	3730,7	4184,3
250	113,40	567	1020,6	1474,1	1927,7	2381,3	2834,9	3288,5	3742,1	4195,7
275	124,73	578,3	1031,9	1485,4	1939	2392,6	2846,2	3299,8	3753,4	4207
300	136,07	589,6	1043,2	1496,8	1950,4	2404	2857,6	3311,2	3764,8	4218,4
325	147,41	600,9	1054,5	1508,1	1961,7	2415	2868,9	3322,5	3776,1	4229,7
350	158,75	612,3	1065,9	1519,5	1973,1	2426,7	2880,3	3333,9	3787,5	4241,1
375	170	623,6	1077,2	1530,8	1984,4	2438	2891,6	3345,2	3798,8	4252,4
400	181,43	635	1088,6	1542,2	1995,8	2449,4	2902,9	3356,5	3810,1	4263,7
425	192,77	646,3	1099,9	1553,5	2007,1	2460,7	2914,2	3367,8	3821,4	4275
450	204,11	657,7	1111,3	1564,9	2018,5	2472,1	2925,6	3379,2	3832,8	4286,4
475	215,45	669	1122,6	1576,2	2029,8	2483,4	2936,9	3390,5	3844,1	4297,7
500	226,80	680,3	1133,9	1587,5	2041,1	2494,7	2948,3	3401,9	3855,5	4309,1
525	238,13	691,6	1145,2	1598,9	2052,4	2506	2959,6	3413,2	3866,8	4320,4
550	249,47	703	1156,6	1610,2	2063,7	2517,4	2971	3424,6	3878,2	4331,8
575	260,81	714,3	1167,9	1621,5	2075	2528,7	2982,3	3435,9	3889,5	4343,1
600	272,15	725,7	1179,3	1632,9	2086,5	2540,1	2993,7	3447,3	3900,9	4354,4
625	283,50	737	1190,6	1644,2	2097,8	2551,4	3005	3458,6	3912,2	4365,7
650	294,83	748,4	1202	1655,6	2109,2	2562,8	3016,4	3470	3923,6	4377,1
675	306,17	759,7	1213,3	1666,9	2120,5	2574,1	3027,7	3481,3	3934,9	4388,4
700	317,50	771,1	1224,6	1678,2	2131,8	2585,4	3039	3492,6	3946,2	4399,8
725	328,85	782,4	1235,9	1689,5	2143,1	2596,7	3050,3	3503,9	3957,5	4411,1
750	340,20	793,8	1247,3	1700	2154,5	2608,1	3061,7	3515,3	3968,9	4422,5
775	351,53	805,1	1258,6	1711,3	2165,8	2619,4	3073	3526,6	3980,2	4433,8
800	362,90	816,4	1270	1723,6	2177,2	2630,8	3084,4	3538	3991,6	4445,2
825	374,21	827,7	1281,3	1734,9	2188,5	2642,1	3095,7	3549,3	4002,9	4456,5
850	385,55	839,1	1292,7	1746,3	2199,9	2653,5	3107,1	3560,7	4014,3	4467,9
875	396,90	850,4	1304	1757,6	2211,2	2664,8	3118,4	3572	4025,6	4479,2
900	408,23	861,8	1315,4	1769	2222,6	2676,2	3129,7	3583,3	4036,9	4490,5
925	419,60	873,1	1326,7	1780,3	2233,9	2687,5	3141	3594,6	4048,2	4501,8
950	430,90	884,5	1338,1	1791,7	2245,3	2698,9	3152,4	3606	4059,6	4513,2
975	442,25	895,8	1349,4	1803	2256,6	2710,2	3163,7	3617,3	4070,9	4524,5

Kubikfuß in Kubikmeter.

Bezugstemperatur 20° C (s. S. 60 und 71).

Umrechnungswert 1 cbfoot = 0,0283168466 m.

cbfoot	m ³	cbfoot	m ³	cbfoot	m ³	cbfoot	m ³
1	0,0283	31	0,8778	61	1,7273	91	2,5768
2	0,0566	32	0,9061	62	1,7556	92	2,6051
3	0,0850	33	0,9345	63	1,7840	93	2,6335
4	0,1133	34	0,9628	64	1,8123	94	2,6618
5	0,1416	35	0,9911	65	1,8406	95	2,6901
6	0,1699	36	1,0194	66	1,8689	96	2,7184
7	0,1982	37	1,0477	67	1,8972	97	2,7467
8	0,2265	38	1,0760	68	1,9255	98	2,7751
9	0,2549	39	1,1044	69	1,9539	99	2,8034
10	0,2832	40	1,1327	70	1,9822	100	2,8317
11	0,3115	41	1,1610	71	2,0105	200	5,6634
12	0,3398	42	1,1893	72	2,0388	300	8,4951
13	0,3681	43	1,2176	73	2,0671	400	11,3267
14	0,3964	44	1,2459	74	2,0954	500	14,1584
15	0,4248	45	1,2743	75	2,1238	600	16,9901
16	0,4531	46	1,3026	76	2,1521	700	19,8218
17	0,4814	47	1,3309	77	2,1804	800	22,6535
18	0,5097	48	1,3592	78	2,2087	900	25,4852
19	0,5380	49	1,3875	79	2,2370	1000	28,3168
20	0,5663	50	1,4158	80	2,2653	2000	56,634
21	0,5947	51	1,4442	81	2,2937	3000	84,951
22	0,6230	52	1,4725	82	2,3220	4000	113,267
23	0,6513	53	1,5008	83	2,3503	5000	141,584
24	0,6796	54	1,5291	84	2,3786	6000	169,901
25	0,7079	55	1,5574	85	2,4069	7000	198,218
26	0,7362	56	1,5857	86	2,4352	8000	226,535
27	0,7646	57	1,6141	87	2,4636	9000	254,852
28	0,7929	58	1,6424	88	2,4919	10000	283,168
29	0,8212	59	1,6707	89	2,5202	11000	311,485
30	0,8495	60	1,6990	90	2,5485	12000	339,802

Abkürzungen der metrischen Maße.

a Nach DIN 1301.

b Nach dem Maß- und Gewichtsgesetz vom 13. Dezember 1935.

Längenmaße.				
Benennung	a	b	Vergleichswerte	Potenzwerte
(Angström	Å)		0,1 m μ	10 ⁻⁴ μ
Millimikron		m μ	0,001 μ	10 ⁻³ μ
Mikron	μ	μ	0,001 mm	10 ⁻⁴ cm
Millimeter	mm	mm	1000 μ ;	10 ⁻¹ "
Zentimeter	cm	cm	10 mm	1 "
Dezimeter	dm	dm	10 cm; 100 mm	10 "
Meter	m	m	{ 10 dm; 100 cm; 1000 mm } 1 000 000 μ	10 ⁰ "
Kilometer	km	km	1000 m; 1 000 000 mm	10 ³ "
Flächenmaße.				
Benennung	a	b	Vergleichswerte	Potenzwerte
Quadratmillimeter	mm ²	qmm		10 ⁻² cm ²
Quadratcentimeter	cm ²	qcm	100 mm ²	1 "
Quadratdezimeter	dm ²	qdm	100 cm ² ; 10 000 mm ²	10 ² "
Quadratmeter	m ²	qm	{ 100 dm ² ; 10 000 cm ² ; 1 000 000 mm ²	10 ⁴ "
Ar	a	a	100 m ²	10 ⁶ "
Hektar	ha	ha	100 a; 10 000 m ²	10 ⁸ "
Quadratkilometer	km ²	qkm	1 000 000 m ²	10 ¹⁰ "
Raummaße.				
Benennung	a	b	Vergleichswerte	Potenzwerte
Kubikmillimeter	mm ³	cmm		10 ⁻³ cm ³
Kubikcentimeter	cm ³	ccm	1000 mm ³	1 "
Kubikdezimeter	dm ³	cdm	1000 cm ³ ; 1 000 000 mm ³ ; = 1l	10 ³ "
Kubikmeter	m ³	cbm	1000 dm ³ ; 1000 l; 10 hl ...	10 ⁶ "
Hektoliter	hl	hl	100 l; 100 dm ³	10 ⁶ "
Liter	l	l	1 dm ³ ; 1/100 hl	10 ³ "
Deziliter	dl		1/10 l; 100 cm ³	10 ² "
Zentiliter	cl	cl	1/100 l; 10 cm ³	10 ¹ "
Milliliter	ml	ml	1/1000 l; 1 cm ³	1 "
Massen (Gewichte).				
Benennung	a	b	Vergleichswerte	Potenzwerte
Metrisches Karat		k	200 mg	
Milligramm	mg	mg	0,001 g	10 ⁻³ g
Zentigramm	cg		10 mg	10 ⁻² "
Dezigramm	dg		10 cg	10 ⁻¹ "
Gramm	g	g	10 dg; 100 cg; 1000 mg ...	1 "
Hektogramm		hg	100 g	10 ² "
Kilogramm	kg	kg	1000 g	10 ³ "
Doppelzentner		dz	100 kg	10 ⁵ "
Tonne	t	t	1000 kg; 10 dz	10 ⁶ "

Das metrische Maßsystem.

A. Allgemeine gesetzliche Bestimmungen.

Die gesetzlichen Bestimmungen über Einheiten, Eichpflicht und Eichung usw. sind im Maß- und Gewichtsgesetz vom 31. Dezember 1935 (Reichsgesetzbl. I 1935 S. 1499) festgelegt, das die Maß- und Gewichtsordnung aus dem Jahre 1908 ersetzt. Nach diesem, am 1. April 1936 in Kraft getretenen, Gesetz ist das Mikron (μ) und das Millimikron ($m\mu$, nicht $\mu\mu$) (s. S. 69) als amtliche Maßeinheit anerkannt. Alle Leistungen nach Maß und Gewicht dürfen innerhalb Deutschlands nur nach den gesetzlichen Einheiten angeboten, verkauft oder berechnet werden. Somit ist die Anwendung der Einheiten Pfund und Zentner nicht mehr zulässig. Weiterhin sind nach diesem Gesetz auch neuzeitliche Meß-, Wiege- und Zählrichtungen erfaßbar (z. B. für Stoffe, Drähte; Gas, Wasser, Elektrizität; Wägemaschinen, Fahrpreisuhren und Wegstreckenzähler). Die Maßgrößen von Schankgefäßen und Flaschen sind gleichfalls einheitlich gesetzlich festgelegt worden.

B. Länge.

Die Einheit der Länge ist das Meter. Es stellt mit großer Annäherung den 4000000 Teil des Erdumfanges, über die beiden Erdpole gemessen, dar. Als internationales Urmaß dient ein Maßstab, der aus einer Legierung von 90 vH Platin mit 10 vH Iridium hergestellt ist. Diese Mischung kommt an Festigkeit dem Stahle gleich, hat aber eine verhältnismäßig geringe Wärmeausdehnung (etwa 9μ für das Meter und den Grad Celsius).

Untenstehendes Bild zeigt den Querschnitt des Urmeters, das im internationalen Maß- und Gewichtsbüro im Pavillon von Breteuil zu Sèvres bei Paris aufbewahrt wird. Auf der Mittelrippe sind die nur etwa $0,008 \text{ mm}$ starken Begrenzungsstriche der Meterstrecke gezogen, auf jeder Seite dieser Begrenzungsstriche findet sich im Abstand von $0,5 \text{ mm}$ je ein weiterer Strich. Die an der am 20. Mai 1875 in Paris abgeschlossenen „Internationalen Meterkonvention“ beteiligten 18 Staaten erhielten je eine genaue Nachbildung des internationalen Urmeters in gleicher Form und aus gleicher Legierung. Da geringe Abweichungen unvermeidlich sind, so wurden diese für jedes nationale Urmeter festgelegt.

Das deutsche Urmeter (Nr 18) wird von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht in Berlin-Charlottenburg aufbewahrt.

Bei feinsten Längenmessungen verschiedenster Art, insbesondere für Normalien für Lehren und Endmaßnormale wird praktisch nicht mehr auf das Urmeter zurückgegriffen, sondern es werden unmittelbar Lichtwellenlängen als Grundeinheiten verwendet. Es wird der von Michelson 1893 zuerst angewendete Vergleich mit der Wellenlänge der roten Kadmiumlinie zugrunde gelegt. Durch die Arbeiten von Kösters und Lampe in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ist die Messung von Endmaßen bis 500 mm Länge mit Lichtwellenlängen unmittelbar, bis 1000 mm mit nur einer Unterteilung möglich.

Das Comité international hat 1927 neben der Maßstabdefinition des Meters:

Das Meter ist der Abstand zwischen den Endstrichen des internationalen Meterurmaßes bei der Temperatur des schmelzenden Eises,

die folgende Wellenlängendefinition des Meters zugelassen:

Das Meter ist definiert durch $1553164,13$ Wellenlängen der roten Kadmiumlinie, wenn die Welle sich in trockener Luft von 15° C und 760 mm Hg -Druck ausbreitet.

Auf diese Zulassung hin haben die Ingenieurkomitees von über 30 Staaten der Welt diese Wellenlängendefinition für die Industrie als Urmaß eingeführt.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß Kryptonlinien besser geeignet sind. Der alleinigen, endgültigen Einführung der Meter-Definition in Wellenlängen wird bisher entgegengehalten, daß die Struktur und Beständigkeit der Linien, insbesondere der Kryptonlinien, noch nicht genügend untersucht sei, und daß die Untersuchung der Wellenlängen und die Metermessung mit ihnen bisher nur von Deutschland vorliegen. Tatsächlich aber überragen die mit Wellenlängen erreichbaren Genauigkeiten die der Strichmaßmessungen um das Zehnfache (vgl. W. Kösters: Der gegenwärtige Stand der Meterdefinition, des Meteranschlusses und seine internationale Bedeutung für Wissenschaft und Technik. Werkst.-Techn. u. Werkleiter 1938 Heft 23 S. 527 und 1939 Heft 2 S. 39).

Normaltemperatur:

Die gesetzliche Meterdefinition bezieht sich auf die Temperatur des schmelzenden Eises. Seit 1925 werden Maßstäbe mit dem Temperaturvermerk „ $+20^\circ \text{ C}$ “ zur amtlichen Eichung zugelassen, neben solchen für „ 0° “, der bisherigen einzigen Normaltemperatur der Eichvorschriften.

Für die Meßmittel der deutschen Industrie wurde vom Deutschen Normenausschuß eine Bezugstemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ festgesetzt, d. h. sie müssen bei dieser Temperatur ihre vorgeschriebene Größe haben; es ist für sie ein Werkstoff zu verwenden, dessen Ausdehnung dem Werte $0,0115\text{ mm}$ für 1 Meter und 1°C möglichst nahekommt (vgl. S. 160/161).

Die Meßbehörde (Physikalisch-Technische Reichsanstalt) beglaubigt auf Grund einer Prüfung das von ihr ermittelte Maß der Meßmittel bei 20°C unter Angabe der Meßunsicherheit.

Die auf 20° bezogenen Lehrgeräte müssen an sichtbarer Stelle die Kennzeichnung „ 20° “ oder einen ähnlichen Vermerk tragen, wenn sie nicht an sich schon als DIN-Lehren erkenntlich sind.

Maßbezeichnungen:

- a) Nennmaß ist der Maßwert, der auf dem Meßmittel oder für ein Werkstück angegeben ist;
- b) Sollmaß ist die beabsichtigte Maßlänge;
- c) Istmaß ist die tatsächliche Maßgröße.

Temperaturbezeichnungen:

- a) Normaltemperatur des metrischen Systems ist die Temperatur des schmelzenden Eises;
- b) Bezugstemperatur ist die Temperatur, bei der die Meßmittel und Werkstücke ihre vorgeschriebene Größe haben;
- c) Prüftemperatur ist die Temperatur, bei der die Meßmittel geprüft werden;
- d) Meßtemperatur ist die Temperatur, bei der die Werkstücke der laufenden Fertigung gemessen werden;
- e) Betriebstemperatur ist die Temperatur, welche die eingebauten Werkstücke bei den in Betrieb befindlichen Maschinen und Apparaten annehmen.

C. Masse.

Der Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF) hat am 7. April 1934 entschieden¹⁾:

Das Gewicht eines Körpers ist die Kraft, mit der er auf seine Unterlage drückt. Die genaue Fassung dieser Definition bleibt dem Normblatt DIN 1305 vorbehalten.

Die Begriffe: Masse, Gewicht, Menge, Dichte und Wichte sind in dem 1938 erschienenen Normblättern 1305 und 1306 festgelegt.

Das Gewichtsgesetz unterscheidet nicht zwischen Masse (Masseneinheit; Maß der Trägheit) und Gewicht (Krafteinheit), daher ist vom Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF) für die Krafteinheit der Ausdruck Kilopond (kp) vorgeschlagen worden. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt hat für ihren Geschäftsbereich am 28. 6. 1939 bestimmt²⁾:

1. Die Einheit der Kraft im technischen Maßsystem ist das Kilopond.
2. Das Kilopond ist die Kraft, die einer Masse von 1 Kilogramm eine Geschwindigkeitsänderung je Sekunde von $9\,80665\text{ Meter}$ in der Sekunde erteilt.

Das Gewicht eines Körpers ist gleich dem Produkt aus seinem Raumgehalt und seiner Wichte (spez. Gewicht, vgl. S. 73) d. h. der Zahl, die angibt um wieviel schwerer ein Körper ist als der gleiche Rauminhalt an reinem Wasser. Das Gewichtsgesetz besagt:

Die Einheit der Masse ist das Kilogramm; es ist nach seiner Definition gleich der Masse eines Kubikdezimeters destillierten Wassers bei seiner größten Dichte (4°C). Das internationale Urkilogramm besteht aus einem Vollzylinder von 39 mm Durchmesser und Höhe, ebenfalls aus Platiniridium und wird vom internationalen Maß- und Gewichts-büro aufbewahrt. Gleiche Stücke wurden unter die beteiligten Staaten verteilt und dienen dort als nationale Urmaße. Nach neueren Messungen stimmt das in Paris aufbewahrte Stück nicht genau mit seinem ursprünglichen Definitionswert überein, sondern die Masse eines Kubikdezimeters Wasser ist daran gemessen nur $0,999\,973\text{ kg}$.

Das deutsche Urkilogramm (Nr. 22) wird ebenso wie das Urmeter (Nr. 18), von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin aufbewahrt.

D. Raummaß.

Die Einheit hierfür ist das **Kubikdezimeter** oder **Liter**. Das Liter ist der Raum von 1 kg Wasser größter Dichte. Genau genommen ist also beides nicht gleichwertig. Nach dem Vorhergesagten wiegt ein Kubikdezimeter Wasser nur $0,999\,973\text{ kg}$ d. h. ein Liter ist um 27 mm^3 größer als ein Kubikdezimeter. Für den praktischen Gebrauch ist dieser Unterschied aber völlig belanglos.

¹⁾ Vgl. Wallot: Z. VDI. Bd. 78 (1934) S. 1225.

²⁾ Amtsblatt der PTR 1939 Nr. 2 S. 40. — Masch.-Bau 1939 S. 523.

Maßeinheiten nach dem absoluten Zentimeter-Gramm-Sekunde-System (C-G-S-System)¹⁾.

Grundeinheiten sind für die Länge das cm, für die Masse das g, für die Zeit die s. Als s gilt der 86400. Teil des mittleren Sonnentages; sie stimmt mit der s der bürgerlichen Zeitrechnung vollständig überein.

Von den drei Grundeinheiten cm, g, s sind alle anderen Einheiten abgeleitet. Sie werden als Potenzen von L (Länge), M (Masse), T (Zeit) dargestellt.

Man unterscheidet geometrische, mechanische, kalorische, magnetische, elektrostatische und elektromagnetische Einheiten.

Die Einheit der **Fläche** ist das Quadrat über der Längeneinheit.

Die Einheit des **Raumes** ist der Würfel über der Längeneinheit.

Winkелеinheit ist der Winkel, dessen Bogen gleich dem Halbmesser ist ($57,296^\circ$).

Die Einheit des **Raumwinkels** liegt dann vor, wenn er aus der um seinen Scheitel geschlagenen Kugel vom Halbmesser 1 die Flächeneinheit ausschneidet.

Die Einheit der **Dichte** hat ein Körper von der Masse 1 in der Raumeinheit.

Die Einheit der **Geschwindigkeit** hat ein Punkt, der in der Zeiteinheit eine Längeneinheit zurücklegt.

Die Einheit der **Beschleunigung** ist diejenige, bei welcher die Geschwindigkeit in der Zeiteinheit um die Geschwindigkeitseinheit wächst.

Die Einheit der **Kraft**, 1 Dyn, ist diejenige, die der Masseneinheit in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit-Einheit erteilt.

Die Einheit der **Arbeit**, 1 Erg, wird verrichtet durch die Kraft 1 Dyn, bei Verschiebung ihres Angriffspunktes in ihrer Richtung um die Längeneinheit.

Schwerebeschleunigung (in 45° geogr. Breite und im Meeresniveau) = $980,62 \text{ cm/s}^2$ (für Druckmessungen international $980,665 \text{ cm/s}^2$ festgesetzt):

1 Grammgewicht = $980,62 \text{ Dyn}$,

also 1 Dyn = $1,0198 \cdot 10^{-3}$ Grammgewicht,

1 Meterkilogramm = $980,62 \cdot 10^5 \text{ Erg}$,

1 Erg = $1,0197 \cdot 10^{-8}$ Meterkilogramm.

Die Einheit der **Leistung** wird von der Arbeitseinheit in der Zeiteinheit geleistet.

Die Einheit des **Druckes** ist die Wirkung der Krafteinheit auf 1 cm^2 .

Die Einheit des **Drehmoments** ist die Einheit der Kraft, die senkrecht am Hebelarm von 1 cm Länge angreift.

Die Einheit des **Trägheitsmoments** entspricht der Masse von 1 g im Abstände 1 cm von der Drehachse.

Die Einheit des **Elastizitätsmaßes** (Elastizitätsmoduls) hat ein Körper, der bei Querschnitt 1 in Stabform durch eine deh nende Kraft um einen ihr zahlenmäßig gleichen Bruchteil verlängert wird, falls die Kraft innerhalb des Gültigkeitsbereiches des Hooke'schen Gesetzes bleibt.

Die Einheit der **Wärme** ist die der Arbeitseinheit, dem Erg, gleichwertige Wärmemenge.

Die Einheit der **elektrostatischen Elektrizitätsmenge** ist die Menge, welche auf eine gleich große Menge in der Entfernung 1 cm die Kraft 1 ausübt.

Die Einheit des **elektrostatischen Potentials** hat eine mit der Elektrizitätsmenge 1 auf ihrer Oberfläche gleichmäßig geladene Kugel.

Die Einheit der **elektrostatischen Kapazität** kommt dem leitenden Körper zu, der durch die Einheit der Elektrizitätsmenge zum Potential 1 geladen wird.

Die Einheit der **magnetischen Polstärke** übt auf einen gleich starken Pol in der Entfernung von 1 cm die Kraft 1 aus.

Die Einheit des **magnetischen Moments** hat ein Magnet, dessen beide Pole von der Stärke 1 den Abstand 1 cm haben.

Die Einheit der **magnetischen Feldstärke** herrscht dort, wo der Einheitspol die Kraft 1 erfährt.

Die Einheit der **elektromagnetischen Stromstärke** hat der Strom, der, einen Kreisbogen von 1 cm Länge und 1 cm Halbmesser durchfließend, auf den im Mittelpunkt befindlichen Magnetpol 1 die Kraft 1 ausübt.

Die Einheit der **elektromotorischen Kraft** oder **Spannung im elektromagnetischen Maße** entsteht in einem geraden, zur Feldrichtung senkrechten Leiter von 1 cm Länge, der sich mit der Geschwindigkeit 1 im magnetischen Felde 1 senkrecht zu diesem und zu sich selbst bewegt.

Die Einheit des **elektromagnetischen Widerstandes** hat ein Leiter, in dem die Potentialdifferenz 1 die Stromstärke 1 hervorruft.

¹⁾ Vgl. Kohlrausch: Lehrbuch der prakt. Physik.

Einige Bezeichnungen.

(S. a. DIN 1301, 1304, 1305, 1306, 1314, 1335, 1350.)

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
I. Länge (Fläche, Volumen).						
<i>l</i>	Länge		L	cm m mm μ	Zentimeter Meter Millimeter Mikron = 0,001 mm	1 10^3 10^{-1} 10^{-4}
<i>r</i> <i>d</i> λ	Halbmesser . . . Durchmesser . . . Wellenlänge . . .		L L L	$m\mu$ Å	Millimikron = 10^{-6} mm Ångström-Einheit = 10^{-7} mm	 10^{-7} 10^{-8}
<i>s</i>	Weglänge		L			
<i>b</i> <i>h</i>	Barometerstand . Höhe		L L		mm Quecksilbersäule	
ε εq	Bei Zug: Dehnung Bei Druck: Stauchung . . . Querkürzung (lineare Quersammenziehung, spezifische Querkürzung) . . .	$\left. \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \right\}$ $\varepsilon q = \frac{d-d_0}{d_0}$				
μ γ	Querszahl Schiebung (Gleitung)	$\mu = \varepsilon q / \varepsilon$				
<i>F</i>	Fläche (Querschnitt, Oberfläche)		L ²	cm ² m ² a	Quadratcentimeter Quadratmeter Ar = 100 m ²	1 10^4 10^6
<i>V</i>	Rauminhalt, Volumen		L ³	cm ³ l m ³	Kubikcentimeter Liter (= 1,000027 dm ³) Kubikmeter (Raummeter)	1 10^3 10^6
α, β, \dots φ ω	Winkel, Bogen . . Voreilwinkel (Phasenverschiebung) Räumlicher Winkel				arc sin 57,296° = 1	
II. Masse (und Menge).						
<i>m</i> <i>G</i>	Masse Gewicht, Kraft . .		M LMT ⁻²	kg m ⁻¹ s ² g kg mg	Gramm Kilogramm Milligramm	1 10^3 10^{-3}
<i>v</i> <i>\rho</i> γ	Räumigkeit (spezifisches Volumen) Dichte Wichte	$v = V/M$ $\rho = M/V = 1/v$ $\gamma = G/V$	L ³ M ⁻¹ L ⁻³ M L ⁻³ M	cm ³ /g g/cm ³ g/cm ³		
<i>J</i>	Trägheitsmoment .	$J = \sum m \cdot l^2$	L ² M			

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
<i>A</i>	Atomgewicht . . .					
<i>M</i>	Molekulargewicht					
<i>n</i>	Wertigkeit . . .					
<i>A/n</i>	Äquivalentgewicht eines Elementes					
<i>M/n</i>	Äquivalentgewicht einer Verbindung					
<i>A · v</i>	Atomvolumen . . .		L^3M^{-1}			
<i>M · v</i>	Molekulargewicht		L^3M^{-1}			
<i>P</i>	Prozentgehalt . . .					
<i>P_m</i>	Massenprozentgehalt					
<i>P_v</i>	Raumprozentgehalt					
<i>c</i>	Konzentration . . .					
<i>v</i>	Verdünnung . . .	$v = 1/c$				

g in 100g Lösung
g in 100 cm³ Lösung
Grammolekel/
1 l Lösung

III. Zeit (und Länge).

<i>t</i>	Zeit (Zeitpunkt oder Zeitdauer)		T	h mod.min s h min s	Stunde } Zeit- Minute } räume Sekunde } Zeitpunkte, Uhrzeiten, (Zeichen erhöht)	3600 60 1
<i>T</i>	Periodendauer . . .	$T = 1/n$	T			
<i>n</i>	Umlaufzahl, Drehzahl	$n = 1/T$	}	U/min Per/s	Umdrehungen in 1 min Perioden in 1 s	1/60 1
<i>n</i>	Schwingungszahl					
<i>f</i>	Frequenz (bei Wechselgrößen)	$f = 1/T$	}	T-1	Perioden in 2π s Unterschied der sekd.l.Drehzahlen	$1/2 \pi$
<i>ω</i>	Kreisfrequenz . . .	$ω = 2\pi f$				
<i>σ</i>	Schlüpfung . . .		T-1			
H _z	Hertz	<i>n</i> je s				
<i>v</i>	Geschwindigkeit	}	LT-1	m/s		
<i>b</i>	Beschleunigung		LT-2	m/s ²		
<i>g</i>	Fallbeschleunigung					
<i>ω</i>	Winkelgeschwindigkeit		T-1			

IV. Kraft und Druck.

<i>P</i>	Kraft	$P = m \cdot b$	LMT-2		Phys.: Dyn Kilogramm Gramm	1 981 · 10 ⁸ 981
<i>M</i>	Moment einer Kraft (Drehmoment)	$M = P \cdot l$	L ² MT-2	kg g		
<i>p</i>	Druck oder Zug (Kraft durch Fläche)	$p = P/F$	L-1MT-2	at Atm	techn. Atmosph. = 1 kg/cm ² phys. Atmosph. = 760 Torr	98,1 · 10 ⁴ 1,013 · 10 ⁸

1 Torr = 1 mm Quecksilbersäule
1 kg/m² ≈ 1 mm Wassersäule
1 Mikobar (μb) = 1 dyn/cm²

1 Millibar (mb) = 10⁸ dyn/cm²
1 Bar (b) = 10⁹ dyn/cm²

Umrechnungszahlen s. DIN 1314.

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
σ	Normalspannung	$\left. \begin{aligned} \sigma &= P/F \\ E &= 1/\varepsilon \\ \alpha &= 1/E \\ \chi &= 1/E \end{aligned} \right\}$	$L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$	kg/cm ²	Kilogramm/Quadratzentimeter	98,1 · 10 ⁴
τ	Schubspannung		$L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$			
E	Elastizitätsmodul		$L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$			
G	Schubmodul		$L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$			
α	Dehnzahl		$L \cdot M^{-1} \cdot T^2$			
χ	Verdichtbarkeit (Kompressibilität)	$\chi = 1/E$	$L \cdot M^{-1} \cdot T^2$			
μ	Reibungszahl		$L^{-1} \cdot M \cdot T^{-1}$			
η	Zähigkeit einer Flüssigkeit		$L^{-1} \cdot M \cdot T^{-1}$			
V. Temperatur.						
t	Temperatur, vom Eispunkt aus					
ϑ	Temperatur, beim Zusammentreffen mit Zeit					
T	Temperatur, absolute	$T = 273 + t$				
t_e	Schmelzpunkt (vom Eisp. aus)					
T_e	Erstarrungspunkt (absolut)	$T_e = 273 + t_e$				
t_s	Siedepunkt vom Eispunkt aus					
T_s	Kondensationspunkt (absolut)	$T_s = 273 + t_s$				
t_u	Umwandlungspunkt (vom Eispunkt aus)					
T_u	Umwandlungspunkt (absolut)	$T_u = 273 + t_u$				
α	Therm. Längsdehnungszahl (linearer Ausdehnungskoeffizient)					
γ	Therm. Raumdehnungszahl (kubischer Ausdehnungskoeffizient)	$\gamma = 3\alpha$				
VI. Arbeit, Energie, Wärmemenge.						
A	Arbeit	$A = P \cdot l$	$L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$	J	Erg	1
W	Energie			kgm	Joule	10 ⁷
W_e	Elektr. Energie			ft lb	Kilogrammmer	98,1 · 10 ⁴
W_m	Magnet. Energie			kWh	engl. Fußpfund Kilowattstunde	13,4 · 10 ³ 36 · 10 ¹²
Q	Wärmemenge			cal	Grammkalorie	
q	Reaktionswärme			kcal	Kilogrammkalorie	
r	Verdampfungswärme d. Wassers				539,1 cal (15°) bei 100°	
H	Heizwert			kcal/kg		
c	Spezif. Wärme	$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$				
c_p	Spezif. Wärme bei konstant. Druck					
c_v	Spezif. Wärme bei konstantem Volumen					
R	Gaskonstante					
S	Entropie	$S = Q/T$				

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
<i>N</i>	Leistung . . .	$N = A/t$	$L^2 \cdot M \cdot T^{-3}$		Watt	10^7
				kW	Kilowatt	10^{10}
				GP	Großpferd = 102 kgm/s	10^{10}
				P	Pferdekraft = 75 kgm/s	$736 \cdot 10^7$
				HP	Horsepower	$746 \cdot 10^7$
η	Wirkungsgrad .					
<i>J</i>	Arbeitswert der Kalorie . . .				1 Grammkalorie = 4,184 Joule (intern.) 1 Kilogrammkalorie = 426,9 kgm 1 BTU (British Thermal Unit) = 778 ft lbs. 107,6 kgm = 0,252 kcal	$4,186 \cdot 10^7$ $4,186 \cdot 10^{10}$
<i>k</i>	Wärmeleitfähigkeit	$k = \frac{Q \cdot l}{F \cdot t (\vartheta_1 - \vartheta_2)}$				
VII. Optik und Lichttechnik.						
<i>n</i>	Brechungszahl (gegen Luft) .					
<i>c</i>	Lichtgeschwindigkeit . . .					
<i>f</i>	Brennweite . .					
Φ	Lichtstrom . .	$\Phi = I \cdot \omega$		lm	Lumen	
<i>Q</i>	Lichtmenge . .	$Q = \Phi \cdot t$		lmh	Lumenstunde	
<i>I</i>	Lichtstärke . .	$I = \Phi/\omega$		H ζ	Hefnerkerze	
<i>E</i>	Beleuchtungsstärke der beleuchteten Fläche <i>F</i>	$E = \Phi/F$		lx	Lux	
<i>B</i>	Leuchtdichte der leuchtenden Fläche <i>f</i>	$B = \frac{J_\varepsilon}{f \cdot \cos \varepsilon}$		1) sb	Stilb	
<i>R</i>	Spez. Lichtausstrahlung . .	$R = \Phi/f$		2) asb lm/cm ²	Apostilb Lumen je cm ²	
VIII. Magnetisches Feld.						
<i>m</i>	Magnet. Menge (Polstärke) . .	$P = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	$L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$			
<i>l</i>	Polabstand . .		L	cm		
\mathfrak{M}	Magnet. Moment	$\mathfrak{M} = m \cdot l$	$L^{\frac{5}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$			
\mathfrak{H}	Magnetisierungsstärke . .	$\mathfrak{H} = \mathfrak{M}/V$	$L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$		Gauß in einer gleichmäßig gewickelten Spule $\mathfrak{H} = 4\pi w I/l$	1
\mathfrak{H}	Magnet. Feldstärke	$\mathfrak{H} = P/m$				
η	Horizont. Komponente des Erdmagnetismus					
\mathfrak{B}	Magnet. Induktion	$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi \mathfrak{H}$				
\mathfrak{F}	Magnetomotorische Kraft .	$\mathfrak{F} = \mathfrak{H} \cdot l$	$L^{\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$		Gilbert in einer gleichmäßig gewickelten Spule $\mathfrak{F} = w \cdot 4 \cdot \pi I$	1

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
Φ	Magnet. Induktionsfluß . . .	$\Phi = \mathfrak{B} \cdot F$ $= \mathfrak{H} / \mathfrak{R}$ $F = \text{Querschnitt}$	$L^{\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$		Maxwell	1
\mathfrak{R}	Magnetischer Widerstand .	$\mathfrak{R} = 1 / \mu \cdot l / F$	L^{-1}		Oerstedt	
μ	Magnet. Durchlässigkeit (Permeabilität) . .	$\mu = \mathfrak{B} / \mathfrak{H}$ $= 1 + 4\pi \kappa$				
κ	Magnet. Aufnahmevermögen (Suszeptibilität)	$\kappa = \mathfrak{H} / \mathfrak{B}$				

IX. Elektrischer Strom (elektromagnetische Maße).

I	Elektrische Stromstärke .	$I = E / R$	$L^{\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$	A	Ampere 1 Ampere scheidet aus in 1 s: 1,118 mg Ag 0,3294 mg Cu 0,0933 mg Wasser intern. Amp. = const. Strom, der in 1 s 1,118 mg Ag ausscheidet	10^{-1}
Q	Elektrizitätsmenge	$Q = I \cdot t$	$L^{\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}}$	C	Coulomb Amperesekunde = 1/96500 g-Äquivalent Amperestunde	10^{-1}
i	Stromdichte . .	$i = I / F$	$L^{-\frac{3}{2}} \cdot M^{-\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$	A/cm ²	Ampere/cm ²	10^{-1}
E	Elektromotor. Kraft (Potentialunterschied)	$E = I \cdot R$	$L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2}$	V	Volt intern. Volt (die EMK, welche in dem Widerstand 1 intern. O 1 intern. A erzeugt). Weston-element 1,01830 - 0,0,406 ($t-20$) - 0,0,95 ($t-20$) ² + 0,0,1 ($t-20$) ³ V Mit verdünnter Lösung 1,0187 V (praktisch unabhängig von der Temperatur)	10^8
U	Elektr. Spannung					
A	Elektr. Arbeit .	$A = Q \cdot E$ $= I \cdot E \cdot t$	$L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$	Vc	Voltcoulomb 1 intern. Joule (= intern. A · intern. V s) = 0,10203 kgm = 0,2390 cal (15°) Kilowattstunde	$1,000151 \cdot 10^7$
N	Elektr. Leistung	$N = E \cdot I$ $= A / t$	$L^2 \cdot M \cdot T^{-3}$	kWh W kW BTU	Watt (= 1/736 P = 0,00136 P) Kilowatt (= 1GP) Board of Trade Unit = 1 kW	$36 \cdot 10^{12}$ 10^7 10^{10}
C	Kapazität . . .	$C = Q / E$	$L^{-1} \cdot T^2$	F μF	Farad Mikrofarad	10^{10} 10^{-9} 10^{-15}

Zeichen	Physikalische Größe oder Eigenschaft	Beziehungsgleichungen	Dimension	Technische Einheit		
				Zeichen	Name oder Bezeichnung	Wert in CGS
w	Windungszahl					
Ψ	Spulenfluß . . .	$\Psi = w \cdot I$	$L^{\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$	AW	Amperewindung	10^{-1}
A	Strombelag . . .	$A = \Psi/l$	$L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$	AW/cm	Amperewindung/cm	10^{-1}
L	Induktivität (Selbstinduktionskoeffizient)	$E = L \cdot dI/dt$	L	}	H	10^9
M							Gegeninduktivität (Gegeninduktionskoeffizient) . . . . .	$E = M \cdot dI/dt$	L
p	Polpaarzahl (einer elektrischen Maschine)					

X. Elektrischer Widerstand.

R	Elektr. Widerstand	$R = E/I$ $= \rho \cdot l/F$	LT^{-1}	Ω $k\Omega$ $M\Omega$ ∞	Ohm Kilohm Megohm intern. Ohm = Widerstand einer Hg-Säule von 1,063 m Länge u. 14,4521 g Gewicht bei 0° (besitzt 1 mm ² Querschnitt) 1 legales Ohm hat 1,060 m Siemens-Einheit (1,000 m Länge der Hg-Säule)	10^9 10^{12} 10^{15}
G	Leitwert	$G = 1/R$	$L^{-1}T$	SE	Siemens	10^{-9}
ρ	Spezif. Widerstand	$\rho = R \cdot F/l$	$L^2 \cdot T^{-1}$	S	Ohm mm ² /m	10^{-5}
κ	Elektr. Leitfähigkeit (von Elektrolyten)	$\kappa = \frac{l}{R \cdot F}$	$L^{-2} \cdot T$		1/Ohm · cm	10^{-9}
α	Dissoziationsgrad					

XI. Elektrische Ladung und elektrisches Feld (elektrostatische Maße).

Q	Elektrizitätsmenge, elektr. Ladung	$P = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$	$L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$		$\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ Coulomb $1,59 \cdot 10^{-19}$ Coulomb	
e	Elementarladung		$L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$			
\mathcal{E}	Elektr. Feldstärke	$\mathcal{E} = P/Q$	$L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$			$4,77 \cdot 10^{-10}$
\mathcal{D}	Elektr. Induktion (Verschiebung)	$\mathcal{D} = \Phi_e/F$	$L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$			
Φ_e	Elektrischer Induktionsfluß	$\Phi_e = 4\pi Q$	$L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$			
ε	Dielektrizitätskonstante	$\varepsilon = \mathcal{D}/\mathcal{E}$				
C	Elektr. Kapazität		L	cm	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-11}$ Farad	

Kurzzeichen für Einheiten (nach DIN 1301).

(Siehe auch S. 69 und S. 73 ff.)

h	Stunde	S	Siemens
m	Minute	C	Coulomb
min	Minute (allein- stehend)	J	Joule
s.....	Sekunde	W.....	Watt
Uhrzeit ..	Zeichen h, m, s erhöht Beispiel: 2 ^h 26 ^m 3 ^s	F	Farad
°	Celsiusgrad	H	Henry
cal	Kalorie (Gramm- kalorie)	mA	Milliampere
kcal	Kilokalorie	kW	Kilowatt
A	Ampere	μF	Mikrofarad
V	Volt	MΩ	Megohm
Ω	Ohm	kVA	Kilovoltampere
		Ah	Amperestunde
		kWh.....	Kilowattstunde

Umrechnung von Pferdestärken (PS) in Kilowatt (kW).

PS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0,74	1,47	2,21	2,94	3,68	4,41	5,15	5,88	6,62
10	7,35	8,09	8,83	9,56	10,30	11,03	11,77	12,50	13,24	13,97
20	14,71	15,45	16,18	16,92	17,65	18,39	19,12	19,86	20,59	21,33
30	22,06	22,80	23,54	24,27	25,01	25,74	26,48	27,21	27,95	28,68
40	29,42	30,16	30,89	31,63	32,36	33,10	33,83	34,57	35,30	36,04
50	36,77	37,51	38,25	38,98	39,72	40,45	41,19	41,92	42,66	43,39
60	44,13	44,87	45,60	46,34	47,07	47,81	48,54	49,28	50,01	50,75
70	51,48	52,22	52,96	53,69	54,43	55,16	55,90	56,63	57,37	58,10
80	58,84	59,58	60,31	61,05	61,78	62,52	63,25	63,99	64,72	65,46
90	66,19	66,93	67,67	68,40	69,14	69,87	70,61	71,34	72,08	72,81
100	73,55	74,29	75,02	75,76	76,49	77,23	77,96	78,80	79,43	80,17
110	80,90	81,64	82,38	83,11	83,85	84,58	85,32	86,05	86,79	87,52
120	88,26	89,00	89,73	90,47	91,20	91,94	92,67	93,41	94,14	94,88
130	95,61	96,35	97,09	97,82	98,56	99,29	100,0	100,8	101,5	102,2
140	103,0	103,7	104,4	105,2	105,9	106,6	107,4	108,1	108,9	109,6
150	110,3	111,1	111,8	112,5	113,3	114,0	114,7	115,5	116,2	116,9
160	117,7	118,4	119,1	119,9	120,6	121,4	122,1	122,8	123,6	124,3
170	125,0	125,8	126,5	127,2	128,0	128,7	129,4	130,2	130,9	131,7
180	132,4	133,1	133,9	134,6	135,3	136,1	136,8	137,5	138,3	139,0
190	139,7	140,5	141,2	142,0	142,7	143,4	144,2	144,9	145,6	146,4
200	147,1	147,8	148,6	149,3	150,0	150,8	151,5	152,2	153,0	153,7
210	154,5	155,2	155,9	156,7	157,4	158,1	158,9	159,6	160,3	161,0
220	161,8	162,5	163,3	164,0	164,8	165,5	166,2	167,0	167,7	168,4
230	169,2	169,9	170,6	171,4	172,1	172,8	173,6	174,3	175,0	175,8
240	176,5	177,3	178,0	178,7	179,5	180,2	180,9	181,7	182,4	183,1
250	183,9	184,6	185,3	186,1	186,8	187,6	188,3	189,0	189,8	190,5
260	191,2	192,0	192,7	193,4	194,2	194,9	195,6	196,4	197,1	197,8
270	198,6	199,3	200,1	200,8	201,6	202,3	203,0	203,7	204,5	205,2
280	205,9	206,7	207,4	208,1	208,9	209,6	210,4	211,1	211,8	212,6
290	213,3	214,0	214,8	215,5	216,2	217,0	217,7	218,4	219,2	219,9
300	220,7	221,4	222,1	222,9	223,6	224,3	225,1	225,8	226,5	227,3

Tafel über die Maßeinheiten für Energie und ihr gegenseitiges Verhältnis.

	Erg	Wattsekunde Joule	Kl. 15°-Kalorie	Literatmosphäre	Meterkilogramm	Pferdestärke × Sekunde
1 Erg = lg	—	0,999 50 · 10⁻⁷ 2,999 78 — 10	2,388 7 · 10⁻⁸ 2,378 16 — 10	0,986 89 · 10 ⁻⁹ 0,994 27 — 10	1,019 716 · 10⁻⁸ 2,008 48 — 10	1,359 62 · 10 ⁻¹⁰ 0,133 42 — 10
1 Wattsekunde (Joule) = lg	1,000 50 · 10⁷ 7,000 22	—	0,238 99 9,378 40 — 10	0,987 39 · 10 ⁻² 7,994 49 — 10	0,102 023 9,008 69 — 10	1,360 30 · 10 ⁻³ 7,133 64 — 10
1 cal = lg	4,186 · 10⁷ 7,621 80	4,184 2 0,621 61	—	4,131 4 · 10 ⁻² 8,616 10 — 10	0,426 88 9,630 31 — 10	0,569 18 · 10 ⁻² 7,755 25 — 10
1 Literatmosphäre = lg	1,013 253 · 10 ² 9,005 72	1,012 773 · 10 ² 2,005 51	24,205 1,383 94	—	10,325 58 1,044 20	0,137 767 8 9,139 16 — 10
1 Meterkilogramm = lg	9,806 65 · 10⁷ 7,991 52	9,801 75 0,991 30	0,369 70	0,967 812 · 10⁻¹ 8,985 79 — 10	—	1,333 33 · 10⁻² 8,124 93 — 10
1 Pferdestärke × Sekunde = lg	7,354 93 · 10 ⁸ 9,866 58	7,351 31 · 10 ⁸ 2,866 37	175,69 2,244 75	7,258 59 0,860 86	75,000 1,875 04	—
R Mol = lg	8,313 2 · 10⁷ 7,919 77	8,303 0 0,919 55	1,985 8 0,297 94	8,204 2 · 10 ⁻² 8,914 04 — 10	0,847 71 9,928 25 — 10	1,130 28 · 10 ⁻² 8,053 19 — 10

Erg und Dyn (Begriffsbestimmung s. S. 72).

1 Volt-Ampere × sek. = 1 Wattsekunde = 1 Joule wird geleistet, wenn der Strom von 1 Ampere im Widerstand von 1 Ohm während 1 Sekunde fließt.

1 kleine 15°-Kalorie, Grammkalorie, ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 g Wasser von 14,5° auf 15,5° zu erwärmen. (Vgl. S. 75.)

1 Literatmosphäre ist die Arbeit, die der Vermehrung des Volumens um 1 Liter unter dem konstanten Drucke von 1 Atmosphäre (= 1013253 Dyn/cm²) entspricht.

1 Kilogramm ist die Arbeit, die durch Heben von 1 kg um 1 m entgegen der Anziehungskraft der Erde unter 45° Breite in Meereshöhe verrichtet wird.

Die unterste Zeile enthält die auf ein Mol (Gramm-Molekül) bezogene Gaskonstante R, ausgedrückt in den verschiedenen Einheiten, samt den zugehörigen Logarithmen.

Die den Umrechnungen zugrunde gelegten Ausgangswerte (vgl. z. B. Henning und Jaeger, Handbuch der Physik, II, S. 518) sind fett gedruckt.

Kraft und Druck.

Anziehungskraft.

(Schwerkraft.)

$g =$ Beschleunigung durch die Schwere $= 981 \text{ cm/s}^2 = 9,81 \text{ m/s}^2$

für das mittlere Deutschland,

allgemein: $980,62 (1 - 0,00264 \cdot \cos 2\varphi - 0,063 \cdot H) \text{ cm/s}^2$,

worin φ die geographische Breite und H die Höhe des Beobachtungsortes in Metern über dem Meeresspiegel bedeutet. Eine Erhebung um 1000 m verkleinert den Wert um $0,3 \text{ cm/s}^2$. Die äußersten Werte für den Äquator und die Pole weichen um rund $2,6 \text{ cm/s}^2$ vom Mittelwert ab.

Druck. (Vgl. DIN 1314.)

Abkürzungen: WS = Wassersäule, QS = Quecksilbersäule,

QuZ = Quadratzoll engl. (square inch) $= 6,4514 \text{ cm}^2$.

DIN 1314 besagt u. a.:

1. Die Druckeinheit des Zentimeter- (Massen-) Gramm-Sekunden-Systems ist das Mikrobar (μb) $= 1 \text{ dyn/cm}^2$. Das Bar (b) ist gleich 10^6 dyn/cm^2 , das Millibar (mb) gleich 10^3 dyn/cm^2 .
2. Die Druckeinheit des Meter- (Kraft-) Kilogramm-Sekunden-Systems ist die Einheit Kilogramm je Quadratmeter (kg/m^2). Sie ist sehr nahe gleich dem Druck einer Wassersäule von 1 mm Höhe bei 4° und bei dem Normwert der Fallbeschleunigung; daher ist für sie auch die Bezeichnung mm WS gebräuchlich.
3. Der Druck einer Quecksilbersäule von 1 mm Höhe bei 0° und bei dem Normwert der Fallbeschleunigung heißt 1 Torr.
4. Außerdem werden als Druckeinheiten die physikalische und die techn. Atmosphäre benutzt. Zur Vermeidung von Verwechslungen empfiehlt es sich, die Schreibweisen 760 Torr und kg/cm^2 zu bevorzugen.

Umrechnungstafel s. DIN 1314.

1 (metr.) techn. Atmosphäre (at) $= 1 \text{ kg/cm}^2$

$= 735,5 \text{ mm QS von } 0^\circ = 737,4 \text{ mm QS von } 15^\circ$

$= 28,958 \text{ engl. Zoll QS von } 0^\circ = 14,223 \text{ engl. Pfd/QuZ}$

$= 10\,000 \text{ mm WS von } +4^\circ \text{ C} = 0,9678 \text{ Atm.}$

1 physikalische Atmosphäre (Atm) $= 760 \text{ mm QS von } 0^\circ$

$= 1,0333 \text{ kg/cm}^2$; $1 \text{ mm QS von } 0^\circ = 1 \text{ Torr}$

$= 762 \text{ mm QS von } 15^\circ$

$= 29,922 \text{ engl. Zoll QS von } 0^\circ = 14,696 \text{ engl. Pfd/QuZ}$

$= 10,333 \text{ m WS von } +4^\circ \text{ C} = 1,0333 \text{ techn. Atmosphäre.}$

$10\,000 \text{ mm WS} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 6,452 \text{ kg/QuZ} = 14,223 \text{ engl. Pfd/QuZ} = 228 \text{ Ounces/QuZ.}$

Umrechnung

von QS in WS

von WS in QS

QS mm	WS cm u. g	QS mm	WS cm u. g
0,1	0,1	10	13,6
0,2	0,3	20	27,1
0,3	0,4	30	40,7
0,4	0,5	40	54,2
0,5	0,7	50	67,8
0,6	0,8	60	81,4
0,7	0,9	70	94,9
0,8	1,1	80	108,5
0,9	1,2	90	122,1
1	1,4	100	135,6
2	2,7	200	271,2
3	4,1	300	406,8
4	5,4	400	542,4
5	6,8	500	678,1
6	8,1	600	813,7
7	9,5	700	949,3
8	10,8	800	1084,9
9	12,2	900	1220,5
10	13,6	1000	1356,1

WS cm u. g	QS mm	WS cm u. g	QS mm
10	7,4	80	58,8
15	11	85	62,5
20	14,7	90	66,2
25	18,4	95	69,9
30	22,1	100	73,6
35	25,7	200	147,1
40	29,4	300	220,7
45	33,1	400	294,2
50	36,8	500	367,8
55	40,5	600	441,3
60	44,1	700	514,9
65	47,8	800	588,4
70	51,5	900	662,0
75	55,2	1000	735,5

Beispiele:
 275 mm QS = 271,2 + 94,9 + 6,8
 = 372,9 cm WS,
 275 cm WS = 147,1 + 55,2
 = 202,3 mm QS.

Barometer.

1 mm QS = 1,33322 · 10³ Bar = 1.33322 Millibar (mb).

Standort des Barometers über Meer m	Höhe der Quecksilbersäule		Standort des Barometers über Meer m	Höhe der Quecksilbersäule	
	mm	mb		mm	mb
0	760	1013,25	4000	463	617,28
100	751	1001,25	4500	435	579,95
200	740	986,58	5000	409	545,29
300	732	975,92	6000	361	481,29
400	723	963,92	7000	319	425,30
500	714	951,92	8000	282	375,97
600	705	939,92	9000	249	331,97
700	697	929,25	10000	220	293,31
800	688	917,26	12000	172	229,31
900	680	906,59	14000	134	178,65
1000	671	894,59	16000	105	139,99
1200	655	873,26	18000	82	109,32
1400	639	851,93	20000	64	85,326
1600	623	830,60	25000	34	45,330
1800	608	810,60	30000	19	25,331
2000	593	790,60	35000	1	1,3332
2500	557	742,60	40000	0,6	0,7999
3000	524	698,61	45000	0,3	0,4000
3500	493	657,28	50000	0,2	0,2666

Barometrische Höhenformel (Näherungsformel für Deutschland).

$$H = 29,40 [545,7 + (t_u + t_o)] \cdot \frac{B_u - B_o}{B_u + B_o}$$

H = Höhenunterschied; t_u (t_o) Lufttemperatur unten (oben); B_u (B_o) Barometerstand unten (oben), z. B.

$$B_u = 751; \quad B_o = 674; \quad t_u = 12^\circ; \quad t_o = 10^\circ;$$

$$H = 29,40 [567,7] \cdot \frac{77}{1425} \approx 902 \text{ m.}$$

Technisch wichtige Stoffe.

Gewerbliche Benennung	Chemische Benennung bzw. Anwendung	Chemische Formel
Aceton	Aceton	$\text{CH}_3 \cdot \text{CO} \cdot \text{CH}_3$
Acetylen	Acetylen	C_2H_2
Äther (Schwefel-)	Äthyläther	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$
Ätzkali (kaustische Pottasche)	Kaliumhydroxyd	$\text{K}(\text{OH})$
Ätzkalk	Kalziumhydroxyd	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Ätznatron (kaustische Soda)	Natriumhydroxyd	$\text{Na}(\text{OH})$
Alaun, Ammonium-	Ammoniumaluminiumsulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{Al}(\text{SO}_4)_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$
„ Kali-	Kaliumaluminiumsulfat	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$
„ Natron-	Natriumaluminiumsulfat	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$
Amylacetat	Amylacetat	$\text{C}_5\text{H}_{11}(\text{CH}_3\text{COO})$
Antifixiersalz	Natriumperkarbonat	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_6$
Arsenik	Arsenik	As_2O_3
Barium kohlensaures	Bariumkarbonat	BaCO_3
Barytweiß (Blancfixe, Permanentweiß)	Bariumsulfat	BaSO_4
Benzin	Zw. 80° u. 120° siedende Kohlenwasserstoffgemische der Methanreihe Naphthenreihe Olefine aromat. Kohlenwasserst. zyklischer Kohlenwasserstoff.	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ($n = 5$ bis 9) C_nH_{2n} (zykl. C-Wasserst.) C_nH_{2n} (unges. C-Wasserst.) $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$
Benzol		C_6H_6
Bisulfit, Kalzium-	Kalziumhydrosulfit } Bleich- u.	$\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{SO}_3)_2$
„ Natrium-	Natriumhydrosulfit } Desinf. M.	NaHSO_3
Bittersalz	Magnesiumsulfat	$\text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
Blausäure	Cyanwasserstoff	HCN
Bleichlauge	Natriumhypochlorit	NaOCl
Bleiweiß	Bleihydrokarbonat	$2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})$
Bleizucker	essigs. Blei (Bleiacetat)	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$
Blutlaugensalz (rot)	Kaliumeisencyanid	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 + 3 \text{H}_2\text{O}$
„ (gelb)	Kaliumeisencyanür	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 + 3 \text{H}_2\text{O}$
Borax	Natriumtetraborat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10 \text{H}_2\text{O}$
Borsäure	Borsäure	H_3BO_3
Braunstein	Mangansuperoxyd	MnO_2
Chlorkalk	Chlorkalk	$\text{CaCl}(\text{OCl})$
Chlorkalzium	Kalziumchlorid	$\text{CaCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$
Chlorkautschuk-(lack)	Chlorkautschuk	$\text{C}_1,6\text{H}_{1,2}\text{Cl}_x$ } $x = \text{unbek.}$
Chlorkupfer	Kupferchlorid	$\text{CuCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ } ganze Zahl
Chlormagnesium	Magnesiumchlorid	MgCl_2
Chlormangan	Manganchlorid	MnCl_2
Chlorwasser	Chlorwasser	Cl_2 in Wasser gelöst
Chlorzinn (Zinnsalz)	Zinnchlorid	SnCl_4
	Zinnchlorür	SnCl_2
Chromkali, gelb	Kaliumchromat	K_2CrO_4
„ rot	Kaliumbichromat	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Cyankali	Kaliumcyanid	KCN
Cyannatrium	Natriumcyanid	NaCN
Eisenchlorid	Ferrichlorid	FeCl_3
Eisenchlorür	Ferrenchlorid	FeCl_2
Eisenkarbonyl	Antiklopfm. (Zusatz z. Benzin)	$\text{Fe}(\text{CO})_5$
Essig	3 proz. Essigsäure	$3 \text{vH } \text{CH}_3\text{COOH} + 97 \text{vH } \text{H}_2\text{O}$
Essigessenz	10 proz. „	
Essig, Eis-	100 proz. „	CH_3COOH
Essigäther	Äthylacetat	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$
Fixiersalz	Natriumthiosulfat (unterschwefligs. Na)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 5 \text{H}_2\text{O}$
Fluorammon	Ammoniumfluorid	NH_4F
Fluornatrium	Natriumfluorid	NaF
Formaldehyd	Formaldehyd	HCOH

Gewerbliche Benennung	Chemische Benennung bzw. Anwendung	Chemische Formel
Gips, gebrannt	Kalziumsulfat	$2 \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
Glaubersalz	Natriumsulfat	$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10 \text{H}_2\text{O}$
Glycerin	Glycerin	$\text{C}_3\text{H}_5 \cdot (\text{OH})_3$
Glykol	(Gefrierschutzm.) Äthylenglykol	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$
Grubengas	Methan	CH_4
Grünspan	Kupferacetat	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O}$
Hexan	Lacklösungsmittel	C_6H_{14}
Kalk, gebrannt	Kalziumoxyd	CaO
„ gelöscht	siehe Ätzkalk	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Kalkstein	feinkörniges bis dichtes Gestein aus Kalziumkarbonat, meist mit Ton verunreinigt	CaCO_3
Kalziumkarbid	Kalziumkarbid	CaC_2
Kieselgur	Kieselgur	Diatomeenpanzer a. SiO_2
Kleesalz, saures	saures Kaliumoxalat	$\text{KH}_2\text{C}_4\text{O}_6 + 2 \text{H}_2\text{O}$
Kleesäure	Oxalsäure	$\text{HOOC} \cdot \text{COOH}$
Kochsalz (Steinsalz)	Natriumchlorid	NaCl
Königswasser	$\frac{3}{4}$ Salzs. + $\frac{1}{4}$ Salpeters.	$3 \text{HCl konz.} + 1 \text{HNO}_3 \text{ konz.}$
Kohlenoxydgas	Kohlenmonoxyd	CO
Kohlensäure	Kohlendioxyd, gelöst in Wasser	CO_2
Korund	Aluminiumoxyd	Al_2O_3
Kreide	erdiger Kalkstein aus Foraminiferenschalen	CaCO_3 (kohlens. Kalk)
Kunststoffe	s. Abschn. Kunststoffe	
Laugensalz, flüchtiges	Ammoniumbikarbonat	NH_4HCO_3
Lithopone	weiße Anstrichfarbe	$\text{BaSO}_4 + \text{ZnS}$, gemischt
Lötsalz	Chlorzinksalmiak	$\text{ZnCl}_2 + 2 \text{NH}_4\text{Cl}$
Lötwasser	wäßrige Lösung von Lötsalz	
Magnesiumoleat	Zusatz zu Benzin setzt Explosionsgefahr herab	$\text{Mg}(\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2)_2$
Marmor	polierfähiger körniger Kalkstein (kohlens. Kalk)	CaCO_3
Mennige	höheres Bleioxyd	Pb_3O_4
Methanol	synth. Methylalkohol (für Spirituslacke)	$\text{CH}_3(\text{OH})$
Methylacetat	löst Zellulose	$\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_3)$
Methylchlorid	Kühlm. f. Kühlmaschinen	CH_3Cl
„Per“	Perchloräthylen, Entfettungsmittel	C_2Cl_4
Perborat	Natriumperborat	$\text{NaBO}_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
Perborax	Natriumtetraborat (Waschmittelzus.)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
Peroxyde, Natrium-	oxydierender Zusatz z. Waschmitteln	Na_2O_2
„ Wasserstoff-		H_2O_2
Perschweifels. Kalium	Kaliumpersulfat (Bleichmittel)	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$
Phosgen gas	Phosgen. Kohlenstoffoxydchlorid (Lungengift)	COCl_2
Phosphat, Ammoniumbi-	zum Hartlöten	$(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$
„ Tetrapro-	für Galvanotechnik	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
„ Trinatrium-	Wasserenthärter	Na_3PO_4
„ Triphenyl-	Weichmacher f. Chlorkautschuk	$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{PO}_4$
Pinksalz	Zinnchloridsalmiak	$\text{SnCl}_4 + 2 \text{NH}_4\text{Cl}$
Pottasche	Kaliumkarbonat	K_2CO_3
Propangas	Heizgas, Abfall der Braunkohlenhydrierung	C_3H_8
Rost	Ferrihydroxyd	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Rostschutz	Oberflächenbehand. d. Eisens mit kochend. Phosphatlösg.; Parkerisieren, mit Ammoniak: Nitrieren (bei etwa 600° C), mit Aluminium: Alumetieren (bei etwa 1000° C)	

Gewerbliche Benennung	Chemische Benennung bzw. Anwendung	Chemische Formel
Ruß	für techn. Zwecke aus reinstem Petroleum oder Acetylen gewonnen	C (staubfein, über 98 Proz.)
Salmiak	Ammoniumchlorid	NH ₄ Cl
Salmiakgeist	Ammoniumhydroxyd	NH ₃ , gelöst in Wasser
Salpeter, Ammonium- ..	Ammoniumsalpeter	NH ₄ NO ₃
„ Chile-	Natronsalpeter	NaNO ₃
„ Indischer	Kalisalpeter	KNO ₃
Salzsäure	Chlorwasserstoffgas, in H ₂ O g.	HCl, in Wasser gelöst
Scheidewasser	Salpetersäure	HNO ₃
Schmiermittel	Destillate, Raffinate (säurefrei, paraffinfrei, wenn bei tiefen Temp. verwendet) und Rückstände (für grobe Getriebe) des Erdöls, der Braunkohle, des Bitumenschiefers und der Steinkohle, sowie Rohöle oder Raffinate pflanzlicher und tierischer Herkunft, z. B. Knochenöl (gemischt mit Erdölraffinat für Feinmechanik), Rizinusöl (für schnellstlaufende Maschinen), verwendet auch als Mischöle, elektrisch behandelte Hochviskosöle oder (mit Kalk verseifte Stauffer-) Fette, sowie als (durch Seifen, Sulfosäuren, Schwefelsäureester oder Alkohol emulgierbar gemachte) Emulsionsöle (zugleich Kühl- und Rostschutzmittel für Metallbearbeitung). Graphitschmiermittel: kolloidale Suspensionen natürlichen oder künstlichen Graphits in den genannten Mineralöledestillaten und -raffinaten	
(s. Abschnitt „Schmiermittel“)		
Schwefelsäure	Schwefelsäure, konz.	H ₂ SO ₄
Schweifige Säure	Schwefeldioxyd, gel. in Wasser	H ₂ SO ₃
Schwefelwasserstoff	Schwefelwasserstoff	H ₂ S
Schweißmittel	oxydlösende schmelzflüssige Salze, spez. leichter als die zu schweißenden Metalle, wasserlöslich, für Eisen verschiedene Phosphate, z. B. Dinatriumphosphat	Na ₂ HPO ₄ (NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄
	Ammoniumdihydrophosphat für Leichtmetalle: Chloride und Fluoride der Alkalien und Erdalkalien, z. B. Gemische von LiF, CaF ₂ , MgCl ₂ , CaCl ₂ , fettsaures Natrium, z. B. stearinsäures Na	Na(C ₁₈ H ₃₅ O ₂)
Seife, harte	fettsaures Kalium, z. B. palmitinsäures Kalium	K(C ₁₆ H ₃₁ O ₂)
„ weiche	Natriumkarbonat, krist.	Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O
Soda, krist.	„ kalz.	Na ₂ CO ₃
„ kalz.	Tetrachlorkohlenstoff, Entfettungsmittel	CCl ₄
„Tetra“	löst Fette, Harze, Lacke	CCl ₂ : CCl ₂
Tetrachloräthylen	Tetrahydronaphthalin, löst Lacke	C ₈ H ₄ · (CH ₂ · CH ₂) ₂
Tetralin	Titandioxyd, Anstrichfarbe ..	TiO ₂
Titanweiß	Aluminiumoxyd	Al ₂ O ₃
Tonerde	Aluminiumhydroxyd	Al(OH) ₃
Tonerdehydrat	Aluminiumsulfat	Al ₂ (SO ₄) ₃
Tonerde, schwefelsäure ..	Mineralöl von Naphthencharakter, 400000 V/cm Durchschlagsfestigkeit	
Transformatoröl	Trichloräthylen, Entfettungsm.	CCl ₂ : CHCl
„Tri“	Kupfervitriol, schwefels. Kupfer	CuSO ₄ + 5 H ₂ O
Vitriol, blauer	Eisenvitriol, Ferrosulfat	FeSO ₄ + 7 H ₂ O
„ grüner	Natriumsilikat	Na ₂ Si ₄ O ₉ } wechselnde Zu-
Wasserglas	Kaliumsilikat	K ₂ Si ₄ O ₉ } sammensetzung
Zaponlack	Dinitrozellulose, gel. in Amylacetat	[(OH) ₂ (NO ₂) ₂ C ₁₂ H ₁₈ O ₉ + C ₆ H ₁₁ (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n]
Zellulose	Zinkchlorid	ZnCl ₂
Zinkbutter	Zinkoxyd	ZnO
Zinkweiß	Zinnoxid	SnO ₂
Zinnasche (-stein)	siehe Chlorzinn	
Zinnsalz		

Chemische Elemente.

Ordnungszahl und Name	Zeichen	Atomgewicht	Wichte (s. S. 71 u. 73)	Atomvolumen	Spezifische Wärme	Schmelzpunkt °C	Siedepunkt °C
13 Aluminium.	Al	26,97	2,70	10,0	0,2144 (18°)	658	≈2000
51 Antimon . . .	Sb	121,76	6,69	18,3	0,0503 (17°—100°)	630	1440
18 Argon	Ar	39,944	1,404 flüss.	28,4	.	—183	—186
33 Arsen	As	74,91	5,72 metall.	13,1	0,0830 (21°—68°)	817	630
56 Barium	Ba	137,36	3,6	39,3	.	850	.
4 Beryllium . . .	Be	9,02	1,85	4,9	0,4246 (0°—100°)	1280	.
82 Blei	Pb	207,22	11,34	18,5	0,0307 (2°)	327	1540
5 Bor	B	10,82	1,73	6,2	0,2518 (0°—100°)	2300	.
35 Brom	Br	79,916	3,14 flüssig	25,5	0,1071 (13°—45°)	—7,3	58,7
48 Cadmium . . .	Cd	112,41	8,64	13,0	0,0555 (28°)	321	770
55 Caesium	Cs	132,91	1,87	71,0	0,0522 (0°)	28,5	670
20 Calcium	Ca	40,08	1,545	25,9	0,149 (0°—100°)	800	1240
58 Cer	Ce	140,13	6,77	20,7	0,0448 (0°—100°)	630	.
17 Chlor	Cl	35,457	1,57 flüssig	33,1	.	—101	—34
24 Chrom.	Cr	52,01	7,14	7,3	0,1039 (0°)	1520	≈2200
26 Eisen.	Fe	55,84	7,86	7,1	0,1045 (0°)	1525	2450
68 Erbium	Er	167,64	4,8	35,0	.	.	.
9 Fluor	F	19,000	1,11 flüssig	17,1	.	—223	—187
31 Gallium	Ga	69,72	5,91	11,8	0,079 (12°—23°)	30	.
32 Germanium . . .	Ge	72,60	5,46	13,3	0,0737 (0°—100°)	958	.
79 Gold	Au	197,2	19,25	10,2	0,0312 (18°)	1063	2677
2 Helium	He	4,002	0,146 flüss.	2,7	.	—272	—269
49 Indium	In	114,76	7,25	15,8	0,0569 (0°—100°)	154	.
77 Iridium	Ir	193,1	22,4	8,6	0,0323 (0°—100°)	2350	.
53 Jod	J	126,92	4,942	25,7	0,0524 (2°—47°)	114	184
19 Kalium	K	39,096	0,862	45,4	0,182 (14°)	64	762
27 Kobalt	Co	58,94	8,83	6,7	0,1041 (0°—100°)	1490	≈2375
6 Kohlenstoff	C	12,00	3,51 Diam. 2,3 Graphit	3,4 5,2	0,112 (11°) 0,1604 (11°)	3500	.
36 Krypton	Kr	83,7	2,155 flüss.	38,5	.	—169	—152
29 Kupfer	Cu	63,57	8,933	7,1	0,0928 (50°)	1083	2360
57 Lanthan	La	138,92	6,15	22,6	0,0448 (0°—100°)	810	.
3 Lithium	Li	6,940	0,534	13,0	0,7854 (0°)	180	>1400
12 Magnesium. . .	Mg	24,32	1,75	13,9	0,2475 (17°—100°)	650	1120
25 Mangan	Mn	54,93	7,3	7,8	0,1072 (0°)	≈1250	1900
42 Molybdän . . .	Mo	96,0	10,2	9,4	0,0647 (20°—100°)	2500	≈3560
11 Natrium	Na	22,997	0,971	23,7	0,290 (27°)	98	880
60 Neodym	Nd	144,27	6,96	20,5	.	840	.
10 Neon	Ne	20,183	0,695	.	.	—249	—246
28 Nickel	Ni	58,69	8,8	6,7	0,1084 (15°—100°)	1452	2340
41 Niob	Nb	93,3	12,7	7,4	.	1950	.
76 Osmium	Os	191,5	22,48	8,5	0,0311 (19°—98°)	2500	.
46 Palladium . . .	Pd	106,7	11,5	9,3	0,0586 (18°)	1557	.
15 Phosphor	P	31,02	1,83 weiß	17,0	0,1772 (9°)	44	280
78 Platin	Pt	195,23	21,4	9,1	0,0320 (18°)	1771	3800
59 Praseodym. . . .	Pr	140,92	6,47	21,8	.	940	.
80 Quecksilber	Hg	200,61	13,55 (18°)	14,8	0,0332 (20°)	—39	357
88 Radium	Ra	225,97	.	.	.	700	.
86 Radon.	Rn	222	5,7 flüssig	38,9	.	—71	—62
45 Rhodium	Rh	102,91	12,1	8,5	0,0580 (10°—97°)	1970	.
37 Rubidium. . . .	Rb	85,44	1,52	56,2	0,0792 (20°—35°)	39	696
44 Ruthenium . . .	Ru	101,7	12,26	8,3	0,0611 (0°—100°)	>1995	.
62 Samarium	Sm	150,43	7,7—7,8	19,4	.	.	.
8 Sauerstoff	O	16,000	1,42 fest	11,3	.	—218	—183
16 Schwefel	S	32,06	2,07 rhomb.	15,5	0,1751 (0°—95°)	113	444
34 Selen	Se	78,96	4,46 rot	17,8	0,084 (22°—62°)	220	688
47 Silber	Ag	107,880	10,50	10,3	0,0556 (0°)	960	≈2000
14 Silicium	Si	28,06	2,34 krist.	12,0	0,171 (0°—99°)	≈1414	2400
7 Stickstoff	N	14,008	1,027 fest	13,6	.	—211	—196
38 Strontium	Sr	87,63	2,63	33,3	.	≈800	.
73 Tantal.	Ta	181,4	16,6	10,9	0,033 (14°—100°)	3030	.

Chemische Elemente (Fortsetzung).

Ordnungszahl und Name	Zeichen	Atomgewicht	Wichte (s. S. 71 u. 73)	Atomvolumen	Spezifische Wärme	Schmelzpunkt °C	Siedepunkt °C
52 Tellur	Te	127,61	6,25 krist.	20,4	0,0487 (15°–200°)	452	1390
81 Thallium . . .	Tl	204,39	11,85	17,2	0,0326 (20°–100°)	302	1306
90 Thorium	Th	232,12	11,5	21,1	0,0276 (0°–100°)	1842	.
22 Titan	Ti	47,90	4,5	10,6	0,1125 (0°–100°)	≈1800	.
92 Uran	U	238,14	18,7	12,7	0,0280 (0°–98°)	1690	.
23 Vanadin	V	50,95	5,7	8,9	0,1153 (0°–100°)	1715	.
1 Wasserstoff	H	1,008	0,076 fest	13,2	.	–257	–253
83 Wismut	Bi	209,00	9,80	21,3	0,0303 (18°)	271	≈1500
74 Wolfram	W	184,0	19,1	9,6	0,0338 (20°–100°)	3370	4830
54 Xenon	X	131,3	3,52 flüssig	37,0	.	–140	–107
39 Yttrium	Y	88,92	3,8	23,4	.	.	.
30 Zink	Zn	65,38	7,1	9,2	0,0925 (18°)	419	907
50 Zinn	Sn	118,70	7,28	16,3	0,0496 (0°–20°)	232	2275
40 Zirkonium . .	Zr	91,22	6,4	14,3	0,0660 (0°–100°)	1860	.

Es beziehen sich die Atomgewichte (Deutsche Atomgewichte 1939) auf Sauerstoff = 16, die Wichte (spez. Gew.) auf Wasser bei 4° C = 1, die spezifische Wärme auf Wasser bei 0° C = 1.

Atomnummer (Ordnungszahl). Die Masse des Kerns, das Atomgewicht, ist bestimmt durch die Zahl der Protonen, die den Kern aufbauen, denn die Masse der Elektronen selbst kann vernachlässigt werden. Die Zahl der positiven Ladungen des Kerns ist gegeben durch die Zahl der Protonen abzüglich der Zahl der im Kern eingeschlossenen Elektronen. Um ein elektrisch neutrales Atom zu erhalten, muß daher um den positiven Kern eine der Zahl seiner positiven Ladungen gleiche Zahl von negativen Elektronen (Außen- oder Planetenelektronen) angeordnet sein. Diese Zahl ist gleich der in Spalte 1 angegebenen Ordnungszahl, Atomnummer, des Elementes.

Durchmesser der Wirkungssphäre eines Wasserstoffatoms 10^{-8} cm. Masse eines Wasserstoffatoms $1,649 \cdot 10^{-24}$ g, Masse eines Elektrons $9 \cdot 10^{-28}$ g.

Loschmidtsche Zahl $N = 6,06 \cdot 10^{23}$ = Anzahl der Molekeln in 1 Mol (22,4 l eines Gases).

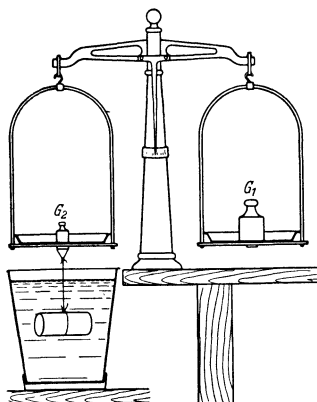
Bestimmung der Wichte (spez. Gew.), s. VDM 35.

Der Probekörper wird zuerst freihängend gewogen – Gewicht = G_1 –, dann in Wasser getaucht und die Wage, die infolge des Auftriebes, den der Probekörper erleidet, ausschlägt, durch Auflegen eines Gewichtes G_2 wieder zum Einspielen gebracht. Die Wichte ist $\gamma = G_1 : G_2$.

Das Probestück darf beliebige Form haben, aber nicht zu klein sein, damit das Gewicht des Aufhängemittels (Roßhaar, Faden, Blumendraht) vernachlässigt werden kann. Sich ansetzende Luftblasen sind zu entfernen.

Beispiel:

Ein Stück Schnellstahl wiegt $G_1 = 456$ g
 Ausgleichsgewicht $G_2 = 55$ g
 Wichte γ = $456 : 55 = 8,3$



Wichte¹⁾.

a) Feste Körper.

Achat	2,5—2,8	Feldspat	2,54
Alabaster	2,3—2,88	Fette	0,92—0,94
Alaun	1,71	Feuerstein	2,59
Aluminium, rein	2,70	Flußspat	3,15
„ gegossen	2,56	Gips	2,32
„ gehämmert	2,75	Glas, Spiegel-	2,46
Aluminiumbronze	7,7	„ Fenster-	2,4—2,6
Antimon	6,69	„ Kristall-	2,90
Arsen	5,72	„ Flint-	3,0—5,9
Asbest	2,1—2,8	„ Flaschen-	2,6
Asbestpappe	1,2	Glimmer	2,6—3,2
Asphalt	1,1—1,5	Glockenmetall	8,8
Barium	3,6	Gold, gediegen	19,25
Basalt	2,9	„ gegossen	19,25
Bergkristall	2,65	„ gezogen	19,36
Bernstein	1,0—1,1	„ geprägt	19,50
Beryllium	1,85	Granit	2,50—3,05
Beton	1,8—2,5	Graphit	1,8—2,35
Bimsstein, natürl.	0,4—0,9	Gummierzugnisse	1,0—2,0
Bittersalz, kristall.	1,7—1,8	Guttapercha	0,97—0,98
Blei, gegossen	11,34	Harz	1,07
„ gewalzt	11,4	Holz lufttrocken frisch	
Bleioxyd (Bleiglätte)	9,3	Ahorn	0,53—0,8 0,83—1,5
Bleisuperoxyd	8,9	Akazie	0,58—0,85 0,75—1,0
Bleiweiß	6,7	Apfelbaum	0,69—0,84 0,95—1,25
Borax	1,75	Birke	0,51—0,77 0,8—1,1
Braunkohle	1,2—1,5	Birnbäum	0,61—0,73 0,95—1,1
Braunstein	5,0	Buchsbaum	0,91—1,16 1,2—1,25
Bronze (je nach Zinngehalt)	etwa 8,7	Ebenholz	1,2
Buntkupferkies $CuFeS_4$	4,9—5,3	Eiche	0,7—1,0 0,93—1,3
Cadmium	8,64	Esche	0,57—0,94 0,7—1,15
„ gegossen	8,54—8,57	Fichte (Rottanne)	0,35—0,6 0,4—1,05
Calcium	1,55	Hickory	0,6—0,9
Calciumcarbid	2,27	Kiefer (Föhre)	0,31—0,76 0,4—1,1
(1 kg ergibt 0,3 m ³ Acetylen)		Kirschbaum	0,75—0,85 1,0—1,2
Cer	6,77.	Lärche	0,47—0,56 0,8
Chlorbarium	3,7	Linde	0,35—0,6 0,6—0,9
Chlorcalcium	2,2	Mahagoni	0,55—1,05
Chlornatrium (Kochsalz)	2,15	Nußbaum	0,6—0,8 0,8—1,0
Chrom	7,14	Pappel	0,4—0,6 0,6—1,05
Deltametall	8,6	Pitchpine	0,83—0,85
Diamant	3,5	Pockholz	1,2—1,4
Eis von 0°	0,9167	Roßkastanie	0,6 0,75—1,15
Eisen, rein	7,86	Rotbuche	0,66—0,83 0,85—1,12
Roheisen, grau	6,6—7,8	Steineiche	0,7—1,05 0,84—1,25
„ weiß	7,0—7,8	Tanne(Weißtanne)	0,37—0,75 0,75—1,2
Stabeisen	7,6—7,8	Teakholz	0,9
Draht	7,6—7,9	Ulme (Rüster)	0,56—0,82 0,8—1,2
Flußeisen	7,85	Weide	0,5—0,6 0,8
Flußstahl	7,86	Weißbuche	0,6—0,82 0,9—1,25
Gußeisen	7,6	Holzkohle, in Stücken	0,36
Gußstahl	7,85	„ gestoßen	1,4—1,5
Schnellstahl bei 5 vH Wolfram etwa	8,10	Indigo	0,77
„ „ 10 „ „ „	8,35	Jod	4,94
„ „ 15 „ „ „	8,60	Jodsilber	5,62
„ „ 20 „ „ „	9,00	Kalium	0,86
Molybdänstahl	etwa 8,10	Kalk, gebrannt	2,3—3,2
Stahlformguß	7,8	Kalkmörtel	1,6—1,8
Tiegelstahl	7,85	Kalksandsteine	1,9
Eisenoxyd (Eisenglanz)	5,25	Kaolin (Porzellanerde)	2,2
Eisenvitriol	1,88	Kautschuk	0,92—0,96
Elfenbein	1,9	Kieselerde	2,66
Erde	1,3—2,0	Knochen	1,7

¹⁾ Spezifische Gewichte, s. S. 71 und 73.

Kobalt	8,83	Salmiak	1,52
Kochsalz	2,15	Salpeter, Natron-	2,24
Kohle, Holz-	0,4	„ Kali-	2,09
„ Stein-	1,2—1,5	Sand, trocken	1,4—1,6
Koks, lose, in Stücken	0,6	„ feucht	bis 2,0
„ zerstoßen	1,25—1,4	Sandstein	2,2—2,5
Kohlenstäbe	1,6	Schamottesteine	1,8—2,2
Kopal	0,5	Schiefer	2,65—2,70
Kork	0,24	Schlacke, Hochofen-	2,5—3,0
Korund (α -Korund)	3,99—4,05	Schmirgel	4,0
Kreide	1,8—2,6	Schnee, lose, trocken	0,125
Kupfer, gegossen	8,63—8,80	„ „ naß	bis 0,95
„ gewalzt	8,82—8,95	Schwefel	1,96—2,07
„ elektrolyt.	8,88—8,95	Schwerspat	4,45
„ -Draht, hart	8,96	Selen, amorph	4,2
„ „ geglüht	8,86	„ metall	4,8
Kupferglanz (Cu_2S)	5,7—5,8	Serpentin	2,49
Kupferkies (CuFeS_2)	4,2	Silber, gegossen	10,42—10,53
Kupfervitriol	2,27	„ gewalzt, gezogen	10,5—10,6
Leder, trocken	0,86	Speckstein	2,7
„ gefettet	1,02	Stahl	s. u. Eisen
Lithium	0,53	Stearin	1,0
Magnesium	1,75	Steinkohle, im Stück	1,2—1,5
Magnet Eisenstein	5,1	„ lose, in Haufen	0,9—1,1
Magnetkies	4,5—4,6	Steinsalz	2,15
Mangan	7,3	Strontium	2,63
Marmor	2,5—2,8	Talk	2,7
Mauerwerk, Bruchstein	2,5	Tantal	16,6
„ Sandstein	2,0	Tellur	6,25
„ Ziegelstein	1,4—1,6	Thallium	11,85
Meerschäum	1,3	Thorium	11,0
Mennige, Blei-	8,6—9,1	Titan	4,5
Messing	8,1—8,6	Ton, trocken	1,8
Molybdän	10,2	„ frisch	2,6
Natrium	0,97	Topas	3,54
Neusilber	8,5	Turmalin	3,15
Nickel, gegossen	8,30	Uran	18,7
„ gehämmert	8,35—8,65	Vanadin	5,7
„ gezogen	8,35—8,90	Vulkanfaser	1,28
Palladium	11,5	Wachs	0,96
Papier	0,7—1,2	Walrat	0,94
Paraffin	0,87	Wismut	9,80
Pech	1,07—1,10	Wolfram	19,1
Phosphor, weiß und gelb	1,83	Zement	0,8—2,0
„ rot	2,19	Ziegelstein	1,4—2,0
„ metallisch	2,34	Ziegelmauerwerk, trocken	1,45
Phosphorbronze	8,8	„ frisch	1,6—1,8
Platin, gegossen	21,15	Zink, gegossen	6,86
„ gewalzt	21,3—21,5	„ gehämmert	7,0—7,2
„ gezogen	21,3—21,6	„ gewalzt	6,95—7,15
Porzellan	2,15—2,36	Zinkvitriol	2,02
Quarz	2,65	Zinn, gegossen	7,2
Retortenkohle	\approx 1,9	„ gewalzt	7,4
Roteisenstein	4,9	Zinnober	8,09
Rubidium	1,52	Zirkonium	6,4
Ruthenium	12,26	Zucker (weißer)	1,61

b) Flüssige Körper.

Aceton	bei 18°	0,79
Ammoniakwasser	„ 18°	0,88
Amylazetat	„ 20°	0,875
Alkohol (Äthyl-)	„ 18°	0,791
Äther (Äthyläther)	„ 18°	0,717
Benzin	„ 15°	0,68—0,72
Benzol	„ 18°	0,881
Brom	„ 0°	3,187
Eiweiß	„ 15°	1,04

Essigsäure	bei 18°	1,053
Glykol	„ 20°	1,12
Glycerin	„ 18°	1,26
Harzöl	„ 15°	0,96
Holzgeist	„ 0°	0,80
Kalilauge, 10 vH KOH	„ 18°	1,091
„ 20 „ „	„ 18°	1,188
„ 30 „ „	„ 18°	1,290
„ 40 „ „	„ 18°	1,400
„ 50 „ „	„ 18°	1,510
„ 55 „ „	„ 18°	1,570
Kienöl	„ 15°	0,855
Kochsalzlösung (wässrige), 5 vH NaCl		1,0345
„ „ „ 15 „ „	„ 18°	1,1090
„ „ „ 20 „ „	„ 18°	1,1485
„ „ „ 25 „ „	„ 18°	1,1897
Kupfervitriol mit 5 vH CuSO ₄		1,051
„ „ 10 „ „	„ 18°	1,107
„ „ 15 „ „	„ 18°	1,167
Leinöl	„ 15°	0,93
Meerwasser	„ 4°	1,026
Methanol	„ 4°	0,8
Milch, Voll-	„ 15°	1,028
„ Halb-	„ 15°	1,030
„ Mager-	„ 15°	1,032
Mineralöle	„ 15°	0,8 — 1,1
Spindelöle	„ 20°	0,89 — 0,90
Maschinenöle	„ 20°	0,90 — 0,91
Zylinderöle	„ 20°	0,92 — 0,94
Naphtha, Petroleum-	„ 20°	0,76
Natronlauge mit 10 vH NaOH	„ 18°	1,1098
„ „ 20 „ „	„ 18°	1,2202
„ „ 30 „ „	„ 18°	1,3290
„ „ 40 „ „	„ 18°	1,4314
„ „ 50 „ „	„ 18°	1,5268
Olivenöl	„ 18°	0,915
Perchloräthylen	„ 15°	1,624
Petroleum	„ 15°	0,79 — 0,82
Quecksilber	„ 0°	13,595
„	„ 15°	13,559
„	„ 20°	13,546
„	„ 25°	13,533
Rapsöl	„ 15°	0,91 — 0,92
Rizinusöl	„ 18°	0,961
Rüböl	„ 15°	0,92
Salpetersäure mit 25 vH HNO ₃	„ 18°	1,151
„ „ 50 „ „	„ 18°	1,314
„ „ 75 „ „	„ 18°	1,418
„ „ 100 „ „	„ 18°	1,52
Salzsäure mit 10 vH HCl	„ 18°	1,0482
„ „ 20 „ „	„ 18°	1,0989
„ „ 30 „ „	„ 18°	1,1508
„ „ 40 „ „	„ 18°	1,199
Schwefelsäure mit 25 vH H ₂ SO ₄	„ 18°	1,1796
„ „ 50 „ „	„ 18°	1,397
„ „ 75 „ „	„ 18°	1,671
„ „ 100 „ „	„ 18°	1,833
„ rauchende	„ 18°	1,835
Specköl	„ 15°	0,92
Teer, Steinkohlen-		1,1 — 1,26
Terpentinöl	„ 18°	0,87
Tetrachlorkohlenstoff	„ 15°	1,63
Trichloräthylen	„ 15°	1,47
Wasser, destilliert	„ 0°	0,99987
„ „	„ 4°	1,00000
„ „	„ 15°	0,99913
„ „	„ 20°	0,99823
„ „	„ 25°	0,99707

c) Litergewicht von Gasen und Dämpfen.

(Bei 0° und 760 mm Q.-S.)

Gas oder Dampf	Formel	Molek.-Gewicht	Litergewicht g	Spez. Gewicht Luft = 1	Spez. Gewicht der Flüssigkeit Wasser = 1
Aldehyd	C_2H_4O	44	1,96	1,53	
Ammoniak	NH_3	17	0,76	0,596	{ 0,675 bei -33° verflüssigt
Äthan	C_2H_6	30	1,34	1,049	
Äther	$C_4H_{10}O$	74	3,30	2,56	0,898
Äthylen	C_2H_4	28	1,25	0,975	
(Äthyl-) Alkohol	C_2H_6O	46	2,05	1,61	0,806
Azeton	C_3H_6O	58	2,58	2,00	0,792
Azetylen	C_2H_2	26	1,16	0,910	
Benzol	C_6H_6	78	3,48	2,69	0,8991
Brom	Br_2	160	6,87	5,39	3,186 bei 0°
Chlor	Cl_2	71	3,16	2,491	{ 1,558 bei -34° verflüssigt
Chlorkohlenoxyd ...	$COCl_2$	99	4,42	3,42	
Chlorwasserstoff	ClH	36,5	1,63	1,268	
Chloroform	$CHCl_3$	119,5	5,30	4,12	1,527
Cyan	$(CN)_2$	52	2,32	1,81	
Cyanwasserstoff	CNH	27	1,22	0,95	
Grubengas	CH_4	16	0,71	0,55	
Helium	He	4	0,18	0,14	
Jod	J_2	254	11,22	8,72	4,93 fest
Kohlenoxyd	CO	28	1,25	0,967	
Kohlensäure	CO_2	44	1,96	1,529	1,73 bis -78° fest
Leuchtgas			0,56	0,43	
Luft			1,29	1,00	
Methan	CH_4	16	0,71	0,555	
Naphthalin	$C_{10}H_8$	128	5,72	4,43	1,145 fest
Pentan	C_5H_{12}	72	3,22	2,49	0,6263
Phosphorwasserstoff .	PH_3	34	1,53	1,18	
Propan	C_3H_8	44	1,96	1,562	
Quecksilber	Hg	200	9,02	6,98	13,595
Sauerstoff	O_2	32	1,43	1,105	
Schwefel	S_2	64	2,85	2,20	1,957 bis 2,07 fest
Schwefeldioxyd	SO_2	64	2,87	2,23	{ 1,46 bei -11° verflüssigt
Schwefelkohlenstoff .	CS_2	76	3,42	2,64	1,292
Schwefelsäure	H_2SO_4	98	2,78	2,15	1,842 wasserfrei
Schwefelwasserstoff ..	SH_2	34	1,54	1,191	
Stickstoff	N_2	28	1,25	0,967	
Stickoxydul	N_2O	44	1,97	1,530	
Stickoxyd	NO	30	1,34	1,037	
Toluol	C_7H_8	92	4,10	3,18	0,882
Wasserstoff	H_2	2	0,09	0,070	
Wasserdampf	H_2O	18	0,80	0,62	1,00 flüssig
Xylol	C_8H_{10}	106	4,72	3,67	0,756

Zwischen Molekulargewicht, Litergewicht und spezifischem Gewicht auf Luft = 1 bezogen bestehen die Beziehungen:

$$\begin{aligned} \text{Molekulargewicht} &= 22,41 \cdot \text{Litergewicht in g;} \\ \text{Litergewicht in g} &= 1,293 \cdot \text{spezifisches Gewicht.} \end{aligned}$$

Gewichte geschichteter Körper.

Durchschnittsgewichte.

1 m³ wiegt kg:

Baustoffe:	Hölzer, baureif:
Beton mit Granitbrocken	Australische Harthölzer
„ „ Kalksteinbrocken	Buche
„ „ Ziegelbrocken	Eiche
„ „ Hochofenschlacke	Fichte
Kalk- und Bruchsteine	Gelbkiefer
Mörtel (Kalk und Sand)	Kiefer
Sand, Lehm, Erde, trocken	Lärche
„ „ „ „ naß	Pechkiefer
Zement, lose	Tanne
„ eingerüttelt	Holz in Scheiten
Ziegelsteine, gewöhnliche	Kohle:
„ Klinker	Kohle, Braun-
	„ Holz-
	„ Preß-
	„ Stein-
	Koks, Gas-
	„ Zechen-
	Verschiedenes:
Gerste	Asche
Kartoffeln	Papier
Hafer	Salz
Malz	Schnee, frisch gefallen
Obst	„ feucht
Roggen	Stroh
Weizen	Torfstreu
Mehl, lose	

Gewichtsberechnung eines Gußstückes aus dem Modellgewicht.

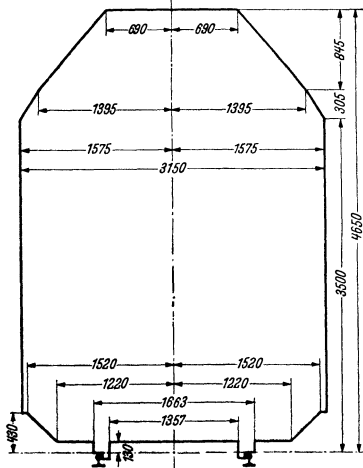
(Nach Karmarsch.)

Das Gewicht eines Gußstückes ist angenähert dem Gewicht des Modelles mal der entsprechenden Zahl in der folgenden Tafel.

Das Modell besteht aus	Der Abguß besteht aus					
	Gußeisen	Messing	Rotguß oder Bronze	Glocken- oder Kanonenmetall	Zink	Aluminium
Fichten- oder Tannenholz	14,0	15,8	16,6	17,1	13,5	5,1
Eichenholz	9,0	10,1	10,4	10,9	8,6	3,3
Buchenholz	9,7	10,9	11,4	11,9	9,4	3,6
Lindenholz	13,4	15,1	15,6	16,3	12,9	4,9
Birnbauholz	10,2	11,5	11,9	12,4	9,8	3,7
Birkenholz	10,6	11,9	12,3	12,9	10,2	3,9
Erlenholz	12,8	14,3	14,8	15,5	12,2	4,6
Mahagoniholz	11,7	13,2	13,6	14,2	11,2	4,3
Messing	0,84	0,95	0,99	1,0	0,81	0,31
Zink	1,00	1,13	1,17	1,22	0,96	0,36
Zinn (mit 1/3—1/4 Blei)	0,89	1,00	1,03	1,12	0,85	0,32
Blei	0,64	0,72	0,74	0,78	0,61	0,23
Gußeisen	0,97	1,09	1,13	1,18	0,93	0,35

Beispiel:

Wiegt das Modell aus Eichenholz 1 kg, so wiegt daß Gußstück aus Gußeisen 1 × 9,0 = 9 kg.



Lademaß I und Wagenbegrenzungslinie des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen.

Maße in mm.

Die Breitenmaße der Ladungen sind wegen des Befahrens von Gleisbögen nach den Bestimmungen des Vereins-Wagenübereinkommens einzuschränken (s. Achsdruckverzeichnis des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen 1939, S. 342. Berlin: Verlag Julius Springer).

Eine Ladung von 10000 kg enthält m³:






Braunkohlen, lufttrocken	Holzkohlen von hartem	Preßkohlen	9,0—10,0
und in Stücken 12,8—15,4	Holz	Rüben	15,5—17,5
Buchenholz in Scheiten	Kalk, gebrannt	Schlacken und Koks-	
Eichenholz „ „	Kalk und Bruchsteine	asche	16,7
Fichtenholz „ „	Kartoffeln	Schwemmsteine (rheini-	
Tannenholz „ „	Kohlen, Zwickauer	sche)	11,8
Flußkies, trocken	„ Oberschles.	Teer, Steinkohlen-	8,3
„ naß	„ Niederschles.	Ton, trocken	5,6
Flußsand, trocken	„ Saar	„ naß	5,0
„ naß	„ Ruhr	Torf, lufttrocken	24—31
Formsand, aufgeschütt.	Koks, Gas-	„ feucht	15—18
„ gestampft	Zechen	Ziegelsteine, gewöhn-	
Holzkohlen von weichem	Lehm, frisch gegraben	liche	6,5—7,5
Holz	Mörtel (Kalk u. Sand)	Ziegelsteine, Klinker	5,6—6,3
25,0	25,0		
24,0	7,7—8,4		
31,5	5,0		
29,5	14,0		
3,7—4,3	12,5—13,0		
3,5—4,0	12,5—13,2		
7,0—7,5	11,5—12,2		
5,0—5,7	12,5—13,9		
8,3	11,6—12,5		
6,1	21—28		
67	19—26		
	6,0		
	5,6—5,9		

Angaben über Güterwagen und Ladungen.

Bezeichnung	Kurzzeichen	Ladegewicht t	Lichte Kastenlänge m	Lichte Kastenbreite m	Kastenhöhe in der Mitte m	Laderrauminhalt m ³
Bedeckter Güterwagen	G	15	7,92	2,75	2,20	48,0
Kokswagen	Om	15	7,92	2,834	1,6	35,0
Offener Güterwagen	O	15	6,72	2,834	1,10	20,9
Eiserner Kohlenwagen	O	15	5,3	2,89	1,45	22,2
Eiserner Kohlenwagen	O	20	6,00	2,85	1,5	25,6
Kalkdeckelwagen	K	15	5,29	2,89	1,78	—
Plattformwagen	R	15	10,12	2,67	0,40	—
Plattformwagen	SS	30	12,0	2,9	—	—
Langholzwagen	H	10	4,38	2,48	—	—

Gewichtstafel für Quadrat-, Sechskant- und Rundstahl und Durchmesser der umschriebenen Kreise.






1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg.

Dicke <i>d</i> mm	Gewicht in kg/m 	Durchm. des umschriebenen Kreises in mm 	Gewicht in kg/m 	Durchm. des umschriebenen Kreises in mm 	Gewicht in kg/m 	Dicke <i>d</i> mm
5	0,196	7,071	0,170	5,78	0,154	5
6	0,283	8,48	0,245	6,93	0,222	6
7	0,385	9,90	0,333	8,09	0,302	7
8	0,502	11,31	0,435	9,24	0,395	8
9	0,636	12,73	0,551	10,40	0,499	9
10	0,785	14,14	0,680	11,55	0,617	10
11	0,950	15,56	0,823	12,71	0,746	11
12	1,130	16,97	0,979	13,86	0,888	12
13	1,327	18,38	1,149	15,02	1,042	13
14	1,539	19,80	1,332	16,17	1,208	14
15	1,766	21,21	1,530	17,32	1,387	15
16	2,010	22,63	1,740	18,48	1,578	16
17	2,269	24,04	1,965	19,64	1,782	17
18	2,543	25,46	2,203	20,79	1,998	18
19	2,834	26,87	2,454	21,95	2,226	19
20	3,140	28,28	2,719	23,10	2,466	20
21	3,462	29,70	2,998	24,26	2,719	21
22	3,799	31,11	3,290	25,41	2,984	22
23	4,153	32,53	3,596	26,57	3,261	23
24	4,522	33,94	3,916	27,72	3,551	24
25	4,906	35,36	4,249	28,88	3,853	25
26	5,307	36,77	4,596	30,09	4,168	26
27	5,723	38,18	4,956	31,19	4,495	27
28	6,154	39,60	5,330	32,34	4,834	28
29	6,602	41,01	5,717	33,50	5,185	29
30	7,065	42,43	6,118	34,65	5,549	30
32	8,038	45,25	6,961	36,96	6,313	32
34	9,075	48,08	7,859	39,27	7,127	34
35	9,616	49,50	8,328	40,42	7,550	35
36	10,174	50,91	8,811	41,58	7,990	36
38	11,335	53,74	9,817	43,89	8,903	38
40	12,560	56,57	10,877	46,20	9,865	40
42	13,847	59,40	11,992	48,51	10,876	42
44	15,198	62,22	13,162	50,82	11,936	44
45	15,896	63,64	13,766	51,96	12,485	45
46	16,611	65,05	14,385	53,13	13,046	46
48	18,086	67,88	15,663	55,44	14,205	48
50	19,625	70,71	16,995	57,75	15,413	50
52	21,226	73,54	18,383	60,06	16,671	52
54	22,891	76,37	19,824	62,37	17,978	54
55	23,746	77,78	20,560	63,52	18,650	55
56	24,618	79,20	21,320	64,68	19,335	56
58	26,407	82,02	22,870	66,99	20,740	58

Entsprechende Werte für Zwischenmaße siehe Anm. Seite 96.

Gewichtstafel für Quadrat-, Sechskant- und Rundstahl und Durchmesser der umschriebenen Kreise.






1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg.

Dicke <i>d</i> mm	Gewicht in kg/m	Durchm. des umschriebenen Kreises in mm	Gewicht in kg/m	Durchm. des umschriebenen Kreises in mm	Gewicht in kg/m	Dicke <i>d</i> mm
						
60	28,260	84,85	24,474	69,30	22,195	60
62	30,175	87,68	26,133	71,61	23,700	62
64	32,154	91,51	27,846	73,92	25,253	64
65	33,160	91,92	28,720	75,07	26,050	65
66	34,195	94,34	29,614	76,23	26,856	66
68	36,298	97,17	31,436	78,54	28,509	68
70	38,465	99,00	33,312	80,85	30,210	70
72	40,694	101,82	35,243	83,16	31,961	72
74	42,987	104,65	37,228	85,47	33,762	74
75	44,130	106,06	38,240	86,62	34,680	75
76	45,342	107,48	39,267	87,78	35,611	76
78	47,759	110,31	41,361	90,09	37,510	78
80	50,240	113,14	43,509	92,40	39,458	80
85	56,716	120,21	49,118	98,18	44,545	85
90	63,585	127,28	55,067	103,95	49,940	90
95	70,846	134,35	61,355	109,73	55,643	95
100	78,500	141,42	67,983	115,50	61,654	100
105	86,546	148,50	74,951	121,28	67,973	105
110	94,985	155,56	82,260	127,05	74,601	110
115	103,816	162,63	89,908	132,83	81,537	115
120	113,040	169,70	97,896	138,60	88,781	120
125	122,656	176,78	106,224	144,38	96,334	125
130	132,665	183,85	114,891	150,15	104,195	130
135	143,066	190,92	123,899	155,93	112,364	135
140	153,860	197,99	133,247	161,70	120,841	140
145	165,046	205,06	142,934	167,48	129,627	145
150	176,625	212,13	152,962	173,25	138,721	150
155	188,596	219,20	163,329	179,03	148,123	155
160	200,960	226,27	174,036	184,80	157,834	160
165	213,716	233,34	185,084	190,58	167,852	165
170	226,865	240,41	196,471	196,35	178,179	170
175	240,406	247,49	208,198	202,13	188,815	175
180	254,340	254,56	220,265	207,90	199,758	180
185	268,666	261,63	232,638	213,68	211,010	185
190	283,385	268,70	245,419	219,45	222,570	190
195	298,496	275,77	258,506	225,23	234,438	195
200	314,000	282,84	271,932	231,00	246,615	200
205	329,896	289,91	285,927	236,78	259,100	205
210	346,185	296,98	299,805	242,55	271,893	210
215	362,866	304,05	314,251	248,33	284,994	215
220	379,940	311,12	329,037	254,10	298,404	220
225	397,406	318,20	344,164	259,88	312,122	225

Entsprechende Werte für Zwischenmaße siehe Anm. Seite 96.

Gewichtstafel für Quadrat-, Sechskant- und Rundeisen und Durchmesser der umschriebenen Kreise.

1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg.

Dicke <i>d</i> mm	Gewicht in kg/m	Durchm. des umschriebenen Kreises in mm	Gewicht in kg/m	Durchm. des umschriebenen Kreises in mm	Gewicht in kg/m	Dicke <i>d</i> mm
						
230	415,265	325,27	359,631	265,65	326,148	230
235	433,516	332,34	375,437	271,43	340,483	235
240	452,160	339,41	391,583	277,20	355,126	240
245	471,196	346,48	408,068	282,98	370,077	245
250	490,625	353,56	424,894	288,75	385,336	250
255	510,446	360,62	442,060	294,53	400,904	255
260	530,660	367,70	459,565	300,30	416,779	260
265	551,266	374,76	477,411	306,08	432,963	265
270	572,265	381,83	495,597	311,85	449,456	270
275	593,656	388,91	514,022	317,63	466,257	275
280	615,440	396,98	532,988	323,40	483,365	280
285	637,616	403,05	552,193	329,18	500,783	285
290	660,185	410,12	571,738	334,95	518,508	290
295	683,146	417,19	591,623	340,79	536,542	295
300	706,500	424,26	611,848	346,50	554,884	300
305	730,246	431,33	632,413	352,28	573,534	305
310	754,385	438,40	653,318	358,05	592,493	310
315	778,916	445,47	674,563	363,83	611,759	315
320	803,840	452,54	696,148	369,60	631,334	320
325	829,156	459,62	718,071	375,38	651,218	325
330	854,865	466,69	740,336	381,15	671,409	330
335	880,966	473,76	762,940	386,93	691,909	335
340	907,460	480,83	785,885	392,70	712,717	340
345	934,346	487,90	809,169	398,48	733,834	345
350	961,625	494,98	832,793	404,25	755,258	350

Die angegebenen Dicken des Quadrat- und Sechskantstahles entsprechen dem Durchmesser des eingeschriebenen Kreises.

Das Gewicht von 1 m Rundstahl in kg = $\frac{d^2 \pi}{4} \cdot \frac{\text{spez. Gewicht}}{1000}$ (*d* in mm). Die Werte $\frac{d^2 \pi}{4}$ sind in der letzten Spalte der Tafeln Seite 2 bis 21 angegeben.

Das Gewicht von Sechskantstahl beträgt das 2,5981 : $\pi = 0,827$ fache (oder angenähert das $\frac{5}{6}$ fache) des Gewichtes von Rundstahl, welcher den Durchmesser des umschriebenen Kreises des Sechskantstahles hat.

Vorstehende Gewichtsangaben sind zu multiplizieren für

Schweißstahl mit 0,994	Bronze mit 1,096
Gußstahl „ 0,924	Zink „ 0,917
Kupfer „ 1,134	Blei „ 1,448
Messing „ 1,083	

Ist der Durchmesser 10mal kleiner als in der Tafel angegeben, so ist das Gewicht 100mal kleiner.

Beispiel: 35-mm-Vierkantstahl wiegt 9,616 kg für 1 m;
3,5- „ „ „ 0,09616 „ „ 1 „

Auf diese Weise findet man die Zahlenwerte für die in den Gewichtstafeln nicht angegebenen kleineren Durchmesser und für die Zwischenmaße, z. B. für 8,5 mm.

Gewicht in kg von 1 m Schnellstahl.

Wolframgehalt vH	5	10	15	18
Spezifisches Gewicht	8,10	8,35	8,60	8,90

a) Quadratstahl.

Die Gewichtsberechnung nicht angegebener Abmessungen erfolgt nach Anm. auf S. 96.

Dicke mm		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Wolfram- gehalt vH	5	0,202	0,292	0,397	0,518	0,656	0,810	0,980	1,166	1,369	1,588	1,822	2,074
	10	0,209	0,301	0,409	0,534	0,676	0,835	1,010	1,202	1,411	1,637	1,879	2,138
	15	0,215	0,310	0,421	0,550	0,697	0,860	1,041	1,238	1,453	1,686	1,935	2,202
	18	0,222	0,320	0,436	0,570	0,721	0,890	1,077	1,282	1,504	1,744	2,002	2,278

Dicke mm		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	30
Wolfram- gehalt vH	5	2,341	2,624	2,924	3,240	3,572	3,920	4,285	4,666	5,062	5,476	6,350	7,290
	10	2,413	2,705	3,014	3,340	3,682	4,041	4,417	4,810	5,219	5,645	6,546	7,515
	15	2,485	2,786	3,105	3,440	3,793	4,162	4,549	4,954	5,375	5,814	6,742	7,740
	18	2,572	2,884	3,213	3,560	3,925	4,308	4,708	5,126	5,562	6,016	6,978	8,010

Dicke mm		32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Wolfram- gehalt vH	5	8,294	9,364	10,498	11,696	12,960	14,288	15,682	17,140	18,662	20,250
	10	8,550	9,653	10,822	12,057	13,360	14,729	16,166	17,669	19,238	20,875
	15	8,806	9,942	11,156	12,448	13,760	15,170	16,650	18,198	19,814	21,500
	18	9,114	10,288	11,534	12,852	14,240	15,700	17,230	18,832	20,506	22,000

b) Rundstahl.

Die Gewichtsberechnung nicht angegebener Abmessungen erfolgt nach Anm. auf S. 96.

Durchm. mm		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Wolfram- gehalt vH	5	0,159	0,229	0,312	0,407	0,515	0,636	0,770	0,916	1,075	1,247	1,431	1,629
	10	0,164	0,236	0,321	0,420	0,531	0,656	0,794	0,944	1,108	1,285	1,475	1,679
	15	0,169	0,243	0,331	0,432	0,547	0,675	0,817	0,973	1,141	1,324	1,520	1,729
	18	0,175	0,252	0,342	0,447	0,566	0,699	0,846	1,007	1,181	1,370	1,573	1,789

Durchm. mm		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Wolfram- gehalt vH	5	1,838	2,061	2,297	2,545	2,806	3,079	3,365	3,664	3,976	4,301	4,638	4,988
	10	1,895	2,125	2,367	2,623	2,892	3,174	3,469	3,777	4,099	4,433	4,781	5,141
	15	1,952	2,188	2,438	2,702	2,979	3,269	3,573	3,890	4,221	4,566	4,924	5,295
	18	2,020	2,265	2,523	2,796	3,083	3,383	3,698	4,026	4,369	4,725	5,096	5,480

Durchm. mm		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Wolfram- gehalt vH	5	5,350	5,726	6,114	6,514	6,928	7,354	7,793	8,245	8,709	9,186	9,676
	10	5,515	5,902	6,302	6,715	7,142	7,581	8,034	8,499	8,978	9,470	9,975
	15	5,680	6,079	6,491	6,916	7,356	7,808	8,274	8,754	9,247	9,753	10,273
	18	5,879	6,291	6,717	7,158	7,612	8,080	8,563	9,059	9,569	10,094	10,632

Durchm. mm		40	42	44	45	46	48	50	52	54	55
Wolfram- gehalt vH	5	10,177	11,222	12,316	12,882	13,461	14,657	15,904	17,202	18,551	19,244
	10	10,491	11,568	12,696	13,280	13,877	15,110	16,395	17,733	19,123	19,838
	15	10,805	11,915	13,077	13,678	14,292	15,562	16,886	18,264	19,696	20,432
	18	11,182	12,330	13,533	14,155	14,791	16,105	17,475	18,901	20,383	21,145

Durchm. mm		56	58	60	62	64	65	66	68	70	72
Wolfram- gehalt vH	5	19,506	21,401	22,902	24,454	26,058	26,878	27,712	29,417	31,172	32,979
	10	20,566	22,061	23,609	25,209	26,862	27,708	28,567	30,325	32,135	33,997
	15	21,182	22,722	24,316	25,964	27,666	28,537	29,422	31,232	33,097	35,015
	18	21,921	23,515	25,164	26,870	28,631	29,533	30,449	32,322	34,251	36,236

Durchm. mm		74	75	76	78	80	85	90	95	100
Wolfram- gehalt vH	5	34,837	35,785	36,745	38,705	40,715	45,963	51,530	57,415	63,617
	10	35,912	36,889	37,879	39,899	41,972	47,382	53,120	59,187	65,581
	15	36,987	37,993	39,014	41,094	43,228	48,801	54,711	60,959	67,544
	18	38,277	39,319	40,374	42,527	44,736	50,503	56,619	63,085	69,901

Gewicht in kg von 1 m Schnellstahl.

c) Flachstahl.

Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 6 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,146	0,243	0,292	0,389	0,486	0,632	0,729	0,972	1,215	1,458
		10	0,150	0,251	0,301	0,401	0,501	0,651	0,752	1,002	1,253	1,503
		15	0,155	0,258	0,310	0,413	0,516	0,671	0,774	1,032	1,290	1,548
		18	0,160	0,267	0,320	0,427	0,534	0,694	0,801	1,068	1,335	1,602
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 8 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,194	0,324	0,389	0,518	0,648	0,842	0,972	1,296	1,620	1,944
		10	0,200	0,334	0,401	0,534	0,668	0,868	1,002	1,336	1,670	2,004
		15	0,206	0,344	0,413	0,550	0,688	0,894	1,032	1,376	1,720	2,064
		18	0,214	0,356	0,427	0,570	0,712	0,926	1,068	1,424	1,780	2,136
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 10 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,243	0,405	0,486	0,648	0,810	1,053	1,215	1,620	2,025	2,430
		10	0,251	0,418	0,501	0,668	0,835	1,086	1,253	1,670	2,088	2,505
		15	0,258	0,430	0,516	0,688	0,860	1,118	1,290	1,720	2,150	2,580
		18	0,267	0,445	0,534	0,712	0,890	1,157	1,335	1,780	2,225	2,670
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 12 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,292	0,486	0,583	0,778	0,972	1,264	1,458	1,944	2,430	2,916
		10	0,301	0,501	0,601	0,802	1,002	1,303	1,503	2,044	2,505	3,006
		15	0,310	0,516	0,619	0,826	1,032	1,342	1,548	2,064	2,580	3,096
		18	0,320	0,534	0,641	0,854	1,068	1,388	1,602	2,136	2,670	3,204
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 16 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,389	0,648	0,778	1,037	1,296	1,685	1,944	2,592	3,240	3,888
		10	0,401	0,668	0,802	1,069	1,336	1,734	2,004	2,672	3,340	4,008
		15	0,413	0,688	0,826	1,101	1,376	1,789	2,064	2,752	3,440	4,128
		18	0,427	0,712	0,854	1,139	1,424	1,851	2,136	2,848	3,560	4,272
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 20 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,486	0,810	0,972	1,296	1,620	2,106	2,430	3,240	4,050	4,860
		10	0,501	0,835	1,002	1,336	1,670	2,171	2,505	3,340	4,175	5,010
		15	0,516	0,860	1,032	1,376	1,720	2,236	2,580	3,440	4,300	5,160
		18	0,534	0,890	1,068	1,424	1,780	2,314	2,670	3,560	4,450	5,340
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 23 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,559	0,932	1,118	1,490	1,863	2,422	2,795	3,726	4,658	5,589
		10	0,576	0,960	1,152	1,536	1,921	2,497	2,881	3,841	4,801	5,761
		15	0,593	0,989	1,187	1,582	1,978	2,571	2,967	3,956	4,945	5,934
		18	0,614	1,024	1,228	1,638	2,047	2,661	3,071	4,094	5,112	6,141
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 25 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,608	1,013	1,215	1,620	2,025	2,633	3,038	4,050	5,063	6,075
		10	0,626	1,044	1,253	1,670	2,088	2,714	3,131	4,175	5,219	6,263
		15	0,645	1,075	1,290	1,720	2,150	2,795	3,225	4,300	5,375	6,450
		18	0,668	1,113	1,335	1,780	2,225	2,893	3,338	4,450	5,563	6,675
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 30 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,729	1,215	1,458	1,944	2,430	3,159	3,645	4,860	6,075	7,290
		10	0,752	1,253	1,503	2,004	2,505	3,257	3,758	5,010	6,263	7,515
		15	0,774	1,290	1,548	2,064	2,580	3,354	3,870	5,160	6,450	7,740
		18	0,801	1,335	1,602	2,136	2,670	3,471	4,005	5,340	6,675	8,010
Dicke..... mm		3	5	6	8	10	13	15	20	25	30	
Breite 40 mm	Wolfram- gehalt vH	5	0,972	1,620	1,944	2,592	3,240	4,212	4,860	6,480	8,100	9,720
		10	1,002	1,670	2,004	2,672	3,340	4,342	5,010	6,680	8,350	10,020
		15	1,032	1,720	2,064	2,752	3,440	4,472	5,160	6,880	8,600	10,320
		18	1,068	1,780	2,136	2,848	3,560	4,628	5,340	7,120	8,900	10,680

Gewicht in kg von 1 m Flachstahl.

1 m³ Stabstahl (Flachstahl) wiegt 7850 kg

(s. auch Anm. auf S. 96).

Dicke mm	Breite in mm								Dicke mm	
	10	12	14	15	16	18	20	22		24
1	0,079	0,094	0,110	0,118	0,126	0,141	0,157	0,173	0,188	1
2	0,157	0,188	0,220	0,236	0,251	0,283	0,314	0,345	0,377	2
3	0,236	0,283	0,330	0,353	0,377	0,424	0,471	0,518	0,565	3
4	0,314	0,377	0,440	0,471	0,502	0,565	0,628	0,691	0,754	4
5	0,393	0,471	0,550	0,589	0,628	0,707	0,785	0,864	0,942	5
6	0,471	0,565	0,659	0,707	0,754	0,848	0,942	1,036	1,130	6
7	0,550	0,659	0,769	0,824	0,879	0,989	1,099	1,209	1,319	7
8	0,628	0,754	0,879	0,942	1,005	1,130	1,256	1,382	1,507	8
9	0,707	0,848	0,989	1,060	1,130	1,272	1,413	1,554	1,696	9
10	0,785	0,942	1,099	1,178	1,256	1,413	1,570	1,727	1,884	10
11	0,864	1,036	1,209	1,295	1,382	1,554	1,727	1,900	2,072	11
12	0,942	1,130	1,319	1,413	1,507	1,696	1,884	2,072	2,261	12
13	1,021	1,225	1,429	1,531	1,633	1,837	2,041	2,245	2,440	13
14	1,099	1,319	1,539	1,649	1,758	1,978	2,198	2,418	2,638	14
15	1,178	1,413	1,649	1,766	1,884	2,120	2,355	2,591	2,826	15
16	1,256	1,507	1,758	1,884	2,010	2,261	2,512	2,763	3,014	16
17	1,335	1,601	1,868	2,002	2,135	2,402	2,669	2,936	3,203	17
18	1,413	1,696	1,978	2,120	2,261	2,543	2,826	3,109	3,391	18
19	1,492	1,790	2,088	2,237	2,386	2,685	2,983	3,281	3,580	19
20	1,570	1,884	2,198	2,355	2,512	2,826	3,140	3,454	3,768	20
21	1,649	1,978	2,308	2,473	2,638	2,967	3,297	3,627	3,956	21
22	1,727	2,072	2,418	2,591	2,763	3,109	3,454	3,799	4,145	22
23	1,806	2,167	2,528	2,708	2,889	3,250	3,611	3,972	4,333	23
24	1,884	2,261	2,638	2,826	3,014	3,391	3,768	4,145	4,522	24
25	1,963	2,355	2,748	2,944	3,140	3,533	3,925	4,318	4,710	25
26	2,041	2,449	2,857	3,062	3,266	3,674	4,082	4,490	4,898	26
27	2,120	2,543	2,967	3,179	3,391	3,815	4,239	4,663	5,087	27
28	2,198	2,638	3,077	3,297	3,517	3,956	4,396	4,836	5,275	28
29	2,277	2,732	3,187	3,415	3,642	4,098	4,553	5,008	5,464	29
30	2,355	2,826	3,297	3,533	3,768	4,239	4,710	5,181	5,652	30
31	2,434	2,920	3,407	3,650	3,894	4,380	4,867	5,354	5,840	31
32	2,512	3,014	3,517	3,768	4,019	4,522	5,024	5,526	6,029	32
33	2,591	3,109	3,627	3,886	4,145	4,663	5,181	5,699	6,217	33
34	2,669	3,203	3,737	4,004	4,270	4,804	5,338	5,872	6,406	34
35	2,748	3,297	3,847	4,121	4,396	4,946	5,495	6,045	6,594	35
36	2,826	3,391	3,956	4,239	4,522	5,087	5,652	6,217	6,782	36
37	2,905	3,485	4,066	4,357	4,647	5,228	5,809	6,390	6,971	37
38	2,983	3,580	4,176	4,475	4,773	5,369	5,966	6,563	7,159	38
39	3,062	3,674	4,286	4,592	4,898	5,511	6,123	6,735	7,348	39
40	3,140	3,768	4,396	4,710	5,024	5,652	6,280	6,908	7,536	40
41	3,219	3,862	4,506	4,828	5,150	5,793	6,437	7,081	7,724	41
42	3,297	3,956	4,616	4,946	5,295	5,935	6,594	7,253	7,913	42
43	3,376	4,059	4,726	5,063	5,401	6,076	6,751	7,426	8,101	43
44	3,454	4,145	4,836	5,181	5,526	6,217	6,908	7,599	8,290	44
45	3,533	4,239	4,946	5,299	5,652	6,359	7,065	7,772	8,478	45

Gewicht in kg von 1 m Flachstahl.

1 m³ Stabstahl (Flachstahl) wiegt 7850 kg

(s. auch Anm. auf S. 96).

Dicke mm	Breite in mm									Dicke mm
	25	26	28	30	32	34	35	36	38	
1	0,196	0,204	0,220	0,235	0,251	0,267	0,275	0,283	0,298	1
2	0,393	0,408	0,440	0,471	0,502	0,534	0,550	0,565	0,597	2
3	0,589	0,612	0,659	0,705	0,754	0,801	0,824	0,848	0,895	3
4	0,785	0,816	0,879	0,942	1,005	1,068	1,099	1,130	1,193	4
5	0,981	1,020	1,099	1,177	1,256	1,334	1,374	1,413	1,492	5
6	1,178	1,225	1,319	1,413	1,507	1,601	1,649	1,696	1,790	6
7	1,374	1,429	1,539	1,648	1,758	1,868	1,923	1,978	2,088	7
8	1,570	1,633	1,758	1,884	2,010	2,135	2,198	2,261	2,386	8
9	1,766	1,837	1,978	2,119	2,261	2,402	2,473	2,543	2,685	9
10	1,963	2,041	2,198	2,355	2,512	2,669	2,748	2,826	2,983	10
11	2,159	2,245	2,418	2,590	2,763	2,936	3,022	3,109	3,281	11
12	2,355	2,449	2,638	2,826	3,014	3,203	3,297	3,391	3,580	12
13	2,551	2,653	2,857	3,061	3,266	3,470	3,572	3,674	3,878	13
14	2,748	2,857	3,077	3,297	3,517	3,737	3,847	3,956	4,176	14
15	2,944	3,061	3,297	3,532	3,768	4,003	4,121	4,239	4,474	15
16	3,140	3,266	3,517	3,768	4,019	4,270	4,396	4,522	4,773	16
17	3,336	3,470	3,737	4,003	4,270	4,537	4,671	4,804	5,071	17
18	3,533	3,674	3,956	4,239	4,522	4,804	4,946	5,087	5,369	18
19	3,729	3,878	4,176	4,474	4,773	5,071	5,220	5,369	5,668	19
20	3,925	4,082	4,396	4,710	5,024	5,338	5,495	5,652	5,966	20
21	4,121	4,286	4,616	4,946	5,275	5,605	5,770	5,935	6,264	21
22	4,318	4,490	4,836	5,181	5,526	5,872	6,045	6,217	6,563	22
23	4,518	4,694	5,055	5,417	5,778	6,139	6,319	6,500	6,861	23
24	4,710	4,898	5,275	5,652	6,029	6,406	6,594	6,782	7,159	24
25	4,905	5,103	5,495	5,888	6,280	6,673	6,869	7,065	7,458	25
26	5,103	5,307	5,715	6,123	6,531	6,939	7,144	7,348	7,756	26
27	5,299	5,511	5,935	6,359	6,782	7,206	7,418	7,630	8,054	27
28	5,495	5,715	6,154	6,594	7,034	7,473	7,693	7,913	8,352	28
29	5,691	5,919	6,374	6,830	7,285	7,740	7,968	8,195	8,651	29
30	5,888	6,123	6,594	7,065	7,536	8,007	8,243	8,478	8,949	30
31	6,084	6,327	6,814	7,301	7,787	8,274	8,517	8,761	9,247	31
32	6,280	6,531	7,034	7,536	8,038	8,541	8,792	9,043	9,546	32
33	6,476	6,735	7,253	7,772	8,290	8,808	9,067	9,326	9,844	33
34	6,673	6,939	7,473	8,007	8,541	9,075	9,342	9,608	10,14	34
35	6,869	7,144	7,693	8,243	8,792	9,342	9,616	9,891	10,44	35
36	7,065	7,348	7,913	8,478	9,043	9,608	9,891	10,17	10,74	36
37	7,261	7,552	8,133	8,714	9,294	9,875	10,17	10,46	11,04	37
38	7,458	7,756	8,352	8,949	9,546	10,14	10,44	10,74	11,34	38
39	7,654	7,950	8,572	9,185	9,797	10,41	10,72	11,02	11,63	39
40	7,850	8,164	8,792	9,420	10,05	10,68	10,99	11,30	11,93	40
41	8,046	8,368	9,012	9,656	10,30	10,94	11,27	11,59	12,23	41
42	8,243	8,572	9,232	9,891	10,55	11,21	11,54	11,87	12,53	42
43	8,439	8,776	9,451	10,13	10,80	11,48	11,81	12,15	12,83	43
44	8,635	8,980	9,671	10,36	11,05	11,74	12,09	12,43	13,13	44
45	8,831	9,185	9,891	10,60	11,30	12,01	12,36	12,72	13,42	45

Gewicht in kg von 1 m Flachstahl.

1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg

(s. auch Anm. auf S. 96).

Dicke mm	Breite in mm									Dicke mm
	40	42	44	45	46	48	50	52	54	
1	0,314	0,330	0,345	0,353	0,361	0,377	0,392	0,408	0,424	1
2	0,628	0,659	0,691	0,707	0,722	0,754	0,785	0,816	0,848	2
3	0,942	0,989	1,036	1,060	1,083	1,130	1,177	1,225	1,272	3
4	1,256	1,319	1,382	1,413	1,444	1,507	1,570	1,633	1,696	4
5	1,570	1,649	1,727	1,766	1,805	1,884	1,962	2,041	2,119	5
6	1,884	1,978	2,072	2,120	2,167	2,261	2,355	2,449	2,543	6
7	2,198	2,308	2,418	2,473	2,528	2,638	2,747	2,857	2,967	7
8	2,512	2,638	2,763	2,826	2,889	3,014	3,140	3,266	3,391	8
9	2,826	2,967	3,109	3,179	3,250	3,391	3,532	3,674	3,815	9
10	3,140	3,297	3,454	3,533	3,610	3,768	3,925	4,082	4,239	10
11	3,454	3,627	3,799	3,886	3,972	4,145	4,317	4,490	4,663	11
12	3,768	3,956	4,145	4,239	4,333	4,522	4,710	4,898	5,087	12
13	4,082	4,286	4,490	4,592	4,694	4,898	5,102	5,307	5,511	13
14	4,396	4,616	4,836	4,946	5,055	5,275	5,495	5,715	5,935	14
15	4,710	4,945	5,181	5,299	5,416	5,652	5,887	6,123	6,358	15
16	5,024	5,275	5,526	5,652	5,778	6,029	6,280	6,531	6,782	16
17	5,338	5,605	5,872	6,005	6,139	6,406	6,672	6,939	7,206	17
18	5,652	5,935	6,217	6,359	6,500	6,782	7,065	7,348	7,630	18
19	5,966	6,264	6,563	6,712	6,861	7,159	7,457	7,756	8,054	19
20	6,280	6,594	6,908	7,065	7,222	7,536	7,850	8,164	8,478	20
21	6,594	6,924	7,253	7,418	7,583	7,913	8,243	8,572	8,902	21
22	6,908	7,253	7,599	7,772	7,944	8,290	8,635	8,980	9,326	22
23	7,222	7,583	7,944	8,125	8,305	8,666	9,028	9,389	9,750	23
24	7,536	7,913	8,290	8,478	8,666	9,043	9,420	9,797	10,174	24
25	7,850	8,243	8,635	8,831	9,028	9,420	9,813	10,21	10,598	25
26	8,164	8,572	8,980	9,185	9,389	9,797	10,21	10,613	11,021	26
27	8,478	8,902	9,326	9,538	9,750	10,17	10,60	11,021	11,445	27
28	8,792	9,232	9,671	9,891	10,11	10,55	10,99	11,43	11,869	28
29	9,106	9,561	10,02	10,24	10,47	10,93	11,38	11,84	12,293	29
30	9,420	9,891	10,36	10,60	10,83	11,30	11,78	12,25	12,717	30
31	9,734	10,22	10,71	10,95	11,19	11,68	12,17	12,654	13,141	31
32	10,05	10,55	11,05	11,30	11,56	12,06	12,56	13,062	13,565	32
33	10,36	10,88	11,40	11,66	11,92	12,43	12,95	13,471	13,989	33
34	10,68	11,21	11,74	12,01	12,28	12,81	13,35	13,88	14,413	34
35	10,99	11,54	12,09	12,36	12,64	13,19	13,74	14,287	14,84	35
36	11,30	11,87	12,43	12,72	13,00	13,57	14,13	14,695	15,26	36
37	11,62	12,20	12,78	13,07	13,36	13,94	14,52	15,103	15,684	37
38	11,93	12,53	13,13	13,42	13,72	14,32	14,92	15,512	16,11	38
39	12,25	12,86	13,47	13,78	14,08	14,70	15,31	15,92	16,532	39
40	12,56	13,19	13,82	14,13	14,44	15,07	15,70	16,33	16,956	40
41	12,87	13,52	14,16	14,48	14,81	15,45	16,09	16,74	17,38	41
42	13,19	13,85	14,51	14,84	15,17	15,83	16,49	17,144	17,804	42
43	13,50	14,18	14,85	15,19	15,53	16,20	16,88	17,553	18,23	43
44	13,82	14,51	15,20	15,54	15,89	16,58	17,27	17,961	18,652	44
45	14,13	14,84	15,54	15,90	16,25	16,96	17,66	18,369	19,076	45

Gewicht in kg von 1 m Flachstahl.

1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg

(s. auch Anm. auf S. 96).

Dicke mm	Breite in mm									Dicke mm
	55	56	58	60	62	64	65	70	75	
1	0,432	0,440	0,455	0,471	0,487	0,502	0,510	0,549	0,589	1
2	0,864	0,879	0,911	0,942	0,973	1,005	1,021	1,099	1,177	2
3	1,295	1,319	1,336	1,413	1,460	1,507	1,531	1,648	1,766	3
4	1,727	1,758	1,821	1,884	1,947	2,010	2,041	2,198	2,355	4
5	2,159	2,198	2,276	2,355	2,433	2,512	2,551	2,747	2,944	5
6	2,591	2,638	2,732	2,826	2,920	3,014	3,062	3,297	3,532	6
7	3,022	3,077	3,187	3,297	3,407	3,517	3,572	3,846	4,121	7
8	3,454	3,517	3,642	3,768	3,894	4,019	4,082	4,396	4,710	8
9	3,886	3,956	4,098	4,239	4,380	4,522	4,592	4,945	5,299	9
10	4,318	4,396	4,553	4,710	4,867	5,024	5,103	5,495	5,887	10
11	4,749	4,836	5,008	5,181	5,354	5,526	5,613	6,044	6,476	11
12	5,181	5,275	5,464	5,652	5,840	6,029	6,123	6,594	7,065	12
13	5,613	5,715	5,919	6,123	6,327	6,531	6,633	7,143	7,654	13
14	6,045	6,154	6,374	6,594	6,814	7,034	7,144	7,693	8,242	14
15	6,476	6,594	6,829	7,065	7,300	7,536	7,654	8,242	8,831	15
16	6,908	7,034	7,285	7,536	7,787	8,038	8,164	8,792	9,420	16
17	7,340	7,473	7,740	8,007	8,274	8,541	8,674	9,341	10,01	17
18	7,772	7,913	8,195	8,478	8,761	9,043	9,185	9,891	10,60	18
19	8,203	8,352	8,651	8,949	9,247	9,546	9,695	10,44	11,19	19
20	8,635	8,792	9,106	9,420	9,734	10,05	10,21	10,99	11,78	20
21	9,067	9,232	9,561	9,891	10,221	10,55	10,72	11,54	12,36	21
22	9,499	9,671	10,017	10,36	10,707	11,053	11,23	12,09	12,95	22
23	9,930	10,111	10,472	10,83	11,194	11,56	11,74	12,64	13,54	23
24	10,36	10,55	10,927	11,30	11,681	12,058	12,25	13,19	14,13	24
25	10,79	10,99	11,383	11,78	12,168	12,56	12,76	13,74	14,72	25
26	11,23	11,43	11,838	12,25	12,654	13,062	13,27	14,29	15,31	26
27	11,66	11,87	12,293	12,72	13,141	13,565	13,78	14,84	15,90	27
28	12,09	12,31	12,748	13,19	13,628	14,067	14,20	15,39	16,49	28
29	12,52	12,75	13,204	13,66	14,114	14,57	14,80	15,94	17,07	29
30	12,95	13,188	13,659	14,13	14,601	15,072	15,31	16,49	17,66	30
31	13,38	13,63	14,114	14,60	15,088	15,574	15,82	17,04	18,25	31
32	13,82	14,067	14,570	15,07	15,574	16,077	16,33	17,58	18,84	32
33	14,25	14,501	15,025	15,54	16,061	16,579	16,84	18,13	19,43	33
34	14,68	14,95	15,48	16,01	16,548	17,082	17,35	18,68	20,02	34
35	15,11	15,386	15,936	16,49	17,035	17,584	17,80	19,23	20,61	35
36	15,54	15,826	16,391	16,96	17,521	18,086	18,37	19,78	21,20	36
37	15,98	16,265	16,846	17,43	18,008	18,589	18,88	20,33	21,78	37
38	16,41	16,705	17,301	17,90	18,495	19,091	19,39	20,88	22,37	38
39	16,84	17,144	17,757	18,37	18,981	19,594	19,90	21,43	22,96	39
40	17,27	17,584	18,212	18,84	19,468	20,096	20,41	21,98	23,55	40
41	17,70	18,024	18,667	19,31	19,955	20,598	20,92	22,53	24,14	41
42	18,13	18,463	19,123	19,78	20,441	21,101	21,43	23,08	24,73	42
43	18,57	18,903	19,578	20,25	20,928	21,603	21,94	23,63	25,32	43
44	19,00	19,342	20,033	20,72	21,415	22,106	22,45	24,18	25,91	44
45	19,43	19,782	20,489	21,20	21,902	22,608	22,96	24,73	26,49	45

Gewicht in kg von 1 m Flachstahl.

1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg

(s. auch Anm. auf S. 96).

Dicke mm	Breite in mm									Dicke mm
	80	85	90	95	100	110	120	130	140	
1	0,628	0,667	0,707	0,746	0,785	0,864	0,942	1,021	1,099	1
2	1,256	1,335	1,413	1,492	1,570	1,727	1,884	2,041	2,198	2
3	1,884	2,002	2,120	2,237	2,355	2,591	2,826	3,062	3,297	3
4	2,512	2,669	2,826	2,983	3,140	3,454	3,768	4,082	4,396	4
5	3,140	3,336	3,532	3,729	3,925	4,317	4,710	5,103	5,495	5
6	3,768	4,003	4,239	4,474	4,710	5,181	5,652	6,123	6,594	6
7	4,396	4,671	4,946	5,220	5,495	6,044	6,594	7,144	7,603	7
8	5,024	5,338	5,652	5,966	6,280	6,908	7,536	8,164	8,792	8
9	5,652	6,005	6,358	6,712	7,065	7,771	8,478	9,185	9,891	9
10	6,280	6,672	7,065	7,457	7,850	8,635	9,420	10,21	10,99	10
11	6,908	7,340	7,771	8,203	8,635	9,498	10,36	11,23	12,09	11
12	7,536	8,007	8,478	8,949	9,420	10,36	11,30	12,25	13,19	12
13	8,164	8,674	9,184	9,695	10,20	11,23	12,25	13,27	14,29	13
14	8,792	9,341	9,891	10,44	10,99	12,09	13,19	14,29	15,39	14
15	9,420	10,01	10,60	11,19	11,77	12,95	14,13	15,31	16,49	15
16	10,05	10,68	11,30	11,93	12,56	13,82	15,07	16,33	17,58	16
17	10,68	11,34	12,01	12,68	13,35	14,68	16,01	17,35	18,68	17
18	11,30	12,01	12,72	13,42	14,13	15,54	16,96	18,37	19,78	18
19	11,93	12,68	13,42	14,17	14,92	16,41	17,90	19,39	20,88	19
20	12,56	13,35	14,13	14,92	15,70	17,27	18,84	20,41	21,98	20
21	13,19	14,01	14,84	15,66	16,49	18,13	19,78	21,43	23,08	21
22	13,82	14,68	15,54	16,41	17,27	19,00	20,72	22,45	24,18	22
23	14,44	15,35	16,25	17,15	18,06	19,86	21,67	23,47	25,28	23
24	15,07	16,01	16,96	17,90	18,84	20,72	22,61	24,49	26,38	24
25	15,70	16,68	17,66	18,64	19,63	21,59	23,55	25,51	27,48	25
26	16,33	17,35	18,37	19,39	20,41	22,45	24,49	26,53	28,57	26
27	16,96	18,02	19,08	20,14	21,20	23,31	25,43	27,55	29,67	27
28	17,58	18,68	19,78	20,88	21,98	24,18	26,38	28,57	30,77	28
29	18,21	19,35	20,49	21,63	22,77	25,04	27,32	29,60	31,87	29
30	18,84	20,02	21,20	22,37	23,55	25,91	28,26	30,62	32,97	30
31	19,47	20,68	21,90	23,12	24,34	26,77	29,20	31,64	34,07	31
32	20,10	21,35	22,61	23,86	25,12	27,63	30,14	32,66	35,17	32
33	20,72	22,02	23,31	24,61	25,91	28,50	31,09	33,68	36,27	33
34	21,35	22,69	24,02	25,36	26,69	29,36	32,03	34,70	37,37	34
35	21,98	23,35	24,73	26,10	27,48	30,22	32,97	35,72	38,47	35
36	22,61	24,02	25,43	26,85	28,26	31,09	33,94	36,74	39,56	36
37	23,24	24,69	26,14	27,59	29,05	31,95	34,85	37,76	40,66	37
38	23,86	25,36	26,85	28,34	29,83	32,81	35,80	38,78	41,76	38
39	24,49	26,02	27,55	29,08	30,62	33,68	36,74	39,80	42,86	39
40	25,12	26,69	28,26	29,83	31,40	34,54	37,68	40,82	43,96	40
41	25,75	27,36	28,97	30,58	32,19	35,40	38,62	41,84	45,06	41
42	26,38	28,03	29,67	31,32	32,07	36,27	39,56	42,86	46,16	42
43	27,00	28,69	30,38	32,07	33,76	37,13	40,51	43,88	47,26	43
44	27,63	29,36	31,09	32,81	34,54	37,99	41,45	44,90	48,36	44
45	28,26	30,03	31,79	33,56	35,33	38,86	42,39	45,92	49,46	45

Gewicht in kg von 1 m Flachstahl.

1 m³ Stabstahl (Flußstahl) wiegt 7850 kg

(s. auch Anm. auf S. 96).

Dicke mm	Breite in mm									Dicke mm
	150	160	170	180	190	200	210	220	230	
1	1,178	1,256	1,335	1,413	1,492	1,570	1,649	1,727	1,806	1
2	2,355	2,512	2,669	2,826	2,983	3,140	3,297	3,454	3,611	2
3	3,533	3,768	4,004	4,239	4,475	4,710	4,946	5,181	5,417	3
4	4,710	5,024	5,338	5,652	5,966	6,280	6,594	6,908	7,222	4
5	5,887	6,280	6,673	7,065	7,458	7,850	8,243	8,635	9,028	5
6	7,065	7,536	8,007	8,478	8,949	9,420	9,891	10,362	10,83	6
7	8,242	8,792	9,342	9,891	10,44	10,99	11,54	12,089	12,64	7
8	9,420	10,05	10,68	11,30	11,93	12,56	13,19	13,816	14,44	8
9	10,60	11,30	12,01	12,72	13,42	14,13	14,84	15,543	16,25	9
10	11,77	12,56	13,35	14,13	14,92	15,70	16,49	17,270	18,06	10
11	12,95	13,82	14,68	15,54	16,41	17,27	18,13	18,997	19,36	11
12	14,13	15,07	16,01	16,96	17,90	18,84	19,78	20,724	21,67	12
13	15,31	16,33	17,35	18,37	19,39	20,41	21,43	22,451	23,47	13
14	16,48	17,58	18,68	19,78	20,88	21,98	23,08	24,178	25,28	14
15	17,66	18,84	20,02	21,20	22,37	23,55	24,73	25,905	27,08	15
16	18,84	20,10	21,35	22,61	23,86	25,12	26,38	27,632	28,89	16
17	20,02	21,35	22,69	24,02	25,36	26,69	28,02	29,359	30,69	17
18	21,20	22,61	24,02	25,43	26,85	28,26	29,67	31,086	32,50	18
19	22,37	23,86	25,36	26,85	28,34	29,83	31,32	32,813	34,30	19
20	23,55	25,12	26,69	28,26	29,83	31,40	32,97	34,54	36,11	20
21	24,73	26,38	28,02	29,67	31,32	32,97	34,62	36,27	37,92	21
22	25,91	27,63	29,36	31,09	32,81	34,54	36,27	37,99	39,72	22
23	27,08	28,89	30,69	32,50	34,31	36,11	37,92	39,72	41,53	23
24	28,26	30,14	32,03	33,91	35,80	37,68	39,56	41,45	43,33	24
25	29,44	31,40	33,36	35,33	37,29	39,25	41,21	43,18	45,14	25
26	30,61	32,66	34,70	36,74	38,78	40,28	42,86	44,90	46,94	26
27	31,79	33,91	36,03	38,15	40,27	42,39	44,51	46,63	48,75	27
28	32,97	35,17	37,37	39,56	41,76	43,96	46,16	48,36	50,55	28
29	34,15	36,42	38,70	40,98	43,25	45,53	47,81	50,08	52,36	29
30	35,33	37,68	40,04	42,39	44,75	47,10	49,46	51,81	54,17	30
31	36,50	38,94	41,37	43,80	46,24	48,67	51,10	53,54	55,97	31
32	37,68	40,19	42,70	45,22	47,73	50,24	52,75	55,26	57,78	32
33	38,86	41,45	44,04	46,63	49,22	51,81	54,40	56,99	59,58	33
34	40,04	42,70	45,37	48,04	50,71	53,38	56,05	58,72	61,39	34
35	41,21	43,96	46,71	49,46	52,20	54,95	57,70	60,45	63,19	35
36	42,39	45,22	48,04	50,87	53,69	56,52	59,35	62,17	64,99	36
37	43,57	46,47	49,38	52,28	55,19	58,09	60,99	63,90	66,80	37
38	44,75	47,73	50,71	53,69	56,68	59,66	62,64	65,63	68,61	38
39	45,92	48,98	52,05	55,11	58,17	61,23	64,29	67,35	70,41	39
40	47,10	50,24	53,38	56,52	59,66	62,80	65,94	69,08	72,22	40
41	48,28	51,50	54,72	57,93	61,15	64,37	67,59	70,81	74,03	41
42	49,46	52,75	56,05	59,35	62,64	65,94	69,24	72,53	75,83	42
43	50,63	54,01	57,38	60,76	64,14	67,51	70,89	74,26	77,64	43
44	51,81	55,26	58,72	62,17	65,63	69,08	72,53	75,99	79,44	44
45	52,99	56,52	60,05	63,59	67,12	70,65	74,18	77,72	81,25	45

Gewicht von Metallplatten in kg/m².

Dicke mm	Gußeisen	Schweißstahl	Flußstahl	Gewalzter Stahl	Kupfer	Messing	Bronze	Zink	Blei
1	7,25	7,8	7,85	7,86	8,9	8,5	8,6	7,2	11,37
2	14,50	15,6	15,70	15,72	17,8	17,0	17,2	14,4	22,74
3	21,75	23,4	23,55	23,58	26,7	25,5	25,8	21,6	34,11
4	29,00	31,2	31,40	31,44	35,6	34,0	34,4	28,8	45,48
5	36,25	39,0	39,25	39,30	44,5	42,5	43,0	36,0	56,85
6	43,50	46,8	47,10	47,16	53,4	51,0	51,6	43,2	68,22
7	50,75	54,6	54,95	55,02	62,3	59,5	60,2	50,4	79,59
8	58,00	62,4	62,80	62,88	71,2	68,0	68,8	57,6	90,96
9	65,25	70,2	70,65	70,74	80,1	76,5	77,4	64,8	102,33
10	72,50	78,0	78,50	78,60	89,0	85,0	86,0	72,0	113,70
11	79,75	85,8	86,35	86,46	97,9	93,5	94,6	79,2	125,07
12	87,00	93,6	94,20	94,32	106,8	102,0	103,2	86,4	136,44
13	94,25	101,4	102,05	102,18	115,7	110,5	111,8	93,6	147,81
14	101,50	109,2	109,90	110,04	124,6	118,5	120,4	100,8	159,18
15	108,75	117,0	117,75	117,90	133,5	127,5	129,0	108,0	170,55
16	116,00	124,8	125,60	125,76	142,4	136	137,6	115,2	181,92
17	123,25	132,6	133,45	133,62	151,3	144,5	146,2	122,4	193,29
18	130,50	140,4	141,30	141,48	160,2	153	154,8	129,6	204,66
19	137,75	148,2	149,15	149,34	169,1	161,5	163,4	136,8	216,03
20	145,00	156,0	157,00	157,20	178,0	170,0	172,0	144,0	227,40
21	152,25	163,8	164,85	165,06	186,9	178,5	180,6	151,2	238,77
22	159,50	171,6	172,70	172,92	195,8	187,0	189,2	158,4	250,14
23	166,75	179,4	180,55	180,78	204,7	195,5	197,8	165,6	261,51
24	174,00	187,2	188,40	188,64	213,6	204,0	206,4	172,8	272,88
25	181,25	195,0	196,25	196,50	222,5	212,5	215,0	180,0	284,25
26	188,50	202,8	204,10	204,36	231,4	221,0	223,6	187,2	295,62
27	195,75	210,6	211,95	212,22	240,3	229,5	232,2	194,4	306,99
28	203,00	218,4	219,80	220,08	249,2	238,0	240,8	201,6	318,36
29	210,25	226,2	227,65	227,94	258,1	246,5	249,4	208,8	329,73
30	217,50	234,0	235,50	235,80	267,0	255,0	258,0	216,0	341,10

Gewichte vorstehender Metalle, bezogen auf:

(vgl. Seite 96)

Gußeisen . .	1	1,076	1,083	1,084	1,228	1,172	1,186	0,993	1,568
Schweißstahl	0,929	1	1,006	1,008	1,141	1,089	1,103	0,923	1,458
Flußstahl . .	0,924	0,994	1	1,001	1,134	1,083	1,096	0,917	1,448

Zulässige Maßabweichungen für Stabstahl und Breitflachstahl nach DIN 1612.

Stabstahl (Rund-, Quadrat-, Sechskantstahl usw.)		Breitflachstahl			
Dicke mm	Zulässige Abweichung mm	Breite mm	Zulässige Abweichung Breite	Dicke mm	Zulässige Abweichung
5—25 über 25—50 „ 50—80 „ 80—100 „ 100—120 „ 120—160 „ 160—200	± 0,5 ± 0,75 ± 1 ± 1,25 ± 1,5 ± 2 ± 2,5	3 mm u. dicker	± 2 %	unter 10 bei 10 und mehr	± 0,5 mm ± 5 %
Der Gewichtsspielraum für die Gesamtlieferung beträgt ± 6%. Diese Angaben sind die handelsüblichen groben Abmaße. Stabstahl und Breitflachstahl mit feineren Abmaßen wird nicht auf Lager gehalten und ist nur von Fall zu Fall lieferbar.					

Gewicht in kg von 1000 m Draht

aus Flußstahl (Wichte $\gamma = 7,85$), Messing (Wichte $\gamma = 8,5$), Kupfer (Wichte $\gamma = 8,9$).

Dmr.	Stahl ¹⁾ DIN 177	Messing DIN 1787	Kupfer DIN 1786	Dmr.	Stahl ¹⁾ DIN 177	Messing DIN 1787	Kupfer DIN 1786	Dmr.	Stahl ¹⁾ DIN 177	Messing DIN 1787	Kupfer DIN 1786
0,1	0,062	—	0,070	*0,65	2,60	2,821	2,953	2,9	—	56,144	58,784
0,12	0,089	—	0,101	0,7	3,02	3,271	3,425	*3	55,5	60,083	62,914
0,14	0,121	—	—	*0,75	3,47	3,755	3,932	3,1	59,2	—	—
0,15	—	—	0,157	0,8	3,95	4,273	4,474	3,2	—	68,361	71,574
0,16	0,158	—	—	*0,85	4,45	4,823	5,051	3,4	71,3	—	—
0,18	0,200	—	0,226	0,9	4,99	5,407	5,662	3,5	—	81,780	85,626
0,2	0,247	0,267	0,280	*0,95	5,56	6,024	6,308	3,8	89,0	96,399	100,926
0,22	0,298	0,323	0,338	1	6,17	6,676	6,990	4	—	106,814	111,837
0,23	—	—	—	1,1	7,46	8,078	8,458	4,2	108,8	117,762	123,301
0,24	0,355	—	—	1,2	8,88	9,613	10,066	4,5	—	135,187	141,546
0,25	—	0,417	0,437	1,3	10,42	11,282	11,810	4,6	130,5	—	—
0,26	0,417	—	—	1,4	12,08	13,085	13,697	4,8	—	153,813	161,054
0,27	—	—	—	*1,5	13,87	15,020	15,727	5	154,1	166,897	174,751
0,28	0,483	0,523	0,548	1,6	15,78	17,090	17,898	5,5	186,5	201,946	211,446
0,3	—	0,601	0,629	*1,7	17,82	19,293	20,201	6	222	240,332	251,638
0,31	0,592	—	—	1,8	19,98	21,630	22,650	6,5	260	282,056	295,329
0,32	—	0,684	0,716	*1,9	22,3	24,100	25,231	7	302	327,118	342,508
0,34	0,713	—	—	2	24,7	26,704	27,963	7,5	—	375,518	393,184
0,35	—	0,818	0,856	2,1	—	29,441	30,830	7,6	356	—	—
0,37	0,844	—	—	2,2	29,8	32,311	33,828	8,0	—	427,257	447,358
0,38	—	0,964	1,009	2,3	—	35,315	36,979	8,2	415	—	—
0,4	0,986	1,068	1,118	*2,4	35,5	38,453	40,264	8,8	477	—	—
0,45	1,248	1,352	1,415	2,5	38,5	41,724	43,690	9	—	—	—
0,5	1,541	1,669	1,747	*2,6	41,7	45,129	47,250	9,4	545	—	—
0,55	1,865	2,019	2,114	2,7	—	48,667	50,961	10	617	—	—
0,6	2,22	2,403	2,516	2,8	48,3	52,339	54,806	—	—	—	—

Zulässige Abweichungen vom Durchmesser.

DIN 177	Dmr. 0,1—0,12 Abw. ± 0,005	0,14—0,18 ± 0,01	0,2—0,28 ± 0,015	0,31—0,45 ± 0,02	0,5—0,7 ± 0,02	0,8—1,2 ± 0,03	1,3—1,4 ± 0,04
DIN 1757	Dmr. 0,2—0,4 Abw. ± 0,02	0,45—0,7 ± 0,025	0,75—1 0,03	1,1—2 0,04	2,1—3 0,05	3,2—6 0,06	6,5—8 0,08
DIN 1766	Dmr. 0,1—0,2 Abw. ± 0,02	0,22—0,4 0,025	0,45—0,7 0,03	0,75—1 0,04	1,1—2 0,05	2,1—3 0,06	3,2—6 0,08
						6,5—8 0,10	

¹⁾ DIN 177 ist die genormte deutsche Millimeter-Drahtlehre. Die * Durchmesser sind in ihr nicht enthalten; sie sind für Förder- und Drahtseile bestimmt.

Gewichte von Draht und Rohren aus Aluminium.

$\gamma = 2,69 \text{ kg/dm}^3$.

Aluminium-Draht		Aluminium-Rohre Gewicht von 1 m in kg		
Durchmesser	Gewicht von 1 m	Äußerer Durchmesser	Wandstärke in mm	
mm	g		mm	0,5	1
			kg	kg
0,5	0,53	5	0,0190	0,0340
1,0	2,12	6	0,0233	0,0424
1,5	4,77	8	0,0317	0,0590
2,0	8,48	10	0,0403	0,0763
2,5	13,23	12	0,0487	0,0933
3,0	19,06	15	0,0612	0,1185
3,5	25,97	20	0,0827	0,1612
4,0	33,91	25	0,1039	0,2035
4,5	42,93	30	0,1250	0,2460
5,0	53,0	35	0,1408	0,2884
5,5	64,12	40	0,1612	0,3308
6,0	76,32	45	0,1816	0,3731
6,5	89,58	50	0,2020	0,4156
7,0	103,9	55	0,2223	0,4579
7,5	119,3	60	0,2430	0,5005
8,0	135,7	65		0,5429
8,5	153,2	70		0,5825
9,0	171,7	80		0,6696
9,5	191,4			
10,0	212,0			

Gewichtstafeln für Feibleche

der Deutschen und Dillinger Lehre. Gewicht in kg/m^2 , $\gamma = 7,87 \text{ kg/dm}^3$.

Dicke mm	Schweißstahl	Flußstahl	Dicke mm	Schweißstahl	Flußstahl
0,30	2,34	2,36	1,375	10,7	10,8
0,375	2,93	2,95	1,40	10,9	11,0
0,40	3,12	3,14	1,50	11,7	11,8
0,438	3,42	3,44	1,55	12,1	12,2
0,50	3,90	3,93	1,70	13,3	13,4
0,562	4,38	4,42	1,75	13,7	13,8
0,60	4,68	4,72	1,85	14,4	14,5
0,625	4,88	4,91	2,00	15,6	15,7
0,68	5,30	5,34	2,25	17,6	17,7
0,70	5,46	5,50	2,50	19,5	19,7
0,75	5,85	5,90	2,75	21,5	21,6
0,80	6,24	6,29	3,00	23,4	23,6
0,875	6,83	6,88	3,25	25,4	25,5
0,90	7,02	7,07	3,50	27,3	27,5
1,00	7,80	7,86	3,75	29,3	29,5
1,10	8,58	8,65	4,00	31,2	31,4
1,125	8,78	8,84	4,25	33,2	33,4
1,25	9,75	9,83	4,50	35,1	35,4

Tafel der gebräuchlichsten Fein- und Mittelbleche.

Weißbleche					Eisenbleche unter 5 mm u. Stahlbleche unter 3 mm DIN 1542 u. 1541		Zinkbleche schlesische				
Dicke etwa mm	Marke	Form	Größe etwa mm	Gewicht einer Tafel etwa kg	Deutsche Blech- lehre Nr.	Dicke etwa mm	Nr.	Dicke etwa mm	Gewicht eines m ² etwa kg		
0,15	N	einfach	265/380	0,128		4,75	1	0,100	0,70		
0,19	IC ⁴ /L	} dop- pel- breit	380/530	0,310		4,50	2	0,143	1,00		
0,22	IC ³ /L		„	„	0,347		4,00	3	0,186	1,30	
0,24	ICLL		„	„	0,375		3,50	4	0,228	1,60	
0,27	ICL		„	„	0,445		3,00	5	0,250	1,75	
0,32	IC		„	„	0,510	10	2,75	6	0,300	2,10	
0,36	IX		„	„	0,590	11	2,50	7	0,350	2,45	
0,24	DIC ² /L		} vier- fach	530/760	0,750	12	2,25	8	0,400	2,80	
0,28	DICL			„	„	0,890	13	2,00	9	0,450	3,15
0,31	DIC			„	„	1,018	14	1,75	10	0,500	3,50
0,37	DIX			„	„	1,178	15	1,50	11	0,580	4,06
0,41	DIXX	„		„	1,356	16	1,38	12	0,660	4,62	
0,46	DI ³ /X	„		„	1,447	17	1,25	13	0,740	5,18	
0,52	DI ⁴ /X	„		„	1,660	18	1,13	14	0,820	5,74	
0,58	DI ⁵ /X	„		„	1,840	19	1,00	15	0,950	6,65	
0,64	DI ⁶ /X	„		„	2,000	20	0,88	16	1,080	7,56	
0,70	DI ⁷ /X	„		„	2,180	21	0,75	17	1,210	8,47	
0,80	DI ⁸ /X	„	„	2,500	22	0,63	18	1,340	9,38		
0,90	DI ⁹ /X	„	„	2,779	23	0,56	19	1,470	10,29		
1,00	DI ¹⁰ /X	„	„	3,125	24	0,50	20	1,600	11,20		
0,43	S	} dop- pel- breit	435/650	0,920	26	0,38	21	1,780	12,46		
0,50	² /S		„	„	1,100	27	0,32	22	1,960	13,72	
0,57	³ /S		„	„	1,280	28	0,28	23	2,140	14,98	
0,66	⁴ /S		} Pon- ton	„	1,480	29	0,24	24	2,320	16,24	
0,75	⁵ /S			„	„	1,660	30	0,22	25	2,500	17,50
				„	„		31	0,2	26	2,680	18,76
				„	„		32	0,18			

Gewichte von Messing-, Kupfer-, Aluminiumblechen (in kg/m²).

Dicke mm	Messing- blech DIN 1751	Kupfer- blech DIN 1752	Alumi- niumblech DIN 1753	Dicke mm	Messing- blech DIN 1751	Kupfer- blech DIN 1752	Alumi- niumblech DIN 1753
0,1	0,85	0,89	—	1,1	9,35	9,79	3,00
0,15	1,27	1,33	—	1,2	10,20	10,68	3,28
0,2	1,70	1,78	0,55	1,3	11,10	11,60	3,55
0,25	2,12	2,22	0,68	1,4	11,90	12,50	3,82
0,3	2,55	2,67	0,82	1,5	12,75	13,35	4,09
0,35	2,97	3,11	0,96	1,6	13,60	14,20	4,37
0,4	3,40	3,56	1,09	1,7	14,50	15,10	(4,64)
0,45	3,82	4,00	1,23	1,8	15,30	16,02	4,91
0,5	4,25	4,45	1,37	1,9	16,20	16,90	(5,19)
0,55	4,68	4,90	—	2	17,00	17,80	5,46
0,6	5,10	5,34	1,64	2,2	18,70	19,60	6,01
0,65	5,53	5,79	—	2,5	21,25	22,30	6,83
0,7	5,95	6,23	1,19	2,8	23,80	24,90	7,64
0,75	6,38	6,68	—	3	25,50	26,70	8,19
0,8	6,80	7,12	2,18	3,2	27,20	28,50	8,74
0,85	7,23	7,57	—	3,5	29,75	31,20	9,55
0,9	7,65	8,01	2,46	4	34,00	35,60	10,92
1	8,50	8,90	2,73	4,5	38,30	40,10	12,28
				5	42,50	44,50	13,65

Nummern-Verzeichnis für Kupferspinndrähte.

Aufgestellt vom
Verein Deutscher Pianofortefabrikanten.

Nr.	Dmr. in mm	Nr.	Dmr. in mm	Nr.	Dmr. in mm	Nr.	Dmr. in mm	Nr.	Dmr. in mm
10	0,20	3	0,55	3/0	0,90	6/0 ^{1/2}	1,25	10/0 ^{1/2}	1,65
9	0,25	2	0,60	3/0 ^{1/2}	0,95	7/0	1,30	11/0	1,70
8	0,30	1	0,65	4/0	1,00	7/0 ^{1/2}	1,35	11/0 ^{1/2}	1,75
7	0,35	1/0	0,70	4/0 ^{1/2}	1,05	8/0	1,40	12/0	1,80
6	0,40	1/0 ^{1/2}	0,75	5/0	1,10	8/0 ^{1/2}	1,45	12/0 ^{1/2}	1,85
5	0,45	2/0	0,80	5/0 ^{1/2}	1,15	9/0	1,50	13/0	1,90
4	0,50	2/0 ^{1/2}	0,85	6/0	1,20	9/0 ^{1/2}	1,55	13/0 ^{1/2}	1,95
						10/0	1,60	14/0	2,00

Zinkblechlehren.

(Matthiessen & Hegeler Zinc Ci.)

Durchmesser in mm.

Nr.	Dicke	Nr.	Dicke	Nr.	Dicke	Nr.	Dicke
1	0,051	8	0,406	15	1,016	22	2,286
2	0,102	9	0,457	16	1,143	23	2,540
3	0,152	10	0,508	17	1,270	24	3,175
4	0,203	11	0,610	18	1,397	25	6,35
5	0,254	12	0,711	19	1,524	26	9,527
6	0,305	13	0,813	20	1,778	27	12,7
7	0,356	14	0,914	21	2,032	28	25,4

Engl. Zinkdrahtlehre.

Durchmesser in mm.

Nr.	Durchm.	Nr.	Durchm.	Nr.	Durchm.	Nr.	Durchm.
1	0,102	8	0,381	16	1,092	23	2,134
2	0,152	9	0,508	17	1,219	24	2,311
3	0,178	11	0,584	18	1,346	25	2,489
4	0,203	12	0,660	19	1,473	26	2,667
5	0,254	13	0,737	20	1,600		
6	0,279	14	0,813	21	1,778		
7	0,330	15	0,965	22	1,956		

Stubs Stahldraht-Buchstaben-Lehren.

Buchstaben	= Stärke in mm	Buchstaben	= Stärke in mm	Buchstaben	= Stärke in mm	Buchstaben	= Stärke in mm
A	5,943	H	6,756	O	8,026	V	9,576
B	6,045	I	6,909	P	8,204	W	9,804
C	6,147	J	7,036	Q	8,433	X	10,084
D	6,248	K	7,137	R	8,611	Y	10,262
E	6,350	L	7,366	S	8,839	Z	10,490
F	6,528	M	7,493	T	9,093		
G	6,629	N	7,671	U	9,347		

Deutsche Feinblech- und Drahtlehren¹⁾.

Dillinger Feinblechlehre ²⁾				Westfälische Stift-Drahtlehre				Westfälische Drahtlehre ³⁾	
Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	Benennung	mm = Dicke
0000	—	10	2,50	0000	—	10	1,40	Ketten	7,8
000	—	11	2,25	000	—	11	1,56	Schleppen	6,83
00	—	12	2,00	00	—	12	1,66	Grobrinken	6,0
0	—	13	1,85	0	—	13	1,84	Feinrinken	5,55
1	5,50	14	1,70	1	0,60	14	2,04	Malgen	4,7
2	5,00	15	1,55	2	0,68	15	2,20	Grobmemel	4,12
2/2	—	16	1,40	2/2	—	16	2,40	Mittelmemel	3,82
2/4	—	17	1,25	2/4	—	17	2,60	Feinmemel	3,4
2/6	—	18	1,10	2/6	—	18	2,92	Klinkmemel	2,96
2/8	—	19	1,00	2/8	—	19	3,40	Natel	2,6
3	4,50	20	0,90	3	0,76	20	3,84	Mittel	2,36
3/1	—	21	0,80	3/1	—	21	4,20	Dünnmittel	2,15
3/4	—	21 ^{1/2}	0,70	3/4	—	21 ^{1/2}	—	3 Schillings	1,96
3/7	—	22	0,60	3/7	—	22	4,65	4 Schillings	1,74
4	4,25	22 ^{1/2}	0,50	4	0,80	22 ^{1/2}	—	2 Band	1,55
4/5	—	23	0,40	4/5	—	23	5,45	1 "	1,4
5	4,00	24	0,30	5	0,88	24	—	3 "	1,25
5/5	—	25	—	5/5	—	25	7,0	4 "	1,12
6	3,50	26	—	6	1,00	26	7,6	5 "	1,03
7	3,25	27	—	7	1,12	27	8,8	6 "	0,88
8	3,00	28	—	8	1,20	28	9,4	7 "	0,83
9	2,75	29	—	9	1,30	29	10,0	ord. Münst. od. 1 Blei	0,71
								fein Münster	0,65
								Gattung oder 3 Blei	0,6
								Feine Gattung	0,55
								1 Hol. oder 4 Blei	0,5
								2 " " 5 "	0,46
								3 " " 6 "	0,42
								4 " " 7 "	0,39
								5 " " 8 "	0,36
								6 " " 10 "	0,31
								7 " " 12 "	0,28
								8 " " 14 "	0,26
								9 " " 15 "	0,24
								10 " " 16 "	0,22
								11 " " 17 "	0,20

Französische Feinblech- und Drahtlehre⁴⁾.

Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	Nr.	mm	P.0	0,50	P.6	0,28	P.12	0,18		
30	10	26	7,6	22	5,4	18	3,4	14	2,2	10	1,5	6	1,1	2	0,7	P.1	0,46	P.7	0,27	P.13	0,17
29	9,4	25	7	21	4,9	17	3	13	2	9	1,4	5	1	1	0,6	P.2	0,42	P.8	0,25	P.14	0,16
28	8,8	24	6,4	20	4,4	16	2,7	12	1,8	8	1,3	4	0,9			P.3	0,37	P.9	0,23	P.15	0,15
27	8,2	23	5,9	19	3,9	15	2,4	11	1,6	7	1,2	3	0,8			P.4	0,34	P.10	0,22		
																P.5	0,30	P.11	0,20		

Englische Normallehren für Bleche und Drähte.

In Großbritannien sind als Normen maßgebend die Standard Wire Gauge (S.W.G.), festgelegt am 23. 10. 1883, und die Birmingham Gauge (B.G.), festgelegt am 16. 7. 1914. Es sind noch eine Anzahl anderer Lehren in Gebrauch; die beiden genannten sind aber die einzigen gesetzlichen.

S.W.G. ist identisch mit der in Amerika gebräuchlichen Imperial wire gauge, wo auch die B.G. in Verwendung ist (Standard Birmingham Sheet and Hoops) (Maße siehe Seite 111).

¹⁾ Vom Deutschen Normenausschuß genormt: Blechlehren in DIN 1542 (siehe Seite 108) und Drahtlehren in DIN 177 (siehe Seite 106).

Vielfach ist in Deutschland auch noch die Englische Lehre (B.W.G. = Birmingham wire gauge) für Bleche, Draht und Bandisen in Gebrauch (siehe Seite 111).

²⁾ Dillinger Lehre benutzen die Werke von Dillingen und Hayange.

³⁾ Westfälische Drahtlehre (älteste Lehre) nur noch in der Gegend von Altena und Iserlohn üblich.

⁴⁾ Französische Drahtlehre (Jauge de Paris, 1857) in Frankreich allgemein für Draht und Drahtstifte, in Deutschland für Drahtstifte, in Süddeutschland meist auch für Draht.

Blech- und Drahtlehren.

In den Vereinigten Staaten von Amerika gebräuchlich. Maße in mm.

Nr.	Washburn & Moen Steel Wire	American or Brown & Sharpe	Birmingham or Stubbs Iron Wire and Sheets	U. S. Standard for Sheet Iron and Steel	Stubbs Steel Wire	Imperial Wire Gage	Morse Twist Drill and Steel Wire	Wood and Machine Screws	Music Wire Gage	Standard Birmingham Sheet and Hoops	Trenton Iron Co
7/0	12,446	—	—	12,700	—	12,700	—	—	—	16,932	—
6/0	11,748	—	—	11,913	—	11,786	—	—	—	15,876	—
5/0	10,935	—	—	11,126	—	10,973	—	—	—	14,943	11,430
4/0	10,003	11,684	11,532	10,313	—	10,160	—	—	—	13,757	10,160
3/0	9,208	10,404	10,795	9,525	—	9,449	—	0,081	—	12,700	9,144
2/0	8,408	9,266	9,652	8,738	—	8,840	—	1,143	0,022	11,309	8,382
0	7,785	8,253	8,636	7,950	—	8,230	—	1,473	0,023	10,069	7,747
1	7,188	7,348	7,620	7,138	5,766	7,620	5,791	1,803	0,025	8,972	7,239
2	6,668	6,543	7,214	6,757	5,563	7,011	5,614	2,134	0,028	7,994	6,731
3	6,190	5,827	6,579	6,350	5,385	6,401	5,410	2,464	0,030	7,122	6,223
4	5,723	5,189	6,045	5,944	5,528	5,893	5,309	2,794	0,033	6,350	5,715
5	5,258	4,620	5,588	5,563	5,182	5,385	5,220	3,150	0,036	5,652	5,207
6	4,877	4,115	5,156	5,156	5,106	4,877	5,182	3,480	0,041	5,032	4,826
7	4,496	3,665	4,572	4,496	5,055	4,471	5,106	3,810	0,046	4,481	4,445
8	4,115	3,264	4,191	4,369	5,004	4,064	5,055	4,140	0,051	3,988	4,064
9	3,767	2,906	3,759	3,963	4,928	3,658	4,979	4,471	0,056	3,551	3,683
10	3,429	2,588	3,404	3,582	4,852	3,251	4,915	4,801	0,061	3,175	3,302
11	3,061	2,304	3,048	3,175	4,775	2,947	4,852	5,156	0,066	2,827	2,985
12	2,680	2,055	2,769	2,769	4,699	2,642	4,801	5,487	0,071	2,517	2,667
13	2,324	1,829	2,413	2,388	4,623	2,337	4,699	5,817	0,076	2,240	2,357
14	2,032	1,628	2,108	1,981	4,572	2,032	4,623	6,147	0,081	1,994	2,032
15	1,829	1,450	1,829	1,778	4,521	1,829	4,572	6,477	0,086	1,776	1,778
16	1,588	1,290	1,651	1,588	4,445	1,626	4,496	6,807	0,091	1,588	1,549
17	1,372	1,151	1,473	1,430	4,369	1,422	4,394	7,163	0,097	1,412	1,334
18	1,207	1,024	1,245	1,270	4,267	1,219	4,305	7,493	0,102	1,257	1,143
19	1,041	0,912	1,067	1,113	4,166	1,016	4,217	7,823	0,107	1,118	1,016
20	0,884	0,813	0,889	0,953	4,090	0,914	4,090	8,154	0,112	0,996	0,889
21	0,805	0,724	0,813	0,874	3,988	0,813	4,039	8,484	0,117	0,886	0,787
22	0,726	0,645	0,711	0,795	3,937	0,711	3,988	8,814	0,122	0,795	0,711
23	0,655	0,574	0,635	0,714	3,886	0,610	3,912	9,144	0,130	0,706	0,635
24	0,584	0,511	0,559	0,635	3,836	0,559	3,860	9,500	0,140	0,630	0,572
25	0,518	0,455	0,508	0,556	3,759	0,508	3,797	9,830	0,150	0,559	0,508
26	0,460	0,404	0,457	0,476	3,709	0,457	3,734	10,160	0,160	0,498	0,457
27	0,439	0,361	0,406	0,437	3,632	0,417	3,658	10,491	0,170	0,445	0,432
28	0,411	0,320	0,356	0,396	3,531	0,376	3,564	10,821	0,180	0,396	0,406
29	0,381	0,287	0,330	0,358	3,404	0,345	3,455	11,151	0,188	0,353	0,381
30	0,356	0,254	0,305	0,318	3,226	0,315	3,264	11,507	0,198	0,312	0,356
31	0,335	0,226	0,254	0,277	3,048	0,295	3,048	11,837	0,208	0,279	0,330
32	0,325	0,201	0,229	0,257	2,921	0,274	2,921	12,167	0,218	0,249	0,305
33	0,300	0,180	0,203	0,239	2,845	0,254	2,870	12,497	0,229	0,221	0,279
34	0,264	0,160	0,178	0,218	2,794	0,234	2,820	12,827	0,239	0,196	0,254
35	0,241	0,142	0,127	0,198	2,743	0,213	2,794	13,158	0,249	0,175	0,241
36	0,229	0,127	0,102	0,178	2,693	0,193	2,705	13,513	0,259	0,155	0,229
37	0,216	0,112	—	0,168	2,616	0,173	2,642	13,844	0,269	0,137	0,216
38	0,203	0,102	—	0,160	2,565	0,152	2,578	14,174	0,284	0,122	0,203
39	0,190	0,089	—	—	2,515	0,132	2,527	14,504	0,300	0,109	0,190
40	0,178	0,079	—	—	2,464	0,122	2,489	14,834	0,318	0,099	0,178
41	0,168	—	—	—	2,414	0,112	2,438	15,164	—	0,086	—
42	0,157	—	—	—	2,337	0,102	2,375	15,520	—	0,079	—
43	0,152	52 1,613	61 0,991	71 0,660	2,235	0,091	2,260	15,850	—	0,069	—
44	0,147	53 1,511	62 0,965	72 0,635	2,159	0,081	2,184	16,180	—	0,061	—
45	0,140	54 1,397	63 0,940	73 0,610	2,057	-0,071	2,083	16,511	—	0,056	—
46	0,132	55 1,321	64 0,914	74 0,572	2,007	0,061	2,057	16,841	—	0,048	—
47	0,127	56 1,181	65 0,889	75 0,533	1,956	0,051	1,994	17,171	—	0,043	—
48	0,122	57 1,092	66 0,838	76 0,508	1,905	0,041	1,930	17,527	—	0,038	—
49	0,117	58 1,067	67 0,813	77 0,457	1,829	0,030	1,854	17,857	—	0,033	—
50	0,112	59 1,041	68 0,787	78 0,406	1,753	0,025	1,778	18,187	—	0,030	—
51	—	60 1,016	69 0,744	79 0,368	—	—	1,702	—	—	—	—
		70 0,711	80 0,343								

Gewicht und Leitungswiderstand von Kupferdrähten bei 15° C.

Wichte $\gamma = 8,9$; spezifischer Leitwiderstand c bei 20° C = 0,01784 Ohm;

$$\text{Leitungswiderstand} = \frac{0,01784 \cdot \text{Länge (in m)}}{\text{Querschnitt (in mm}^2\text{)}}.$$

Durchmesser mm	Querschnitt mm ²	Gewicht für 1 m g	Widerstand für 1 m Ohm	Durchmesser mm	Querschnitt mm ²	Gewicht für 1 m g	Widerstand für 1 m Ohm
0,37	0,108	0,957	0,165	2,3	4,155	36,98	0,00429
0,45	0,159	1,416	0,112	2,8	6,158	54,81	0,00288
0,5	0,196	1,748	0,0910	3,2	8,04	71,59	0,00222
0,6	0,283	2,510	0,0630	3,6	10,18	90,60	0,00175
0,7	0,385	3,426	0,0463	4,0	12,57	111,9	0,00142
0,8	0,503	4,474	0,0355	4,4	15,21	135,4	0,00117
1,0	0,785	6,991	0,0227	5,1	20,43	181,8	0,000878
1,2	1,131	10,07	0,0155	5,7	25,52	217,1	0,000699
1,4	1,539	13,7	0,0116	6,5	33,18	295,4	0,000538
1,8	2,545	22,65	0,00701	8,0	50,77	447,4	0,000351

Beispiel: Durchmesser = 0,8 mm;

$$\text{Querschnitt} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \text{ mm}^2 = 0,503 \text{ mm}^2;$$

$$\text{Leitungswiderstand} = \frac{0,01784 \cdot 1}{0,503} \text{ Ohm} = 0,0355 \text{ Ohm.}$$

S. auch Abschnitt „Elektrotechnik“.

Gewichte und Bruchfestigkeit von Seilen. Drahtseile.

Durchmesser mm	Arbeitslast bei 6facher Sicherheit			Gewicht auf 1 m Länge kg	Durchmesser mm	Arbeitslast bei 6facher Sicherheit			Gewicht auf 1 m Länge kg
	Eisen- draht geglüht kg	Eisen- draht blank kg	Guß- stahl- draht kg			Eisen- draht geglüht kg	Eisen- draht blank kg	Guß- stahl- draht kg	
9	150	200	450	0,22	18	680	950	2100	1,05
10	175	250	520	0,26	19	740	1000	2250	1,10
11	210	280	620	0,31	20	800	1050	2400	1,20
12	260	370	820	0,40	21	880	1100	2650	1,30
13	315	430	950	0,46	22	960	1250	2850	1,45
14	380	500	1100	0,52	23	1050	1400	3100	1,60
15	440	670	1450	0,70	24	1120	1500	3300	1,70
16	500	775	1650	0,82	25	1200	1600	3500	1,85
17	575	840	1800	0,86					

Sind die Seiltrommeln im Durchmesser kleiner als das 20fache des Seildurchmessers, so muß eine geringere Arbeitslast in Rechnung gestellt werden.

Hanfseile.

Durchmesser mm	Arbeitslast bei 8facher Sicherheit kg	Gewicht auf 1 m Länge kg	Durchmesser mm	Arbeitslast bei 8facher Sicherheit kg	Gewicht auf 1 m Länge kg
10	70	0,08	30	610	0,72
12	100	0,12	35	825	0,95
15	150	0,18	40	1100	1,20
18	225	0,26	45	1400	1,60
20	275	0,33	50	1700	1,90
23	360	0,42	60	2400	2,80
25	450	0,52	70	3400	4,00

Handelsübliche, nahtlos gezogene Messingrohre (Ms 60)

nach DIN 1755.

Außen- durch- messer	Innendurchmesser in mm und Gewichte in kg, gerechnet mit einem Gewicht von 8,5 kg/dm ³															
	mm	mm	kg	mm	kg	mm	kg	mm	kg	mm	kg	mm	kg	mm	kg	
5			4	0,06	3,5	0,08	3	0,11	2	0,14						
6			5	0,07	4,5	0,10	4	0,13	3	0,18						
7			6	0,09	5,5	0,13	5	0,16	4	0,22						
8			7	0,10	6,5	0,15	6	0,19	5	0,26						
9			8	0,11	7,5	0,17	7	0,21	6	0,30						
10			9	0,13	8,5	0,19	8	0,24	7	0,34						
11			10	0,14	9,5	0,21	9	0,27	8	0,38						
12					10,5	0,23	10	0,29	9	0,42	8	0,53				
13							11	0,32	10	0,46	9	0,59				
15							13	0,37	12	0,54	11	0,69				
16							14	0,40	13	0,58						
17							15	0,43	14	0,62						
18							16	0,45	15	0,66	14	0,85				
19							17	0,48	16	0,70						
20	19,2	0,21					18	0,51	17	0,74	16	0,96	15	1,17		
22							20	0,56	19	0,82	18	1,07	17	1,30		
25	24,2	0,26					23	0,64	22	0,94	21	1,23	20	1,50		
28							26	0,72	25	1,06	24	1,39	23	1,70		
30	29,2	0,32					28	0,77	27	1,14	26	1,50	25	1,84		
32							30	0,83	29	1,22	28	1,60	27	1,97	26	2,32
35	34,2	0,37					33	0,91	32	1,34	31	1,76	30	2,17	29	2,56
38							36	0,99	35	1,46	34	1,92	33	2,37	32	2,80
40	39,2	0,43					38	1,04	37	1,54	36	2,03	35	2,50	34	2,96
42							40	1,09	39	1,62	38	2,14	37	2,64	36	3,12
45							43	1,17	42	1,74	41	2,30	40	2,84	39	3,36
50							48	1,31	47	1,94	46	2,56	45	3,17	44	3,77
54							52	1,42			50	2,78	49	3,44	48	4,09
60							58	1,57			56	3,10	55	3,84	54	4,57
70							68	1,84	67	2,74	66	3,63	65	4,51	64	5,37
80							78	2,11			76	4,17	75	5,17	74	6,17
Wand- dicke mm	0,4		0,5		0,75		1		1,5		2		2,5		3	

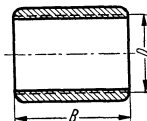
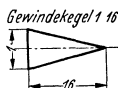
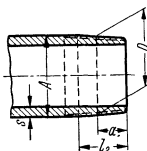
Die zulässige Abweichung für Außen- und Innendurchmesser beträgt: bis 10 \pm 0,08, über 10 bis 18 \pm 0,10, über 18 bis 30 \pm 0,12, über 30 bis 50 \pm 0,15, über 50 bis 80 \pm 0,20 mm.

Die Exzentrizität darf eine Abweichung der Wanddicke bis zu \pm 10 vH vom Nennmaß der Wanddicke verursachen.

Technische Lieferbedingungen s. DIN 1775.

Flußstahlrohre.

Gasrohre nach DIN 2440
und **Dampfrohre** (dickwandige Gasrohre) nach
DIN 2441.



Handelsübliche Nennweite	Zugehörige Nennweite der Armaturen und Formstücke nach DIN 2402	Rohr					Gewinde		Muffe	Muffe
		Außendurchmesser ≈ A	Gasrohre		Dampfrohre		Theoretischer Gewindedurchmesser D	Gangzahl auf 1 Zoll	Mindestlänge Gas B	Mindestlänge Dampf B
			Wanddicke ≈ s	Gewicht des glatten Rohres kg/m	Wanddicke ≈ s	Gewicht des glatten Rohres kg/m				
1/8"	6	10	2	0,395	2,5	0,462	9,729	28	20	25
1/4"	8	13,25	2,25	0,610	2,75	0,712	13,158	19	25	30
3/8"	10	16,75	2,25	0,805	2,75	0,949	16,663	19	30	35
1/2"	15	21,25	2,75	1,25	3,25	1,44	20,956	14	35	40
3/4"	20	26,75	2,75	1,63	3,5	2,01	26,442	14	40	45
1"	25	33,5	3,25	2,42	4	2,91	33,250	11	45	50
1 1/4"	32	42,25	3,25	3,13	4	3,77	41,912	11	50	55
1 1/2"	40	48,25	3,5	3,86	4,25	4,61	47,805	11	55	60
2"	50	60	3,75	5,20	4,5	6,16	59,616	11	60	70
2 1/2"	70	75,5	3,75	6,64	4,5	7,88	75,187	11	65	75
3"	80	88,25	4	8,31	4,75	9,78	87,887	11	70	85
(3 1/2")	(90)	101	4,25	10,1	5	11,8	100,334	11	80	90
4"	100	113,5	4,25	11,5	5	13,4	113,034	11	90	100
5"	125	139	4,5	14,9	5,5	18,1	138,435	11	100	100
6"	150	164,5	4,5	17,8	5,5	21,6	163,836	11	110	110

Gewindeform nach DIN 259.

Gewindedurchmesser D wird im Abstände a vom Rohrende über die Gewindespitzen gemessen.

Die beiden letzten Gewinegänge dürfen an der Spitze unvollkommen sein.

Maße a und l_2 (nutzbare Gewindelänge) siehe DIN 2999 „Whitworth Rohrgewinde für Fittinganschlüsse“.

Ausführung: Nahtlos von Nennweite

1/8" bis einschl. 6"

Stumpfgeschweißt von NW

1/8" bis einschl. 2"

{ schwarz
verzinkt
asphalziert
asphalt. u. bejuted

Bei Bestellung
besonders
anzugeben.

Werkstoff: Flußstahl St 00.29 DIN 1629, Gewicht zu 7,85 kg/dm³ angenommen.

Lieferart: Handelsüblich werden die Rohre in wechselnden Herstellungslängen nach laufenden Metern, mit kegeligem Gewinde an beiden Enden und einer aufgeschraubten Muffe geliefert. Werden die Rohre ohne Gewinde oder ohne Muffe gewünscht, so ist dies bei Bestellung besonders anzugeben. Abweichungen des Gewindekegels bis 1:32 sind zulässig.

Kaltwasserprobedruck: nahtlos 32 kg/cm², stumpfgeschweißt 16 kg/cm² für Gasrohre; 25 kg/cm² für Dampfrohre.

Technische Lieferbedingungen s. DIN 1629.

Aus der Festigkeitslehre.

Ein Körperteilchen, das unter der Einwirkung äußerer Kräfte steht, erfährt bleibende oder elastische Formveränderungen, die im allgemeinen aus **Längen-** oder aus **Winkeländerungen** bestehen. Diesen Veränderungen entsprechen Normalspannungen σ bzw. Schubspannungen τ .

a) Längenänderungen und Normalspannungen.

- l = ursprüngliche Länge eines zylindrischen Stabes vom Durchmesser d .
 P = gleichmäßig über die Endflächen verteilte, aber entgegengesetzt wirkende Zugkräfte von gleicher Größe.
 λ = durch die Zugkräfte hervorgerufene Vergrößerung von l .
 δ = durch die Zugkräfte hervorgerufene Verminderung von d .
 F = Stabquerschnitt.

Benennung	Zeichen
Dehnung = $\frac{\text{Verlängerung}}{\text{Ursprüngliche Länge}}$	ε oder $\frac{\lambda}{l}$ oder $\frac{\sigma}{E}$
Querzusammenziehung	εq oder $\frac{\delta}{d}$ oder $\frac{\varepsilon}{m}$
$\frac{\text{Dehnung}}{\text{Querzusammenziehung}}$	m (beträgt für Metalle etwa $3^{1/3}$)
Zug- oder Normalspannung (kg/cm ²) (auf den ursprünglichen Stabquerschnitt bezogen)	σ oder $\frac{P}{F}$
Dehnungszahl (cm ² /kg) = $\frac{\text{Dehnung}}{\text{Spannung}}$ (Zunahme der Einheit der Länge für 1 kg Spannung)	α oder $\frac{\varepsilon}{\sigma}$ oder $\frac{1}{E}$
Elastizitätsmodul (Elastizitätszahl) (kg/cm ²) (umgekehrter Wert von der Dehnungszahl)	E oder $\frac{1}{\alpha}$
Proportionalitätsgrenze ist diejenige Spannung (kg/cm ²), bis zu welcher die Dehnungen proportional den Spannungen sind (das Hookesche Gesetz gilt). Praktisch wird als Proportionalitätsgrenze diejenige Spannung bezeichnet, bei welcher die Dehnungszahl um 1% von der für kleine Spannungen gefundenen abweicht.	σ_P
Streck-, Fließ- oder Quetschgrenze ist diejenige Spannung (kg/cm ²), bei welcher bei starrer (bleibender) Dehnung ein Stillstehen oder ein Rückgang des Kraftanzeigers an der Prüfmaschine erfolgt (der Rohstoff fließt). Bei denjenigen Stoffen, bei denen keine ausgesprochene Streckgrenze auftritt, sind dafür diejenigen Spannungen genommen, bei welchen eine bleibende Dehnung von 0,2 mm der Meßlänge auftritt.	σ_S
Elastizitätsgrenze ist diejenige Spannung (kg/cm ²), bei welcher eine eben merkliche bleibende Dehnung nach der Entlastung zurückbleibt. Praktisch wird diejenige Spannung genommen, bei welcher die bleibende Dehnung 0,03% der Meßlänge beträgt.	σ_E
Elastische Dehnung ist die nach Entlastung des Stabes wieder verschwindende Dehnung.	λ_1
Dehnungsrest ist die dauernd bleibende Dehnung.	$\lambda_2 = \lambda - \lambda_1$; wenn $\lambda_2 = 0$ oder $\frac{\lambda_1}{\lambda} = 1$ vollkommene Elastizität

Benennung	Zeichen
Dehnung nach erfolgtem Bruche (vH der ursprünglichen Länge) l_b = Länge nach erfolgtem Bruche	$\varphi = 100 \frac{l_b - l}{l}$
Einschnürung nach erfolgtem Bruche (vH des ursprünglichen Querschnitts) F_b = Querschnitt an der Bruchstelle	$\psi = 100 \frac{F - F_b}{F}$

b) Winkeländerungen und Schubspannungen.

Greift an der oberen Fläche F eines an der unteren Fläche befestigten rechtwinkligen Quaders eine parallel zu F wirkende Kraft P an und werden dadurch die zur Grundfläche ursprünglich senkrechten Flächen aus dem Winkel γ verdreht, so gilt (für kleine Winkel γ) die Beziehung $P = G \cdot F \cdot \gamma$, wobei die Materialkonstante g als Gleitmodul bezeichnet wird. Dieselben Verhältnisse liegen auch bei der Verdrehung eines an einem Ende eingespannten Stabes vor.

Benennung	Zeichen
Schiebung (oder Gleitung) ist der Winkel, um den die zur Grundfläche senkrechten Flächen eines Prismas durch die in ihr und der Oberfläche paarweise (untereinander entgegengesetzten Richtungen) angreifenden Schubspannungen τ gedreht werden.	$\gamma = \frac{\tau}{G}$
Schubspannung (kg/cm ²) Schubspannung der Proportionalitätsgrenze σ_p entsprechend	$\tau = \frac{P}{F}$
Schubzahl (cm ³ /kg) = $\frac{\text{Schiebung}}{\text{Schubspannung}}$ = Winkeländerung für 1 kg/cm ² Schubspannung	τ_p $\beta = \frac{\gamma}{\tau} = \frac{1}{G}$
Gleitmaß, Schubmodul ist der umgekehrte Wert von β .	$G = \frac{1}{\beta}$
Beziehungen zwischen α und β sowie E und G : $\beta = \frac{2(m+1)}{m} \cdot \alpha$; $G = \frac{m}{2(m+1)} \cdot E$; für Metalle ($m = 3^{1/2}$; $\beta = 2,6 \alpha$) $G = 0,385 \cdot E$.	

c) Festigkeit, zulässige Spannung und Sicherheit gegen Bruch.

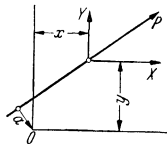
Festigkeit (kg/cm²) ist derjenige Spannungswert, bei welchem Bruch des Stabes eintritt. Zulässige Spannung ist die (gewöhnlich unter der Proportionalitäts- und Elastizitätsgrenze liegende) Spannung, bis zu der ein Körper durch äußere Kräfte auf eine der verschiedenen Festigkeiten beansprucht werden darf.

Nach der Art der Beanspruchung unterscheidet man:


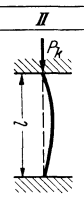
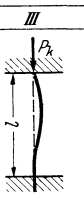
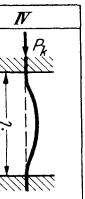
Festigkeiten	Zeichen	Zulässige Spannungen	Zeichen
Zugfestigkeit	σ_B	bei Zug	σ_{zul}
Druckfestigkeit	σ_{-B}	„ Druck	σ'_{dul}
Schubfestigkeit	τ_B	„ Schub	τ_{zul}
Biegefestigkeit	σ'_B	„ Biegung	σ'_{zul}
Drehfestigkeit	τ_B	„ Verdrehung	τ'_{zul}

Sicherheit gegen Bruch S ist allgemein das Verhältnis der Festigkeit zur zulässigen Spannung. 8fache Sicherheit gegen Bruch bei Zugbeanspruchung wird ausgedrückt durch $\sigma_B : \sigma_{zul} = 8$.

d) Trägheits-, Widerstands- und Kräfte Momente.

Benennung	Zeichen
Trägheitsmoment Als „Trägheitsmoment“ bezeichnet man die Summe der Produkte aus den Massenteilen m und den Quadraten ihrer Entfernung r von der Achse.	$J = \sum m \cdot r^2$
Querschnitts- oder Flächenträgheitsmoment ist die Summe der Produkte aus den Flächenteilen dF und den Quadraten ihrer Entfernung r von der Achse. Die Größe eines Linienteiles wird gewöhnlich mit 1 cm angenommen; 1 Flächenteil = 1 cm ² ; 1 Raumteil = 1 cm ³ ; die Entfernungseinheit = 1 cm.	$J = \sum dF \cdot r^2$
Trägheitsmoment bezogen auf Achse x	J_x
Widerstandsmoment	$W = \frac{J}{e}$
Widerstandsmoment bezogen auf Achse x . Abstand der entferntesten gezogenen bzw. gedrückten Faser (Randfaser) von Achse x in cm = e_x	$W_x = \frac{J_x}{e_x}$
Unter dem Moment einer Kraft P für einen Punkt O versteht man das Produkt aus der Kraft P und dem senkrechten Abstände a (Hebelarm) des Punktes O von der Wirkungslinie von P .	 $M = P \cdot a = X \cdot y - Y \cdot x$ $M_x = X \cdot y$ $M_y = Y \cdot x$
Biegemoment ist das Moment der Mittelkraft oder die algebraische Summe der Momente der Kräfte, die auf Biegung wirken.	M_b
Drehmoment (Torsionsmoment) ist das Moment der auf Drehung wirkenden Kraft.	M_d
Knickmoment	M_k

e) Eulersche Formeln für die Knickbelastung P_k (kg).

				Zulässige Belastung
				$P_0 = P_k : S$
				Sicherheitsgrad
				für Gußeisen . . . $S = 8$
				„ Flußstahl . . . $S = 5$
				„ Holz $S = 6 - 12$
				Überschreitet die nach der Eulergleichung sich ergebende Knickspannung
				$\left(= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2 \cdot F} ; \right)$ (F gleich Querschnitt)
				wesentlich die Proportionalitätsgrenze, so ist die Knicksicherheit nach einem anderen Verfahren nachzuprüfen (s. S. 118).
				
Ein Ende eingespannt, das andere frei	Beide Enden frei, in der Stabachse geführt	Ein Ende eingespannt, das andere in der Stabachse geführt	Beide Enden eingespannt und in der Stabachse geführt	
$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{4 \cdot l^2}$	$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2}$	$P_k \approx \frac{2 \pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2}$	$P_k = \frac{4 \pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2}$	

f) Knickspannung nach Tetmajer¹⁾.

Wegen der Unsicherheit über den Grad der Einspannung werden die Euler-Formeln III und IV selten benutzt. Die unrichtige Anwendung der Eulerschen Formeln kann zu Täuschungen führen, wenn die Proportionalitätsgrenze wesentlich überschritten wird.

Mit $S = 1$, $E = \frac{1}{\alpha}$, $J = i^2 \cdot F$ ($i =$ Trägheitshalbmesser, $F =$ Stabquerschnitt) wird nach Formel II die Knickkraft $P_k = \frac{\pi^2 \cdot F \cdot i^2}{\alpha \cdot l^2}$ oder $\frac{P_k}{F} = \sigma_K = \frac{\pi^2}{\alpha (l/i)^2} =$ Knickspannung. $\frac{l}{i} = \lambda$ ist der Schlankheitsgrad eines Stabes.

Im Gebiet der unelastischen Knickung gibt Tetmajer für Fall II an: $\sigma_K = K (1 - c_1 \lambda + c_2 \lambda^2) = P_k/F$. Dabei sind K , c_1 und c_2 vom Baustoff abhängige Festwerte, die für einige Werkstoffe in Zahlentafel 1 angegeben sind.

Zahlentafel 1. Werte von K , c_1 , c_2 und l/i .

	K	c_1	c_2	l/i
Flußstahl	3350	0,00185	0	— . . . 90
Weicher Flußstahl	3100	0,00368	0	10 . . . 105
Nickelstahl	4700	0,00490	0	— . . . 86
Gußeisen	7760	0,01546	0,00007	5 . . . 80
Bauholz	293	0,00662	0	1,8 . . . 100

Aus der Formel für σ_K ergibt sich bei S -facher Sicherheit:

$$P = \frac{P_k}{S} = F \frac{K}{S} (1 - c_1 \lambda + c_2 \lambda^2)$$

als Tragkraft eines Bauteiles.



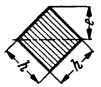

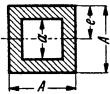
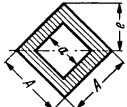
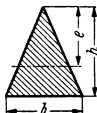
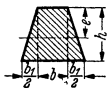
Wegen der beiden Unbekannten F und i nimmt man zuerst die Knickspannung σ_K und die Sicherheit S an und bestimmt die zulässige Druckspannung $\sigma_k = \sigma_K/S$ und $F = P/\sigma_k$ ($P =$ Belastung). Durch zweckentsprechende Wahl der Einzelabmessungen von F ergibt sich das Trägheitsmoment J (s. S. 119 u. f.) und der Trägheitshalbmesser $i = \sqrt{J/F}$, also auch der Schlankheitsgrad l/i . Damit ist die Nachprüfung der Wahl von σ_K unter Benutzung der Zahlentafel 2 möglich.

Zahlentafel 2. Werte von σ_K .





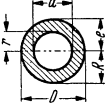
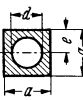
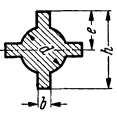
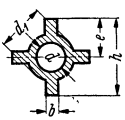
l/i	Flußstahl σ_K kg/cm ²	Weicher Flußstahl σ_K kg/cm ²	Gußeisen σ_K kg/cm ²	Bauholz σ_K kg/cm ²
105	—	1900	—	—
100	—	1960	—	99
90	2790	2070	—	120
80	2850	2190	1645	138
70	2910	2300	2030	157
60	2970	2420	2670	180
50	3030	2530	3120	196
40	3095	2640	3830	215
30	3160	2760	4650	235
20	3220	2870	5580	254
10	3280	2980	6610	274
5	3310	—	7180	283

¹⁾ Vgl. F. Röttscher, Die Maschinenelemente. Berlin: Springer 1927.

Flächeninhalte, Schwerpunktsabstände, Trägheits- und Widerstandsmomente gebräuchlicher Querschnitte.

Querschnitt	Flächeninhalt F	Schwerpunktsabstand e	Trägheitsmoment J	Widerstandsmoment $W = \frac{J}{e}$
	bh	$\frac{h}{2}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	h^2	$\frac{h}{2}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{h^3}{6}$
	h^2	$\frac{h}{2}\sqrt{2}$	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{h^3}{12} \cdot \sqrt{2} = 0,1179h^3$
	$b(H-h)$	$\frac{H}{2}$	$\frac{b}{12}(H^3 - h^3)$	$\frac{b}{6H}(H^3 - h^3)$
	$A^2 - a^2$	$\frac{A}{2}$	$\frac{A^4 - a^4}{12}$	$\frac{1}{6} \frac{A^4 - a^4}{A}$
	$A^2 - a^2$	$\frac{A}{2}\sqrt{2}$	$\frac{A^4 - a^4}{12}$	$\frac{A^4 - a^4}{12A} \sqrt{2} = 0,1179 \frac{A^4 - a^4}{A}$
	$\frac{h \cdot b}{2}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{b \cdot h^3}{36}$	$\frac{b \cdot h^2}{24}$
	$(2b+b_1) \frac{h}{2}$	$\frac{1}{3} \frac{[3b+2b_1]}{[2b+b_1]} h$	$\frac{6b^2+6bb_1+b_1^2}{36(2b+b_1)} h^3$	$\frac{6b^2+6bb_1+b_1^2}{12(3b+2b_1)} h^2$

Flächeninhalte, Schwerpunktsabstände, Trägheits- und Widerstandsmomente gebräuchlicher Querschnitte.

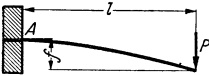
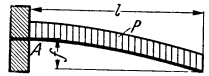
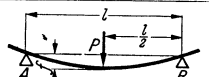
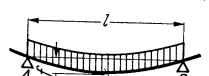
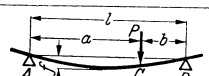
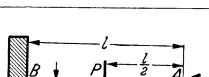
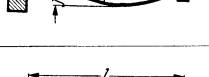
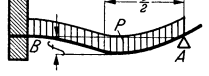
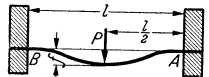

Querschnitt	Flächeninhalt F	Schwerpunktsabstand e	Trägheitsmoment J	Widerstandsmoment $W = \frac{J}{e}$
	$\left. \begin{aligned} &\frac{3}{2} \sqrt{3} \cdot r^2 \\ &= 2,598 r^2 \end{aligned} \right\}$	$\frac{r}{2} \sqrt{3} = 0,866 r$	$\left. \begin{aligned} &\frac{5\sqrt{3}}{16} r^4 = 0,5413 r^4 \\ &r \end{aligned} \right\}$	$\frac{5}{8} r^3$
				
	$2,828 r^2$	$0,924 r$	$\frac{1 + 2\sqrt{2}}{6} r^4 = 0,6381 r^4$	$0,6906 r^3$
	$\pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4} = 0,0491 d^4 \approx 0,05 d^4 = 0,7854 r^4$	$\frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi r^3}{4} = 0,0982 d^3 \approx 0,1 d^3 = 0,7854 r^3$
	$\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$	$\frac{D}{2}$	$\frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4) \approx 0,05 (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi D^4 - d^4}{32} \cdot \frac{D}{D} = \frac{\pi (R^4 - r^4)}{4} \cdot \frac{R}{R}$
	$a^2 - \frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{a}{2}$	$\frac{1}{12} \cdot \left(a^4 - \frac{3\pi}{16} d^4 \right)$	$\frac{1}{6a} \cdot \left(a^4 - \frac{3\pi}{16} d^4 \right)$
	$2b(h-d) + \frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{h}{2}$	$\frac{1}{12} \left[\frac{3\pi}{16} d^4 + b(h^3 - d^3) + b^3(h-d) \right]$	$\frac{1}{6h} \left[\frac{3\pi}{16} d^4 + b \cdot (h^3 - d^3) + b^3(h-d) \right]$
	$2b(h-d_1) + \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d^2)$	$\frac{h}{2}$	$\frac{1}{12} \left[\frac{3\pi}{16} (d_1^4 - d^4) + b(h^3 - d_1^3) + b^3(h-d_1) \right]$	$\frac{1}{6h} \left[\frac{3\pi}{16} (d_1^4 - d^4) + b(h^3 - d_1^3) + b^3(h-d_1) \right]$

Flächeninhalte, Schwerpunktsabstände, Trägheits- und Widerstandsmomente gebräuchlicher Querschnitte.

Querschnitt	Flächeninhalt F	Schwerpunktsabstand e	Trägheitsmoment J	Widerstandsmoment $W = \frac{J}{e}$
	$H B - h b$	$\frac{H}{2}$	$\frac{1}{12} (B H^3 - b h^3)$	$\frac{1}{6 H} \cdot (B H^3 - b h^3)$
	$H B + h b$	$\frac{H}{2}$	$\frac{1}{12} (B H^3 + b h^3)$	$\frac{1}{6 H} \cdot (B H^3 + b h^3)$
	$H B$ $- b (H - d)$	$\frac{e_1 = \frac{1}{2} \frac{a H^2 + b d^2}{a H + b d}}{e_2 = H - e_1}$	$\frac{1}{3} (B e_1^3 - b e_2^3) + a e_2^3$	$W_1 = \frac{J}{e_1}$ $W_2 = \frac{J}{e_2}$

Berechnung von verschieden belasteten Trägern.

Einfache Belastung.

Belastungsart	Stützkräfte A, B Größt. Biegemoment M_{\max}	Tragkraft P ; erforderl. Widerstandsm. W	Durchbiegung f	Gefährl. Querschnitt bei
	$A = P$ $M_{\max} = P \cdot l$	$P = \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{\sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{3 E \cdot J}$	A
	$A = P$ $M_{\max} = \frac{P \cdot l}{2}$	$P = \frac{2 \cdot \sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{2 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot J}$	A
	$A = B = \frac{P}{2}$ $M_{\max} = \frac{P \cdot l}{4}$	$P = \frac{4 \cdot \sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{4 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$	in der Mitte
	$A = B = \frac{P}{2}$ $M_{\max} = \frac{P \cdot l}{8}$	$P = \frac{8 \cdot \sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{8 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{5 \cdot P \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot J}$	in der Mitte
	$A = \frac{P \cdot b}{l}; B = \frac{P \cdot a}{l}$ $M_{\max} = \frac{P \cdot a \cdot b}{l}$	$P = \sigma'_{\text{zul}} \cdot W \cdot \frac{l}{a \cdot b}$ $W = \frac{P \cdot a \cdot b}{l \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot a^3 b^3}{3 E J \cdot l}$	C
	$A = \frac{5}{16} P$ $B = \frac{11}{16} P$ $M_{\max} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{16}$	$P = \frac{16 \sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{3 \frac{l}{2}}$ $W = \frac{3 \cdot P \cdot l}{16 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{E J \cdot 768}$	B
	$A = \frac{3}{8} P$ $B = \frac{5}{8} P$ $M_{\max} = \frac{P \cdot l}{8}$	$P = 8 \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{8 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{E J \cdot 185}$	B
	$A = B = \frac{P}{2}$ $M_{\max} = \frac{P \cdot l}{8}$	$P = 8 \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{8 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{E J \cdot 192} = \frac{1}{12} \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot l^2}{E \cdot h}$	A, B und in der Mitte
	$A = B = \frac{P}{2}$ $M_{\max} = \frac{1}{12} P \cdot l$	$P = 12 \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{l}$ $W = \frac{P \cdot l}{12 \cdot \sigma'_{\text{zul}}}$	$f = \frac{P \cdot l^3}{E J \cdot 384} = \frac{1}{16} \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot l^2}{E \cdot h}$	A und B
	$A = B = P$ Für AB: $M = P \cdot c$ $= \text{konst.}$	$P = \frac{\sigma'_{\text{zul}} \cdot W}{c}$ $W = \frac{P \cdot c}{\sigma'_{\text{zul}}}$	$f_1 = \frac{P \cdot l^3 \cdot c}{E J \cdot 8 \cdot l}$ $f_2 = \frac{P \cdot c^2}{E J \cdot 3} \left(c + \frac{3l}{2} \right)$	einer beliebigen Stelle zwischen A und B

Träger auf zwei Stützen, mit mehrfacher Belastung.

	Auflagekräfte
	$A = \frac{1}{l} (P_1 b_1 + P_2 b_2 + P_3 b_3 + \dots)$ $B = \frac{1}{l} (P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3 a_3 + \dots)$

Der gefährliche Querschnitt ist derjenige, für den die Querkraft Null ist bzw. das Vorzeichen wechselt, für den also $A - \sum P \geq 0$.

Ist der gefährliche Querschnitt bestimmt, läßt sich das größte Biegemoment M_{\max} und damit bei einer zulässigen Beanspruchung σ'_{zul} das erforderliche Widerstandsmoment W des Trägers berechnen.

$$\text{Es ist dann: } W = M_{\max} : \sigma'_{\text{zul}}.$$

Kragleisträger.

Zwei gleich große Lasten P im unveränderlichen Abstand a bewegen sich auf einem Träger von der Stützweite l , wobei $a < \frac{1}{2} \cdot l$ sein muß. Die ungünstigste Laststellung zur Bestimmung des größten Biegemomentes ist bei $x = \frac{1}{4} \cdot a$.

	Auflagerdrucke	Größt. Biegemoment
	$A = P \left(1 + \frac{a}{l} - \frac{2x}{l} \right)$ $B = P \left(1 - \frac{a}{l} + \frac{2x}{l} \right)$	$M_{\max} = \frac{Pl}{2} \left(1 - \frac{a}{2l} \right)^2$ $= \frac{Pl}{8} \left(2l - a \right)^2$

Diese Formeln gelten nur, falls beide Lasten P auf der Länge l stehen.

Ist $a : l \geq 0,5858$, so ist stets $M_{\max} = \frac{1}{4} \cdot P \cdot l$, wobei nur eine Last P auf dem Träger, und zwar in Trägermitte steht.

1. Beispiel: Ein frei aufliegender Träger mit der Auflagerentfernung 6 m sei mit 6000 kg gleichmäßig gelastet. Welches I-Profil ist zu wählen?

$$W = \frac{P \cdot l}{8 \cdot \sigma'_{\text{zul}}} = \frac{6000 \text{ kg} \cdot 600 \text{ cm}}{8 \cdot 1200 \text{ kg/cm}^2} = 375 \text{ cm}^3.$$

Dem entspricht ein I-Träger Nr. 26.

2. Beispiel: Eine Last von 2500 kg soll von zwei einseitig eingespannten \square -Eisen aufgenommen werden. Die Last wirkt in der Entfernung 2 m von der Aufspannstelle.

$$W = \frac{P \cdot l}{\sigma'_{\text{zul}}} = \frac{2500 \text{ kg} \cdot 200 \text{ cm}}{1200 \text{ kg/cm}^2} = 417 \text{ cm}^3.$$

Da die Last sich auf zwei Eisen verteilt, ist $\frac{W}{2} = 209 \text{ cm}^3$ in Rechnung zu stellen. Dem entspricht ein Profil Nr. 22.

Elastizitäts- und Festigkeitszahlen für Eisen und Stahl.

Die Zahlen gelten in kg/cm².

Werkstoff	Elastizitätszahl $E = \frac{1}{\alpha}$	Gleit- zahl $G = \frac{1}{\beta}$	Proportio- nalitäts- grenze σ_P	Streck- (Quetsch-) grenze σ_S	Festigkeit	
					Zug σ_B	Druck σ_{-B}
Gußeisen . .	750 000 bis 1 050 000	290 000 bis 400 000	—	—	1200 bis 2400	6000 bis 8500
Schweißstahl	2 000 000	770 000	1300 bis 1600	1800 bis 2300	3300 bis 4000 ¹⁾	Quetsch- grenze maßgebend
Flußstahl . . (Allg. Bau- stahl)	2 100 000	810 000 bis 830 000	1800 bis 2300	2000 und mehr	3400 bis 4500	Quetsch- grenze maßgebend
Stahlguß . .	2 150 000	830 000	2000 und mehr	2100 und mehr	3500 bis 7000 und mehr	Wie bei Flußstahl
Flußstahl ge- schmiedet .	2 100 000	810 000	2500 bis 6000 und mehr; je nach Be- handlung	3000 und mehr; härterer Flußstahl keine ausge- prägte Streck- grenze	5000 bis 20 000 und noch darüber	Bei weichem Flußstahl die Quetsch- grenze maß- gebend; σ_{-B} sonst mit dem Grade der Härte bis über die Zugfestig- keit steigend
Federstahl ungehärtet	2 100 000	850 000 bis 880 000	5000 und mehr	—	Bis 10 000 und mehr	—
gehärtet .			7500 und mehr	—	Bis 17 000	—
Nickelstahl für Brük- ken ²⁾ . .	2 090 000	—	—	3800	5600 bis 6700	—

¹⁾ Gilt für Schweißstahl || zur Sehnenrichtung: für Schweißstahl ⊥ zur Sehnenrichtung ist $\sigma_B = 2800$ bis 3500.

²⁾ In Deutschland 2 bis 2,5 vH Ni; in Amerika > 3,25 vH Ni.

Zulässige Belastungen der Bauwerke.

a) Zwischendecken.

Art der Nutzlast	Zul. Belastung kg/m ²
Nutzlast für Wohngebäude und kleine Geschäftshäuser unter 50 m ² durch Möbel, Menschen usw., abgesehen von den in einzelnen Räumen etwa vorkommenden besonderen Belastungen durch Akten, Bücher, Waren, Maschinen usw.....	200
Nutzlast in Geschäftsgebäuden von mehr als 50 m ² Grundfläche, Versammlungssälen, Unterrichtsräumen, Turnhallen, Lichtspielhäusern, Büchereien, Archiven	500
Nutzlast in Fabriken und Werkstätten für leichteren Betrieb	500
Nutzlast für Decken unter Durchfahrten und befahrbaren Höfen, wenn nicht größere Einzellasten (Rad- druck) zu berücksichtigen sind	800
Treppen-Nutzlast	500
Nutzlast in Dachbodenräumen von Wohngebäuden.....	125
Nutzlast für Werkstätten und Fabriken mit schwerem Betrieb, sowie für Decken unter Durchfahrten und befahrbaren Höfen ist, wenn stoßweise Erschütterungen zu erwarten sind, auf Verlangen der Baupolizei die Belastungsziffern um 50 bis 100 vH zu erhöhen	

b) Dächer.

In der Mitte der einzelnen Dachteile (Sparren, Pfetten, Sprosseneisen usw.) ist eine Nutzlast von 100 kg für einzelne, das Dach bei Wiederherstellungs- oder Reinigungsarbeiten betretende Personen anzunehmen, sofern die Wind- und Schneelast weniger als 200 kg/m² beträgt, unter Außerachtlassung dieses Schnee- und Winddruckes.

Die auf 1 m² der waagerechten Projektion einer Dachfläche entfallende Schneelast S ist für die Neigungswinkel α der Dachfläche gegen die Waagerechte:

$$\alpha = 20^\circ \quad 25^\circ \quad 30^\circ \quad 35^\circ \quad 40^\circ \quad 45^\circ \quad >45^\circ$$

$$S = 75 \quad 70 \quad 65 \quad 60 \quad 55 \quad 50 \quad 0 \text{ kg}$$

Der auf eine Fläche F unter einem Anfallswinkel α senkrecht zu ihr wirkende Wind- druck ist $w \cdot F \cdot \sin^2 \alpha$, wobei im mittleren Deutschland w 100 bis 150 kg/m² beträgt.

Festigkeitszahlen der Hölzer.

Die Festigkeitszahlen sind wesentlich abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt H . Dieselben nehmen mit wachsender Feuchtigkeit erheblich ab; mit zunehmender Lagerungszeit vergrößert sich die Druckfestigkeit bedeutend. Elastizitätsmaß E ist für Druck nahezu unveränderlich. — Die folgenden Angaben beziehen sich auf den ganzen Querschnitt, Kernholz und Splintholz bei einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 15%.

Biegung: Der Stammkern liegt in der Querschnittsmitte.

Holzart	Festigkeit kg/cm ²					
	Zug	Druck		Biegung	Schub	
	|| zur Faser	||	⊥		||	⊥
		zur Faser	zur Faser		zur Faser	
Eiche	1000	400	150	600	75	300
Buche	1300	350	—	670	85	—
Kiefer	800	280	85	470	45	—
Fichte und Tanne	750	250	75	400	40	250

Die Elastizitätszahl E ist bei statischen Berechnungen für alle Bauhölzer mit 100000 kg/cm² anzunehmen.

Die Proportionalitätsgrenze σ_P beträgt für Laubholz etwa 100 bis 500, für Nadelholz etwa 150 bis 200 kg/cm².

Zulässige Spannung σ_{zul} in kg/cm² bei rechtwinkligem und parallelem Kraftangriff

Holzart	Druck in Faser-richtung	Biegung	Zug in Faser-richtung	Druck rechtwinklig zur Faser-richtung	Abscheren in Faser-richtung
Eiche und Buche ..	100	110	100—110	35—40	20
Nadelholz	80	100	80—100	15—25	12

Stützen müssen nach der Eulerschen Formel (s. S. 117) mit $E = 100000$ kg/cm² eine sieben- bis zehnfache Sicherheit gegen Knicken haben ($J_{min} = 70 Pl^2$ bis $100 Pl^2$). Die untere Grenze von J gilt aber nur für vorübergehende Bauten.

Dauerfestigkeit.

Dauerbrüche treten auf, wenn bei „wechselnder Beanspruchung“ die Dauerfestigkeit des Werkstoffs an einer Stelle des betreffenden Bauteils überschritten wird. Abb. Df 1 und 2 lassen das Aussehen erkennen. Die glatte, mit „Rastlinien“ durchsetzte Dauerbruchzone hat sich durch den anfangs sehr geringen, allmählich aber fortschreitenden Anriß gebildet. Die vielfach körnige Restbruchzone ist durch die plötzliche, gewaltsame Zerstörung entstanden, die eintrat, nachdem der Bauteil durch den Anriß weit genug geschwächt war. Der Restbruch erfolgt ohne vorherige Anzeichen, da der sehr feine Anriß meist nicht bemerkt wird. Daher ist öfteres Untersuchen wechselnd beanspruchter Bauteile auf Haarrisse notwendig.

Wechselnde Beanspruchung ist jede Beanspruchung, die zwischen zwei Grenzwerten pendelt. Zeitlicher Verlauf und Frequenz der Pendelung sind für die Dauerfestigkeit praktisch ohne Bedeutung. Im Idealfall ist der Verlauf sinusförmig gemäß Abb. Df 3.

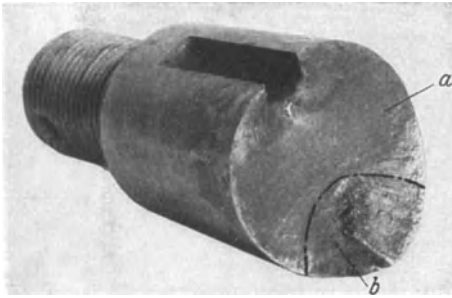


Abb. Df 1.

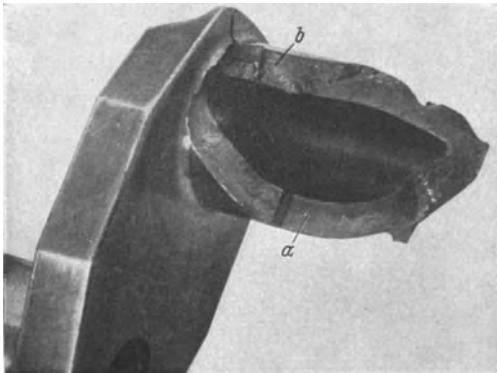


Abb. Df 2.

**Aussehen von Biegungs- (Abb. Df 1) und Verdrehungs-
dauerbrüchen (Abb. Df 2).**

a Dauerbruchzone, *b* Restbruchzone.

Dauerfestigkeit ist der Grenzwert der wechselnden Beanspruchung, gekennzeichnet durch $\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_A$, der gerade noch beliebig lange ertragen wird; Bezeichnungen:

$\sigma_D = \sigma_m \pm \sigma_A$ = Dauerfestigkeit (allgemeiner Oberbegriff).

σ_A = Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit.

$\sigma_m = \frac{\sigma_0 + \sigma_u}{2}$ = Mittelspannung (Bedeutung von σ_0 und σ_u siehe Abb. Df 3).

σ_W = Wechselfestigkeit (Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit für $\sigma_m = 0$).

σ_0 = Oberspannung der Dauerfestigkeit. (Nur gültig bei gleichzeitiger Angabe der zugehörigen Unterspannung σ_u .)

σ_U = Ursprungsfestigkeit (Oberspannung der Dauerfestigkeit bei $\sigma_u = 0$).

Ermittlung erfolgt auf Dauerprüfmaschinen durch Aufnahme von Wöhlerkurven, Abb. Df 4, mit mindestens 5 bis 6 ganz gleichen Proben.

Ermittelt wird bei zweckmäßig gestaffeltem Spannungsausschlag σ_a und bei gleichbleibender Mittelspannung σ_m die von den einzelnen Proben bis zum Bruch ertragene Anzahl N der Lastspiele. Die Wöhlerkurve ergibt sich, wenn man σ_a (im einfachen Maßstab) über den zugehörigen Werten von N (hierfür logarithmische Teilung) aufträgt. Der Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit σ_A ist der Wert von σ_a , dem sich die Wöhlerkurve asymptotisch nähert. Diese Näherung wird bei Teilen aus Stahl fast stets nach 10 Millionen Lastspielen erreicht, während sie bei Leichtmetallen erst sehr spät eintritt (100 Millionen Lastspiele und mehr). Die zugehörige Lastspielzahl heißt Grenzspielzahl. Zur Abkürzung der Versuchsdauer werden die Versuche häufig nicht bis zum Erreichen des waagerechten Astes der Wöhlerkurve durchgeführt. Zur eindeutigen Kennzeichnung ist deshalb bei der Angabe der Dauerfestigkeitswerte die Grenzspielzahl stets mit anzugeben. Es bedeutet z. B.

- $\sigma_{D10 \cdot 10^6}$: Dauerfestigkeit bei einer Grenzspielzahl von 10 Millionen.
- $\sigma_{D2 \cdot 10^6}$: Dauerfestigkeit bei einer Grenzspielzahl von 2 Millionen.

Das **Dauerfestigkeits-Schaubild**, Abb. Df 5 (Beispiel für St 50.11), zeigt die Dauerfestigkeit für Biegung, Zug-Druck und Verdrehung bei Prüfstäben von (meist) 10 mm Durchmesser (bzw. Dicke bei Flachproben), ideal-kerbfreier Form und polierter Oberfläche. Aus dem Schaubild kann man zu jeder Mittelspannung σ_m den Spannungsausschlag σ_A abgreifen. Das Schaubild ist bei der Wechselfießgrenze σ_S abzuschneiden; σ_S = Grenzwert

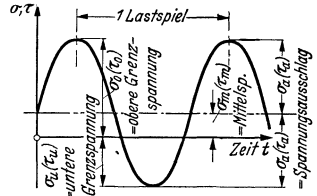


Abb. Df 3. Allgemeiner Verlauf einer wechselnden Beanspruchung.

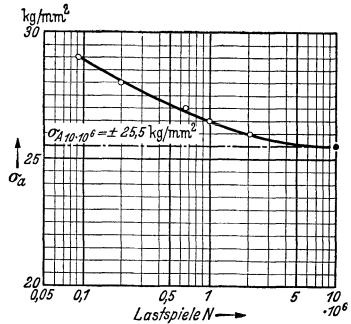


Abb. Df 4. Wöhlerkurve für St 50.11 bei Biegebeanspruchung, σ_a von 29 kg/mm² bei $0,095 \cdot 10^6$ Lastspielen auf $\sigma_{A10 \cdot 10^6} = \pm 25,5$ kg/mm² bei $10 \cdot 10^6$ Lastspielen abnehmend.

Zahlentafel 1. Dauerfestigkeit einiger Werkstoffe.

Werkstoff	Durchschnittliche Zusammensetzung							Dauerfestigkeit				
	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Streckgrenze σ_s kg/mm ²	Dehnung δ_{10} vH	Wechselbiegefestigkeit $\sigma_{Wz} 10^7$ kg/mm ²	Wechselzugfestigkeit $\sigma_{Wz} 10^7$ kg/mm ²	Wechselverdrehtfestigkeit $\tau_{Wz} 10^7$ kg/mm ²	Ursprungsfestigkeit (Zug) $\sigma_{Dz} 10^7$ kg/mm ²
	vH	vH	vH	vH	vH	vH						
St 37.11	0,12	0,1	0,4	—	—	—	37	22	±17	±12	±10	22
St 42.11	0,25	0,2	0,6	—	—	—	45	25	±19	±13,5	±11	24,5
St 50.11	0,35	0,25	0,7	—	—	—	55	31	±24	±18	±14	32
St 60.11	0,45	0,3	0,7	—	—	—	65	36	±28	±20	±16	36
St 70.11	0,6	0,4	0,7	—	—	—	75	42	±32	±23	±19	40
VCN 15 w	0,25...0,32	0,35	0,4...0,8	1,5	0,5	—	70	45	±32	±23	±19	38
VCN 15 h	0,32...0,40	0,35	0,4...0,8	1,5	0,5	—	80	56	±36	±26	±22	45
VCN 25 w	0,25...0,32	0,35	0,4...0,8	2,5	0,75	—	78	54	±34	±25	±21	42
VCN 25 h	0,32...0,40	0,35	0,4...0,8	2,5	0,75	—	88	61	±38	±28	±23	48
VCN 35 w	0,2...0,27	0,35	0,4...0,8	3,5	0,75	—	83	62	±36	±27	±21	46
VCN 35 h	0,27...0,35	0,35	0,4...0,8	3,5	0,75	—	98	73	±42	±30	±24	52
VCN 45	0,3...0,4	0,35	0,4...0,8	4,5	1,3	—	115	92	±46	±35	±28	60
Cr-Ni-W	0,3...0,5	0,2...0,3	0,3...0,5	3,5...4,5	0,9...1,2	0,5...0,7	120	100	±50	±37	±30	66
Grauguß Ge 12	3,3	2,33	0,5	—	—	—	11,6	—	±6,0	—	±4,5	—
Sonderguß Ge 24	2,94	2,0	1,07	—	—	—	24,8	—	±9,0	—	±7,5	—
Stahlguß	0,20	0,28	0,61	—	—	—	49,6	30	±18	±12	±11	22
Federstahl	0,45	1,0	0,5	—	1,0	—	120	105	±54	±36	±30	—
Federstahl	0,54	0,25	0,82	—	1,1	Va	145	115	±60	±39	±32	—
Al	—	Si	Cu	Zn	Mg	—	—	—	$\sigma_{Wz} 10^8$	$\sigma_{Wz} 10^8$	$\tau_{Wz} 10^8$	$\sigma_{Dz} 10^8$
Si	vH	vH	vH	vH	vH	—	—	—	±4,5	—	±2,5	—
87	13	—	—	4,5	95,5	—	17,5	12	±4,5	—	±3,0	—
Elektronguß	—	—	—	—	—	—	17	13	±6,5	—	—	—
Elektronpreßlegierung vergütet	—	—	—	—	—	—	36	20	±13	—	±8,0	—
Duralumin, gegülht	94,4	0,3	4,0	Mn 0,5	95,5	—	27	12	±12	—	±6,5	—
Aluminium, gegülht	99,5	—	—	Mn	0,5	Fe	9,8	5,5	±5,0	—	±3,0	—
Messing, gegülht	—	—	70	30	—	—	34	11	±15	—	±8,5	—
Schmiedebronze, gewalzt	—	—	94	—	—	—	57	43	±13	—	±7,5	—
Kupfer(hartgezogen)	—	—	99,0	—	—	Fe	35	29	±12	—	±5,0	—

von σ_m , bei dem der Probestab fließt, wenn ein geringer Spannungsaus-
schlag von z. B. $\sigma_a = \pm 1 \text{ kg/mm}^2$ aufgebracht ist. Der Spannungsaus-
schlag σ_A ändert sich mit σ_m nur wenig, z. B. bei St 50.11 von $\sigma_m = 0$ bis
 $\sigma_m = \sigma_S$ um 10 vH, bei legiertem
Stahl mit $\sigma_B = 120 \text{ kg/mm}^2$ um
20 vH.

Deshalb ist für die Berech-
nung dauerbruchsicherer Kon-
struktionen in erster Linie der
Spannungsausschlag σ_A maß-
gebend. Zahlentafel 1 zeigt sta-
tische Festigkeitswerte und
Dauerfestigkeiten σ_{Wz} , σ_{Wb} und
 τ_W für einige Werkstoffe. Außer-
dem ist noch die Ursprungs-
festigkeit für Zugbeanspru-
chung σ_{Wz} angegeben. Mit diesen
Werten kann das Dauerfestig-
keits-Schaubild aufgezeichnet
werden. Diese Werte sind die
höchst erreichbaren Grenzwerte.

Durch den **Einfluß der Werk-
stückgröße, der Oberflächen-
beschaffenheit und der Form-
gebung** ist die Dauerfestigkeit
der Bauteile selbst niedriger.

Der Einfluß der Werkstück-
größe ist noch nicht hinrei-
chend erforscht. Abb. Df 6
zeigt als vorläufigen Anhalt die vermutete Abnahme der Biegewechsel-
festigkeit und Drehwechselfestigkeit mit dem Wellendurchmesser (z. B.
hat eine Welle $30 \varnothing$ σ_A nur 85 vH, $60 \varnothing$ nur 65 vH des im Dauer-
festigkeits-Schaubild, Abb. Df 5, angegebenen
Wertes).

Der Einfluß von Oberflächenbear-
beitung, Oberflächenverletzungen
und Korrosion ist aus Abb. Df 7 zu
entnehmen. Dieser Einfluß ist in erster
Näherung von der Zugfestigkeit σ_B abhän-
gig. Zur Berücksichtigung ist der Span-
nungsausschlag σ_A mit der aus Abb. Df 7
zu entnehmenden Kennzahl O_k zu multipli-
zieren.

Beispiel. Gesucht: Dauerbiegefestigkeit von Feder-
stahl $\sigma_B = 140 \text{ kg/mm}^2$ mit Walzhaut; aus Zahlen-
tafel 1 ergibt sich $\sigma_{Wb} = \pm 60 \text{ kg/mm}^2$; aus Abb. Df 7
für Walzhaut bei $\sigma_B = 140 \text{ kg/mm}^2$, $O_k = 0,31$; also
 $\sigma_A = \pm 60 \cdot 0,31 = \pm 18,6 \text{ kg/mm}^2$.

Einfluß der Formgebung. (Kerbwirkung konstruktiver Kerben.)

Die Dauerfestigkeit von ganzen Bauteilen wird ebenfalls durch Aufnahme
von Wöhlerkurven an wenigstens je 6 gleichen Proben bei verschiedenem
Spannungsausschlag ermittelt, wobei für jede Probe die bis zum Bruch er-

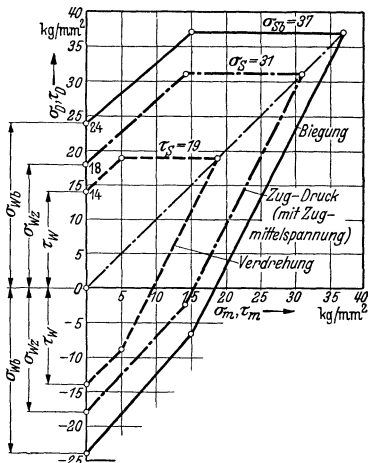


Abb. Df 5. Dauerfestigkeits-Schaubild von
St 50.11, mittlere statische Festigkeitswerte:
 $\sigma_B = 55 \text{ kg/mm}^2$; $\sigma_S = 31 \text{ kg/mm}^2$; $\delta_{10} = 18 \text{ vH}$.
Durchschnittliche Analyse: C $\approx 0,35 \text{ vH}$,
Si $\approx 0,25 \text{ vH}$, Mn $\approx 0,7 \text{ vH}$.

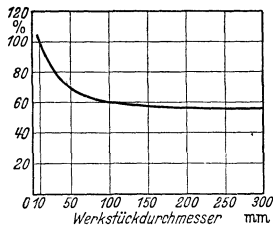


Abb. Df 6. Vermutlicher Ver-
lauf der Dauerbiege- und der
Dauerreh-Festigkeit mit dem
Wellendurchmesser in Hundert-
teilen der Werte von Abb. Df 5.

tragene Anzahl der Lastspiele N festgestellt wird. Dabei ergibt sich meist ein Streufeld, dessen untere Grenze für die Dauerfestigkeit maßgebend ist. Abb. Df 8 zeigt ein Beispiel. Angegeben wird entweder die Nenndauerfestigkeit, d. h. der nach den elementaren Formeln der Festigkeitslehre an der Bruchstelle errechnete Spannungsausschlag an der Dauerfestigkeits-

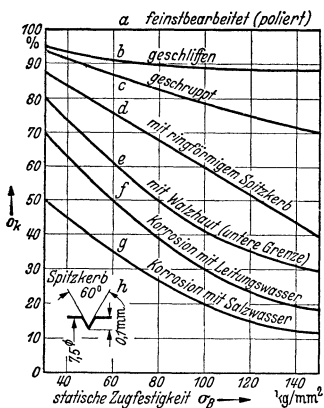


Abb. Df 7. Kennzahlen O_k für den Einfluß von Oberflächenverletzungen auf die Dauerbiegefestigkeit.

Zugmutter, Gewindegund stark ausgerundet: $\sigma_A = \pm 8$ bis 10 kg/mm^2 bei $\sigma_m = 15$ bis 20 kg/mm^2 . Werkstoff W-F-100 (austenitischer Cr-Ni-Stahl mit 12 bis 15 vH Cr, 12 bis 15 vH Ni) kalt gezogen, Zugmutter, Gewindegund stark

grenze oder die Kerbwirkungszahl β_k , d. h. das Verhältnis der Nenndauerfestigkeit des Bauteiles zum Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit, welche der Werkstoff bei idealer Formgebung und Oberfläche hat. Einige der wichtigsten Ergebnisse sind nachstehend zusammengestellt.

Schrauben.

Werkstoff St 38.13, normale Ausführung

mit Stahlmutter

$$\sigma_A = \pm 4,5 \text{ kg/mm}^2 \text{ bei}$$

$$\sigma_m = 12 \text{ bis } 15 \text{ kg/mm}^2,$$

mit Gußeisenmutter

$$\sigma_A = \pm 6 \text{ kg/mm}^2 \text{ bei}$$

$$\sigma_m = 15 \text{ kg/mm}^2.$$

Werkstoff Cr-Mo-Stahl:

$$\sigma_B = 100 \text{ kg/mm}^2.$$

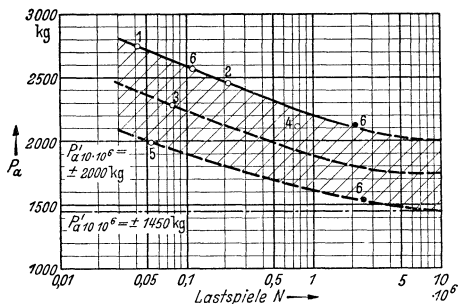


Abb. Df 8. Wöhlerschaubild mit Streufeld.
o gebrochen; • nicht gebrochen.

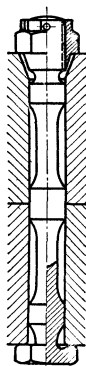
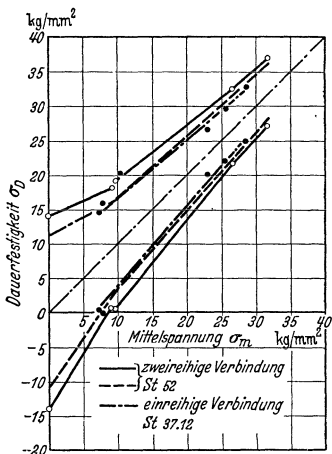


Abb. Df 9. Richtige Ausbildung einer durch Wechselkräfte beanspruchten Schraube.

ausgerundet, $\sigma_A = \pm 16$ bis 17 kg/mm^2 bei $\sigma_m = 25 \text{ kg/mm}^2$. Nitrierte Schrauben $\sigma_A = \pm 20$ bis 25 kg/mm^2 . Abb. Df 9 zeigt die richtige Formgebung für eine auf Wechselfestigkeit beanspruchte Schraubenver-

bindung. Bei Schrauben sehr großer Abmessungen Anwendung des „Solt-Gewindes“ zu empfehlen. Messung der richtigen Vorspannung durch Messung der Längenänderung des Schraubenbolzens mittels Schraublehre. Bei Pleuelschrauben und anderen hochbeanspruchten Schrauben ist die richtige Vorspannung Vorbedingung für die Dauerhaltbarkeit. Solche Schrauben der Länge nach durchbohren, Meßstift einsetzen, der am unteren Ende der Bohrung befestigt; Bewegung des oberen Stiftendes gegen obere Stirnfläche des Schraubenbolzens gemessen mit Tiefenmikrometer gibt genaues Maß für die Vorspannung.

Abb. Df 10. Dauerfestigkeits-Schaubild von Nietverbindungen nach Graf. Ausgezogen: zweireihige Doppel-Laschennietung aus St 52, Nieten aus St 44; Grenzspielzahl 500000. Gestrichelt: vermutliche Dauerfestigkeit dieser Nietverbindungen bezogen auf eine Grenzspielzahl von 10 Millionen. Strichpunktiert: Dauerfestigkeit von einreihigen Doppel-Laschennietungen aus St 37, Nieten aus St 44, ermittelt für eine Grenzspielzahl von 2 Millionen.



Nietverbindungen.

Abb. Df 10 zeigt das von Graf für zweireihige Nietverbindungen ermittelte Dauerfestigkeits-Schaubild. Die Werte für St 37 und St 52 fallen praktisch zusammen. Der Spannungsausschlag der Dauerfestigkeit σ_A ändert sich stark mit der Mittelspannung.

Beispiel.

- $\sigma_m = 0; \quad \sigma_A = \pm 14 \text{ kg/mm}^2$
- $\sigma_m = 7,5; \quad \sigma_A = \pm 7,5 \quad \text{„}$
- $\sigma_m = 30; \quad \sigma_A = \pm 3,5 \quad \text{„}$

Schweißverbindungen.

Zum Erreichen von Schweißverbindungen hoher Dauerfestigkeit, Laschen mit Stirn- und Flankennähten

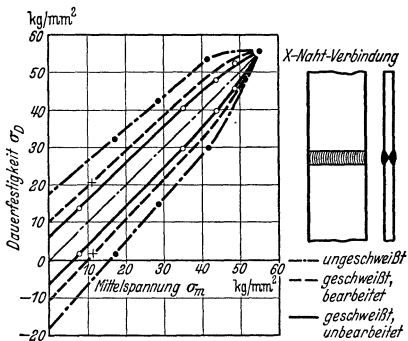


Abb. Df 11. Dauerfestigkeits-Schaubild von St 52 bei Zug-Druckbeanspruchung mit und ohne Schweißung nach Bierett.

vermeiden: Stumpfschweißungen mit V- oder X-Naht und sorgfältig nachgeschweißter Wurzel. Der über die Oberfläche vorstehende Teil der Schweißung ist abzuschleifen, bis eine ganz glatte Fläche entsteht.

- Flankennaht aus St 37 $\sigma_A = \pm 4 \text{ kg/mm}^2$,
- unbearbeitete V-Naht, Wurzel nachgeschweißt . . . $\sigma_A = \pm 6 \text{ kg/mm}^2$,
- bearbeitete V-Naht, Wurzel nachgeschweißt . . . $\sigma_A = \pm 9 \text{ kg/mm}^2$.

Bei hochbeanspruchten Konstruktionen, namentlich bei St 52 und Plattenstärken über 20 mm sind — wenn irgend möglich — die Stücke vor dem Schweißen auf 100 bis 150° vorzuwärmen, um Schweißrisigkeit und Sprödigkeit zu begegnen. Maschinenteile, z. B. Gestelle, nach dem Schweißen stets spannungsfrei glühen und bei 600° langsam im Ofen erkalten lassen.

Abb. Df 11 zeigt die Dauerfestigkeit von X-Stumpfnähten.

Blattfedern,

einzelne Blätter mit Walz- und Härteoxydhaut aus Werkstoff mit $\sigma_B = 140$ bis 150 kg/mm².

Bei $\sigma_m = 40$ kg/mm² $\sigma_A = \pm 13$ bis 20 kg/mm² je nach Oberflächengüte, geschliffene Blätter bei $\sigma_m = 50$ kg/mm² . . . $\sigma_A = \pm 40$ bis 45 kg/mm², betriebsfertig geschichtete Blattfedern, Blätter

mit Walzhaut $\sigma_A = \pm 10$ kg/mm², 1)

biegebeanspruchte Schraubenfedern, gehärtet,

Oberfläche mit Oxydhaut $\sigma_A = \pm 12$ bis 15 kg/mm².
(Einspann-Enden verstärkt ausbilden, mit großer Hohlkehle anschließen.)

Schraubenfedern.

Ventilfedern Drahtdurchmesser, etwa 4 mm,

Klaviersaitendraht $\tau_A = \pm 15$ bis 18 kg/mm².

Cr-Si-Stahl aus geschliffenen Stangen, nach besonderem Verfahren gehärtet $\tau_A = \pm 25$ kg/mm².

Starkdrähtige Schraubenfedern $d = 20$ bis 35 mm

üblicher Herstellung $\tau_A = \pm 4$ kg/mm²,

aus geschliffenen Stangen, cyangehärtet . . . $\tau_A = \pm 10$ bis 12 kg/mm²

τ_A bleibt von der Mittelspannung praktisch unbeeinflusst.

Drehstabfedern.

Widerstandsmoment des der Verzahnung der Köpfe einbeschriebenen Durchmessers mindestens 3 mal so groß wie Widerstandsmoment des Schaftquerschnittes. Drehdauerfestigkeit bei $\tau_m = 35$ kg/mm², bei ungünstiger Herstellung $\tau_A = \pm 13$ bis 15 kg/mm². Bei sorgfältigster Härtung, Abschleifen der Oberfläche nach der Wärmebehandlung um etwa 1 mm,

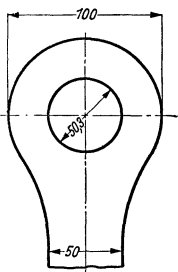


Abb. Df 12. Stabkopf alter Art (Kreisringform).

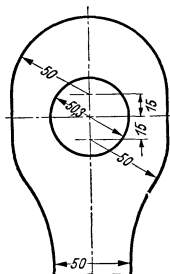


Abb. Df 13. Stabkopf verbesserter Form mit überhöhtem Scheitel.

sorgfältigste Politur der Oberfläche τ_A bis ± 30 kg/mm². Günstigste Werte mit 3-Si-Stahl.

Stabköpfe.

Übliche Ausführung, Abb. Df 12 (Kreisringkopf), bei St 50.51

Bolzen mit üblichem Spiel . . $\sigma_A = \pm 5,5$ kg/mm²,

Bolzen mit Gleitsitz $\sigma_A = \pm 6,5$ kg/mm²;

60 vH überhöhter Scheitel gemäß Abb. Df 13:

Bolzen mit Spiel $\sigma_A = \pm 9$ kg/mm².

1) Berechnung s. Dr.-Ing. E. Lehr VDI u. Dipl.-Ing. A. Weigand VDI: Spannungsverteilung in Federn. Forsch. Ing.-Wes. Bd. 8 (1937) Nr. 4 S. 161/169.

Kettenglieder.

Bei geschweißten Ketten ohne Steg in üblicher Ausführung
 $\sigma_A = \pm 4 \text{ kg/mm}^2$.

Wellen.

Abb. Df 14 zeigt schematisch die wichtigsten Formelemente der Wellen.

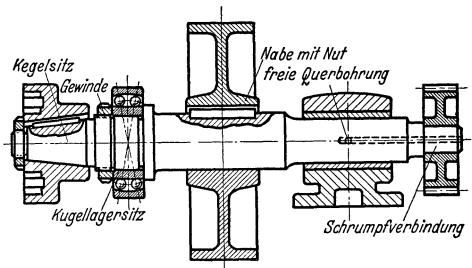


Abb. Df 14. Formelemente der Wellen.

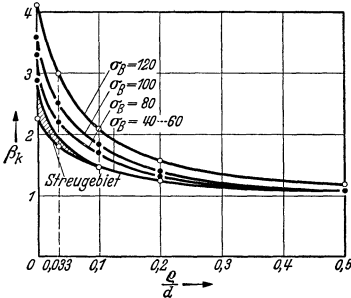


Abb. Df 15. Kerbwirkungszahl für biegebeanspruchte Wellen mit Hohlkehlen für $D/d = 2$, ermittelt an Wellen mit $d = 30 \text{ mm}$.

Dies sind:

1. Hohlkehlen:

Die Kerbwirkungszahlen β_k für biegebeanspruchte abgesetzte Wellen mit $D/d = 2$ sind aus Abb. Df 15 zu entnehmen. Die Kurven sind nach der Zugfestigkeit σ_B der Werkstoffe gestaffelt. Aus Abb. Df 16 sind die Umrechnungszahlen zu entnehmen für den Fall, daß D/d kleiner als 2.

Abb. Df 17 zeigt die entsprechenden Kerbwirkungszahlen für drehbeanspruchte Wellen. Bei der Berechnung ist außerdem noch der Einfluß des Durchmessers auf die Dauerfestigkeit nach Abb. Df 6 zu berücksichtigen.

Zahlenbeispiel. Biegebeanspruchte Welle $D = 80 \text{ mm}$, $d = 50 \text{ mm}$; (Hohlkehl-Halbmesser) $\rho = 5 \text{ mm}$; Werkstoff Cr-Mo-Vergütungsstahl mit $\sigma_B = 100 \text{ kg/mm}^2$; aus Abb. Df 15 für $D/d = 2$, $\rho/d = 0,083$; $\sigma_B = 100 \text{ kg/mm}^2$ ist $\beta_{k0} = 2$; aus Abb. Df 16 für $D/d = 80/50 = 1,33$ ist $\beta_{k-1} = (\beta_{k0} - 1) \cdot 0,65$. Somit $\beta_k = 1,65$.

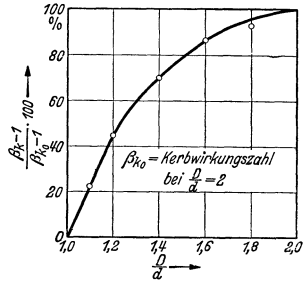


Abb. Df 16. Umrechnungszahl für den Einfluß des Durchmesserverhältnisses D/d kleiner als 2 auf die Kerbwirkungszahl von biegebeanspruchten Wellen mit Hohlkehlen.

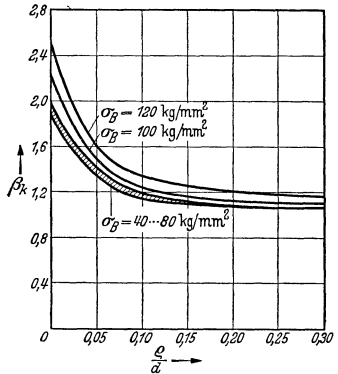


Abb. Df 17. Kerbwirkungszahlen für Wellen mit Hohlkehlen, die eine Drehwechselbeanspruchung erfahren; ermittelt bei $D/d = 1,4$.

Der Spannungsausschlag der Dauerbiegefestigkeit ist für den gewählten Stahl bei kleinen Proben und idealer Form $\sigma_A = \pm 45 \text{ kg/mm}^2$; er sinkt gemäß Abb. Df 6 bei $d = 60$ auf rd. 67 vH, also auf $\sigma'_A = \pm 30 \text{ kg/mm}^2$. Die Nennspannung der Welle kann also im Schaft von 60 Durchmesser ohne Sicherheit 18 kg/mm^2 betragen. Bei 1,3 facher Sicherheit ist eine Nennspannung von $\sigma_n = 14 \text{ kg/mm}^2$ zulässig.

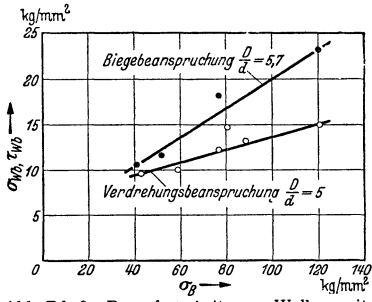


Abb. Df 18. Dauerfestigkeit von Wellen mit Querbohrung. D Durchmesser des Wellenschafts, d Durchmesser der Bohrung.

2. Querbohrungen:

z. B. Schmierlöcher. Die Dauerfestigkeit von Wellen mit Querbohrung und 10 mm Durchmesser ist aus Abb. Df 18 zu entnehmen. Der Einfluß des Wellendurchmessers ist nach Abb. Df 6 gesondert zu berücksichtigen.

3. Rundkerben:

Für Rundkerben, wie sie an Eindrehungen von Wellenabsätzen vorkommen, ist im Mittel $\beta_k = 2$ zu setzen; sie sind möglichst zu vermeiden.

4. Spitzkerben

sind unbedingt zu vermeiden, da hier β_k bis zu 6 ansteigt.

5. Nabensitze:

Die Dauerbiegefestigkeit von glatten Wellen mit aufgepreßten oder aufgeschraubten Naben mit abgerundeten Kanten liegt bei $d = 40 \text{ mm}$ zwischen 11 kg/mm^2 (St 50.11, $\beta_k = 2,3$) und 13 kg/mm^2 (legierter Stahl mit $\sigma_B = 120 \text{ kg/mm}^2$, $\beta_k = 4,5$). Bei Wellen mit Nabensitzen aus St 60.11 bei 300 mm Durchmesser Dauerbiege-Nennfestigkeit $\pm 6,5$ bis 7 kg/mm^2 , bei 160 mm Durchmesser $\pm 8 \text{ kg/mm}^2$. Das gleiche gilt für Kugellagersitze und Kupplungen. Um die volle Dauerfestigkeit zu erzielen, sind die Naben gemäß Abb. Df 19 auf einen Bund zu setzen, der bei St 50.11 und voller Welle einen Durchmesser von $d_B = 1,3 d$, bei dem legierten Stahl $d_B = 1,65 d$ hat und mit Hohlkehlen vom Halbmesser $\rho = d$ in die Welle übergeht. Bei Nichtbeachtung dieser Maßnahme ist die Verwendung von Stahl hoher Festigkeit zwecklos. Die kegelig ausgezogene Nabe bringt nur eine Erhöhung der Dauerfestigkeit von rd. 10 vH.

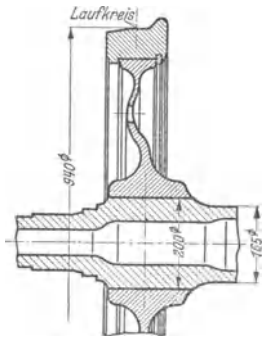


Abb. Df 19. Richtige Ausbildung von Wellen mit Nabensitzen. Beispiel hohle Eisenbahnradachse.

Nitrierte Wellen ergeben mit Nabensitz bei $d = 40 \text{ mm}$ eine Dauerbiegefestigkeit von ± 40 bis 45 kg/mm^2 ; bei Wälzlageraufspannung mit Mutter im Gewindekern eine Dauerbiegefestigkeit von ± 22 bis 25 kg/mm^2 .

Wellen mit aufgekeilten Naben üblicher Ausführung haben bei St 50.11 und 40 mm Durchmesser eine Dauerbiegefestigkeit von $\sigma_{wb} = 9$ bis 10 kg/mm^2 . Bei Verwendung von Scheibenfedern, die eine besonders

starke Kerbwirkung darstellen, sinkt die Dauerbiegefestigkeit auf 6 bis 7 kg/mm². Diese Werte sind auf den vollen Wellenquerschnitt bezogen (d. h. bei der Berechnung braucht der Einfluß der Querschnittsschwächung durch die Keilnut nicht berücksichtigt zu werden). Die entsprechenden Werte bei Drehschwingungsbeanspruchung sind noch nicht erforscht.

6. Kegelsitze:

Bei Kegelsitzen gilt im wesentlichen das gleiche. Dauerbiegefestigkeit bei üblicher Ausführung und St 50.11 etwa 12, bei Vergütungsstahl bis zu 17 kg/mm². Richtige Ausbildung nach Abb. Df20 mit verstärktem Ansatz.

Kurbelwellen üblicher Form aus St 50.11 sind so zu berechnen, daß die Biege-Nennspannung in Schenkeln und Zapfen 6 kg/mm² nicht übersteigt. Bei Drehschwingungsbeanspruchung muß der Spannungsaussschlag der Nennspannung τ_A unter ± 5 kg/mm² bleiben. Für höhere Beanspruchungen besondere, schwierig herzustellende Formgebung nötig, tonnenförmige („ausgekesselte“) Bohrung, z. B. auf Vomag-Feinstbohrwerk herzustellen, besondere Verstärkung im Innern der Bohrung am Schmierloch. Dabei mit legiertem Stahl von $\sigma_B \approx 120$ kg/mm² bis $\tau_A = \pm 16$ kg/mm² erreichbar.

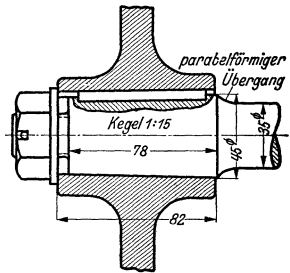


Abb. Df 20. Richtige Ausbildung von Wellen mit Kegelsitzen.

Schrifttum.

Herold, W.: Wechselfestigkeit metallischer Werkstoffe. Berlin: Julius Springer 1934.
 Lehr, E.: Spannungsverteilung in Konstruktionselementen. Berlin: VDI-Verlag 1934.
 Handbuch der Werkstoffprüfung, Band II. Berlin: Julius Springer. Band I erschien Mitte 1940.

Kennfarben für Rohrleitungen nach DIN 2403.

Kennfarbe ¹⁾	Kennzeichnung der Rohrleitungen ²⁾			
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">rot</div> Dampf	rot	Sattdampf	rot grün rot	Abdampf
	rot weiß rot	Heißdampf		
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">grün</div> Wasser	grün	Trinkwasser	grün schwarz grün	Nutzwasser Flußwasser
	grün weiß grün	Warmwasser	grün	Spülversatz
	grün rot grün	Preßwasser Speisewasser	grün schwarz grün schwarz grün	Schmutzwasser Abwasser
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">blau</div> Luft	blau	Gebäseluft	blau rot blau	Preßluft
	blau weiß blau	Heißluft		
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">gelb</div> Gas	gelb	Gichtgas (Hochofeng. Schmelzofeng.)gereinigt	gelb weiß gelb weiß gelb	Azetylen
	gelb schwarz gelb	Gichtgas (Hochofeng. Schmelzofeng.) roh	gelb grün gelb	Wassergas
	gelb blau gelb	Generatorgas	gelb braun gelb	Ölgas
	gelb rot gelb	Stadtgas (Leuchtgas) Koksöfengas		
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">orange</div> Säure	orange	Säure	orange rot orange	Säure konzentriert
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">lila</div> Lauge	lila	Lauge	lila rot lila	Lauge konzentriert
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">braun</div> Öl	braun	Öl	braun schwarz braun	Teeröl
	braun gelb braun	Gasöl	braun rot braun	Benzin
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">schwarz</div> Teer	schwarz	Teer		
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">grau</div> Vakuum	grau	Vakuum		

¹⁾ Die Angabe gilt als Richtlinie für das Anreiben der streichfertigen Farben.

²⁾ Gilt nur für fertig verlegte Rohrleitungen. Jedem Betriebe ist überlassen, die Rohrleitungen in ihrer ganzen Länge mit der Kennfarbe zu streichen oder die Kennzeichnung durch Anhängeschilde, farbige Bänder, farbige Pfeile — die gleichzeitig die Durchflußrichtung angeben — oder auf andere Weise vorzunehmen.

Für Rohrleitungspläne sind die Kennfarben nach Spalte 1 zu wählen. Dem Verwendungszweck entsprechende Unterscheidungen werden durch hellere oder dunklere Tönung der Kennfarben gemacht. Diese sind durch eine Farbtabelle auf den Rohrleitungsplänen zu erläutern.

Den Firmen bleibt überlassen, Druckangaben durch Anbringen mehrerer farbiger Striche zu kennzeichnen und diese Maßnahme entsprechend zu erläutern.

Aus dem Gebiete der Elektrotechnik.

(Vgl. Seite 77—80.)

A. Gesetzliche Einheiten.

Nach dem Reichsgesetz vom 1. Juni 1898 (R.-G.-Bl. S. 905):

Das (sog. internationale) **Ohm** ist die **Einheit des elektrischen Widerstandes**. Es wird dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, 1 mm² gleich zu achtendem Querschnitt 106,3 cm¹) und deren Masse 14,4521 g beträgt.

Das **Ampere** ist die **Einheit der elektrischen Stromstärke**. Es wird dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen Strom, welcher bei dem Durchgang durch eine wässrige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001118²) g Silber niederschlägt.

Das **Volt** ist die **Einheit der elektromotorischen Kraft**. Es wird dargestellt durch die elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter, dessen Widerstand 1 Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von 1 Ampere erzeugt.

Diese Definitionen stimmen mit denjenigen überein, welche die internationale Elekrikerkonferenz zu London 1908 angenommen hat³).

Ohm'sches Gesetz:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}, \quad I = \frac{U}{R} = \text{Ampere} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}.$$

B. Andere Einheiten.

Elektrischer Widerstand:

- a) Sog. „**Legales Ohm**“ nach dem Vorschlag des Internationalen Elekriker-Kongresses zu Paris 1884:

Der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt und 106 cm Länge bei 0°.

- b) **Siemens-Einheit** (S.-E.) ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 mm² Querschnitt mit 1 m Länge bei 0°.

- c) **British-Association-Unit** (B.A.U.) ist der Widerstand einiger aus Draht verschiedenen Werkstoffs hergestellter Normale; 1 B.A.U. ist etwa gleich 0,987 Legales Ohm.

Das **Weston-Normalelement**, hergestellt nach den Vorschriften der Phys.-Techn. Reichsanstalt, mit gesättigter Kadmiumsulfatlösung, hat eine elektromotorische Kraft (international angenommen) von 1,0183 — 0,00004075 (t — 20) — 0,00000094 (t — 20)² + 0,00000001 (t — 20)³ Volt, also bei

10°	1,01860 Volt	18°	1,01838 Volt
15°	1,01848 „	19°	1,01834 „
16°	1,01845 „	20°	1,01830 „
17°	1,01841 „	25°	1,01807 „

Das **Watt** (*Volt-Ampere*) ist die Leistung eines Stromes von 1 Ampere Stärke in einem Leiter, an dessen Enden eine Spannungsdifferenz von 1 Volt besteht.

1000 Watt sind 1 **Kilowatt**. **Wattsekunde** = **Joule** = Arbeit von 1 Watt während 1 Sekunde. **Wattstunde** ist die Arbeit von 1 Watt während 1 Stunde. **Kilowattstunde** ist die Arbeit von 1000 Watt während 1 Stunde. 1 Pferdekraft = 736 Watt (genau 735,5) = 75 kgm in 1 Sekunde. 1 HP (horse-power) = 746 Watt (vgl. S. 80).

¹) Der wahrscheinliche Wert ist 106,25 cm (Henning u. Jaeger, Handbuch der Physik, Bd. II. S. 499). Im Beschluß der Londoner Konferenz heißt es: 106,300.

²) Im Beschluß der Londoner Konferenz heißt es: 0,00111800.

³) E. T. Z. Bd. 30 (1909) S. 344.

Das **Coulomb** ist diejenige *Elektrizitätsmenge*, die in 1 Sekunde bei einer Stromstärke von 1 Ampere durch den Querschnitt eines Leiters fließt.

Das **Farad** ist die Kapazität eines Kondensators, der durch die Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb auf die Spannung von 1 Volt geladen wird.

$$1 \mu F = 10^{-6} F = 9 \cdot 10^5 \text{ cm.}$$

Das **Henry** ist die Induktivität einer Strombahn, bei der eine Änderung der Stromstärke in 1 Sekunde um 1 Ampere eine induzierte Spannung von 1 Volt erzeugt.

C. Wechselstromgrößen.

Ein elektrischer Leiter vom Widerstand R und einer Induktivität L sowie einer Kapazität C hat bei einer Frequenz f einen Scheinwiderstand (Impedanz)

$$R_s = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f \cdot L - \frac{1}{2\pi f \cdot C}\right)^2}.$$

Die Phasenverschiebung φ zwischen Strom und Spannung errechnet sich dann nach der Gleichung:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{R} \left(2\pi f \cdot L - \frac{1}{2\pi f \cdot C}\right).$$

Das Ohmsche Gesetz für einen Wechselstromkreis erhält die Form $I = \frac{U}{R_s}$.
Wirkleistung in einem Wechselstromkreis: $N = U \cdot I \cdot \cos \varphi$.

$\cos \varphi$ bezeichnet man als Leistungsfaktor.

Reiner Lichtbetrieb $\cos \varphi = 1$
Motorenbetrieb $\cos \varphi = 0,85$ } für Überschlagsrechnungen.

D. Leitungswiderstand.

$$R = \rho \cdot l/F \text{ Ohm}$$

d. h., ein Leiter von der Länge l m und dem Querschnitt F mm² leistet einen Widerstand von $\rho \cdot l/F$ Ohm. Hierbei ist ρ eine vom Stoffe und der Temperatur des Leiters abhängige **Werkstoffkonstante**, der **spezifische Leitwiderstand**; $1/\rho$ wird als spezifischer Leitwert, als **Leitfähigkeit** bezeichnet.

In nachfolgenden Tafeln finden sich Angaben über den Leitungswiderstand verschiedener Stoffe, von dessen Größe die Eignung für Leitungs- bzw. Isolierzwecke abhängt.

1. Widerstand in Ohm bei 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt bei 20 ° C.

a) Metalle für Leitungen.			
Aluminium	0,029	Nickel { weich gegl.	0,087
Aluminiumbronze	0,13	{ hart gew.	0,0855
Antimon	0,423	Platin	0,107
Blei	0,21	Quecksilber	0,958
Bronze	0,17	Silber	0,016
Chrom	0,026	Stahl { weich	0,1—0,2
Eisen	0,086	{ gehärtet	0,4—0,5
Kupfer { rein	0,017	Tantal	0,12
{ gewöhnlich	0,018	Zink	0,06
Mangan	0,044	Zinn	0,12
Messing	0,07		
b) Werkstoffe für Widerstände.			
Bogenlichtkohle	etwa 60	Manganin	0,43
Gaskohle	50	Neusilber	0,36—0,4
Graphit aus Grönland ...	4,0	Nickelin	0,40
aus Sibirien	12,0	Patentnickel	0,34
Kruppin	0,85	Rheotan	0,45

2. Konstantan.

Nenn- durchm. in mm	Widerstand bei 20° C in Ω/m	Strombelastung frei ausgespannter Drähte in ruhiger Luft von 20° C			
		Belastung in Ampere bei einer Temperatur von:			
		100°	200°	300°	400°
0,03	707	0,06	0,075	0,09	—
0,06	177	0,13	0,16	0,20	—
0,1	63,7	0,23	0,30	0,38	—
0,16	24,9	0,39	0,52	0,66	0,82
0,2	15,9	0,50	0,68	0,88	1,09
0,3	7,07	0,83	1,14	1,48	1,85
0,4	3,98	1,20	1,65	2,15	2,75
0,5	2,55	1,60	2,25	2,95	3,70
0,7	1,30	2,50	3,60	4,70	5,80
1,0	0,637	4,00	5,70	7,50	9,30
1,2	0,442	5,10	7,25	9,50	12,00
1,4	0,325	6,35	8,90	11,70	14,80
1,6	0,249	7,65	10,70	14,00	17,80
1,8	0,196	9,00	12,50	16,40	20,90
2,0	0,159	10,50	14,50	19,00	24,00
2,5	0,102	14,50	20,00	26,50	33,00
3,0	0,0707	19,00	26,50	39,50	43,50
3,5	0,0520	24,00	33,50	44,00	54,50
4,0	0,0398	29,50	41,00	53,50	66,00
5,0	0,0255	41,00	57,00	73,00	89,00

3. Isolierstoffe.

Widerstand in Megohm eines Kubikzentimeter-Würfels (1 Megohm = 10⁶ Ohm).

a) Feste Isolierstoffe.			
Ceresin	> 5 · 10 ¹³	Siegellack	8 · 10 ⁸
Quarz, geschmolzen	> 5 · 10 ¹³	Bienenwachs, gelb	2 · 10 ⁹
Paraffin	3 · 10 ¹³	Porzellan unglasiert	3 · 10 ⁸
Kautschuk	1 · 10 ⁸	Gewöhnliches Glas	5 · 10 ⁷
Hartgummi	1 · 10 ¹²	Linoleum	1 · 10 ⁸
Glimmer, klar	3 · 10 ¹⁰	Mahagoni, paraffin.	4 · 10 ⁷
Schwefel	1 · 10 ¹¹	Pappelholz, paraffin.	5 · 10 ⁸
Bernstein	5 · 10 ¹⁰	Ton, gebrannt, ohne Glasur	1 · 10 ⁸
Quarz, senkrecht zur optischen Achse	3 · 10 ¹⁰	Ahornholz, paraffin.	3 · 10 ⁴
Quarz, parallel zur optischen Achse	1 · 10 ⁸	Zelluloid, weiß	2 · 10 ⁴
Schellack	1 · 10 ¹⁰	Schiefer	1 · 10 ⁸
		Roter Fiber	5 · 10 ⁸
b) Flüssige Isolierstoffe			
wechseln stark mit der chemischen Zusammensetzung und etwaigen Verunreinigungen.			
Holzteer	1700 · 10 ⁶	Benzin	14 · 10 ⁶
Rohes Ozokerit	450 · 10 ⁶	Schweres Paraffinöl	8 · 10 ⁶
Stearinsäure	350 · 10 ⁶	Olivenöl	1 · 10 ⁶
Paraffinwachs	110 · 10 ⁶	Benzol	1300

4. Flüssigkeitswiderstände.

Widerstand in Ohm eines Kubikzentimeter-Würfels bei +18° C.

Schwefelsäure	5%	4,80	Zinksulfatlösung	5%	52,4
	10%	2,55		10%	31,2
	20%	1,53		15%	24,1
	30%	1,35		20%	21,3
Kochsalzlösung	5%	14,92	Kupfersulfatlösung	5%	52,9
	10%	8,27		10%	31,3
	15%	6,10		15%	23,8
	20%	5,11		5%	83,0
Ammoniak	1,6%	15,22	Magnesiumsulfatlösung	10%	24,2
	8,0%	9,63		15%	20,8
	16,2%	15,82		20%	21,0

5. Elektrische Werte von Kunststoffen.

	Widerstand im Innern MΩ		Oberflächenwiderstand MΩ		Dielektrizitätskonstante	Durchschlagfestigkeit kV/mm	Verlustwinkel $\operatorname{tg} \delta$ (800Hz)
	direkt	n. 4 Tagen in 80% rel. Feuchtigkeit	direkt	n. 24 St. in Wasser			
Hartpapiere							
Klasse Stanzqualität	50 ... 100 · 10 ³	2 ... 5 · 10 ³	50 ... 100 · 10 ³	2 ... 5 · 10 ⁵	} unter Öl 20 ... 35	}	}
" Konstruktionsqualität ..	150 ... 300 · 10 ³	15 ... 25 · 10 ³	150 ... 300 · 10 ³	15 ... 25 · 10 ⁵			
" Telephonbauqualität ...	10 ⁶	35 · 10 ³	10 ⁶	35 · 10 ⁵			
" Tropenbauqualität	10 ⁶	30 ... 50 · 10 ³	10 ⁶	50 · 10 ⁵			
Hartgewebe (trocken)	10 ⁶		bis 10 ⁶	1000	5 ... 6	20	0,2
Aminoplaste	200 · 10 ³	100 · 10 ³	10 ⁶	250 · 10 ³	5	17	0,05
Phenoplaste							
Type S	1 ... 5 · 10 ³	300 ... 1500	1 ... 10 · 10 ³	500 ... 1000	5 ... 7	15 ... 20	0,05 ... 0,15
" 0	bis 10 ⁶	bis 100 · 10 ³	bis 10 ⁶	bis 100 · 10 ³	4,5 ... 7	15 ... 20	0,05 ... 0,15
" 1	600	400	1000	400	>10	5 ... 10	0,5
" M	600	400	1000	400	>10	5 ... 10	0,5
" T	1000	400	10 · 10 ³	500	5 ... 6	10 ... 15	0,1
" 2			5000	500			
" 3			5000	500			
Polystyrol (Trolitul)	>3 · 10 ⁶	>3 · 10 ⁶	>3 · 10 ⁶	>3 · 10 ⁶	2,3	50	0,0002
Azetylzellulose, Preß- und Spritzgummassen	500 ³ · 10 ³	50 · 10 ³	300 · 10 ³	20 · 10 ³	6	45	0,028
Polyvinyl-Akrylsäureester	>10 ⁶	>10 ⁶	>1000			3	
Vulkanfaser	>1000	2000	175 · 10 ³	17 · 10 ³	5,9	30	0,025
Zelluloid	25000						

E. Durchschlagswiderstand.

Ein Wechselstrom von 20000 Volt Spannung durchschlägt eine Isolierschicht von folgender Stärke:

Luft	34 mm	Isolieröl für Transformatoren	2,0 mm
Dicköl	9,64 „	Steinkohlenparaffin	2,2 „
Kabel Imprägniermasse ..	0,2 „	Muffenausgußmasse	0,45 „
Zeresin	0,65 „	Leinöl	7,5 „
Ozokerit	0,65 „	Stearinpech	8,0 „
Bienenwachs	0,25 „	Guttapercha	0,34 „
Paraffin	0,5 „	Nichtvulkanisierter Gummi .	0,85 „
Venez. Terpentin	0,5 „	Vulkanisierter Gummi	1,2 „

Die Durchschlagswerten wechseln stark, je nach der Reinheit der Stoffe und sind durchaus nicht verhältnismäßig der Spannung und Periodenzahl.

Überschlagfestigkeit von glasiertem Porzellan (Isolatoren) hängt von der Form des Isolators und von der Beschaffenheit der Luft (Feuchtigkeit) ab. Es läßt sich also keine allgemeingültige Angabe machen. (Erfahrungswerte beim Hersteller.)

F. Pferdestärke — Kilowatt.

(Vgl. S. 79.)

Eine Reihe der maßgebendsten wissenschaftlichen und technischen Gesellschaften und Vereinigungen sowie führende Großfirmen haben beschlossen, die Bezeichnung „Pferdestärke“ in Zukunft, wenn möglich, nicht mehr anzuwenden. An Stelle der Leistungseinheit PS, die 75 Kilogramm-meter, oder HP (horse-power), die 76 Kilogramm-meter in der Sekunde beträgt, ist die absolute Leistungseinheit 10^{10} Erg/s zu setzen, die mit Kilowatt, Großpferd oder Neupferd (NP) bezeichnet wird und praktisch 102 Kilogramm-meter in der Sekunde entspricht.

1 PS = 0,9863 HP = 0,7350 kW = 75 kgm/s	1 kgm = 7,2331 Fußpfund engl.
1 HP = 1,0139 PS = 0,7447 kW = 76,05 kgm/s	1 Fußpfund engl. = 0,13825 kgm
1 kW = 1,360 PS = 1,341 HP = 101,98 kgm/s	1 HP = 550 Fußpfund engl.
1 Pferdestärke-stunde PSh = 270 000 kgm	1 PS = 542,48 „ „
1 Kilowattstunde kWh = 367 000 kgm	$M_d (\text{mkg}) = 975 \cdot \frac{N (\text{kW})}{n (\text{U/min})}$

G. Elektrische Antriebe für Werkzeugmaschinen.

I. Regelmöglichkeiten der Elektromotoren.

Vom Antrieb der Werkzeugmaschine verlangt man im allgemeinen einen möglichst großen Drehzahlregelbereich, um mit einer Mindestzahl von Getriebestufen auszukommen. Innerhalb des Regelbereiches wird eine gleichbleibende Leistung gefordert. Je nach der zur Verfügung stehenden Stromart ergeben sich verschiedene Regelmöglichkeiten.

a) Gleichstrom.

Zum Antrieb der Werkzeugmaschinen verwendet man Nebenschlußmotoren oder fremd erregte Motoren. Beim Nebenschlußmotor ist eine Drehzahlregelung durch Feldänderung in normaler Ausführung bis höchstens 1:3 möglich (Sonderausführungen 1:5 und darüber). Die Grenzen der Regelung sind durch die elektrischen Verhältnisse der Maschine

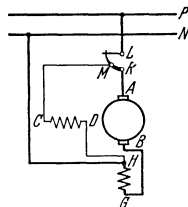
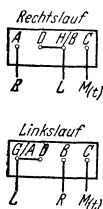


Abb. E 1. Schaltung eines Nebenschlußmotors mit Wendepolen für Rechtslauf.

gegeben. Innerhalb des Regelbereiches bleibt die Leistung gleich. Aus elektrischen Gründen sind die größeren Nebenschlußmotoren oft mit einer zusätzlichen Reihenschlußwicklung versehen.

Genormte Klemmenbezeichnungen bei Gleichstrommaschinen:



Anker	A—B
Nebenschlußwicklung	C—D
Reihenschlußwicklung	E—F
Wendepolwicklung bzw. Kompensationswicklung	G—H
Fremderregte Magnetwicklung	I—K
Leitung, unabhängig von Polarität	L
Netz, Zweileiter (Negativ-Positiv)	N—P
„ Dreileiter	N—O—P
„ Nulleiter	O
Anlasser	L, M, R
Magnetregler (s mit Schleifkontakt verbunden) ..	s—t

Dieselben Bezeichnungen tragen die Klemmen der zugehörigen Anlasser.

Abb. E 2. Klemmenbrett. — Die Enden der Hilfspolwicklungen (Wendepol- bzw. Kompensationswicklungen) führen die Hersteller meistens nicht zum Klemmenbrett, sondern verbinden im Innern der Maschine bei Rechtslauf H mit B, bei Linkslauf G mit A.

Benutzt man zum Antrieb einen fremderregten Motor, so kann man die Drehzahl durch Änderung der angelegten Spannung regeln. Dies ist wirtschaftlich nur dadurch möglich, daß man sich die veränderliche Spannung durch einen besonderen Generator erzeugt. Diese Art der Regelung führt zum Leonard-Antrieb. Für den Fall, daß kein Gleichstrom für die Erregungen zur Verfügung steht, erzeugt man sich die Gleichspannung durch einen selbsterregten Generator, der auf der Welle der Antriebsmaschine des Generators sitzt. Der Leonard-Antrieb überstreicht einen Regelbereich von 1 : 10. Er hat aber innerhalb dieses Bereiches keine Leistungsgleichheit.

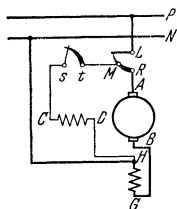


Abb. E 3. Schaltung eines Nebenschlußmotors mit Wendepolen und Feldregler für Rechtslauf.

Reihenschlußmotoren werden wegen der Gefahr des Durchgehens im Leerlauf nicht zum Antrieb von Werkzeugmaschinen verwendet. Man benutzt sie in kleinen Einheiten für Hilfsantriebe und Schnellverstellungen.

b) Drehstrom.

Genormte Klemmenbezeichnungen bei Drehstrommaschinen:

Netz, Drehstrom mit drei Leitungen	R, S, T
„ „ „ vier „	R, S, T, O
Ständer bei verketteter Schaltung	U, V, W
„ „ offener „	U, V, W, X, Y, Z
Läufer (dreiphasig)	u, v, w

Der verbreitetste Antriebsmotor dieser Stromart ist der Drehstrom-Kurzschlußläufer. Er ist sehr einfach aufgebaut. Nur der Ständer ist mit einer isolierten Wicklung ausgerüstet. Die drei Anfänge und die drei Enden der Wicklung sind herausgeführt und tragen die Bezeichnung U, V, W und X, Y, Z. Steht eine Spannung von 380 Volt zur Verfügung, so muß man den Ständer in Stern schalten, d. h. X, Y und Z miteinander verbinden. Bei einer Spannung von 220 Volt muß er in Dreieck geschaltet werden, wobei die Klemmen wie folgt verbunden werden: X mit V, Y mit W und Z mit U. Durch Vertauschen zweier Phasen der Netzzuführungsleitung kann die Drehrichtung umgekehrt werden. Der Läufer mit seiner Kurz-

schlußwicklung hat die Eigenschaft, sich jeder Polpaar-Zahl anzupassen. Man hat daher die Möglichkeit, durch Polumschaltung des Ständers die Drehzahl in ganzzahligen Sprüngen zu regeln. Da ja aus dem Kurzschlußzustand angefahren wird, treten sehr hohe Ströme auf. Um die hohe Stromaufnahme herabzusetzen, gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Man setzt beim Anfahren die Spannung mittels eines Stern-Dreiecksschalters herunter. Der Ständer wird zuerst in Stern-, dann in Dreieck geschaltet.

2. Man vergrößert beim Anfahren den Widerstand im Läufer auf elektrischem Wege (Doppelnutläufer).

Da der Kurzschlußläufer beim Anfahren nur ein kleines Drehmoment entwickelt, ist ein Anlaufen unter Last nicht möglich. Ist man ge-

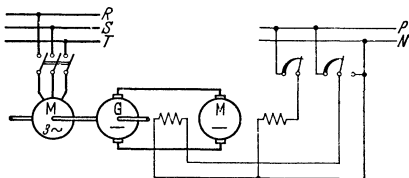


Abb. E 4. Leonard-Schaltung.

zwungen, unter Last anzufahren, so muß man in den Stromkreis der Läuferwicklung regelbare Widerstände einschalten. Durch diese Maßnahme verkleinert man den Anfahrstrom erheblich bei gleichzeitiger Erhöhung des Anfahr Drehmomentes. Die in Stern geschaltete Läuferwicklung muß dann isoliert ausgeführt sein. Die Enden der Wicklung sind zu Schleifringen geführt, über die man dann die Widerstände einschaltet. Um die Bürsten nicht dauernd auf den Schleifringen laufen zu lassen, schließt man die Wicklung nach dem Anfahren in sich selbst kurz und hebt gleichzeitig die Bürsten ab.

Bei Werkzeugmaschinen verzichtet man wegen des aussetzenden Betriebes im allgemeinen auf diese Maßnahme. Die Umkehr der Drehrichtung erfolgt auch hier wieder durch Vertauschen zweier Phasen der Netzzuleitung. Schleifringläufer lassen sich auch polumschaltbar ausführen, wobei jetzt natürlich auch die Läuferwicklung polumschaltbar sein muß.

Eine wirtschaftliche Drehzahlregelung ist nur durch Verwendung besonderer Regelsätze möglich.

Drehstrom-Kollektormotoren finden wegen des hohen Preises nur wenig Verwendung für den Antrieb von Werkzeugmaschinen.

Die höchste erreichbare Drehzahl bei normalen Drehstrommotoren beträgt:

$$n = \frac{f \cdot 60}{p}$$

Für eine Frequenz $f = 50$ und eine Polpaarzahl $p = 1$ wird $n = 3000$ U/min, abzüglich Schlupf. Höhere Drehzahlen als 3000 U/min, wie sie z. B. die Holzbearbeitungsindustrie braucht, lassen sich nur durch Erhöhung der Frequenz erreichen. Dies bedingt bei Anschluß an Anlagen mit $f = 50$ besondere Frequenzwandler.

Eine andere Lösung stellt der Doppelläufermotor dar, bei dem zwei Kurzschlußläufermotoren ineinandergeschachtelt sind. Zwischen dem Ständer und dem Läufer befindet sich noch ein ringförmiger umlaufender Körper, der innen die Ständerwicklung für den auf der Welle sitzenden Läufer und

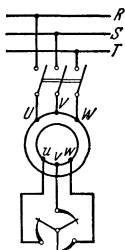


Abb. E 5. Schaltbild eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer.

außen die Läuferwicklung für den äußeren Motor trägt. Der Ständerwicklung des inneren Motors wird der Strom über Schleifringe zugeführt. Die Drehzahl der Welle ergibt sich aus der Summe der Drehzahlen beider Motoren abzüglich zweimal Schlupf. (Bei Vollast \approx je 6%.)

II. Voll-Laststromverbrauch der Motoren, Mindest-Kupferquerschnitt der Leitungen und Stärke der Sicherungen.

220 Volt Gleichstrom.

Nennleistung in kW	0,125	0,25	0,5	0,7	1,1	2,2	3,0	5,5	7,5	11,0	15,0	22,0	30,0	40,0	50,0
Wirkungsgrad in %	64	68	70	72	75	78	80	82	83	83	84	85	86	87	88
Strom in der Zuleitg. in Amp.	0,9	1,7	3,3	4,5	6,7	13	17	31	41	60	81	118	160	210	258
Querschnitt der Zuleitung in mm ² ..	1	1	1	1	1,5	2,5	4,0	10	16	25	35	50	70	95	120
Sicherung	4	6	6	6	10	15	20	35	60	80	100	125	160	225	350

Für die Zuleitung der Magnetwicklung ist bis zur Leistung von 50 kW ein Kupferquerschnitt von 1 mm² ausreichend.

220 Volt Drehstrom.

Nennleistung in kW	0,125	0,25	0,5	0,75	1,1	2,2	3,0	5,5	7,5	11,0	15,0	22,0	30,0	40,0	50,0
Leistungsfaktor cos φ	0,66	0,69	0,73	0,75	0,77	0,80	0,81	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88
Wirkungsgrad in %	67	70	75	77	80	83	84	85	86	87	87	88	89	89	90
Strom in der Zuleitg. in Amp.	0,7	1,4	2,4	3,4	4,7	8,7	11,5	20	27	39	53	77	102	134	165
Querschnitt der Zuleitung in mm ² ..	1	1	1	1	1	1,5	2,5	4	10	10	16	25	50	70	95
Sicherung	2	2	6	6	6	10	15	25	35	50	60	80	125	160	200

380 Volt Drehstrom.

Strom in der Zuleitg. in Amp.	0,4	0,8	1,4	2,0	2,7	5,0	6,7	10,2	16,0	23,0	31,0	44,0	59,0	78,0	96,0
Querschnitt der Zuleitung in mm ² ..	1	1	1	1	1	1	1,5	2,5	4	10	10	16	25	35	50
Sicherung	2	2	4	4	6	6	10	15	20	35	35	50	80	100	125

cos φ und Wirkungsgrad wie bei 220 Volt Drehstrom.

Die Zahlentafeln stellen nur Richtwerte dar, da der Wirkungsgrad und bei Drehstrommotoren auch der Leistungsfaktor von der Drehzahl abhängen.

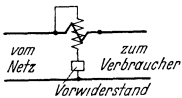


Abb. E 6. Leistungsmessung bei Wechselstrom.

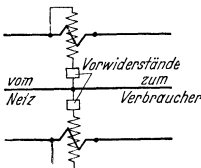


Abb. E 7. Leistungsmessung bei Drehstrom.

III. Leistungsmessung.

Leistung des Gleichstroms:

$$N = U \cdot I = \text{Spannung} \times \text{Strom.}$$

Leistung des Wechselstromes:

$$N = U \cdot I \cdot \cos \varphi = \text{Spannung} \times \text{Strom} \times \text{Leistungsfaktor (Phasenverschiebung).}$$

Mißt man gleichzeitig Strom und Spannung (Produkt = Scheinleistung), so ergibt sich der Leistungsfaktor aus folgender Beziehung:

$$\cos \varphi = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ (Wattmeterangabe)}}{U \cdot I}$$

Messung der Drehstromleistung bei ungleichmäßiger und gleichmäßiger Belastung.

$N_1 + N_2 = N$ Gesamtleistung. Es ist auf das Vorzeichen zu achten.

IV. Sicherungen und Schalter.

Alle Elektromotoren sowie die Zuleitungen zu diesen vertragen nur eine gewisse Höchststromstärke. Um die Maschinen vor unzulässig hoher Erwärmung oder gar Beschädigung zu schützen, muß dafür gesorgt werden, daß der Strom selbsttätig unterbrochen wird, wenn die höchstzulässige Stromstärke überschritten wird. Die einfachsten Sicherungen sind die Schmelzpatronen, die für folgende Stromstärken hergestellt werden: 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 125, 160 und 200 Ampere.

Als Mindestausrüstung für jeden Motor kommen Sicherungen und Ausschalter in Frage, mit deren Hilfe eine allpolige Abschaltung vom Netz möglich ist. Für kleinere Leistungen verwendet man Drehschalter, für größere Hebelschalter. Sind keine besonderen Anlasser erforderlich, wie z. B. bei Kurzschlußläufermotoren, so können die Schalter auch gleichzeitig für die betriebsmäßige Bedienung der Motoren verwendet werden. Auch die Umschaltung von Motoren kleinerer Leistung geschieht mit Drehschaltern. Für größere Leistungen benutzt man Hebelschalter und dort, wo mehrere Kontakte in Frage kommen, Walzenschalter, die auch als Umschalter und Polumschalter ausgeführt werden. Walzenschalter eignen sich besonders für häufiges Schalten. Eine Vereinigung von Schalter und Sicherung stellen die selbsttätigen Überstromausschalter dar. Diese haben einen Elektromagneten, der bei unzulässig hohen Strömen ein Abschalten bewirkt, der aber außerdem von Hand betätigt werden kann. Um ein Ausschalten bei vorübergehender Überschreitung der Stromstärke zu vermeiden, sind diese Schalter auch oft mit Zeitrelais versehen, das bewirkt, daß nur dann abgeschaltet wird, wenn der Strom eine gewisse Zeit wirkt, nicht aber bei vorübergehenden Stromspitzen.

Weitere Arten von Selbstschaltern stellen die Rückstrom-, Unterstrom- und Unterspannungs-Selbstschalter dar. Oft sind auch mehrere dieser Arten in einem Schalter vereinigt. Überstrom-Selbstschalter kleinster Ausführung sind die Einschraubautomaten, die in jedem Sicherungselement verwandt werden können. Diese Automaten sind auch zum Schutz von Motoren geeignet, da sie mit thermischer Verzögerungseinrichtung versehen sind. Der zweckmäßigste Schutz für Motoren kleiner und mittlerer Leistung sind die Motorschutzschalter; sie unterbrechen allpolig und sind mit folgenden Schutzeinrichtungen ausgerüstet:

1. Einstellbare Bimetall-Wärmeauslöser zum Schutze gegen Überlastung bei jedem, auch aussetzendem Betrieb und bei Ausbleiben einer Phase.
2. Magnetische Schnellauslöser zum Schutze gegen Kurzschlüsse, Erdschlüsse und Bedienungsfehler.
3. Unterspannungsauslöser, der verhindert, daß der Motor bei Wiederkehr der ausgebliebenen Netzspannung unbeabsichtigt wieder anläuft.
4. Sondereinrichtungen zum Schutze gegen zu hohe Berührungsspannungen.

Durch die Einstellbarkeit des verzögert wirkenden Wärmeauslösers als auch des unmittelbar wirkenden Schnellauslösers kann man Motorschutzschalter allen vorkommenden Betriebsverhältnissen anpassen.

Man kann die elektromagnetisch betätigten Hebelschalter auch so einrichten, daß nicht nur die Ausschaltung, sondern auch die Einschaltung magnetisch erfolgt. Es ist dann möglich, durch Druckknöpfe, die den Magneten Strom in dem einen oder anderen Sinne zuführen, Ein- und Ausschaltungen dieses Schalters von beliebigen Stellen vorzunehmen. Ist er

nur noch mittels Druckknöpfen, also überhaupt nicht mehr von Hand bedienbar, so spricht man vom Schütz. Große Schütze brauchen für die Betätigung ihrer Magnetwicklung höhere Stromstärken, die mit Druckknöpfen nicht mehr bewältigt werden können. Man benutzt dann Relais als Zwischenschalter, die durch Druckknöpfe oder Abhängigkeitsschalter gesteuert werden.

H. Motorstörungen, die im Betrieb auftreten können.

Die aufgeführten Betriebsstörungen stellen nur eine Auswahl dar. **Die Beseitigung der Mängel nehme man unter Beachtung der Unfallverhütungsvorschriften nur in den dringendsten Fällen selbst vor. Ratsamer ist es aber, auf jeden Fall einen Fachmann zu befragen**, der den Fehler meistens sofort erkennt und somit auch schneller beseitigen kann.

I. Gleichstrom.

Der Motor läuft **nicht** an: Es kann die Zuleitung unterbrochen sein oder aber der Anlasser ist durchgebrannt. Ferner besteht die Möglichkeit, daß die Bürsten den Kollektor nicht berühren. — Im ersteren Falle ist die Zuleitung zu prüfen; im zweiten Falle ist der Anlasser instand zu setzen oder zu erneuern; im letzten Falle reinige man den Bürstenhalter.

Der Motor läuft **schwer** an, der Anlasser wird mehr als handwarm, die Sicherungen brennen durch: Der Magnetstromkreis ist unterbrochen oder aber der Motor hat Körperschluß; die Bürstenbrücke steht nicht in der richtigen Stellung. — Man schiebt zwischen Kollektor und Bürsten Papier, schaltet den Anlasser ein und prüft, ob die Pole magnetisch sind. Bei Körperschluß muß ein Fachmann zu Rate gezogen werden. Die Bürstenbrücke auf die (meistens rote) Marke stellen.

Die **Lager** werden zu warm: Der Riemen ist zu straff gespannt oder Motor ist schlecht ausgerichtet.

Der Motor „**funkt**“ bei Belastung, der Kollektor wird an der Oberfläche schwarz. Ungeeignete Bürsten; der Kollektor ist unrund oder die Lamellenisolation steht vor. Die Lager sind ausgelaufen. — Man befrage den Hersteller wegen der zu verwendenden Bürstensorte. Der Kollektor muß abgedreht und, wenn nötig, die Lamellenisolation ausgekratzt werden. Die Lager sind zu ersetzen.

Das „Funken“ des Motors kann auch eine Folge von Überlastung oder falscher Bürstenstellung sein. Fernerhin können die Wendepole falsch geschaltet sein. Man prüft mit einem Strommesser die Stromaufnahme zwischen Netz und Motor; sie darf bei Vollast nicht höher sein, als auf dem Leistungsschild angegeben ist. Die Bürstenbrücke muß, wie bereits erwähnt, auf der Marke stehen. Man prüfe das Schaltbild.

II. Drehstrom.

Der Motor läuft **nicht** an: Die Zuleitungen sind unterbrochen, z. B. infolge durchgebrannter Sicherungen; der Ständerstromkreis oder der Läuferstromkreis ist unterbrochen. — Die durchgebrannten Sicherungen sind zu ersetzen. Man prüfe, ob man am Klemmenbrett und am Schalter Spannung hat. Bei Schleifringläufern sehe man nach, ob die Bürsten guten Kontakt geben. Man löse die Zuleitung und die Schaltverbindungen am Klemmenbrett und prüfe die einzelnen Phasen mit einer Stromquelle (z. B. Akku)

und Prüflampe gemäß untenstehender Zeichnung. Liegt die Unterbrechung innerhalb der Wicklung, so ist eine Instandsetzung von fachmännischer Seite erforderlich.

Der Motor läuft **schwer** an, die Drehzahl fällt bei Belastung stark ab: Die Ständerwicklung ist in Dreieck statt in Stern geschaltet; bei Schleifringläufern kann eine Phase des Läuferstromkreises unterbrochen sein. Der Anlaßwiderstand hat eine Unterbrechung. — Motor entsprechend Schaltbild umschalten. Man prüfe die Bürsten auf gute Auflage. Man untersuche, ob die Schleiffedern des Anlagers guten Kontakt vermitteln. Der schwere Anlauf ist manchmal auch auf ausgelaufene Lager zurückzuführen.

Die **Lager** werden zu warm: siehe unter 1. Gleichstrom.

Beim Einschalten brennen eine oder mehrere **Sicherungen** durch: Es ist Kurzschluß zwischen zwei Phasen der Ständerwicklung oder zwischen einer Phase und Eisen; bei Schleifringläufern können zwei Schleifringe Kurzschluß haben oder aber die Läuferwicklung hat in sich Kurzschluß. Ferner kann in der Leitung vom Schalter zum Ständer oder in der Leitung vom Anlasser zum Motor Kurzschluß sein. — In den ersten vier Fällen befrage man unbedingt einen Fachmann. In Fall fünf löst man die Zuleitung vom Motorklemmenbrett und prüft die Zuleitungen gegeneinander; die Isolationsfehler sind zu beseitigen. Im letzten Fall hebt man die Bürsten durch Zwischenlegen von Papier von den Schleifringen ab und klemmt auch den Anlasser ab, sodann prüfe man die Anlasserleitungen gegeneinander und beseitige etwaige Isolationsfehler.

Beim Einschalten **brummt** der Motor stark: Eine Phase des Ständers ist unterbrochen oder hat Kurzschluß. — Sowohl bei Unterbrechung einer Phase innerhalb der Maschine als auch bei Kurzschluß wende man sich an einen Fachmann.

Im Leerlauf wird die **Ständerwicklung** in kurzer Zeit mehr als handwarm: Der Ständer ist in Dreieck statt in Stern geschaltet. — Man muß die Wicklung umschalten (s. a. a. O.).

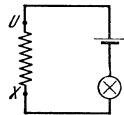


Abb. E 8. Prüfschema von Wicklungen auf Drahtbruch.

Lichttechnik.

A. Grundgrößen, Bezeichnungen und Einheiten. (Vgl. DIN 5031.)

Licht ist Strahlung der Wellenlängen (λ) zwischen rd. 0,4 . . . 0,7 μ . Nach dem Maße der Empfindlichkeit (V_λ) des hell adaptierten Auges für die einzelnen Wellenlängen dieses Strahlungsbereiches sind die lichttechnischen Grundgrößen festgelegt (vgl. a. S. 76).

1. Lichtstrom Φ in Lumen (lm) ist die dementsprechend vom Auge bewertete **Leistung** des Lichtes.

2. Lichtmenge Q in Lumenstunden (lmh) ist die **Lichtarbeit** als Produkt von Lichtstrom und Zeit.

3. Lichtstärke I in Hefnerkerzen (HK), die lichttechnische Grundeinheit, einer im Verhältnis zur Meßentfernung kleinen Lichtquelle in einer bestimmten Ausstrahlungsrichtung ist der Quotient aus Lichtstrom und durch strahltem Raumwinkel. $I = \frac{\Phi}{\omega}$.

Raumwinkel ω wird gemessen: $\omega = \frac{F}{r^2}$.

Dabei F = Kugelfläche in m^2 , r = Kugelhalbmesser in m, Lichtquelle im Kugelmittelpunkt. Für eine nach allen Richtungen, also in den vollen Raumwinkel ($\omega = \frac{4\pi r^2}{r^2}$) gleichmäßig mit der Lichtstärke I strahlende Lichtquelle ist $\Phi = 4\pi I$ lm.

4. Beleuchtungsstärke E in Lux (lx) einer beleuchteten Fläche ist der Quotient aus auftreffendem Lichtstrom Φ und Fläche F (m^2). $E = \frac{\Phi}{F}$.

Bei einer punktförmigen Lichtquelle wird auf einem senkrecht zum Lichtstrahl stehenden Flächenelement die Beleuchtungsstärke $E = \frac{\Phi}{F}$
 $= \frac{I \cdot \omega}{F} = \frac{I \cdot F}{F \cdot r^2} = \frac{I}{r^2}$ lx, auf einen unter dem Winkel α zum Einfallslot stehenden Flächenelement der beleuchteten Fläche $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ lx.

5. Leuchtdichte B in Stilb (sb) [HK/cm^2] einer leuchtenden Fläche in einer bestimmten Richtung ist der Quotient aus Lichtstärke I_ϵ in dieser Richtung und gesehener Flächengröße $f \cdot \cos \epsilon$.

Also $B = \frac{I_\epsilon}{f \cdot \cos \epsilon}$. Dabei I_ϵ in HK, f in cm^2 .

Die Leuchtdichte ist die für den im Auge hervorgerufenen Helligkeitseindruck maßgebende Größe.

Die Leuchtdichte beleuchteter Flächen wird meist in einer kleineren Untereinheit, in Apostilb (asb) angegeben.

$$1 \text{ asb} = \frac{1}{\pi} \cdot 10^{-4} \text{ sb.}$$

Eine vollkommen diffus reflektierende Fläche mit der Reflexionszahl $\rho = 1$, die z. B. mit $E = 100$ lx beleuchtet ist, hat die Leuchtdichte $B = 100$ asb; bei $\rho = 0,7$ (weißes Papier) die Leuchtdichte $B = 0,7 \cdot 100 = 70$ asb.

Amerika, England, Frankreich und einige andere Länder benutzen eine „internationale“ Kerze:

für Kohlefadenlampen und Metall-
dampflampen gilt 1 „intern.“ Kerze = 1,11 HK
 „ Wolfram-Vakuum-Lampen gilt 1 „ „ = 1,145 „
 „ gasgefüllte Wolframlampen gilt ... 1 „ „ = 1,17 „

Eine entsprechende Umrechnung gilt auch für alle übrigen lichttechnischen Größen. In Amerika und England neben Lux noch gebräuchlich foot-candle:

$$1 \text{ foot-candle} = 10,76 \text{ „intern.“ Lux.}$$

B. Lichtquellen.

1. Elektrische Glühlampen. Kohlefadenlampen wegen geringer Lichtausbeute (rd. 4,5 lm/W) veraltet, nur noch in wenigen Sonderfällen verwendet.

Wolfram-Vakuum-Lampen nur bei kleinsten Leistungen handelsüblich.

Die für allgemeine Beleuchtungszwecke verwendeten Glühlampen sind fast ausschließlich Wolfram-Draht-Lampen (Tafel 1).

Tafel 1. Glühlampen für Allgemeinbeleuchtung.

Leistungs- aufnahme Watt	Lichtstrom in Lumen etwa		Sockel	Ausführung
	110 V	220 V		
15	150	135	E 27	} Einfachwendel innen matt und klar
25	270	240	E 27	
40	560	480	E 27	
60	915	805	E 27	} Doppelwendel innen matt
75	1210	1060	E 27	
100	1710	1510	E 27	
150	2620	2280	E 27	} Einfachwendel klar
200	3620	3220	E 27	
300	6000	5250	E 40	
500	10500	9500	E 40	
750	16500	15300	E 40	
1000	23500	21000	E 40	
1500	35000	34000	E 40	
2000	44000	41600	E 40	

Lichtausbeute zwischen 9 lm/W (15 W, 220 V) und 22 lm/W (2000 W, 110 V).

Leuchtdichte zwischen 160 und 1500 sb bei Klarglas und zwischen 3 und 40 sb bei innen mattierten Lampen.

Tafel 2.
Lampen mit
erhöhter Stoß-
festigkeit
(Bahnlampen,
Handleuchten).

Leistungs- aufnahme Watt	Lichtstrom in Lumen etwa		Sockel
	110 V	220 V	
25	248	218	E 27
40	416	382	E 27
60	650	620	E 27

2. Metalldampflampen. Nur für Wechselstrom 220 V. Erforderlich Vorschaltung von Drosselspule oder Streufeldtransformator.

Handelsübliche Natriumdampflampen (Na), gelb.

„ Quecksilberdampflampen (Hg), bläulich-weiß.

Tafel 3. Na- und Hg-Dampflampen.

Art	Lichtstrom etwa Lumen	Leistungs- aufnahme ¹⁾ Watt	Licht- ausbeute ¹⁾ lm/W	Sockel
Natrium	3 300	63	52	E 40
„	5 500	94	59	E 40
„	4 400	80	55	Bajonett B 22
„	7 200	105	69	
„	11 000	165	67	
Quecksilber . . .	3 300	83	40	E 27
„ . . .	5 500	130	42	E 27
„ . . .	11 000	280	39	E 40
„ . . .	22 000	475	46	E 40
„ . . .	55 000	1060	52	Zweistift- sockel

Leuchtdichten: Natriumdampflampen rd. 14 sb.

„ Quecksilberdampflampen 200 . . . 650 sb klar rd. 50 sb innen matt.

3. Bogenlampen. Meist verwendet für Kinoprojektion und Scheinwerfer. Für allgemeine Beleuchtungszwecke nur Dauerbrand-Effekt-Bogenlampen mit 100 . . . 120 Std. Brenndauer je Kohlenpaar. Vorschaltgerät erforderlich. Für Gleich- und Wechselstrom. Bei 110 V meist 2 Lampen, bei 220 V meist 4 Lampen in Reihe. Je nach Größe 10 . . . 30 A, 11 000 . . . 44 000 lm, Lichtausbeute rd. 25 lm/W einschließlich Vorschaltgerät.

4. Gas-Glühhlicht. Nur als Hängelglühlicht verwendet. Meist mehrere Brenner in einem Geleucht.

Tafel 4. Lampen für gasförmige und flüssige Brennstoffe.

Lichtquelle		Lichtstrom etwa lm	Gasverbrauch etwa l/h
Gasglühlicht $H_0 = 4300 \text{ kcal/m}^3$	Niederdruck $\approx 45 \text{ mm W.-S.}$ je Flamme Preßgas	500	65
	1500 . . . 2000 mm W.-S. je Flamme	5000	420
Propangas C_3H_8 $H_0 = 23000 \text{ kcal/m}^3$	Druck 500 . . . 1500 mm W.-S. je nach Brennergröße 1 kg Propan gibt 550 l Propangas Stahlflasche enthält $\approx 15 \text{ kg Propan}$	100 . . . 600	4,5 . . . 30
Petroleumglühlicht (Starklicht)	Je nach Größe und Glühkörper	1600 . . . 6000	etwa g/h 70 . . . 250

C. Leuchten (Geleuchte).

Lichtquellen sollen nicht ungeschützt verwendet werden, sondern nur in Leuchten, die den Lichtstrom zweckentsprechend lenken, Blendung verhindern und die, wenn nötig, wasser-, dampf- und säure-, staub-, explosions- oder schlagwettergeschützt sind.

1. Direkt wirkende Leuchten mit lichtundurchlässigen Email- oder Spiegelreflektoren oder zusammen mit lichtstreuenden Schirmen oder Glocken lenken den Lichtstrom nach unten. Verwendung für Außenbeleuchtung, für Allgemeinbeleuchtung in Werkhallen mit dunklen Wänden und Decken oder mit Glasdächern und für Arbeitsplatzbeleuchtung.

¹⁾ Einschl. Verluste im Vorschaltgerät.

2. Leuchten mit allräumlicher Lichtausstrahlung aus lichtstreuenden Baustoffen umhüllen die Lichtquelle und setzen die Leuchtdichte im Blickbereich herab (Vermeidung von Blendung). Durch entsprechende Verwendung stärker reflektierender oder stärker durchlässiger Gläser usw. wird der Lichtstrom entweder mehr in den unteren Halbraum (vorwiegend direkt) oder gleichmäßig in den ganzen Raum (gleichförmig) oder mehr in den oberen Halbraum (vorwiegend indirekt) gelenkt. Verwendung in Räumen mit hellen Decken und Wänden.

3. Indirekt wirkende Leuchten strahlen den Lichtstrom ausschließlich nach oben. Verwendung in Innenräumen mit hellen Decken zweckmäßig und wenn eine praktisch schattenlose Beleuchtung gefordert wird.

D. Beleuchtung. (Vgl. DIN 5035.)

Maßgebend für Planung und Bewertung von Beleuchtungsanlagen ist die **Güte der Beleuchtung**, d. h. im wesentlichen: Beleuchtungsstärke, Schattigkeit, Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, Blendung und Lichtfarbe.

Tafel 5. Beleuchtungsstärken für Arbeitsbeleuchtung.

	Reine	Vereinigte Beleuchtung	
	Allgemein- beleuchtung lx	Platz- beleuchtung lx	Allgemein- beleuchtung lx
Grobe Arbeit: Eisengießen, Gußputzen, Grobwalzen und -ziehen, Schmieden am Amboß und im Gesenk, Schruppen, Arbeiten im Ofenraum der Glashütte und Ziegelei, Arbeiten an Gruben und Fässern der Gerberei	40	50 ... 100	20
Mittelfeine Arbeit: Spritzguß, einfaches Formen, Arbeiten an der Revolverdrehbank (ausgenommen Einrichten), Pressen und Stanzen, Grobmontage, Sägen, Hobeln, Fräsen, Zellulose- und Holzstoffbereitung, Arbeiten an Papiermaschinen, Bäckerei, Metzgerei, Mühlen, Küchen	80	100 ... 300	30
Feine Arbeit: Schwieriges Formen, Feinwalzen und -ziehen, Einrichten von Revolverdrehbänken, Feindrehen, Feinpreßarbeit, Feinmontage, feine Sägearbeit, Polieren, Zurichten und Fertigmachen in der Papierherstellung und -verarbeitung, Spinnen, Weben und Bearbeiten von hellem Gut, Färben, Zuschneiden, Nähen, Maschinensatz, Drucken, Maschinenschreiben, Lese- und Schreibarbeit	150	300 ... 1000	40
Sehr feine Arbeit: Gravieren, feinmechanische Arbeiten, Zusammenbau von Meßinstrumenten, Schleifen und Polieren optischer Gläser, Spinnen, Weben und Bearbeiten von dunklem Gut, Zuschneiden, Nähen, Zurichten von Druckmaschinen, Handsatz, Lithographieren, Papierprüfen, Zeichnen	300	1000 ... 5000	50

1. Die **Beleuchtungsstärke** wird gewertet als **mittlere Beleuchtungsstärke** auf der Arbeits- oder Gebrauchsfläche. Fehlen Angaben über diese Flächen, so gilt die mittlere Beleuchtungsstärke auf der waagerechten Fläche 1 m über dem Fußboden. Erforderliche Beleuchtungsstärken siehe Tafel 5 und 6.

Tafel 6.

Beleuchtungsstärken für Verkehrsbeleuchtung.

Durchgänge und Treppen	mit schwachem Verkehr	15 lx
	mit starkem Verkehr	30 lx
Fabrikhöfe	mit schwachem Verkehr	3 lx
	mit starkem Verkehr	15 lx

Berechnung der Beleuchtungsstärke: Auf der waagerechten Fläche 1 m über dem Boden ist die

$$\text{mittl. Beleuchtungsstärke } E_m = \frac{\Phi}{F} \cdot \eta$$

$$= \frac{\text{Gesamtlichtstrom der nackten Lichtquelle}}{\text{Bodenfläche in m}^2} \times \text{Wirkungsgrad}$$

(Φ siehe Tafel 1 bis 4; η siehe Tafel 7).

Der Wirkungsgrad η ist abhängig von der Art des Geleuchtes, der Raumauskleidung und dem Raumverhältnis (s. Tafel 7).

Tafel 7.

Wirkungsgrade in Proz. für Allgemeinbeleuchtung von Innenräumen.

(Leuchtabstand = 1 ... 2 x Aufhängehöhe)

Beleuchtungsart ...	direkt	vorwiegend direkt	halbindirekt	indirekt	indirekt (Hohlkehle)
Beleuchtungskörper- Wirkungsgrad	$\eta = 65\%$ 0% oberer, 65% unterer Halbraum	$\eta = 80\%$ 35% oberer, 45% unterer Halbraum	$\eta = 80\%$ 50% oberer, 30% unterer Halbraum	$\eta = 70\%$ 70% oberer, 0% unterer Halbraum	
Entsprechend einem Raumverhältnis =	$\frac{\text{Raumbreite}}{\text{Aufhängehöhe}} \text{ ü. Meßebene}$	$\frac{\text{Raumbreite}}{\text{Aufhängehöhe}} \text{ ü. Meßebene}$	$\frac{\text{Raumbreite}}{\text{Deckenhoöhe}} \text{ ü. Meßebene}$	$\frac{\text{Raumbreite}}{\text{Deckenhoöhe}} \text{ ü. Meßebene}$	
von:	1 ... 1,5 ... 2,5 ... 4 ... 8	1 ... 1,5 ... 2,5 ... 4 ... 8	0,6 ... 1,0 ... 1,5 ... 2,5 ... 5	0,6 ... 1,0 ... 1,5 ... 2,5 ... 5	—
gehören zu: heller Decke, mittelhellen Wänden					
die Wirkungsgrade:	25 ... 36 ... 44 ... 51 ... 58	17 ... 25 ... 33 ... 41 ... 53	14 ... 21 ... 27 ... 35 ... 46	11 ... 15 ... 20 ... 26 ... 34	15
zu mittelheller Decke, dunklen Wänden					
die Wirkungsgrade:	18 ... 30 ... 40 ... 47 ... 54	9 ... 16 ... 23 ... 30 ... 41	7 ... 13 ... 17 ... 24 ... 33	6 ... 8 ... 11 ... 16 ... 22	10

Messung der Beleuchtungsstärke heute meist mit objektiven Beleuchtungsmessern (Photozellen). Oft eichen! Besondere Eichung für Licht verschiedener Farbe (Glühlampen, Tageslicht-, Metaldampflampen)!

2. Schattigkeit. Bestimmte Arbeiten erfordern schattenreiche (z. B. Wollwebstuhl) oder schattenarme (z. B. Zeichenbrett) Beleuchtung. Auf richtigen Lichteinfall ist zu achten.

3. Möglichst gleichmäßige Ausleuchtung des Arbeitsraumes ergibt günstigste Sehbedingungen.

4. Blendung durch übergroßen Kontrast der Lichtquelle zu ihrer Umgebung setzt Sehfähigkeit und Arbeitsleistung herab (s. Abschn. C Leuchten).

5. Lichtfarbe. Farbe der Gegenstände von Lichtfarbe abhängig. Im allgemeinen genügt Lichtfarbe der gebräuchlichen Lichtquellen den Anforderungen.

Bewertung und Messung von Farben s. DIN 5033.

Künstliches Tageslicht erforderlich beim Aussuchen und Ausmustern von Farben.

Angenähertes Tageslicht durch Mischlicht (Quecksilber- + Glühlampenlicht, Lichtstromverhältnis 1 : 1) z. B. in ungenügend oder unvollständig mit Tageslicht versorgten Räumen.

Maßgebend für die Bewertung der **natürlichen Tagesbeleuchtung** ist ebenfalls die Güte der Beleuchtung (vgl. DIN 5034). An Stelle der Beleuchtungsstärke tritt hier der Tageslichtquotient

$$T = \frac{\text{Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz im Raum}}{\text{Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien}} \cdot 100 (\%)$$

Empfehlenswert an Arbeitsplätzen in Industrie-Flachbauten mit Oberlicht $T = 10 \%$. Dieser Wert ist in Arbeitsräumen mit Seitenfenstern nur in Fensternähe erreichbar.

6. Beleuchtung und Luftschutz. Um die Arbeitsleistung nach Menge und Güte auch bei künstlicher Beleuchtung aufrechtzuerhalten, sind die Lichtaustrittsöffnungen, wo überhaupt technisch und wirtschaftlich durchführbar, durch mechanische Mittel (Abdeckung der Lichtaustrittsöffnungen) zu verdunkeln. Wo dies nicht möglich, oder in Räumen mit geringem Lichtbedarf, sind auch folgende Mittel anwendbar. Die Leuchtdichte der Lichtaustrittsöffnungen darf aus 500 m Höhe nicht wahrnehmbar sein:

a) Stärkste Verminderung der Allgemeinbeleuchtung durch Spannungsabsenkung bei Glühlampen, Luftschutzlampen, -leuchten, -blenden und zusätzliche Beleuchtung mittels Werkplatzleuchten.

b) Sperrfilter. Färbung der Glasflächen (Fenster, Oberlichte) zweckmäßig blau-grün und praktisch undurchlässig für künstliches Licht mit gelb-orange gefärbten Lichtquellen oder Natriumdampflampen bzw. Natriumdampf-Mischlicht oder Didymglas (Auer-Ges.). Nicht anwendbar, wo eine Farbunterscheidung arbeitswichtig ist. Um Tageswirkung zu verbessern, bleiben meist 10 % der Fensterflächen ungefärbt und werden mit mechanischen Mitteln verdunkelt.

c) Statt anderer Beleuchtungseinrichtungen auch fluoreszierende Leuchtfarben für Zifferblätter, Instrumentenskalen, Bedienungshebel, Hinweisschilder usw., die man durch Ultraviolettstrahler (z. B. Quecksilberdampflampen mit Blauglas) zum Leuchten bringt.

Wärme.

A. Gesetzliche Bestimmungen.

Die Wärme ist eine Energieart. Man unterscheidet Wärmehöhe (Temperatur) und Wärmemenge. § 2 des Gesetzes vom 7. 8. 1924, veröffentlicht in Nr. 52 des Reichsgesetzblattes vom 12. 8. 1924, legt die Einheiten der Temperatur und der Wärmemenge für das gesamte Reichsgebiet fest. Sie haben zugleich internationale Bedeutung.

B. Messen der Temperatur und der Wärmemenge.

I. Grundlage der Temperaturmessung

ist die thermodynamische Skale, d. i. die verbesserte hundertteilige Skale nach Celsius (1701–44 Upsala) (100 Grade zwischen Gefrierpunkt und

Vergleich der Temperaturgrade nach C und F.

+ über, – unter Null.

C°	F°	C°	F°	C°	F°	C°	F°	C°	F°	C°	F°
–40	–40										
–35	–31	165	329	365	689	565	1049	765	1409	965	1769
–30	–22	170	338	370	698	570	1058	770	1418	970	1778
–25	–13	175	347	375	707	575	1067	775	1427	975	1787
–20	– 4	180	356	380	716	580	1076	780	1436	980	1796
–15	+ 5	185	365	385	725	585	1085	785	1445	985	1805
–10	+14	190	374	390	734	590	1094	790	1454	990	1814
– 5	+23	195	383	395	743	595	1103	795	1463	995	1823
0	+32	200	392	400	752	600	1112	800	1472	1000	1832
+ 5	41	205	401	405	761	605	1121	805	1481	1005	1841
10	50	210	410	410	770	610	1130	810	1490	1010	1850
15	59	215	419	415	779	615	1139	815	1499	1015	1859
20	68	220	428	420	788	620	1148	820	1508	1020	1868
25	77	225	437	425	797	625	1157	825	1517	1025	1877
30	86	230	446	430	806	630	1166	830	1526	1030	1886
35	95	235	455	435	815	635	1175	835	1535	1035	1895
40	104	240	464	440	824	640	1184	840	1544	1040	1904
45	113	245	473	445	833	645	1193	845	1553	1045	1913
50	122	250	482	450	842	650	1202	850	1562	1050	1922
55	131	255	491	455	851	655	1211	855	1571	1055	1931
60	140	260	500	460	860	660	1220	860	1580	1060	1940
65	149	265	509	465	869	665	1229	865	1589	1065	1949
70	158	270	518	470	878	670	1238	870	1598	1070	1958
75	167	275	527	475	887	675	1247	875	1607	1075	1967
80	176	280	536	480	896	680	1256	880	1616	1080	1976
85	185	285	545	485	905	685	1265	885	1625	1085	1985
90	194	290	554	490	914	690	1274	890	1634	1090	1994
95	203	295	563	495	923	695	1283	895	1643	1095	2003
100	212	300	572	500	932	700	1292	900	1652	1100	2012
105	221	305	581	505	941	705	1301	905	1661	1105	2021
110	230	310	590	510	950	710	1310	910	1670	1110	2030
115	239	315	599	515	959	715	1319	915	1679	1115	2039
120	248	320	608	520	968	720	1328	920	1688	1120	2048
125	257	325	617	525	977	725	1337	925	1697	1125	2057
130	266	330	626	530	986	730	1346	930	1706	1130	2066
135	275	335	635	535	995	735	1355	935	1715	1135	2075
140	284	340	644	540	1004	740	1364	940	1724	1140	2084
145	293	345	653	545	1013	745	1373	945	1733	1145	2093
150	302	350	662	550	1022	750	1382	950	1742	1150	2102
155	311	355	671	555	1031	755	1391	955	1751	1155	2111
160	320	360	680	560	1040	760	1400	960	1760	1160	2120

Siedepunkt destillierten Wassers bei Normalluftdruck = 760 Torr¹⁾. Sie wird festgelegt durch die temperaturbedingte Druckänderung eines idealen Gases bei unveränderlichem Rauminhalt (Anwendung des Druck-Temperatur-Gesetzes von Gay-Lussac, 1778–1850). „Ideal“ ist ein Gas, das streng diesem Gesetz gehorcht: $p_t = p_0(1 + \gamma t)$, wobei p_t = Druck bei $t^\circ\text{C}$, p_0 = Druck bei 0°C . $\gamma = 1/273$, genau $\gamma = 1/273,16^2)$.

Das Wasserstoffgas-Druckthermometer erfüllt obige Bedingung sehr weitgehend. Es gilt als „Urnormal-Thermometer“ und ist das Präzisionsmeßgerät der PTR (Phys.-Techn. Reichsanstalt) bei der Festlegung der thermodynamischen Skale und dem Anschluß von „Normal-Thermometern“. Als solche sind eichfähig für alle Temperaturen zwischen -183° und $+630^\circ$ die elektrischen Platin-Widerstandsthermometer, zwischen 630° und 1063° die Platin-Platinrhodium-Thermoelemente, für darüber hinausgehende Temperaturen die optischen Pyrometer.

Diese Meßgeräte werden geeicht mit Hilfe der thermischen Festpunkte, die selbst mittels Wasserstoffgas-Druck-Thermometern unter Anwendung der thermodynamischen Skale bestimmt worden sind.

Anmerkung: In Ländern des englischen Sprachgebietes herrscht im gewerblichen Leben noch heute die Fahrenheit-Skale (Nullpunkt niedrigste erlebte Temperatur auf einer Sibirienreise), während in dem wissenschaftlich-technischen Schrifttum die thermodynamische Skale benutzt wird. (Dan. Gabr. Fahrenheit, geb. 1696 in Danzig, gest. 1736 in Amsterdam.)

Bezeichnen n_c = Celsius-, n_f = Fahrenheit-Grade, so gelten die Umrechnungsgleichungen: $n_c = 5/9(n_f - 32)^\circ$ und $n_f = (9/5 \cdot n_c + 32)^\circ$.

Die Réaumur-Skale hat keine Gültigkeit mehr. Deutschen Eichämtern sind Eichungen nach dieser Skale verboten.

Die gesetzliche Einheit für das Messen der Temperatur ist der Celsius-Grad. Die Temperaturangaben erfolgen entweder nach der Celsius-Skale mit 0° = Gefrierpunkt destillierten Wassers, oder nach der absoluten Skale, bei der lediglich eine Verlegung des Nullpunktes um $273,16^\circ\text{C}$ unter den Gefrierpunkt des Wassers erfolgt ist. $T^\circ\text{abs.} = T^\circ\text{K}$ (Lord Kelvin, engl. Physiker, 1824–1907); Umrechnungsgleichung:

$$T^\circ\text{K} = (273,16 + t)^\circ\text{C}.$$

Thermometrische Festpunkte.

Stoff	Gleichgewicht ³⁾	$t^\circ\text{C}$	$T^\circ\text{K}$
Kohlenstoff (C)	Sb	3540 ± 20	3810
Wolfram (W)	Sm	3380 ± 20	3650
Gold (Au)	Sm	1063	1336,2
Silber (Ag)	Sm	960,5	1233,7
Schwefel (S)	Sd	444,60	717,8
Benzophenon (C ₁₃ H ₁₀ O)	Sd	$305,9 \pm 0,1$	579,1
Naphthalin (C ₁₀ H ₈)	Sd	$217,9 \pm 0,05$	491,1
Wasser (H ₂ O)	Sd	100	373,16
Eis (H ₂ O)	Sm	0,00	273,16
Quecksilber (Hg)	Sm	– 38,87	234,29
Kohlendioxid (CO ₂)	Sb	– 78,52	194,64
Sauerstoff (O ₂)	Sd	– 182,97	90,19
Stickstoff (N ₂)	Sd	– 195,81	77,35
Neon (Ne)	Sd	– 246,09	27,07
Wasserstoff (H ₂)	Sd	– 259,20	13,96
Helium (He)	Sd	– 268,94	4,22

¹⁾ 1 Torr (Torricelli) = 1 mm Quecksilbersäule.

²⁾ γ = Raumausdehnungszahl der Gase (s. S. 161).

³⁾ Sd = siedend, Sm = schmelzend, Sb = sublimierend.

II. Grundlagen der Wärmemengen-Messung.

Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind die Kilokalorie (kcal) und die Kilowattstunde (kWh).

Die Kilokalorie ist diejenige Wärmemenge, die 1 kg Wasser bei atmosphärischem Druck von 14,5 auf 15,5° erwärmt. Sie ist gleich der mittleren Kalorie, d. i. der hundertste Teil der Wärmemenge, die 1 kg Wasser von 0° auf 100° erwärmt.

Die Kilowattstunde ist gleichwertig dem 1000fachen der Wärmemenge, die ein Gleichstrom von 1 gesetzlichen Ampere in einem Widerstand von 1 gesetzlichen Ohm während einer Stunde entwickelt, sie ist gleich 860 kcal.

1 kcal = 1000 cal (Grammkalorien),

1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ gesetzliche Joule (1 J = 1 Ws [Wattsekunde]),

1 kcal = 4184 J = $4184 \cdot 10^4$ erg = 4184 absolute J,

1 kcal = 426,9 kgm, wenn die normale Fallbeschleunigung 980,665 cm/s² zugrunde gelegt wird (Arbeitswert der Wärmeeinheit).

1 J = 1 Ws = 0,00023889 kcal (Wärmewert der Arbeitseinheit)

1 kWh = 860 kcal_{JT}¹⁾ (" " " ")

Die englische Wärmeeinheit (BTU = British Thermal Unit) ist die zur Erwärmung von 1 lbs. (engl. Pfd.) Wasser um 1° F notwendige Wärmemenge.

In Wärmemengen der Gewichtseinheit (kcal/kg oder cal/g) werden die wärmetechnischen Werte für die Schmelz- und die Verdampfungswärme der Stoffe angegeben, für die spezifische Wärme entsprechend in kcal/kg °C oder cal/g °C.

Unter spezifischer Wärme c_p eines Stoffes versteht man die Anzahl kcal bzw. cal, die nötig ist, um 1 kg (g) des Stoffes um 1° C zu erhöhen. Man unterscheidet die wahre von der mittleren spezifischen Wärme. c_{20} ist die wahre spezifische Wärme bei 20° C. Sie ist für die meisten Stoffe nahezu gleich der mittleren spezifischen Wärme zwischen 0° und 100° C. Um G kg eines Stoffes von der mittleren spezifischen Wärme c_m von t_1^0 auf t_2^0 zu erwärmen, ist zu rechnen: $Q = G \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1)$. Zwischen 0° und 100° C gilt in großer Annäherung die Gleichung: $Q = G \cdot c_{20} (t_2 - t_1)$.

Die Schmelzwärme eines Stoffes ist diejenige Anzahl kcal (cal), die nötig ist, um 1 kg (g) eines auf seinem Schmelzpunkt befindlichen Stoffes ohne Temperaturerhöhung vom festen in den flüssigen Zustand überzuführen. Dieselbe Wärmemenge wird beim Erstarren des flüssigen auf seinem Schmelzpunkt befindlichen Stoffes frei.

Die Verdampfungswärme einer Flüssigkeit ist die Anzahl kcal (cal), die verbraucht wird, um 1 kg der Flüssigkeit bei unverändertem äußeren Druck in Dampf von gleicher Temperatur zu verwandeln. Dieselbe Wärmemenge wird frei, wenn der Dampf sich verflüssigt. Die Verdampfungswärme ist abhängig von der Siedetemperatur, die ihrerseits vom Druck abhängt.

III. Temperatur-Meßgeräte.

a) Quecksilber-Thermometer (Hg-Th.): Schmelzpunkt des Hg - 38,87°, Siedepunkt +356,95° (wenn eutektische Hg-Thallium-Legierung [91,5 vH Hg + 8,5 vH Th.] dann Schmelzpunkt - 59°). Hg kann bis 150° in Thermometern bekannter Bauart benutzt werden; darüber hinaus ist in die geschlossene Kapillare Stickstoff eingeführt, dessen Druckerhöhung den Siedepunkt des Quecksilbers erhöht; dadurch Erweiterung des Meßbereiches bis 900° (Druck 100 atü).

¹⁾ kcal_{JT} = Kalorie der internationalen Dampftafelkonferenz.

Kapillare bis 360° aus gewöhnlichem Jenaer Glas, bis 575° aus Borosilikatglas, bis 900° aus Quarz.

b) Flüssigkeits-Thermometer mit nichtmetallischer, meist organischer Füllung in Einstellgenauigkeit und zeitlicher Unveränderlichkeit des Nullpunktes den Hg-Th. nicht gleichwertig.

Pentan: Meßbereich -200° bis $+20^{\circ}$ (ausgesprochenes Kälte-Thermometer).

Toluol: Meßbereich -100° bis $+110^{\circ}$.

Kreosot (aus Buchenholzteer, technisch rein): Meßbereich -40° bis $+180^{\circ}$.

Recol (organische Gemische nicht näher bekannter Zusammensetzung, durch Alterung, thermische und ultraviolette Behandlung, den Hg-Th. an Anzeigegenauigkeit und Nullpunkt-Beständigkeit nahe kommend): Meßbereich -250° bis 300° .

Alkohol- (Weingeist-) Thermometer nur für untergeordnete Zwecke brauchbar:

Methylalkohol: Meßbereich -95° bis $+66^{\circ}$.

Äthylalkohol: Meßbereich -112° bis $+78^{\circ}$.

Amylalkohol: Meßbereich -80° bis $+35^{\circ}$.

c) Flüssigkeit-Metall-Thermometer, hauptsächlich als Fern-Thermometer (Kraftwagen) oder als selbstschreibende Geräte (Thermograph). Das Anzeigegerät ist eine Bourdon-Röhre aus Messing oder Stahl, die mit dem Meßgefäß durch dünnes Metallrohr verbunden ist. Das ganze ist mit völlig gasfreiem Recol oder Amylalkohol gefüllt. Ausschlag je Grad abhängig vom Unterschied der Wärmedehnungszahlen Metall und Flüssigkeit. Meßbereich -20° bis $+500^{\circ}$. Überschreiten der höchsten Temperatur macht das Gerät unbrauchbar, unterschreiten schadet nichts.

d) Bimetall-Thermometer bestehen heute meistens aus zwei Eisennickel-Legierungen verschiedenen Nickelgehaltes, die sich sehr gut verschweißen lassen. Ihre Einstellgeschwindigkeit ist größer als die der Flüssigkeits-Metall-Thermometer. Ihre Meßsicherheit bleibt bei nicht zu hohen Über-temperaturen unverändert. Eine wesentliche Unterschreitung des unteren Grenzwertes beschädigt die Schweißung und macht das Thermometer unbrauchbar. Meßbereich -20 bis $+500^{\circ}$.

e) Elektrische Widerstands-Thermometer haben höchste Empfindlichkeit und einen Meßbereich -200 bis $+700^{\circ}$. Das Anzeigegerät kann in beliebiger Entfernung von der Meßstelle angebracht werden.

Die Wirkungsweise beruht auf der Erhöhung des elektrischen Widerstandes chemisch reiner Metalle mit steigender Temperatur. Das der zu messenden Temperatur

ausgesetzte Widerstands-Thermometer, eine auf einen Glimmerstreifen angeordnete Platindrahtwicklung (für Meßbereiche von -100 bis $+200^{\circ}$ auch Nickeldrahtwicklung), wird mit einem in beliebiger Entfernung angebrachten, in Temperaturgraden geeichten Widerstandsmesser verbunden.

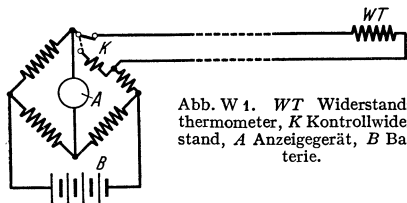


Abb. W 1. WT Widerstands-thermometer, K Kontrollwiderstand, A Anzeigegerät, B Batterie.

Wesentlich ist bei elektrischen Widerstands-Thermometern die Anwendung einer hochempfindlichen Schaltung (wegen der geringen Widerstandsänderung je Grad). Unter Benutzung von Gleichstrom (6 bis 24 V) verwendet man die Wheatstonesche Brücke, Abb. W 1, oder die Kreuzspulenschaltung, Abb. W 2.

Zum Vermeiden von Meßfehlern durch Widerstandsänderungen sehr langer Verbindungsdrähte (Drahtlänge bis 50 km möglich) wird die Kompensationsschaltung, Abb. W 3, verwendet. Durch diese wirkt eine in den

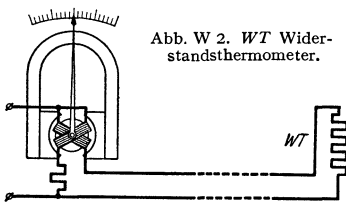


Abb. W 2. WT Widerstandsthermometer.

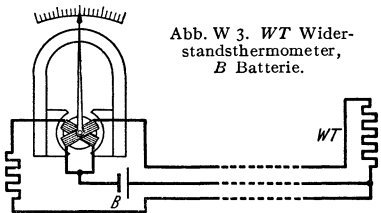


Abb. W 3. WT Widerstandsthermometer, B Batterie.

Leitungsdrähten auftretende Widerstandsänderung gleichmäßig auf beide Spulen des Kreuzspulwerkes und hebt sie auf.

Batterien und Gleichrichter lassen sich vermeiden, wenn man das unmittelbar an Wechselstrom anschließbare Ringeisen-Quotienten-Meßwerk, Abb. W 4, verwendet. Die beiden Meßwerkspulen sind mit dem Thermometer WT nebst Fernleitungen und einem unveränderlichen Vergleichswiderstand VW über einen Schutztrafo Tr an das Wechselstromnetz angeschlossen. Jede der beiden Spulen erzeugt ein elektromagnetisches

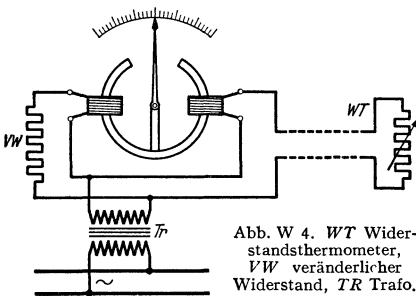


Abb. W 4. WT Widerstandsthermometer, VW veränderlicher Widerstand, TR Trafo.

Drehmoment. Die jeweilige Einstellung des Ringeisens entspricht dem Verhältnis der Spulenströme. Schwanken Spannung und Frequenz, so ändert sich die Stromstärke in beiden Spulen; die Genauigkeit der Messung wird also nicht beeinflusst.

f) Thermoelektrische Pyrometer für Meßbereich +300 bis +1600° bestehen aus einem Temperaturfühlgorgan, das der zu messenden Temperatur ausgesetzt wird, und

dem Anzeigerät Ersteres ist ein Thermoelement, letzteres ein empfindliches Drehspul-Millivoltmeter. Die Höhe der im Thermoelement erzeugten Spannung richtet sich nach dem Werkstoff der Drähte und nach dem Temperaturunterschied zwischen der Schweißstelle und den freien Enden. Es wird nicht die wahre Temperatur, sondern der Temperaturunterschied zwischen Schweißstelle und kalten Enden gemessen. Durch Thermostaten sucht man die kalten Enden des Thermoelements auf gleicher Temperatur, meist 20°, zu halten, oder durch Bimetall-Kompensation den Zeiger des Instrumentes zu korrigieren.

Benutzt werden:

Kupfer-Konstantan bis 500° ,

Eisen-Konstantan bis 800° ,

Nickel-Nickelchrom bis 1000° und

Platin-Platinrhodium bis 1600° .

g) Optische Pyrometer für höchste Temperaturen von 1600° bis 3500° und mehr allein geeignet, für Bereiche 1000° bis 1600° notwendig, wenn angreifende Gase das Platin der Thermolemente zerstören und Schutzrohre wegen ihrer langsamen Wärmeaufnahme die Messung verzögern würden.

Grundlage ist das Wien-Plancksche Gesetz: Die Lichtstrahlung eines physikalisch schwarzen Körpers ist nur abhängig von seiner Temperatur; ihre Intensität wächst mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur.

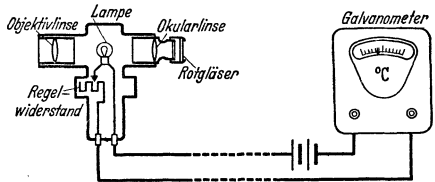


Abb. W 5.

Physikalisch schwarz ist jeder fast geschlossene Hohlraum, z. B. rußiger Ofenraum mit kleiner Öffnung. Außerhalb des Ofens wird die Temperatur eines Körpers stets zu niedrig gemessen und muß mit Hilfe des Emissionsfaktors des zu untersuchenden Werkstoffes korrigiert werden. Nur Messungen am physikalisch schwarzen Körper geben mit optischen Pyrometern die wahre Temperatur.

1. Teilstrahlungs-Pyrometer verwenden nur den sichtbaren Teil der Strahlung durch den subjektiven Vergleich mit der Lichtstrahlung einer Glühlampe.

Pyrometer nach Holborn und Kurlbaum, Siemens & Halske, Abb. W 5; Meßbereiche 700° bis 1500° unmittelbar, 1200° bis 2000° und 1400° bis 3500° mit zwischengeschalteten Rauchgläsern. Regelwiderstand für Glühlampe wird so eingestellt, daß Glühfaden nicht mehr sichtbar ist. Ablesung der Temperatur an Galvanometer.

Das Pyropto von Hartmann & Braun arbeitet ähnlich. Stahlakku, Regelwiderstand und Meßgerät sind handlich im Schaft des Pyrometers eingebaut.

2. Gesamtstrahlungs-Pyrometer verwenden den sichtbaren und unsichtbaren Teil der Strahlung durch Vereinigung auf ein im Brennpunkt des Objektivs befindliches hochempfindliches Vakuum-Thermolement, Abb. W 6, mit einem Auffangplättchen von 3 mm Durchmesser und 1μ Dicke. Die Ablesung geschieht an einem hochempfindlichen Millivoltmeter. Diese Pyrometer sind erst ab 550° verwendbar, weil die langwelligen Wärmestrahlen unter 550° von den Glaslinsen verschluckt werden, z. B. Pyrradio von Hartmann & Braun, Meßbereich 700 bis 2000° C.

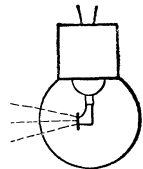


Abb. W 6. Schema eines Vakuum-Thermolement.

h) Segerkegel dienen zum Messen von Temperaturen in Öfen, deren Erwärmung langsam ansteigt (z. B. keramische Industrie). Ihre Anzeigen sind nicht nur durch die Höhe, sondern auch durch die Geschwindigkeit und Dauer der Erhitzung bedingt.

Schmelzpunkte der Segerkegel.

Nr. des Kegels	Schmelzpunkt Grad C	Nr. des Kegels	Schmelzpunkt Grad C	Nr. des Kegels	Schmelzpunkt Grad C	Nr. des Kegels	Schmelzpunkt Grad C	Nr. des Kegels	Schmelzpunkt Grad C
022	600	010 a	900	3 a	1140	15	1435	32	1710
021	650	09 a	920	4 a	1160	16	1460	33	1730
020	670	08 a	940	5 a	1180	17	1480	34	1750
019	690	07 a	960	6 a	1200	18	1500	35	1770
018	710	06 a	980	7	1230	19	1520	36	1790
017	730	05 a	1000	8	1250	20	1530	37	1825
016	750	04 a	1020	9	1280	26	1580	38	1850
015 a	790	03 a	1040	10	1300	27	1610	39	1880
014 a	815	02 a	1060	11	1320	28	1630	40	1920
013 a	835	01 a	1080	12	1350	29	1650	41	1960
012 a	855	1 a	1100	13	1380	30	1670	42	2000
011 a	880	2 a	1120	14	1410	31	1690		

Keramische Rohstoffe und Erzeugnisse, die bei Segerkegel 26 und darüber schmelzen, werden als feuerfest bezeichnet.

C. Sonstige wärmetechnisch wichtige Werte.

Alle angeführten Werte beziehen sich auf den Normalzustand, der durch die Angabe eines Normaldruckes und einer Normaltemperatur gekennzeichnet ist. Die Zusammenstellung 0° und 760 Torr (1 Torr = 1 mm Quecksilbersäule) ist der physikalische, 20° und 1 kg/cm² der technische Normalzustand.

Längenausdehnungszahl α bei 20°.

Stoff	$\alpha \cdot 10^{-6}$	Stoff	$\alpha \cdot 10^{-6}$
Aluminium	23,8	Konstantan	15,2
Antimon	10,8	Kupfer	18,5
Blei	29,0	Magnesium	26,1
Bronze	17,5	Messing	18,4
Chrom	7,0	Neusilber	18,0
Chromstahl	10,0	Nickel	13,0
Duralumin	23,5	Nickelstahl (58 vH Ni)	12,0
Eisen und Stahl ¹⁾	12,2	Platin	9,0
Elektron	24,0	Platiniridium	8,3
Gips	25,0	Porzellan, Berliner	3,0
Glas, Jenaer (16 III)	8,1	Quarzglas	0,5
Gold	14,2	Schwefel	9,0
Hartgummi	77,0	Silber	19,5
Invarstahl, 36 vH Ni	1,5	Widia	5,3
Iridium	6,5	Wismut	13,4
Kadmium	24,7	Zink	26,7
Kobalt	12,7	Zinn	23,0
Raumausdehnungszahl γ bei 20°.			
Benzol	106	Kohlenstofftetrachlorid	122
Glyzerin	50	Schwefelsäure, konz.	57

¹⁾ Eisen und Stahl haben nahezu gleiche Längenausdehnung. Sie beträgt im Durchschnitt zwischen 0° und 100° das $11,5 \cdot 10^{-6} \cdot t$ fache, bei höheren Temperaturen das $(11,5 \cdot 10^{-6} + 0,008 \cdot 10^{-6} \cdot t)$ fache der Länge (t = Anzahl der Grade der Temperaturerhöhung). Stahlguß hat in hartem Zustand eine höhere Ausdehnung bis zu 0,000014, die aber bei Temperung auf den normalen Wert zurückgehen kann. Weicher Stahl hat die gewöhnliche Ausdehnung. Bei Gußeisen geht die Ausdehnung bis zu $9 \cdot 10^{-6}$ herunter.

Bei Eisenbauten wird mit Temperaturschwankungen von -25° bis +35° C gerechnet. Für die Feststellung der Grundmaße eines Entwurfes wird eine mittlere Temperatur von +10° C angenommen.

I. Wärmedehnungszahlen.

Längenausdehnungszahl α : $\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}$; l = Anfangslänge, Δl = Verlängerung, Δt = Temperaturzunahme.

Raumausdehnungszahl γ : $\gamma = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$; V = Anfangs-Rauminhalt, ΔV = Raumzunahme, Δt = Temperaturzunahme. Für feste Körper gilt $\gamma = 3\alpha$; für Gase gilt in großer Annäherung $\gamma = 1/273$, genau $\gamma = 1/273,16$.

II. Schwindmaße.

Während des Erstarrens und Erkalstens verkleinern sich die Abmessungen der Metalle. Auftretende Spannungen, die auf ungleichmäßiges Erstarren und auf ungleiche Werkstoffverteilung zurückzuführen sind, vergrößern oder verringern die Abmessungen nach der einen oder anderen Seite des Gußstückes.

Metall	Schwindmaße bezogen auf					
	Länge		Oberfläche		Rauminhalt	
	Verhältnis	cm auf 1 m	Verhältnis	cm ² auf 1 m ²	Verhältnis	cm ³ auf 1 m ³
Aluminium	1 : 56	1,79	1 : 28	357	1 : 19	53580
Aluminiumbronze ...	1 : 53	1,89	1 : 27	377	1 : 18	56610
Blei	1 : 92	1,09	1 : 46	217	1 : 31	32610
Bronze	1 : 63	1,59	1 : 32	317	1 : 21	47610
Glockenmetall.....	1 : 65	1,54	1 : 33	308	1 : 22	46140
Gußeisen	1 : 100	1,00	1 : 50	200	1 : 33	30000
Kupfer	1 : 125	0,80	1 : 63	160	1 : 42	24000
Messing	1 : 65	1,54	1 : 32	313	1 : 22	46140
Stahlguß	1 : 50	2,00	1 : 25	400	1 : 17	60000
Zinn	1 : 128	0,78	1 : 64	156	1 : 43	23400
Zink	1 : 62	1,61	1 : 32	313	1 : 21	48390

Beispiel. Ein Stab aus Stahlguß von 2,50 m Länge schwindet um $2,5 \times 2 = 5,0$ cm. Ein Körper aus Bronze, dessen Modell $300 \text{ cm}^3 = 0,000300 \text{ m}^3$ enthält, hat ein Kubikmaß von $300 \text{ cm}^3 - 0,000300 \cdot 47610 \text{ cm}^3 = 300 \text{ cm}^3 - 14,28 \text{ cm}^3 = 285,72 \text{ cm}^3$. In Walzwerken rechnet man das Schwinden des Stahles zu rd. 12 mm/m. Siehe „Gewichtsberechnung eines Gußstückes aus seinem Modell“.

III. Schmelzpunkte und Siedepunkte bei Normaldruck (760 Torr).

Schmelz- und Siedepunkte für chemische Elemente s. S. 86/87.

(Nur gleichteilige [homogene] Stoffe haben scharfe Schmelz- und Siedepunkte.)

Stoff	Formel	Schmelzpunkt (°C) (Erweichungspunkt)	Siedepunkt (°C)
Äthyläther	$\text{C}_2\text{H}_5 \cdot \text{O} \cdot \text{C}_2\text{H}_5$	-116,3	34,48
Äthylalkohol	$\text{C}_2\text{H}_5 \cdot \text{OH}$	-114,5	78,3
Ammoniak	NH_3	-77,7	-33,4
Anilin	$\text{C}_6\text{H}_5 \cdot \text{NH}_2$	-6,2	184
Azeton	$\text{CH}_3 \cdot \text{O} \cdot \text{CH}_3$	-94,3	56,1
Azetylen	C_2H_2	-81	-83,6
Bauxit	—	1820	—
Benzol (chemisch rein).....	C_6H_6	+ 5,5	80,1
Benzophenon	$\text{C}_6\text{H}_5 \cdot \text{CO} \cdot \text{C}_6\text{H}_5$	49,7	305,9
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10 \text{ H}_2\text{O}$	878	—
Bronze	90 bis 80 vH Cu, 8 bis 16 vH Sn, 2 bis 5 vH Zn	≈ 900	—

III. Schmelzpunkte und Siedepunkte bei Normaldruck (760 Torr). (Fortsetz.)

Stoff	Formel	Schmelzpunkt (°C) (Erweichungs- punkt)	Siede- punkt (°C)
Chlorbarium	BaCl ₂	955	1560
Chlorkalzium	CaCl ₂	772	> 1600
Chlorkalziumlösung, ges.	—	-40	—
Chlornatrium (Kochsalz)	NaCl	802	1440
Chloroform	CHCl ₃	-63,5	+61,2
Chromeisenerz	Cr ₂ O ₃ · FeO	≈ 2180	—
Deltametall	56 vH Cu, 41 vH Zn, 1 vH Fe, Mn, Pb	≈ 950	—
Eisen, Fluß-	—	1350 bis 1450	—
„ Guß-, grau	—	1200	—
„ „ weiß	—	1130	—
Eisenhochofenschlacke	Fe-Silikate + Fe-Oxyde	1300 bis 1430	—
Essigsäure (Eisessig)	CH ₃ · COOH	+16,7	118
Glyzerin (chemisch rein)	C ₃ H ₅ · (OH) ₃	+18°, fest bei 0°	290
Invarstahl	Ni-Fe-Legierung	1425	—
Kautschuk	[C ₁₂ H ₂₀] _n ¹⁾	≈ 125	—
Kochsalzlösung, gesättigt	NaCl aq	-18	—
Kohlendioxyd	CO	—	-191,48
Kohlendioxyd	CO ₂	(Sb) -78,52 ²⁾	—
Lote, Weich-	Sn-reich	135 bis 210	—
„ Wismut-	—	94 bis 125	—
Messing	66 vH Cu, Rest Zn	≈ 900	—
Naphthalin	C ₁₀ H ₈	80,1	217,9
Öl, Lein-	—	-20	316
„ Rüb-	—	-3,5	—
„ Terpentin-	C ₁₀ H ₁₆	-10	160
Paraffin	CnH _{2n+2} ³⁾	40 bis 70	—
Porzellan, Hart-	kaolinreich	≈ 1480	—
Schwefeldioxyd	SO ₂	-75,3	-10,0
Schwefelkohlenstoff	CS ₂	-112	46,3
Stahl	Fe, < 0,6 vH C	1520 bis 1450	—
Stearinsäure	C ₁₇ H ₃₅ · COOH	70	380
Toluol	C ₆ H ₅ · CH ₃	-95	110,7
Tonerde, rein	Al ₂ O ₃	2050	2980
Wachs, Bienen-	—	≈ 63 bis 65	—
Walrat, rein, vom Potwal ...	—	49	—
Wasser	H ₂ O	0	100
„ 3,5 vH Salzgehalt ...	—	-2,3	—
Woodsches Metall	—	≈ 68	—

IV. Wärmeleitzahl λ

für verschiedene Stoffe (in kcal/m² h °C) ist die im Dauerzustand stündlich durch 1 m² Fläche des Stoffes zu einer anderen im Abstand von 1 m über tretende Wärmemenge bei 1° C Temperaturunterschied beider Flächen. λ ändert sich mit der Temperatur nach der Formel: $\lambda_t = \lambda_0(1 + \gamma t)$. γ ist die Temperaturziffer der Wärmeleitzahl. Bei elementaren Metallen ist γ negativ, sonst zumeist positiv. Poröse Stoffe leiten die Wärme wesentlich schlechter als kompakte, weil die Wärmeleitzahl der Luft sehr klein ist. Deswegen ist das Raumgewicht R bei porigen Stoffen in der Tafel angegeben.

¹⁾ n = unbekannte ganze Zahl.

²⁾ Sb = sublimieren.

³⁾ $n > 10$.

Wärmeleitzahl λ_{20} (bei Normaltemperatur).

Stoff	R kg/m ³	λ kcal/m h °C	Bemerkungen
Metalle (rein):			
Silber		360	
Kupfer		340	
Aluminium		197	
Nickel		80	
Eisen		63	
Quecksilber		6,5	
Legierungen:			
Silumin		139	88 vH Al, 12 vH Si
Alusil		138	80 vH Al, 20 vH Si, Kolbenleg.
Duralumin		125	95 vH Al, 4,5 vH Cu, 0,5 vH Mg
Messing		96	70 vH Cu, 30 vH Zn
Bronze		36	90 vH Cu, 10 vH Sn
Neusilber		21,5	62 vH Cu, 15 vH Ni, 22 vH Zn
Monel		19	29 vH Cu, 67 vH Ni, 2 vH Fe
Chromnickel		15	10 vH Cr, 90 vH Ni
V2A-Stahl (Krupp)		13	
Invar		9,5	35 vH Ni, 65 vH Fe
Natursteine:			
Basalt	2920	1,4	
Granit	2600 bis 2900	2,5	versch. Zusammen- setzung feinkörnig
Kalkstein	1650	1,9	
Marmor	2500 bis 2700	2,4	
Muschelkalk	2680	2,1	
Sandstein	2150 bis 2300	1,4 bis 1,8	
Baustoffe:			
Ziegel, gewöhnl.	1600	0,33	
„ hochporös	600	0,10	lufttrocken
Beton	1000	0,31	
Schlackenbeton	1200	0,25	
Magnesitstein	2010	2,4	
Schamotte	1940	0,64	für Ofenbau
Porzellan (Berlin)	2290	0,9 bis 1,1	
Org. Kunststoffe (elektr. Nichtleiter):			
Bakelit	1270	0,200	Phenol-Kresol- Formaldehyd
Fiber (Vulkan-)	1350	0,4	
Kautschuk 100%		0,11	rein, ohne Zusätze
Gummischwamm	224	0,047	
Linoleum	1180	0,13 bis 0,16	
Mikanit	2480	0,205	gemahl. Glimmer ge- preßt
Hartpapier I	1300	0,179	hell
Hölzer:			
Eiche, längs der Faser ...	600 bis 800	0,32	
„ quer zur Faser ...		0,15 bis 0,18	
Fichte, längs der Faser ...	620	0,22	
„ quer zur Faser ...		0,12	
Faser- u. pulverförmige Wärmeschutzstoffe:			
Asbestwolle	50	0,050	
Glaswolle	50	0,032	
Schlackenwolle	100	0,029	
Kieselgur	100	0,037	

Wärmeleitzahl (Fortsetzung).

Stoff	R kg/m ³	λ kcal/m h °C	Bemerkungen	
Flüssigkeiten:				
Paraffinöl	870	0,108	raffiniert	
Petroleum	800	0,130		
Wasser	1000	0,515		
Transformatoröl	840	0,130		
Zylinderöl	890 bis 910	0,116 bis 0,124		
Gase und Dämpfe:				
Kohlenoxyd (CO)		0,0211	trocken	
Kohlendioxyd (CO ₂)		0,0136		
Luft		0,0220		
Methylchlorid (CH ₃ Cl)		0,0090		
Schwefelkohlenstoff (CS ₂)		0,0060		
Tetrachlorkohlenstoff (CCl ₄)		0,0055		
Wasserdampf		0,0140		
Wasserstoff (H ₂)		0,1600		
für Flugmotoren bei $p = 1 \text{ kg/cm}^2$, $t = 20^\circ \text{C}$				

V. Spezifische Wärme, Schmelz- und Verdampfungswärme.

Stoff	Symbol oder Formel	Spez. Wärme kcal/kg °C bei 0°	Schmelz- wärme kcal/kg	Verd.-W. kcal/kg am normalen Siedepunkt (760 Torr)
Äthyläther	C ₂ H ₅ · O · C ₂ H ₅	0,55	24	86
Äthylalkohol	C ₂ H ₅ · OH	0,59	25	201
Ammoniak	NH ₃	0,492 ¹⁾	81	327
Anilin	C ₆ H ₅ · NH ₂	0,49	27,1	107
Aluminium	Al	0,212	85	2800
Antimon	Sb	0,050	40	300
Bakelit	Kunstharz	0,20 bis 0,40	—	—
Benzol	C ₆ H ₆	0,41	30,4	94,5
Beryllium	Be	0,418	341	5930
Blei	Pb	0,0309	5,7	220
Bronze	≈80 vH Cu, 16 vH Sn, 4 vH Zn	≈0,09	—	—
Chlor	Cl ₂	0,120 ¹⁾	45	62
Chlormethyl	CH ₃ Cl	0,176 ¹⁾	—	100
Chloroform	CHCl ₃	0,23	19	59
Chrom	Cr	0,104	70	1470
Eisen	Fe	0,105	65	1520
Gips, gebr.	CaSO ₄ · 1,5 H ₂ O	0,20	450	—
Glas	—	0,184	—	—
Gold	Au	0,031	16	420
Granit	saures Silikatgemisch	0,18	—	—
Graphit	C	0,19	—	12000
Hochofenschlacke	Fe-Silikate	0,20	≈ 50	—
Holzkohle	C	0,18	—	—
Kadmium	Cd	0,055	13	240
Kohlendioxyd	CO ₂	0,197 ¹⁾	44	137
Kupfer	Cu	0,092	50	1110

¹⁾ c_p spez. Wärme bei konstantem Druck.

V. Spezifische Wärme, Schmelz- und Verdampfungswärme (Fortsetzung).

Stoff	Symbol oder Formel	Spez. Wärme kcal/kg °C bei 0°	Schmelz- wärme kcal/kg	Verd.-W. kcal/kg am normalen Siedepunkt (760 Torr)
Magnesium	Mg	0,249	50	1350
Mangan	Mn	0,116	60	1000
Marmor	CaCO ₃ -Krist.	0,193	—	—
Maschinenöl	—	0,40 bis 0,51	—	—
Messing	60 vH Cu, 40 vHZn	0,093	≈ 44	—
Naphthalin	C ₁₀ H ₈	0,31	36	75
Nickel	Ni	0,106	70	1480
Paraffin, Hart-	C _n H _{2n+2} ¹⁾	≈ 0,46	≈ 35	—
Phosphor, gelb	P	0,18	5,2	400
Petroleum	Gemisch von Koh- lenwasserstoffen	≈ 0,51	—	—
Platin	Pt	0,032	27	600
Quecksilber	Hg	0,0333	2,8	72
Sauerstoff	O ₂	0,218 ²⁾	3,3	51
Schwefel, rhomb.	S	0,17	9,4	70
Schwefeldioxyd	SO ₂	0,151 ²⁾	27,9	96
Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	0,33	—	—
Schwefelkohlenstoff	CS ₂	0,24	17,7	89
Silber	Ag	0,056	25	520
Steinkohle	—	0,30	—	—
Terpentinöl	C ₁₀ H ₁₆	0,43	—	70
Toluol	C ₆ H ₅ · CH ₃	0,40	17,2	85
Wasser, fest (Eis)	H ₂ O (hexagonal)	0,463	79,4	—
„ , flüssig	H ₂ O	1	—	539,1
„ , gasf. (Dampf) ..	H ₂ O	0,43	—	—
Wasserstoff	H ₂	3,40 ²⁾	14	110
Wismut	Bi	0,029	13	200
Zink	Zn	0,092	26,8	430
Zinn	Sn	0,054 ²⁾	14,0	620

1) $n > 30$.

2) c_p spez. Wärme bei konstantem Druck.

Verbrennung.

A. Erklärung der Formelzeichen.

Zeichen:	Dimension :		Erklärung:
	feste u. flüssige Brenn- stoffe	gas- förmige Brenn- stoffe	
Nm ³	Normalkubikmeter bezogen auf 0° C, 760 mm HgS (Quecksilbersäule)		
Mol	ist die Gasmenge, deren Gewicht in kg gleich dem Molekulargewicht ist		
O ₂	kg/kg	Nm ³ /Nm ³	Sauerstoff
N ₂	kg/kg	Nm ³ /Nm ³	Stickstoff
C	kg/kg	Nm ³ /Nm ³	Kohlenstoff
S	kg/kg	Nm ³ /Nm ³	Schwefel
H ₂	kg/kg	Nm ³ /Nm ³	Wasserstoff
CO ₂		Nm ³ /Nm ³	Kohlensäure
CO		Nm ³ /Nm ³	Kohlenoxyd
CH ₄		Nm ³ /Nm ³	Methan
C _n H _m		Nm ³ /Nm ³	Schwere Kohlenwasserstoffe
W	kg/kg		Wassergehalt der festen Brennstoffe
H ₂ O		gr/Nm ³	Feuchtigkeitsgehalt der gasförmigen Brennstoffe
H _o	kcal/kg	kcal/Nm ³	oberer Heizwert
H _u	kcal/kg	kcal/Nm ³	unterer Heizwert
V _{oL}	Nm ³ /kg	Nm ³ /Nm ³	Luftbedarf zur Verbrennung
V _{oRG}	Nm ³ /kg	Nm ³ /Nm ³	Rauchgasmengen aus der Verbrennung (feucht gemessen)
V _{O₂}	Nm ³ /kg	Nm ³ /Nm ³	Sauerstoff zur Verbrennung
V _{CO₂}		Nm ³ /Nm ³	Anteil der Kohlensäure in der Rauchgasmenge
V _{H₂O}		Nm ³ /Nm ³	Anteil von Wasserdampf in der Rauchgasmenge
V _{N₂}		Nm ³ /Nm ³	Anteil von Stickstoff in der Rauchgasmenge
$n_{\ddot{u}} = \frac{V_{oRG}}{V_{oL}} \cdot \frac{O_2}{0,21 - O_2}$		Nm ³ /Nm ³	Luftüberschuß in Teilen der theoretischen Luftmenge
t_2		° C	Abgastemperatur des Ofens (Ofenende) (wahre Gastemperatur) nach Aufhören der nutzbaren Wärmeübertragung
C _{pm}		kcal/Nm ³	mittlere spezifische Wärme des Abgases bei der Temperatur t_2
Q	kcal/kg	kcal/Nm ³	Luft- bzw. Gasvorwärmung

B. Wesen der Verbrennung.

Unter der technischen Verbrennung versteht man die wärmeentwickelnde Reaktion der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff mit Sauerstoff, die oberhalb einer gewissen Temperaturgrenze (dem Zündpunkt) lebhaft und ohne äußere Wärmezufuhr verläuft. Die technischen Brennstoffe kommen in den drei Aggregatzuständen: fest, flüssig und gasförmig vor. Sie setzen sich zusammen aus den chemischen Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel. Der Schwefel bildet eine lästige Beimischung und wird heute vielfach, besonders bei den gasförmigen Brennstoffen, durch Aufbereitung entfernt. Kohlenstoff und Wasserstoff sind in den Brennstoffen nicht als Elemente, sondern in den verschiedensten chemischen Verbindungen enthalten. Der zur Verbrennung erforderliche Sauerstoff wird in den meisten technischen Feuerungen in Form von Luft zugeführt, die ein

Gemisch von Sauerstoff, Stickstoff und den verschiedensten Beimischungen wie Kohlendioxyd, Wasserstoff, Helium, Neon, Krypton, Xenon von der folgenden Zusammensetzung ist:

Bestandteile	Gewichtsteile	Raumteile
Sauerstoff O ₂	23,1, rd. 23	20,93, rd. 21
Stickstoff N ₂ einschließlich Beimengungen.....	76,9, rd. 77	79,07, rd. 79

Die Beziehungen zwischen Anfangs- und Endzustand einer Verbrennung sind gegeben durch die folgenden Gleichungen:

$\begin{aligned} C + O_2 &= CO_2 \\ 1 \text{ Mol} + 1 \text{ Mol} &= 1 \text{ Mol} \\ 2 H_2 + O_2 &= 2 H_2O \\ 2 \text{ Mol} + 1 \text{ Mol} &= 2 \text{ Mol} \end{aligned}$	$\begin{aligned} 1 \text{ Nm}^3 C + 1 \text{ Nm}^3 O_2 &= 1 \text{ Nm}^3 CO_2 \\ 2 \text{ Nm}^3 H_2 + 1 \text{ Nm}^3 O_2 &= 2 \text{ Nm}^3 H_2O \end{aligned}$
12 kg C (Gewicht eines Mol) werden in 1 Mol CO ₂ (Molvolumen = 22,4 Nm ³)	$1 \text{ kg C} + \frac{22,4}{12} \text{ Nm}^3 O_2 = 1,87 \text{ Nm}^3 CO_2$
4 kg H ₂ in 2 Mol H ₂ O übergeführt unter einem Verbrauch von je 1 Mol Sauerstoff	$1 \text{ kg H}_2 + \frac{22,4}{4} \text{ Nm}^3 O_2 = 11,2 \text{ Nm}^3 H_2O$

Man unterscheidet zwischen vollkommener und unvollkommener Verbrennung. Bei vollkommener Verbrennung ist der gesamte Gehalt an C und H₂ zu CO₂ und H₂O umgewandelt, während bei der unvollkommenen Verbrennung noch CO und H₂ in den Abgasen enthalten sind. Die vollkommene Verbrennung setzt voraus, daß zumindest die entsprechende theoretische Luftmenge zugeführt wird. Meistens arbeitet man bei technischen Feuerungen mit einem Luftüberschuß. Außerdem ist erforderlich, daß Brennstoff und Luft gut durchmischt werden und eine genügende Zeit zur Verbrennung gelassen wird. Man nimmt an, daß die Verbrennung der festen und flüssigen Brennstoffe über den dampfförmigen bzw. gasförmigen Zustand verläuft. Eine unvollkommene Verbrennung erzielt man dadurch, daß man mit Luftmangel verbrennt. Die Atmosphäre im Feuerraum nennt man bei dieser Art der Verbrennung **reduzierend**, im Gegensatz dazu bezeichnet man die Verbrennung mit Luftüberschuß **oxydierend**.

C. Heizwert der Brennstoffe.

Der obere Heizwert (Verbrennungswärme) H_o eines Brennstoffes stellt die Wärmemenge dar, die bei der vollständigen Verbrennung einer Einheit (kg oder Nm³) gebildet wird, wenn nach der Verbrennung die Verbrennungsprodukte auf die Ausgangstemperatur zurückgekühlt werden und sich das bei der Verbrennung gebildete Wasser bzw. das Wasser, welches im Brennstoff enthalten ist, im flüssigen Zustand befindet.

Der untere Heizwert H_u , oft nur als „Heizwert“ bezeichnet, ist gegenüber dem oberen Heizwert um die Verdampfungswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wassers niedriger und für die Berechnung der Auswirkung einer Feuerung zugrunde zu legen.

Der Heizwert der Brennstoffe wird durch kalorimetrische Untersuchung bestimmt oder kann durch die Elementaranalyse und die nachstehende Berechnung ermittelt werden.

Der Heizwert der festen Brennstoffe ergibt sich aus der Verbandsformel:

$$H_u = 8100 \cdot C + 29000 \cdot \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 2500 \cdot S - 600 \cdot W.$$

Der Heizwert von Gasen ist durch den Heizwert der einzelnen Bestandteile gegeben. Man kann hierfür einsetzen:

	Oberer Heizwert H_o	Unterer Heizwert H_u
Kohlenoxyd CO	3020	3020
Wasserstoff H ₂	3050	2570
Methan CH ₄	9520	8550
Schwere Kohlenwasserstoffe C _n H _m ..	18150	17000

Die zur Verbrennung benötigten Sauerstoff- und Luftmengen V_{oL} und die entstehenden Rauchgasvolumen V_{oRG} lassen sich durch die folgenden Beziehungen berechnen:

‡ Feste und flüssige Brennstoffe:

Sauerstoffbedarf:

$$V_{O_2} = 22,4 \left(\frac{C}{12} + \frac{H_2}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O_2}{32} \right) \text{ Nm}^3/\text{kg}.$$

Luftbedarf:

$$V_{oL} = 4,76 \cdot V_{O_2} \text{ Nm}^3/\text{kg}.$$

Rauchgasmenge:

$$V_{oRG} = 22,4 \left(\frac{H_2}{4} + \frac{W}{18} + \frac{N_2}{28} + \frac{O_2}{32} \right) + V_{oL} \text{ Nm}^3/\text{kg}.$$

Gasförmige Brennstoffe:

Sauerstoffbedarf:

$$V_{O_2} = 3,67 C_n H_m - O_2 + 0,5 CO + 2 CH_4 + 0,5 H_2 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3.$$

Luftbedarf:

$$V_{oL} = 4,76 \cdot V_{O_2} \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3.$$

Rauchgasmenge:

$$V_{CO_2} = CO_2 + 2,45 C_n H_m + CO + CH_4 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3,$$

$$V_{H_2O} = 2,45 C_n H_m + 2 CH_4 + H_2 + H_2O \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

$$V_{N_2} = N_2 + 3,76 \cdot V_{O_2} \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3,$$

$$V_{oRG} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3.$$

Ist aber nur die Brennstoffart und ihr Heizwert angegeben, so kann man mit genügender Genauigkeit die nachstehenden Erfahrungsformeln und Werte anwenden:

Brennstoff	Rauchgasvolumen	Luftbedarf
Feste Brennstoffe ...	$0,89 \cdot \frac{H_u}{1000} + 1,65 \text{ Nm}^3/\text{kg}$	$1,01 \cdot \frac{H_u}{1000} + 0,5 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
Öle	$1,11 \cdot \frac{H_u}{1000} \text{ Nm}^3/\text{kg}$	$0,85 \cdot \frac{H_u}{1000} + 2,0 \text{ Nm}^3/\text{kg}$
Arm gases ($H_u < 3000$)	$0,725 \cdot \frac{H_u}{1000} + 1,0 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$	$0,875 \cdot \frac{H_u}{1000} \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$
Reich gases ($H_u > 3000$)	$1,14 \cdot \frac{H_u}{1000} + 0,25 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$	$1,09 \cdot \frac{H_u}{1000} - 0,25 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$

Brennstoffart	Unterer Heizwert kcal/Einh.	V_{oL} Luft Nm ³ /Nm ³ oder kg	V_{oRG} Abgas Nm ³ /Nm ³ oder kg
Feste Brennstoffe (1 kg feucht)	3000	3,54	4,26
	4000	4,54	5,18
	5000	5,55	6,10
	6000	6,56	7,02
	7000	7,58	7,94
	8000	8,59	8,86
Öl (1 kg)	9600	10,20	10,90
Generatorgas (1 Nm ³ trocken)	1100	0,97	1,84
	1200	1,05	1,90
	1300	1,13	1,97
	1400	1,21	2,03
	1500	1,29	2,10

Brennstoffart	Unterer Heizwert kcal/Nm ³	V_{oL} Luft Nm ³ /Nm ³	V_{oRG} Abgas Nm ³ /Nm ³
Koksofengas (1 Nm ³ trocken)	3800	3,87	4,60
	4000	4,04	4,81
	4200	4,31	5,02
	4400	4,53	5,24
Gichtgas (1 Nm ³ trocken)	900	0,714	1,56
	1000	0,792	1,62
	1100	0,871	1,69
Mischgas aus Koksofen- und Gichtgas (1 Nm ³ trocken)	1400	1,23	2,05
	1800	1,67	2,47
	2200	2,11	2,90
	2600	2,55	3,32
Wassergas	2685	2,35	2,90

D. Luftüberschuß bei technischen Feuerungen.

Die wirklich verbrauchte Luftmenge V_L weicht bei technischen Feuerungen im allgemeinen von der theoretisch errechneten ab. Die Luftmenge und die Abgasmenge bestimmen dann die nachstehenden Formeln:

$$V_L = 1 + n_{\ddot{u}} \cdot V_{oL}/\text{Nm}^3,$$

$$V_{RG} = V_{oRG} + n_{\ddot{u}} \cdot V_{oL}/\text{Nm}^3 \text{ oder kg.}$$

Das Verhältnis der verbrauchten Luftmenge V_L zur theoretisch errechneten Luftmenge V_{oL} bezeichnet man mit Luftfaktor $\lambda = \frac{V_L}{V_{oL}}$.

Zusammenstellung des Luftüberschusses bei technischen Feuerungen.

Steinkohle: Planrost mit Handbeschickung	$\lambda = 1,7-2,0$
„ „ mechanischer Beschickung .	$\lambda = 1,4-1,7$
Wanderrost	$\lambda = 1,3-1,5$
Kohlenstaub	$\lambda = 1,2-1,4$
Braunkohle: Braunkohlenbrikett	$\lambda = 1,2-1,5$
Teeröl	$\lambda = 1,1-1,2$
Leuchtgas, Ferngas	$\lambda = 1,0-1,1$
Generatorgas gereinigt	$\lambda = 1,0-1,1$

E. Flammtemperaturen.

Bei wärmetechnischen Vorgängen ist neben einer bestimmten Wärmeleistung eine Temperaturhöhe erforderlich, deren obere Grenze für ein bestimmtes Gas durch eine Grenztemperatur gegeben ist. Die Flammtemperatur einer Verbrennung wird immer niedriger liegen als die Grenztemperatur t_g , da deren Höhe durch die Abstrahlung und die Ausbrenndauer erniedrigt wird.

Bei der offenen Verbrennung werden folgende Temperaturen erreicht:

Kesself Feuerungen mit Steinkohle, Innenfeuerung	etwa 1000—1200° C.
Unterfeuerung	„ 1100—1250° „
Vorfeuerung	„ 1300—1500° „
„ „ Braunkohle, je nach Kohle und Feuerungsart ..	„ 700—1500° „
„ „ Holz und Torf, je nach Feuerungsart	„ 700—1100° „
Leuchtgas, Bunsenbrenner, ohne Luftzufuhr	etwa 1700° „
„ mit halber Luftzufuhr	„ 1800° „
„ „ voller „	„ 1870° „
Leuchtgas-Sauerstoff	„ 2200° „
Wasserstoff, frei an der Luft verbrennend	„ 1900° „
mit Sauerstoff (Knallgebläse)	„ 2420° „
Alkoholf Flamme	„ 1700° „
Azetylen	„ 2550° „

F. Näherungsformeln zur Bestimmung der Grenztemperatur ohne Berücksichtigung der Dissoziation.

$$t_g \text{ (1200—2000°) } = \frac{H_u + Q + 120 \cdot V_{CO_2} + 120 \cdot V_{H_2O} + 40 \cdot V_{N_2}}{0,639 \cdot V_{CO_2} + 0,519 \cdot V_{H_2O} + 0,373 \cdot V_{N_2}}$$

$$t_g \text{ (1800—3000°) } = \frac{H_u + Q + 140 \cdot V_{CO_2} + 200 \cdot V_{H_2O} + 70 \cdot V_{N_2}}{0,649 \cdot V_{CO_2} + 0,561 \cdot V_{H_2O} + 0,389 \cdot V_{N_2}}$$

G. Beurteilung von Brennstoffen.

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit zweier Brennstoffe für einen Wärmeprozess läßt sich nur im Rahmen eines Vergleichs des gesamten Wärmeprozesses und seiner gesamten Kosten durchführen. Die veredelten Energien: Gas und Elektrizität, werden im allgemeinen bei einem Vergleich der reinen Brennstoffkosten schlechter abschneiden als die billigen festen Brennstoffe. 'Der höhere Preis, der für diese veredelten Energien gezahlt werden muß, läßt sich rechtfertigen, wenn man die Nebenkosten berücksichtigt, wie z. B. Kohlentransport und Kohlenlagerung, Aschentransport, Löhne für Bedienung der Feuerung, Haltbarkeit des Ofens und der Nebenapparate (Töpfe bei Topfglühöfen und Temperöfen, Chargiergestelle bei Emailleöfen usw.), Güte der Erzeugnisse infolge Verringerung des Ausschusses durch bessere Beherrschung von Temperatur und Ofengang, Platzersparnisse innerhalb der Werkstatt durch Fortfall der Feuerung an den Öfen und der Kohlenlagerung, Übersichtlichkeit der Werkstätten, Sauberkeit des Betriebes. Für diese Nebenkosten lassen sich nur selten bestimmte

Zahlen angeben; sie können aber leicht auf Grund der jeweils vorliegenden örtlichen Verhältnisse abgeschätzt werden.

Für den Vergleich zweier Brennstoffe ist nicht der untere Heizwert derselben maßgebend, sondern diejenige Wärmemenge, die bei dem für den Prozeß erforderlichen Temperaturgefälle ausgenutzt werden kann. Das Verhältnis der ausgenutzten Wärmemenge zu der im Brennstoff zugeführten gesamten Wärmemenge wird als feuerungstechnischer Wirkungsgrad η_F bezeichnet. In nachstehender Zahlentafel sind die Kosten für 1000 kcal ausgenutzter Wärme für verschiedene Brennstoffe zusammengestellt:

Kosten für 1000 kcal Nutz-Wärmeeinheiten.

	Dimension	Fester Brennstoff	Heizöl	Generatorgas aus Anthrazit, gereinigt	Generatorgas aus Braunkohlenbriketts, gereinigt	Ferngas	Elektrizität
Heizwert	kcal/kg kcal/Nm ³	7000	9600	1250	1500	4100	860
Kosten einschließlich Fracht u. Abladen	Pf./kg Pf./Nm ³	2,3	10,0	0,8	0,9	3,2	3,5
Luftüberschuß	%	70	20	5	5	5	—
Feuerungstech. Wirkungsgrad η_F	%						
bei 500° C		68	77	72	75	78	100
„ 1000° C		32	51	42	47	54	100
„ 1300° C		11	35	22	30	40	100
Kosten für 1000 kcal	Pf./1000kcal						
bei 500° C		0,485	1,35	0,89	0,81	1,00	4,07
„ 1000° C		1,03	2,04	1,52	1,27	1,43	4,07
„ 1300° C		3,00	3,00	2,90	2,03	1,95	4,07

Die Preise P für die einzelnen Brennstoffe sind angenommen. Mit den angegebenen Zahlen können die Kosten K für 1000 Nutz-Wärmeeinheiten nach der Formel berechnet werden:

$$K = \frac{P}{H_u \cdot \eta_F} \cdot 1000.$$

H. Wärmesparnis durch Luftvorwärmung.

Die Abwärme der Abgase läßt sich ausnutzen, indem man die Verbrennungsluft vorwärmt. Da die durch die Luftvorwärmung eingebrachte Wärmemenge keine Abgasverluste bedingt, so stellt dieselbe eine reine Nutzwärme dar. Bei Schmiedeöfen entspricht 1 kcal in der vorgewärmten Luft 2,5—3 kcal im Brennstoff zugeführt. Die zweckmäßige Luftvorwärmung bei Ferngas und Stadtgas liegt bei Öfen mit einer Arbeitstemperatur über 1000° bei 400—500°; bei Öfen, die mit Generatorgas geheizt werden, wird man in vielen Fällen Luft und Gas vorwärmen.

Die Brennstoffersparnis durch Ausnutzung der Abgase zur Luft- bzw. Gasvorwärmung gegenüber dem Betrieb mit kalter Luft ist in Hundertteilen:

$$\text{Brennstoffersparnis } E = \left(1 - \frac{H_u - V_{oRG} \cdot c_{pm} \cdot t_2}{H_u + Q - V_{oRG} \cdot c_{pm} \cdot t_1} \right) \cdot 100\%.$$

J. Chemische und technische Angaben über Brennstoffe.

Feste und flüssige Brennstoffe.

Zusammensetzung in Hundertteilen, Aschegehalt, Feuchtigkeit, Heizwert.

	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	Asche	Feuchtig- keit	unterer Heizwert kcal/kg
Holz	50,5	6,2	42,3	1,0	—	1-3	17-20	3252-3462
Torf	60,0	6,0	31,7	2,0	0,3	10-20	25-35	3450-2500
Braunkohlen:								
Niederrhein	68,1	5,3	25,6	0,5	0,5	2-3,5	50-60	1800-2500
Mitteldeutschland ...	70,5	5,1	21,1	0,9	2,4	6,65	29,64	3147
Steinkohlen, Ruhr:								
Gas- u. Gasflammkohle	81-85	5,4-5,8	7-11	1,3	1,1	} 4-12	1-10	{ 7700-6530
Eßkohle	88-90	4,3-4,7	4-5	1,2	1,0			
Anthrazitkohle	90-92	3,8-4,3	2-4	1,2	1,0			
Steinkohlen, Saargebiet	83,7	4,9	—	—	—	10,8	5,3	8000-6800 6780
Steinkohlen, Oberschles. Gaskohle (Kokskohle)	85-87	4,7-5,3	6-6,5	1,5-1,8	1,0-1,2	4-15	1-10	6540-8000
Braunkohlenbriketts:								
rheinische	68,1	5,3	25,6	—	0,5	5	15	4500-5200
mitteldeutsche	65,8	5,2	28,5	—	0,5	6,1	11,2	4795
Koks:								
Ruhr	97	0,4	0,6	1,0	1,0	6-10	1,0-10	7000-7300
Oberschlesien	94,7	0,86	2,04	1,1	1,1	8-9	2-10	7330
Saar	96,7	0,65	1,63	—	1,02	—	—	6670
Kraftöle:								
Deutsche Erdöle ...	85,1-86,8	11,6-14,4	0,0-1,2	—	0,1-0,2	—	—	8900-10350
Braunkohlenteeröle ...	85,4-86,7	9,8-12,6	0,8-3,2	—	0,4-1,6	—	—	9400-10100
Steinkohlenteeröle ...	87,1-91,4	6,0-7,8	1,4-4,9	—	0,4-0,9	—	—	8800-9100

Technische Brenngase.

Zusammensetzung in Hundertteilen, Heizwert, Verbrennungsmenge und Rauchgas.

	CO ₂	C _n H _m	O ₂	H ₂	CH ₄	Co	N ₂	Oberer Heiz- wert H _o	Unterer Heiz- wert H _u	Theor. Luft- menge V _{oL}	Rauch- gas- menge V _{oRG}
Generatorgas:											
aus Braunkohlen- brikett	5,0	0,4	—	13,6	2,0	30,0	49,0	—	1500	—	—
„ Anthrazit ...	5,5	—	0,1	16,5	1,0	25,6	—	—	1290	1,09	1,88
„ Koks	8,0	—	0,5	12,5	1,0	24,0	—	—	1140	0,94	1,76
Wassergas	5,0	—	0,5	47,5	0,5	37,5	—	—	2400	2,05	2,62
Gichtgas	7,5	—	—	2,5	—	29,0	61,0	950	940	0,75	1,59
Ferngas (Koksofen- gas)	1,9	2,1	0,4	57,1	24,2	5,9	8,4	4645	4092	4,17	4,93
Leuchtgas (Stadtgas)	4,0	2,0	0,4	51,5	17,0	21,5	4,0	4300	3830	3,81	4,45

Neue deutsche Werkstoffe.

Deutschland hat einen sehr großen Metallbedarf sowohl für seinen Binnenmarkt als auch für Ausfuhr in Form von Halb- und Fertigfabrikaten. Deutschlands Erzvorräte reichten schon vor dem Weltkriege nicht aus, um seinen Bedarf zu decken. Durch das Versailler Diktat wurden die Deckungsmöglichkeiten weiter eingeengt. So verlor Deutschland 72 vH seiner Eisenerzgrundlage (Minette-Gebiet).

Seit der Machtübernahme wurde die Metallgewinnung aus deutschen Erzvorkommen mit Erfolg ausgeweitet und gleichzeitig zur Einsparung devisenbelasteter Auslandsrohstoffe eine planvolle Erhöhung durch die Überwachungsstellen, jetzt Reichsstellen genannt, vorgenommen. Es erfolgte eine weitgehende Umstellung auf die devisenmäßig am wenigsten belasteten metallischen Werkstoffe, zum Teil auch auf nichtmetallische Werkstoffe, wie Kunststoffe, keramische Stoffe, Glas u. a. Es wurden Austauschwerkstoffe mit hervorragenden Werkstoffeigenschaften entwickelt, die zum Teil den klassischen Werkstoffen überlegen sind und in keinem Falle als Ersatzstoffe bezeichnet werden können.

A. Metallische Werkstoffe.

Eisen und Eisenlegierungen, Nichteisenmetalle und Nichteisenmetall-Legierungen der Gruppe Schwermetalle, Leichtmetalle und Leichtmetall-Legierungen, Hartmetalle.

I. Eisen und Eisenlegierungen.

Anordnung 45 der Reichsstelle für Eisen und Stahl.
(Aufträge auf Lieferung von legiertem Eisen und Stahl.)

Vom 3. Januar 1940.

„Auf Grund der Verordnung über den Warenverkehr in der Fassung vom 18. August 1939 (Reichsgesetzblatt I, S. 1430) und der Verordnung über die Errichtung von Überwachungsstellen vom 4. Sept. 1934 (Deutsch. Reichsanz. u. Preuß. Staatsanz. Nr. 209 vom 7. Sept. 1934) in Verbindung mit der Bekanntmachung über die Reichsstellen zur Überwachung und Regelung des Warenverkehrs vom 18. Aug. 1939 (Deutsch. Reichsanz. und Preuß. Staatsanz. Nr. 192 vom 21. Aug. 1939) wird mit Zustimmung des Reichswirtschaftsministers angeordnet:

§ 1.

Den Vorschriften dieser Anordnung unterliegen Aufträge auf Lieferung von

- a) legierten Baustählen (einschl. Guß) für
Härtung
Vergütung
Einsatz- und Nitrierhärtung
geglühte und naturharte Verwendung,
warmfesten Baustählen (einschl. Guß), ausgenommen Hoch- und Tiefbaustähle;
- b) Stählen (einschl. Guß), die
auf Grund ihres Legierungsgehaltes nichtrostend, korrosionsbeständig, feuer- oder hitzebeständig sind, einschl. mit derartigen Stählen plattierten Materials;
- c) legierten Werkzeugstählen für Kalt- und Warmarbeit (einschl. Guß), ausgenommen Schnellarbeitsstähle;
- d) Magnetstählen (einschl. Guß);
- e) verschleißfesten Stählen (einschl. Guß);
- f) hochlegierten Sonderstählen (einschl. Guß).

§ 2.

(1) Eisen verarbeitende Betriebe haben bei Aufträgen auf Lieferung der in § 1 genannten Erzeugnisse den Verwendungszweck derart anzugeben, daß ersichtlich ist, welches Erzeugnis aus dem bestellten Material hergestellt werden soll und welchen technischen Bedingungen das Material bei der Verarbeitung und Betriebsbeanspruchung genügen muß.

Der Auftraggeber ist verpflichtet, auf Rückfrage des Auftragnehmers die über die technischen Bedingungen gemachten Angaben zu ergänzen.

(2) Eisen verarbeitende Betriebe können Aufträge, bei denen sie die nach Abs. 1 verlangte Angabe des Verwendungszweckes aus zwingenden Gründen der Geheimhaltung nicht machen können, der Reichsstelle für Eisen und Stahl mit einem Antrag auf Freigabe vorlegen, aus dem sich die in Abs. 1 geforderten Angaben ergeben. Die Reichsstelle für Eisen und Stahl entscheidet, ob der Auftrag angenommen werden darf.

(3) Die Auftragnehmer sind verpflichtet, über die Einrichtungen und Geschäftsverhältnisse, die infolge der Angaben des Verwendungszweckes zu ihrer Kenntnis gelangen, Verschwiegenheit zu beobachten und sich jeder Verwertung der Geschäfts- und Betriebsgeheimnisse zu enthalten.

§ 3.

Eisen verarbeitende Betriebe dürfen das bezogene Material zu keinem anderen Zweck als dem im Auftrag angegebenen verwenden.

§ 4.

Aufträge auf Lieferung der im § 1 genannten Erzeugnisse dürfen nur angenommen werden wenn die Lieferung dieser Erzeugnisse für die von den Auftraggebern genannten Verwendungszwecke von der Reichsstelle für Eisen und Stahl in Anordnungen oder Anweisungen zugelassen worden ist.

§ 5.

In besonders begründeten Einzelfällen können auf schriftlichen Antrag Ausnahmen von den Bestimmungen dieser Anordnung zugelassen werden. Die Anträge sind über die zuständige Wirtschafts- und Fachgruppe bzw. den zuständigen Reichsinnungsverband der Reichsstelle für Eisen und Stahl einzureichen.

§ 6.

Zu widerhandlungen gegen die Bestimmungen dieser Anordnung fallen unter die Strafvorschriften der §§ 10 und 12 bis 15 der Verordnung über den Warenverkehr.

§ 7.

Die Anordnung tritt am Tage nach ihrer Veröffentlichung im Deutschen Reichsanzeiger und Preußischen Staatsanzeiger in Kraft.

Berlin, den 3. Januar 1940

Der Reichsbeauftragte für Eisen und Stahl
gez. Dr. Kiegel.“

Aus dieser Anordnung geht hervor, daß die Verwendung legierten Eisen- und Stahlmaterials an bestimmte Voraussetzungen gebunden ist, die im einzelnen durch zahlreiche Ausführungsbestimmungen der Reichsstelle für Eisen und Stahl und Sondervorschriften für bestimmte Legierungsreihen erläutert werden. Es bedarf also für den Verarbeiter genauester Kenntnis dieser Vorschriften. Sie haben den Zweck, den Verbrauch der mit meist aus dem Auslande einzuführenden Legierungsmetallen legierten Werkstoffe nur da zum Einsatz gelangen zu lassen, wo ein technisches Bedürfnis besteht und es im wehr- und lebenswichtigen Interesse notwendig ist.

a) Gußlegierungen.

Die nachstehend beschriebenen Gußlegierungen unterliegen den Verwendungsvorschriften der Reichsstelle für Eisen und Stahl. Nach diesen Vorschriften, von denen die Sammelvorschrift des Reichsbeauftragten (E 45) einen allgemeinen Überblick über die zugelassene Verwendung und weitere Einzelvorschriften die Höchstgehalte an Legierungsmetallen festlegen, ist der Einsatz solcher Legierungen nur für solche Verwendungszwecke zugelassen, für welche ein technisches Bedürfnis vorliegt. Es wird hierdurch erreicht, daß eine Fehlleitung lebenswichtiger Legierungsmetalle für untergeordnete Zwecke vermieden und für wehr- oder lebenswichtige Zwecke die benötigten Mengen sichergestellt werden.

Edelgußeisen hat heute Festigkeitseigenschaften, die 100 vH und mehr über den Werten von DIN 1691 liegen. Monelgußeisen, legiert mit Nickel, Chrom und Kupfer, hat wegen seiner Verschleißfestigkeit und chemischen Beständigkeit große Bedeutung. Chrom bzw. mit Chrom und

Molybdän legierte Sondergußeisensorten, z. B. der hoch säurebeständige Chromguß HSB, die hoch hitzebeständigen Sondergußeisensorten Pyrodur und CN und die nichtrostende Sonderlegierung Spiegelguß, zeichnen sich neben günstigen Festigkeitseigenschaften durch hohe Verschleißfestigkeit, Warmfestigkeit und gute chemische Beständigkeit aus. Mit Silizium legierte Gußeisensorten, z. B. Thermisilid und Thermisilid extra, sind hoch salzsäurebeständig; schwach mit Silizium legierte Gußeisensorten sind ausgesprochene Widerstandslegierungen. Mit Mangan und Nickel legierte Gußeisensorten zeichnen sich ebenfalls durch hohe Widerstandszahlen aus.

Die neuartigen unlegierten Tempergußsorten, vor allem der in dem Brackelsberg-Ofen oder dem basischen Siemens-Martin-Ofen erschmolzene Temperguß (Schwarzherz-Guß), haben sämtlich Festigkeitseigenschaften, die bis 65 vH über DIN 1692 liegen. Temperguß wird in einer Reihe von Umstellnormen für Apparaturen, Beschlagteile u. a. als Austauschwerkstoff von der Reichsstelle angeordnet. Schwachlegierte Tempergußsorten (als Legierungsbestandteile kommen Chrom, Nickel, Kupfer, Molybdän und Vanadium in Betracht) zeigen neben besonders guten Festigkeitseigenschaften hohe Verschleißfestigkeit und gute Verformbarkeit.

Durch sorgfältiges Führen und Überwachen des Schmelzvorganges hat der unlegierte Stahlguß Festigkeitseigenschaften über DIN 1682. Durch Zulegieren von Chrom bzw. Chrom und Mangan oder Mangan allein wurden die hoch verschleißfesten, stoßfesten und chemisch gut beständigen Sonderstahlguße entwickelt, z. B. die Marken NNA, Chrom 2, Mangan extra hart, F 431. Der nichtrostende und korrosionsbeständige Chrom-Nickel-Stahlguß ist weiter entwickelt und vervollkommenet worden.

b) Schmiedelegierungen.

Es ist immer mehr ein Abgehen von den hochlegierten Werkstoffen festzustellen, nicht nur in Deutschland aus Devisenersparnis, sondern auch in USA. aus Wirtschaftlichkeit. Bei genauer Abstimmung auf die wirklich auftretende Beanspruchung kommt man vielfach mit schwach- oder nichtlegierten Stählen aus. Hochlegierte Cr-Ni-Stähle konnten weitgehend durch niedriglegierte Cr-Mo-Stähle ersetzt werden.

Die Reihe der bekannten Baustähle ist durch die hochfesten Baustähle erweitert und vervollständigt worden. Dazu gehören: St 48 unlegiert mit höherer Streckgrenze wie vorher, die Siliziumbaustähle mit bis 0,5 vH Silizium, die gekupferten Stähle mit bis 0,55 vH Kupfer und die Chrom-Molybdän-Mangan-Stähle mit bis 0,3 vH Mangan, bis 0,4 vH Chrom und 0,2 vH Molybdän, der Reduktionsstahl (ein unlegierter, besonders rein und sorgfältig erschmolzener, doppelt desoxydierter Kohlenstoffstahl), das IZ-Flußeisen, die RH-Stähle u. a.

Bei den Kesselbaustoffen sind die neuartigen Chrom-Silizium-Molybdän-Stähle mit 2,5 bzw. 6 vH Chrom, 0,5 vH Molybdän und 1,2 bis 1,3 vH Silizium und die Chrom-Silizium-Aluminium-Molybdän-Stähle mit 0,5 vH Silizium, 0,4 vH Molybdän, 6,5 vH Chrom und 0,5 vH Aluminium wegen ihrer guten Zunderbeständigkeit bis zu 650 bzw. 800° besonders wichtig.

Als Widerstandslegierungen von besonders hoher Widerstandszahl sind Cekas und Cekas I mit 60 bzw. 20 vH Nickel und 17 bzw. 25 vH Chrom und Kanthal A₁ als Chrom-Aluminium-Kobalt-Eisenlegierungen neuartig entwickelt.

Die rostsicheren, schwerrostenden, rostfreien, säure- und hitzebeständigen Stähle sind durch reine Chromstähle mit 15—18 vH Chrom, Chrom-Mangan-Stähle mit 9—18 vH Mangan und 18—19 vH Chrom und Chrom-Silizium-Aluminium-Stähle mit 6—27 vH Chrom, 0,5—1,5 vH Silizium und 0,9—9 vH Aluminium erweitert worden.

Bei den Werkzeugstählen¹⁾ sind die Mangan-Silizium-Vanadium-Stähle und die reinen Chromstähle stärker in den Vordergrund getreten, obgleich nach wie vor die hochlegierten Chrom-Wolfram-Stähle die wichtigste Rolle spielen.

Bei den Einsatz- und Vergütungsstählen¹⁾ wurden die legierten und unlegierten Baustähle, DIN 1661 bis 1663, durch sparstoffarme Baustähle erweitert. Bei diesen sind Chrom, Mangan, Silizium und Vanadin die Träger hervorragender Eigenschaften, welche den bisher üblichen Forderungen durchaus entsprechen.

Von ausschlaggebender Bedeutung ist bei der Verwendung solcher neuen Baustähle das aus dem Röchling-Thermalhärteverfahren entwickelte Röchling-OCE-Verfahren (OCE bedeutet: „Ohne Cementation“). Die OCE-Baustähle sind Mangan-Vanadin-legierte Stahllegierungen höchster Güte. Ihre Behandlung nach dem OCE-Härteverfahren vermeidet das bisher übliche Einsatzhärten der legierten Baustähle, DIN 1662 und 1663. Trotz des Einsparens von Nickel, Chrom und Molybdän sowie des zeitraubenden und kostspieligen Einsatzhärtens ist der Erfolg der nach diesem Verfahren hergestellten Bauteile größer als der aus den bisher üblichen Einsatzstählen. Auch die Oberflächen-Autogenhärtung mit Azetylen- oder Leuchtgas-Sauerstoff-Flamme wurde weiter entwickelt und hat heute erhöhte Bedeutung für die Oberflächenhärtung großer und sperriger Bauteile.

Schrifttum: Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen, 2. Aufl. 1937. — E. Houdremont: Stahl-Eisen 58 (1938) S. 1185—1199; 57 (1937) S. 480—493. — H. Schrader und F. Brohl: Techn. Mitt. Krupp 2 (1939) S. 207—215. — Verordnungsblätter der Reichsstelle für Eisen und Stahl. — Röchling OCE-Schriften.

c) Hartmetalle²⁾.

Bei den Hartmetallsorten wurden einheitliche Formen und Härtebezeichnungen der Erzeugnisse Böhlerit, Diadur, Phönixit, Miramant, Titanit und Widia eingeführt. Dies bedeutet eine große Erleichterung für die Verbraucher dieser deutschen Sinter-Hartmetalle.

II. Nichteisenmetalle.

a) Schwermetalle.

1. Kupfer und Kupferlegierungen.

Kupferrohstoffe nach DIN 1708 (2. Ausg. Okt. 1935).

Hüttenkupfer A—D 99,0—99,6 vH Kupfer.

Kupfer E (Elektrolytkupfer), für Reinheit lediglich die elektrische Leitfähigkeit maßgebend.

Bronze und Rotguß nach DIN 1705 (April 1939).

Messing nach DIN 1709.

Hochfeste Kupferlegierungen sind solche mit mehr als 95 vH Kupfer und Zusätzen von Magnesium, Silizium, Magnesium und Silizium, Mangan und Silizium usw. Sie haben bedeutend höhere Festigkeiten als Rein-

¹⁾ Siehe Abschnitt „Werkzeugstahl“.

²⁾ Siehe Abschnitt „Deutsche Hartmetalle“.

kupfer, sind gut schweißbar und chemisch gut beständig, ermöglichen daher mit geringerem Kupferaufwand auszukommen. Dazu gehören: Sicudur, Sicufal I und II, Kuprodur, Mandura D, Mandura 105 und Legierung 132. Die letzten drei sind aushärtbar. Lieferformen: Bleche, Rohre, Profile, Schmiedestücke, Schleuderguß.

Außerdem sind eine Unzahl neuartiger Kupferlegierungen entstanden, die mit dem Sammelnamen Sparbronzen zusammengefaßt werden können. Darunter sind alle Kupferlegierungen zu verstehen, die unter weitgehendster Einsparung von Zinn aufgebaut worden sind, z. B. Rg 5/SG, Sparbronze Cu-Pb 12—Pb 30, Cu-Pb Sn 8.

2. Blei und Bleilegierungen.

Neu entwickelt wurden die zinnfreien Bleibronzen Bl-BzO, Cu-Pb-Ni und Cu-Pb, ferner die Sparweißmetalle Pb-Bn, Pb-Sb (beide zinnfrei) und Pb-Sb-Sn 2 bis Sn 10 (zinnarm). Die Blei-Spritzgußlegierungen wurden in DIN 1741 in fünf Untergruppen geordnet, wobei die Sorten Sg Pb 97 und Sg Pb 87 vollkommen zinnfrei sind und die drei anderen Sorten Sg Pb 85, 59 und 46 4—41 vH Zinn enthalten.

Die Hartbleirohre wurden in DIN 1397 U neu zusammengefaßt, wobei als Werkstoff ein Hüttenhartblei mit 1 vH Antimon vorgeschrieben ist und mit Rücksicht auf die höhere Festigkeit 10—20 vH geringere Wandstärken erreicht werden können. Für Muffenverbindungen wurden in DIN 2435 U neue Bestimmungen bezüglich des Bleis und des Hanfs gegeben und die Schraubmuffen Union, Halberg und Exzelsior vorgeschrieben.

3. Zinn und Zinnlegierungen.

Nach DIN 1703 U wurden die bisher in DIN 1703 genormten Lagerweißmetalle in drei neue Gruppen zusammengefaßt:

- a) mit bis höchstens 12 vH Zinn,
- b) mit bis höchstens 6 vH Zinn,
- c) mit bis höchstens 4 vH Zinn.

Die Verwendung von Zinn für Folien und für Tuben ist verboten, dafür wird Aluminium, Cellophan, Trolit und neuerdings Cellit vorgeschrieben. Die Zinn-Spritzgußlegierungen wurden in DIN 1742 neu aufgestellt.

4. Zink und Zinklegierungen.

Hüttenroh-zink mit einem Reinheitsgrad von etwa 98 vH dient als Ausgangswerkstoff für die handelsüblichen Zinkbleche. Raffinadezink mit einer Reinheit bis 99 vH entsteht durch Umschmelzen von Rohzink im Flammofen. Feinzink mit einem Zinkgehalt bis zu 99,995 vH wird auf elektrolytischem oder thermischem Wege gewonnen. Ein entsprechender Normblatt-Entwurf für Zink nach DIN 1706 liegt vor (Februar 1940).

Neben den schon länger bekannten Zink-Spritzgußlegierungen DIN 1743, Tafel 1, haben in neuerer Zeit die Zink-Formgußlegierungen, Tafel 2, und die Zink-Knetlegierungen, Tafel 3, als Austausch-Werkstoffe für Bunt- und Leichtmetalle besondere Bedeutung erlangt. So werden beispielsweise Gußlegierungen der Gattung G Zn-Al 4-Cu 1 auch für mittelbeanspruchte Lager verwendet.

Bei den Zink-Knetlegierungen ist die Auswahl der Werkstoffe nach dem jeweiligen Verwendungszweck zu treffen. So kommen für Stangen in Bohr- und Drehqualität insbesondere die Legierungen Zn-Cu 4 A und Zn-Al 10-Cu 1 in Frage, während für Rohre die Legierungen Zn-Al 4, Zn-Al 4-Cu 1 und

Tafel 1. Zink-Spritzgußlegierungen nach DIN 1743 und Merkblatt 10/1940

Zinkberatungsstelle G. m. b. H., Berlin W 50.

Gattung ¹⁾ (Kurzzeichen)	Zusammen- setzung in vH	Zugfestig- keit ²⁾ kg/mm ² σ_B	Bruch- deh- nung ³⁾ δ_{10} %	Brinell- harte ³⁾ 5/250/30 kg/mm ²	Richtlinien für die Ver- wendung
Sp G Zn-Al 4-Cu 3	3,5–5 Al über 2,4–4 Cu 0 –0,06 Mg Rest Feinzink ²⁾	32–38	2,5–2	80–120	Gut zu vergießende Legie- rungen für Gußstücke aller Art, an die hohe Ansprüche bezüglich Festigkeit und Härte je nach Anforderun- gen gestellt werden Die Wahl der Legierung ist abhängig von der Ge- staltung des Stückes
Sp G Zn-Al 4-Cu 1	3,5–4,3 Al über 0,6–2,4 Cu 0 –0,06 Mg Rest Feinzink ²⁾	27–33	5–2	70–90	
Sp G Zn-Al 4	3,5–4,3 Al 0 –0,6 Cu 0 –0,06 Mg Rest Feinzink ²⁾	25–30	6–3	60–70	Gußlegierung größtmög- licher Maßbeständigkeit

Tafel 2. Zink-Formgußlegierungen nach Merkblatt 15/1940

Zinkberatungsstelle G. m. b. H., Berlin W 50.

Gattung ⁴⁾ (Kurzzeichen)	Zusammen- setzung in vH	Zustand	Zugfestig- keit ²⁾ kg/mm ² σ_B	Bruch- deh- nung ³⁾ δ_{10} %	Brinell- harte 5/250/30 kg/mm ²	Richtlinien für die Verwendung
G Zn-Al 4-Cu 1	3,8–4,3 Al 0,9–1,3 Cu 0,02–0,06 Mg Rest Feinzink ²⁾	Sandguß	18–24	1,5–0,5	70–90	Formguß hoher Festigkeit, praktisch maß- beständig
		Kokillenguß	22–25	2,5–1	80–100	
G Zn-Cu 4	3–5 Cu 0,15–0,25 Al Rest Feinzink ²⁾	Sandguß	11–18	1,5–0,5	75–85	Formguß mitt- lerer Festigkeit, maßbeständig, gut lotfahig
		Kokillenguß	17–19	2,5–1	80–90	

Zn-Cu 4 bevorzugt werden. Außer Blechen aus Feinzink, Sondergüten und Handelsgüte werden vor allem für höhere Beanspruchungen solche aus Zinklegierungen, Tafel 3, verarbeitet.

5. Nickel und Nickellegierungen.

Das Normblatt DIN 1701 für Rohnickel ist unverändert. Bei allen nickelhaltigen Legierungen tritt in Auswirkung der starken Nickelknappheit Deutschlands immer stärker der Austausch von Nickel durch Chrom, Mangan, Silizium, Kupfer in den Vordergrund. Die nickelplattierten Bleche zeigen heute bei rd. 50 vH der früheren Plattierungsstärke die gleichen günstigen Festigkeitseigenschaften wie früher.

¹⁾ Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das bei der Beuth-Vertrieb G. m. b. H., Berlin SW 68, erhältlich ist.

²⁾ Reinheitsgrad 99,99 vH. Die Legierungen dürfen höchstens folgende Beimengungen haben: Fe + Mn < 0,075 vH, Pb + Cd + Sn + Bi + Tl < 0,012 vH, davon Sn < 0,001 vH.

³⁾ Gemessen an gesondert gegossenen Prüfstäben.

⁴⁾ Die Gruppe der Zink-Formgußlegierungen wird in Kürze noch eine Ergänzung erfahren.

Tafel 3. Zink-Knetlegierungen nach Merkblatt 22/1940.
Zinkberatungsstelle G. m. b. H., Berlin W 50.

Gattung (Kurzzeichen)	Legierungszusätze in vH	Zugfestig- keit ¹⁾ kg/mm ² σ_B	Bruch- dehnung δ_{10} %	Brinell- harte 5/250/30 kg/mm ²	Richtlinien für die Verwendung
Zink-Preßlegierungen (Feinzink-Preßlegierungen).					
Zn-Al 4	4 Al 0,5 Cu 0,03 Mg	37—42	12— 8	90—100	Stangen, Profile, Rohre, Drähte, Gesenkpreßteile
Zn-Al 4-Cu 1	4 Al 1 Cu 0,03 Mg	37—44	12— 8	90—105	
Zn-Al 10	10 Al 0,3 Cu	32—35	26—20	65— 75	Profile, Rohre, Drähte
Zn-Al10-Cu1	10 Al 0,7 Cu 0,03 Mg	40—46	12— 8	90—110	Stangen, Profile, Bänder, Gesenk- preßteile, Automa- tenteile (hartbar), prakt. maßbeständig
Zn-Al 15	15 Al 0,05 Mg	44—48	8— 5	105—115	Kaltzähe Legierung
Zn-Al 25	25 Al 0,4 Cu 0,01 Mg	44—48	9— 6	100—120	Kaltzähe Legierung
Zn-Cu 4	4 Cu 0,2 Al	30—34	40—25	80— 90	Stangen, Profile, Rohre, Gesenkpreß- teile, maßbeständig
Zn-Cu 4 A	4 Cu 0,2 Al 0,7 Pb 0,3 Bi + Mn + Ti	30—36	20—10	75— 90	Automatenteile
Zink-Walzlegierungen (Zn-Al 10 und Zn-Cu 4 Feinzink-Walzlegierungen, Zn-Li Handelszink-Walzlegierungen)					
Zn-Al 10	10 Al 0,3 Cu 10 Al 0,3 Cu 0,01 Mg	22—32 40—50	100—60 20— 8	55— 65 100—130	Bleche und Bänder
Zn-Cu 4	4 Cu 0,2 Al	23—27 25—34 33—42	70—60 35—20 18—10	45— 55 65— 75 90—100	
Zn-Li	0,4 Pb 0,01 Li 0,8 Pb 0,01 Li	25—38 22—38	15— 8 23—15	65— 75 65— 75	Bleche und Bänder

b) Leichtmetalle.

6. Aluminium und Aluminiumlegierungen.

Reinaluminium, durch Schmelzflußelektrolyse hergestellt, ist in DIN 1712, Blatt 1—3, Dezember 1937, genormt. Als Reinaluminium H (Hüttenaluminium) gilt das den Reinheitsbedingungen, Tafel 4, entsprechende Aluminium, und zwar:

Tafel 4. Reinheitsgrade für Reinaluminium H nach DIN 1712, Blatt 1.

Benennung	Kurz- zeichen	Zulässige Beimengungen vH				
		insgesamt höchstens	Si + Fe weniger als	Ti weniger als	Cu + Zn höchstens	Sonstige Bei- mengungen
Reinaluminium H 99,7	Al 99,7 H	0,3	0,3	0,03	0,03	in handels- üblichen Grenzen
Reinaluminium H 99,5	Al 99,5 H	0,5	0,5	0,03	0,05	
Reinaluminium H 99	Al 99 H	1	1	0,03	0,1	

¹⁾ Gemessen an gesondert gegossenen Prüfstäben.

Zu Tafel 4: Aluminium für Elektrotechnik (E-Al, auch Leitaluminium genannt) darf, soweit keine Sonderbestimmungen getroffen sind, nicht mehr als 0,03 vH Ti + Cr + V enthalten; im übrigen gelten die Bestimmungen von DIN VDE 501.

Oberflächen von Walzplatten: Gußhaut von den Breitseiten der Platten entfernt.
Lieferart: Gußblöcke (Masseln), Walzplatten oder Walzbarren, Preßbolzen.

1. das unmittelbar aus den Rohstoffen hüttenmännisch gewonnene, auf der Hütte in Formen gegossene und mit dem Hüttenzeichen versehene Metall;
2. das in den Walzwerken aus den beim Verarbeiten von Hüttenaluminium zu Halbzeug im eigenen Betrieb anfallenden Abschnitten und aus Neumetall (Ziffer 1) sachgemäß umgeschmolzene, zu Walzbarren oder Preßbolzen vergossene Metall.

Als Reinaluminium U (umgeschmolzen) gilt das den Reinheitsbedingungen, Tafel 5, entsprechende Aluminium, wie es ganz oder teilweise aus Abfallmaterial eingeschmolzen wird.

Tafel 6 bezieht sich auf die Beschaffenheit des Werkstoffes Reinaluminium im Halbzeug (Bleche, Bänder, Streifen, Rohre, Profile, Preßteile, Drähte).

Tafel 5. Reinheitsgrade für Reinaluminium U nach DIN 1712, Blatt 2.

Benennung ¹⁾	Kurzzeichen ¹⁾	Zulässige Beimengungen vH				
		insgesamt höchstens	Si+Fe weniger als	Ti weniger als	Cu+Zn höchstens	Sonstige Beimengungen
Reinaluminium U 99,5	Al 99,5 U	0,5	0,5	0,03	0,05	} in handelsüblichen Grenzen
Reinaluminium U 99	Al 99 U	1	1	0,03	0,1	
Reinaluminium U 98/99	Al 98/99 U	2	2	0,05	0,1	(außer Mn) höchstens 0,1

Oberflächen von Walzplatten: Gußhaut von den Breitseiten der Platten entfernt.
Lieferart: Gußblöcke (Masseln), Walzplatten oder Walzbarren, Preßbolzen.

Tafel 6. Reinheitsgrade von Reinaluminium in Halbzeugen nach DIN 1712, Blatt 3.

Benennung	Kurzzeichen ²⁾	Zulässige Beimengungen vH					Verwendung
		insgesamt höchstens	Si+Fe weniger als	Ti weniger als	Cu+Zn höchstens	Sonstige Beimengungen	
Reinaluminium 99,7	Al 99,7	0,3	0,3	0,03	0,03	} in handelsüblichen Grenzen	Chem. Industrie für besonders hohe Ansprüche Chem. Industrie Elektrotechnik Schiffbau
Reinaluminium 99,5	Al 99,5	0,5	0,5	0,03	0,05		
Reinaluminium 99	Al 99	1	1	0,03	0,1		} Allgem. Zwecke
Reinaluminium 98/99	Al 98/99	2	2	0,05	0,1	(außer Mn) höchstens 0,1	

¹⁾ Benennung und Kurzzeichen stimmen mit RAL 631 A überein.

²⁾ Falls vom Besteller die Herstellung des Halbzeugs aus Reinaluminium H (Hüttenaluminium), siehe DIN 1712 Blatt 1, ausdrücklich gewünscht wird, ist dem Kurzzeichen für Al 99,7 oder Al 99,5 oder Al 99 der Buchstabe H hinzuzufügen.

Mit Rücksicht auf die Korrosionsbeständigkeit und die gute Verarbeitungsfähigkeit sollte Aluminium unter 99 vH Reinheitsgrad nicht benutzt werden. Für den Apparatebau ist Aluminium Al 99,5 H bzw. Al 99,7 H vorgeschrieben.

Die Aluminiumlegierungen sind in DIN 1713, Dezember 1937, neu genormt, von der Tafel 7 einen Auszug gibt.

Bezüglich der chemischen Beständigkeit sind alle kupferhaltigen Aluminiumlegierungen schlechter als die kupferfreien Legierungen. Besonders günstig bezüglich der Festigkeit und der chemischen Beständigkeit sind die Aluminium-Magnesium-Legierungen A 4—6, B 7—8, Tafel 7 (Sammelnamen Hydronalium) und die Aluminium-Silizium-Legierungen A 7, B 4—6, Tafel 7 (Sammelnamen Silumin). Die Knetlegierungen A 1—3 werden auch als die hochstahlfesten Aluminiumlegierungen bezeichnet, da ihre Festigkeitseigenschaften alle anderen Legierungen überragen.

Das Aushärten kann bei den Knetlegierungen B 1—4, Tafel 7, und den Gußlegierungen B 3, 6—8, Tafel 7, ausgeführt werden. Das Aushärten besteht in:

1. Glühen bei einer bestimmten Temperatur (Abschrecktemperatur);
2. sofort daran anschließendes Abschrecken in reinem kaltem Wasser;
3. sich daran anschließendes Altern oder Aushärten bei niedrigerer Temperatur (Aushärtetemperatur).

Erfolgt das Aushärten ohne nochmaliges Erhitzen durch längeres Lagern bei Raumtemperatur, so heißt die Legierung selbstalternd oder natürlich alternd; normale Aushärtezeit 5 Tage. Vertreter dieser Gattung ist Knetlegierung A 1, Tafel 7; alle anderen Gattungen müssen nochmals 10 bis 160 Stunden je nach Stückform, Stückgröße geglüht werden und sind durch nochmaliges Abschrecken fertig ausgehärtet; diese Legierungen heißen die künstlich alternden Legierungen. Alle Temperaturen bei der Aushärtebehandlung, Tafel 8, müssen peinlichst genau eingehalten werden, da sonst bedeutende Verschlechterung bzw. Unbrauchbarwerden eintritt. Bestwerte ergeben warm- und kaltverformte Knetlegierungen; Gußlegierungen streuen in den Werten wegen der verschiedenen Wandstärken. Alle umfangreichen Verformungsarbeiten sind bei der natürlich alternden Legierung A 1 vor dem Abschrecken, bei den künstlich alternden Legierungen nach dem Abschrecken aber vor dem Aushärten auszuführen. Vorteile der Aushärtung: Steigerung der Festigkeit und der Brinellhärte um rd. 50 vH (s. Tafel 7). Mehrfache Durchführung der Aushärtung ist ohne Gefahr der Güteminderung möglich. Das Erhitzen auf die Abschrecktemperatur erfolgt in Salzbadöfen mit Bädern aus Kali- und Natronsalpeter; das Erhitzen auf die Aushärtetemperatur in Ölanlaßöfen oder elektrisch beheizten Öfen mit Luftumwälzung.

Die Aluminiumlegierungen lassen sich schweißen, hart- und unter Umständen auch wechlöten; bei ausgehärteten und mechanisch verfestigten Legierungen gehen dabei Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit zurück. Bei elektrischer Punkt- und Nahtschweißung tritt dieser Rückgang in verringertem Maße ein.

Wegen der guten Leitfähigkeit von Reinaluminium und gewissen Aluminiumlegierungen sind durch die VDE-Vorschriften besondere Legierungen, Aldrey und Stahl-Aluminium, d. h. mit Aluminium ummantelte Stahlseile, als Leitlegierungen zusammengestellt worden (s. Tafel 9).

Für bestimmte Sonderzwecke wurden die Aluminium-Lagerlegierungen Alva 36 und die Quarzale entwickelt.

Tafel 7. Einteilung der Aluminium-

A. Aluminium-

Ungefähre Zusammensetzung vH	Zustand	Zugfestig- keit kg/mm ²	Bruch- dehnung vH	Brinell- harte kg/mm ²	Verwendung
1. Gattung Al-Cu-Mg . Aushärtbar, hohe Festigkeit, spez. Gew. 2,8. Die Korrosions- beständigkeit wird durch Plattieren mit einer kupferfreien, aushärtbaren Aluminium- legierung oder mit Reinaluminium erhöht. Farbkennzeichen: dunkelrot.					
3,5–5,5 Cu 0,2–2 Mg 0,2–1,5 Si 0,1–1,5 Mn Rest Al	weich	16–22	25–15	40–60	Mechanisch sehr hochbean- spruchte Teile
	ausgehärtet und gegebenenfalls nachgerichtet	34–52	24–8	90–140	
	ausgehärtet und kalt verfestigt	42–58	15–5	120–150	
2. Gattung Al-Cu-Ni . Aushärtbar, Warmfestigkeit, spez. Gew. 2,8. Farbkennzeichnung: hellrot (orange).					
3,8–4,2 Cu 1,8–2,2 Ni 1,3–1,6 Mg Rest Al	weich	16–22	25–15	40–60	Vorzugsweise hoch- beanspruchte, warm- feste Schmiede- stücke (200–300°)
	ausgehärtet	33–42	20–8	100–120	
3. Gattung Al-Cu . Aushärtbar, hohe Festigkeit, spez. Gew. 2,8. Farbkennzeichen: schwarz.					
4,5–6 Cu 0,4–0,6 Mn 0,2–0,5 Si Rest Al	weich	16–22	25–15	50–60	Mechanisch hochbean- spruchte Teile
	abgeschreckt und gegebenenfalls nachgerichtet	30–36	25–15	70–90	
	ausgehärtet und gegebenenfalls nachgerichtet	34–42	20–8	100–120	
	ausgehärtet und kalt verfestigt	42–50	10–2	120–140	
4. Gattung Al-Mg-Si . Aushärtbar, mittlere Festigkeit bei guter Verformbarkeit, gute Polierbarkeit, gute Korrosionsbeständigkeit, spez. Gew. 2,75. Farbkennzeichnung: weiß.					
0,3–2 Mg 0,3–1,5 Si 0–1,5 Mn Rest Al	weich	11–13	27–15	30–40	Teile von guter mechanischer und chemischer Widerstands- fähigkeit
	abgeschreckt und gegebenenfalls nachgerichtet	18–28	25–12	50–70	
	ausgehärtet und gegebenenfalls nachgerichtet	26–35	20–10	60–100	
	ausgehärtet und kalt verfestigt	35–42	10–2	100–120	

Für Automatenarbeiten sind die Automatenlegierungen Dürmes, Tordal, WA 301 und WI 301 und andere mehr geschaffen worden, siehe Tafel 13.

In stärkerem Maße werden Reinaluminium und die hoch chemisch beständigen Legierungen (Knetlegierung 6 und A 6 und 5, Tafel 7) als Plattierungswerkstoffe benutzt. Die mit Reinaluminium plattierten Werkstoffe (Reinaluminium als Plattierungswerkstoff, Grundstoff eine hochfeste, kupferhaltige Aluminiumlegierung) sind Albondur und Alautal; die mit Knetlegierung A 5 oder 6 plattierten Werkstoffe (Plattierungswerkstoff Knetlegierung 5 oder 6, Grundstoff hochfeste kupferhaltige Aluminiumlegierung) sind Bondurplat und Duralplat. Neuartig ist das Plattieren von Stahlblechen und Stahlbändern mit Reinaluminium. Der so hergestellte Werkstoff heißt Feran bzw. Trivalith.

Die Leichtmetall-Spritzgußlegierungen sind in DIN 1744 neu zusammengefaßt (s. Tafel 10 und 11).

Legierungen nach DIN 1713.

Knetlegierungen.

(Fortsetzung S. 184.)

Ungefähre Zusammensetzung vH	Zustand	Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung vH	Brinellhärte kg/mm ²	Verwendung	
5. Gattung Al-Mg. Hohe Festigkeit, sehr gute chemische Beständigkeit; gute Polierbarkeit, bei geringem Mangan Gehalt gut eloxierbar, spez. Gew. 2,6–2,7. Farbkennzeichn.: grün.						
Al-Mg 3 2,5–4 Mg	weich	19–25	26–18	50–60	Mechanisch hochbeanspruchte Teile von hoher Seewasserbeständigkeit	
	halbhart	22–27	15–8	55–65		
Al-Mg 5 4–6 Mg	weich	22–29	25–16	60–75		
	halbhart	25–32	15–8	70–85		
Al-Mg 7 6–8 Mg	weich	30–37	24–15	70–85		
	halbhart	35–42	15–8	90–105		
Al-Mg 9 8–10 Mg	weich	35–42	23–15	80–100		
	halbhart	38–46	15–8	95–110		
6. Gattung Al-Mg-Mn. Festigkeit höher als beim Reinaluminium, chemische und Seewasserbeständigkeit wie bei Gattung Al-Mg, spez. Gew. 2,7. Farbkennzeichnung: gelb.						
2–2,5 Mg 1–2 Mn 0–0,2 Sb Rest Al	weich	16–24	25–15	50–60		An Stelle von Reinaluminium, wenn höherer Verformungswiderstand und hohe chemische Beständigkeit erwünscht sind
	halbhart	20–30	8–4	60–80		
	hart	24–38	5–2	70–90		
7. Gattung Al-Si. Festigkeit höher als beim Reinaluminium, gute Korrosionsbeständigkeit, gute chemische Beständigkeit, spez. Gew. 2,7. Farbkennzeichnung: grün.						
12–13,5 Si Rest Al	weich	12–15	25–15	40–50	An Stelle von Reinaluminium, wenn höherer Verformungswiderstand erwünscht ist	
	halbhart	15–20	10–3	50–60		
	hart	18–25	5–2	60–80		
8. Gattung Al-Mn. Festigkeit höher als beim Reinaluminium, gute Korrosionsbeständigkeit, spez. Gew. 2,75. Farbkennzeichnung: violett.						
1–2 Mn Rest Al	weich	10–15	35–20	20–40	An Stelle von Reinaluminium, wenn höherer Verformungswiderstand erwünscht ist	
	halbhart	12–18	15–5	40–50		
	hart	18–25	5–2	50–60		

7. Magnesium und Magnesiumlegierungen.

Reinmagnesium wird technisch nur als Legierungsbestandteil benutzt. Die so aufgebauten Legierungen sind die Elektronlegierungen (I. G. Farbenindustrie Bitterfeld) und Magnewine (Wintershall AG., Kassel).

Die Magnesiumlegierungen sind nach DIN E 1717 — s. Tafel 12 — genormt. Die Magnesium-Spritzgußlegierungen sind in Tafel 10 und 11 mit erfaßt. Alle Magnesiumlegierungen dürfen kein Kupfer und kein Eisen enthalten, da Kupfer auch in sehr kleinen Mengen die Korrosionsbeständigkeit sehr stark vermindert und Eisen den Verformungswiderstand beträchtlich erhöht.

Für alle mit einem Ölfilm überzogenen Maschinenteile aus Magnesiumlegierungen genügt ein Korrosionsschutz durch Beizbehandlung. Bei Kontakt mit Schwermetallen und gleichzeitiger Anwesenheit von Feuchtigkeit sowie in sonstigen Fällen starker Korrosionsbeanspruchung sind weitere Oberflächen-schutz-Maßnahmen nach den Vorschriften der Hersteller erforderlich (Schutzlackierung, Isolierung, Zusatz von Schutzstoffen zu Kühlmitteln u. dgl.).

Tafel 7. Einteilung der Aluminium-

B. Aluminium-

Ungefähre Zusammensetzung vH	Zustand	Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung vH	Brinellhärte kg/mm ²	Verwendung
1. Gattung G Al-Cu . Festigkeit höher als beim Reinaluminium, gute Gießbarkeit, Wärmebeständigkeit, spez. Gew. 2,85 (bis 2,9). Farbkennzeichnung: schwarz.					
7-9 (15) Cu Rest Al	Sandguß	12-18	4-0,5	60-90	Gußstücke mit guter Wärmebeständigkeit
	Kokillenguß	12-20	3-0,5	70-100	
2. Gattung G Al-Zn-Cu . Festigkeit höher als beim Reinaluminium, gute Gießbarkeit, spez. Gew. 2,9-2,95. Farbkennzeichnung: blau.					
8-12 Zn 2-5 Cu Rest Al	Sandguß	12-18	4-0,5	60-90	Gußstücke aller Art, auch für wechselnde Belastung; Motorwagenteile
	Kokillenguß	12-20	3-0,5	70-100	
3. Gattung G Al-Cu-Ni . Aushärtbar, Warmfestigkeit, spez. Gew. 2,75. Farbkennzeichnung: hellrot (orange).					
4 Cu 2 Ni 1,5 Mg Rest Al	Sandguß	18-20	1-0,5	80-95	Vorzugsweise hochbeanspruchte warmfeste Gußteile
	Sandguß ausgehärtet	24-27	0,8-0,3	100-115	
	Kokillenguß	19-21	1-0,5	85-100	
	Kokillenguß ausgehärtet	26-34	1-0,5	100-120	
4. Gattung G Al-Si . Eutektische Legierungen mit ausgezeichneten Gieß Eigenschaften, guter chemischer Beständigkeit, spez. Gew. 2,65. Farbkennzeichnung: braun.					
11-13,5 Si Rest Al	Sandguß	17-22	8-4	50-60	Verwickelte stoßfeste Gußstücke
	Kokillenguß	18-26	5-3	60-80	
5. Gattung G Al-Si-Cu . Eutektische Legierungen mit ausgezeichneten Gieß Eigenschaften, spez. Gew. 2,65. Farbkennzeichnung: braun-blau.					
11-13,5 Si 0,7-0,9 Cu 0,2-0,4 Mn Rest Al	Sandguß	17-22	5-2	50-60	Verwickelte schwingungsfeste Gußstücke
	Kokillenguß	18-22	3-2	60-80	

Die Knetverformung der Magnesiumlegierungen muß in der Wärme ($\approx 300^\circ$) vorgenommen werden. Die Bezeichnung „leicht verformbar“ bei einigen Legierungen Tafel 12 ist als Vergleichsbewertung innerhalb des Gesamtgebietes der Magnesiumlegierungen zu verstehen.

Für eine große Reihe der in Tafel 7, 10 und 12 angegebenen Legierungen oder für ihre Anwendung bestehen gewerbliche Schutzrechte. Zahlreiche Legierungsamen sind als Warenzeichen eingetragen. Tafel 13 gibt über die wichtigsten Legierungen in diesem Punkte Aufschluß.

8. Verarbeitung von Leichtmetallen.

Bei allen Leichtmetallen und Leichtmetall-Legierungen ist die zerspanende Verarbeitung besonders günstig; wichtig sind ferner die geringen spezifischen Gewichte und die gute chemische Beständigkeit.

Als Verbindungsarbeiten kommen für die Leichtmetalle und ihre Legierungen in Frage: Falzen, Schrauben, Nieten, Löten, Schweißen.

Legierungen nach DIN 1713 (Fortsetzung).

Gußlegierungen.

Ungefähre Zusammensetzung vH	Zustand	Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung vH	Brinellhärte kg/mm ²	Verwendung	
6. Gattung G Al-Si-Mg . Eutektische und untereutektische Legierungen mit ausgezeichneten Gießeigenschaften, aushärtbar, guter chemischer Beständigkeit, spez. Gew. 2,65. Farbkennzeichnung: braun-violett.						
9—13,5 Si 0,4—0,6 Mn 0,1—0,5 Mg Rest Al	Sandguß ausgehärtet	25—29	4—1	80—100	Verwickelte schwingungsfeste Gußstücke	
	Kokillenguß ausgehärtet	26—32	1,5—0,7	90—110		
7. Gattung G Al-Mg . Aushärtbar, sehr gute chemische Beständigkeit; gute Polierbarkeit, bei geringem Mangangehalt gut eloxierbar, spez. Gew. 2,6—2,7. Farbkennzeichnung: grün.						
G Al-Mg (a) 2—4 Mg 0—1,5 Mn 0—1 Sb 0—0,3 Ti	0—1,5 Si	Sandguß unbehandelt	14—18	8—3	40—60	Teile mittlerer Festigkeit
		Sandguß ausgehärtet	24—28	8—5	80—90	Teile hoher Festigkeit
	Kokillenguß	unbehandelt	15—19	8—3	50—60	Teile mittlerer Festigkeit
		ausgehärtet	26—33	15—8	80—90	Teile hoher Festigkeit und Dehnung
G Al-Mg (b) über 4—10 Mg 0—0,5 Mn	0—0,6 Si	Sandguß unbehandelt	16—19	8—3	50—70	Stoßbeanspruchte Teile (gute Festigkeit und Dehnung)
		Sandguß homogen.	20—26	8—4	60—70	
	Kokillenguß unbehandelt	22—26	8—5	70—85		
	Kokillenguß homogen.	24—28	11—6	75—85		
G Al-Mg (c) 0—1 Sb 0—0,3 Ti	über 0,6—1,5 Si	Sandguß unbehandelt	16—19	5—2	55—80	Flüssigkeitsdichte Teile (gute Festigkeit, gute Gießbarkeit)
		Sandguß homogen.	19—23	10—6	55—65	
	Kokillenguß unbehandelt	19—25	4—2	80—90		
	Kokillenguß homogen.	20—26	8—5	60—80		
Rest Al	Kokillenguß ausgehärtet	22—26	10—7	60—65		
		ausgehärtet	22—27	6—3	80—90	
8. Gattung G Al-Mg-Si . Untereutektische Legierungen mit guter Gießbarkeit, Polierbarkeit, aushärtbar, guter chemischer Beständigkeit, spez. Gew. 2,7. Farbkennzeichnung: weiß.						
2—5 Si 0,3—2 Mg 0—1,5 Mn 0—1 Sb 0—0,3 Ti Rest Al	Sandguß	unbehandelt	13—18	3—1	60—70	Verwickelte hochbeanspruchte Gußstücke
		ausgehärtet	17—28	4—1	70—100	
	Kokillenguß	unbehandelt	15—20	5—1	60—80	
		ausgehärtet	20—30	4—1	80—100	

Das Falzen als vorbereitende Verbindungsarbeit kann nur bei Reinaluminium und weichgeglühten Aluminium-Knetlegierungen durchgeführt werden. Bei Elektron ist Falzen sowie jede Kaltbearbeitung, wegen der besonders großen Kerb- und Kantenempfindlichkeit, nur bei Elektron AM 503 bis zu einem Biegehalbmesser vierfacher Blechstärke möglich.

Bei Schraub- und Nietverbindungen ist auf die Korrosion besonders zu achten. Es soll grundsätzlich für die Schrauben und Nieten derselbe Werkstoff benutzt werden wie der Grundwerkstoff, oder eine Isolierung durch gut überstehende Unterlegscheiben aus Hartpapier, Hartgeweben oder Vulkanfiber angewendet werden. Bewährt hat sich auch das Eintauchen der Schrauben in Phenol-Kunsthartzlack. Verbindungen von Reinaluminium und Hydronalium mit Magnesiumlegierungen brauchen nicht isoliert zu werden, da zwischen diesen Metallen keine Korrosion auftritt.

Für die kupferfreien Legierungen A 4—8, Tafel 7, sind kupferfreie Werkstoffe für die Nieten und Schrauben zu wählen: Pantal, Antikorodal und Hydro-

Tafel 8. Temperaturen für das Aushärten von Aluminiumlegierungen.

Gattungsbezeichnung DIN 1713 und Tafel 7	Abschrecktemperatur (Glüh- temperatur)	Aushärte- temperatur (Alterungs- temperatur)	Gattungs- bezeichnung DIN 1713 und Tafel 7	Abschreck- temperatur (Glüh- temperatur)	Aushärte- temperatur (Alterungs- temperatur)
Al-Cu-Mg A 1	500—520°	20°	G Al-Cu-Ni B 3	500—520°	150—160°
Al-Cu-Ni A 2	500—520°	155—160°	G Al-Si-Mg B 6	510—530°	150—170°
Al-Cu A 3	500—510°	125—135°	G Al-Mg B 7	520—530°	150—160°
Al-Mg-Si A 4	540—560° 500—530°	155—160°	G Al-Mg-Si B 8	520—540°	155—160°

nalium. Für die kupferhaltigen Legierungen A 1—3, Tafel 7, sind kupferhaltige Werkstoffe für die Schrauben und Nieten zu wählen, z. B. Duralumin, Bondur und Lantal. Verzinkte Eisen- und Stahlschrauben können bei allen Aluminiumlegierungen und Reinaluminium benutzt werden. Ungeschützte Schwermetallschrauben sind wegen des sofort einsetzenden sehr starken Korrosionsangriffs zu vermeiden. Für alle Elektronlegierungen kommen für die Nieten und Schrauben Hydronalium und für weniger stark beanspruchte Niet- bzw. Schraub-Verbindungen Reinaluminium als Werkstoffe zur Verwendung. Niete und Schrauben aus Schwermetall und kupferhaltigen Aluminiumlegierungen scheiden wegen der sofort einsetzenden Korrosion grundsätzlich aus.

In allen Fällen sind bei den Schrauben wegen der geringeren Kerzbähigkeit größere Kernquerschnitte zu wählen als bei Stahl. Größere Unterleg-

Tafel 9. Baustoffe für elektrische Freileitungen.

$$F = \text{Reißlänge} = \frac{\text{Bruchlast}}{\text{Gewicht je m}} \quad \text{Vorlast nach VDE-Normen.}$$

	Rein- aluminium	Aldey (Leit- legierung)	Stahlaluminium (mit Reinaluminium ummantelte Stahl- seile)
Spezifisches Gewicht	2,7	2,7	3,45
Leitfähigkeit bei 20° $\frac{\text{m}}{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}$	34,8	30	34,8 ¹⁾
Spez. Widerstand 20° $\frac{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	0,0287	0,0333	0,0287 ¹⁾
Temperaturkoeffizient je 10° C*)..	0,004	0,0036	0,004 ¹⁾
Reißlänge F in m: ohne Vorlast**)	6670	11 100	8700 ²⁾
mit Vorlast**)	2350	4 330	3850 ²⁾
Zulässige Zugspannung kg/mm²...	8	13	11
Zulässiger Mindestquerschnitt mm²	25	25	15
Verhältniszahlen gegenüber Kupfer = 1: Leitfähigkeit	0,63	0,54	0,63 ¹⁾
Querschnitt	1,60	1,86	1,60 ¹⁾
Gewicht	0,50	0,564	0,62 ²⁾

¹⁾ Nur für den Aluminiummantel. ²⁾ Für das vollständige Seil.

*) Temperaturkoeffizient = Zahl, die angibt, um welchen Betrag sich um je 10° Temperaturerhöhung der spez. elektr. Widerstand sich ändert, abnimmt bei sinkender Temperatur, zunimmt bei steigender Temperatur.

**) Vorlast nach VDE-Normen = Sicherheitslast durch VDE-Normen vorgeschrieben; wegen der Belastung durch Schnee, Raureif und Wind im Betrieb, damit auch unter ungünstigsten Verhältnissen hohe Betriebssicherheit der Freileitung gewährleistet ist.

Tafel 10. Leichtmetall-Spritzgüßlegierungen („Sg“) nach DIN 1744.

Kurzzeichen	Zusammensetzung vH						Zulässige Beimengungen vH		Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung vH	Brinellhärte kg/mm ²	Gewicht ≈ kg/dm ³	Verwendung	
	Al	Cu	Ni	Mn	Si	Mg	Fe	Cu						Zn + Sn + Cd + Li + Ti + Sb
Sg Al-Cu	92-94	6-8	-	-	-	-	2,5	-	18-23	2-1,5	60-75	2,9	Einfache, dickwandige Gußstücke mit guter Festigkeit (Dünnwandige, schwierig herstellbare Gußstücke. Die Legierungen Sg Al-Si (ohne Kupferzusatz) und Sg Al-Mg sind gut korrosionsbeständig; Sg Al-Mg ist außerdem zu Dauerglanz polierfähig Für dünnwandige, schwierig herstellbare sowie besonders leichte Gußstücke.	
Sg Al-Cu-Si	90-92,5	6-8	-	-	1,5-2	-	2,5	-	20-25	1,5-1	70-90	2,9		
Sg Al-Cu-Ni	92-94	4,5-6	1,5-2	-	-	-	2,5	-	19-24	2,6-1,6	70-90	2,9		
Sg Al-Si	89,3-91,5	-	-	0,5-0,7	8-10	-	1,8	0,2	20-25	2,2-1,6	70-90	2,7		
Sg Al-Si-Cu	90-94	2,5-4	-	-	3,5-6	-	2,5	-	20-24	2,2-1,8	60-70	2,8		
Sg Al-Mg	88,5-96	-	-	0-0,8	0-1,2	4-9,5	1,8	0,2	20-24	2-1	70-90	2,6		
Sg Mg-Al-Zn	Al	Zn	Mn	Mg										
	8-10	0,2-1	0,1-0,5	88,5-91,7										

Tafel 11. Gießereitechnische Angaben über Leichtmetall-Spritzgüßlegierungen.

Legierungen mit dem Grundstoff	Erreichbare Genauigkeit des Sollmaßes	Mindestwanddicke je nach Stückgröße und Gestalt mm	Eingegossene Löcher		Verjüngung der Kerne in vH der Länge je nach Stückgröße und Gestalt mindestens
			nicht durchgehende größte Tiefe	durchgehende größte Länge	
Aluminium	bis 15 mm: ±0,03 mm über 15 mm: ±0,20 vH	1-3	3 × Dmr.	4 × Dmr.	0,8
Magnesium	bis 13,5 mm: ±0,02 mm über 13,5 mm: ±0,15 vH	1-3	3 × Dmr.	4 × Dmr.	0,5

Bei der Verarbeitung der Legierungen im Preßguß-Verfahren gelten für die chemische Zusammensetzung und die mechanisch-technologischen Eigenschaften Sonderwerte.

Tafel 12. Einteilung der Magnesiumlegierungen nach DIN E 1717.

A. Magnesium-Knetlegierungen.

Ungefähre Zusammensetzung vH	Zustand	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung vH	Brinellhärte kg/mm ²	Verwendung
1. Gattung Mg-Al.						
Mg-Al 3 { 2-4 Al 0-1,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	ohne Warmbehandlung	15-18	24-29	18- 8	55-60	Leicht verformbare Legierung, z. B. für Schmiedestücke mit hohen Rippen; Ätzplatten; kleine Preßteile; Plaketten
Mg-Al 6 { 6-7, Al 0-1,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	ohne Warmbehandlung	18-22	27-33	16-10	60-65	Übliche Legierung für Stangen, Rohre, Profile und Schmiedestücke; beschränkt schweißbare Blechlegierung (kurze Schweißnähte)
Mg-Al 9 { 8-11 Al 0-1,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	ohne Warmbehandlung	20-28	28-37	12- 6	70-80	Hoch beanspruchte Konstruktionsteile, z. B. Motorträger, Luftschrauben
	homogenis.	22-26	32-38	12- 9	65-75	
	ausgehärtet	26-30	36-43	6- 2	85-95	
2. Gattung Mg-Zn.						
4-5 Zn 0-0,2 Mn Rest Mg	ohne Warmbehandlung	16-18	24-28	18-14	50-60	Leicht verformbare Legierung, farbig beizbar, z. B. für Büroartikel
3. Gattung Mg-Mn.						
1-2,5 Mn Rest Mg	ohne Warmbehandlung	8-15	18-24	8- 1	40-50	Übliche Legierung f. Bleche, gut korrosionsbeständig, gut schweißbar, z. B. für Verkleidungsbleche, Kraftstoffbehälter, Armaturen

scheiben sind anzuwenden. Die Nietlöcher dürfen nur gebohrt, nicht gestanzt werden wegen der sonst auftretenden Kantenrisse.

Bei beiden Leichtmetallen und ihren Legierungen ist zu beachten, daß die kalt eingezogenen Leichtmetallniete die Kräfte durch den Lochlaibungsdruck, den Scherwiderstand und den Biege- und Zugwiderstand des stramm in die Bohrung eingepreßten und vorgezogenen Niets übertragen. Demzufolge soll die Teilung 2,5- bis 3mal Nietdurchmesser sein. Die Niete müssen gut vorgezogen und am besten mit Kreuzstegdöpper geschlagen werden. Wofern selbstvergütbare Aluminiumlegierungen — Duralumin — als Nietwerkstoffe verwandt werden, soll die Nietung innerhalb 4 Stunden nach erfolgter Aushärtung vorgenommen werden, da sonst Schwierigkeiten wegen der beginnenden Aushärtung auftreten.

Das Löten kann bei Aluminium und Aluminiumlegierungen mit Weich- und Hartloten vorgenommen werden. Die Weichlote sind auf Zink, Zinn, Kadmium, Blei, Wismut und Aluminium aufgebaut. Die Hartlote (Echtlote) bestehen aus 70—95 vH Aluminium mit Zusätzen von Kupfer, Nickel, Mangan, Zink, Kadmium, Antimon, Zinn und Silber. Bei den Lötverbindungen ist zu beachten, daß neben der schwierigen Technik der Lötung stets eine geringere Korrosionsbeständigkeit vorhanden ist.

Bei Elektronlegierungen können durch Kadmiumlote Lötverbindungen hergestellt, an Gußstücken durch Modellerlote Schönheitsfehler beseitigt werden. Grundsätzlich können alle Lötverbindungen bei Magnesiumlegierungen nur als Notbehelf angesehen werden.

Tafel 12 (Fortsetzung).
B. Magnesium-Gußlegierungen.

Ungefähre Zusammensetzung vH	Zustand	Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung vH	Brinellhärte kg/mm ²	Verwendung	
1. Gattung G Mg-Al.						
7-11 Al 0-0,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	Sandguß	ohne Warmbehandlung	16-20	3- 6	50-60	Dauerbeanspruchte Gußteile, z. B. Flugmotorengehäuse
		homogenis.	23-29	5-12	55-65	homogenisiert: für hohe Stoß- und Dehnungsbeanspruchung
		ausgehärtet	24-29	1- 5	70-90	ausgehärtet: für hohe Anforderung an Streckgrenze und Härte
	Kokillenguß	ohne Warmbehandlung	16-24	2- 8	55-65	Kokillengußteile jeder Art
2. Gattung G Mg-Al-Zn.						
G Mg-Al 3-Zn { 2,5-3,5 Al 0,5-1,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	Sandguß	ohne Warmbehandlung	14-17	7-10	40-50	Flüssigkeitsdichte Gußteile, z. B. Armaturen, Teile f. Öldruckleitungen
G Mg-Al 4-Zn { 3-4,5 Al 2-3,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	Sandguß	ohne Warmbehandlung	17-22	5- 9	45-55	Stoßbeanspruchte Teile, z.B. Flugzeuganlaufräder
G Mg-Al 6-Zn { 4-6,5 Al 2-3,5 Zn 0-0,5 Mn Rest Mg	Sandguß	ohne Warmbehandlung	16-20	3- 6	50-60	Dauerbeanspruchte Gußteile, z. B. Motorgehäuse, Getriebegehäuse; übliche Legierung für Gußteile in Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik, Werkzeugmaschinenbau, Gerätebau
3. Gattung G Mg-Mn.						
1-2,5 Mn Rest Mg	Sandguß	ohne Warmbehandlung	8-11	2- 5	35-40	Gut korrosionsbeständig, gut schweißbar, einzuschweißende Armaturen für Kraftstoff- und Ölbehälter
4. Gattung G Mg-Si.						
0,5-2 Si Rest Mg	Sandguß	ohne Warmbehandlung	9-13	1-4	40-45	Flüssigkeitsdichte Gußteile, z. B. Armaturen, Teile für Öldruckleitungen, in Fällen, wo die Legierung G Mg-Al 3-Zn wegen Gießschwierigkeiten nicht verwendbar ist

Die Regelverbindung für alle Leichtmetalle und ihre Legierungen ist die Schweißung. Benutzt werden: die Schmelzschweißverfahren und die Preßschweißverfahren. Als Regelverfahren für die Schmelzschweißung ist das Gasschmelzschweißverfahren mit der Azetylen-Sauerstoff-Flamme anzusehen. Dieses ist für sämtliche Leichtmetalle und Leichtmetall-Legierungen unter Verwendung besonderer Flußmittel bei richtiger Vorbereitung und richtiger Durchführung der Schweißung in allen Fällen anwendbar und ergibt Schweißverbindungen von günstiger mechanischer Festigkeit und guter chemischer Beständigkeit. Die Anwendung besonderer Schweißmittel ist notwendig, um die sich stets neubildende sehr dünne und festhaftende Oxydschicht, die im Gegensatz zu Stahl und Eisen in der Schweißflamme nicht reduzierbar ist, einwandfrei zu zerstören. Da alle Schweißmittel korrodierend

wirken, sind sie nach beendeter Schweißung sorgfältig durch Abbürsten, Nachwaschen und Nachbeizen zu entfernen. Die übliche Lichtbogenschweißung kann als Kohle-Lichtbogenschweißung, Metall-Lichtbogenschweißung und als Arcatomschweißung für Reinaluminium und Aluminiumlegierungen benutzt werden. Die Arcatomschweißung ist für alle Magnesiumlegierungen bedingt anwendbar, die reine Lichtbogenschweißung unmöglich.

Sämtliche Preßschweißverfahren sind für alle Leichtmetalle und Leichtmetall-Legierungen anwendbar, wobei eine geringere Festigkeit bei guter chemischer Beständigkeit zu beachten ist.

Für Reinaluminium kann auch nach dem Verfahren von Heräus die Hammerschweißung benutzt werden, ausgenommen für Behälter zur Aufbewahrung von Salpetersäure.

Bei allen Schweißverfahren ist zu beachten, daß das Schwindmaß der Leichtmetalle und ihrer Legierungen bedeutend größer ist als bei Stahl und Eisen, und daß bei Aluminium die Wärmeleitzahl dreimal so groß ist wie bei Eisen und Stahl.

9. Oberflächenbehandlung von Leichtmetallen¹⁾.

Die Oberflächennachbehandlung und der Oberflächenschutz bei den Leichtmetallen kann erfolgen:

bei Aluminium und seinen Legierungen durch Schleifen, Bürsten und Polieren, durch Beizen, durch Farb- und Lackanstriche, durch galvanische Überzüge, durch Oxydation,

bei Magnesium und Magnesiumlegierungen durch Schleifen und Polieren, durch Beizen, durch Lack- und Farbanstriche.

Zum Schleifen und Polieren sind Schleifscheiben bestimmter Härte und Bindung zu benutzen. Diese müssen um so härter sein, je weicher die zu schleifende Legierung ist, je kleiner die Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe und die Berührungsoberfläche ist. Die Korngröße der Scheibe ist von der Feinheit der geschliffenen Oberfläche abhängig. Sehr gut bewährt haben sich Scheiben aus Siliziumkarbid von verschiedener Körnung und Härte mit elastischer Bindung durch Gummi oder Kunstharz. Die Umfangsgeschwindigkeit soll 20—40 m/s betragen. Seltener werden scharfgebrannte Schleifscheiben mit keramischer Bindung benutzt.

Mit peinlichster Sauberkeit ist zu verfahren, da alle Leichtmetalle hochempfindliche Oberflächen haben.

Das Beizen erfolgt bei Aluminium und seinen Legierungen entweder durch 5—10minütige Behandlung in heißer 10proz. Sodalösung (mattweiße Oberfläche) oder $\frac{1}{2}$ —2minütige Behandlung in 10—20proz. Natronlauge (weiße Oberfläche) oder 5minütige Behandlung in einem Salpetersäure-Flußsäure-Gemisch (besonders reine weiße Oberfläche). Zu beachten ist dabei, daß alle Beizflüssigkeiten stark korrodierende Stoffe sind und demzufolge die gebeizten Werkstücke besonders sorgfältig nachbehandelt werden müssen. Hochbeanspruchte Teile dürfen wegen des Oberflächenangriffs nicht gebeizt werden.

Bei allen Magnesiumlegierungen erfolgt das Beizen durch Chromatbeizen in einer heißen Lösung von Wasser, Salpetersäure und Kalibichromat oder in einer heißen Salpetersäure-Chromat-Lösung oder in stark oxydierenden Beizbädern. Auch hierbei sind die Werkstücke sorgfältigst nachzubehandeln.

¹⁾ Siehe Abschnitt „Oberflächenschutz“.

Für Lack- und Farbanstriche sind besonders zusammengesetzte Lacke und Farbanstriche notwendig, die unter keinen Umständen einen chemischen Angriff der Leichtmetalle hervorrufen dürfen. Sorgfältiges Entfetten und Vorbereiten der Oberfläche durch Aufrauen oder besondere Verfahren — z. B. H-B-V-Verfahren, Chromatbeizen — ist zum Erreichen guter Haftfestigkeit unbedingt notwendig. Besonders bewährt haben sich für alle Leichtmetalle Kunstharzlacke, Lacke auf der Grundlage von Nitro- und Azetyllzellose und neuestens Lacke auf der Grundlage der Acrylharze.

Galvanische Überzüge sind nur für Aluminium und Aluminiumlegierungen nach dem Elytalverfahren möglich. Dieses erzeugt zunächst auf der Oberfläche einen sehr fest haftenden Überzug von Schwermetall, auf dem das einwandfreie Aufbringen galvanischer Überzüge ohne Schwierigkeiten möglich ist. Die Verfahren, galvanische Überzüge auf Elektronlegierungen aufzubringen, sind größtenteils noch im Entwicklungszustand. Die Firma Dr. Finckh in Stuttgart hat ein Verfahren zum unmittelbaren Aufbringen von Chromüberzügen auf Aluminium herausgebracht.

Die Oxydation von Aluminium und seinen Legierungen zum Zweck des Oberflächenschutzes kann durchgeführt werden:

durch rein chemische Verfahren: M-B-V-Verfahren und Irotka-Verfahren und

durch elektro-chemische Verfahren: Eloxal-Verfahren, Aloxier-Verfahren und Trisal-Schering-Verfahren.

Von der ersten Verfahrengruppe wird hauptsächlich das M-B-V-Verfahren (Modifiziertes Bauer-Vogel-Verfahren) benutzt. Dieses liefert nach sorgfältiger Reinigung und Entfettung durch Eintauchen in eine siedende wässrige Lösung von Alkalichromat oder Alkalibichromat während 5 bis 20 Minuten sehr fest haftende, dünne graue Oxydschichten. Diese sind verhältnismäßig weich, mechanisch wenig widerstandsfähig, aber sehr gut saugfähig und bieten einen guten Haftgrund für Farb- und Lackanstrich. Ein Verdichten der Oxydschicht kann durch Nachbehandlung mit einer 2—5proz. Wasserglaslösung und Ausglühen bei 100° erfolgen. Das Verfahren kann nur für Reinaluminium und kupferfreie Aluminiumlegierungen benutzt werden. Das Irotka-Verfahren kann für alle Aluminiumlegierungen benutzt werden und besteht in einem Eintauchen der Teile in kalte oder heiße wässrige Metallsalzlösungen.

Die elektrischen Verfahren liefern reine Überzüge, die unlösbar fest mit dem Grundmetall verbunden sind, geringe Schichtdicke haben, hohe Härte- und Verschleißfestigkeit, hohe Saugfähigkeit, gute Isolationsfähigkeit, günstige chemische Beständigkeit und hohe Absorptionsfähigkeit besitzen. Benutzt werden die vorgenannten Eloxal-Verfahren — Elektrolytisch oxydiertes Aluminium (im Ausland Aluminiteprozeß genannt) — für Reinaluminium und sämtliche Aluminiumlegierungen. Zur Zeit sind vier Verfahren in Anwendung:

Eloxal WX: arbeitet mit Wechselstrom von 40 Volt und 2—3 A/dm² Stromdichte bei 35° Badtemperatur, 40 Minuten Einwirkungsdauer und mit Oxalsäure als Elektrolyt; ergibt verhältnismäßig weiche, gut biegsame Schichten von weißlicher bis messinggelber Farbe.

Eloxal GX: arbeitet mit Gleichstrom von 60 bzw. 30 Volt und 1,4 bzw. 1,8 A/dm² bei 18—22 bzw. 35° Badtemperatur, 20—40 Minuten Einwirkungsdauer und mit Oxalsäure als Elektrolyt; ergibt hochverschleißfeste Schichten von besonders guter Korrosionsbeständigkeit.

Eloxal GS: arbeitet mit Gleichstrom von 15 Volt und 1,8 A/dm² bei 20—25° Badtemperatur, 20—40 Minuten Einwirkungsdauer und mit Schwefelsäure als Elektrolyt; ergibt elastische Schichten von mittlerer Härte und guter Saugfähigkeit und Einfärbbarkeit.

Eloxal XS: ist ein vereinigttes Verfahren; arbeitet zunächst mit Wechselstrom von 25 Volt und 1—1,5 A/dm² bei 35—40 Minuten Einwirkungsdauer und mit Oxalsäure als Elektrolyt. Sodann mit Gleichstrom von 30—40 Volt und 1—1,5 A/dm² und 40 Minuten Einwirkungsdauer und mit Schwefelsäure als Elektrolyt. Für beide Stromarten und Elektrolyten beträgt die Badtemperatur 35—40°; ergibt gut verschleißfeste Schichten von guter chemischer Beständigkeit (sämtliche angegebenen Zahlen sind Mittelwerte).

Durch entsprechende Abänderung der Stromverhältnisse, der Badtemperatur, der Konzentration des Elektrolyts und der Einwirkungsdauer lassen sich Eloxal-Schichten von ganz bestimmten, dem Verwendungszweck bestens angepaßten Eigenschaften herstellen. Da alle Eloxal-Schichten porös sind, geschieht die notwendige Nachverdichtung am besten durch Eintauchen in siedendes Wasser oder in heiße Dichromatlösung oder in heiße Schwermetall-Azetat-Lösung.

Neuartig ist das Seo-Fotoverfahren. Dabei werden die mit hochsaugfähigen Eloxal-Schichten versehenen Platten mit Aluminiumchlorid und anschließend mit Silbernitrat imprägniert und können wie gewöhnliches photographisches Papier zur Herstellung von Abzügen aller Art, z. B. Karten usw., benutzt werden.

Das Aloxier-Verfahren arbeitet mit Gleichstrom von 10—15 Volt, das Trisal-Schering-Verfahren mit Gleichstrom oder Wechselstrom von 16 bis 32 Volt und entsprechend zusammengesetzten Elektrolyten. Einwirkungsdauer und Nachbehandlung wie bei den Eloxal-Verfahren.

Nach dem Alzak-Verfahren der Langbein-Pfanhauser-Werke werden in besonderen Bädern mit Glanzelektrolyt die zu eloxierenden Teile vorbehandelt und behalten durch diese Vorbehandlung den Glanz der Vor- bzw. Fertigpolierung, der ohne Vorbehandlung in Eloxal-Bädern stark vermindert wird.

Die gleiche Firma hat für die Magnesiumlegierungen das Elomag-Verfahren — elektrische Oxydation von Magnesium — entwickelt. Die zu elomagierenden Teile werden nach sorgfältiger Reinigung und Entfettung 20—30 Minuten lang im Bad bei 70—80° behandelt. Die Nachbehandlung erfolgt durch Spülen und Trocknen und Lackieren mit gutem, säurefestem Klarlack.

Wie weit Beryllium, Kalzium, Natrium, Lithium, Rubidium, Tantal, Titan, Zäsium, Niobium in die Technik als Legierungsbestandteile eingeführt werden können, läßt sich zur Zeit noch nicht übersehen. Berylliumbronzen und Berylliumstähle sind bereits entwickelt, rechtfertigen aber durch ihre Eigenschaften noch nicht den verhältnismäßigen hohen Anschaffungspreis. Natrium, Kalzium und Barium werden bereits in kleineren Prozentgehalten als härtende Bestandteile für gewisse Lagerausgußwerkstoffe benutzt. Niobium findet in Gehalten bis 0,25 vH als Zusatz für Schweißdrähte zum Schweißen austenitischer rostfreier Stähle als Karbidstabilisator Verwendung. Titan bis 0,3 vH zugesetzt, wirkt bei Reinaluminium kornverfeinernd und lunker- und gasblasenvermindernd, allerdings wird die Leitfähigkeit herabgesetzt, so daß es für Leitaluminium nicht zugesetzt werden darf.

Tafel 13. Übersicht der Leichtmetall-Legierungen
nach Handelsbezeichnungen geordnet.

I. Aluminiumlegierungen.

Handelsname	Gattung nach DIN 1713	Hersteller bzw. Lieferer
A. Knetlegierungen.		
AGG 3	Al-Mn	Göttingen
AGG 51	Al-Mg-Si	Göttingen
Albondur	Al-plattiert; Al-Cu-Mg	V. L. W.
Aldrey	Al-Mg-Si	Aldrey
Alkumag 300	Al-Cu-Mg	Kreidler
Allautal	Al-plattiert; Al-Cu	V. L. W.
Al-Mg 3, 5, 7	Al-Mg	Wieland
Aludur 570, 580, 630	Al-Cu-Mg	Wütöschingen
Aludur 533 (Korrofestal)	Al-Mg-Si	Eveking
Aluman (AW 15)	Al-Mn	Singen
Alva 36	(Automaten-Legierung)	Heddernheim
AM/V, AM/22	Al-Cu-Mg (Aut.-Leg.)	Mansfeld
Anticorodal	Al-Mg-Si	Singen
Argalium	Al-Mg	Hirsch Kupfer
Argental	Al-Mn	Mansfeld
Automal	(Automaten-Legierung)	Erbslöh
Avional D, Z, 3125	Al-Cu-Mg	Singen
AW 15	Al-Mn	
Bergal A, Bd	Al-Cu-Mg	Bergmann
Bergal C	Al-Mg-Si	
Bondur 17/35, 17/65, 17/39, 17/69, 17/11	Al-Cu-Mg	V. L. W.
Bondurplatt	platt. Bondur	
BS-Seewasser	Al-Mg	Singen
BD 11	(Automaten-Legierung)	
BSS	Al-Mg	Heddernheim
DBA	Al-Mg (Aut.-Leg.)	I. G. Farben
Deltal	Al-Mg-Si	Deltametall
Deltoxal	Al-Mg	
Deltumin W, P, Q, R, S	Al-Cu-Mg	Wieland
Donal	Al-Mn	
Dürmes	(Automaten-Legierung)	Dürren
Dürmes	Al-Cu-Mg (Aut.-Leg.)	
Duralplatt	platt. Duralumin	Dürren
Duralumin 681 B, 681 ZB ^{1/3} , DM 31, 681 ZB, 681 A	Al-Cu-Mg	
Duralumin K	Al-Mg-Si	Deltametall Deltametall u. Schmöle
Duralumin W	Al-Cu-Ni	
Duralinium	Al-Mg	Felten & Guilleaume
Duranalium 3, 2 S	Al-Mg-Mn	
Erges	Sonderlegierung	Felten & Guilleaume
Erges 4	Al-Mg-Si	
F u. G 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f	Al-Cu-Mg	Felten & Guilleaume
F u. G. 3	Al-Cu	
F u. G 4	Al-Mg-Si	Felten & Guilleaume
F u. G 5	Al-Mg	
F u. G 6	Al-Mg-Mn	Felten & Guilleaume
F u. G 8	Al-Mn	
Finodur	Al-Cu-Mg	Hirsch Kupfer
Finodal	Al-Mg-Si	
Finoman	Al-Mn	Lauta-Werk
G 54	(Sonderlegierung)	
Giesche ZL 3	(Sonderlegierung)	Kreidler
Hartal	Al-Cu-Mg (Aut.-Leg.)	Eveking
Hathal A	Al-Cu-Mg	Hackethal
Hathal B	Al-Mg	
Hathal C	Al-Mg-Si	Heddernheim
Heddal	Al-Mn	
Heddenal L	Al-Mg-Mn	

Tafel 13 (Fortsetzung).

Handelsname	Gattung nach DIN 1713	Hersteller bzw. Lieferer
Heddenal 7, 5, 35	Al-Mg	Heddernheim
Heddur H 1 V, H 2 V, H 2 VH, H 3 V, H 3 VH, H 4 V, H 5 V, H 6 V	Al-Cu-Mg	
Hiduminium 56, 59	Al-Cu-Ni	Rautenbach Karl Schmidt
Hodur	Al-Cu-Mg	Honsel-Werke
Howal	Al-Mg-Si	
Ho 3.....	Al-Mn	I. G. Farben und Rackwitz
Hydronalium Hy 5, Hy 7, Hy 9, Hy 25, Hy 71	Al-Mg	
Hydronalium DBA	(Sonderlegierung)	I. G. Farben I. G. Farben und Rackwitz
Jgedur 26, 32	Al-Cu-Mg	V. L. W.
KS-Seewasser	Al-Mg-Mn	V. L. W.
Korrofestal (siehe Aludur 533) ...		
Lautal (Allautal)	Al-Cu	Siemens-Schuckert
Legal I, II (W, TQ, A, AK)	Al-Mg-Si	
Legal BD	(Automaten-Legierung)	V. L. W.
Leg. 63/03	Al-Mg	Ed. Hueck
Legierung M	Al-Mn	Düren
Leichtmetall BD	(Sonderlegierung)	
Leichtmetall Mn 20	Al-Mn	Wutöschingen V. L. W.
M 115.....	Al-Mn	
Mangal.....	Al-Mn	Mansfeld
Mansfalium (2,5 Mg, 5 Mg, 7 Mg, 9 Mg)	Al-Mg	
ML 1	Al-Cu-Mg	Düren V. L. W. Heddernheim Osnabrück Hirsch Kupfer Osnabrück V. L. W. Heddernheim
ML 3	Al-Cu	
ML 4	Al-Cu-Si	
ML 5	Al-Mg	
ML 6	Al-Mg-Mn	
ML 8	Al-Mn	
MN 20	Al-Mn	
MZ B	(Automaten-Legierung)	
N.S.-Legierung W, P, A, V, AH, VH	Al-Cu	Osnabrück
Okadur 6	Al-Cu-Mg	
Okadur 58	(Automaten-Legierung)	Hirsch Kupfer Osnabrück
Optimal	(Al-Cu-Mg (Aut.-Leg.))	
Osmagal	Al-Mn	V. L. W. Heddernheim
Pantal (VLW)	Al-Mg-Si	
Pantal (VDM)	Al-Mg-Si	Singen
Peraluman 2	Al-Mg-Mn	
Peraluman 5 und 7	Al-Mg	Düren
Polital	Al-Mg-Si	
Protal	Al-Cu-Mg	Siemens-Schuckert
Protal BD	(Automaten-Legierung)	
Qualität M	Al-Mg-Si	Erbslöh
Qualität Q	Al-Cu-Mg	
Qualität 2/2		
Qualität 55	Al-Cu	
Qualität 512/240	(Sonderlegierung)	Wutöschingen
Quarzal (Q 2-15).....	(Lagerlegierung)	
Rheindur	Al-Cu-Mg	Rheinmetall
R-S-Legierung	Al-Mg-Si	
Sigamal 200.....	Al-Mg-Si	Kreidler
Silal BD.....	Al-Cu-Mg (Aut.-Leg.)	
Silal 53.....	Al-Mg	Ed. Hueck
Silal HL 35, H 1 32, V 2	Al-Cu-Mg	
Silal V	Al-Mg-Si	
Silal K	Al-Mn	Silumin-Gesellschaft Kreidler
Silumin	Al-Si	
Spanal 320	(Automaten-Legierung)	

Tafel 13 (Fortsetzung).

Handelsname	Gattung nach DIN 1713	Hersteller bzw. Lieferer
Tordal	(Automaten-Legierung)	Hedderheim
U 1 MWU 1	Al-Cu-Mg	Unna
MWU 4	Al-Mg-Si	
U 5 MWU 5	Al-Mg	Unna
MWU 6	Al-Mg-Mn	
U 8 MWU 8	Al-Mn	Unna
U 72	(Sonderlegierung)	
Ulmal	Al-Mg-Si	Wieland
Ulmium N, P, Q, R, S	Al-Cu-Mg	
WA 301	Automaten-Legierung ähnlich Al-Mg-Si	Wieland
WJ 301	Automaten-Legierung ähnlich Al-Cu-Mg	
Wicromal	Al-Mn	Erbslöh
Y-Legierung	Al-Cu-Si	Düren
Zieral	Al-Mg-Si	Osnabrück
B. Gußlegierungen.		
Alusil	(Sondergußlegierung)	Hedderheim
Amerikanische Legierung	G Al-Cu	
Anticorodal	G Al-Mg-Si	Vereinigte Aluminium- Gießereien, Singen
Argalium	G Al-Mg	Hirsch Kupfer
BS-Seewasser	G Al-Mg	Karl Schmidt
Deutsche Legierung	G Al-Zn	
Duranalium	G Al-Mg	Düren
EC 124	(Sondergußlegierung)	I. G. Farben und Rackwitz
G 97	(Sondergußlegierung)	
Hydronalium Hy 5, Hy 51, Hy 71, Hy 9 als Sand- und Kokillen- gußlegierung	G Al-Mg	Karl Schmidt
KS 280, 1275, 245	(Sondergußlegierung)	
KS-Seewasser	G Al-Mg	V. L. W.
KS-Seewasser	G Al-Mg-Mn	Honsel-Werke
KS Y	(Sondergußlegierung)	Karl Schmidt
Kupfersilumin	G Al-Si-Cu	Nürnberg
L 15	G Al-Mg-Mn	Honsel-Werke
Lo-Ex	(Sondergußlegierung)	Silumin-Gesellschaft
Neonalium	G Al-Cu	Hedderheim
Nüral 7	G Al-Mg	Hedderheim
Nüral 7	G Al-Mg-Si	Hedderheim
Nüral 43	G Al-Mg-Si	Nürnberg
Nüral 30, 122, 195, 200	G Al-Cu	
Nüral 77	G Al-Zn-Cu	Nürnberg
Nüral 94, 142	G Al-Cu-Ni	
Nüral 85, 132, 19	(Sondergußlegierung)	Vereinigte Aluminium- Gießereien, Singen
Peraluman 2, 7	G Al-Mg	
Polital	G Al-Mg-Si	Düren
Rr 50 Hiduminium	G Al-Cu-Ni	Rautenbach
RR 53 Hiduminium	G Al-Cu-Ni	Rautenbach
RR 50, 53, 56, 59	(Sondergußlegierung)	Rautenbach
Silumin	G Al-Si	Silumin-Gesellschaft
Silumin Beta	G Al-Si-Mg	
Silumin Gamma	G Al-Mg	R. Stock & Co.
Stalanium	G Al-Mg	
Titan-Sonderseewasser TSS 3, TSS 5, TSS 8	G Al-Mg	Karl Schmidt
Y-Legierung	G Al-Cu-Ni	

Tafel 13 (Fortsetzung).
II. Magnesiumlegierungen.

Handelsname	Gattung nach DIN 1717	Hersteller bzw. Lieferer
A. Knetlegierungen.		
AM 503	Mg-Mn	I. G. Farben Elektron
AM 537	Mg-Mn	
AZ 31	Mg-Al 3	
AZ M	Mg-Al 6	
AZ 585	Mg-Al 9	
Magnewin 3501	Mg-Mn	Wintershall und V.L.W.
Magnewin 3512	Mg-Al 3	
Magnewin 3510	Mg-Al 6	
Magnewin 3515	Mg-Al 9	
Magnewin 40	Mg-Zn	
V 1 in 3 Güten	Mg-Al 9	I. G. Farben Elektron
Z 1 b	Mg-Zn	
B. Gußlegierungen für Sand- und Schalen- guß.		
A Z G	G Mg-Al 6-Zn	I. G. Farben Elektron
A Z F	G Mg-Al 4-Zn	
A 9 V	G Mg-Al	
A Z 31	G Mg-Al 3-Zn	
A M 503	G Mg-Mn	
A Z 91	G Mg-Al	Wintershall
C M Si	G Mg-Si	
Magnewin 3508	G Mg-Al	
C. Magnesium-Spritzgußlegierungen nach DIN 1744.		
A Z 91	Sg Mg-Al-Zn	I. G. Farben Elektron
Magnewin Sg	Sg Mg-Al-Zn	Wintershall

Für Änderungen in den Handelsbezeichnungen und in den Lieferfirmen kann volle Bürgschaft nicht übernommen werden. Legierungen, die nicht mehr hergestellt werden, sind nicht aufgeführt. Legierungen aus der Ostmark und dem Sudetenland sind noch nicht berücksichtigt. Stand Dezember 1938.

Bedeutung der Firmen-Kurzbenennungen.

Aldrey	Im Aldrey-Ring zusammengeschlossen: AEG Kabelwerk Oberspree, Berlin-Oberschönweide; Bergmann-Elektrizitätswerke A.-G., Berlin-Wilhelmsruh; Felten & Guillaume Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim; Siemens-Schuckert-Werke A.-G., Berlin-Siemensstadt; Vereinigte Deutsche Metallwerke A.-G., Werk Hedder- heimer Kupferwerk, Frankfurt a. M.-Hedderheim.
Bergmann	Bergmann Elektrizitätswerke A.-G., Berlin.
Deltametall	Deutsche Deltametall-Gesellschaft, Düsseldorf-Grafenberg.
Düren	Dürener Metallwerke A.-G., Düren und Berlin.
Erbslöh	J. und A. Erbslöh, Metallwalzwerk, Wuppertal-Barmen.
Eveking	Deutsche Messingwerke C. Eveking A.-G., Berlin.
Felten & Guillaume	Felten & Guillaume, Carlswerk A.-G., Köln-Mülheim.
Göttingen	Aluminiumwerke Göttingen GmbH, Göttingen.
Hackethal	Hackethal Draht- und Kabelwerke A.-G., Hannover.
Hedderheim	Vereinigte Deutsche Metallwerke A.-G., Werk Hedderheimer Kupferwerk, Frankfurt a. M.-Hedderheim.
Hirsch-Kupfer	Hirsch Kupfer- und Messingwerke, Finow (Mark).
Honselwerke	Honsel-Werke, Meschede-Ruhr.
Hueck, Ed.	Ed. Hueck, Lüdenscheid.
I. G. Farben	I. G. Farbenindustrie, Bitterfeld.
I. G. Farben Elektron	I. G. Farbenindustrie, Abt. Elektronmetall, Bitterfeld.
Kreidler	Kreidlers Metall- und Drahtwerke, Stuttgart-Zuffenhausen.
Lauta-Werk	Vereinigte Aluminium-Werke A.-G., Lauta-Werk, Lausitz.
Mansfeld	Mansfeld A.-G., Hettstedt.
Nürnberg	Aluminiumwerke Nürnberg GmbH, Nürnberg.

Osnabrück	Osnabrücker Kupfer- und Drahtwerk, Osnabrück.
Rackwitz	Leipziger Leichtmetallwerke Rackwitz, Bernhard Berghaus & Co. K.-G., Rackwitz
Rautenbach	R. Rautenbach, Solingen.
Rheinmetall	Rheinmetall, Werk Sömmerda, Sömmerda (Thüringen).
Schmidt, Karl	Karl Schmidt G.m.b.H., Neckarsulm.
Schmöle	R. und G. Schmöle Metallwerke, Menden.
Silumin-Gesellschaft	Silumin-Gesellschaft mbH, Frankfurt a. M.
Siemens-Schuckert	Siemens-Schuckert-Werke A.-G., Berlin-Siemensstadt.
Singen	Aluminium-Walzwerke Singen, Singen-Hohentwiel.
Stock & Co.	R. Stock & Co. A.-G., Berlin-Marienfelde.
Unna	Messingwerk Unna i. W.
Vereinigte Aluminium- gießereien Singen	Vereinigte Aluminiumgießereien, Singen-Teningen, GmbH Werk Villingen (Schwarzalwe).
V.L.W.	Vereinigte Leichtmetall-Werke GmbH, Werk Linden, Han- nover-Linden.
Wieland	Wieland-Werke A.-G., Ulm.
Wintershall	Wintershall A.-G., Kassel.
Wutöschingen	Aluminiumwalzwerk Wutöschingen GmbH, Wutöschingen.

Schriftumsnachweis für Leichtmetalle.

a) Bücher.

- Aluminium-Taschenbuch. 8. Aufl. Berlin: Alu-Zentrale Neudruck 1939.
 Bürgel: Deutsche Austauschwerkstoffe. Berlin: Julius Springer 1937.
 v. Zeerleder: Technologie des Aluminiums und seiner Legierungen. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1934.
 Schriftenreihe Aluminium: Verwendung des Aluminiums in chemischen und Nahrungs-
 mittelindustrie. Deutsche Ausgabe der Alu-Zentrale Berlin.
 Melchior: Aluminium. Berlin: VDI-Verlag 1929.
 Werkstoffhandbuch Nichteisenmetalle. Berlin: VDI-Verlag 1936/37.
 Ullmann: Enzyklopädie der Technischen Chemie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzen-
 berg 1932.
 Schimpke-Horn: Handbuch der Ges. Schweißtechnik. Berlin: Julius Springer 1938.
 Werkstoff-Magnesium. 2. Aufl., Berlin: VDI-Verlag 1939.
 Willi Claus: Die austauschweise Verwendung von Nichteisenmetallen und legierten
 Stählen, S. 641. Berlin: N.E.M.-Verlag 1938.

b) Zeitschriften.

- Aluminium. Berlin: Verlag Alu-Zentrale.
 Technische Zeitschrift für praktische Metallbearbeitung. Berlin: Union-Verlag.
 Maschinenbau und Betrieb. Berlin: VDI-Verlag.
 Werkstatt und Betrieb. München 27: Carl Hanser Verlag.
 (Sonderfachhefte „Leichtmetalle“ 1937, 19/20, 21/22 und 1938, 23/24.)
 Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Berlin: VDI-Verlag.
 Zeitschrift für Metallkunde. Berlin: VDI-Verlag.
 Automobiltechnische Zeitschrift. Stuttgart: Franckhsche Verlagshandlung.
 Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin: Julius Springer.
 Gießereizeitung. Düsseldorf: Gießerei-Verlag.
 Stahl und Eisen. Düsseldorf: Stahleisen-Verlag.

c) Sonderdrucke und Leitblätter.

- Leitblätter der Vereinigten Leichtmetallwerke Hannover.
 Leitblätter der Dürener Metallwerke, Düren.
 Leitblätter der Aluminium-Beratungsstelle Berlin.
 Leitblätter und Sonderdrucke der I. G. Farbenindustrie, Abt. Elektronmetall. Bitterfeld.
 Magnewin-Drucksachen der Wintershall A.G. Kassel.
 Sonderdrucke der Lurgi, Frankfurt a. Main.
 Mitteilungen der Silumin-Gesellschaft, Frankfurt a. Main.
 Sonderdrucke der R. Rautenbach, Solingen.
 Kleinere Druckschriften der Griesogen, Frankfurt a. Main: Der Leichtmetallschweißer;
 Schweißen von Leichtmetallen.

B. Nichtmetallische Werkstoffe.

Unter die neuzeitlichen nicht metallischen deutschen Werkstoffe sind zu rechnen: Kunststoffe, vergütetes und veredeltes Holz, synthetischer Gummi, neuartige Gläser, neuartige keramische Werkstoffe. Für die Metallindustrie am wichtigsten sind unter diesen die Kunststoffe, die vielfach an die Stelle von Metallen getreten sind.

Kunststoffe.

Mit dem Sammelnamen „Kunststoffe“ (Preßstoffe) können alle gummi-freien Werkstoffe zusammengefaßt werden, die mit Ausnahme zweier Gruppen auf organischer Grundlage synthetisch aufgebaut sind. Sie lassen sich durch Gießen, Verpressen in geheizten Gesenken, Strangpressen und Verspritzen nach einem dem Metallpreßguß ähnlichen Verfahren verarbeiten. Einige Gruppen können außerdem zur Anfertigung von Schichtstoffen, Lacken, Folien, Kitten, Leimen, Emaillen, zur Holzvergütung, zur Herstellung von Sicherheitsgläsern und als Bindemittel benutzt werden. Sämtliche Kunststoffe sind durchaus neuartige Werkstoffe mit Eigenschaften, die die bisher bekannten und benutzten Werkstoffe nicht haben.

Tafel 18 gibt eine nach Handelsnamen geordnete Zusammenstellung. Eine einheitliche Bezeichnung und Einteilung besteht zur Zeit noch nicht. Die Einteilung wird daher am besten nach dem verwendeten Grundstoff des Kunststoffes vorgenommen werden. Denn dieser ist maßgebend nicht nur für die mechanisch-technologischen und chemisch-technologischen Eigenschaften, für das Isolationsvermögen, sondern auch für die Bearbeitung und Verarbeitung. Der Grundstoff ist jeweils richtungweisend für die Anwendungs- und Verwendungsgebiete des Kunststoffes. Den Grundstoffen nach kann man die Kunststoffe einteilen in:

a) Härtbare Kunststoffe; die Kunstharze:

1. auf der Grundlage von Phenol und Kresolen: Phenolharze oder Phenoplaste;
2. auf der Grundlage von Harnstoff bzw. Schwefelharnstoff: Harnstoffharze oder Aminoplaste.

b) Nichthärtbare Kunststoffe:

3. auf der Grundlage der Zellulosen;
4. auf der Grundlage der Kohlenwasserstoffe;
5. auf der Grundlage des Kaseins.

Daneben bestehen noch:

6. Kunststoffe auf der Grundlage von Bleiborat;
7. Kunststoffe auf der Grundlage von Zement;
8. Kunststoffe auf der Grundlage von Naturasphalt und Naturharz.

Die derzeit wichtigsten Kunststoffe sind die härtbaren Kunststoffe der Gruppen 1 und 2: die Kunstharze, wegen ihrer überragenden Eigenschaften und der dadurch bedingten sehr großen Anpassungsfähigkeit an die Verwendungszwecke. Steigende Bedeutung gewinnen die Kunststoffe der Gruppe 4. Die Kunststoffe der Gruppen 5, 6, 7, 8 sind ihrer Eigenart entsprechend auf bestimmte Anwendungsgebiete beschränkt.

a) Kunstharze.

1. Allgemeines.

Die Kunstharze entstehen als Kondensationsprodukte¹⁾ von Phenol- bzw. Kresolen mit Formaldehyd und einer Kontaksubstanz (Katalysator), Phenolharze oder Phenoplaste,

¹⁾ Kondensation ist die Zusammenlagerung von Molekülen zweier Stoffe unter Austritt eines dritten neugebildeten Stoffes (meistens Wasser).

oder von Harnstoff bzw. Thioharnstoff (Schwefelharnstoff) mit Form-
aldehyd mit oder ohne Kontaksubstanz (Katalysator), Karbamidharze
oder Aminoplaste.

Bei gewöhnlicher Temperatur sind sie entweder teigflüssig, flüssige Kunst-
harze, oder fest, feste Kunstharze. Je nach Mengenbemessung der einzelnen
Grundstoffe und je nach der Kontaksubstanz können Harze von ganz
bestimmten, gewünschten Eigenschaften hergestellt werden, z. B. Löslich-
keit, Isolationswert u. a.

Die Phenolharze fallen bei der Kondensation als zähflüssige oder feste
Harze von bernsteingelber bis dunkelbraungelber Färbung an. Sie sind
nicht vollkommen licht- und farbecht, worauf man bei ihrer Weiterver-
arbeitung Rücksicht nehmen muß.

Die Karbamidharze fallen bei der Kondensation als zähflüssige oder feste
milchig-weiß gefärbte Massen an. Im Gegensatz zu den Phenolharzen sind
sie vollkommen licht- und farbecht.

Die wichtigste Eigenschaft der beiden Gruppen von Kunstharzen ist ihre
Härtbarkeit. Darunter ist die Überführung aus dem Ursprungszustand
in einen Endzustand zu verstehen, in dem die Harze vollkommen unschmelz-
bar und für viele chemische Stoffe unangreifbar werden. Diese Härtung
erfolgt heute fast ausschließlich bei bestimmten Temperaturen und gleich-
zeitig angewandten sehr hohen Drücken, der Heißpressung. Dadurch
erreicht man ein Abkürzen des sonst stundenlang dauernden Härtevorgangs
auf wenige Minuten, erhält die Möglichkeit, den Härtevorgang je nach dem
herzustellenden Stück durchzuführen und bekommt Preßlinge von höchster
Oberflächengüte und höchsten mechanischen und besten chemischen Werten.

Die Harze können eingeteilt werden in drei Gruppen:

A-Harze oder A-Produkte (Resole bei den Phenoplasten). Darunter
versteht man die Kondensationsprodukte, die bei gewöhnlicher Temperatur
zähflüssig bzw. fest sind. Sie sind löslich z. B. in gewöhnlichem Alkohol,
Azeton, Phenol, Glycerin und Natronlauge. Sie sind schmelzbar und gieß-
bar. Sie werden benutzt zur Herstellung von Preßmassen, Schichtstoffen,
Lacken, Kitten, Emailen und bei den Edeldkunstharzen für Gießlinge.

B-Harze oder B-Produkte (Resitole bei den Phenoplasten). Sie
sind aus dem A-Zustand durch Erwärmung auf etwa 130° in den B-Zu-
stand übergeführt. Bei gewöhnlicher Temperatur sind sie fest und spröde
und nur noch quellöslich in den vorerwähnten Agenzien. Bei 130° sind
sie weich und außerordentlich bildsam, also vorzüglich preßbar.

C-Harze oder C-Produkte (Resite bei den Phenoplasten). Sie ge-
langen in diesen Zustand durch Erwärmung auf 140—180° bei den Pheno-
plasten und auf 140—155° bei den Aminoplasten. Sie sind bei gewöhn-
licher Temperatur chemisch nahezu unangreifbar für die vorerwähnten
chemischen Stoffe, nicht mehr schmelzbar und nicht mehr preßbar.

Der weitaus größte Teil der Kunstharze dient zur Anfertigung von Preß-
massen bzw. Schnellpreßmassen. Diese sind Gemenge aus:

Harz,	Flußmitteln und
Füllstoffen,	Farben.
Härtebeschleunigern,	

Zur Herstellung der Preßmassen dienen vorwiegend Resole bei den
Phenolharzen und die Karbamidharze.

Als Füllstoffe können bei den Phenolharzen alle Stoffe von pulveriger
oder faseriger Form, die vom Harz selbst nicht gelöst oder zerstört werden

und das Harz selbst nicht angreifen, zugesetzt werden. Man benutzt als organische Füllstoffe:

Holzmehl,

Textilfasern,

Zellulose und Zellulosebahnen,

Leinenschnitzel,

Papier, Papierschnitzel.

Als anorganische Füllstoffe benutzt man:

Asbest in Form von Pulver, Fäden und Fasern; ferner Gesteinsmehl.

Für die Karbamidharze wird vorwiegend Baumwollzellulose als Füllstoff benutzt.

Füllstoff und Harzmenge bedingen die Eigenschaften der Masse. Die Füllstoffe sollen den fertigen Preßteilen ganz bestimmte Eigenschaften verleihen, z. B. hohe Schlagfestigkeit, hohe Zähigkeit, hohe Oberflächen-güte. Sie dienen also nicht, wie häufig fälschlich angenommen wird, zum Verbilligen und Verschlechtern des Harzes.

Die Herstellung der Massen geschieht heute in Mischern und Walzen bei etwa 100° C. Bei dieser Temperatur schmilzt das A-Harz, durchtränkt die Füllstoffe und vermengt sich durch inniges Durcheinanderkneten mit den Härtebeschleunigern, Flußmitteln und Farben. Aus dem Mischer kommt die Masse in geheizte Walzwerke, wird dort zu pappenähnlichen Körpern — dem „Leder“ — ausgewalzt. Dieses wird beim Austritt aus der Walze fest und in Mahlwerken auf die gewünschte Körnung gemahlen. Außerdem werden durch Tränkung besonderer Stoffe, z. B. Asbestfäden, Leinenschnitzel usw., mit Phenolharzlösungen noch Preßmassen mit bestimmten Güteeigenschaften, z. B. für Zahnräder oder Lager, hergestellt.

Die Typenbezeichnungen haben sich geschichtlich entwickelt. Tafel 14 und 15 geben Übersichten über Zusammensetzung, Verarbeitung und Eigenschaften aller Kunst- und Preßstoffe oder, wie sie in diesem Zusammenhang genannt sind, gummifreier Isolierstoffe.

Die der Technischen Kommission der Fachgruppe 7 „Preßstoffe“ der Wirtschaftsgruppe Elektroindustrie angeschlossenen Firmen haben das Recht, auf ihre Erzeugnisse ein Kennzeichen anzubringen, das neben den drei Buchstaben M.P.A. (Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem) die Type und eine Kennzahl enthält. Es wird dadurch gewissermaßen zur Hausmarke des Herstellers. Damit ist den Verbraucherkreisen die Gewähr gegeben, daß unabhängig vom Sondernamen des Erzeugnisses und der Lieferfirma der richtige Werkstoff geliefert wird.

Die Beurteilung der plastischen Massen erfolgt nach mechanischen, elektrischen und chemischen Werten; außerdem nach Lichtechtheit, Preßfähigkeit, Tropensicherheit, Lauffähigkeit. Die außerordentlich scharfen Prüfbedingungen des Verbandes deutscher Elektrotechniker verbürgen einwandfreie Werkstoffe. Die in Tafel 14 und 15 angegebenen Werte sind Mindestwerte, die heute in allen Fällen hoch überschritten werden.

Nach DIN 7701 werden Kunstharz-Preßstoffe eingeteilt in: Nichtgeschichtete Preßstoffe und geschichtete Preßstoffe.

2. Nichtgeschichtete Preßstoffe.

Nichtgeschichtete Preßstoffe werden überwiegend als Fertigerzeugnisse durch spanlose Formung in beheizten Formen hergestellt und bedürfen außer der Gratbeseitigung in der Regel keiner weiteren Bearbeitung. Sie eignen sich auch zum Um- und Einpressen von Bauteilen aus anderen Werkstoffen. Da zur Herstellung Preßformen notwendig sind, lassen sich diese

Tafel 14. Typen gummifreier, nichtkeramischer Isolier-Preßstoffe.

Typ	Zusammensetzung	Verarbeitungsart		
1 ₁ 1 ₂ M	Phenolharz mit anorganischem Füllstoff	Warmpressung		
0 S			Phenolharz mit Holzmehl als Füllstoff	Warmpressung
T ₁ T ₂ T ₃					Phenolharz mit Textilfaser als Füllstoff	Warmpressung
Z ₁ Z ₂ Z ₃	Phenolharz mit Zellstoff als Füllstoff	Warmpressung		
K			Harnstoffharz mit organischem Füllstoff	Warmpressung
6 7	Naturharz, natürl. oder künstl. Bitumen mit anorganischem Füllstoff	Warmpressung		
8			Natürl. oder künstl. Bitumen mit anorganischem Füllstoff	Warmpressung
A	Azetylzellulose mit oder ohne Füllstoff	Warmpressung		
2 3	Phenolharz mit Asbest und anderem anorganischem Füllstoff	Kaltpressung		
4			Natürl. oder künstl. Bitumen mit Asbest und anderem anorganischem Füllstoff	Kaltpressung
Y	Bleiborat mit Glimmer	Warmpressung		
X	Zement oder Wasserglas mit Asbest und anderem anorganischem Füllstoff	Kaltpressung		

Diese Typisierung gilt gemäß Beschluß vom 27. 10. 1937 der Techn. Kommission der Fachgruppe VII, Untergruppe 1 und 2 der Wirtschaftsgruppe Elektroindustrie (WEI) und ersetzt alle früheren Typisierungen.

Unter Phenolharz sind alle härtbaren Kunstharze auf der Basis von Phenolen, d. h. Phenol, Kresol usw. zu verstehen.

Unter Kunststoffharz sind alle härtbaren Kunstharze auf der Basis von Harnstoff, Harnstoffharz, Thioharnstoff und deren Abkömmlingen zu verstehen.

Nach dem jetzigen Stande der Technik werden die Werte der Tafel 14 zur Zeit mit folgenden Füllstoff-Farben und -Strukturen erreicht:

- für Typ 1₁ mit körnigem, anorganischem Füllstoff, z. B. Gesteinsmehl,
- „ Typ 1₂ mit faserigem, anorganischem Füllstoff, z. B. Asbestfaser,
- „ Typ M mit anorganischen Gespinsten, z. B. Asbestschnur,
- „ Typ T₁ mit kurzer Textilfaser,
- „ Typ T₂ mit geschnitztem Textilgewebe,
- „ Typ T₃ mit Textilgewebeklebern,
- „ Typ Z₁ mit kurzfasrigem Zellstoff (Flocken, z. B. Papierflocken),
- „ Typ Z₂ mit Zellstoffschnitzeln (z. B. Papierschnitzeln),
- „ Typ Z₃ mit geschichtetem Zellstoff (z. B. Papierbahnen).

Preßstoffe besonders für Werkstücke verwenden, die in größeren Stückzahlen benötigt werden. Außerdem werden aber auch Formstangen und Rohre nach dem Strangpreßverfahren und Platten hergestellt.

In Tafel 15 sind nur die für die Verwendung wichtigsten mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften aufgenommen. Bezüglich der elektrischen Eigenschaften siehe VDE 0320 „Leitsätze für die Prüfung nichtkeramischer, gummifreier Isolierpreßstoffe“.

Die angegebenen Werte für Biegefestigkeit, Schlagbiegefestigkeit, Wärme- festigkeit und Glutfestigkeit werden bei denjenigen Preßstoffen gewährleistet, die der ständigen Überwachung durch das Staatliche Material- Prüfungsamt, Berlin-Dahlem, unterliegen und zur Kennzeichnung das Über-

Tafel 15. Eigenschaften gummfreier, nichtkeramischer Isolier-Preßstoffe.

Typ	Mechanische Eigenschaften			Thermische Eigenschaften		Elektrische Eigenschaften
	Biegefestigkeit mindestens kg/cm ²	Schlagbiegefestigkeit mindestens cmkg/cm ²	Kerbzähigkeit mindestens cmkg/cm ²	Warme- festigkeit nach Martens mindestens ° C	Glut- festigkeit mindestens Gütegrad	Oberflächen- widerstand nach 24 stünd. Liegen in Wasser mindestens Vergleichszahl
1 ₁	500	3,5	1,0	} 150	4	3
1 ₂	500	3,5	2,0			
M	700	15,0	15,0			
0	600	5,0	2,0	100	2	} 3
S	700	6,0	1,5	125	3	
T ₁	600	6,0	6,0	} 125	2	3
T ₂	600	12,0	12,0			
T ₃	800	25,0	—			
Z ₁	600	5,0	3,5	} 125	3	3
Z ₂	800	8,0	5,5			
Z ₃	1200	15,0	10,0			
K	600	5,0	1,2	100	3	4
6	350	3,5	—	} 65	2	} 3
7	250	1,5	—		1	
8	150	1,0	—	45	3	4
A	300	15,0	—	40	1	3
2	350	2,0	—	} 150	4	3
3	200	1,7	—			
4	150	1,2	—	150	4	3
Y	1000	5,0	—	400	5	4
X	150	1,5	—	250	5	—

Der VDE-Gütegrad für die Glutfestigkeit errechnet sich aus:

Gewichtsverlust in mg × Flammenausbreitung in cm.

Gütegrad 0: über 100000 = sehr leicht brennbar

„ 1: 100000—10000

„ 2: 10000—1000

„ 3: 1000—100



„ 4: 100—10

„ 5: unter 10 = unbrennbar.

Für die elektrischen Eigenschaften gelten folgende Bestimmungen¹⁾:

Elektrische Eigenschaft	Widerstand im Innern mindestens 5000 MΩ	Dielektrischer Verlustfaktor tg höchstens 0,1	Oberflächen- widerstand mindestens 5000 MΩ
Prüfverfahren ..	Sonderdruck VDE 0303, § 10	Sonderdruck VDE 0303, § 22	Sonderdruck VDE 0302, B 1
Versuchskörper	1 Normalplatte 150 × 150 mm (mit 5 Meßstellen)	2 Normalplatten	1 Normalplatte (ohne Abschleifen der Oberfläche)
Meßspannung ..	110 V Gleich- spannung	100 V Wechsel- spannung 800 Per/s	1000 V Gleich- spannung
Meßzeit	20 s	—	60 s
Vorbehandlung: 4 Tage in 80% rel. Luftfeuchtigkeit bei 20° C (nach Sonderdruck VDE 0308)			1 Tag in Wasser

¹⁾ S. a. Abschnitt Elektrotechnik.

wachungszeichen  tragen. Das gleiche gilt für Fertigerzeugnisse mit dem Überwachungszeichen .

Die 5 mm dicken Prüflinge sind 5 Minuten, die 10 mm dicken 10 Minuten lang bei einer Temperatur von 160° im Mittel, bei Typ K von 135°, zu pressen und nicht nachzuhärten. Prüfung auf mechanische Eigenschaften bei etwa 20°.

Die beheizten Formen werden als Einfach- und Mehrfachformen ausgeführt. Als Werkstoff kommen einfach legierte Stähle für die Phenoplaste und höher legierte Stähle (vor allem Chromstähle) für die Aminoplaste in Frage. Die Herstellung der Formen hat mit äußerster Sorgfalt und Genauigkeit zu geschehen, da die Güte der Formenoberfläche für die Güte der Oberfläche des Preßlings maßgebend ist. Jede Nachbehandlung des Preßlings durch Schleifen und Polieren schleift die härteste Schicht des Preßlings herunter, schädigt ihn, so daß das Nachpolieren nur eine vorübergehende Wirkung hat. Mit Rücksicht auf die sehr hohen Verformungsdrücke müssen die Formen sehr kräftig gebaut sein. Um die an und für sich beachtlichen Formkosten auf einer wirtschaftlich erträglichen Höhe zu halten, muß die Gestaltung des Preßlings der Eigenart der Preßmasse entsprechend vorgenommen werden. Dabei gelten unter anderem folgende Gesichtspunkte: Vermeidung von Werkstoffanhäufungen, Vermeidung von scharfen Ecken und Kanten, Beachtung einer genügend großen Aushebeschräge, Vermeidung von Unterschneidungen, richtige Anordnung von Bohrungen und Durchbrechungen, richtige Vorbereitung der einzubettenden Metallteile.

Naturgemäß zeigen die einzelnen Typen ganz verschiedene preßtechnische Eigenschaften. So ergeben z. B. die Typen S einfachste und schnellste Verarbeitung, sehr kurze Preßzeit, hochglänzende Gegenstände, erlauben dünne Wandungen herzustellen und verwickelte Stücke herzustellen. Sie sind billig, aber elektrisch nicht so günstig und von geringerer mechanischer Festigkeit als die anderen Typen. Die Typen T lassen sich schwieriger verpressen, ergeben nicht so glatte und saubere Oberflächen, wohl aber die besten Festigkeitswerte. Die Typen O ergeben längere Härtezeit, geringeren Glanz als die Typen S, zeigen aber gute elektrische Eigenschaften. Die Typen 1 sind am schwersten von allen Typen und haben geringere elektrische und mechanische Eigenschaften, aber sehr günstige Wärmebeständigkeit, Glutsicherheit und sind feuchtigkeitsbeständig.

Alle vorgenannten Typen sind als auf Phenol-Kresol-Grundlage aufgebaut nur bedingt lichtecht. Die Typen K sind dagegen vollkommen lichtecht und können in allen Farben geliefert werden. Sie zeigen gute elektrische Eigenschaften, sind ziemlich spröde, feuchtigkeitssicher, erfordern aber besonders sorgfältig hergestellte Formen aus hochlegierten Sonderstählen.

Die Preßdrücke sind abhängig von der Type der Preßmasse, von der Stückgröße, der Stückform und der Stückgestaltung. Sie liegen zwischen 150—800 kg/cm² je cm² Formoberfläche.

Die Preßzeit richtet sich nach der Wandstärke des Preßlings. Sie liegt zwischen 2 und 6 Minuten.

Das Beheizen der Formen erfolgt durch Gas, Heißwasser, Dampf oder Elektrizität. Es muß sehr gleichmäßig geschehen, damit alle Teile des Preßlings gleichmäßig und schnell durchhärten und ein Anbrennen bzw. Verbrennen in der Form unmöglich wird. Kleine Formen werden durch um-

gelegte Heizbänder geheizt, größere Formen durch eingearbeitete Heizkanäle. Um die Presse vor unnötiger und schädlicher Erwärmung zu schützen, werden Isolierplatten aus Asbestschiefer und Phenolharz-Schichtstoffen zwischen die Pressenteile und die Gesenke eingebaut. Um ein möglichst sparsames Arbeiten mit den Preßmassen zu ermöglichen und bei kürzester Preßzeit die Bestwerte zu erhalten, empfiehlt sich das Vorverdichten der Preßmassen auf besonderen Maschinen zu abgewogenen Pillen oder Tabletten, die abgezählt in die Preßform getan werden. Die Preßtechnik ist bei allen Schnellpreßmassen grundsätzlich anders als bei den Metallen.

Der eigentümliche Vorgang des Fließens und der an die Pressung sich sofort anschließenden Härtung erfordert Pressen besonderer Bauart. Diese können eingeteilt werden:

Nach der Art des Antriebes: Pressen für Handbetrieb mit 70 t größter Druckkraft. Pressen mit Kraftantrieb mit 5000 t größter Druckkraft.

Nach der Art der Kraftübertragung: Pressen mit mechanischem Antrieb durch 2 Wellengetriebe, 2 Kurbelgetriebe, Zahnkurvengetriebe, Kniehebelgetriebe, Kurbelgetriebe und mechanischem Preßluftgetriebe. Pressen mit Preßölgetriebe und Druckwasserantrieb.

Nach der Bauart: Einzelpressen, Reihenpressen und Drehtischpressen.

Nach der Druckwirkung: Unterdruckpressen, Oberdruckpressen und Winkeldruckpressen. Die heute meistens benutzte Pressenbauart ist die der Oberdruckpresse. Wegen seines geringen Höchstdruckes kommt der Handantrieb nur noch für kleinere Teile in Frage. Für Drücke bis 400 t kommen Pressen mit mechanischen Getrieben in Anwendung, für größere Drücke Preßwasserkolben. Die Pressen werden alle so ausgebaut, daß sich der Preßvorgang vollkommen selbsttätig abspielt. Ebenso erfolgt die Temperaturüberwachung der Formen durch selbstschreibende Geräte. Auf diese Weise wird bei richtig sich abspielendem Preßvorgang die Oberflächengüte des Stückes erhöht und der Ausschuß vermindert. Wegen ihrer sehr guten Anpassungsfähigkeit an die eigentümlichen Verhältnisse beim Pressen setzt sich die Druckwasserpresse mehr und mehr durch.

Zur Herstellung längerer Profile wird das Strangpreßverfahren benutzt. Dieses arbeitet grundsätzlich genau wie das Metall-Strangpreßverfahren. Die Form oder Matrize ist mit Stufenheizung versehen, um dem früher erwähnten Härteverlauf entsprechen zu können. Hergestellt werden nach diesem Verfahren Rohre, Profile und Brettähnliche Körper in Längen bis zu 4 m und 150 mm Durchmesser.

3. Geschichtete Preßstoffe.

Unter Schichtstoffen werden regelmäßig geschichtete Körper auf der Grundlage der Phenol- bzw. Kresolharze und der Karbamidharze bezeichnet. Alle Schichtstoffe werden so hergestellt, daß Papier- oder Gewebefäden mit dem gelösten Kunstharz durchtränkt werden. Nach Vortrocknung bei etwa 100° C werden diese getränkten Bahnen in die entsprechenden Größen geschnitten, in beliebig vielen Lagen aufeinandergelegt und zwischen geheizten Preßplatten unter sehr hohem Druck zu einem einheitlichen Körper verpreßt. Dabei schmilzt das Kunstharz, durchtränkt und verkittet die einzelnen Lagen und härtet durch. Ferner können die getränkten Bahnen zu Voll- oder Hohlkörpern aufgewickelt werden. Die gewickelten Vollkörper werden gewöhnlich nachgepreßt, die Rohre nachgehärtet.

Aus geschichteten Preßstoffen werden in der Regel Platten, Rohre und Formstangen hergestellt. Sie eignen sich aber zu Formstücken durch Pressen in beheizten Formen. Bauteile aus anderen Werkstoffen können um- oder eingepreßt werden.

Die Schichtstoffe heißen bei Verwendung von Papier: Hartpapier, bei Verwendung von Geweben: Hartgewebe. Dabei wird noch unterschieden zwischen Fein- und Grobgewebe je nach Fadenstärke und Maschenweite des benutzten Gewebes. Die Eigenschaften dieser Schichtstoffe sind ebenfalls in DIN 7701 festgelegt (s. Tafel 16). Lieferbar sind die mit Phenol- bzw. Kresolharzen hergestellten Schichtstoffe, als: Platten, Rohre, Formrohre, Kolben, volle gewickelte Rundkörper, Blankos, Scheiben und Formstücke. Mit Rücksicht auf die Pressengröße sind die Platten bis zu 1100×2200 mm Größe, bei stärkeren Platten bis 1100×1100 mm Größe lieferbar. Die Plattenstärke geht von 0,2 bis 100 mm bei den Hartpapieren und von 0,2 bis 300 mm bei den Hartgeweben. Durch Verpressen zwischen hochglanzpolierten Nickel- oder Aluminiumblechen bekommen die Platten eine hochglänzende Oberfläche, durch Einfärben der gelösten Harze können verschiedene Farbtöne erreicht werden. Außerdem können mittels Abziehfurnieren Holzmaserungen auf der Platte hergestellt werden. Mit Karbamidharzen hergestellte Schichtstoffe werden gewöhnlich als naturfarbige oder farbige Plattenwerkstoffe geliefert. Verschieden eingefärbte Platten werden verpreßt als Dreischichtplatten, z. B. grün-weiß-grün für Schilder hergestellt.

Mit Holz, Metallen, Asbestschiefer u. a. durch Verpressen mit Hartpapierplatten oder Karbamidharzplatten hergestellte Platten heißen Verbundplatten.

Bei Karbamidharzplatten können mit gelöstem Karbamidharz getränkte und bedruckte Papiere mit eingepreßt werden. Da dabei das Papier mit der Platte eine feste organische Verbindung eingeht, ergeben sich vor allem für Werbezwecke sehr wichtige Anwendungsmöglichkeiten.

4. Preßstoff-Lager.

Preßstoff-Lager auf der Grundlage von Phenol- bzw. Kresolharzen finden wegen ihrer hervorragenden betrieblichen Eigenschaften steigende Verwendung sowohl spanend aus Schichtstoffen herausgearbeitet, wie auch aus Preßmassen in Formen gepreßt. Neben Leinenschnitzelmassen werden jetzt noch Schnellpreßmassen mit besonderen Füllstoffen — harte Preßmassen — benutzt. Die daraus hergestellten Lager zeichnen sich durch besonders gute Lauffähigkeit, sehr geringen Verschleiß und Schmiermittelbedarf aus. Das Lagerspiel kann bei ihnen kleiner gewählt werden als bei den anderen Ausführungen. Welcher Bauart der Vorzug zu geben ist, wird von der Stückzahl abhängig sein. Als Hauptvorteile der Preßstoff-Lager sind zu nennen: Sehr hohe Belastbarkeit, geringer Schmiermittelbedarf, geringerer Kraftbedarf, höhere Lebensdauer, geringerer Verschleiß, Unempfindlichkeit gegen Ausbleiben der Schmierung. Neue Versuchsreihen unter Führung des Fachausschusses für Kunststoffe sind im Gange. Kunstharzlager eignen sich vor allem für staubige und rauhe Betriebe, ferner für Walzwerke und für alle Betriebe, bei denen die Überwachung und Wartung der üblichen Metallager umständlich oder zu kostspielig oder ganz unmöglich sein würde.

Tafel 16. Eigenschaften geschichteter Preßstoffe nach DIN 7701.
Kunstharz-Preßstoffe, warmgepreßt.

1 Art	2 Klasse	3 Biegefestigkeit σ_{bB} kg/cm ² mindestens roh	4 Biegefestigkeit σ_{bB} cmkg/cm ² mindestens	5 Schlag- biege- festigkeit a mindestens	6 Druck- festigkeit σ_{dB} kg/cm ² mindestens	7 Zug- festigkeit σ_{zB} kg/cm ² mindestens	8 Härte ²⁾ kg/cm ² mindestens	9 Elastizi- täts- modul E kg/cm ²	10 Spalt- festig- keit ³⁾ kg	11 thermische Lineare Wärme- dehnzahl je °C zwischen 0° und 50° $\alpha_L \cdot 10^6$	12 Gewicht kg/dm ³ ≈	13 Bearbeit- barkeit												
													Eigenschaften											
													mechanische						thermische					
Hartpapier ¹⁾ (Platten)	II	1500	1300	25	1500	1200	1300	80000 bis 110000	200	10—25	1,4	leicht für jede span- abhebende Formung mit geeig- neten Werk- zeugen												
	Hartgewebe (Platten)	G (grob)	1000	800	25	2000	500	1300	60000 bis 80000	300	10—25		1,4											
		F (fein)	1300	1000	30	2000	800	1300	70000 bis 90000	250	10—25	1,4												

1) Die Klassen I, III und IV werden überwiegend bei elektrischer Beanspruchung verwendet. Vgl. VDE 0318 (in Vorbereitung).
2) Da zur Bestimmung der Härte nach VDE 0302 die Eindringtiefe unter Last gemessen wird, ist ein Vergleich der Werte mit Brinellhärte-
zahlen nicht zulässig.

3) Bezogen auf Versuchskörper nach VDE 0348 (in Vorbereitung).

Weitere Werte, insbesondere über elektrische Eigenschaften siehe DIN VDE 610, Hartpapier und Hartgewebe, Technische Lieferbedingungen (in Vorbereitung).

Die angegebenen Werte für Biegefestigkeit, Schlagbiegefestigkeit und Härte gelten rechtwinklig zur Schichtrichtung, für Druckfestigkeit, Zug-
festigkeit und Spaltfestigkeit in Schichtrichtung.

5. Kunstharz-Lacke, -Kitte und -Leime.

Aus Phenol- und Kresolharzen können durch Lösen in Spiritus, Azeton und anderen Lösungsmitteln Lacke hergestellt werden, die sich durch sehr günstige Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit auszeichnen. Sie werden nach den üblichen Verfahren aufgebracht. Ihre Bestwerte erreichen sie durch nachträgliches Einbrennen bei 120—130°.

Ebenso lassen sich aus gelösten Kunstharzen Kitte zum Verkitten von Kunstharzteilen untereinander, zum Verkitten auf Glas, Leder und Holz herstellen. Durch diese Kitte ist die Frage der Verbindung mit anderen Werkstoffen gelöst. Ferner werden gelöste Kunstharze oder auch flüssig kondensierte Kunstharze als Kitte für Pinsel und Bürstenböden und als Bindemittel für Schleifscheiben benutzt.

Die auf Karbamidharz-Grundlage hergestellten Kalt- und Warmleime (Kauritleime) gestatten Holzverbindungen von hoher mechanischer Festigkeit, guter chemischer Beständigkeit, Riß- und Schimmelfreiheit herzustellen. Für den Segelflugzeugbau sind sie heute schon unentbehrlich.

6. Kunstharze in der Holzvergütung.

Eine wichtige Rolle spielen die Phenol- bzw. Kresolharze bei der Holzvergütung. Nachdem die Versuche, gut trockenes Holz mit gelöstem Kunstharz zu durchtränken und nachzupressen, wegen der Unmöglichkeit einwandfreier Tränkung mit der hochviskosen Lösung, keine besonders günstigen Ergebnisse zeitigt hatten, ergaben andere Wege bessere Ergebnisse. Der Tego-Film (mit gelöstem Phenolharz durchtränkte und bei 100° nachgetrocknete Papierbahnen) gestattet, Sperrholzplatten von außerordentlich günstigen, mechanischen und chemischen Eigenschaften herzustellen. Er wird zur Anfertigung von Sperrholzplatten benutzt, indem zwischen die einzelnen Holzlagen der Sperrholzplatte ein oder mehrere Blätter Tego-Film gelegt werden und diese so geschaffenen Pakete in Furnierpressen zwischen auf 140° erhitzten Platten verpreßt werden. Dabei schmilzt das Harz, durchtränkt das Holz und härtet. Die auf diese Weise geschaffene Verbindung ist außerordentlich innig und widerstandsfähig. Neuerdings wird ein besonderer Drahtleimfilm, der Tegowiro-Film zur Anfertigung von Sperrholz benutzt. Dabei wird durch die in den Film eingebauten Metalldrähte eine innere Beheizung der Leimfuge ermöglicht und eine ganz besondere innige Verbindung gesichert.

Mit gelöstem Kunstharz getränkte Furniere ergeben ebenfalls durch Pressen zwischen geheizten Platten das Hartholz oder Lignofol von gleichen Eigenschaften wie das mit Tego-Film verleimte Holz mit einem spezifischen Gewicht von 1,35. Dieses wird erreicht durch schichtenweises sehr starkes Pressen des Lignofol.

7. Spanende Bearbeitung von Preßstoffen.

Alle Preßlinge aus Schnellpreßmassen und alle Schichtstoffe lassen sich mit spanenden Werkzeugen einwandfrei bearbeiten. Als Werkzeugbaustoff ist Schnellstahl, Hartmetall oder Diamant zu verwenden. Die Schneidform entspricht im allgemeinen der Form bei Holzwerkzeugen. Auf einwandfreien Spanablauf und hohe Geschwindigkeiten ist besonders zu achten. Das Ausbrechen dünner Teile muß durch Einspannen zwischen Deckplatten unmöglich gemacht werden. Übliche Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe sind in Tafel 17 angegeben.

Tafel 17. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe beim Bearbeiten geschichteter Preßstoffe.
() eingeklammerte Werte für Hartmetall-Werkzeuge.

Bearbeitung	Karbamidharz-Platten		Phenol- bzw. Kresolharz-Schichtstoffe				Bemerkungen
	Schnittgeschwindigkeit m/min	Vorschub mm/U	Hartpapiereschwindigkeit m/min	(Platten und Formlinge) Vorschub mm/U	Hartgewebeschwindigkeit m/min	(Platten und Formlinge) Vorschub mm/U	
Drehen	{ Schruppen { Schlichten {	30—50 (50—80)	0,3—0,5 (0,18—0,35)	25—50 (50—80)	0,15—0,3 (0,18—0,35)	50—100 (100—175)	Bei Naturstahlwerkzeugen ist jeweils 50% der Werte einzusetzen
		30—50 (50—80)	0,1—0,2 (0,04—0,08)	25—50 (50—80)	0,05—0,1 (0,04—0,08)	50—100 (100—200)		0,1—0,2 (0,08—0,15)
Fräsen	{ Flächen Nuten { Zähne {	20—30 (30—40)	0,1—0,3 (0,05—0,4)	20—30 (30—45)	0,1—0,3 (0,05—0,4)	40—60 (40—90)	Bei größeren Spantiefen Ausblasen der Späne während des Bohrens mit Preßluft. Nur bis 25 mm Lochdurchmesser
		—	—	10—18	0,2—0,35 je Tischumdrehung	20—35		0,4—0,8 je Tischumdrehung
Bohren	{ {	15—20 (25—30)	0,05—0,30 je nach Lochdurchmesser (0,05—0,20)	15—20 (25—30)	0,05—0,30 je nach Lochdurchmesser (0,05—0,20)	40 (40—70)	Bei größeren Spantiefen Ausblasen der Späne während des Bohrens mit Preßluft. Nur bis 25 mm Lochdurchmesser
		10—18 (20—28)	—	10—18 (10—28)	—	30—40 (25—55)	
Sägen	{ Bandsägen { Kreissägen {	1600—2000 2000—2500	von Hand von Hand	1600—2000 2000—2500	von Hand von Hand	1800—2400 2200—3000	Fräsen wegen größerer Sauberkeit des Gewindes vorzuziehen; bei Strehlern und Bohren rd. 50% der Werte einzusetzen; Schmirung mit Bienenwachs
		—	—	30—50	—	60—100	

8. Oberflächenbehandlung der Kunstharze und Schichtstoffe.

Im allgemeinen werden die aus Kunstharzen hergestellten Preßlinge und Schichtstoffe keinerlei Nachbehandlung ihrer Oberflächen erfordern. Allenfalls wird bei Preßlingen ein Nachglänzen mit weichen Schwabbeln aus Tuch ohne Polierpasten vorzunehmen sein. Beschriftungen und Färbungen können mit besonderen Tuschen und Farben vorgenommen werden, ebenso das Bedrucken. Ein neuartiges Verfahren (Metallplastik) ermöglicht Preßlinge aus Phenolkunstharz mit galvanischen Überzügen zu versehen, so daß sie nach entsprechender Behandlung im Aussehen Metallgegenständen durchaus gleichen. Ebenso lassen sich Metallfolien durch Kunstharzleime bzw. Kaltleime ohne weiteres auf Preßlinge oder Schichtstoffplatten aufkleben.

b) Nicht härtbare Kunststoffe.

9. Kunststoffe auf der Grundlage der Zellulose.

Die Herstellung dieser Kunststoffe geht von zwei Arten Zellulose aus: Baumwoll-Zellulose und Holz-Zellulose. Linters, die kurzfasrigen, spinn technisch nicht mehr verwendbaren Abfälle der Baumwollaufbereitung, liefern nach sorgfältigem Reinigen und Bleichen die Baumwoll-Zellulose. Die Holz-Zellulose wird heute fast noch ausschließlich aus Fichtenholz hergestellt. Neue Verfahren, um aus dem in genügender Menge in Deutschland vorhandenen Buchenholz die Holz-Zellulose herzustellen, versprechen Erfolg. In beiden Fällen sind wir bei der Beschaffung der Rohstoffe noch stark auslandsabhängig. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß es sich bei der Baumwoll-Zellulose um ausgesprochene Abfallverwertung handelt.

Für die plastischen Massen werden benutzt: Nitro-Zellulose (Zellulose-nitrat), Azetyl-Zellulose (Hydro-Zelluloseazetat), Zellulose-Xanthogenat, Zellulose-Äther und Hydrat-Zellulose. Einteilung und wichtigste Stoffe s. Abb. 1a und b.

10. Thermoplastische Massen.

Thermoplastische Massen sind Kunststoffe, die in der Wärme plastisch sind und sich durch ein dem Metallpreßguß ähnliches Verfahren verarbeiten lassen. Das Verfahren wird als Spritzguß bezeichnet, die thermoplastischen Massen daher häufig als spritzbare Massen. Die Hauptvertreter der thermoplastischen Massen sind:

1. Trolit W — auf der Grundlage von Hydro-Zelluloseazetat (s. Abb. 1a).
2. Trolit BC — auf der Grundlage der Benzyl-Zellulose (s. Abb. 1b).
3. Trolitul — auf der Grundlage des Polystyrols.
4. Mipolam } — auf der Grundlage von Kohlenwasserstoffen (Azetylen),
5. Luvican } beide Stoffe sind Mischpolymerisate.
6. Borron — auf der Grundlage des Polyacrylsäureesters.

Von Mipolam lassen sich nur die weichen Mipolam-Massen verspritzen, erlauben aber keine einwandfreie mechanische Nachbearbeitung wegen ihrer ungenügenden Standfestigkeit.

Die Herstellung der thermoplastischen Massen erfolgt wie bei den Schnellpreßmassen durch inniges Vermengen und Vermahlen des Hydro-Zelluloseazetats bzw. des Polystyrols mit Farbstoffen, Flußmitteln und Füllstoffen. Während das Hydro-Zelluloseazetat stets als Preßmasse verarbeitet wird, kann das Polystyrol als reines Polymerisationsprodukt¹⁾ verarbeitet werden.

¹⁾ Polymerisation ist die Zusammenlagerung von Molekülen gleichen oder analogen Aufbaues ohne Hinzutritt oder Austritt eines neuen dritten Stoffes.

Da beide Grundstoffe durchaus lichtbeständig sind, lassen sich alle gewünschten Farbtönungen herstellen. Ebenso sind Marmorierungen und Musterungen durch Vermischen entsprechend gefärbter Preßmassen möglich. Die thermoplastischen Massen werden bei 125—195° teigflüssig und können unter sehr hohen spezifischen Drücken in kalte Formen gepreßt bzw. gespritzt werden. In den Formen erstarren sie sofort, werden fest,

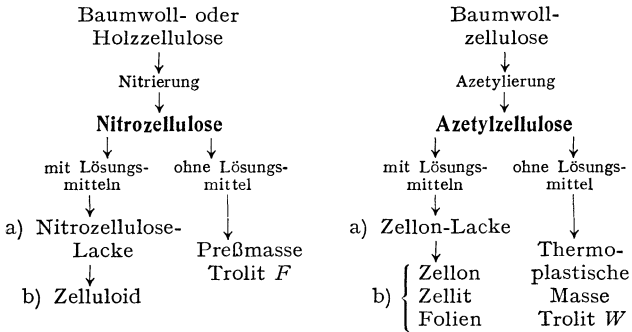


Abb. 1 a.



Abb. 1 b.

Abb. 1 a und b. Kunststoffe auf der Grundlage der Zellulosen.

härten aber im Gegensatz zu den Kunstharzen nicht. Die daraus hergestellten Teile haben geringere Härte, aber größere Biegsamkeit als die aus Kunstharz hergestellten Teile. Die Herstellung der Formen erfolgt nach denselben Grundsätzen wie bei den Kunstharzen. Einbetten von Metallteilen ist auch hier möglich. Als Formenbaustoff kommen nur legierte Stähle in Frage, da alle thermoplastischen Massen gewöhnliche Stähle stark angreifen. Die Formen sind nicht beheizt, häufig sogar gekühlt. Das Öffnen und Schließen der Form und das Auswerfen der Teile erfolgt bei kleinen

Stückgewichten durch handbetätigte Kniehebel, bei größeren Stückgewichten von selbst durch vom Antriebsmotor der Maschine gesteuerte Getriebe. Die Verformungsdrücke sind sehr hoch (600—2000 kg/cm² je cm² Formenoberfläche). Die Verarbeitung der thermoplastischen Massen geschieht auf Spritzmaschinen mit Antrieb durch Druckluft oder mit Antrieb durch elektrisch betätigte Getriebe. Für den sparsamen Gebrauch der Preßmassen haben alle Maschinen Dosiervorrichtungen. Das Anwärmen erfolgt immer durch elektrisch beheizte Heizzyylinder. Dabei ist auf vollkommen gleichmäßige Durchwärmung der Massen besonders peinlich zu achten, andernfalls ergeben sich unvollkommene Preßlinge und bei empfindlichen Farben Schlierenbildungen. Aus beiden Massen lassen sich durch Strangpressen Rohre und Profile beliebigen Querschnittes bis zu 2 m Länge herstellen.

Die aus den thermoplastischen Massen hergestellten Teile werden vorwiegend in der Schmuck- und Verbrauchsgütertechnik, in der Verpackungs- und Spielzeugindustrie, in der optischen Industrie, in der Galanterie- und Geschenkwarenindustrie, in der Schwachstromtechnik und im Apparatebau verwendet. Sie haben genügende mechanische Festigkeit, genügende chemische Beständigkeit, bequeme Bearbeitbarkeit, gute Isolationsfähigkeit. Sie lassen sich in allen gewünschten Farben und Farbmusterungen herstellen, lassen sich bequem nachpolieren und spanend bearbeiten und mit Azeton oder besonderen Klebmitteln (Cyclohexanon, Methylenchlorid u. ä.) bequem verkitten. Bei richtiger Ausführung hat die Kittstelle die gleiche Festigkeit wie der Grundwerkstoff.

11. Kunststoffe auf der Grundlage der Kohlenwasserstoffe.

Im Gegensatz zu den Kunstharzen, die als Kondensationsprodukte anfallen, sind diese Kunststoffe Polymerisationsprodukte¹⁾.

Der Grundstoff für die derzeit hergestellten und technisch brauchbaren Kunststoffe dieser Art ist das Azetylen. Dieses entsteht durch die Einwirkung von Wasser auf Kalziumkarbid und ist der Grundstoff für die Vinylverbindungen.

Aus dem Azetylen lassen sich folgende Vinylverbindungen herstellen:

Azetylen und Salzsäure	Vinylchlorid
Azetylen und Fettsäuren	Vinylester
Azetylen und Alkohole	Vinyläther
Azetylen und Amine	Vinylamine
Azetylen und Benzol	Vinylbenzol oder Styrol (Trolitul)
Azetylen und Blausäure über das Nitril.	Vinylsäure-Ester und Acrylsäure-Ester.

Das Styrol bzw. Polystyrol liefert die thermoplastische Masse Trolitul. Diese wird genau so verarbeitet wie Trolit, auch ohne Füllstoff. Außerdem läßt sich Trolitul zu sehr dünnen Folien verarbeiten, die wegen ihres hohen Isolationswertes in der Schwachstromtechnik eine große Rolle spielen. Ferner läßt sich Trolitul zu Stangen, Rohren und Profilen wie Trolit nach dem Strangpreßverfahren verarbeiten.

Das Vinyl liefert in der Form der Polyvinylchloride mit verschieden hohen Chlorgehalten gute Kunststoffe, so z. B. die Igelite. In Verbindung mit anderen Polymerisaten liefert es das Mipolam. Dieser Kunststoff kann als thermoplastische Masse und als Preßstoff benutzt werden. Ein beson-

¹⁾ Polymerisation ist die Zusammenlagerung von Molekülen gleichen oder analogen Aufbaues ohne Hinzutritt oder Austritt eines neuen dritten Stoffes.

deres Anwendungsgebiet des Mipolams ist die Anfertigung von Schläuchen und Rohren. Die letzteren gestatten eine außerordentlich einfache und bequeme Verbindung, die entweder durch Verschraubung oder durch Vermuffung hergestellt werden kann. Die Verschraubung wird bei dickwandigen Rohren bevorzugt, die Vermuffung bei sehr dünnwandigen Rohren. Die Dichtung der Muffe erfolgt durch eine Lösung von Mipolam in Methylchlorid. Ferner lassen sich Mipolam-Massen genau wie Gummi als Spritzstoff zum Umspritzen von Kupfer- und Aluminiumdrähten verwenden. Ihre große Biegsamkeit in Verbindung mit sehr guten Isolationswerten ersetzen die sonst übliche Umspritzung mit Gummi vollkommen. Zäh und biegsame Platten lassen sich wie Linoleum vielseitig verwenden. Durch Pressen lassen sich Hahngehäuse herstellen, die in Verbindung mit eloxierten Kücken aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen sehr gute Betriebswerte ergeben.

Die Polyvinylester ergeben durch Verseifung den Polyvinylalkohol, der zur Anfertigung der benzinbeständigen „Silber“-Schläuche benutzt wird.

Das Polyvinylacetat dient zur Anfertigung eines dreischichtigen Sicherheitsglases — Peka-Glas —. Die Anfertigung geschieht derart, daß auf eine sorgfältig geschliffene und gereinigte Glasplatte eine Lösung des Polyvinylacetats aufgegossen wird, darauf eine zweite, ebenfalls sorgfältig geschliffene und gereinigte Glasplatte aufgelegt und die Schichtplatte im Vakuum gepreßt wird. Das so erhaltene Dreischichtglas ist durchaus lichtbeständig, der Brechungsindex des Vinylfilms ist genau der gleiche wie der des Glases. Bei stoßartiger Beanspruchung kann kein Zertrümmern mit ausgesprochener Splitterwirkung des Glases eintreten, da der zähe Film die Glassplitter elastisch verbindet.

Die Polyacrylsäureester können durch die verschiedene Führung der Polymerisation in verschiedenen Härtegraden vom weichgummiähnlichen Zustand bis zum glasharten Zustand hergestellt werden. Sie ergeben u. a. das Sicherheitsglas — Plexi-Glas —. Dieses ist im Gegensatz zum Peka-Glas ein gegossener Einschichtkörper, der ebenfalls durchaus splittersicher ist, lichtbeständig ist und denselben Brechungsindex hat wie gutes Spiegelglas und im Gegensatz zum Peka-Glas biegsam ist. Außerdem läßt sich das Plexi-Glas in allen Farbtönen herstellen. Gegossene Plexi-Glaskörper, wie Stäbe, Rohre u. dgl., lassen sich vorzüglich bearbeiten und finden in der Musikinstrumentenindustrie zur Herstellung von Blockflöten, Mundstücken von Blasinstrumenten u. dgl. sehr viel Verwendung.

Auch zur Anfertigung von Schmuckstücken läßt sich Plexi Glas verwenden.

Die weichgummiähnlichen Massen sind unter dem Sammelnamen Plexigum in verschiedenen Härtegraden verwendbar. Sie können mit oder ohne Füllstoffe wie thermoplastische Massen verarbeitet werden — Sammelname Borrone — oder als Isolationsmassen durch Umspritzen wie Mipolam benutzt werden. In Verbindung mit gewissen Füllstoffen liefern sie lederähnliche Erzeugnisse, die Stabile.

12. Eigenschaften der nichthärtbaren Kunststoffe.

Alle nichthärtbaren Kunststoffe zeichnen sich durch günstige mechanische Eigenschaften und gutes Isolationsvermögen aus. Die Wärmebeständigkeit und Glutbeständigkeit ist mit Ausnahme von Luvican geringer als bei den Kunstharzen. Die chemische Beständigkeit ist sehr stark abhängig vom Grundstoff. Für die derzeitigen Anwendungsgebiete genügt sie in allen Fällen. Die Möglichkeit, sowohl glasklare wie in allen Farb-

tönungen gefärbte Gegenstände aus ihnen herzustellen, die Möglichkeit, sie durch Strangpressen, Umspritzen zu verarbeiten, sichert ihnen sehr viele Anwendungsgebiete.

Die spanende Bearbeitung aller nichthärtbaren Kunststoffe ist mit Sonderwerkzeugen einwandfrei möglich. Ebenso können Verbindungsarbeiten durch Kleben, Kitten, Leimen, bei einzelnen Polymerisaten auch durch Schweißen durchgeführt werden. Eine Oberflächenbehandlung kann durch Beschriften, Bedrucken, Prägen jederzeit durchgeföhrt werden.

Neben der technischen Anwendung finden die nichthärtbaren Kunststoffe vor allen Dingen Anwendung in der Spielwaren-, Galanterie-, Luxuswaren- und Geschenkindustrie. Daneben noch in steigendem Maße für Haushaltsgegenstände.

Schrifttum über Kunst- und Preßstoffe.

A. Bücher.

- Mehdorn, W.: Kunstharzpreßstoffe, Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung. Berlin: VDI-Verlag 1934.
- Nouvel, O.: Die Industrie der Phenol-Aldehydharze. Halle a. d. S.: W. Knapp 1931.
- Brandenburger, K.: Herstellung und Verarbeitung von Kunstharz-Preßmassen. Bd. 1. Preßtechnik. 1934 — Bd. 2. Pressen und Preßverfahren. 1935 — Bd. 3. Preßwerkzeuge. 1937. München: J. F. Lehmann.
- Scheiber, J.: Kunststoffe. Leipzig: Akad. Verlagsges. m. b. H. 1934.
- Brandenburger, K.: Die Kunststoff-Auswahl. Bd. 428 der Bibliothek der ges. Technik. Leipzig: Dr. M. Jänecke 1937.
- Kausch, O.: Handbuch der künstlichen plastischen Massen. München: J. F. Lehmann 1931.
- Kausch, O.: Handbuch der Azetylzellulosen. München: J. F. Lehmann 1932.
- Sommerfeld: Gummifreie Isolierpreßstoffe. Berlin: Julius Springer.
- Erkens: Konstruktive Lagerfragen. Berlin: VDI-Verlag 1937.
- Demuth: Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik. Berlin: Julius Springer.
- Ullmann: Enzyklopädie der techn. Chemie. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Verschiedene Verfasser: Verwendung und Zusammensetzung, Konstruktion und Fabrikation sowie Prüfung von Preßstofffabrikaten. Eigenverlag der Fachgruppe „Isolierstoffe“ der Wirtschaftsgruppe Elektroindustrie. 1935.
- Schering: Die Isolierstoffe in der Elektrotechnik. Berlin: Julius Springer.
- Pabst: Kunststoff-Taschenbuch. Berlin-Dahlem: Verlag Physik GmbH. 1937.
- Bürgel: Deutsche Austausch-Werkstoffe. Berlin: Julius Springer 1937.
- Bürgel: Techn. Bericht 6 des Leipziger Meßamts: Kunstharze und ihre Verarbeitung. Berlin: VDI-Verlag 1936.
- Kunststoffe: Leitfaden für die Praxis; herausgegeben vom Fachausschuß für Kunst- und Preßstoffe des Vereins deutscher Ingenieure; VDI-Verlag 1938.
- Turnwald: Das Normensystem im Preßformenbau. Frankfurt a. M.: Heinrich Reinhardt 1938.
- Pabst u. Vieweg: „Kunststoffe“.

B. Zeitschriften.

- Plastische Massen in Wissenschaft und Technik. Verlag Physik GmbH. Berlin-Dahlem.
- Kunststoffe; I. F. Lehmanns Verlag — München.
- Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Sonderheft 1. Kunst- und Preßstoffe; 1937; VDI-Verlag — Berlin.
- Maschinenbau, VDI-Verlag.
- Chemiker-Zeitung.
- Werkstatt und Betrieb, Carl Hanser Verlag, München 22.
- Gummizeitung.
- Fachzeitschrift Kautschuk.

C. Handbücher von Firmen.

- Bakelite-Handbuch. Berlin: Gebr. Mann 1937.
- Raschig Handbuch. Eigenverlag der Fa. 1936.
- Bakelite-Post. Eigenverlag der Fa.
- Sammelprospekte der:
- H. Römmler A.G., Spremberg/NL. A. Nowack A.G., Bautzen.
- Vendor Kunststoff-Verkaufs GmbH., Troisdorf AEG, Berlin-Hennigsdorf.
- Jaroslau, Berlin-Weißensee. Meirowsky & Co., Porz a. Rhein.
- Raschig & Co., Ludwigshafen. Deutsche Ferrozell GmbH., Augsburg 2.

Gummi aus natürlichem und synthetischem Buna-Kautschuk¹⁾.

Unter Kautschuk versteht man den unvulkanisierten Rohstoff, unter Gummi das vulkanisierte Fertigerzeugnis der Gummiindustrie. Naturkautschuk ist aus dem Saft der tropischen Kautschukpflanze auf Plantagen gewonnen, Buna-Kautschuk in chemischen Fabriken in mehrstufigem Verfahren von Kalk und Kohle ausgehend hergestellt. Durch Abwandlung des Verfahrens erhält man die verschiedenen Sorten Buna-Kautschuk.

Die Verarbeitung von Kautschuk zu Gummi geschieht bei Natur- und Buna-Kautschuk in ähnlicher Weise durch Plastizieren, Mischen mit Füllstoffen (Ruß, Zinkweiß, Farbstoffe und Schwefel) und durch darauffolgendes Vulkanisieren in Wärme. Durch die Vulkanisation erhält Gummi die für ihn charakteristischen elastischen Eigenschaften. Weichgummi hat niederen, Hartgummi höheren Schwefelgehalt.

Die wichtigsten Buna-Sorten sind:

Buna S: hochelastisch, hohes Arbeitsvermögen, hitze- und alterungsbeständiger als Naturgummi, höhere Abriebfestigkeit, elektrischer Isolator.

Verwendung zu Reifen, Dichtungen und Schläuche für Dampf und Heißwasser bis etwa 110 °C, Förderbänder besonders im Bergbau. Isolier- und Schutzmäntel für Kabelleitungen.

Buna SS: verbesserte elektrische Eigenschaften als Buna S, ebenso hitze- und alterungsbeständig, etwas geringere Elastizität.

Perbunan, quellbeständig und gleichzeitig hitzebeständig bis etwa 130 °C, öl-, fett- und benzinfest, hochelastisch, Gasdurchlässigkeit $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ von Naturgummi, elektrischer Halbleiter.

Verwendung: Dichtungen, Stulp- und Wellendichtungen, Werkstoff für Federungen zur Schwingungsisolierung und Schalldämpfung besonders im Fahrzeug- und Flugzeugbau, elastische Kupplungen, Membranen, ölfeste Keilriemen, öl- und benzinfeste Schläuche, Kabelmäntel besonders für Schiffskabel.

Perbunan-extra: gesteigerte Quellfestigkeit gegenüber Perbunan bei geringerer Elastizität.

Verwendung: quellfeste Schläuche und Dichtungen.

Alle Bunasorten lassen sich zu Hartgummi verarbeiten. Verwendung besonders als Oberflächenschutz gegen chemischen Angriff.

Natur- und Buna-Gummi lassen sich bei der Vulkanisierung mit metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen festhaftend verbinden.

¹⁾ E. Konrad: Über den synthetischen Kautschuk Buna. Jahrbuch der Deutschen Luftfahrtforschung 1938 S. 574—577. — H. Roelig: Buna als Werkstoff im Maschinen- und Werkzeugbau. Werkstatt u. Betrieb 1939, Heft 23/24, S. 293—296. München 27: Carl Hanser Verlag. — H. Roelig: Z. VDI, Bd. 82 (1938), Nr. 6. S. 139—142. — H. Roelig: Buna in der Kabeltechnik. Z. Kautschuk, Jahrg. 16 (1940), S. 25—33.

Tafel 18. Kunststoffe nach Handelsbezeichnungen geordnet.

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeichnung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile	
Aclait	Phenolkunstharz; Hartgewebe Klasse F, G Sonderpreßmassen	Acla-A.G., Köln-Mülheim	
Acronal	Polymerisationsprodukt aus Vinyl- verbindungen	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. M.	
Albertat	Lackkunstharz (Tonerde-Verbin- dung des Albertols) zum Mattie- ren von Lacken und zum Ver- hindern des Absetzens von Pigmenten	Chem. Fabriken Dr. K. Al- bert GmbH., Wiesbaden- Biebrich	
Albertol	Lackkunstharz, modifiziertes Phen- olharz, öllöslich oder spritlös- lich oder reines Phenolharz, öllöslich		
Albert-Preßmassen ..	Phenol- (Kresol-) Kunstharz Typ 1 ₁ und 1 ₂		
Albert-Preßflocken ..	Phenol- (Kresol-) Kunstharz Typ Z ₁ und Z ₂		
Albert-Preßbahnen ..	Phenol- (Kresol-) Kunstharz Typ Z ₃		
Albert-Preßmasse ..	Phenol- (Kresol-) Kunstharz Typ T ₁ und T ₂		
Albert-Preßharz	Phenol- (Kresol-) Kunstharz		
Alcella-Lacke	Azetylzellulose mit verschiedenen Lösungsmitteln u. Zusätzen		Meirowsky & Co., Porz (Rhein)
Alfenat	Lackkunstharz, Phenolharz- Mischester		Chem. Fabriken Dr. K. Al- bert GmbH., Wiesbaden- Biebrich
Alftalat	Lackkunstharz, Phtalsäureharz		
Alkydal-Lacke	Phtalsäure	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. M.	
Alnovol	Lackkunstharz, nicht härtbare, reine Phenolharze, spritlöslich	Chem. Fabriken Dr. K. Al- bert GmbH., Wiesbaden- Biebrich	
Alresat	Lackkunstharz, Maleinat-Harz		
Aminoplaste	Harnstoffharz; Sammelname; die daraus hergestellten Preßmas- sen Typ K	s. einzelne Hersteller	
Asplit u. Asplit „A“.	Phenolharzlösungen mit anorga- nischem Füllstoff	I. G. Farbenindustrie A.G., Werk Uerdingen (Rhein)	
Astralon	Mischpolymerisat aus polymeri- sierten Vinylverbindungen ge- lost; thermoplastischer Werk- stoff in Form von Platten, Stäben und Röhren	Celluloid-Verkaufs-GmbH., Berlin W 9	
AW 2	Cyclohexanolharz	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. M.	
Azetylzellulose-Lacke oder A-Zellulose- lacke	Azetylzellulose mit verschiedenen Lösungsmitteln und Zusätzen	alle größeren Lackfabriken	
Bakelite	Phenolkunstharze fest und flüssig	Bakelite GmbH., Erkner bei Berlin	
Bakelite-Kitte	Flüssiges Phenol-(Kresol-)Harz mit anorganischen Füllstoffen in verschied. Zusammensetzungen		
Bakelite-Lacke	Phenol-(Kresol-)Harze in ver- schied. Lösungsmitteln gelöst		
Bakelite-Preßharz ..	Fast reines Phenol-(Kresol-)Harz ohne Füllstoff		
Bakelite-Preßmassen	Phenol-(Kresol-)Harze mit Füll- stoffen; Typ 1, M, O, S, T		
Bakelite - weiß	Harnstoffharz + Füllstoff, Typ K		
Benzyl-Zellulose	Benzylzellulose in verschied. Lö- sungsmitteln gelöst m. Zusätzen	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. M.	

Tafel 18 (Fortsetzung).

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeichnung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile
Borron	Akrylharz mit Füllstoffen verarbeitet als thermoplastische Masse, verarbeitbar zu Schläuchen, Profilen, Platten	Röhm & Haas GmbH., Darmstadt
Cambric	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol-)Harz hergestellt, Klassen F u. G	Elektro-Isolier-Industrie Wahn, Wilhelm Ruppert, Wahn (Rhld.)
Canvass		
Carta		
Carta-Asbest	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-)Harz hergestellt, Klasse 1, 2, 3 und Tropengüte	Isola-Werke A.G., Birkesdorf-Düren (Rhld.)
Carta-Cotton	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-)Harz hergestellt, Sondergüte	
Carta-Textil	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol-)Harz hergestellt, Klassen F u. G	
Cellit	Azetyl-Zellulose	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. M.
Cellon	Thermoplastischer Werkstoff auf der Grundlage von Azetyl-Zellulose in Form von Platten, Stäben und Röhren	Celluloid-Verkaufs-Gesellschaft mbH., Berlin W9
Cellon-Lacke	And. Bezeichn. f. Azetylzellulose-Lacke einer bestimmten Firma	
Cellophan (Zellglas).	Viskose	Kalle & Co. A.G., Wies-
Celluloid	siehe Zelluloid	
Columbus	Schnellpreßmasse aus Phenol-(Kresol-)Harz mit organischen Füllstoffen (Zellulose) Typ Z ₁₋₃ , Phenol-(Kresol-)Harze	New-York Hamburger Gummi-Waaren Compagnie, Hamburg 33
Condensite		Bakelite GmbH., Erkner bei Berlin
Decelith ...	Werkstoff aus Vinylpolymerisaten	Deutsche Celluloid-Fabrik A.G., Eilenburg
Dekorit	Reines Phenol-Kunstharz ohne Füllstoff, sog. Edelkunstharz	Dr. Raschig G.m.b.H., Ludwigshafen a. Rh.
Dekorit F	Reines Phenol-Kunstharz, füllstofffrei, säurebeständig, für den Maschinen- und chemischen Apparatebau; bearbeitungsfähig	
Dekorit-Kitt	Phenolharz-Lösung mit anorgan. Füllstoffen; Kitte säurefest und flüssigkeitsdicht, kalthärtend	
Deurolith	Schnellpreßmasse aus Phenol-(Kresol-)Kunstharz mit Papier als Füllstoff, zu Gleitlagern	H. Römmler A.G., Spremberg
Durax	Preßmasse aus Phenol-(Kresol-)Harz hergestellt. Typ 0, 1, 1 _a , S, M, Z ₁ , Z ₂ . Lagerpreßstoffe nach DIN 7703	Isola Werke A.G., Birkesdorf-Düren (Rhld.)
Durax-Textil	Leinenschnitzel-Preßmasse mit Phenol-(Kresol-)Harz, Typ T ₁₋₂	
Durcoton	Hartgewebe mit Phenolharz hergestellt, Klassen F und G	Meirowsky & Co. A.G., Porz (Rhein)
Duroftal	Lackkunstharz, benzol-kohlenwasserstoff-lösliches plastifiziertes, härbares Phenolharz	Chem. Fabriken Dr. K. Albert G.m.b.H., Wiesbaden-Biebrich
Durophen	Lackkunstharz, spritlöslich, hitze- und katalysator-härtend bzw. benzol-kohlenwasserstoff-lösliches, härbares Phenolharz bzw. mit Füllstoffen zu Schnellpreßmassen Typ S verarbeitet	Chem. Fabriken Dr. K. Albert GmbH., Wiesbaden-Biebrich

Tafel 18 (Fortsetzung).

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeichnung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile
Duxalkyde verschied. Güteklassen	Trocknende Alkydharze, phenolfrei	L. Blumer, Zwickau
Dynos	Hydrat-Zellulose, Markenbezeichnung für Vulkanfiber	Venditor-Kunststoff-Verkaufs-GmbH., Troisdorf Bez. Köln
Dytron:		
Dytron Tex	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol)-Kunstharz hergestellt	
Dytron-Textil	Hartgewebe-Schnitzelpreßmasse	
Dytron Tox	Preßholz mit Phenolkunstharz getränkt	
Dytron-Textofol ...	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol)-Kunstharz hergestellt	
Dytron-Lignofol ..	Phenolkunstharz mit besonderer präparierter Holzmasse	Celluloidfabrik Speyer, Kirrmeister & Scherer, Speyer a. Rh. Verschiedene Hersteller; siehe jeweils die Hinweise
Ecarit	Azetylzellulose	
Edelkunstharze	Reine Phenol-(Kresol)-Kunstharze ohne Füllstoffe gegossen und gehärtet für Drechsler- und Schnitz-Zwecke	Verarbeitet von Siemens-Schuckert-Werke A.G., Abt. Isolierstoffe, Berlin-Siemensstadt
Eshalit	Schnellpreßmassen aus Phenol-(Kresol)-Kunstharz, Typ 0, 1 ₁₋₂ , M, S, T ₁₋₃ , Z ₁₋₃ , O* u.S* Preßmasse ohne Füllstoffe aus Reinharz	
	Schnellpreßmasse aus Hartpech mit Asbest und mineralischem Füllstoff, Typ 8	
Eshalit E 100	Schnellpreßmasse aus Harnstoffharz mit Füllstoffen, Typ K	
Eshalit E 61	Preßmasse aus Bitumen mit Asbest und anorganischem Füllstoff, Typ 4	
Eshalit E 90	Preßmasse aus Zement mit Asbest und anorganischem Füllstoff, Typ X	
Eshalit E 86	Thermoplastische Masse aus Azetylzellulose, Typ A	
Eshalit E B ₁	Preßmasse aus Naturharz mit Asbest und anorganischem Füllstoff, Typ 7	
Faturan	Schnellpreßmischungen und Bahnen, Typ S, 1, T, Z und Sonder-typen	
Fermit	Kalt-Preßstoff mit anorganischen Füllstoffen, Typ 2 und X		Isola-Werke A.G., Birkesdorf-Düren
Ferrozell	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol)-Harz hergestellt, Klassen F u. G	Ferrozellgesellschaft, Ecke & Co., Augsburg 2
Formolit	Leinen-Schnitzel-Preßmasse Typ T Phenol-(Kresol)-Harzpreßlinge mit Holzmehl-Füllstoff	New-York Hamburger Gummi-Waaren Compagnie, Hamburg 33
Gerohlex	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol)-Harz für Gleitlager	H. Römmeler A.G., Spremberg
Gerohlit	Schnellpreßmasse mit Phenol-(Kresol)-Harz. Füllstoff: regellose Gewebeteile für Gleitlager	
Galatith	siehe Kunsthorn	

Tafel 18 (Fortsetzung).

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeichnung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile
Hares	Phenol-(Kresol)Harze und daraus hergestellte Schnellpreßmassen, Typ 0, T, Z, I, M, 2	H. Römmler A.G., Sprem- berg
Hares E L	Kunstharzlacke aus Phenol-(Kre- sol-)Harze	
Hares-Kitte	Phenolharze mit Zusätzen	
Hares	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-) Harz. Klassen 1, 2, 3	
Harex	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol-) Harzen hergestellt, Klassen F und G	Verschiedene Hersteller, siehe bei den einzelnen Namen
Heliosit Typ 2	Preßmasse mit Asbest und an- organischem Füllstoff, Typ 7, 8	
Hartgewebe	Sammelname für alle mit Baum- woll- bzw. Zellwoll-Bahnen und Phenolkunstharzen hergestellte Schichtstoffe, Klassen F und G	
Hartholz	Aus Holz mit Phenolkunstharz hergestelltes vergütetes Holz	
Hartpapier	Sammelname für alle aus Papier- bahnen mit Phenolkunstharzen hergestellte Schichtstoffe, Klas- sen I, II, III, IV	
Hercules	Schnellpreßmasse aus Phenol- (Kresol-)Harz mit organischen Füllstoffen (Textil) Typ T ₁ , T ₂ und T ₃	
Hornit	siehe Kunsthorn	I. G. Farbenindustrie A.G., Abt. Chemikalien, Frank- furt (Main)
Hostalit	Phenolharzlösungen aus reinsten Harzen mit anorganischen Füll- stoffen	
Idonit	Vergußmasse aus Phenol-(Kresol-) Kunstharz	Bakelite Gesellschaft mbH. Erkner
Idonit	Phenol-(Kresol-)Kunstharz, flüssig	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt (Main)
Igelit	Polymerisationsprodukt auf Vinyl- Grundlage	Jaroslaw, Berlin-Weißen- see
Jarax	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-) Harz hergestellt, Typ 0, 1 ₁ , 1 ₂ , M, T ₁ , T ₂ , T ₃ , Z ₁ , Z ₂ , Z ₃	
Jaroplast	Schnellpreßmasse aus Phenol- (Kresol-)Harz, Type 0, 1, S, T, M	I. G. Farbenindustrie A.G., Werk Uerdingen (Rhein) Internat. Galalith-Gesell- schaft Hoff & Co., Har- burg-Wilhelmsburg
Kauritleime	Harnstoffharzlösungen mit beson- deren Zusätzen u. Härtemitteln	
Kerit	Schnellpreßmasse aus Phenol- (Kresol-)Harzen aller Klassen	Dr. Raschig & Co., GmbH., Ludwigshafen
Kunsthorn	Sammelname für Erzeugnisse aus Kasein; übl. Handelsnamen: Galalith, Syrolith, Hornit	wie oben und die Verkaufs- vereinigung von Kunsthorn- fabriken, Berlin
Leukorit	Reines Phenol-(Kresol-)Kunstharz ohne Füllstoff, sog. Edelkunst- harz	Dr. Raschig & Co., GmbH., Ludwigshafen
Lignofol	Aus deutschen Hölzern mit Phen- olkunstharz als Schichtstoff hergestellt	Venditor Kunststoff-Ver- kaufs-GmbH., Troisdorf
Linax	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol-) Kunstharz hergestellt, Klassen F und G	Siemens-Schuckert-Werke A.G., Abt. Isolierstoffe, Berlin-Siemensstadt

Tafel 18 (Fortsetzung).

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeich- nung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile
Pollopas	a) Schnellpreßmasse aus Harnstoffharz, Typ K	Venditor Kunststoff-Verkaufs-GmbH., Troisdorf
Polystyrol	b) Schichtstoff aus Harnstoffharz s. Trolitul	
Povimal	Polymerisationsprodukte	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. Main
Preßcoton	Leinernschnittel-Preßmasse mit Phenol-(Kresol-)Kunstharz, Typ T	Meirowsky & Co., A.G. Porz (Rhein)
Ralotext	Phenol-(Kresol-)Schnellpreßmasse, gedrehte Asbestfäden als Füllstoff	H. Römmler A.G., Spremberg
Repelit	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-)Kunstharz hergestellt, Klassen 1, 2, 3 und Sondergüte	Siemens-Schuckert-Werke A.G., Berlin-Siemensstadt
Resiform	a) Schnellpreßmasse aus Phenolharz hergestellt, Typ 0, 1, S, T ₁ und T ₂	} Robert Bosch GmbH., Stuttgart-Feuerbach
Resitex	b) Schnellpreßmasse aus Harnstoffharz hergestellt, Typ K Hartgewebe mit Phenol-(Kresol-)Harz hergestellt, Klassen F u. G	
Resinofil	Schnellpreßmasse aus Phenol-Kunstharz mit Asbestfäden, Typ M	Dr. Raschig GmbH., Ludwigshafen
Resinol	Phenol-(Kresol-)Kunstharz und daraus hergestellt Schnellpreßmassen aller Typen, ferner die daraus hergestellten Kitte und Lacke	Dr. Raschig GmbH. Ludwigshafen
Resinite	Reine Phenol-(Kresol-)Harze	Bakelite GmbH., Erkner b. Berlin
Resistan	Preßmasse aus Phenol-(Kresol-)Kunstharz, Typ 1 ₁ , 1 ₂	} H. Römmler A.G., Spremberg
Resistan E	Preßmasse aus Zement (Wasserglas). Typ X	
Resopal	a) Schnellpreßmasse aus Harnstoffharz, Typ K	H. Römmler A.G., Spremberg
Sigla	b) Schichtstoffe aus Harnstoffharz, ein- und mehrschichtig Mehrschichten-Sicherheitsglas, nachgiebiger Typ mit Plexigum-Zwischenschicht	Sicherheitsglas GmbH., Kunzendorf
Stabol	a) Thermoplastische Masse aus Polymetakrylsäureester mit u. ohne Füllstoff b) Leder- bzw. gummiähnliche Erzeugnisse aus demselben Grundstoff	AEG, Kabelwerk Hennigsdorf
Styroflex	Folien aus Polystyrol = Trolitul	Venditor Kunststoff-Verkaufs-GmbH., Troisdorf bzw. Nordenham
Syrolith	siehe Kunsthorn	
TEGO-Leimfilm	Mit Phenolharz getränktes dünnes Papier, dient zur Sperrholzherstellung	} Th. Goldschmidt A.G., Essen
TEGOWIRO Drahtleimfilm	Leimfilm mit Drahtträger, der elektrisch zu beheizen ist, zum Verleimen dickwandiger Werkstücke	

Tafel 18 (Fortsetzung).

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeich- nung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile
Luvican	Thermoplastische Masse aus Vinyl-Polymerisaten	Venditor Kunststoff-Verkaufs-GmbH., Troisdorf
Luxit	Preßmasse mit Hartpech hergestellt, entsprechend Typ 8	Isola Werke A.G., Birkesdorf-Düren (Rhld.)
Mipolam	Mischpolymerisat aus polymerisierten Vinylverbindungen benutzt als: Kabelmasse, Preßmasse, zur Anfertigung von Rohren, Schläuchen, Matten, Laufnern. Dichtungen usw.	Venditor Kunststoff-Verkaufs-GmbH., Troisdorf
Neoresit	Phenol-(Kresol-) Kunstharz fest, flüssig oder gelöst und daraus hergestellte Schnellpreßmassen Typ 0, 1, M, S, T, nicht typisierte Sonderpreßmassen und auch Lacke verschiedenster Zusammensetzung	A. Nowack A.G., Bautzen
Nitrozellulose	Nitrozellulose mit verschiedenen Lösungsmitteln und Zusätzen	Viele deutsche Lackfabr.
Novotext	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol-) Kunstharz hergestellt, Klassen F und G	AEG-Fabriken, Hennigsdorf (Osthavelland)
Nyhax	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-) Harz hergestellt. Platten Klasse I, II, III, IV und Sondergüten, wie Supratropen u. Konstruktion als Rohre und Stäbe	New York-Hamburger Gummi-Waaren Compagnie, Hamburg 33
Nyhatex	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-) Harz hergestellt. Platten Klasse I, II, III, IV und Sondergüten, wie Supratropen u. Konstruktion als Platten, Rohre und Stäbe	
Oppanol	Hochpolymerisierter Kohlenwasserstoff. Verwendung in der Gummi-, Kabel-, Kunstleder-, Textil- und Papier-Industrie	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt (Main)
Peka-Glas	Dreischichtiges Sicherheitsglas mit Zwischenfilm aus Polyvinylazetat	Verbundglas GmbH., Berlin-Lichterfelde 1
Perloid	Nitrozellulose ohne und mit Füllstoffen	Celluloid-Verkaufs-GmbH., Berlin W 9
Perlopal		Meirowsky & Co. A.G., Porz (Rhein)
Pertinit	Schnellpreßmasse aus Phenol-(Kresol-)Harzen, Typ S, 0, 1 ₂ und T ₃	
Pertinax	Hartpapier mit Phenol-(Kresol-) Harz hergestellt, Klassen 1, 2, 3 und 4	Verschiedene Hersteller
Phenoplaste	Sammelname für alle aus Phenol-(Kresol-)Kunstharzen hergestellten Schnellpreßmassen	Dr. Röhm & Haas, GmbH., Darmstadt
Phenytal	Dasselbe wie Hostalit; s. d.	
Plexiglas	Einschichtiges, organisches Sicherheitsglas aus Polymetakrylsäureester	
Plexigum	Sammelname für Akrylharze, verwendet zu thermoplastischer Spritzguß- und Preßmasse, Lackrohstoff, Zwischenschicht für Sicherheitsglas, Weichmach. für Kunstgummi	

Tafel 18 (Fortsetzung).

Handelsbezeichnung bzw. gesetzlich geschützter Name	Grundstoff und Typenbezeich- nung nach DIN 7701	Hersteller bzw. Lieferer der fertigen Teile
Tenacit	a) Schnellpreßmasse aus Phenol- (Kresol-)Kunsthharzen, Typ 1, M, O, S, 2, 3 b) Desgl. aus Kunstharzstoff, Typ K c) Preßmassen aus Bitumen, Typ 4, 8 d) Desgl. aus Glimmer-Bleiborat, Typ Y e) Desgl. aus Naturharz, Typ 6/7	AEG-Fabriken, Hennigs- dorf
Tenatext	Schnellpreßmasse aus Phenol- (Kresol-)Harz, Typ T ₁ -T ₃	
Thesit	Schnellpreßmassen aus Phenol- harz, verschied. Typen	Preßwerk A.G., Essen
Trolit	Thermoplastische Massen: a) Azetylzellulose: Trolit W b) Nitrozellulose: Trolit F c) Benzylzellulose: Trolit BC	
Trolitul	Thermoplastische Masse aus Poly- styrol (Vinylbenzol)	
Trolon	Reines Phenol-(Kresol-)Kunstharz ohne Füllstoff, sog. Edelkunst- harz	
Trolitan	Schnellpreßmasse aus Phenol- (Kresol-)Kunsthharzen aller Typ- en und in verschied. Sonder- gütern	Venditor Kunststoff-Ver- kaufs-GmbH., Troisdorf, Bez. Köln
Trolitax	Hartpapierplatte mit Phenol- (Kresol-)Harz hergestellt, Klasse 1, 2, 3 und verschiedene Sondergütern	
Trosbestos	Wärmeschutzplatten als Verbund- platten aus Asbestschiefer und Hartpapier	
Turbax	Hartgewebe mit Phenol-(Kresol)- Harz hergestellt, Klassen Fu. G und verschiedene Sondergütern	
Turbonit	Hartpapier mit Phenol-(Kresol)- Harz hergestellt, Klassen I, II, III, IV und verschiedene Son- dergütern	Jaroslaw, Berlin-Weißen- see
Vigopas	Reines Phenol-Kunstharz ohne Füllstoff, sog. Edelpreßharz	Dr. Raschig GmbH., Lud- wigshafen
Vinifol	Bänder aus Vinyl-Polymerisaten	I. G. Farbenindustrie A.G., Frankfurt a. Main
Vulkanfiber	Hydratzellulose	Venditor Kunststoff-Ver- kaufs-GmbH., Troisdorf; Vulkanfiber-Fabrik M. Schmid, Berlin W 35
Wahnerit	Hartpapier mit Phenol-(Kresol)- Harz hergestellt, Klassen 1, 2, 3 und Sondergütern	Elektro-Isolier-Industrie Wahn, Wilhelm Ruppert, Wahn (Rhld.)
Wahnerol	Isolierschlauch aus Mischpoly- merisaten	
Zelluloid	Thermoplastischer Werkstoff auf der Grundlage von Nitrozellu- lose in Form von Tafel, Stäben und Röhren	Celluloid-Verkaufs-GmbH., Berlin W 9

Werkzeugstähle.

A. Allgemeines über Werkzeugstähle.

Die Eignung eines Stahles für ein bestimmtes Werkzeug verlangt nicht nur eine besondere chemische Zusammensetzung und ausreichende Reinheit des Stahles, sondern auch eine besondere physikalische Beschaffenheit (Kleingefüge), die das Ergebnis der Vorbehandlung ist.

Besonderes Augenmerk ist zu richten auf den wirtschaftlichen Einsatz legierter Stähle derart, daß die aus dem Auslande einzuführenden Metalle nur dann zur Legierung herangezogen werden, wenn die hierdurch erreichte Leistungssteigerung entsprechend groß ist.

I. Anforderungen.

a) Chemische Zusammensetzung. Geeigneter Gehalt an Kohlenstoff und Legierungsmetallen, ausreichende Reinheit (Abwesenheit von schädlichen Stoffen). Die Empfindlichkeit ist abhängig von der Höhe des Kohlenstoffgehaltes und der Legierungselemente. Hiervon hängt wiederum die Sorgfalt der Herstellung und Weiterbearbeitung ab.

Von Arsen dürfen nur Spuren vorhanden sein. Für reinsten Stahl soll der Höchstgehalt an Schwefel 0,05, an Phosphor 0,04 vH nicht übersteigen.

b) Physikalische Beschaffenheit und Gefüge: Abwesenheit von Blasen, Lunkern, Schlackeneinschlüssen, Falten, Rissen, Seigerungen. Das Gefüge muß, wenigstens bei geblühtem Stahl, gleichmäßig, nicht grob und faserig sein.

Gewalzter, geschmiedeter oder gepreßter (schwarzer) Stahl hat eine dünne, durch Spanabhebung zu entfernende Oxydschicht (Glühweichhaut), desgleichen blank gezogener Stahl in normaler Ausführung. Entfernung oder Vermeidung dieser Außenschicht durch den Erzeuger ist möglich und bedarf besonderer Vorschrift des Bestellers.

II. Prüfung.

a) Die chemische Zusammensetzung kann durch chemische Untersuchung auf „nassem Wege“ bestimmt werden, die besonders bei legierten Stählen umständlich und teuer ist. Für die laufende Prüfung verwendet man seit etwa 10 Jahren **Spektrographen**, die die gleichzeitige Prüfung auf mehrere Legierungsbestandteile genau und kurzzeitig bei kleinstem Werkstoffverbrauch ermöglichen. Zur Prüfung auf einzelne Legierungsbestandteile gibt es außerdem rasch und zuverlässig arbeitende **Photometer** (Absolut-Kolorimetrie). Die Funkenprobe (S. 265) gibt in manchen Fällen mühelos brauchbare Unterscheidungen.

b) Über das Gefüge gibt schon das Aussehen des frischen Bruches einigen Aufschluß; genaueren der geätzte Schliff, besonders unter dem Mikroskop betrachtet oder photographiert: Metallographische Untersuchung.

c) Die mechanischen und physikalischen Eigenschaften (Festigkeit, Dehnung, Wärmeleitvermögen, Ausdehnung usw.) sind vom Erzeuger für den besonderen Verwendungszweck des Werkzeugstahles durch die Art der Zusammensetzung gesteuert. Diese Eigenschaften unterliegen üblicherweise ausschließlich der Überprüfung durch den Erzeuger. Ausgenommen sind die durch eine bei dem Verbraucher vorzunehmende Warmbehandlung erreichbaren Härte- und Festigkeitswerte.

Diese werden ermittelt durch die nur für grobe Grenzen geeignete Feilenprobe oder in übertragbaren Ziffern gemessen durch Brinell-, Skleroskop- oder Rockwell-Härteprüfgeräte (siehe Abschnitt „Härteprüfung“).

d) Praktische Erprobung Die chemischen, mechanischen und metallo-graphischen Prüfungen dienen zur laufenden Kontrolle von Stahl. Sie können auch bei einem noch nicht erprobten Stahl Aufschluß über ein ganz bestimmt begrenztes Verhalten geben, dagegen nicht über seine Eignung für die praktische Verwendung. Diese kann nur durch eine praktische Erprobung festgestellt werden, indem man aus dem betreffenden Stahl ein Werkzeug herstellt (gegebenenfalls in vereinfachter Form) und es im laufenden Betrieb oder auf besonderen Prüfmaschinen auf seine Leistungsfähigkeit, besonders auf seine Lebensdauer hin, beobachtet.

B. Herkunft der Werkzeugstähle.

Für hochwertige Werkzeuge wird nur Edelstahl verwendet; heute überwiegend Elektrostahl (neuerdings auch aus dem Hochfrequenzofen), während Tiegelstahl nur noch eine geringe Rolle spielt.

Elektrostahl ist billiger und steht dem Tiegelstahl heute nicht nach. Beide müssen unter dem Hammer oder im Walzwerk gut durchgearbeitet sein. Auch im sauren Klein-Martin-Ofen kann ein recht hochwertiger Stahl erschmolzen werden.

Gewöhnlicher Siemens-Martin-Stahl dient für gröbere Schlag- und Spannwerkzeuge; für Schneidwerkzeuge, wie große Feilen, nur wenn an sie keine hohen Anforderungen gestellt werden. Seines niedrigen Preises wegen wird er leider häufig auch an unrichtiger Stelle gebraucht. Der vermeintliche Preisgewinn wird meist durch erhöhten Ausschuß, vorwiegend in der Härtereie, mehr als aufgehoben.

C. Kohlenstoffstähle.

Es werden darunter alle die Stähle verstanden, die zur Beeinflussung der wichtigsten Eigenschaften des Stahles (Härte, Härbarkeit, Zähigkeit usw.) im wesentlichen nur Kohlenstoff enthalten.

Der Gehalt an Kohlenstoff schwankt bei Werkzeugstählen zwischen etwa 0,6 und 1,4 vH. Er ist maßgebend für die Auswahl; denn Festigkeit, Härte und Härbarkeit nehmen mit steigendem Gehalt (wenigstens bis zu 1 vH) zu, Dehnung und Zähigkeit ab.

Das Kleingefüge ist je nach dem Kohlenstoffgehalt der Stähle und der vorhergehenden Behandlung verschieden.

Der Kohlenstoff kommt bei allen Stählen nur als Eisenkarbid (Fe_3C) vor, das frei oder an das Eisen in fester Lösung gebunden sein kann (Härtungskohle).

Das freie Karbid kann sehr verschieden im Eisen verteilt sein, vom feinsten, strukturlosen Gemenge bis zu größeren Körnern, Plättchen, Schalen, die sich netzartig verbinden können.

Reines Eisen kommt in verschiedenen Formen vor (bedingt durch die Anordnung der Atome im Raum), in Abhängigkeit von der Temperatur. Bei gewöhnlicher Temperatur bis 770 bzw. 900° ist das magnetische α -Eisen beständig, bei höheren Temperaturen des unmagnetische γ -Eisen.

Die wichtigsten Gefügebestandteile haben in der Metallographie besondere Namen erhalten. Es heißen:

- Das reine Eisen (Kristallkörner) Ferrit (α -Eisen).
- Das freie Karbid Zementit.
- Das feine streifige Gemenge von Karbid und Ferrit
(0,9 vH. C) Perlit.
- Körniges Karbid in Ferrit Körniger Zementit.

Sturkturlos feines Gemenge von Karbid und Ferrit Sorbit und Troostit.
 Feste Lösung von Karbid und γ -Eisen (Mischkristalle) Austenit.
 Feste Lösung (beim Beginn des Zerfalls) von Karbid und Ferrit Martensit.

I. Gefüge der langsam erwärmten und langsam abgekühlten Stähle.

Das Kleingefüge besteht (Abb. H 1):

bei etwa 0,9 vH Kohlenstoff (eutektoider Stahl) aus Perlit;

bei weniger als 0,9 vH Kohlenstoff (untereutektoider Stahl) aus Perlit und Ferrit;

bei mehr als 0,9 vH Kohlenstoff (übereutektoider Stahl) aus Perlit und Zementit.

Ferrit ist der weichste dieser Bestandteile, Zementit der härteste.

Erhitzt man einen eutektoiden Stahl langsam, so beginnt oberhalb einer Temperatur von etwa 700° der Zementit des Perlits sich im Ferrit zu Austenit aufzulösen. Die Mischkristalle sind zunächst sehr klein, werden aber um so gröber, je höher die Temperatur steigt und je länger der Stahl ihr ausgesetzt ist.

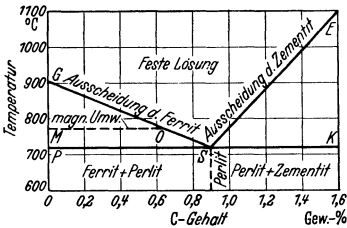


Abb. H 1. Ausschnitt aus dem Eisen-Zementit-Diagramm.

Erhitzt man einen untereutektoiden Stahl, so geht oberhalb 720° (unterer Haltepunkt) zunächst nur der Perlit in feste Lösung, während der Ferrit erst allmählich bei steigenden Temperaturen sich an der Lösung beteiligt. Beendet ist die Auflösung des Ferrits bei Temperaturen oberhalb der Kurve G—O—S (Ferritlinie) in Abb. H 1, die die Abhängigkeit der Umwandlungstemperaturen vom Kohlenstoffgehalt angibt; obere Haltepunkte.

Erhitzt man einen übereutektoiden Stahl, so geht wieder oberhalb 720°, also der Geraden S—K, der Perlit in Lösung, während der Zementit sich erst bei höheren Temperaturen zu Austenit auflöst. Seine Lösung ist oberhalb der Kurve S—E (Zementitlinie): obere Haltepunkte, beendet.

Läßt man einen Stahl von der hohen Temperatur sich langsam abkühlen bis unter 720°, so entstehen in umgekehrter Reihenfolge durch Zerfall der festen Lösung die oben besprochenen Gefügebestandteile.

Das Weichmachen des Stahles durch Ausglühen besteht in einer Umwandlung des streifigen Perlits in körnigen Zementit. Man erhitzt dazu den Stahl auf 680 bis 720°, hält die Temperatur einige Zeit und läßt langsam erkalten, oder man läßt die Temperatur um den unteren Haltepunkt pendeln.

II. Gefüge der rasch abgekühlten (abgeschreckten) Stähle.

Läßt man von Temperaturen über 720° den Stahl nicht langsam abkühlen, sondern schreckt ihn rasch ab, so wandelt sich das Austenit statt zu Perlit zu Martensit, der sehr hart ist (allerdings nicht so hart wie Zementit) und mit seinem oft etwas nadligen Gefüge den charakteristischen Bestandteil der gehärteten Werkzeugstähle bildet. Die zu seiner Bildung mindestens nötige Abkühlungsgeschwindigkeit nennt man die „kritische“.

Bei Stählen mit 0,9 vH C erhält man beim Abschrecken von Temperaturen oberhalb 720° nur Martensit. Er ist beim Abschrecken von wenig oberhalb 720° sehr feinkörnig, wird aber um so gröber, je höher die Temperatur steigt und je länger der Stahl bei der hohen Temperatur gehalten wird.

Bei Stählen mit weniger als 0,9 vH C erhält man beim Abkühlen von Temperaturen wenig oberhalb 720° wieder feinkörnigen Martensit, aber mit Einschlüssen von weichem Ferrit. Erst bei Abschrecktemperaturen oberhalb der Kurve G—O—S ist aller Ferrit in Martensit gelöst, der nun aber nicht mehr so feinkörnig ist.

Bei Stählen mit mehr als 0,9 vH C erhält man beim Abschrecken von Temperaturen kurz oberhalb 720° wieder feinkörnigen Martensit, aber mit Einschlüssen von hartem Zementit. Erst bei Abschrecktemperaturen oberhalb der Kurve S—E, Abb. H 1, ist aller Zementit in Martensit gelöst, der nun aber recht grobnadlig ist.

III. Übergangsgefüge.

Wird weniger rasch abgekühlt, als zur Bildung von Martensit nötig ist, jedoch rascher, als daß Perlit sich bilden könnte, so entstehen die Übergangsgefüge: Troostit, Sorbit, deren Härte, zwischen der von Martensit und Perlit liegend, in der angegebenen Reihenfolge abnimmt. Ähnliche Gefügebestandteile entstehen, wenn rasch abgeschreckter Stahl wieder erwärmt, d. h. angelassen wird.

In der Wirklichkeit entsteht beim Härten (außer bei sehr dünnen Stücken) neben Martensit stets nach dem Kern zu Übergangsgefüge, weil die Wärme aus dem Innern nie rasch genug abgeführt werden kann. Beim Abschrecken von höherer Temperatur wird die Martensitschicht dicker.

IV. Richtige Härtetemperaturen.

a) Stähle mit etwa 0,9 vH C etwas über 720°, also etwas über dem Punkt S, Abb. H 1. Dann ist der Martensit am feinsten, härtesten und wenigsten spröde.

b) Stähle mit weniger als 0,9 vH C oberhalb der Kurve G—O—S, denn der weiche Ferrit, der sonst im Martensit ist, beeinträchtigt die Härte außerordentlich.

c) Stähle mit mehr als 0,9 vH C kurz über der Kurve S—K, nur etwas über 720°, um so weniger, je höher der Kohlenstoffgehalt ist. Denn der Zementit, der neben dem Martensit erhalten wird, ist sehr hart, härter als dieser selbst. Der Zementit darf nur kein zusammenhängendes Schalenwerk bilden, da er sonst den Stahl außerordentlich spröde macht.

In Abb. H 2 gibt die Kurve F—F, die nach dem Vorstehenden für die verschiedensten Stähle richtigsten Härtetemperaturen an. In den einzelnen Feldern von Abb. H 1 waren diejenigen Gefügebestandteile angegeben, die beim Abschrecken von einem Punkt des Feldes erhalten werden.

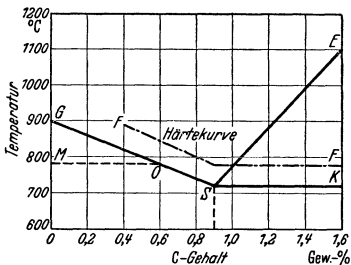


Abb. H 2. Günstigste Härtetemperatur für Kohlenstoffstähle.

D. Legierte Werkzeugstähle.

Darunter sind Stähle zu verstehen, die zu ihrem Gehalt an Kohlenstoff und geringen Mengen an Mangan, Silizium usw. zur Verbesserung ihrer mechanischen Eigenschaften kleinere oder größere Mengen fremder Stoffe zugesetzt erhalten, besonders Wolfram, Chrom, Nickel, Kobalt, Vanadium, Molybdän, Mangan, Silizium.

Die Höhe der Legierungsgehalte unterliegt für in Deutschland zu verwendende Werkzeugstähle Beschränkungen, welche durch die verschiedenen Verordnungen der Reichsstelle für Eisen und Stahl überwacht werden. Zweck dieser Verordnungen ist es, Fehlleitungen der meist aus dem Auslande einzuführenden Legierungsmetalle zu verhindern und zu gewährleisten, daß ihr Einsatz nur da erfolgt, wo ein entsprechender Leistungswert zugunsten wehr- oder lebenswichtigen Interesses verbürgt ist.

I. Wesen der legierten Stähle.

Fast alle diese Legierungsmetalle haben auch einen Einfluß auf die Struktur des Stahles. Ist allerdings der Gehalt an Legierungsmetallen gering, so ist der Einfluß fast unmerklich.

Nickel, Mangan, Chrom und Wolfram verfeinern das Korn, Silizium vergrößert es.

Silizium und Chrom erhöhen die Temperatur der Perlitumwandlung, Mangan und Nickel verringern sie.

Chrom, Nickel und Mangan setzen die „kritische“ Abkühlungsgeschwindigkeit herab.

Bei hohem Gehalt an Chrom und Wolfram entsteht eine besondere Art von Karbiden, sog. Ledeburite oder Doppelkarbide, die unlöslich sind.

II. Hauptgruppen der legierten Stähle.

a) Perlitische Stähle sind Stähle mit so geringem Gehalt an Legierungsmetallen, daß Gefügeaufbau und kritische Abkühlungsgeschwindigkeit sich nicht erheblich von denen der unlegierten Stähle unterscheiden, sie also wie diese aus Perlit bzw. abgeschreckt aus Martensit bestehen. Als Legierungsmetalle enthalten diese Stähle meist geringe Gehalte an Wolfram oder Chrom oder etwas höhere als normale Gehalte von Silizium oder Mangan.

b) Martensitische Stähle sind Stähle von solch geringer kritischer Abkühlungsgeschwindigkeit, daß sie auch nach langsamem Abkühlen aus Martensit bestehen, also hart sind; Selbsthärter oder naturharte Stähle. Sie werden durch Zusätze von Nickel, Chrom, Mangan, bzw. mehrerer dieser Metalle erhalten, heute jedoch nicht mehr viel benutzt. Dagegen spielen Stähle zwischen den perlitischen und rein martensitischen mit einer mehr oder minder verringerten kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit eine bedeutendere Rolle. Je nachdem sie in bewegter Luft oder in Öl abgekühlt werden müssen, nennt man sie Luft- oder Ölhärter. Ein besonderer Vorteil ist, daß durch das mildere Abkühlen weniger Spannungen und geringer Härteverzug entstehen.

c) Austenitische Stähle. Durch hohen Gehalt an Nickel und Chrom oder durch Mangan ist die Perlitumwandlung ganz unterdrückt, so daß diese Stähle bei gewöhnlicher Temperatur ebenso wie bei hoher aus Austenit bestehen. Sie sind unmagnetisch und oft rostfrei.

d) Doppelkarbid- oder Ledeburit-Stähle. Sie entstehen durch Legieren mit Wolfram und Chrom. Die wichtigsten von ihnen sind die im folgenden Abschnitt behandelten Schnellstähle.

Die an fremden Elementen reichen Stähle haben auch besondere Gefügebilder.

E. Schnellstähle.

Schnellstähle sind die wichtigsten der in Abschnitt D II d genannten hochlegierten Werkzeugstähle.

I. Chemische Zusammensetzung und Gefüge.

Die Zusammensetzung der Schnellstähle ist stark verschieden und hält sich innerhalb folgender Grenzen:

0,6 bis 1,5 vH C, 9,0 bis 24,0 vH W, 3,0 bis 5,0 vH Cr, 0,0 bis 2,0 vH Mo, 0 bis 5,0 vH Vd, 0 bis 20,0 vH Co, 0,1 bis 0,5 vH Mn, 0,2 bis 0,3 vH Si.

Von Art und Menge der Legierungsmetalle hängt die Leistungsfähigkeit der Schnellstähle ab; doch gibt es keine einfache zahlenmäßige Gesetzmäßigkeit.

Die oben angegebenen Gehalte an W können ganz oder teilweise durch Mo ersetzt werden. Derartige Zusammensetzungen sind:

0,7 bis 1,5 vH C, 0 bis 6,0 vH W, 3,0 bis 5,0 vH Cr, 2,5 bis 8,5 vH Mo, 0 bis 5,0 vH Vd, 0 bis 20,0 vH Co, Mn und Si normal.

Bei höheren Mo-Gehalten bestehen bestimmte Schwierigkeiten der Warmbehandlung durch das Bestreben des Mo, sich mit dem Sauerstoff der Luft oder der Ofenatmosphäre zu verbinden. Das sich bildende MoO_3 entstreicht aus der angegriffenen Oberfläche des Stahles in Form eines gelben Gases (abrauchen). Hierdurch wird der Gefügebau an der Oberfläche bis zum völligen Verlust der Schnellstahl-Eigenschaften gestört (Abhilfe s. unter „Härten“).

Gefüge der Schnellstähle. Nach dem Glühen: sorbitische Grundmasse mit Ledeburit-Karbid. Nach dem Härten: polyedrische austenitisch-martensitische Grundmasse mit Ledeburit-Karbid. Nach dem Anlassen: Grundmasse nur martensitisch.

II. Härtebeständigkeit.

Die Härtebeständigkeit ist die wichtigste Eigenschaft aller von hoher Temperatur (1200 bis 1350°) abgeschreckten Schnellstähle, die die Leistungsfähigkeit der aus Schnellstahl hergestellten Schneidwerkzeuge erklärt.

Während die Härte von gewöhnlichem, hochgekohltem Werkzeugstahl nach dem Härten zunächst ebenso hoch ist wie die von Schnellstahl, fällt sie mit der Anlaßtemperatur von 200° an ziemlich schnell. Die Härte von Schnellstahl nimmt dagegen mit steigender Anlaßtemperatur nur wenig ab und steigt bei den sehr hoch legierten und von sehr hoher Temperatur abgeschreckten Schnellstählen sogar bei 550 bis 600° C um ein geringes. Abb. H 3 stellt die Härtekurve von verschiedenen Stählen dar, die nach dem Abschrecken von der geeignetsten Temperatur bei steigender Temperatur angelassen werden. *A* ist die Kurve von gut gehärtetem Kohlenstoffstahl mit etwa 1,2 vH C; *B* und *C* sind die Kurven zweier gut gehärteter Schnellstähle. *B* gewöhnlicher, *C* Hochleistungsstahl. *DD* stammt von einem

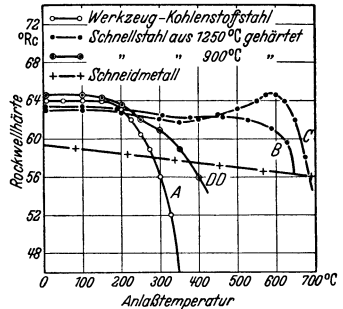


Abb. H 3. Anlaßbeständigkeit.

unrichtig gehärteten Schnellstahl. Zum Vergleich ist die Härte von Schneidmetall eingezeichnet, das nur wenig in seiner Härte abnimmt.

F. Naturharte Schneidmetalle.

Gesondert behandelt im Kapitel „Deutsche Hartmetalle“.

G. Auswahl der Stähle.

I. Auswahl für Schneidwerkzeuge.

Maßgebend sind Schneidhaltigkeit und Preis. Ziel: Zerspanung mit möglichst geringen Gesamtkosten.

Die Schneidhaltigkeit wird von drei Forderungen bestimmt, welche je nach dem Zerspanungsfall verschieden großen Einfluß haben.

Abrieb- (Verschleiß-) Widerstand ist in hohem Maße abhängig von der meßbaren Härte, der Härte und Anzahl besonderer Gefügebestandteile (Karbide) und der Korngröße des Gefüges. Feinstes Korn bei größtmöglicher Härte und Karbidzahl ergibt größten Abrieb-Widerstand.

Anlaßbeständigkeit ist abhängig von der Höhe der Legierung. Unlegierter Kohlenstoffstahl hat die niedrigste Anlaßbeständigkeit (etwa 200° C), Hartmetall die höchste (etwa 1000°). Je höher die Anlaßbeständigkeit, um so höher die „ertragene Schnitttemperatur“, d. h. das Vermögen des Stahles, die durch die Zerspanung eintretende Erwärmung der Schneide zu ertragen (s. Abb. H 3).

Zähigkeit muß besonders dann verlangt werden, wenn durch Stöße, Schwingungen oder ungleichmäßige Härte des zerspannten Werkstoffes die Schneide zum Abbrechen oder Ausbröckeln beansprucht wird. Die Zähigkeit ist abhängig von der Legierungsart und in hohem Maße von der einwandfreien Härtung.

a) Kohlenstoffstähle. Die Härte dringt beim Abschrecken nicht sehr tief ein. Gefahr erheblicher Spannungen, da kritische Abkühlungsgeschwindigkeit sehr hoch. Anlaßhärte (Härtebeständigkeit) gering, daher für Schruppzwecke und besonders für hohe Leistungen (hohe Schnittgeschwindigkeit) nicht mehr benutzt. Andererseits Preis niedrig, Warmbehandlung einfach, Bearbeitbarkeit gut.

Verwendung: Für alle möglichen rundschneidenden Werkzeuge (Fräser, Bohrer, Reibahlen, Senker usw.). Kohlenstoffgehalt 1,0 bis 1,2 vH C.

b) Sonderstähle. Niedriglegierte Werkzeugstähle meist mit 1,0 bis 3,0 vH W und 1,0 bis 2,0 vH Cr bei 1,0 bis 1,5 vH C legierte Stähle, sind teils noch Wasserhärter mit verhältnismäßig geringer Einhärtungstiefe, teils schon Ölhärter, welche bei nicht allzu großen Querschnitten durchhärten. Erstere unterscheiden sich gegen Kohlenstoffstahl nur durch geringeren Verzug bei dem Härten und höherer Abriebbeständigkeit. Letztere haben bereits sehr geringen Verzug bei weiter gesteigerter Abriebbeständigkeit. Die Auswahl erfolgt nach der Form des Werkzeuges und dem zulässigen Verzug bei dem Härten.

Für sehr harte Werkstoffe bei nicht allzu hoher Schnittgeschwindigkeit findet ein Wolframstahl mit 4,0 bis 7,0 vH W und 1,0 bis 1,5 vH C Verwendung (Riffelstahl). Dieser hat nach Wasserhärtung sehr hohe Härte- und Abriebbeständigkeit, ohne eine Steigerung der Anlaßhärte gegenüber Kohlenstoffstahl.

Verwendung. Wasserhärter, wolfram- oder chromlegiert: Spiralbohrer, Gewindebohrer, Gewindeschneideisen, Gewindeschneidbacken usw.

Ölhärter, chrom- und chrom-wolfram-legiert: Formfräser, Gewindebohrer, Stehbolzenbohrer u. a. Werkzeuge, deren Verzug gering sein muß.

Wasserhärter, hoch-wolframlegiert: Riffelstähle, Hinterdrehstähle für Schnellstahl-Werkzeuge, Automaten-Werkzeuge für Messing, Tombak, Leichtmetall u. a. leicht zerspanbare Werkstoffe.

c) Schnellstähle finden heute überall Verwendung, wo es auf große Arbeitsleistung (hohe Schnittgeschwindigkeit) ankommt, auch bei der Holzbearbeitung. Die neuere Entwicklung, erstmalig durch Röchling klar herausgestellt¹⁾, führte zur Unterscheidung von Grob- und Feinzerspannung und damit zu für den jeweiligen Verwendungszweck bestgeeigneten Sonder-Schnellstählen.

Während die grobe Schrupperarbeit den Stahl vorwiegend an Anlaßhärte (bis zu 650°) beansprucht, dagegen weniger auf Abrieb, ist es bei der Feinzerspannung gerade umgekehrt.

Hochleistungs-Schnellstähle für den ersteren Fall haben etwa folgende Legierung:

0,6 bis 1,0 vH C, 4,5 vH Cr, 12,0 bis 20,0 vH W, 0 bis 1,0 vH Mo,
1,5 bis 2,0 vH Vd, 3,0 bis 17,0 vH Co.

Für den zweiten Fall dagegen:

0,85 bis 1,5 vH C, 4,5 vH Cr, 10,0 bis 13,0 vH W, 0 bis 1,0 vH Mo,
2,0 bis 5,0 vH Vd, 0 bis 5,0 vH Co.

Auch hier kann Wolfram ganz oder teilweise durch Molybdän ersetzt werden, ohne daß eine Leistungsminderung eintritt.

Durch Verordnung der Reichsstelle für Eisen und Stahl sind nachstehende Einheitszusammensetzungen für den deutschen Inlandsbedarf als Höchstlegierungen vorgeschrieben:

Gruppe B höchstens 10 vH W, 0,5 vH Mo, 1,7 vH V, 0,0 vH Co.

Gruppe D höchstens 11 vH W, 0,8 vH Mo, 2,7 vH V, 0,0 vH Co.

Gruppe E höchstens 12 vH W, 1,0 vH Mo, 4,5 vH V, 0,0 vH Co.

Die Verwendung dieser Legierungen in Verbindung mit Hartmetallwerkzeugen gewährleistet Höchstleistungen.

II. Auswahl für sonstige Werkzeuge.

Die Wahl des Stahles ist abhängig von der geplanten Beanspruchung des Werkzeuges.

a) Kaltarbeits-Werkzeuge.

1. Hohe Abriebbeanspruchungen an schneidenden oder scherenden Kanten ohne hohe Drücke:

Feinschnitte, Feinblechschnitte, Lochstanzen für dünne Blechstärken.

α) Kohlenstoffstahl zäh-zähhart: 0,8 bis 1,1 vH C.

Geringe Einhärtungstiefe; Anlassen auf 58 bis 60 RC-Rockwell. Verzug ist bei diesem Stahl nicht auszuschalten.

β) Niedriglegierter Wasserhärter: Eigenschaft und Behandlung wie unter α. Sehr gut geeignet für gebrochene Härtung.

γ) Ölhärter: 1,0 bis 1,5 vH C, 1,0 bis 1,5 vH Cr, 0,6 bis 2,0 vH Mn.

Sehr große Einhärtungstiefe. Anlassen auf 58 bis 62 RC-Rockwell. Verzug ist sehr gering. Sehr gut geeignet für Warmbadhärtung (Termalhärtung).

δ) Lufthärter: 1,8 bis 2,2 vH C, 12,0 bis 13,0 vH Cr.

Völlige Durchhärtung auch bei größeren Querschnitten. Rockwell RC 58 bis 62 nach Abkühlung an ruhiger Luft. Verzug praktisch Null. Sehr hohe Abriebbeständigkeit.

¹⁾ Katalog Röchling Stahl 1935.

ε) Einsatz Cr-Mo-Stahl aus dem Elektroofen, für Werkzeuge, die während der Arbeit gerichtet werden müssen: 0,15 bis 0,20 vH C, 0,8 bis 1,1 vH Mn, 1,0 bis 1,5 vH Cr, 0,20 bis 0,35 vH Mo.

Schnittkanten 1,0 bis 1,5 mm tief eingesetzt, ganzer Werkzeugkörper gehärtet und auf 58 bis 60 RC-Rockwell an den Schnittkanten angelassen.

2. Starke Abriebbeanspruchungen an schneidenden oder scherenden Kanten oder ziehenden Flächen bei gleichzeitig hohen Drücken:

Grobschnitte, Grobscheren, schwere Lochstanzen, Kaltziehwerkzeuge aller Art, Prägwerkzeuge aller Art.

α) Kohlenstoffstahl zäh: 0,6 bis 0,8 vH C.

Geringe Einhärtung und Kernhärte. Werkzeuge „setzen“ sich, und Härtezone reißt ein. Daher geringe Lebensdauer. Anlassen auf 55 bis 60 RC-Rockwell; Ziehstempel auf 60 bis 62 RC-Rockwell.

β) Niedriglegierter Chromstahl: 0,8 bis 1,2 vH C, 0,5 bis 1,5 vH Cr.

Größere Einhärtungstiefe und höhere Kernhärte; verringerte Gefahr des „Setzens“, höhere Abriebbeständigkeit.

Sehr gut geeignet für gebrochene Härtung.

Warmbadhärtung (Termalhärtung) für kleinere Querschnitte schon anwendbar.

Nach Wasserhärtung Anlassen auf 58 bis 62 RC-Rockwell.

Unterstempel und Ziehringe zweckmäßig in Stützringe einschrumpfen.

γ) Ölhärter gemäß a 1 γ.

δ) Ölhärter sehr zäh: 0,35 bis 0,55 vH C, 0,8 bis 1,0 vH Si, 1,0 bis 1,5 vH Cr, 2,0 bis 4,0 vH W.

Für sehr hohe Drucke und Biegebeanspruchungen. Anwendung im vergüteten Zustand mit hoher Festigkeit.

ε) Öl-, Lufthärter sehr zäh: 0,3 bis 0,5 vH C, 1,0 bis 1,3 vH Cr, 2,0 bis 5,0 Ni.

Nickel kann ganz oder teilweise durch Mo ersetzt werden. Stahl härtet auch bei größeren Querschnitten durch. Verwendung im vergüteten Zustand mit hohen Festigkeiten.

ζ) Stahl nach a 1 δ.

Für Unterstempel und Ziehringe empfiehlt sich Einschrumpfen in Stützringe.

3. Hohe Zähigkeitsbeanspruchungen durch Schlag oder Stoß. Anforderungen an Schnitthaltigkeit oder Abriebwiderstand:

Hämmer, Döpper, Meißel, Bossier- und Planierwerkzeuge usf.

α) Kohlenstoffstahl sehr zäh—zäh: 0,5 bis 0,7 vH C.

Härtung nur an der Arbeitsfläche oder Kante. Anlassen mit der Schafthwärme je nach Beanspruchung auf 50 bis 55 RC-Rockwell.

β) Preßluftwerkzeugstahl: 0,35 bis 0,45 vH C, 0,8 bis 1,5 vH Si, 0,5 bis 1,5 vH Cr, 2,0 bis 3,0 vH W.

Werkzeuge werden ganz gehärtet und angelassen nach Vorschrift des Lieferanten.

b) Warmarbeits-Werkzeuge.

1. Beanspruchungen auf Stoß oder Schlag bei nicht allzu hohen Temperaturen:

Einfache Fallhammer-Gesenke für geringe Stückzahlen, Abgratstempel, Lochdörne.

α) Kohlenstoffstahl hammerhart oder nach Wasserhärtung an den Arbeitsflächen: 0,4 bis 0,6 vH C, 0,5 bis 1,0 vH Mn.

β) Niedriglegierter Mn-Si- oder Mn-Cr-Stähle im vergüteten Zustand nach Lieferantenvorschrift.

2. Beanspruchungen auf Stoß, Schlag oder Druck bei erhöhten Temperaturen:

Lange oder tief gravierte Gesenke, Matrizen in Spindelpressen, Abgratwerkzeuge für hohe Beanspruchung und hohe Stückzahlen.

α) $\approx 0,3$ vH C, $\approx 0,3$ vH Mn, 3,0 bis 5,0 vH Ni, $\approx 0,5$ vH Cr, 1,5 vH Mo.

Schwierige Warmbehandlung, daher gern im vergüteten Zustand bezogen: etwa 105 bis 135 kg/mm² Festigkeit.

β) $\approx 0,3$ vH C, 1,0 bis 3,0 vH Cr, 5,0 bis 10,0 vH W.

Vergütet auf 120 bis 150 kg/mm² Festigkeit.

γ) Stahl nach a 1 δ.

Für Abgratwerkzeuge bei auf dünnem Grat geschlagenen Werkstücken.

3. Beanspruchungen auf sehr hohe Drücke oder sehr hohe Temperaturen:

Teile für Strangpressen, Spritzguß-Werkzeuge usw.

Die Vielfältigkeit der Belastungen erfordert genaueste Angaben an das Lieferwerk, welches aus einer großen Reihe von Sonderstählen die geeignete Sorte zu bestimmen hat.

4. Geheizte Werkzeuge für Kunststoffpressen.

α) Für kalt gesenkte Formen: 0,08 bis 0,20 vH C, 0 bis 1,5 vH Cr.

Arbeitsflächen eingesetzt und gehärtet.

β) Für gravierte Formen im vergüteten Zustand: 0,3 vH C, 1,0 vH Cr, 3,0 bis 5,0 vH Ni (kann durch Mo ersetzt werden).

γ) Für gravierte Formen, säurebeständig: 0,35 bis 0,50 vH C, 13,0 bis 18,0 vH Cr.

Bearbeitung im geglühten Zustand. Härtung nach Vorschrift des Lieferwerkes.

δ) Für gravierte Formen, hoher Abriebbeständigkeit, aber geringerem Säurewiderstand als 3.

Stahl nach a 1 δ.

c) Meß-Werkzeuge.

α) Kohlenstoffstahl: 1,1 bis 1,3 C, Mn und Si sehr niedrig;

β) 1,2 bis 1,5 vH C, 1,5 bis 1,8 vH Cr.

Beide Stähle nach der Härtung künstlich gealtert.

γ) 0,15 vH C, 1,5 vH Cr.

An den Meßflächen eingesetzt, ganzes Werkzeug gehärtet und künstlich gealtert.

d) Federnde Werkzeuge.

Auswerferfedern für Kaltstanzen, Gußstahlfederdraht patentgezogen: 0,9 bis 1,0 vH C, $\approx 0,5$ vH Mn, 0,2 vH Si.

Auswerferfedern für Warmschnitt-Werkzeuge, Ventilsfederstahl gehärtet und angelassen: 0,6 bis 0,7 vH C, 0,8 vH Mn, 0,2 vH Si.

Spannhülsen: 0,6 vH C, 0,5 vH Mn, 1,0 bis 2,0 vH Si; 0,5 vH C, 0,7 vH Mn, 1,0 vH Cr, 0,2 vH V.

Beide nach Ölhärtung auf etwa 130 kg/mm² Festigkeit angelassen.

Soweit es sich für die obengenannten Verwendungszwecke um höherlegierte Stähle handelt, ist die Verwendung gemäß Vorschriften der Reichsstelle für Eisen und Stahl für die Zwecke des wehr- und lebenswichtigen Interesses beschränkt.

Warmbehandlung von Werkzeugstählen und Baustählen.

A. Ausglühen der Werkzeugstähle.

I. Gründe.

- a. Um grobe Kristallisation, Ungleichheiten und Verzerrungen zu beseitigen, bzw. um ein gleichmäßiges, feines Korn und günstigsten Zustand für die Bearbeitung und die nachfolgende Warmbehandlung zu erzeugen;
- b. um Spannungen zu beseitigen.

Daher wird gegläht:

- a. nach dem Walzen und Schmieden (meist im Stahlwerk);
- b. nach Kaltbearbeitung durch Hämmern, Biegen, Ziehen usw.;
- c. nach spanhebender Bearbeitung durch Drehen, Fräsen, Hobeln usw., um ein Verziehen und Reißen bei der Härtung zu verhindern;
- d. wenn die Wirkung des Härtens wieder beseitigt werden soll.

II. Ausführung.

a) Richtiges Glühen. Zum eigentlichen Weichglühen, das der Umkristallisation zu körnigem Zementit entspricht, muß bis kurz über der unteren Umwandlungskurve (etwa 720 bis 760°) erhitzt werden, während zum Entspannen allein Temperaturen unter 700° genügen. Veränderung der Oberfläche (Kohlung, Entkohlung, Zunderbildung, Schwefelzufuhr) ist möglichst zu verhindern. Dann langsames Abkühlen.

Glühtemperaturen (Glühfarben auf S. 241):

680 bis 730°	für Kohlenstoffstahl,
700 „ 800°	„ niedriglegierte Stähle,
680 „ 800°	„ Schnellstahl.

b) Falsches Glühen: 1. Durch zu hohe Glühtemperatur. Wird die richtige Temperatur erheblich überschritten, so wird der Stahl grobkörnig und verliert an Zähigkeit: überhitzter Stahl.

Wird die Temperatur bis zur hellen Glut und Funkensprühen gesteigert, so können Verbrennungsprodukte in den Stahl eindringen und ihn mürbe machen: verbrannter Stahl.

Ungleichmäßige Erhitzung mit teilweiser Überhitzung bzw. Verbrennung ist beim Glühen im Schmiedefeuer in offener Flamme schwer zu vermeiden.

2. Durch zu langes Glühen. Der Stahl wird ebenfalls grobkörnig: verglühter oder abgestandener Stahl.

Nur überhitzter oder verglühter Stahl kann wiederhergestellt werden durch Härten mit nachfolgendem Glühen bei richtiger Temperatur oder bei Rohstücken durch Überschmieden und Ausglühen.

3. Veränderungen der Oberfläche. Sie wird vielfach hervorgerufen durch Berührung der glühenden Oberfläche mit Luft oder Verbrennungsgasen, die Sauerstoff, Wasserstoff und auch Schwefel enthalten können.

Durch Verbrennen des Kohlenstoffs oder durch Bildung von Kohlenwasserstoff tritt eine Entkohlung ein, durch Verbrennen von Eisen eine Verzunderung, beides meist zugleich. Auch kann Schwefel aus den Verbrennungsgasen aufgenommen werden.

Gering gehalten wird die Veränderung der Oberflächen durch eine reduzierende Atmosphäre (Überschuß an Kohlenstoff) im Gas- oder Ölofen oder durch Glühen im Muffel- oder elektrischen Ofen mit Schutzgas. Fertig bearbeitete Werkzeuge schützt man am sichersten durch Einpacken in ausgeflammter oder gebrauchter Leder- oder Holzkohle oder reinen Gußeisen-spänen.

B. Härten.

Wenn auch das Härten eine Kunst ist und auch heute noch viel Erfahrung verlangt, so sind doch, um dauernd die besten Ergebnisse zu erzielen, wissenschaftliche Einsicht und neuzeitliche Härteeinrichtungen unentbehrlich.

I. Erhitzen auf Härtetemperatur.

Ebenso wie bei dem Glühen besteht auch hier die Gefahr der Beschädigung der Oberflächen durch Entkohlung, Aufkohlung oder Verbrennung, was die gleichen Vorkehrungen verhindern.

Je größer die zu härtenden Stücke sind, um so langsamer muß das Erhitzen vonstatten gehen. Bei ungleichmäßig geformten Teilen empfiehlt sich das Einschalten einer Vorwärmestufe etwa 100° unter der Härtetemperatur, auf welcher das Werkzeug so lange zu halten ist, bis auch die starken Querschnitte völlig durchwärmt sind. Das Aufwärmen auf die Härtetemperatur kann dann schneller erfolgen, so daß kein Überglühen der dünneren Querschnitte zu befürchten ist.

Die Wärmeleitfähigkeit eines Stahles ist allgemein um so schlechter, je höher er legiert ist. Bei dem Aufwärmen ist hierauf Rücksicht zu nehmen.

Die Härtetemperaturen sind:

Kohlenstoffstähle . 750 bis 800°C (Abb. H 2)
Legierte Stähle ... 750 „ 950°C
Schnellstähle 1150 „ 1350°C .

Die Angaben der Lieferfirmen sind genauestens einzuhalten.

Abb. H 4 zeigt das Verhältnis der Härte zur Abschrecktemperatur bei einem Kohlenstoffgehalt von etwa 1 vH. Die richtige Abschrecktemperatur entspricht der höchsten Härte.

Wasserhärter und meist auch Ölhärter zeigen am Aussehen der abgeschreckten Oberfläche, ob die richtige Härtetemperatur eingehalten wurde. Die sich auch in reduzierender Ofenatmosphäre bildende dünne Zunderschicht platzt nach Abkühlung ab (Abschütten), wogegen sie bei zu niedrig oder zu hoch erhitzten Stählen fest haftet.

Die hohen Temperaturen, die für die einwandfreie Härtung notwendig sind, sowie die hohen Legierungsgehalte erfordern für die Härtung von **Schnellstahl** ganz besondere Sorgfalt. Die geringe Wärmeleitfähigkeit erfordert die Einschaltung von einer oder mehreren Vorwärmestufen, je nach Form und Größe des zu härtenden Teiles. Diese Vorwärmestufen sind:

200 bis 250° , 800 bis 850° , von da auf Härtetemperatur, oder

200 bis 250° , 600 bis 650° , 900 bis 1000° , von da auf Härtetemperatur.

Der Stahl soll nach Erreichen der Härtetemperatur kurze Zeit auf dieser gehalten werden. Die Haltezeit beträgt je nach Größe und Form des Werkzeuges 0,5 bis 5 min.

Gutes Vorwärmen und Halten im auf richtiger Härtetemperatur gefahrenen Ofen vermeidet das mehrmalige Herausnehmen und „Ziehenlassen“ an Luft, wodurch die Verzunderung der Oberfläche sehr beschleunigt wird.

Bei Mo-legierten Schnellstählen ist, falls die Härtung nicht aus dem Salzbadofen (s. Absatz II) erfolgt, das Aufstreuen von Boraxpulver nach

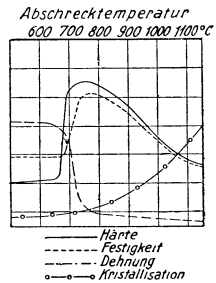


Abb. H 4. Einfluß der Abschrecktemperatur auf die Eigenschaften des Stahles.

Erreichen der Vorwärmestufe 800 bis 850° unerlässlich. Das Abrauchen (s. S. 227) wird dadurch vermieden.

Für alle Werkzeuge aus jedem Stahl gilt: Bei teilweisem Erhitzen ist eine scharfe Grenze zwischen erhitzten und nichterhitzten Stellen zu vermeiden. Müssen die Teile (Bohrungen, Zapfen usw.), die später weichbleiben sollen, mit in den Ofen, sind sie durch Lehm- oder Asbestpackungen od. dgl. zu schützen.

II. Härte- und Anlaß-Öfen.

Die zu stellenden Anforderungen sind:

Sie sollen im ganzen Heizraum möglichst gleichmäßige Temperatur haben, die nirgends die Höchsttemperatur für den Stahl wesentlich überschreitet. Die Temperatur soll leicht regelbar, aber auch leicht festzuhalten sein.

Die Erwärmung soll möglichst ohne chemischen Einfluß auf den Stahl vor sich gehen.

Der Ofen soll den Arbeiter nicht belästigen, reinlich, ruhig und wirtschaftlich arbeiten.

Am wenigsten erfüllt das **Schmiedefeu**r diese Anforderungen. Doch da es billig und bequem ist, findet es noch vielfach Anwendung, besonders für einfachere, weniger empfindliche Werkzeuge, wie Drehstähle, Meißel usw.

Es soll aus einer Grundfüllung ausgebrannter Schmiedekohle und einer Aufschüttung von Holzkohle bestehen.

Nur bei sehr großer Vorsicht und Geschick ist es auch für andere Werkzeuge brauchbar. In diesem Falle ist es zweckmäßig, durch Schamotte-Formsteine im Feuer eine kleine Muffel zu bauen, damit das Werkzeug beobachtet werden kann.

Eine Temperaturkontrolle durch Meßgeräte ist nicht möglich. Einigermaßen zuverlässiges Schätzen nach Glühfarben (s. S. 241) ist nur bei gleichmäßiger Helligkeit ohne unmittelbare Sonnen- oder Lampenstrahlung möglich.

Für kleinere und mittlere Leistungen sind die **Gasöfen für Leuchtgas** sehr einfach, reinlich und anpassungsfähig. Im Plattenofen können Entkohlung und Zunder durch Gasüberschuß („reduzierende Atmosphäre“) verhindert werden. Muffeln, die den Betrieb verteuern, sind nur nötig, wenn das Werkstück vor schwefelhaltigen Gasen geschützt werden muß. Ein Gebläse ist unentbehrlich; für hohe Temperaturen (Schnellstahl) wird auch das Gas verdichtet, und zwar entweder allein für sich und dann mit der Gebläseluft gemischt oder nach der Mischung mit Luft (Selasgas).

An Stelle der Gasöfen, besonders für größere Abmessungen, werden viel die **Ölöfen** benutzt, die im Betriebe billiger, aber nicht so reinlich sind.

Elektrische Glühöfen sind für alle Temperaturen geeignet. Sie arbeiten mit Heizwiderständen, die für Temperaturen bis etwa 1000° aus Chromnickel, für Temperaturen bis etwa 1300° aus Karborundum (Silit) oder für Temperaturen bis 1400° aus Molybdän (mit Schutzgas) bestehen. Sie sind sehr gut auch selbsttätig regelbar und haben sehr gleichmäßige Temperatur.

Die sogenannten Haltepunktöfen zeigen die Umwandlungs-Haltepunkte eines im Ofenraum befindlichen Werkzeuges an und bestimmen somit die richtige Härtetemperatur selbsttätig.

Elektrische Härteöfen aller Art sind nur dann wirtschaftlich, wenn sie im Dauerbetrieb Verwendung finden und die Stromkosten 0,05 RM/kWh nicht überschreiten.

Sehr rasch und gleichmäßig arbeiten die **Öfen mit Flüssigkeitsbädern**, die daher für die Massenfertigung unentbehrlich sind. Die Bäder werden durch Gas, Öl oder Elektrizität erwärmt. Als Flüssigkeit dienen Metalle (Blei) nur für Temperaturen bis etwa 900°, Salze (Chlorbarium, Chlor-natrium, Chlorkalium; Schmelzpunkte s. S. 161 bis 163) für Temperaturen bis 1400°. Dem Chlorbariumbad für Schnellstahlhärtung wird zum Vermeiden der Entkohlung Borax zugesetzt. Salze erwärmen langsamer als Metalle und verhindern das oberflächliche Oxydieren beim Herausnehmen aus dem Bade durch Bildung einer dünnen Salzkruste.

Zum Glühen sehr großer Werkzeuge (Gesenke, Federn) dienen gemauerte Öfen, die durch Steinkohle, Öl, Generatorgas usw. geheizt werden.

Von besonderer Wichtigkeit für die Härterei sind gute **Anlaßöfen**. Einfache Platten- oder Muffelöfen können hier nur als Notbehelf angesehen werden, da die Gleichmäßigkeit der gewünschten Temperaturen in solchen Öfen nicht verbürgt werden kann.

Es finden Verwendung: Gas- oder elektrisch beheizte Öl-Anlaßbäder für Temperaturen von 100 bis 250°; gas-, öl- oder elektrisch beheizte Salz- oder Metallbäder für Temperaturen von 200 bis 600°; elektrische Luftumwälzöfen für jeden Temperaturbereich bis 700°.

Selbsttätiges Einhalten der gewünschten Temperaturen durch mit der Temperaturkontrolle gekuppelte Schaltgeräte ist erwünscht.

III. Abschrecken.

Diese Bezeichnung ist nur berechtigt für die Abkühlung in Wasser. In Öl oder an Luft geht der Temperaturrückgang schon so langsam vonstatten, daß nur noch von Abkühlen oder Ablöschen gesprochen werden kann.

Die Abkühlungsgeschwindigkeit fällt in nachstehender Folge der Kühlmittel:

- Quecksilber (selten, höchstens für Nadelspitzen),
- Wasser mit Säure- oder Salzzusätzen,
- Wasser rein,
- Wasser mit Glycerinzusatz,
- Mineralöl (besonderes Härteöl),
- Rüböl (heute meist durch Mineralöl ersetzt),
- Luft bewegt,
- Luft ruhig.

Allgemein verwendet werden nur die gesperrt gesetzten Mittel. Die anderen sind Überbleibsel aus der Zeit, als die Härterei noch eine geheimnisvolle schwarze Kunst war. Tatsächliche Vorteile konnten niemals nachgewiesen werden.

Temperaturen der Kühlmittel:

Die Wirkung der Kühlmittel beruht in hohem Maße auf ihrer spezifischen Wärme, d. h. auf ihrer Wärmeaufnahmefähigkeit. Erhöhte Temperaturen der Kühlmittel setzen die Wärmeaufnahme aus dem Werkstück herab; es ist also bei Wasser als Kühlmittel für eine stets gleich bleibende Temperatur zu sorgen. Allgemein üblich ist eine Wassertemperatur von 20°, bei welcher sich die beste Wirkung ergibt. Höhere Temperaturen fördern das Bilden von Dampfblasen und durch die damit verbundene ungleichmäßige Abkühlung die Gefahr des Ausschusses.

In Ölbädern ist die Wirkung höherer Temperatur eine andere. Durch diese wird die Dünflüssigkeit und damit der Wärmeaustausch verbessert. Die Kühlwirkung ist also nicht vermindert.

Bei bewegter Luft ist zu beachten, daß Preßluft stets Wassertröpfchen mitreißt, wodurch die bestrahlte Fläche von Lufthärterstahl einer örtlichen Wasserabschreckwirkung ausgesetzt wird. Diese kann zu Oberflächenrissen führen. Es ist deshalb Gebläseluft vorzuziehen, wenn auch die Strahlwirkung nicht so stark ist.

Abkühlvorrichtungen für die Teilhärtung von Gravuren, Bohrungen und Arbeitskanten werden für alle Kühlmittel verwendet und sind im Schrifttum eingehend beschrieben; ebenso Vorrichtungen für das Planrichten und Härten dünner Scheiben zwischen gekühlten Metallplatten.

Ein besonderes Gebiet der Abkühltechnik sind die **gestufte** und die **gebrochene Härtung**.

Die endgültige Umwandlung des Austenit, also des bei der Härtetemperatur eingestellten Gefüges zum Martensit, tritt nämlich nicht sofort ein, sondern während des Abkühlungsintervalles von 300 bis 180° je nach Stahllegierung. Voraussetzung ist nur, daß bis zu diesem Punkt überkritisch, d. h. schneller als die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit es verlangt, abgekühlt wird. Von dann ab kann der Temperaturrückgang wesentlich langsamer vorstatten gehen. Der Stahl hat dann Zeit, die bei der Gefügeumwandlung auftretenden Maßveränderungen langsam durchzuführen. Die gebrochene Härtung verwendet diese Tatsache bei sperrigen und härte-technisch ungünstigen Werkzeugformen aus wasserhärtenden Stählen, indem die Abkühlung in zwei verschiedenen Bädern zunächst schnell in Wasser bis etwa 400° (Verschwinden der Glut) und dann langsam in Öl gehandhabt wird. Abschreckspannungen werden auf diese Weise fast völlig unterdrückt.

Die **gestufte** (Warmbad-, Termal-) **Härtung** verwendet in gleicher Weise für Öl- und Lufthärter ein heißes Bad, dessen Eigentemperatur je nach Zusammensetzung des Stahles bei 300 bis 180° gefahren wird. Die Abkühlung erfolgt zunächst in diesem bis zur Annahme der Badtemperatur und dann weiter bis Raumtemperatur an ruhiger Luft. Das Gelingen dieses Verfahrens ist in hohem Maße abhängig von der Form des Werkzeuges (für massige Teile meist ungeeignet) und der Zusammensetzung des verwendeten Stahles. Es empfiehlt sich deshalb Rückfrage bei der Lieferfirma. Für die heißen Bäder haben sich Zusammensetzungen von Kali- und Lithiumsalpeter am besten bewährt.

IV. Anlassen.

Durch das Anlassen wird das Abschreckgefüge einer Änderung unterworfen. Diese ist abhängig von der Zusammensetzung des behandelten Stahles und der Höhe der Temperatur.

a) Abkochen, Entspannen, Altern geschieht bei 100 bis 200° und hat den Zweck, das Gefüge von Stählen mit hoher kritischer Abkühlgeschwindigkeit nach dem schroffen Abschrecken zu festigen und die Abschreckspannungen zu beseitigen. Ein Härteverlust tritt nicht ein, aber auch keine Steigerung der Zähigkeit. Das Verfahren wird angewendet bei Kohlenstoffstählen und niedriglegierten Wasser- und Ölhärtern, zur Vermeidung von nachträglichen Maßänderungen an Meßwerkzeugen usw. durch natürliches Altern oder von Ausschuß durch nachträgliches Platzen oder Zerspringen bei ungleichförmigen Querschnitten.

b) Anlassen, Nachlassen, Verzähnen. Hierdurch wird der nadelige Martensit in Hardenit bzw. (bei höheren Temperaturen) in Troostit und Sorbit

überführt. Durch eine solche Behandlung werden nicht nur die Abschreckspannungen beseitigt, sondern bei allerdings nicht zu vermeidendem Härteverlust die Zähigkeit stark erhöht. Das Gebiet des merklichen Härteabfalles liegt zwischen 200 und 300° bei allen Wasser- und Ölhärtern, abgesehen von den Schnellstählen und den diesen ähnlichen hochlegierten Schnitt- und Warmarbeitsstählen. Die üblichen Anlaßtemperaturen bewegen sich deshalb auch in diesen Grenzen. Sie werden innerhalb dieser um so höher gewählt, je größere Ansprüche an die Zähigkeit und je geringere an die Härte gestellt sind.

c) Vergüten. Diese der gleichen Behandlung von Baustahl entnommene Bezeichnung verwendet Anlaßtemperaturen von 350 bis 550°, durch welche das Härtungsgefüge fast völlig in Sorbit zurückgewandelt wird. Es kann hiernach nicht mehr von Härte im Sinne der Stahlbehandlung die Rede sein, sondern nur noch von hohen Festigkeiten. Werkzeuge, welche kalt- oder warmarbeitend hohen Schlag-, Preß- oder Druckwirkungen ausgesetzt sind, oder welche im Rahmen der Vergütungstemperaturen bei der Arbeit schnell wechselnden Arbeitswärmen ausgesetzt sind, werden so behandelt, ebenso Bauteile, die hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

d) Anlassen von Schnellstahl. Infolge der notwendigen hohen Härte-temperaturen besteht die Grundmasse des Schnellstahles bzw. der ihm verwandten Stahllegierungen nach dem Abkühlen aus Austenit. Dieses Gefüge ist bei nicht allzu hoher Härte recht spröde. Es empfiehlt sich deshalb, den aus hohen Härtetemperaturen abgekühlten Stahl bei Temperaturen anzulassen, die den Zerfall des Austenit in Martensit gewährleisten. Diese Temperaturen liegen je nach Höhe und Art der Legierung zwischen 550 und 600°.

Entsprechend der Kurve in Abb. H 3 steigt durch die Gefügeumwandlung Austenit-Martensit die Härte des Schnellstahles an. Voraussetzung hierfür ist austenitisches Abkühlgefüge. War die Härtetemperatur aus irgendeinem Grunde so niedrig, daß es nicht entstanden ist, dann kann die hohe Anlaßtemperatur natürlich nicht angewendet werden. In diesem Falle wird Schnellstahl wie niedriglegierter Werkzeugstahl behandelt. Es ist dann aber auch fraglich, ob die Verwendung eines Schnellstahles überhaupt am Platze ist.

e) Kontrolle der Anlaßtemperaturen: Einen Anhalt für die Höhe der erreichten Temperaturen gibt bei an Luft erwärmten Werkzeugen die Anlauffarbe. Bei Kohlenstoff- und niedriglegierten Stählen gestaltet sie eine genügend genaue Bestimmung im Gebiet der Temperaturen von 220 bis 330° C unter der Voraussetzung, daß die Erwärmung gleichmäßig und verhältnismäßig schnell vonstatten geht und die Oberfläche des Werkzeuges völlig frei von einer schützenden Fett- oder Salzschicht ist (s. Tafel 2).

Stähle mit hohen Gehalten an Chrom, Wolfram oder Kobalt zeigen gar keine bzw. andere Anlauffarben, so daß hier die Temperaturschätzung nicht möglich ist. Für diese Stähle, ferner für genaue Messung von Temperaturen, welche mehr als Minutendauer zu halten sind, müssen Meßgeräte Verwendung finden, wie sie in Tafel 1 und im Abschnitt „Wärme“ genannt sind.

Das Anlassen mit der eigenen Wärme aus dem Werkzeugschaft (Meißel, Döpper, Kopfmacher usw.) genügt für geringe Ansprüche. Im Falle höherer Anforderungen ist das gleichmäßige Erwärmen des ganzen Werkzeugkörpers vorzuziehen, auch dann, wenn er nur teilgehärtet ist.

V. Reinigung.

Für Teile, welche aus dem Salzbad blank gehärtet werden sollen, ist eine Säuberung vor dem Erhitzen durch Abkochen in Sodalaug oder Waschen in üblichen Reinigungsmitteln notwendig.

Farb- oder Fettkreidezeichen ergeben unter Umständen Weichfleckigkeit und sollen deshalb ebenfalls abgewaschen werden.

Anhaftende Reste von Metall- oder Salzbadern müssen abgeschabt bzw. abgebürstet werden.

Anhaftender Zunder wird durch Sandstrahl beseitigt. Bei Härtung aus dem Salzbadofen können für Temperaturen bis 900° Salze mit geringem Zyanzusatz das Sandstrahlen erübrigen, wenn bald nach dem Abkühlen in Wasser bzw. Blankhärteöl im Ölanlaßbad angelassen werden kann. Schnellstahl-Werkzeuge, welche im Salzbad vorgewärmt und aus dem Salzbad gehärtet werden, bleiben ebenfalls graublank, wenn in einem leicht zyanisierten Zwischenbad von 500 bis 600° gestuft abgekühlt wird. Die Salzurückstände des Zwischenbades werden in heißer Sodalaug abgewaschen, die Werkzeuge sodann in heißem Öl gefettet. Auch in diesem Falle kann das Sandstrahlen eingespart werden.

C. Hauptursachen für Mißerfolge beim Härten.

I. Fehler im Ausgangszustand.

a) Mängel im Werkstoff. Blasen, Lunker, Seigerungen, Schmiede- bzw. Walzfehler.

Folge: Risse bei der Abkühlung aus der Härtetemperatur, welche meist in der Faserrichtung verlaufen und stark klaffen.

Abhilfe: Scharfe Liefervorschriften, Auswahl nur vertrauenswürdiger

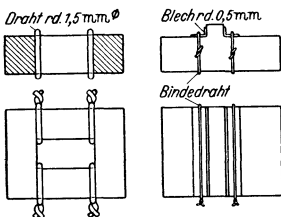


Abb. H 5. Schutz scharfer Ecken beim Härten.

Lieferfirmen. —

Zementitnetzwerk bzw. Karbidzeilen.

Folge: Zackige oder netzartig verlaufende Risse bei der Abkühlung aus der Härtetemperatur.

Abhilfe: wie vor bzw. bei Eigenschmiedung entsprechende Glühbehandlung bzw. Umschmiedung. —

Verglühter Werkstoff.

Folge: Weichfleckigkeit, ungenügende Härteannahme, abnormale Spannungsrisse.

Abhilfe: wie vor bzw. bei Eigenglühen Nachglühen.

b) Bearbeitungsspannungen. Folge: Starker Verzug. Abnormale Spannungsrisse.

Abhilfe: entspannendes Glühen.

c) Fehler in der Werkzeugform. Masseunterschiede zu groß; scharfkantige Übergänge an Bunden, Nuten, Zähnen.

Folge: Risse entlang der Massegrenzen; Abplatzen der Kanten bzw. Ecken; starker Verzug.

Abhilfe: Hohlkehlen an den Ecken; Runden der Kanten; Ausbohren dicker Querschnitte. Bei unbedingt notwendigen scharfen Ecken Einlegen von Eisenrunddraht, in diesem Falle kein merklicher Härteverlust an der Eckenkante oder Anlegen von Schutzleisten (Abb. H 5), in diesem Falle Weichbleiben der Eckenkanten, oder Verwendung von Lufthärtern.

II. Fehler beim Härten.

a) Bei dem Erwärmen. Über- oder Unterschreiten der richtigen Härte-temperatur.

Folge: Weichbleiben bzw. große Sprödigkeit, Spannungsrisse, mangelhafte Leistung bei der Arbeit.

Abhilfe: Temperaturkontrolle. —

Zu schnelles Erhitzen, Kern bleibt wesentlich unter Härtetemperatur.

Folge: Aufreißen der Härtedecke.

Abhilfe: Halten kurz unter Härtetemperatur bis Wärme gut durchgezogen, dann auf Härtetemperatur gehen. —

Ungleichmäßiges Erwärmen bei zu kleinem Ofenraum oder falscher Brenneinstellung bzw. Erhitzen im Schmiedefeuer.

Folge: Spannungsrisse entlang der Grenze verschiedener Temperaturzonen; starker Verzug.

Abhilfe: Befuerung prüfen; größeren Ofenraum verwenden; Wärme besser durchziehen lassen. —

Falsche Ofenatmosphäre durch starken Luftüberschuß.

Folge: Oberflächenentkohlung, daher Weichhaut oder Weichfleckigkeit.

Abhilfe: Brenneinstellung berichtigen. —

Oberflächenaufkohlung durch Einpacken in stark kohlenende Schutzmittel.

Folge: Ausbrechen der Arbeitskanten bei der Benutzung.

Abhilfe: Milde Schutzmittel verwenden.

b) Fehler bei dem Abkühlen. Zu schroff oder zu weich.

Folge: Spannungsrisse oder keine Härteannahme.

Abhilfe: Härteanweisung genau einhalten. —

Anhaftende Dampfblasen (Leidenfrostscher Tropfen).

Folge: Weichfleckigkeit, unter Umständen Spannungsrisse.

Abhilfe: Werkzeug in Kühlmittel bewegen; Sprudelvorrichtung im Kühlbottich. —

Verkehrte Tauchrichtung.

Folge: Starker Verzug; Weichflecke in Gravuren.

Abhilfe: Tauchen in der Längsachse; Bewegen in Richtung der Längsachse; Gravuren in Richtung des Flüssigkeitsspiegels.

c) Ausschuß durch natürliche Gefügeumwandlungs-Vorgänge. Die Notwendigkeit der mehr oder weniger schroffen Abkühlung verursacht Spannungen, welche bei ungünstigen, aber nicht zu vermeidenden Werkzeugformen zu Verzug oder zu Rissen führen.

Vorkehrungsmaßregeln:

Gebrochene Härtung bei Wasserhärtern (s. Abschrecken).

Warmbad- (Termal-) Härtung bei Ölhärtern (s. Abschrecken).

D. Messung der Temperatur in der Härtereier.

Die folgende Zusammenstellung¹⁾ gibt eine Übersicht über die für das Härten und Glühen wichtigsten Temperaturmeßgeräte, siehe auch Abschnitt „Wärme“.

Alle Geräte zeigen ganz objektiv und selbsttätig an und können auch zum Aufschreiben ihrer Anzeigen eingerichtet werden, außer den optischen Pyrometern, die daher für dauernde Überwachung auch nur noch wenig verwendet werden.

¹⁾ Entnommen aus Werkstattbücher Heft 8. Eugen Simon: „Härten und Vergüten“, 2. Teil. Berlin: Julius Springer.

Tafel 1. Verzeichnis der Temperaturmeßgeräte.

Grundlage der Messung	Art und Bezeichnung	Ausführung	Für Temperaturen bis
Ausdehnung flüssiger und fester Körper	Quecksilber-Glas-Thermometer in Metallfassung	gewöhnlich	300°
		mit Stickstofffüllung (bis 20 at)	550°
	Quecksilber-Metallrohr-Thermometer	Quecksilber unter hohem Druck in festem oder biegsamem Metallrohr	600°
		Stab-Ausdehnungs-Thermometer	Stab (oder Rohr) aus Stahl	800°
		Stab (oder Rohr) aus Nickelstahl oder Graphit	1100°
Thermoelektrischer Strom	Thermoelemente	Kupfer-Konstantan	400°
		Eisen-Konstantan	700°
		Chromnickel-Konstantan	900°
		Nickel-Chromnickel	1100°
		Platin-Platinrhodium	1500°
Thermostrom durch Strahlung	Ganzstrahlungs-pyrometer	mit Fernrohr	2000°
Glühfarben	Teilstrahlungs-(optisches) Pyrometer	mit Fernrohr	1800°

Die thermoelektrischen Pyrometer messen tatsächlich den Wärmeunterschied zwischen der Lötstelle und der Anschlußklemme. Ist die Anschlußstelle nicht genügend außerhalb des Bereiches der Ofenwärme und damit schwankenden Temperaturen ausgesetzt, so kann diese Fehlerquelle durch Kompensationsleitungen beseitigt werden. Sehr gut bewährt hat sich auch Eingraben der Anschlußstelle im Erdboden oder Einführen in eine handelsübliche Thermosflasche durch gelochte und abgedichtete Gummikorke. Bei anhaltender Benutzung in hohen Wärmegraden brennen die Schutzrohre leicht durch, besonders in Salzbadern für Schnellstahl. Sie müssen also leicht auswechselbar sein. Die Meßdrähte werden von heißen Gasen leicht angegriffen und messen dann falsch. Daher sind ihre Angaben in regelmäßigen Abständen nachzuprüfen.

Die Strahlungs-pyrometer leiten die Strahlen der Meßstelle des Ofens auf die Lötstelle eines Thermoelements, dessen Thermokraft, wie beim thermoelektrischen Pyrometer, gemessen oder aufgezeichnet wird, oder die Strahlung erwärmt einen sehr dünnen Widerstandsdraht (Bolometer), dessen Widerstandsänderung, wie beim Widerstandsthermometer, zur Messung benutzt wird. Die Strahlungspyrometer sind wie die optischen Störungen wenig ausgesetzt, da sie mit den heißen Teilen des Ofens nicht in Berührung kommen. Sie sind auf schwarzstrahlende Körper geeicht, können also nur dort Verwendung finden, wo ausschließlich die Eigenstrahlung (ohne Reflexion zusätzlicher Strahlungsquellen) des zu messenden Körpers (Ofenraum, Salzbadspiegel im auf gleicher Temperatur befindlichen Tiegel oder glühende schwarze Körper) das Meßergebnis beeinflußt. In Platten oder Herdzußöfen, deren Arbeitsraum von den Feuerungsgasen durchzogen ist, werden bereits starke Abweichungen eintreten. Bei den Geräten, welche die Strahlung durch einen Spiegel auf das Thermoelement konzentrieren, ist ferner darauf zu achten, daß das Reflexionsvermögen des Spiegels nicht

durch Staub, Schmutz oder Kratzer auf der Politur geändert wird. Die Geräte sind deshalb des öfteren, und zwar am besten an der Gebrauchsstelle, neu zu eichen. Anwendung oberhalb 600°. Verwendbar als Handinstrument oder mit fester Aufstellung. Der Abstand des Aufstellungspunktes von der Stelle, deren Temperatur gemessen werden soll, ist gleichgültig, sobald keine Strahlung durch die Ofenöffnung abgeblendet wird.

Tafel 2. Glühfarben und Anlaßfarben.

Glühfarbe	Temperatur	Anlaßfarbe	Temperatur
Beginn des Dunkelrot	650°	Hellgelb	225°
Dunkelrot	700°	Dunkelgelb	240°
Kirschrot	800°	Gelbbraun	255°
Hellrot	900°	Rotbraun	265°
Lachsrot	1000°	Purpurrot	275°
Orange	1100°	Violett	285°
Zitronengelb	1200°	Dunkelblau	295°
Weiß	1300°	Hellblau	310°
		Grau	325°

Die Haltepunktschreiber erfüllen eine weitergehende Aufgabe als die Pyrometer, indem sie zugleich die Haltepunktkurve der zu härtenden Stähle in Abhängigkeit von der Temperatur aufschreiben. Dadurch sichern sie für jeden auch unbekanntem Stahl — abgesehen von hochlegierten — die richtige Härtetemperatur. Sie sind für die Werkstatt mit einem elektrischen Ofen organisch verbunden.

E. Warmbehandlung der Baustähle.

Warm behandelt werden vorwiegend die Stähle DIN 1661, 1662 und 1663. Zwar werden sehr oft auch Automatenisen, Schnellautomaten-Weichstahl und Stähle DIN 1611 einer irgendwie gearteten Härtung unterzogen, jedoch ist für eine geregelte ausschußarme Fertigung die Verwendung der erstgenannten vom Standpunkt der Warmbehandlung vorzuziehen. Für sehr hochbeanspruchte Triebwerks- und Motorenteile geht man noch einen Schritt weiter mit der Verarbeitung von Stählen aus Klein-Martin- oder Elektroöfen, Stähle also, welche sich in bezug auf ihren Reinheitsgrad nur sehr wenig von Werkzeugstahl unterscheiden.

Da von Bauelementen aller Art in erster Linie eine sehr hohe Zähigkeit verlangt wird, erreichen die Kohlenstoffgehalte nur in Ausnahmefällen die Höhe der Werkzeugstähle. Dennoch wird oft eine sehr hohe Oberflächenhärte verlangt.

I. Einsatzhärten (Zementieren)¹⁾.

Es bedeutet die Erzeugung einer kohlenstoffreichen, gut härtbaren Oberfläche auf Teilen aus weichem Stahl durch Glühen in kohlenstoffabgebenden Mitteln. Beim Härten der aufgekohlten (zementierten) Schicht bleibt der innere Teil des Werkstücks, der Kern, weich und zäh.

a) Anwendung. Das Einsatzhärten wird benutzt:

1. um Werkstücke zu schaffen, die außen sehr hart und verschleißfest und wegen des zähen Kerns doch schlag- und stoßfest sind;
2. um die Verwendung von hochgekohltem Stahl zu umgehen, da er nach dem Härten weder außen noch innen bearbeitet werden kann (außer durch Schleifen), da er beim Abschrecken leicht hohe Spannungen bekommt, die zu Verzerrungen oder gar Rissen führen und da er meist teuer ist.

¹⁾ Werkstatt und Betrieb 1938, Heft 17/18, S. 225, Heft 19/20, S. 276; 1939, Heft 3/4, S. 46.

b) Einsatzstahl. Jeder zähe, nicht zu hoch gekohlte Stahl ist verwendbar. Der Gehalt an Kohlenstoff soll höchstens 0,25 vH sein, weil der Stahl sonst spröde wird. Der Gehalt an Schwefel und Phosphor und auch an Silizium soll gering, der Werkstoff also rein sein. Deshalb ist an Stelle von gewöhnlichem Maschinenstahl besser besonderer Einsatzstahl DIN 1661 zu verwenden.

Kohlenstoffstahl hat nach dem Härten der aufgekohlten Außenzone eine zu niedrige Kernfestigkeit. Niedriglegierte Chrom-, Chrom-Nickel- und Chrom-Molybdän-Einsatzstähle ergeben bessere Werte je nach Höhe der Gehalte (DIN 1662 und 1663).

c) Einsatzmittel. Diese können in festem, pastenartigem, flüssigem oder gasförmigem Zustand Verwendung finden. Ihre Wirksamkeit beruht auf der Bildung von kohlenstoffgebenden Gasen: Kohlenoxyd, Cyan, flüchtigen Cyanverbindungen und leichten Kohlenwasserstoffen. Fester elementarer Kohlenstoff zementiert nur schwach.

Von festen Mitteln werden gebraucht: Holz-, Knochen- und Lederkohle, Ruß, allein oder gemischt mit Soda, Kalk, Kochsalz usw. Sehr kräftig wirkt Holzkohle mit gelbem Blutlaugensalz. Besonders bewährt hat sich auch Holzkohle, getränkt mit Bariumkarbonat im Verhältnis 60 : 40 bis 80 : 20.

Von den gasförmigen Mitteln wird am meisten benutzt: Leuchtgas, ferner Azetylen (Azetylen-Sauerstoff-Flamme) und Kohlenoxyd; von den flüssigen: geschmolzenes Zyankali, auch Ferrozyankali oder besser Zyan-Härtefluß (Natriumzyanid u. dgl.).

Anforderungen an ein gutes Zementiermittel:

1. Es muß preiswert, besonders aber im Gebrauch sparsam sein.
2. Es muß unschädlich für den Stahl sein (keine Zuführung von Schwefel, Phosphor, Wasserstoff usw.).
3. Es muß bei mäßiger Temperatur (nicht über 900°) und mäßiger Glühzeit genügend wirken, doch nicht zu heftig, damit sich kein schroffer Übergang zwischen Kern und zementierter Schicht bildet.

d) Ausführung des Zementierens. 1. Feste Zementationsmittel. Die Teile werden, rings umgeben von dem Zementiermittel, das in einer Schicht von 15 bis 50 mm gegen die Teile gestampft wird, in eiserne Kästen gepackt, die mit einem Deckel verschlossen und mit Lehm sorgfältig abgedichtet werden. (Für einzelne größere Spindeln haben sich eiserne Rohre gut bewährt.) Die Kästen werden dann in einem Ofen längere Zeit geglüht. Da Kästen aus Eisenblech durch Glühspan bald zerstört werden, haben sich Glühkästen aus zunderfestem Stahlblech geschweißt sehr gut eingeführt. Diese sind zwar wesentlich teurer als die ersteren, haben jedoch eine Lebensdauer von 1000 und mehr Brennstunden.

Die zementierte Schicht soll etwa 0,8 bis 1 vH Kohlenstoff enthalten, je nach Anforderung und Größe des Stückes, 0,5 bis 2 mm stark sein und allmählich in den weichen Kern übergehen. Die dazu geeignetste Temperatur und Glühzeit hängt von der Zusammensetzung des Einsatzstahles und des Einsatzmittels ab. Die Temperatur soll nicht unnötig hoch sein, muß aber so hoch sein, daß sich die feste Lösung bilden kann (s. S. 224). Dazu ist eine Temperatur von 850 bis 920° nötig. Die Zeit, meist einige Stunden, muß um so länger sein, je tiefer die zementierte Schicht sein soll. Es ist nicht zu empfehlen, durch zu hohe Erhitzung die Einsatzzeit abzukürzen.

Das Zementieren kann auf bestimmte Teile der Oberfläche beschränkt werden dadurch, daß man die anderen Teile mit Lehm, Asbest od. dgl.

verpackt, Eisenplatten gegen sie preßt, Ringe überzieht oder sie galvanisch verkupfert. Man kann auch nach dem Zementieren der ganzen Oberfläche doch vor dem Härten, von den Stellen, die nicht hart werden sollen, die zementierte Schicht durch spanhebende Bearbeitung wieder entfernen.

2. Flüssige Zementationsmittel. Es ist größte Vorsicht geboten, da diese Mittel alle mehr oder weniger giftig sind. Das Bad dient unmittelbar zum Glühen und Zementieren, so daß das Verfahren außerordentlich einfach und schnell arbeitet. Für große Werkstücke verbietet es sich von selbst.

Tiefzementierbäder, deren Zusammensetzung während des Betriebes allerdings ständig überwacht werden muß, gestatten auch nach diesem Verfahren Einsatziefen bis 2 mm.

3. Gasförmige Zementationsmittel. Beim Einsetzen in Gase kommen die Werkstücke in eine Muffel, die von außen erhitzt wird, während innen ein Gasstrom durchgeleitet wird. Die Gaszementation ermöglicht die größten Einsatziefen (5 und mehr mm) bei verhältnismäßig geringer Kornvergrößerung.

e) Die Nachbehandlung soll:

1. die Sprödigkeit, die der Stahl infolge des Glühens bei hoher Temperatur erhalten hat, möglichst wieder beseitigen;

2. die zementierte Schicht härten.

Folgende Verfahren sind üblich:

α) Nur Abschrecken aus der Zementationshitze. Verfahren sehr einfach: Kern wird zurückgefeint, jedoch Schicht überhitzt gehärtet. Verfahren daher nur für nicht empfindliche, meist kleinere Teile üblich.

β) Im Kasten erkalten lassen, dann von 780 bis 800° härten. Schicht dadurch richtig gehärtet, Kern jedoch nur bei nickellegierten Stählen fein.

γ) Abschrecken wie bei α , dann nochmals Abschrecken von 780 bis 800°. Schicht richtig gehärtet, Kern fein, jedoch Gefahr erheblicher Spannungen.

δ) Wie bei γ , nur nach dem ersten Abschrecken Zwischenglühen bei 600 bis 650°. Wenig Spannungen, Kern fein.

ϵ) Wie bei δ ohne erstes Abschrecken. Ebensogut wie δ für nickellegierte Stähle.

Höherlegierte Nickelstähle können nur durch Zementieren, ohne Abschrecken, glashart werden.

Einfache Teile, wie Schlüssel, Muttern usw., die bunt gehärtet werden sollen, werden von Fett gereinigt, in trockene Markknochenkohle gepackt und in einem Wasserbad abgeschreckt, in das Luft unten eingeleitet wird, so daß sie in Perlen aufsteigt. Auch durch Erhitzen in reinem Zyankali und Abschrecken in Wasser kann eine schöne Bunthärtung erzielt werden.

Größere Teile, die sich beim Härten verzogen haben, können unter leichtem Erwärmen gerichtet werden.

Eine Oberflächenhärtung von sehr geringer Tiefe ist an kleineren Flächen, z. B. Kopf und Druckende von Schrauben usw., durch Abbrennen mit Zyankali oder dem ungiftigen gelben Blutlaugensalz („Kali“ der Werkstatt) zu erreichen. Dazu werden die Teile rotwarm erhitzt, dann mit dem Pulver bedeckt, nochmals erhitzt und abgeschreckt. Bei Massenfertigung statt dessen: Erhitzen in den oben genannten flüssigen Zementationsmitteln.

II. Nitrierhärten (Versticken).

An Stelle von Kohlenstoff kann man zum Härten auch Stickstoff in die Randschicht von Stahl einführen, was z. B. nach dem Verfahren von

Krupp dadurch geschieht, daß man den Stahl bei 500 bis 550° längere Zeit einem Strom von Ammoniakgas aussetzt (Nitrieren).

Die dadurch erzeugte Schicht von Stickstoffverbindungen ist ohne Abschrecken hart, sogar härter als die aus Martensit bestehende beim gewöhnlichen Einsatzhärten; sie verliert von ihrer Härte beim Anlassen bis 500° fast gar nichts.

Das Nitrieren hat weiter den Vorteil, daß das Werkstück sich nicht verzieht, weil die Glüh­temperatur niedrig ist und weil langsam abgekühlt wird.

Nachteile des Nitrierens: Die Schicht wird nur einige hundertstel Millimeter dick und kann deshalb stärkerem spezifischem Drucke nicht widerstehen. Es muß Sonderstahl — mit etwas Chrom und Aluminium oder Vanadin — benutzt werden.

Das Nitrieren ist nicht billig. Am empfehlenswertesten ist das Nitrieren für Maschinenteile, die sehr verschleißfest sein müssen und nicht geschliffen werden, wie Schnecken, kleine Schubstangen und Kurbelwellen, Kolbenbolzen, Schwingen, Kurvenscheiben usw., und für Teile, die bei hoher Arbeitstemperatur ihre Härte halten sollen.

III. Oberflächenhärtung

durch Leuchtgas-Sauerstoff- oder Azetylen-Sauerstoff-Flamme an kreisend oder geradlinig an der Flamme vorbeigeführten Werkstücken aus härtbarem Stahl. Werkstatt und Betrieb 1939 -Heft 23/24.

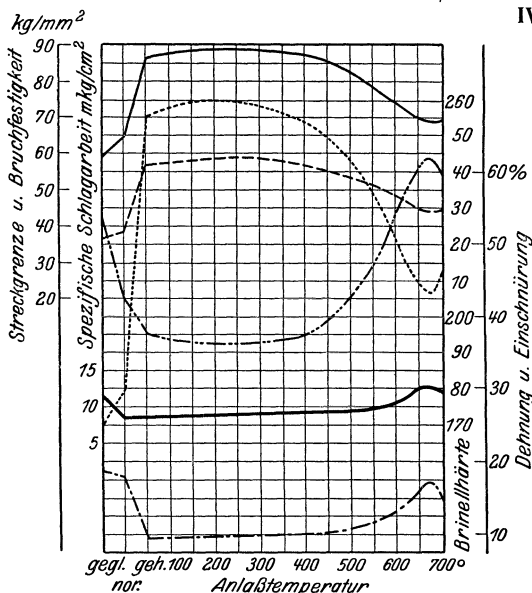


Abb. H 6. Vergütungsschaubild eines Kohlenstoffstahles.

temperatur (400 bis 700°), während nach dem Härten nur auf geringe Temperatur, manchmal gar nicht, angelassen wird; dann durch den Werkstoff, der beim

IV. Vergüten von Stahl.

a) Begriff. Vergüten bedeutet eine Warmbehandlung von Stahl, vorzüglich von Baustahl, durch Abschrecken und Anlassen auf so hohe Temperatur, daß die Zähigkeit wesentlich gesteigert wird.

Durch Wahl der Anlaßtemperatur können Festigkeit, Zähigkeit und Härte, allerdings in bestimmter Abhängigkeit voneinander, in weiten Grenzen geändert werden.

Vergüten unterscheidet sich vom Härten einmal durch das Anlassen auf hohe Tempera-

Härten Stahl mit über 0,6 bis 0,7 vH Kohlenstoff ist, beim Vergüten Stahl mit meist weniger als 0,6 vH, so daß die Härte niemals sehr hoch wird. Eine scharfe Grenze zwischen Härten und Vergüten besteht jedoch nicht (Federstahl).

b) Werkstoffe. Gewöhnlicher weicher Flußstahl (Maschinenbaustahl) wird selten vergütet, da die Wirkung nur gering wäre. An Stelle des gewöhnlichen Maschinenbaustahls mit höherem Kohlenstoffgehalt wird besser ein besonderer Vergütungsstahl gewählt, wie er in DIN 1661 genormt ist. Am häufigsten werden legierte Stähle vergütet, vorwiegend die Stähle nach DIN 1662 und 1663, also Chrom-, Chrom-Nickel- und Chrom-Molybdän-Stähle.

Hier ist es wichtig, daß durch die Gehalte an diesen Elementen bei der Vergütung dickerer Stücke eine möglichst weitgehende Durchvergütung stattfindet. Bei den wasserhärtenden Kohlenstoffstählen nach DIN 1661 ist dieses nicht der Fall, wohl dagegen bei den Ölhärtern nach DIN 1662 und 1663. Dies um so mehr, je höher der Gehalt an den einzelnen Legierungselementen ist. Der Konstrukteur hat es damit weitgehend in der Hand, durch entsprechende Werkstoffauswahl die günstigste Form der Bauteile zu bestimmen.

Es wird das rohe, gewalzte oder geschmiedete Stahlstück vergütet oder das bereits vorgearbeitete.

c) Warmbehandlung. Das Stück wird gereinigt, auf 780 bis 850° erwärmt und in Wasser oder meistens in Öl abgeschreckt. Nachher wird es auf Temperaturen zwischen 300 und 700° angelassen.

Nach dem Anlassen wird an ruhiger Luft abgekühlt. Werden bis auf Schleißmaß vorgearbeitete Teile langsam abgekühlt, um Spannungsverzug nach Möglichkeit zu vermeiden, dann ist bei höher chromnickellegierten Stählen auf die diesen eigentümliche „Anlaßsprödigkeit“ Rücksicht zu nehmen. Sie hat eine wesentliche Verringerung der Kerbzähigkeit zur Folge, kann jedoch durch geeignete Legierungszusätze verhindert werden. Die Lieferfirma ist demnach auf so geplante Behandlungsarten bei Bestellung hinzuweisen.

Abb. H 6 zeigt die Wirkung des Glühens, Abschreckens und Anlassens auf einen Kohlenstoffstahl mit etwa 0,4 vH C (ähnlich dem genormten Stahl St C 45.61).

Abb. H 7 ist das Vergütungsschaubild des genormten Chrom-Nickel-Stahles VCN 35.

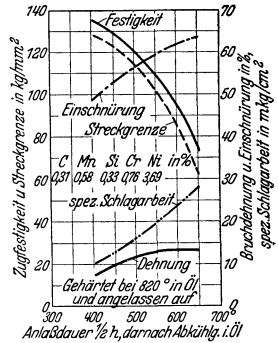


Abb. H 7. Vergütungsschaubild eines Chrom-Nickel-Stahls.

Schrifttum.

- Oberhoffer, P.: Das technische Eisen. Berlin: Julius Springer.
 Verein deutscher Eisenhüttenleute: Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen. Düsseldorf: Stahlisen.
 Rapatz, F.: Die Edelmstähle. Berlin: Julius Springer.
 Reiser-Rapatz: Das Härten des Stahles. Leipzig: Arthur Felix.
 Örtel-Grütznert: Die Schnelldrehstähle. Düsseldorf: Stahlisen.
 Simon, E.: Härten und Vergüten (H. 7 und 8 der Werkstattbücher). Berlin: Julius Springer.

Deutsche Hartmetalle.

A. Einleitung.

Schon Taylor hatte den großen Einfluß erkannt, den die schwer schmelzbaren Metallkarbide auf Härte, Warmhärte und Schneidhaltigkeit der Werkzeugstähle ausüben. Diese Erkenntnisse und deren Verwertung führten zur Entwicklung der hochwertigen Schnellstähle.

Eine weitere Entwicklung war die Herstellung von Legierungen aus nur hoch schmelzbaren Metallen bzw. Karbiden. Zuerst brachte Haynes (USA.) unter dem Namen „Stellit“ eine Chrom-Kobalt-Wolfram-Gußlegierung auf den Markt, und hierbei wurde zum ersten Male Eisen als Grundlage der Schneidlegierungen aufgegeben. Die Stellite hatten aber noch eine große Sprödigkeit, so daß sie nur bedingt verwandt werden konnten. Die Bedeutung der Schwermetallkarbide, insbesondere des Wolframkarbids und Molybdänkarbids, war aber erkannt, und auf dieser Grundlage wurde nun weiter gearbeitet. Hieraus ergab sich die Schaffung der Sinter-Hartmetalle. Die gegossenen Stellite sind seit Anfang 1939 als Schneidmetalle erneut wieder für Zerspanungswerkzeuge in Gebrauch gekommen.

B. Eigenschaften der deutschen Hartmetalle.

Die auf dem Markt befindlichen bekannten deutschen Hartmetalle werden auf metallkeramischem Wege, Sintern, gefertigt, indem aus Metallpulvern nach dem Pressen zu Formlingen durch Sinterung Metallkörper hergestellt werden. Die Zugabe von Hilfsmetallen, deren Schmelzpunkt wesentlich niedriger liegt als der von Wolframkarbid, spielt eine erhebliche Rolle.

Für die Bearbeitungstechnik liegt der Wert der Hartmetalle in der guten Warmhärte, die eine hohe Schnittgeschwindigkeit gestattet. Die Härte von Hartmetallen bleibt bis 900° C fast gleich, während die guten Schnellstähle bei etwa 600° C ihre Härte und Schneidfähigkeit verlieren. Für die verschiedenen Verwendungszwecke werden die Hartmetalle in verschiedenen Härtestufen geliefert wie Tafel 1 zeigt.

Die Hartmetalle werden in Form von kleinen Plättchen geliefert, die mit dem Grundwerkstoff des Werkzeuges durch Löten verbunden werden.

Form- oder Maßveränderungen an fertiggesinterten Hartmetallplättchen können nur durch Schleifen auf geeigneten Schleifscheiben vorgenommen werden; darum sollte man vor Aufgabe der Bestellung auf Hartmetallplättchen genauestens prüfen, ob Freiwinkel, Rundungen, Hohlkehlen usw. vorgesehen sind. Nachträgliches Anschleifen bedeutet Verschwendung an Hartmetall und Schleifscheiben, also einen beachtenswerten Verlust. Die Plättchen selbst können, da es sich um eine Einzelherstellung handelt, in jeder gewünschten Form bezogen werden. Eine Anlehnung an die Normalien der Hartmetalle herstellenden Firmen ist aber im Interesse der schnelleren Lieferung und einfacheren Lagerhaltung das Gegebene. Für Schneidmetalle gilt das Gesagte mit der Einschränkung, daß sich diese wesentlich leichter schleifen lassen und deswegen eine nachträgliche Formgebung einfacher ist.

Wichtig für die wirtschaftliche Ausnutzung der gesinterten Hartmetalle ist die Möglichkeit der Anwendung hoher Schnittgeschwindigkeiten bei üblichen Vorschüben und stoß- bzw. erschütterungsfreiem Lauf. Andernfalls wird der Verschleiß des Werkzeuges vorwiegend durch die geringe

Tafel 1. Verwendungsbereich der deutschen Hartmetalle.

AWF-Kennzeichen (Hartmetallgruppe) ab 1. 10. 39	Kennfarbe	Bisherige Bezeichnung					Anwendungsbereich der Hartmetalle
		Bohlerit	Mirament	Rheinit	Titanit	Widia	
F 1	grau	EEH	—	—	SU 25	S 246	Feinstdrehen und Feinstbohren von Stahl, also Arbeiten mit sehr kleinen Spanquerschnitten und Schnittkräften
S 1	schwarz	E	70	I	U	XX	Bearbeitung von Stahl und Stahlguß aller Art für hohe Schnittgeschwindigkeiten bei Vorschüben bis 1 mm/U für mittlere Schnittgeschwindigkeiten bei Vorschüben bis 2 mm/U, insbesondere bei Verwendung älterer Werkzeugmaschinen, sowie bei Arbeiten mit unterbrochenem Schnitt oder wechselnden Schnitttiefen. Die Schnittgeschwindigkeiten liegen etwa 40 vH tiefer als die für Gruppe S 1 für niedrige und mittlere Schnittgeschwindigkeiten bei Vorschüben bis 3 mm/U, insbesondere für Arbeiten mit stark wechselnden Schnitttiefen oder unterbrochenem Schnitt. Die Schnittgeschwindigkeiten liegen etwa 60 vH tiefer als die für Gruppe S 1
S 2	weiß	E 88	65	II	U 2	X 8	
S 3	rot	E 49	60	V	U 3	S 58	
G 1	blau	GS	75	III	G	N	Bearbeitung von Gußeisen unter 200 kg/mm ² Brinellhärte, Kupfer, Kupferlegierungen, Messing, Leichtmetallen, Kunst- und Preßstoffen und ähnlichen Werkstoffen; ferner zum Bestücken von Drehbankkornerspitzen, Meßlehren, Mikrostastwerkzeugen und Gleitflächen von Führungsschienen
G 2	braun	GB 12	55	—	—	G	Bearbeitung von Kunst- und Hartholz, Faserstoffen, verschiedenen Preßstoffen und für Schlagbohrwerkzeuge
G 3	blau mit schwarzem Streifen	—	—	—	GGG	NK	Bearbeitung von Elektrodenkohle
H 1	gelb	HG	80	IV	GG	H	Bearbeitung von Hartguß, Gußeisen über 200 kg/mm ² Brinellhärte, Gußeisen mit harten Stellen in der Randschicht, Temperguß, Glas, Porzellan, Gesteine, Hartpapier
H 2	gelb mit schwarzem Streifen	HHG	—	—	GGG spez.	H 167	Sonder-Hartguß (z. B. Ni-legierter Hartguß) über 100 Shoregrade

Siehe Zeitschrift „Werkstatt und Betrieb“ Carl Hanser Verlag, München 27. 1938, Heft 19/20, Werkstattblatt 64, und 1939, Heft 5/6 und 21/22, AWF-Blatt 118.

Zähigkeit des Hartmetalls beeinflußt. Dies führt zum Ausbröckeln bzw. Ausbrechen der Schneidkanten und damit zum vorzeitigen Versagen. Werden dagegen alle Einflüsse, die eine Belastung auf Zähigkeit zur Folge haben, nach Möglichkeit ausgeschieden, so ist die Lebensdauer und die Schneidleistung ein Vielfaches von Stahl gleichgültig welcher Zusammensetzung.

Auf Grund dieser Überlegungen bedarf es bei der Einführung von Hartmetall zunächst einer genauen Untersuchung des vorhandenen Werkzeugmaschinenparkes. Die Lagerungen der Arbeitsspindeln und die Führung der Werkzeugschlitten müssen in Ordnung sein. Getriebe und Spindellagerungen müssen für hohe Drehzahlen eingerichtet sein. Die Spannvorrichtungen müssen ein starres Einspannen der Werkstücke gestatten. An Drehbänken werden die Reitstöcke zweckmäßig mit Kugellagerspitzen ausgerüstet.

C. Werkzeugschäfte, Plättchen, Herstellung der Werkzeuge.

Da es keine Hartmetalle gibt, welche für die Bearbeitung aller Werkstoffe gleichmäßig gut wären, hat man verschiedene Sorten für verschiedene Werkstoffgruppen geschaffen, Tafel 1. Die geeigneten Hartmetallsorten werden zweckmäßig den Druckschriften und Handbüchern der Hartmetall herstellenden Firmen entnommen.

Bei Bemessung der Schaftquerschnitte ist eine Überbemessung am Platze, da der als Schaftwerkstoff zu verwendende Gußstahl nicht die Biegefestigkeit der Schnelldrehstähle hat, und da außerdem infolge der verlangten höheren Schneidleistungen größere Biegebeanspruchungen als bei Schnelldrehstählen auftreten. Zur Vermeidung von Kerbwirkungen ist es notwendig, am Übergang von zwei Lötflächen den Schaft mit einer Hohlkehle (nicht mit einer scharfen Kante) und die Hartmetallplättchen mit einer Rundung, deren Halbmesser etwas größer sein muß als der Halbmesser der Hohlkehle des betreffenden Werkzeugschaftes, zu versehen.

Das Auflöten der Plättchen erfolgt in einem Gasmuffelofen mit reduzierender Flamme, d. h. mit Gasüberschuß. Es kann aber auch bei elektrischer Erwärmung gelötet werden.

Den überstehenden Schaftwerkstoff (unterhalb des Hartmetallplättchens) schleift man mit einer groben Korundumscheibe, das Hartmetallplättchen selbst mit einer Sonderschleifscheibe aus Siliziumkarbid. Hierbei ist darauf zu achten, daß man, um unnötige Erwärmungen zu vermeiden, das Hartmetallplättchen mit einer Vorschleifscheibe (grobe Körnung) vor- und mit einer Fertigschleifscheibe (feinere Körnung) fertig schleift. Naßschliff ist vorzuziehen. Feinstdrehen und -bohren, überhaupt sauberste Oberflächenbeschaffenheit bedingt ein leichtes Nachschleifen (Fasenschliff) mit geeigneten Diamantschleifscheiben.

Die nebenstehende Winkelbezeichnung, Abb. DH 1, ist beim Ablesen der Schneidwinkel gemäß Tafel 2 zu verwenden¹⁾.

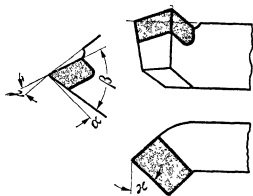


Abb. DH 1.

D. Drehen, Hobeln, Fräsen mit Hartmetallwerkzeugen.

Hartmetallwerkzeuge eignen sich zur Bearbeitung (Drehen, Fräsen, Bohren, Reiben, Schaben usw.) aller Werkstoffe, wie 12proz. Mangan-Hart-

¹⁾ AWF-Mitteilungen 1938, Heft 8. Werkstatt und Betrieb 1938, Heft 19/20, S. 256.

Tafel 2. Schnittwinkel an Hartmetall-Drehmeißel.

Zu bearbeitende Werkstoffe	Festigkeit in kg/qmm	Freiwinkel $\alpha \pm 1^\circ$	Keilwinkel β
Stahl	bis 60	5°	65°
Stahl	über 60—85	5°	70°
Stahl	„ 85—110	5°	75°
Stahl	„ 110—140	5°	80°
Stahl	„ 140—180	5°	84°
Stahl	„ 180—240	4°	90°
Nichtrostender Stahl	—	5°	75°
Hartstahl (12 vH Mn)	—	5°	80°
Stahlguß	50—70	5°	75°
Stahlguß	über 70—100	5°	80°
Stahl und Stahlguß mit schlagartig scharfen Unterbrechungen oder krustiger oder poröser Außenhaut	—	4°	90°
Gußeisen	bis 200 Brinell	4°	75°
Gußeisen	200—400 „	4°	75—80°
Hartguß	65—90 Shore	3°	82—86°
Silizium-Eisenguß (bis 16 vH Si)	—	3°	80—85°
Bronze, Messing u. ähnl.	—	6°	65—75°
Leichtmetalle	—	8°	50—55°

stahl, Eisen-Silizium-Guß, Kokillen-Hartguß, Stahlguß mit hohem Mangan-gehalt, überhaupt Stählen aller Art, Stahlguß, Gußeisen, Bronze, Leichtmetall, Kupfer, sämtlicher Isolierstoffe, Kohle, Gestein, Ziegel-Mauerwerk, Glas, Porzellan, Marmor, Hart- und Sperrholz, Preßpapier usw. Im allgemeinen wird die Mehrleistung durch Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit unter Beibehaltung der alten Spanquerschnitte erreicht. In Fällen, wo die Schnittgeschwindigkeit mit Rücksicht auf veraltete Maschinen usw. oder ungünstige Form der Werkstücke nicht erreicht werden kann, können selbst bei Verwendung großer Spanquerschnitte außerordentlich große Standzeiten erreicht werden, die die Anwendung der Hartmetallwerkzeuge ohne weiteres wirtschaftlich gestalten. Bei Mehrmeißelmaschinen, wo mit Rücksicht auf die zur Verfügung stehende Energie und auf die verschiedenen Durchmesser der Werkstücke eine Zusammenstellung von Meißeln für kleine und große Durchmesser vorgesehen werden muß, empfiehlt es sich, bei den kleinen Durchmessern Schnellstahlwerkzeuge und bei den größeren Durchmessern (also größere Schnittgeschwindigkeit) Hartmetallwerkzeuge anzuwenden.

Es würde zu weit führen, hier die Bearbeitung sämtlicher Werkstoffe bis ins kleinste zu besprechen. Aus den nachstehenden Zahlentafeln ist aber alles Wissenswerte zu entnehmen.

Bei Bearbeitung von Sonderwerkstoffen und Leichtmetallen, hochver-
güteten Chromnickelstählen empfiehlt es sich, die Sonderschriften bzw. Handbücher der Hartmetall erzeugenden Fabriken einzusehen.

Die bei einwandfreiem Arbeitsverfahren mit Hartmetallwerkzeugen auf geeigneten Maschinen zu erreichenden Vorteile:

Steigerung der Schnittgeschwindigkeit,

Steigerung der Standzeit (Ersparnis an Einrichterlöhnen),

große Zerspanungsmenge in der Zeiteinheit,

Zusammenlegung von Schrupp- und Schlichtschnitt,

feinste Bearbeitung besonders bei dünnwandigen Stücken,

also erhöhte Erzeugung und kürzere Lieferfristen, beweisen ohne weiteres die Wirtschaftlichkeit.

Tafel 3. Schnittgeschwindigkeiten v in m/min, Spantiefen a in mm, Vorschübe s in mm/U für das Bearbeiten verschiedener Werkstoffe.

Werkstoff und Festigkeit	Mögliche Schnittgeschwindigkeiten und Spanner-schnitte	Gute Durchschnittswerte für		Werkstoff und Festigkeit	Mögliche Schnittgeschwindigkeiten und Spanner-schnitte	Gute Durchschnittswerte für		
		Schruppen	Schlichten			Schruppen	Schlichten	
Stahl bis 60 kg/qmm	v	80-350	80-160	Aluminium	v	800-1300	etwa 1000	etwa 1200
	a	1-30	5-10		a	1-30	5-10	etwa 1
	s	0,2-2,5	etwa 1		s	0,2-4	etwa 1	etwa 0,2
Stahl, 60 bis 85 kg/qmm	v	70-200	70-140	Grauß bis 200 Brinell	v	50-120	75-100	80-120
	a	1-30	5-10		a	1-30	5-10	etwa 1
	s	0,2-2	etwa 1		s	0,2-4	etwa 1-2	etwa 0,2
Stahl, 85 bis 110 kg/qmm	v	60-150	60-100	Grauß von 200-400 Brinell	v	40-80	40-75	50-80
	a	1-30	5-10		a	1-25	5-10	etwa 1
	s	0,2-2	etwa 1		s	0,2-3	1-2	etwa 0,2
Stahl, 110 bis 140 kg/qmm	v	45-100	45-70	Bohren von karrarisch. Marmor	v		etwa 22	Beispiel: 12 mm Lochdmr. Lochtiefe 20 mm Bohrdauer \approx 8 sek
	a	1-25	5-10		s		möglichst von Hand	
	s	0,2-2	etwa 1					
Stahl, 140 bis 180 kg/qmm	v	20-60	20-40	Ural-Tuffstein	v	300-600	etwa 400	400-600
	a	0,5-10	5-10		a	1-30	etwa 10	etwa 1
	s	0,2-1	etwa 0,5		s	1-4	etwa 1	etwa 1
Nichtrostender Stahl	v	50-120	50-70	Glas	v	40-100	40-60	60-100
	a	1-20	4-8		a	0,2-3	1-3	0,1-0,2
	s	0,2-2	etwa 1		s	0,1-0,4	0,1-0,4	0,1-0,2
Hartstahl, 12 vH Mangan	v	10-35	10-20	Porzellan je nach Härte	v	6-30	6-20	10-30
	a	1-10	3-10		a	0,5-5	0,5-1	etwa 0,5
	s	0,2-1	0,3-0,5		s	etwa 0,5	etwa 0,5	etwa 0,2
Stahlguß, 50 bis 70 kg/qmm	v	60-150	60-100	Odenwälder Granit	v	6-10	etwa 6	etwa 10
	a	1-30	5-10		a	1-10	etwa 4	etwa 1
	s	0,2-2	etwa 1		s	1-4	etwa 2,5	etwa 1-2
Stahlguß, 70 bis 100 kg/qmm	v	30-80	30-60	Kollektoren-Kupfer	v	250-350	etwa 250	etwa 320
	a	1-30	5-10		a	0,2-10	etwa 5	etwa 0,2
	s	0,2-2	etwa 1		s	0,2-1	etwa 1	etwa 0,2
Kokillen-hartguß, 75-90 Shore	v	4-10	4-6	Hartgummi, Stabilit, Ebonit usw.	v	200-300	etwa 200	etwa 300
	a	1-6	3-6		a	0,5-30	1-6	0,5-1
	s	2-8	etwa 2-3		s	0,3-1	0,3-0,5	0,3-0,5
Riffeln von Kokillen-hartguß	v	5-8	5-8	Elektroden-Kohle	v	50-100	60-80	80-100
	a	ergibt sich bei radialer Meißel-zustellung von selbst.			a	1-30	5-10	etwa 1
	s	0,1-0,2	0,1-0,2		s	1-3	etwa 1	etwa 0,5
Bronze	v	250-500	etwa 300					
	a	0,5-30	5-10					
	s	0,2-2,5	etwa 1					

Empfehlenswert ist es, in allen Fällen von den Erfahrungen der Hartmetall erzeugenden Firmen regen Gebrauch zu machen.

Die allgemeinen Grundregeln für die Verwendung von Hartmetallwerkzeugen sind:

1. Sämtliche Hartmetallwerkzeuge sind möglichst fest und mit kurzer Ausladung einzuspannen, ganz gleich, ob es Schrupp-, Hobel- oder Riffelwerkzeuge sind oder Werkzeuge, die in Messerköpfe eingespannt werden.

2. Hartmetallwerkzeuge müssen an der vorderen Kante des Werkzeugschlittens gut aufliegen. (Auflagefläche des Werkzeugs plan schleifen.)

3. Umlaufende Werkzeuge, wie Messerköpfe, Fräser usw., müssen unter allen Umständen schlagfrei laufen. Andernfalls können Beschädigungen der Meißelschneide eintreten.

4. Der Hauptantrieb der Maschine darf bei voller Schnitt- oder Vorschubbelastung nicht eher angehalten werden, bevor der Vorschub ausgeschaltet ist. Bei plötzlichem Stillsetzen der Maschine ohne vorherige Auslösung des Vorschubs, besonders bei größerem Spanquerschnitt, wird aus der Druckbeanspruchung eine Zugbeanspruchung, die zu einer Beschädigung der Schneide führen kann.

5. Sollte die Maschine einmal im Schnitt stehenbleiben, so löse man die Klemmschrauben der Meißelhalterbrücke und ziehe den Stahl vorsichtig aus dem Schnitt heraus.

Jede Hartmetallmarke ist ebensogut für Schrupp-, als auch für Schlichtschnitte geeignet, vorausgesetzt, daß die für den jeweils zu bearbeitenden Werkstoff bestimmte Hartmetallmarke gewählt wird.

Bei Aufteilung der Spanquerschnitte sollte man nach Möglichkeit nach Abb. DH 2 verfahren.

Beim Drehen langer oder dünner Wellen verwendet man möglichst Werkzeuge, bei denen außer dem senkrechten Schnittdruck nur Axialdrücke auftreten, Abb. DH 3, mit einem Anstellwinkel von 90° .

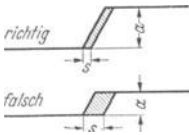


Abb. DH 2. Spanquerschnitte.

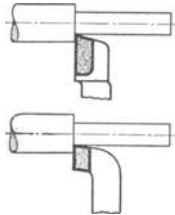


Abb. DH 3. Drehen dünner Wellen.

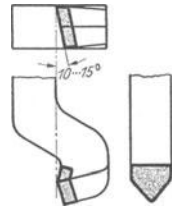


Abb. DH 4. Dreh- und Hobelmeißel für schwere Schnitte.

Vor Verwendung von Fräs Werkzeugen oder Messerköpfen fordere man die einschlägigen Druckschriften der Hartmetall erzeugenden Fabriken an.

Beim Abnehmen schwerer Späne sowie beim Hobeln verwende man Werkzeuge, bei denen der Neigungswinkel (bei positivem Spanwinkel) 8 bis 20° beträgt, Abb. DH 4.

E. Bohren mit Hartmetallwerkzeugen.

In vollen Werkstoff zu bohren wird allgemein nur dann empfohlen, wenn Werkzeuge aus Schnellstahl versagen, d. h. bei Hartguß, Mangan-Hartstahl, gehärtetem Stahl oder ähnlichem Werkstoff; oder aber bei Langlöchern, bei denen die Schneidhaltigkeit der Schnellschnittstähle nicht ausreicht, um die lange Bohrung ohne Meißelwechsel zu bearbeiten.

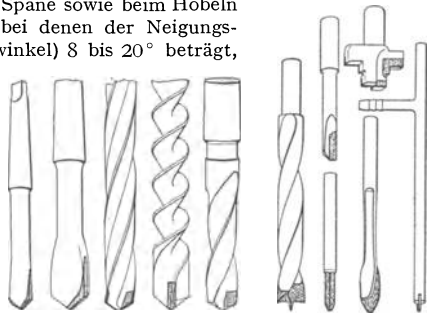


Abb. DH 5 und 6. Hartmetall-Bohrer.

Daß man Marmor, Kunst- und Isolierstoffe aller Art, wie auch Hartgummi, Bakelit, Novotext, Pertinax usw. mit Hartmetallwerkzeugen besonders wirtschaftlich bearbeitet, ist bekannt. Die Mehrleistung gegenüber den besten bisher vorhandenen Bohrern beträgt bei Bearbeitung dieser Werkstoffe etwa das Fünzigfache. Die Bohrstangen bei Langlöchern sollte man kräftig und verdrehungsfrei ausführen. Man wähle darum eine größere Schnittgeschwindigkeit und geringere Spantiefen bzw. Spanquerschnitte. Die reichliche Verwendung von Kühlwasser bzw. Druckspülung ist besonders beim Langlochbohren zu empfehlen. Die Hartmetallbohrer, Abb. DH 5 und 6 sind bei den Hartmetallfabriken und teilweise auch im freien Handel zu haben.

F. Reiben mit Hartmetallwerkzeugen.

I. Regeln.

Beim Reiben mit Hartmetallwerkzeugen ist zu beachten:

a) Gleiche Lippenzahl, aber **ungleiche Teilung**; wobei zu beachten ist, daß einmal zwei Lippen radial gegenüberliegen müssen, damit der Durchmesser gemessen werden kann.

b) Rundscheifen der Reibahle muß mit schrägem Stirnschliff, also nicht mit dem Umfang der Schleifscheibe vorgenommen werden. Wenn mit dem Umfang der Schleifscheibe geschliffen wird, federt die Scheibe in den leeren Raum zwischen zwei Schneidlippen hinein und wird erst von der nächsten Lippenkante wieder in ihre alte Lage zurückgedrängt. Diese Fase an der nächsten Lippenkante wird daher nicht genau zylindrisch, sondern weicht mit der Schneide etwas nach innen ab.

c) Es muß darauf geachtet werden, daß **Handreibahlen**

1. lange Schneidplättchen haben, damit sie besser führen,
2. der Schaft kurz und
3. der Anschnitt kegelig ist.

Die kegelige Länge des Anschnitts beträgt einheitlich ein Viertel des Reibahldurchmessers.

Bei Sacklöchern läßt sich dies natürlich nicht durchführen; hier kann nur ein kurzer Anschnitt helfen.

Rechts schneidende Reibahlen müssen mit einem geringen Linksdrall versehen sein, da sonst die Löcher unrund werden.

d) Die **Maschinen-Reibahlen** können kürzere Schneiden und einen runden Anschnitt erhalten, der allerdings nur auf Sondereinrichtungen genau formgerecht nachschärfbar ist. Besser ist ein etwa 40° zur Achse geneigter Anschnitt, der den gleichen Zweck erfüllt.

e) Das **Hinterscheifen** muß ähnlich wie auf Wetzmaschinen vorgenommen werden, wobei streng darauf zu achten ist, daß die Fase des Rundscheifens erhalten bleibt.

f) Beim Aufreiben von Löchern, die durch Querlöcher oder Längs- und Quernuten behindert werden, müssen **spiralverzahnte** Reibahlen verwandt werden. Die Reibahlen-Wetzgeräte lassen ein einwandfreies Wetzen auch spiralverzahnter Reibahlen zu.

g) Zugabe zum Fertigreiben. Die Erfahrung zeigte, daß beim Aufreiben kurzspanender Werkstoffe die Zugabe im Durchmesser etwa $\frac{4}{1000}$, bei langspanenden Werkstoffen etwa $\frac{8}{1000}$ des Lochdurchmessers sein soll.

II. Spülen.

Beim Reiben von Silumin hat sich eine Mischung von 70 vH Benzol und 30 vH Automatenöl (noch besser Paraffinöl) als richtig bewährt.

Beim Reiben von Stahl hat sich Eumeta (natürlich entsprechend verdünnt) als vorzüglich erwiesen.

Der Spüldruck bzw. Durchfluß muß ziemlich stark sein; bei Sacklöchern noch stärker als bei durchgehenden Löchern, damit die feinen Spänchen an der Einführungsöffnung herausquellen.

III. Arbeitsgeschwindigkeiten.

Die Schnittgeschwindigkeit und der Vorschub betragen beim Reiben von

Stahl, Stahlguß	$v =$ etwa	5— 8 m/min	$s = 0,4$ mm/U
Gußeisen, Bronze, Rotguß usw. ...	$v =$ „	12—15 m/min	$s = 0,6$ mm/U
Alusil, Silumin	$v =$ „	30—35 m/min	$s = 0,15$ mm/U
Elektron	$v =$ „	70 m/min	$s = 0,5$ mm/U

Der Vorschub soll bei Verwendung von Hartmetall-Reibahlen im allgemeinen mehr als doppelt so groß gewählt werden, als dies bei Verwendung von Schnellstahl-Reibahlen der Fall ist, da das Werkzeug besser schneidet und auf jeden Fall Späne entstehen müssen.

G. Die häufigsten Störungen beim Arbeiten mit Hartmetallwerkzeugen und ihre Ursachen.

I. Vor Ingebrauchnahme des Werkzeugs.

Risse im Hartmetallplättchen.

1. Ungeeigneter Schaftwerkstoff, in der Festigkeit zu gering, oder zu geringe Schaftunterlage.
2. Bei titanhaltigen Hartmetallplättchen keine Lötfolie verwandt. (Lötfolie besonders zu empfehlen, da titanhaltige Hartmetallplättchen Neigung zur Ribildung zeigen.)
3. Ungeeignete Lötmitel verwandt.
4. Nicht in Elektrodenkohle abgekühlt.
5. Bei Trockenschliff durch zu hohen Schleifdruck überhitzt.
6. Unzureichende Kühlung während des Naßschleifens.
7. Erwärmen bei Trockenschliff mit nachherigem Abschrecken in kaltem Wasser.
8. Wechselnde Kühlung beim Schleifen.
9. Beim Arbeiten erwärmte Werkzeuge unter Verwendung von kaltem Wasser geschliffen, bevor sie abgekühlt waren.
10. Ungeeignete oder zu harte Schleifscheiben verwandt.

II. Während der Arbeit.

Zerstörung der Schneide.

1. Schlecht nachgeschliffen. Schleifscheibe zu grob, schartige Schneide.
2. Meißel zu weit ausladend eingespannt.
3. Schaftquerschnitt des Meißels zu schwach für die verlangten Spanquerschnitte, oder Plättchenstärke zu gering.
4. Bei Schnittunterbrechungen kein Neigungswinkel, oder Neigungswinkel zu gering.
5. Maschine im Schnitt stillgesetzt, ohne Vorschub auszuschalten.
6. Mit stumpfgewordener Schneide weitergearbeitet.
7. Ungeeignete Werkzeugform.
8. Rattern beim Drehen dünner Wellen.
9. Zu geringe Schnittgeschwindigkeit.
10. Falsche Schnittwinkel.

Härteprüfung.

Den Techniker interessiert weniger der umstrittene physikalische Begriff der absoluten Härte als die technische Härte, die teilweise mit der Bearbeitbarkeit und Abnutzung zusammenhängt.

A. Begriff der technischen Härte.

In der Technik wird unter der Härte der Widerstand verstanden, den ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegensetzt. Die Härtezahle ist keine eindeutig bestimmte Größe, sondern hängt von dem Verfahren der Prüfung ab. Mit Hilfe von Umrechnungskurven bzw. Erfahrungszahlen lassen sich, meistens jedoch nur angenähert, die der Härtezahle eines Verfahrens entsprechenden Härtezahlen anderer Verfahren ermitteln. Für Stahl ist auch die Bestimmung der Zugfestigkeit aus der Brinellhärte möglich.

B. Die wichtigsten Verfahren der technischen Härteprüfung.

I. Der Probekörper wirkt bei ruhender Prüflast (statische Prüfung).

a) Der Probekörper wird in den zu prüfenden eingedrückt, und zwar eine Stahlkugel bei dem Verfahren von Brinell, eine Stahlkugel bzw. ein Diamantkegel bei dem Verfahren von Rockwell und eine Diamantpyramide beim Verfahren von Vickers.

Als Härtemaß dient der Durchmesser der erzeugten Kugelkalotte (Brinell), die Eindringtiefe (Rockwell) oder die Länge der Eindrucksdiagonalen (Vickers) bei gleichbleibender Prüflast.

b) Der Probekörper wird unter Einwirkung der Prüflast über den zu prüfenden hingeführt, Ritzhärteprüfung nach Martens.

Als Härtemaß dient:

1. die Ritzbreite bei bestimmter Prüflast,
2. die Prüflast für einen Ritz bestimmter Breite,
3. die Prüflast für eine bestimmte Fläche (P/F).

II. Der Probekörper wirkt durch Schlag oder Stoß (dynamische Prüfung).

a) Ein Stempel wird in das zu prüfende Material eingeschlagen.

Als Härtemaß dient:

1. der Durchmesser der Kugelkalotte oder die Eindringtiefe bei gleicher Schlagleistung (Kugelschlaghammer),

2. die Schlagleistung für eine bestimmte Eindringtiefe.

b) Ein Körper wird aus bestimmter Höhe, also mit bestimmter Geschwindigkeit auf den zu prüfenden Körper fallen gelassen, Kugelfallprobe.

Als Härtemaß dient:

1. der Durchmesser der Kugelkalotte oder die Eindringtiefe bei gleicher Schlagleistung (gleiche Fallhöhe und gleiches Fallgewicht),

2. die Rücksprunghöhe bei gleicher Schlagleistung (Rückprallhärte nach Shore).

Nicht in diese Gruppen einreihbar ist der Pendelhärteprüfer von Herbert, der durch Druck und Abwälzen einer kleinen Kugel wirkt, wobei der Ausschlag des Pendels oder seine Schwingungszeit als Härtemaß dient, ferner das Anfeilverfahren (Dr. Buxbaum, Steinrück), wobei durch den Vergleich des Widerstandsgefühls beim Anfeilen des zu prüfenden Werkstückes und Prüfstücken bekannter Härte auf die Härte des

ersteren geschlossen werden kann. Das Verfahren gibt Anhaltspunkte insbesondere für den Bearbeitungs- und Verschleißwiderstand. Die Prüfung auf Grund der Härteskala von Mohs, die so abgestuft ist, daß der Stoff mit höherer Härte den vorausgehenden mit niedriger gerade noch ritzt, hat heute nur noch theoretischen Wert. Die Skala ist 1. Talk, 2. Gips, 3. Kalkspat, 4. Flußspat, 5. Apatit, 6. Feldspat, 7. Quarz, 8. Topas, 9. Korund, 9½ Karborund, 10. Diamant. Feinere Härteunterschiede, wie sie die Technik braucht, lassen sich damit nicht feststellen.

C. Die wichtigsten Härteprüfverfahren.

I. Kugeldruckhärteprüfung nach Brinell (vgl. DIN 1605).

Begriff: Die gehärtete Stahlkugel vom Durchmesser D (Abb. 1) wird durch eine so große Belastung in das zu prüfende Werkstück eingedrückt, daß die Elastizitätsgrenze überschritten wird und so der bleibende Eindruck eines Kugelabschnittes (Kalotte) entsteht.

Bezeichnet F die Oberfläche der Kalotte, so ist die Härtezahl $H = P/F$ Brinell-Einheiten (BE). F kann aus der zu messenden Tiefe h oder dem zu messenden Durchmesser d der Kalotte berechnet werden (S. 48). Es ist

$$F = \pi D \cdot h = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}),$$

daraus

$$H = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kg/mm}^2.$$

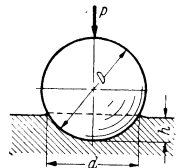


Abb. 1.

Statt F wird auch die Projektion der Kalotte

$$F_1 = \frac{d^2 \pi}{4} \text{ zur Bestimmung der Härte benutzt (S. 260 u. 261).}$$

Ausführung: Der Versuch ist an einer blanken ebenen Fläche auszuführen. Die Belastung ist stoßfrei während 15 Sekunden gleichmäßig zu steigern und in der Regel 30 Sekunden auf ihrem Endwert zu belassen. Für Stahl von $H \geq 140 \text{ kg/mm}^2$ genügen 10 Sekunden. Der Eindruckdurchmesser d ist bis auf Hundertstelmillimeter anzugeben. Maßgebend ist der Mittelwert aus mindestens zwei Eindrücken.

H ist von der Größe von P und D nicht ganz unabhängig. Bei gleicher Belastung wird nämlich die Härtezahl kleiner, je größer der Kugeldurchmesser ist; bei gleichem Kugeldurchmesser wird sie größer, je größer die Belastung ist. Deshalb dürfen Versuche mit verschiedenen Kugeldurchmessern nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden, und um Fehler zu vermeiden, muß mit bestimmten Prüflasten und Kugeldurchmessern gearbeitet werden, die durch DIN 1605 wie folgt festgelegt sind:

Dicke der Probe a mm	Kugeldurchmesser D mm	Belastung P in kg		
		$30 \cdot D^2$ für Gußeisen und Stahl	$10 \cdot D^2$ für hartes Kupfer, Messing, Bronze u. a.	$2,5 \cdot D^2$ für weichere Metalle
über 6	10	3000	1000	250
von 6·bis 3	5	750	250	62,5
unter 3	2,5	187,5	62,5	15,6

Zur Kennzeichnung der angewendeten Versuchsbedingungen dient die Schreibweise z. B. bei $D = 5$ mm, $P = 250$ kg und 30 Sekunden Belastungsdauer $H\ 5/250/30$. Für $H\ 10/3000/30$ (Regelversuch) wird das Kurzzeichen H_n benutzt.

Die Zahlentafel auf Seite 260 und 261 gibt die Werte von H an in Abhängigkeit vom Kalottendurchmesser und der Belastung P für die Kugeldurchmesser 2,5, 5 und 10 mm.

Die Mittelwerte der an einem Prüfstück unter verschiedenen Versuchsbedingungen gewonnenen Härtezahlen stimmen nicht unbedingt überein. Für Gußeisen konnte festgestellt werden, daß im Bereich von etwa 100 bis 250 BE folgende Beziehung besteht:

$$H\ 5/750/30 = 1,12 \cdot H\ 10/3000/30 - 36,5.$$

Bei Härten über 300 bis 400 BE sollten wegen der sonst eintretenden Kugelverformung nur Hartmetallkugeln verwandt oder aber die Härteprüfung nach Vickers (s. Abs. III) vorgenommen werden.

Ablesung. Der Durchmesser des Eindrucks am Werkstück muß mit besonderen Hilfsmitteln ausgemessen werden. Es werden benutzt: Maßstäbe mit schräg gestellten Geraden für unmittelbare Ablesung (nicht sehr genau), Lupen mit Ablesevorrichtung und Mikroskope mit Ablesevorrichtung. Die Tiefe der Kalotte statt der Durchmesser auszumessen, empfiehlt sich nicht.

Brinellhärte und Festigkeit. Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei Stahl ein enger Zusammenhang zwischen der Brinellhärte und der Festigkeit besteht. Da nun die Brinellhärte leichter und ohne wesentliche Zerstörung des Stoffes zu ermitteln ist, so wird sie häufig als Ersatz für die Festigkeit bestimmt.

Die Zugfestigkeit σ_B kann aus der Brinellhärte H aus folgender Gleichung näherungsweise berechnet werden:

für Kohlenstoffstahl ($\sigma_B = 30$ bis 100 kg/mm²) $\sigma_B = 0,36 H_B$ (10/3000/30),

für Chromnickelstahl ($\sigma_B = 65$ bis 100 kg/mm²) $\sigma_B = 0,34 H_B$ (10/3000/30).

II. Vorlasthärteprüfung nach Rockwell (vgl. DVM A 103 Vornorm).

Weiche Werkstoffe werden mit einer Stahlkugel von 2,5 mm Durchmesser, harte mit einem Diamantkegel mit Spitzenwinkel von 120° geprüft. Die Prüfung erfolgt unter Vorlast von 10 kg. Die Prüflast beträgt bei Anwendung der Kugel in der Regel 187,5 kg, bei weicheren entsprechend den Laststufen der Brinellprüfung 62,5, 31,25, 15,625 kg, bei Anwendung des Diamantkegels 150 kg und muß in etwa 10 Sekunden gleichmäßig aufgebracht werden. Die Härte eines Werkstoffes wird als Unterschied der Eindringtiefe zwischen Vorlast und Hauptlast ermittelt, die mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \mu$ abgelesen werden kann. Die Härteprüfung nach Rockwell hinterläßt geringere Prüfspuren als die nach Brinell und ist wesentlich schneller zu erledigen als die Härteprüfung nach Brinell.

III. Härteprüfung nach Vickers (vgl. DIN Vornorm DVM A 133).

Für alle Werkstoffe, gleichgültig welcher Härte, dient als Prüfkörper eine Diamantpyramide von 136° Öffnungswinkel, die mit 1 bis 120 kg Belastung in den Werkstoff hineingedrückt wird (Regelbelastung 30 kg; bei

dünnen Schichten und Gefügebestandteilen Belastung 0 bis 200 g). Die Pyramidenhärte H_P ist das Verhältnis der Prüflast P zur Eindruckoberfläche O ; diese ist zu bestimmen durch das Ausmessen beider Diagonalen (E_1 und E_2) des Eindrucks, der die Seitenlänge a hat (s. S. 258 u. 259).

$$H_P = \frac{P}{O}$$

$$O = \frac{a^2}{\sin 68^\circ} = \frac{1}{\sin 68^\circ} \left(\frac{E_1 + E_2}{2 \cdot \sqrt{2}} \right)^2 = \frac{E^2}{1,8544}.$$

$$H_P = \frac{P}{E^2} \cdot 1,8544 \text{ kg/mm}^2.$$

Die Pyramidenhärte stimmt mit den Brinellhärtezahlen bis zu $H_n = 250$ BEgenau überein.

Die Härteprüfung nach Vickers gestattet mit zunehmender Oberflächen-güte ein Heruntergehen auf sehr geringe Belastungen, so daß die Verletzung der Oberfläche auf das äußerste beschränkt und mit geeigneten Geräten die Härte von sehr dünnen Schichten und Gefügebestandteilen geprüft werden kann.

IV. Rückprallhärteprüfung (Skleroskophärte).

Die Härteprüfer nach dem Rückprallverfahren sind einfache und handliche Geräte. Bei der Bauart Reindl & Nieberding fällt ein Stahlhämmerchen mit Diamantspitze innerhalb einer Führung aus immer gleicher Höhe herab; in der höchsten Rücksprungstellung wird der Hammer festgehalten und die erreichte Höhe an einer Skale abgelesen. Der Rückprallhärteprüfer nach Leesen, Durosokop, hat einen Pendelhammer, der beim Rückprall einen Schleppzeiger zum Anzeigen der Höhe mitnimmt.

Das Verfahren stellt keine reine Elastizitätsprüfung dar. Die Höhe des Rückpralls wird durch die vom Fallkörper geleistete Verdrängungsarbeit in der Weise beeinflußt, daß mit wachsender Größe der Verdrängung sich die Höhe des Rückpralls verringert. Die Rückprallhärte-Prüfung zeichnet sich durch Einfachheit in der Bedienung aus. Sie ist insbesondere für die Prüfung gehärteter Werkzeuge und fertiger Teile aller Art, die nicht beschädigt werden dürfen, geeignet. Für die Prüfung sehr weicher Metalle ist statt des Diamanthammers ein Hartmetallhammer mit vergrößerter Aufschlagfläche einzusetzen. Bei der Prüfung leichter Teile ist ein festes Aufliegen auf einer genügend schweren Unterlage sehr wichtig, um fehlerfrei prüfen zu können.

V. Schlaghärteprüfung.

Die Geräte für die Schlaghärteprüfung ergeben zwar nicht so genaue Werte, wie man sie bei der Brinell-, Vickers- oder Rockwellprüfung erhält, sind jedoch für die Verwendung im Betrieb recht geeignet. Bei den Schlaghärteprüfern von Baumann-Steinrück und Werner erzeugt eine mit Federkraft in das Prüfstück geschlagene Kugel einen Eindruck; nach Ausmessen des Eindruckdurchmessers erhält man aus einer dem Gerät beigegebenen Eichkurve die Brinellhärte.

Tafel 1. Vickers-Härtezahlen für P = 10 kg.

Diagonale mm	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,10	1854	1818	1782	1748	1715	1682	1650	1620	1590	1561
0,11	1533	1505	1478	1452	1427	1402	1378	1355	1332	1310
0,12	1288	1267	1246	1226	1206	1187	1168	1150	1132	1114
0,13	1097	1081	1064	1048	1033	1018	1003	988	974	960
0,14	946	933	920	907	894	882	870	858	847	835
0,15	824	813	803	792	782	772	762	752	743	734
0,16	724	715	707	698	690	681	673	665	657	649
0,17	642	634	627	620	613	606	599	592	585	579
0,18	572	566	560	554	548	542	536	530	525	519
0,19	514	508	503	498	493	488	483	478	473	468
0,20	464	459	455	450	446	441	437	433	429	425
0,21	421	417	413	409	405	401	398	394	390	387
0,22	383	380	376	373	370	366	363	360	357	354
0,23	351	348	345	342	339	336	333	330	327	325
0,24	322	319	317	314	312	309	306	304	302	299
0,25	297	294	292	290	287	285	283	281	279	276
0,26	274	272	270	268	266	264	262	260	258	256
0,27	254	253	251	249	247	245	243	242	240	238
0,28	237	235	233	232	230	228	227	225	224	222
0,29	221	219	218	216	215	213	212	210	209	207
0,30	206	205	203	202	201	199	198	197	196	194
0,31	193	192	191	189	188	187	186	185	183	182
0,32	181	180	179	178	177	176	175	173	172	171
0,33	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161
0,34	160	160	159	158	157	156	155	154	153	152
0,35	151	151	150	149	148	147	146	146	145	144
0,36	143	142	142	141	140	139	138	138	137	136
0,37	136	135	134	133	133	132	131	131	130	129
0,38	128	128	127	126	126	125	125	124	123	123
0,39	122	121	121	120	120	119	118	118	117	117
0,40	116	115	115	114	114	113	113	112	111	111
0,41	110	110	109	109	108	108	107	107	106	106
0,42	105	105	104	104	103	103	102	102	101	101
0,43	100	99,8	99,4	98,9	98,5	98,0	97,5	97,1	96,7	96,2
0,44	95,8	95,3	94,9	94,5	94,1	93,6	93,2	92,8	92,4	92,0
0,45	91,6	91,2	90,8	90,4	90,0	89,6	89,2	88,8	88,4	88,0
0,46	87,6	87,3	86,9	86,5	86,1	85,8	85,4	85,0	84,7	84,3
0,47	83,9	83,6	83,2	82,9	82,5	82,2	81,8	81,5	81,2	80,8
0,48	80,5	80,2	79,8	79,5	79,2	78,8	78,5	78,2	77,9	77,5
0,49	77,2	76,9	76,6	76,3	76,0	75,7	75,4	75,1	74,8	74,5
0,50	74,2	73,9	73,6	73,3	73,0	72,7	72,4	72,1	71,9	71,6
0,51	71,3	71,0	70,7	70,5	70,2	69,9	69,6	69,4	69,1	68,8
0,52	68,6	68,3	68,1	67,8	67,5	67,3	67,0	66,8	66,5	66,3
0,53	66,0	65,8	65,5	65,3	65,0	64,8	64,5	64,3	64,1	63,8
0,54	63,6	63,4	63,1	62,9	62,7	62,4	62,2	62,0	61,7	61,5
0,55	61,3	61,1	60,9	60,6	60,4	60,2	60,0	59,8	59,6	59,3
0,56	59,1	58,9	58,7	58,5	58,3	58,1	57,9	57,7	57,5	57,3
0,57	57,1	56,9	56,7	56,5	56,3	56,1	55,9	55,7	55,5	55,3
0,58	55,1	54,9	54,7	54,6	54,4	54,2	54,0	53,8	53,6	53,5
0,59	53,3	53,1	52,9	52,7	52,6	52,4	52,2	52,0	51,9	51,7
0,60	51,5	51,3	51,2	51,0	50,8	50,7	50,5	50,3	50,2	50,0
0,61	49,8	49,7	49,5	49,3	49,2	49,0	48,9	48,7	48,6	48,4
0,62	48,2	48,1	47,9	47,8	47,6	47,5	47,3	47,2	47,0	46,9
0,63	46,7	46,6	46,4	46,3	46,1	46,0	45,8	45,7	45,6	45,4
0,64	45,3	45,1	45,0	44,9	44,7	44,6	44,4	44,3	44,2	44,0

Tafel 1. Vickers-Härtezahlen für P = 10 kg (Fortsetzung).

Diagonale mm	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,65	43,9	43,8	43,6	43,5	43,4	43,2	43,1	43,0	42,8	42,7
0,66	42,6	42,4	42,3	42,2	42,1	41,9	41,8	41,7	41,6	41,4
0,67	41,3	41,2	41,1	40,9	40,8	40,7	40,6	40,5	40,3	40,2
0,68	40,1	40,0	39,9	39,8	39,6	39,5	39,4	39,3	39,2	39,1
0,69	38,9	38,8	38,7	38,6	38,5	38,4	38,3	38,2	38,1	38,0
0,70	37,8	37,7	37,6	37,5	37,4	37,3	37,2	37,1	37,0	36,9
0,71	36,8	36,7	36,6	36,5	36,4	36,3	36,2	36,1	36,0	35,9
0,72	35,8	35,7	35,6	35,5	35,4	35,3	35,2	35,1	35,0	34,9
0,73	34,8	34,7	34,6	34,5	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0
0,74	33,9	33,8	33,7	33,6	33,5	33,4	33,3	33,2	33,1	33,1
0,75	33,0	32,9	32,8	32,7	32,6	32,5	32,4	32,4	32,3	32,2
0,76	32,1	32,0	31,9	31,9	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,4
0,77	31,3	31,2	31,1	31,0	31,0	30,9	30,8	30,7	30,6	30,6
0,78	30,5	30,4	30,3	30,2	30,2	30,1	30,0	29,9	29,9	29,8
0,79	29,7	29,6	29,6	29,5	29,4	29,3	29,3	29,2	29,1	29,0
0,80	29,0	28,9	28,8	28,8	28,7	28,6	28,5	28,5	28,4	28,3
0,81	28,3	28,2	28,1	28,1	28,0	27,9	27,8	27,8	27,7	27,6
0,82	27,6	27,5	27,4	27,4	27,3	27,2	27,2	27,1	27,0	27,0
0,83	26,9	26,9	26,8	26,7	26,7	26,6	26,5	26,5	26,4	26,3
0,84	26,3	26,2	26,2	26,1	26,0	26,0	25,9	25,8	25,8	25,7
0,85	25,7	25,6	25,5	25,5	25,4	25,4	25,3	25,2	25,2	25,1
0,86	25,1	25,0	25,0	24,9	24,8	24,8	24,7	24,7	24,6	24,6
0,87	24,5	24,4	24,4	24,3	24,3	24,2	24,2	24,1	24,1	24,0
0,88	23,9	23,9	23,8	23,8	23,7	23,7	23,6	23,6	23,5	23,5
0,89	23,4	23,4	23,3	23,3	23,2	23,1	23,1	23,0	23,0	22,9
0,90	22,9	22,8	22,8	22,7	22,7	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4
0,91	22,4	22,3	22,3	22,2	22,2	22,1	22,1	22,1	22,0	22,0
0,92	21,9	21,9	21,8	21,8	21,7	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5
0,93	21,4	21,4	21,3	21,3	21,3	21,2	21,2	21,1	21,1	21,0
0,94	21,0	20,9	20,9	20,9	20,8	20,8	20,7	20,7	20,6	20,6
0,95	20,5	20,5	20,5	20,4	20,4	20,3	20,3	20,2	20,2	20,2
0,96	20,1	20,1	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9	19,8	19,8	19,7
0,97	19,7	19,7	19,6	19,6	19,5	19,5	19,5	19,4	19,4	19,3
0,98	19,3	19,3	19,2	19,2	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,0
0,99	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,7	18,7	18,7	18,6	18,6

Beim Brinellmeter und dem Poldi-Hammer wird mit einem Handhammer auf einen Schlagbolzen geschlagen, so daß durch eine Kugel gleichzeitig in einem Vergleichsstück und im Prüfstück ein Eindruck erzeugt wird. Die Härte des Prüfstückes wird in Abhängigkeit von der Härte des Vergleichsstückes und den entstandenen Eindruckdurchmessern aus einer Zahlentafel entnommen.

VI. Fallhärteprüfung.

Die Härte ergibt sich aus dem Durchmesser eines Eindrucks, der durch eine an einem frei fallenden Körper sitzende Kugel (Wüst-Bardenheuer) oder durch eine auf dem Prüfstück liegende Kugel, auf die ein Hammer niederfällt (M. v. Schwarz), hervorgerufen wird. Die Geräte sind für die Werkstatt geeignet und geben bei ebener und waagerechter Prüffläche genügend genaue Ergebnisse.

Tafel 2. Ermittlung der Brinellhärte und für Stahl geltende Beziehungen von H_n (mit Stahlkugel bestimmt) zu anderen Härtezahlen und zur Zugfestigkeit¹.

Eindruckdurchmesser in mm für Kugel- durchmesser $D = \text{mm}$			Brinellhärte für Belastung $P = \text{kg}$			Pyra- miden- härte H_P	Rockwell		Rück- prall- härte	Zug- festig- keit σ_B
							B	C		
2,5	5	10	15,6 62,5 250	62,5 250 1000	187,5 750 3000	100 kg Prüflast $\frac{1}{16}''$ Kugel	150 kg Prüflast Dia- mant- kegel			
0,50	1,00	2,00	79	315	946					
		2,05	75	300	899					
		2,10	72	286	856					
0,50	1,05	2,15	68	273	818					
		2,20	65	260	780	1175		70	106	
0,55	1,10	2,25	62	248	745	1085		68	100	
		2,30	59	238	712	1000		66	95	
		2,35	57	228	682	930		64	91	
0,60	1,20	2,40	54	218	653	845		62	87	
		2,45	52	209	627	790		60	84	
		2,50	50	201	601	735		58	81	
0,60	1,25	2,55	48	193	578	692		57	78	
		2,60	46	185	555	645		55	75	
		2,65	44	178	534	608		53	72	
0,65	1,30	2,70	43	171	514	575		52	70	
		2,75	41	165	495	546		50	67	
		2,80	40	159	477	520		49	65	
0,70	1,40	2,85	39	154	461	496		47	63	
		2,90	37	148	444	473		46	61	
		2,95	36	143	429	454		45	59	
0,75	1,50	3,00	35	139	415	437	115	44	57	
		3,05	34	134	401	420	114	42	55	
		3,10	32	129	388	404	114	41	54	
0,75	1,55	3,15	31	125	375	389	113	40	52	
		3,20	30	121	363	375	113	38	51	
		3,25	29	117	352	363	112	37	49	
0,80	1,60	3,30	28	114	341	350	111	36	48	
		3,35	27,5	110	330	339	111	35	46	
		3,40	26,8	107	321	327	110	34	45	
0,85	1,70	3,45	26	104	311	316	109	33	44	
		3,50	25	101	302	305	108	32	43	
		3,55	24,5	98	293	296	107	31	42	
0,90	1,80	3,60	23,8	95	285	287	107	30	40	
		3,65	23	92	277	279	106	29	39	
		3,70	22,5	90	269	270	105	28	38	
0,90	1,85	3,75	21,8	87	262	263	104	26	37	
		3,80	21,3	85	255	256	103	25	37	
		3,85	20,8	83	248	248	102	24	36	
0,95	1,90	3,90	20	80	241	241	101	23	35	
		3,95	19,5	78	235	235	100	22	34	
		4,00	19	76	229	229	99	21	33	
1,00	2,00	4,05	18,5	74	223	223	98	20	32	
		4,10	18	72	217	217	97	19	31	
		4,15	17,7	71	212	212	96	18	31	
1,05	2,10	4,20	17,2	69	207	207	95	17	30	
		4,25	16,8	67	201	201	94	15	30	
		4,30	16,5	66	197	197	93	29	29	
		4,35	16	64	192	192	92	28	71	

¹) Die Rückprallhärte kann um ± 10 Einheiten schwanken. Die Zugfestigkeit bezieht sich auf Kohlenstoffstahl und $H_{(10/3000/30)}$.

Tafel 2 (Fortsetzung).

Eindruckdurchmesser in mm für Kugel- durchmesser $D = \text{mm}$			Brinellhärte für Belastung $P = \text{kg}$			Pyra- miden- härte H_P	Rockwell		Rück- prall- härte	Zug- festig- keit σ_B
							B 100 kg Prüflast $\frac{1}{16}''$ Kugel	C 150 kg Prüflast Dia- mant- kegel		
2,5	5	10	15,6 62,5 250	62,5 250 1000	187,5 750 3000					
1,10	2,20	4,40	15,5	62	187	187	91		28	67
		4,45	15,2	61	183	183	90		27	
	2,25	4,50	15	60	179	179	89		27		64
		4,55	14,5	58	174	174	88		26	
1,15	2,30	4,60	14,2	57	170	170	87		26	61
		4,65	14	56	167	167	86		25	
	2,35	4,70	13,5	54	163	163	85		25		59
		4,75	13,2	53	159	159	84		24	
1,20	2,40	4,80	13	52	156	156	83		24	56
		4,85	12,8	51	152	152	82		23	
	2,45	4,90	12,5	50	149	149	81		23		54
		4,95	12,2	49	146	146	80		22	
1,25	2,50	5,00	12	48	143	143	79		22	52
		5,05	11,8	47	140	140	78		21	
	2,55	5,10	11,5	46	137	137	77		21		49
		5,15	11,1	44,4	133	133	76		21	
1,30	2,60	5,20	10,9	43,7	131	131	75		20	47
		5,25	10,7	42,8	128	128	74		20	
	2,65	5,30	10,5	41,9	126	126	73		20		46
		5,35	10,2	41	123	123	72		20	
1,35	2,70	5,40	10	40,2	121	121	71		20	44
		5,45	9,8	39,4	118	118	69		19	
	2,75	5,50	9,6	38,6	116	116	68		19		42
		5,55	9,5	37,9	114	114	67		18	
1,40	2,80	5,60	9,3	37,1	111	111	65		18	40
		5,65	9,1	36,4	109	109	64		18	
	2,85	5,70	8,9	35,7	107	107	62		17		39
		5,75	8,8	35,0	105	105	61		17	
1,45	2,90	5,80	8,6	34,3	103	103	59		17	37
		5,85	8,4	33,7	101	101	58		16	
	2,95	5,90	8,3	33,1	99	99	56		16		36
		5,95	8,1	32,4	97	97	54		15	
1,50	3,00	6,00	7,9	31,8	95	95	52,5		15	34
		6,05	7,8	31,2	94				14	
	3,05	6,10	7,7	30,7	92				14		33
		6,15	7,5	30,1	90			14		
1,55	3,10	6,20	7,4	29,6	89				14	32
		6,25	7,2	29,0	87				13	
	3,15	6,30	7,1	28,5	86				13		31
		6,35	7	28,0	84			13		
1,60	3,20	6,40	6,9	27,5	83				13	30
		6,45	6,8	27,0	81				12	
	3,25	6,50	6,6	26,5	80				12		29
		6,55	6,5	26,1	78			12		
1,65	3,30	6,60	6,4	25,6	77				12	28
		6,65	6,3	25,1	75				11	
	3,35	6,70	6,2	24,7	74				11		27
		6,75	6,1	24,3	73			11		
1,70	3,40	6,80	6	23,9	72				11	26
		6,85	5,9	23,4	70				10	
	3,45	6,90	5,8	23,0	69				10		25
		6,95	5,7	22,7	68			10		

VII. Anwendung der verschiedenen Prüfverfahren.

Die Vielzahl der Härteprüfungen macht es oft schwer, für einen vorliegenden Fall das geeignete Verfahren auszuwählen. Es erscheint unbedingt erstrebenswert, künftig zur Kennzeichnung der Härte nur noch die Brinell-Vickers-Skale zu benutzen, die vom weichsten bis zum härtesten Werkstoff durchläuft. Hierbei sollte das Gebiet über 300 bis 400 BE vollkommen der durch die Vickersprüfung zu bestimmenden Pyramidenhärte vorbehalten sein. Daneben werden die übrigen Verfahren, die durchweg weniger genaue Ergebnisse liefern, für bestimmte Zwecke ihren Platz in der Werkstoffprüfung behaupten. Und zwar besonders für solche Aufgaben, die bei kurzer Prüfzeit die Prüfung einer großen Zahl von Werkstücken auf Gleichmäßigkeit in der Härte bei nicht zu kleinen Toleranzen verlangen (Vorlasthärteprüfung nach Rockwell, Rückprallhärteprüfung), und außerdem für Härteprüfungen, die ein ortsbewegliches, leichtes, handliches Prüfgerät erfordern (Schlaghärteprüfung, Fallhärteprüfung).

Tafeln zur Bestimmung der Pyramidenhärte und der Brinellhärte, letztere verbunden mit einer Umrechnungstafel für die verschiedenen Härtezahlen und die Zugfestigkeit, sind auf den Seiten 260 und 261 zu finden.

D. Härte und Bearbeitbarkeit.

Der Grad der Bearbeitbarkeit eines Werkstoffes mit Schneidwerkzeugen ist nicht allein von seiner Härte, sondern auch von seinen anderen physikalischen und chemischen Eigenschaften abhängig. Es ist zwar bekannt, daß bei gleicher Standzeit des Meißels von 60 Minuten die zulässige Schnittgeschwindigkeit v_{80} mit steigender Brinellhärte sinkt, jedoch ist eine eindeutige Beziehung zwischen Härte und Bearbeitbarkeit bisher nicht gefunden worden. Die Zerspanbarkeit eines Stoffes kann also nur durch eine Prüfung festgestellt werden, die der späteren Bearbeitungsart entspricht (s. die entsprechenden Angaben in den Abschnitten Drehen, Fräsen usw.).

E. Härte und Abnutzung.

Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Härte und Abnutzung besteht nicht. Es konnte aber nachgewiesen werden, daß jeweils bei einem bestimmten Werkstoff, dessen Härte und Verschleißfestigkeit durch Warmbehandlung geändert worden war, der Verschleiß für $H < 200$ BE mit abnehmender Härte stark ansteigt und daß er für $H > 200$ BE nur noch sehr wenig von der Härte abhängig ist. Für gehärteten Stahl konnte festgestellt werden, daß sich durch eine beim Schleifen auftretende zu starke Erwärmung eine sehr dünne Weichhaut bildet. Dieser verminderten Härte in der Oberflächenschicht entspricht bei gleichem Werkstoff auch eine größere Abnutzung. Bei verschiedenen Werkstoffen von gleicher Härte kann jedoch die Abnutzungs-Widerstandsfähigkeit sehr unterschiedlich sein. Die Härteprüfung gestattet also nicht, die Verschleißfestigkeit eines Werkstoffes zu beurteilen.

Schrifttum.

I. Normen.

DIN 1605 Blatt 3: Kugeldruckversuch nach Brinell.
DIN-Vornorm A 103: Vorlasthärteprüfung nach Rockwell.

DIN-Vornorm A 132 Entwurf: Härteprüfung bei höheren Temperaturen.
DIN-Vornorm A 133 Entwurf: Härteprüfung nach Vickers.

II. Bücher.

- Ludwik: Härteprüfung. — Martens u. Heyn: Vorrichtung zur vereinfachten Prüfung der Kugeldruckhärte und die damit erzielten Ergebnisse. — Geßner: Die Anwendung der Kugeldruckprobe zur Härtebestimmung von Eisenbahnoberbaumaterial. Mitt. intern. Verb. f. d. Materialprüf. d. Technik, Wien, Heft 6, Juni 1909.
- VI. Kongreßbericht des Intern. Verb. f. d. Materialprüf. d. Technik. III 2. 1912.
- Keßner, Dr.: Die Bearbeitbarkeit der Metalle und Legierungen. Forschungshefte, herausgegeben vom VDI 1918.
- Mitt. K. Materialprüfungsamt Lichterfelde 1915, Heft 7/8.
- Waizenegger, Dr.: Beitrag zur Härteprüfung. Forschungshefte des VDI. 1921.
- Wüst, F., u. P. Bardenheuer: Härteprüfung durch die Kugelfallprobe. Mitt. Eisenforsch. Bd. 1 (1920) S. 1.
- Döhmer: Die Brinellsche Kugeldruckprobe. Berlin: Julius Springer 1925.
- Niederding: Zur Frage der Abnutzung von Metallen unter besonderer Berücksichtigung der Meßflächen von Lehren. Bd. 5 der Betriebswissensch. Arb. des VDI. VDI-Verlag 1930.
- Schneidmer: Beitrag zur statischen und dynamischen Härteprüfung. Folge 5 der Forschungsarbeiten über Metallkunde und Röntgenmetallographie, herausgeg. von M. v. Schwarz.
- Damerow u. Herr: Hilfsbuch für die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie. Berlin: Julius Springer 1936.
- Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie. System-Nr. 59: Eisen. Teil C — Lieferung 1, Härteprüfverfahren. Berlin: Verlag Chemie, GmbH, 1937.
- Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen. Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH, 1937.
- Pattermann: Werkzeugstähle. S. 54, 68 u. 427. Kladno: Im Selbstverlage des Verfassers 1937.
- Reicherter: Handbuch für Kugeldruckversuch nach Brinell, Vorlasthärteprüfung und Härteprüfung nach Vickers. Berlin: Julius Springer 1938.

III. Aufsätze.

- Meyer, Eugen: Untersuchungen über Härteprüfung und Härte. Z. VDI 1908 S. 645.
- Martens u. Heyn: Vorrichtung zur vereinfachten Prüfung der Kugeldruckhärte. Z. VDI 1908 S. 1719.
- Kirner: Pendelhärtemesser. Z. VDI 1910 S. 1834.
- Schneider, John J.: Die Kugelfallprobe. Z. VDI 1910 S. 1631.
- Shore: Das Skleroskop im Automobilbau. Z. prakt. Masch.-Bau 1910 S. 67.
- Zimmermann: Materialprüfung mit dem Skleroskop. Z. prakt. Masch.-Bau 1913.
- Heym, W.: Eine Prüfmaschine für Werkzeugstahl. Werkst.-Techn. 1910 S. 17.
- Herbert, G. E.: Schneideeigenschaften des Werkzeugstahles. Z. prakt. Masch.-Bau 1910 S. 1903, 1968.
- Berndt, G.: Skleroskop-, Kugeldruck- und Ritzhärte. Werkst.-Techn. Bd. 14 (1920) S. 201.
- Pomp u. Schweinitz: Der Herbert-Pendelhärteprüfer und seine Eignung für die Werkstoffprüfung. Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 8 (1926) S. 79—100.
- Franke: Ein Beitrag zur Härteprüfung. Ber. Werkstoffaussch. Ver. dtsh. Eisenhüttenl. Nr. 102. Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH 1927.
- Rapatz u. Krekeler: Die Prüfung der Bearbeitbarkeit. Stahl u. Eisen 1928 S. 257.
- Wallichs u. Krekeler: Bearbeitbarkeit. Masch.-Bau 1929 Heft 15.
- Moser: Die technische Härteprüfung. Kruppsche Mh. Juni 1929.
- Buxbaum: Härteprüfung. Masch.-Bau 1931 Heft 6.
- Eilender, Oertel u. Schmalz: Grundsätzliche Untersuchungen des Verschleißes auf der Spindelmaschine. Arch. Eisenhüttenwes. Bd. 8 (1934/35) S. 61.
- Trump: Härteprüfung nach Brinell an gehärtetem Stahl. Werkst. u. Betr. 1935 Heft 17/18 S. 245.
- Schmidt, Hans: Die Härteprüfung von Lehren. Werkst.-Techn. u. Werksl. 1935 S. 213.
- Werkstattmäßige Härteprüfungen. Werkst. u. Betr. 1936 Heft 19/20 S. 278. Werkstattblatt 27. Carl Hanser Verlag, München 22.
- Söhnchen u. Piwowsky: Die Abnutzung des Gußeisens bei gleitendem Verschleiß. Gießerei 1936 S. 489.
- Reiniger: Einfluß der Prüfbedingungen auf das Ergebnis der Brinellhärteprüfung von Gußeisen. Arch. Eisenhüttenwes. Bd. 10 (1936/37) S. 29.
- Hengemühle: Neuere Härteprüfer. Stahl u. Eisen Bd. 56 (1936) S. 1017.

- Tammann u. Tampke: Bemerkungen über die Ritzhärte. Z. Metallkde. Bd. 28 (1936) S. 336.
- Sawin: Einfluß der Endbearbeitung auf den Zustand der Oberflächenschichten und ihre Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung. Werkst.-Techn. u. Werksl. 1937 S. 243.
- Frank: Die Bedeutung der Kontrollplättchen bei der Härteprüfung. Das neue Zweigerätesystem bei der Härteprüfung mit optischer Auswertung. Werkst.-Techn. u. Werksl. 1937 S. 213 u. 271.
- Frank: Neuzeitliche Härteprüfung in der Werkstatt. Werkst. u. Betr. 1937 Heft 1/2 S. 12.
- Sporkert: Die Bestimmung der zum Ausmessen von Vickers-Eindrücken erforderlichen Vergrößerung. Z. Metallkde. Bd. 29 (1937) S. 168.
- Sporkert: Bedingungen für genaues Ausmessen von Härteprüfeindrücken. Z. Metallkde. Bd. 30 (1938) S. 199.
- Sporkert: Ein neuer Härteprüfer für das Laboratorium. Masch.-Bau 1938 S. 527.
- Richter: Härteprüfung dünner Überzüge nach dem Ritzhärteverfahren mittels des umgebauten Martens-Ritzhärteprüfers. Z. Metallkde. Bd. 29 (1937) S. 355.
- Lips: Härtemessungen an Gefügebestandteilen. Z. Metallkde. Bd. 29 (1937) S. 339.
- Johannsson u. Weibull: Härtemessungen an drahtförmigen Proben. Z. Metallkde. Bd. 29 (1937) S. 418.
- v. Weingraber: Die Einsatzhärte und ihre Prüfung. Werkst.-Techn. u. Werksl. 1937 S. 384.
- v. Weingraber: Die Fehlerquellen bei der Vickers-Härteprüfung. Werkst.-Techn. u. Werksl. 1938 S. 361.
- Müller, Bremen: Der neue Rockwell-Handhärteprüfer nach Focke-Wulf. Automob.-techn. Z. 1938 Heft 12.
- N. N.: Neuere Härteprüfer für Werkstoffe. Automob.-techn. Z. 1938 Heft 12.

IV. Druckschriften der Firmen

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| Karl Frank, Mannheim. | Georg Reicherter, Eßlingen a. N. |
| Ges. für Feinmechanik, Mannheim. | Reindl & Nieberding, Berlin (Prüf-Union). |
| Hahn & Kolb, Stuttgart. | Louis Schopper, Leipzig. |
| „IBA“ Industriebedarf Erhard Höpfner | Hermann Steinrück, Berlin. |
| K.-G., Berlin. | Otto Wolpert, Ludwigshafen a. Rh. |
| Mohr & Federhaff A.-G., Mannheim. | Carl Zeiss, Jena. |
| Rational, Berlin-Wilmersdorf. | |

Die Schleiffunkenprobe.

Gegenüber der genauen, aber umständlichen chemischen Analyse und metallurgischen Mikroskopie ermöglicht die Schleiffunkenprobe bei aller Einfachheit, Stahl schnell und für viele Zwecke doch genügend genau zu unterscheiden. Bei einiger Übung und Verwendung von analysiertem Vergleichsmaterial gestattet sie auch den Gehalt an Kohlenstoff und einigen Legierungsbestandteilen gut zu schätzen.

Der Werkstoff wird aus folgenden Erscheinungen erkannt:

1. Funke:

a) Häufigkeit und Größe (außer vom Stahl abhängig von: Schmirgelkorngröße, Schnittgeschwindigkeit und Anpreßdruck);

b) Funkenbild am Strahlenende: einfaches Stachelbüschel, blätterartig bei sekundärer Explosionserscheinung;

c) Lichterscheinung — Farbe: Einfluß der oxydierenden Legierungsbestandteile und der Anfangstemperatur (die überwiegend von Schnittfähigkeit und Schnittgeschwindigkeit der Schmirgelscheibe abhängig ist), Farbe in Nähe der Schleifscheibe — Helligkeitszunahme — Entfernung des Aufleuchtens — Farbe am Ende des Funkenbündels.

2. Länge und Art (Stärke, Gabelung usw.) der Strahlen, Dichte und Umfang des Strahlenbündels: proportional der Größe der Werkstoffteilchen, d. h. Einfluß der Werkstoffhärte und -bildsamkeit (Bearbeitbarkeit).

Einzuhaltende Versuchsbedingungen:

1. Schmirgelscheibe: scharf, körnig, mittelhart; 30–35 m/s Umfangsgeschwindigkeit;

2. Einhalten des Anpreßdruckes und der Schnittgeschwindigkeit, d. h. der Schleifstelle beim Schleifen an der Scheibenseitenfläche;

3. Reinigung der Schleifscheibe zwischen den einzelnen Proben zur Vermeidung irreführender Ergebnisse.









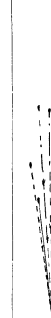

Die charakteristischen Erkennungszeichen verschiedener Stahlsorten zeigt die Zusammenstellung auf S. 266.

Die Erkennungsdeutlichkeit der legierten Stähle steigt mit zunehmendem C-Gehalt; entsprechend der Härtesteigerung werden mit zunehmender Zahl der Legierungselemente bzw. wachsendem Mengengehalt die Funkenbilder seltener.

Die dargestellten Schleiffunkenbilder erscheinen in Wirklichkeit mehr oder weniger verzerrt.

Schrifttum.

- Engelmeyer, P. K. v.: Unterscheidung von Schmiedeeisen, Stahl und Gußeisen an der Schmirgelscheibe. Uhlands Techn. Rundschau 3, Okt. 1889.
- Bermann, M.: Die Funken als Erkennungszeichen der Stahlsorten. Z. VDI Bd. 53 (1909) S. 171/78.
- Pitois, E.: Unterscheidung der Stähle durch Schleiffunkenprüfung in Luft und Sauerstoff. Comptes rendus Bd. 178 (1924) S. 942/44.
- Mesnager, M.: Unterscheidung von Stählen mit Hilfe von Schleiffunkenbildern. Comptes rendus Bd. 178 (1924) S. 1037/38.
- Enos, G. M.: Bemerkungen über die Funkenprobe an Stahl. Trans. Amer. Soc. Stl. Treat. 1927 S. 976/81.
- Wagner, H. W.: Funkenprobe zur Bestimmung der Metallcharakteristik. Abrasive Industry, Mai 1930 S. 29.
- Eschelbach, R.: Die Stahlkontrolle (Funkenbilder). Werkzeugmasch. Bd. 36 (1932) S. 125.
- Grahl, Werkstoff-Prüfung. Werkstatt-Kniffe, Folge 6. Carl Hanser Verlag, 1938. München 22.

Nr.	Abb.	Stahlart	Kennzeichen	Funkenfarbe
1		C-arter Stahl	In lange Tropfen auslauf. glatte Linien	hellgelb
2		Mittlerer C-Stahl	Mit steigendem C-Gehalt: Zunahme d. Strahlendichte und der Stachelbüschelbildung, Abnahme der Tropfengröße	
3		C-reicher Stahl		
4		Mn-Stahl		Mittellange feine Strahlen mit zahlreichen blätterartigen Stachelbüscheln	hellgelb
5		Si-Gehalt	Lange Strahlen mit sehr hellen Tropfen	
6		Gußeisen	Graues — viele Weißes — wenige	rötlichgelb
7		Stellite	Wenige kurze, glatte Strahlen	orange
8		Schneldrehstahl (hoher W-Gehalt)	Mäßig lange Strahlen mit kurzen Tropfen bei zunehmendem C-Gehalt: Sternchenbildung	dunkelrot
9		W-Stahl (niederer W-Gehalt)	≈ Schneldrehstahl Stachelbüschel mit kugeligen Enden	ziegelrot mit steigendem Wo-Gehalt ins Dunkelrote übergehend
10		Cr- Ni- Stahl	≈ C-Stählen, aber mit geringerer Stachelbildung	orangehell

Schleiffunkenbilder verschiedener Stahlsorten.

Oberflächenschutz.

Fast alle unsere Werkstoffe zeigen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Neigung, sich an der Luft besonders bei Zutritt von Feuchtigkeit oberflächlich zu verändern, zu rosten oder zu oxydieren. Bei Eisen, Stahl und den Leichtmetallen bleibt diese Veränderung nicht auf die Oberfläche beschränkt, sondern es findet eine fortschreitende, tiefergreifende Umwandlung in die Oxyde statt. Man bezeichnet diesen Angriff auf den Werkstoff als Korrosion. Er ist zumeist auch von einer Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften begleitet und äußerlich daran zu erkennen, daß nach der Entfernung der zumeist lockeren Oxydschichten das darunterliegende Metall Narben oder gar Löcher zeigt. An starkwandigen Werkstücken ist die Beeinflussung der mechanischen Festigkeit prozentual geringer als bei dünnwandigem Blech. Die Haupterscheinungsformen sind:

1. gleichmäßige allgemeine Zerstörung des Werkstoffes durch Einwirkung von Luft, Wasser, Rauchgase oder Salzlösungen;

2. örtliche punktförmige Zerstörung durch sogenannte Lokalelementbildung, auch Lochfraß genannt (engl. pitting corrosion). Anlaß hierzu sind Unterschiede in der Zusammensetzung der Metalle, tritt daher hauptsächlich bei Legierungen auf.

3. interkristalline Korrosion, d. h. Angriff innerhalb der Korngrenzen des Werkstoffes (ohne sichtbare Oxydanhäufung) unter Auflockerung des Gefüges und Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften.

Man erkennt, daß die Frage des Oberflächenschutzes für die leicht korrodierenden Werkstoffe nicht ernst genug genommen werden kann, sowohl zur Erhaltung der Wertbeständigkeit gelagerter Rohstoffe als auch zur Erhaltung der Fertigwaren.

A. Vorübergehender Korrosions-Schutz.

Für die Verarbeitung wird in vielen Fällen blankgezogener oder blankgewalzter Werkstoff bevorzugt. Dieser Zustand soll auch beim Lagern oder während der einzelnen, in größeren Zeitabschnitten vor sich gehenden Bearbeitungsstufen erhalten werden.

Man wird also einen vorübergehenden Oberflächenschutz anwenden. Hierzu eignen sich gut säurefeste Öle oder Mineralfette, die halbfest oder flüssig aufgetragen werden, wie z. B. Vaseline oder das konsistentere Staufferfett, weil sie gut decken. Bei Rundstangen usw. verwendet man zum Teil sogar festhaftende Lack- oder Asphaltanstriche, wie sie auch später noch näher bezeichnet werden.

Ein oft zu beobachtender Angriff beim Lagern infolge von „Schwitzkorrosion“ zeigt sich an Leichtmetallblechen oder rollenförmig aufgewickelten Bändern, besonders bei Legierungen der Gattung Al-Cu-Mg (z. B. Duralumin). Auch hier sichert man sich zunächst durch Einfetten des Werkstoffes und durch besonders sorgfältige, trockene Lagerung. Magnesiumlegierungen unterzieht man zumeist einer chemischen Behandlung (Bichromatbeizung) bereits sofort nach der Herstellung, da dieser Werkstoff schlechthin der reaktionsfähigste ist.

Weit wichtiger und umfangreicher sind die Maßnahmen, die zum Oberflächenschutz der fertig bearbeiteten Werkstücke dienen.

B. Dauerhafter Korrosions-Schutz.

Es ist selbstverständlich, daß das angewendete Schutzverfahren den Anforderungen im Gebrauch bzw. der Art der zu erwartenden Korrosionsangriffe anzupassen ist. Bauteile können anders geschützt werden als Maschinen- und Geräteteile, bei denen es auf Maßhaltigkeit ankommt. Bei den ersteren lassen sich dicke Schichten auftragen, die rein mechanisch abdeckend wirken; bei den letzteren muß eine besondere Auswahl hinsichtlich Wirksamkeit und Zweckmäßigkeit bei geringster Schichtstärke getroffen werden, zumal wenn, wie bei Flugzeugteilen, auch noch an Gewicht gespart werden soll. Nicht zuletzt spielt auch die Wirtschaftlichkeit eine beachtliche Rolle, sobald es sich um billige oder untergeordnete Teile handelt.

I. Grundbedingungen für die Wirksamkeit aller Schutzschichten.

a) Sicheres Haften des Schutzüberzuges. Als Grundregel für das Auftragen jeglicher Art von Schutzschichten gilt, daß eine sichere Haftfestigkeit nur dann zu erreichen ist, wenn der Grundstoff von allen Verunreinigungen und Oxyden sorgfältig vorher befreit wird. Auch der sog. Glühspan ist zu beseitigen, weil festgestellt worden ist, daß unter dieser porösen Schicht ein verstärkter Angriff einsetzt. Schon bei geringer Verformung dünnwandigen lackierten Bleches usw. würden andernfalls schuppenförmige Absprengungen zu erwarten sein.

b) Chemische Widerstandsfähigkeit. Eine chemische Widerstandsfähigkeit gegen die angreifenden Stoffe wäre, genau genommen, eine völlige Unangreifbarkeit. Unsere metallischen Rostschutzüberzüge wirken hingegen zum Teil nur reaktionsverzögernd, zum Teil durch ihre Selbstauflösung und eine auf dieser anfänglichen Auflösung beruhenden Deckschichtbildung, die dann ein Weiterschreiten der Auflösung hindert.

c) Dichtigkeit und ausreichende Stärke. Sowohl die metallischen als auch die nichtmetallischen Schutzschichten müssen dicht und stark genug sein, um einen wirksamen Schutz bieten zu können. Bei den ersteren ist zu beachten, daß die Schicht aus feinsten Einzelkristallen bis zu ihrer endgültigen Stärke anwächst, ob sie nun auf galvanischem Wege oder durch Aufspritzen hergestellt wird. Stets werden, solange die Schutzschicht gering ist, feine Kanäle bestehen bleiben und bis zum Grundmaterial hindurchführen, so daß dort die Korrosion einsetzen kann. Das gleiche gilt auch für dünne Lackschichten, sobald noch Luftbläschen oder ungedeckte Stellen verbleiben. Fett- oder Schmutzrückstände unterbinden in beiden Fällen den erforderlichen Zusammenhang der Schutzschicht. Es bleiben Poren zurück, an denen der Angriff auf das darunterliegende Metall rein chemisch oder durch Lokalelementbildung einsetzen wird.

d) Mechanische Widerstandsfähigkeit bei auf Abnutzung beanspruchten Teilen. Die Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung hängt nicht nur von der Härte des Überzuges, sondern natürlich auch von seiner Stärke ab, da mit der Zeit doch auch ein gewisser Verschleiß stattfinden wird. Nur in den seltensten Fällen wird eine ausschließlich gleitende Beanspruchung parallel zur Oberfläche vorliegen, so daß nur eine starke Schicht gegen Kratzwirkungen schützen kann.

e) Anwendbarkeit ohne Beeinflussung des Grundstoffes. Eine Beeinflussung des Grundstoffes kommt zuweilen vor bei galvanischen Abscheidungsverfahren oder bei Verfahren, die bei höheren Temperaturen ver-

laufen. Bei den ersteren wirkt sich eine gleichzeitig zur Metallabscheidung stattfindende Wasserstoffaufnahme, bei der letzteren eine Gefügeveränderung durch den Temperatureinfluß aus.

f) Sicherheit gegen Alterungserscheinungen. Alterungserscheinungen beobachtet man selten bei metallischen Schutzschichten, hingegen oft bei Lacküberzügen, die nach längerer Zeit erst die endgültige Härte erhalten, wobei durch Schrumpfungerscheinungen Haarrisse entstehen.

II. Vorreinigung der Werkstücke.

Von den gebräuchlichsten Verfahren sind anzuführen:

a) Das Entfetten der Gegenstände durch Fettlösungsmittel wie Tri- oder Perchloräthylen durch Abwaschen von Hand oder in mehrteiligen Waschanlagen bei höheren Temperaturen (z. B. Wacker-Anlagen)

oder durch Abkochen mit alkalischen Laugen in heizbaren, ruhenden Behältern, Flutungsanlagen, Schaukel- oder Trommelapparaten. Handelsübliche Mittel: P 3, Siliron, Betazinol, Radikal usw.

b) Das Entrosten und Entzudern (stets nach vorausgegangenem Entfetten) von Hand oder maschinell durch Schleifen mit Schleifscheiben (keramische oder Gummibindung), Schmirgeln mit beleimten Filzscheiben, durch Kratzen mit Drahtbürsten, durch Sandstrahlen (Freistrah-, Kammer-Rundtisch- oder Trommelgebläse), durch chemische Beizverfahren mit Salz- oder Säurelösungen, unter Zusatz von Sparbeizmitteln (z. B. Dr. Vogels Sparbeize) zwecks Verhütung von Wasserstoffaufnahme und Ersparnis an Säure;

durch elektrolytische Entzunderungsverfahren, wobei die Werkstücke anodisch oder kathodisch in das betreffende Bad eingehängt und der Wirkung des Stromes ausgesetzt werden (z. B. Bullard-Dunn-Verfahren);

durch Scheuern von Massenteilen in umlaufenden Trommeln aus Eisen oder Holz, Naß- und Trockenverfahren.

III. Rostschutzüberzüge für Eisen und Stahl.

Die Oberflächenschutzverfahren für Eisen und Stahl lassen sich folgendermaßen einteilen:

a) Aufbringen metallischer Überzüge;

b) chemische Umwandlung der Oberfläche zur Erzeugung von Schutzschichten;

c) Aufbringen artfremder Überzüge (Anstriche).

Nicht angeführt sind vorbeugende Mittel, die dem angreifenden Mittel selbst zugegeben werden, wie Zusatz alkalischer Stoffe, um die Säurewirkung zu neutralisieren, oder passivierend wirkende Stoffe, wie z. B. Wasserglas, um den Angriff alkalischer Lösungen auf Aluminium zu verhindern. Solche Zusätze werden auch zu Kühlwasser und Kraftstoffen gegeben.

a) Metallische Schutzüberzüge sind zu trennen in solche, die in der Lage sind, das Eisen infolge ihres elektrochemischen Verhaltens, d. h. ihres unedleren Charakters, vor dem chemischen Angriff allgemein zu schützen (da sie selbst dafür in Lösung gehen), und solche, bei denen das Schutzmetall edler als das Eisen oder überhaupt das zu schützende Metall ist; die jeweilige Stellung ergibt sich aus der elektrochemischen Spannungsreihe.

Sofern Eisen als Werkstoff vorliegt, gehören zu der ersten Gruppe: Zink, Kadmium, Aluminium, zu der zweiten Gruppe: Zinn, Blei, Kupfer, Nickel,

Chrom und Messing. Das Aufbringen der Schutzmetallüberzüge kann auf verschiedenen Wegen erfolgen, wenn auch nicht jedes Verfahren für sämtliche Metalle brauchbar ist:

1. Durch Eintauchen des zu überziehenden Werkstückes in ein feuerflüssiges Metallbad, wie z. B. bei der Feuerverzinkung, Verzinnung oder Verbleiung. Beheizung des Metallbades durch Kohlen-, Öl-, Gasfeuerung oder auf elektrischem Wege.

Bei dem feuerflüssigen Überzugsverfahren sind als Vorteile zu erwähnen die große Einfachheit der Durchführung und die Ausfüllung vielleicht vorhandener Poren bzw. die Überdeckung von nichtmetallischen Fehlstellen. Die Nachteile sind zumeist ungleichmäßige Verteilung der Metallaufgabe, hoher Metallverbrauch, Beschränkung auf leicht schmelzende Metalle und die Anwendung auf rohen Arbeitsstücken, Verwerfungsgefahr und Veränderung der physikalischen Eigenschaften infolge der hohen Erhitzung, Zusetzen von Bohrungen, Verschmieren von Gewinden usw.

Verwendung der Feuerverzinkung: Behälter, Bauteile, Bleche, Band, Draht und Rohre.

Verwendung der Feuerverbleiung: An Stelle der Verzinkung als Schutz gegen Rauchgase, schweflige Säure, Seewasser.

Verwendung der Feuerverzinnung: Für Apparate und Geräteteile in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie.

2. Galvanisch erzeugte Überzüge durch Einhängen des zu überziehenden Werkstückes nach gründlicher Vorreinigung in eine geeignete Salzlösung des abzuscheidenden Metalles. Der zu überziehende Teil wird hierbei mit dem negativen Pol der Stromquelle verbunden. Den positiven Pol bildet eine Platte (Anode) aus dem Überzugsmetall.

Der Vorteil der galvanischen Überzugsverfahren liegt in erster Linie darin, daß nicht nur die leicht schmelzenden, sondern alle die vorstehend genannten Metalle (mit Ausnahme von Aluminium) abgeschieden werden können. Die Nachteile der feuerflüssigen Verfahren werden sämtlich vermieden. Die Überzüge sind bei Benutzung von zweckmäßig zusammengesetzten galvanischen Bädern (man benutze nur die Erzeugnisse der Sonderfirmen) gleichmäßig über den ganzen Gegenstand verteilt. Nur bei stark profilierten Gegenständen ergeben sich infolge der sog. Spitzenwirkung und Abblenderscheinungen gewisse Unterschiede in der Niederschlagsstärke. Die Metallüberzüge sind von dichter, feinkörniger Beschaffenheit und sicherem Haftvermögen. Die Maßhaltigkeit wird aufrechterhalten, sofern man im voraus den gesetzmäßig zum Stromverbrauch anwachsenden Niederschlagsstärken Rechnung trägt.

Über die Handhabung dieser galvanischen Verfahren unterrichten die im Buchhandel erhältlichen ausführlichen Lehrbücher über Galvanotechnik. Die Nachteile des Verfahrens liegen in den zum Teil höheren Gesteungskosten, dem erforderlichen, peinlicheren Arbeiten, einer umfangreicheren Einrichtung und dem Freibleiben von größeren Poren im Grundstoff, da der galvanische Niederschlag dieselben nicht verschmieren kann und auch nur auf metallisch sauberer Unterlage festhaftet. Diese Nachteile werden aber ausgeglichen durch die allgemeine Anwendbarkeit für alle hochwertigen Bauteile, Apparate, Schrauben u. dgl.

Für die Schutzgalvanisierung des Eisens kommen in Frage:

Zink: saure und alkalische Bäder, die letzteren besonders bei stark profilierten Teilen und in besonderer Zusammensetzung zur Glanzverzinkung.

Kadmium: zyankalische Bäder für Rostschutzniederschläge, die zugleich ein gefälliges, silberweißes Aussehen zeigen sollen, vorzugsweise für Apparate-
teile.

Messing: zyankalische Bäder. Niederschlagsstärke beschränkt, Überzüge
auch als Bindschicht beim Vulkanisieren benutzt.

Kupfer: zyankalische Bäder, Schichtstärke beschränkt, daher oft nur zur
Vorverkupferung, dann Verstärkung im sauren Kupferbad.

Zinn: saure und alkalische Bäder, als Schutz gegen schwach saure Lö-
sungen, z. B. in der Nahrungsmittelindustrie.

Nickel: schwach saure Bäder zur Starkvernicklung, gegebenenfalls nach
Vorverkupferung zur Glanzvernicklung.

Chrom: Chromsäurebäder als Rostschutz nur bei geschliffenem Stahl,
sonst nach Vorvernicklung oder Vorverkupferung. Hartchrombäder un-
mittelbar zur Herstellung verschleißfester Oberflächen.

3. Durch Spritz-Metallisierung nach dem Schoop-Verfahren. Hierbei
wird das Metall in Drahtform einer Spritzdüse zugeführt und dort durch
ein Knallgasgebläse oder auf elektrischem Wege geschmolzen und in flüssi-
gem Zustand durch Druckluft auf den zu überziehenden Gegenstand ge-
schleudert.

Aufgespritzte Schutzschichten aus Zink, Kadmium, Aluminium oder
Hydronalium in stärkeren Auflagen finden verbreitete Anwendung bei
Teilen, bei denen es nicht auf unbedingte Aufrechterhaltung der Maße
ankommt. Diese Schichten haben im Entstehungszustand eine mehr oder
weniger körnige Oberfläche, lassen sich aber durch Schleifen, Schlichten
und Polieren bei ausreichender Stärke auf Hochglanz bringen. Da die
Haftfestigkeit der aufgespritzten Metallteilchen auf glatten Oberflächen
beschränkt ist, setzt die Anwendung des Verfahrens fast stets eine Sand-
strahlmattierung der Werkstücke voraus. Das Gefüge des gespritzten Me-
talles ist kristallinisch. Ein Verschweißen der Teilchen untereinander oder
Legierungsbildung mit der Unterlage sind ausgeschlossen. Hieraus ist die
Bedeutung der Oberflächenaufräuhung zwecks guter Verankerung klar zu
erkennen. Die Aufpralltemperatur ist bestimmend für die Haftfestigkeit
der Metallschicht und ihre Dichte, die naturgemäß in erster Linie auch
von der Stärke der Auflage abhängt.

Infolge ihres körnigen Gefüges sind aufgespritzte Metallschichten ziem-
lich spröde, weshalb nachträgliche Verformungen möglichst unterbleiben
sollen. Ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist, daß sich, alle Gegen-
stände in beliebiger Größe und Form z. B. verzinken lassen, während dies
bei Heißverzinkung und der galvanischen Verzinkung nicht der Fall ist.
Die Zinkauflage beträgt durchschnittlich 400 g/m².

Bei der Spritzverbleiung ist, wie auch beim galvanischen oder feuer-
flüssigen Verfahren, eine Vorverzinnung notwendig. In neuerer Zeit hat
sich das Auftragen von Hydronalium nach dem Spritzverfahren bei Eisen,
Gußeisen und auch dem sehr wenig korrosionsbeständigen Elektron durch-
gesetzt.

**4. Durch Aufdampfen von Metallen nach dem Sheradisier-Ver-
fahren.** In diesem Falle werden die zumeist kleinen Teile in einer um-
laufenden Trommel, die mit einer Mischung von Zinkstaub und Sand an-
gefüllt ist, bei einer Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes des Zinks
(250 bis 400°) erhitzt.

5. Durch chemische Austausch-Reaktionen erzeugte Metallüberzüge, wie sie beispielsweise beim Eintauchen von blanken Eisenteilen in verdünnte Kupfersulfatlösung entstehen, geben keinen Rostschutz. Solche hauchdünnen Kupferschichten können nur für Ziehzwecke bei Draht ausgenutzt werden.

b) Nichtmetallische Schutzschichten auf Eisen und Stahl.

Bei diesen Schutzschichten sind zu unterscheiden Eisenoxyd- und Eisenphosphatschichten. Beide werden nicht aufgetragen, sondern durch chemische Reaktionen aus dem Werkstoff selbst gebildet. Hervorzuheben ist, daß das Rostschutzvermögen wesentlich geringer ist als dasjenige von Zink- oder Kadmiumüberzügen und daß eine nachträgliche Imprägnierung mit Fett, Öl oder Lack angeschlossen werden muß.

1. Oxydschichten. Die in Betracht kommenden Verfahren werden zu meist unter dem Namen Brünieren zusammengefaßt. Die entstehenden Schichten sind verhältnismäßig dünn und haben oft nur schmückende Wirkung.

Für das eigentliche Brünieren von Stahlteilen benutzt man eine Lösung von Eisenchlorid und einigen Zusätzen in Wasser. Weitere Verfahren sind:

Das Abbrennen der Eisen- oder Stahlteile mit Ölen, Fetten, Harzen usw. bei Temperaturen von 200 bis 400°.

Das Inoxydieren bei 800 bis 900° in abwechselnd oxydierenden und reduzierenden Gasen.

Das Schwarzoxydieren durch Eintauchen der Eisenteile in ein geschmolzenes Gemisch von Ätznatron und Salpeter oder Nitrit. Die Schmelztemperatur beträgt etwa 600° für Schwarzoxydieren. Niedrigere Temperaturen geben entsprechend den Anlaßfarben blaue oder braune Oxydschichten.

Schwarzoxydieren in heißen, stark konzentrierten Salzlösungen von Ätznatron und Oxydationsmitteln wie Nitrit, Nitrat, Pikrinsäure u. ä. Arbeitstemperatur 130 bis 150°.

2. Phosphatschichten. Die Wirksamkeit der Phosphatschichten ist eine wesentlich bessere als die der vorstehend angeführten Oxydschichten. Die Färbung der Schichten ist im Entstehungszustand unansehnlich grau. Durch wasser-, öl- oder spirituslösliche Farbstoffe kann man jedoch ein sehr ansprechendes Schwarz erzielen. Die Schicht bildet außerdem einen guten Haftgrund für Lack- und ähnliche Anstriche.

Die aus feinsten Kristallen bestehende Schicht wird in allen Fällen nach gründlichem Austrocknen durch Tauchen, Streichen oder Spritzen mit Ölen oder Lacken nachbehandelt. Man erreicht hierdurch zugleich eine bessere Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Verletzung und vor allem erst die gewünschte Korrosionsschutzfähigkeit.

Die Maße des Werkstoffes werden durch die Phosphatisierung nur ganz wenig verändert, da die Schicht dünn ist und außerdem zugleich ein gewisses Abtragen des Werkstoffes stattfindet. (Schichtstärke etwa 0,005 bis 0,01 mm.)

Von den handelsüblichen Verfahren sind zu nennen:

das Parker-Verfahren }
das Atrament-Verfahren } mit Behandlungszeiten von 30 bis 60 Min.
und

das Bonder-Verfahren }
das Schnellatrament-Verfahren } mit Behandlungszeiten von 5 bis 15 Min.

Größere Teile werden einzeln oder in Körben in die kochende Salzlösung eingehängt, Massenware in drehbaren, durchlochtem Trommeln phosphatisiert. Das Ende des Umsetzungsvorganges ist an dem Aufhören der Wasserstoffentwicklung zu erkennen.

IV. Oxydschichten auf Leichtmetallen¹⁾.

Bei Aluminium und Aluminiumlegierungen bieten galvanische Niederschläge einen sehr beschränkten Korrosionsschutz, weil das Aluminium nach dem Magnesium das unedelste Metall aus der Reihe unserer Werkstoffe ist. Jede Verletzung oder Undichtigkeit eines Fremdmetallüberzuges führt infolge Lokalelementbildung zu einer beschleunigten Korrosion des darunterliegenden Aluminiums oder der Aluminiumlegierungen allgemein. Der sicherste Schutz gegen Korrosion wird hingegen durch die künstlich erzeugten Oxydschichten erhalten, wie ja auch schon das auf natürlichem Wege entstehende Oxydhütchen weitgehend vor dem Angriff der Atmosphäre schützt. Eine Schutzfähigkeit kann allerdings nur gegen solche Stoffe erwartet werden, die das Oxyd nicht zu lösen vermögen.

a) Oxydation auf chemischem Wege: Das bekannteste Verfahren ist das MBV-Verfahren (**m**odifiziertes **B**auer-**V**ogel-Verfahren) von der Erftwerk A.-G., Grevenbroich bei Düsseldorf. Anwendbar bei Aluminium und dessen kupferfreien Legierungen. Einfache Handhabung und geringe Kosten.

Ausführung: Ein Gemisch von kalzinierter Soda und Natriumchromat wird in Wasser von 90 bis 100° aufgelöst. Die Gegenstände sind 5 bis 30 Minuten in die kochende Lösung einzuhängen und darauf in Wasser zu spülen. Die Schicht hat geringe mechanische Festigkeit. Eine Nachbehandlung von 15 Minuten Dauer in einer 3 bis 5proz. Wasserglaslösung bei etwa 90° verbessert die Härte der Schicht und ihre chemische Beständigkeit gegenüber schwachen Säuren und Alkalien. Die Schicht wird für Apparateile bei geringer mechanischer Beanspruchung und vorzugsweise als Lackunterlage verwendet.

b) Oxydation auf elektrolytischem Wege: Die patentierten Verfahren sind jetzt in Deutschland unter dem Namen Eloxalverfahren (**E**lektrolytische **O**xydation des **A**luminiums) zusammengefaßt. Es gibt eine große Reihe von Arbeitsmöglichkeiten, die je nach dem Legierungsmaterial, dem gewünschten Aussehen und der späteren Beanspruchung durch mechanische oder korrodierende Einflüsse in Anwendung gebracht werden. Die Oxydation erfolgt nach Einhängen des Gegenstandes in ein geeignetes Bad durch die Wirkung von Gleich- oder Wechselstrom. Die Schichten haben besonders bei schwermetallfreien Legierungen große Härte (in bestimmten Fällen Korundhärte), bieten demzufolge vorzüglichen Verschleißschutz, sind stark aufsaugfähig für Farb- oder Lacklösungen und infolge ihres mineralischen Charakters ein guter Isolationsschutz. Gefärbte Eloxalschichten haben ausgezeichnete Schmuckwirkung. Der wirkliche Grundstoff ist äußerlich nicht mehr zu erkennen.

Eloxierte Teile haben nach der Imprägnierung oder Nachbehandlung in besonderen Bädern eine unübertroffene Korrosionsbeständigkeit. Bei Gewinden wird durch die harte imprägnierte Oxydschicht das Festfressen verhindert. Die Schicht wächst aus dem Grundstoff selbst heraus. Die Maße des Werkstückes werden bei der üblichen Eloxierungszeit von 30 bis 40 Minuten um etwa 0,004 bis 0,008 mm vergrößert, wobei die Schicht

¹⁾ Siehe auch S. 190.

selbst bis zu einer Stärke von 0,015 bis 0,02 mm anwächst. Der Schmelzpunkt der Schicht liegt bei etwa 1200°. Selbst bei starker Erhitzung derselben tritt keine Veränderung ein. Das Eloxieren muß wegen der großen Härte der Schicht am fertig bearbeiteten Gegenstand vorgenommen werden. Ein nachträgliches Verformen kann nur in ganz geringem Umfang erfolgen, andernfalls Risse auftreten (wie z. B. in einer Emaillenschicht).

Die Kosten der Eloxierung betragen unter den üblichen Arbeitsbedingungen etwa 2 bis 2,50 RM je m² Gesamtoberfläche bei serienmäßiger Beschickung der Bäder im Eigenbetriebe. Das Verfahren wird in mehreren Lizenzbetrieben auch im Lohn ausgeführt. Im Ausland gilt für die gleichen Verfahren die Bezeichnung „Alumilite-Verfahren“.

c) Oxydschichten auf Magnesium: Dieser unser leichtester metallischer Werkstoff neigt am stärksten zur Korrosion und bedarf daher unbedingt eines Schutzüberzuges. Auch hier wirken sich künstlich verstärkte Oxydschichten vorteilhaft aus.

Ein rein chemisches Verfahren ist die sog. Bichromatbeize, bei der lediglich die Gegenstände in eine Salzlösung bei höherer Temperatur eingehängt werden. Bei Blechen ist die Wirkung recht gut. Die Oxydschicht läßt sich gleichfalls vorteilhaft als Lackunterlage benutzen.

Neben dem Beizverfahren wurden zur Zeit einige elektrolytische Verfahren entwickelt z. B. das Elomag-Verfahren. Die auf diese Weise erzeugten Schutzschichten sind wesentlich stärker und härter als die auf chemischem Wege erhaltenen. Ein Imprägnieren der aufsaugfähigen Schichten mit anorganischen Verbindungen oder wasserabstoßenden Dichtungsmitteln ist auch hier zweckmäßig. Färbungen der Oxydschichten sind in ähnlicher Weise wie beim Eloxalverfahren durchführbar.

V. Aufbringen artfremder Überzüge (Anstriche).

Der Verwendungszweck und die zu erwartende Beanspruchung des Gegenstandes sind entscheidend für die Wahl des zu benutzenden Anstriches, da bisher wohl keine der zur Verfügung stehenden Lackarten allen Anforderungen restlos genügen kann. In erster Linie zeigt sich dies hinsichtlich Haftfestigkeit und Schutzvermögen, weshalb auch in der Mehrzahl der Fälle Mehrschichtanstriche bevorzugt werden.

Der erste oder Grundierungsanstrich soll eine gute Bindung mit dem Werkstoff herbeiführen, während dem zweiten oder dritten der eigentliche Abschluß gegen die korrodierenden Einflüsse zufällt.

Ein weiteres wichtiges Erfordernis besteht darin, daß die Lacküberzüge nach der völligen Trocknung oder bei längerer Lagerung durch das Altern oder auch durch die Ausdehnung und Zusammenziehung des Grundstoffes infolge auftretender Temperaturschwankungen keine Risse erhalten. Die Schicht muß also stets eine gewisse Elastizität behalten.

Die Vorbehandlung der zu streichenden Metalloberfläche ist von gleicher Bedeutung wie bei der Herstellung der metallischen Überzüge. Jegliche Feuchtigkeit ist vor Beginn der Arbeit zu beseitigen, bei porösem Werkstoff notfalls durch Austrocknen bei höherer Temperatur. In gleich peinlicher Weise sollen auch Rostansätze, Öl- und Fettreste (von Rostschutzmitteln) beseitigt werden. Andernfalls wird der Schutzanstrich Lücken oder Blasen bekommen und in gleicher Weise wie bei der Rißbildung infolge Alterns keinen völligen Abschluß des Grundstoffes bewirken können. An all solchen Fehlstellen wird nach dem Eindringen von Luft und Feuch-

tigkeit die Korrosion des Grundstoffes einsetzen und unter der Farbe bzw. dem Lacküberzug weiter fortschreiten. Es kommt also nicht allein auf die Güte des Anstrichstoffes, sondern auch auf die richtige Aufbringungsart an.

a) Bis vor kurzem hat man für Anstriche fast ausschließlich Leinölfarben benutzt, denen zur Rostverhütung anorganische Pigmente, wie z. B. Zinkoxyd, Zinkchromat, Chromgrün oder Bleimennige, zugesetzt wurden. Nach den zahlreichen Erfahrungen bewies besonders der Menniganstrich hervorragende Eignung als Grundierung, so daß er auch heute noch überwiegend Verwendung findet.

b) Für Gegenstände, die in die Erde verlegt werden müssen oder dauernd mit Wasser in Berührung kommen, benutzte man bisher vorzugsweise bituminöse Anstrichstoffe. Seit mehreren Jahren haben sich jedoch hierfür die künstlichen Nitrozellulose-, Kunstharz- und Chlorkautschuk-(Pergut-) Lacke durchgesetzt¹⁾.

Diese neuzeitlichen Schutzlacke werden zumeist als Spritz- oder Tauchlacke geliefert. Durch die Anwendung des Spritzverfahrens läßt sich große Wirtschaftlichkeit der Lackierungsarbeiten erreichen, besonders dann, wenn größere Gegenstände zu behandeln sind. Voraussetzung für gute Ergebnisse ist geeignete Viskosität der Lacklösung. Starke Schichten erhält man durch mehrmaliges Aufspritzen, wobei das Einschalten von Trocknungspausen zweckmäßig ist.

Die von den Lackfirmen zu beziehenden Lacke sind teils lufttrocknend, teils müssen sie bei höheren Temperaturen eingebrannt werden. Wenn die Lösungsmittel der zuerst aufgetragenen Schicht nicht restlos verflüchtigt sind, kann die Schutzwirkung der ganzen Lackierung in Frage gestellt werden. Für laufende Lackierungsarbeiten empfiehlt sich die Aufstellung von Lackspritzkammern mit Absaugung. Die Räume sind vor Zugluft zu schützen, damit glatte Lacküberzüge erhalten werden.

c) Metall-Lacke und Metall-Zapone werden im allgemeinen in dünnen Schichten aufgetragen, um Metalloberflächen, wie z. B. Silber und Messing, vor dem Anlaufen zu schützen.

d) Emaillacke sind dort empfehlenswert, wo die Metalloberfläche einer starken Beanspruchung ausgesetzt ist. Für gewöhnlich werden diese Lacke in mehreren Schichten aufgetragen, wobei die Zusammensetzung der verschiedenen übereinanderliegenden Schichten zumeist nicht die gleiche ist.

e) Bronzelacke werden fast ausschließlich für rohe Eisenteile verwendet.

f) Streichlacke müssen leicht flüchtige Lösungsmittel enthalten, damit eine gute Verstreichbarkeit auch auf größeren Flächen möglich ist. Hierzu gehören insbesondere die Chlorkautschuk-(Pergut-) Lacke. Je nach den beigefügten Weichmachungsmitteln oder trocknenden Ölen bzw. Harzen erhält man geeignete Zusammensetzungen für Unterwasseranstriche.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Alkalien, Säuren und aggressive Gase ist außergewöhnlich, sobald keine höheren Temperaturen in Frage kommen. Diese Anstriche haben hohe Oberflächenhärte und Schlagfestigkeit. Pigmentzusätze erhöhen die Widerstandsfähigkeit der Schichten.

Eine Zusammensetzung aus Pergut-Leinöl und Bleimennige eignet sich vorzüglich als schnelltrocknendes Grundierungsmittel für Eisen, eine ähn-

¹⁾ Siehe auch Abschnitt: „Neue deutsche Werkstoffe.“

liche Zusammenstellung mit Zinkweiß für die Grundierung von Leichtmetallen.

g) Öl- und Harzlacke werden fast ausschließlich für Spritzlackierungen verwendet. Besondere Zusätze vermindern die Neigung zum Runzeln und zur Hautbildung sehr stark. Zu erwähnen sind an dieser Stelle noch wegen ihrer besonderen Bewährung Lacke, die durch zugegebene Katalysatoren erhärten, und die Gruppe der Emaillola-Lacke.

h) Besondere Vorsichtsmaßregeln sind infolge der Feuergefährlichkeit der meisten Lacklösungen und Verdünnungsmittel geboten. In bestimmter Konzentration vermögen ihre Dämpfe, mit Luft gemischt, explosive Gasgemische zu bilden. Offene Flammen und Funkenbildungen an Schaltern oder Motoren führen zur Entzündung. Da die Dämpfe zumeist schwerer als Luft sind, empfiehlt es sich, Gebläse nahe dem Fußboden anzubringen; Elektromotoren und Schalter sind nicht im Lackierungsraum aufzustellen. Ofentrocknende Lacke sollen zunächst an der Luft vorgetrocknet werden.

Schrifttum.

Bücher.

- Kröhnke, O., E. Maass u. W. Beck: Die Korrosion. Leipzig: S. Hirzel 1929.
Liebreich: Rost und Rostschutz. Braunschweig: Fr. Vieweg & Sohn. 1914.
Bablik, H.: Grundlagen des Verzinkens. Berlin: Julius Springer 1930.
Evans, N. R.: Die Korrosion der Metalle; dtsh. von Hornegger. Leipzig, Berlin, Zürich: Orell Fussli 1926.
Krause, H.: Galvano-Technik. 8. Aufl. Leipzig: M. Jänecke 1937.
Pfannhauser, W.: Galvanotechnik. 7. Aufl. Berlin: Julius Springer. — Verchromungstechnik. Leipzig: Langbein-Pfannhauser-Werke A.-G.
Elssner, G.: Galvanotechnik. Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft m. b. H. 1933.
Schlötter, M.: Galvanostegie. I. u. II. Teil. Berlin W 9: Dtsch. Buchdrucker-Verein e. V.

Zeitschriften.

- Metallwaren-Industrie und Galvanotechnik. Leipzig N 22, Blumenstr. 10: F. Ernst Steiger.
Zeitschrift für Oberflächentechnik. Coburg: Müller & Schmidt.
Zeitschrift für Korrosion und Metallschutz. Berlin-Pankow, Parkstr. 20.
Zeitschrift Aluminium. Berlin W 9, Potsdamer Str. 23a: Aluminiumzentrale. Literarisches Büro.
Werkstatt und Betrieb Carl Hanser, Verlag, München 22.

Die Hartverchromung.

Unter dieser Bezeichnung versteht man galvanische Chromüberzüge auf Maschinenteilen oder Werkzeugen. Es handelt sich hierbei nicht um einen Rostschutz, sondern um außergewöhnlich harte Chromniederschläge als Abnutzungsschutz oder auch als Mittel zur Instandsetzung abgenutzter Werkstücke.

Die hierzu benötigten Chrombäder haben eine etwas abweichende Zusammensetzung gegenüber denjenigen zur Glanzverchromung, z. B. nach der Vorvernicklung. Während dort der Chromniederschlag nur etwa 0,0001 mm stark ist, werden bei der Hartverchromung Schichten von 0,1 mm Dicke und mehr bevorzugt. Durch eingehende Versuche hat man die Abscheidungsbedingungen festgelegt, die bei bester Stromausbeute die härtesten Schichten liefern. Badzusammensetzung, Temperatur und Stromdichte sind hierbei von großem Einfluß und müssen stets genauestens überwacht und aufrecht erhalten werden. Von gleicher Bedeutung sind rein praktische Erfahrungen in bezug auf Kontaktgebung, Aufhängung der hartzuverchromenden Stücke, Anbringung von Hilfsanoden und Auswahl der geeignetsten Schleifmittel bei der abschließenden Oberflächenbearbeitung auf Maßgenauigkeit.

Die bedeutendsten Merkmale der Hartchromniederschläge sind: große Härte (mehr als 65° Rockwell), hoher Verschleißwiderstand, niedrige Reibungszahl der feinstgeschliffenen Fläche und geringe Klebfähigkeit, z. B. von Spänen. Die Einzelheiten der Durchführung der Hartverchromung sind in verschiedenen Druckschriften dargelegt.

Die Hauptanwendungsgebiete lassen sich unterteilen in die Hartverchromung von:

1. Meßwerkzeugen.
2. Maschinenbauteilen.
3. Werkzeuge für spanlose Formung.
4. Schneidwerkzeuge.

1. Meßwerkzeuge sollen ihre Maßhaltigkeit möglichst lange bewahren. Da der Chromüberzug zumeist eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß aufweist als der an der Oberfläche gehärtete Werkzeugstahl, werden heutzutage sowohl neue Lehren hartverchromt hergestellt wie auch abgenutzte Lehren durch die Hartverchromung wieder brauchbar gemacht. Scharfe Kanten sollen vor der Verchromung etwas abgerundet werden. Es ist verständlich, daß die Lehren zunächst auf „Untermaß“ geschliffen werden müssen. Man rechnet mit einer Chromschichtstärke von wenigstens 0,05 mm im fertigen Zustand, also muß der Chromniederschlag vor dem Schleifen etwa 0,02 bis 0,05 mm stärker sein.

2. Maschinenteile, insbesondere Laufflächen von Wellen, sollen in gleicher Weise wie die Meßwerkzeuge gegen Verschleiß geschützt werden. Die vielfach rechtwinklig abgesetzten Wellen bedingen die Anbringung von zentralen Hilfsanoden und die Verchromung auf ein größeres Übermaß, da in den Winkeln nur unter Schwierigkeiten gleiche Schichtstärken zu erreichen sind oder bei Benutzung einfacher Streifenanoden „unrunde“ Niederschläge abgeschieden werden. Nicht aufzuchromende Flächen sind in allen Fällen abzudecken.

3. Werkzeuge für spanlose Formung liegen meist in Form von Zieh-eisen, Ziehplatten oder Stempeln vor. Soweit der Querschnitt kreisrund

ist, bietet die Anbringung von Hilfsanoden keine Schwierigkeiten, da diese leicht zu zentrieren sind. Die Hartverchromung ungleichmäßig gestalteter Formstücke, insbesondere auch diejenige von Preßformen für Kunststoffe, setzt viele Erfahrungen voraus. Eine richtig ausgeführte Hartverchromung sichert jedoch eine mehrfache Lebensdauer der Werkstücke.

4. Schneidwerkzeuge. Bei diesen Werkzeugen ist das Interesse an der Hartverchromung besonders groß. Die Spanreibung bringt eine außergewöhnliche Beanspruchung durch Fressen und Wärmezeugung mit sich. Der Verschleiß der Werkzeuge beginnt an dem der Schneide am nächsten liegenden Teil der Spanfläche. Auch die Zuführung von Kühl- und Schmierflüssigkeiten vermag dies nicht zu verhindern. Die Hartverchromung hat hier große Vorteile gebracht, vorausgesetzt, daß der Chromniederschlag richtig erzeugt wird und genügende Glätte besitzt. Man muß sich allerdings hierbei zumeist auf eine Chromschichtstärke von 0,005 bis 0,01 mm beschränken. Der Chromniederschlag verhindert bei der Bearbeitung von harten Metallen das Herausreißen von Werkstoffteilchen aus der Schneide bzw. das Anhaften von Metallteilchen bei der Bearbeitung weicher Metalle. Es ist verständlich, daß auch der Ausnutzung hartverchromter Werkzeuge gewisse Grenzen gezogen sind, sobald es sich um die Bearbeitung außergewöhnlich harter und zäher Werkstoffe handelt, da die Chromschichten verhältnismäßig spröde sind.

Bei Dreh- und Hobelstählen dürfen erklärlicherweise nur die Rücken- und Seitenflächen angeschliffen werden.

Bei Bohrern genügt schon ein verhältnismäßig feiner Chromüberzug, um die Reibung zu verringern. Gewindebohrer werden gleichfalls nur schwach verchromt und ohne Nachschleifen verwendet. Bei Reibahlen ist ein richtiges Hinterschleifen der Rückenflächen unter Entfernung des Chromüberzuges Vorbedingung für gutes Arbeiten. Fräser zeigen desgleichen nach der Hartverchromung bessere Widerstandsfähigkeit bei einzelnen Werkstoffen. Es ist zu beachten, daß vor der Aufbringung des Chromniederschlages sämtliche Flächen sauber geschliffen bzw. das ganze Stück vor dem Schleifen völlig entzundert wird.

Feilen setzen sich nach der Hartverchromung weniger stark mit Spänen zu und lassen sich leichter reinigen. Eine allgemeine Ausnutzung hartverchromter Feilen ist allerdings bisher nicht erfolgt.

Schmiermittel.

A. Allgemeines.

Aufgabe des Schmiermittels ist es, aufeinandergleitende oder -reibende Maschinenteile vor der unmittelbaren metallischen Berührung zu schützen. Die gebildete Schutzschicht (Schmierfilm) muß gut haften, druckbeständig und auch dicker sein, als die Summe der höchsten durch die Bearbeitung entstehenden Unebenheiten der beiden zu trennenden Teile. Die Reibung spielt sich dann in der Schmierschicht ab (flüssige Reibung im Gegensatz zur halbflüssigen und trockenen Reibung, bei denen teilweise oder vollständige metallische Berührung eintritt).

Die Entwicklung im Maschinenbau hat eine hohe Beanspruchung der Werkstoffe mit sich gebracht. Die Lagerbelastung ist höher geworden und damit auch die Schmierfilmbeanspruchung. Dies erstreckt sich auf alle Gebiete des Maschinenbaues, vor allem aber auf die Kraftmaschinen. Die Entwicklung der Schmierstoffe mußte der Steigerung dieser Beanspruchungen folgen. Die Änderung der Schmierstoffanwendung stellt ebenfalls erhöhte Anforderungen an die Güte der Schmiermittel. Früher war nur eine einmalige Verwendung des Öles vorherrschend gewesen, heute findet man häufig Umlaufschmierung, also Dauerverwendung. Die heutigen Schmieröle müssen daher viel beständiger sein als früher.

B. Herkunft der Schmiermittel.

Die heute verwendeten Schmierstoffe werden größtenteils auf mineralischer Grundlage, also auf dem Roh-Erdöl aufgebaut, das in der Hauptsache durch Bohrungen gewonnen wird. Vor der Kenntnis des Erdöles wurden fette Öle angewandt (tierischer oder pflanzlicher Herkunft). Heute benutzt man fette Öle in reinem Zustand nicht mehr für Schmierzwecke. Tierische Öle sind Fischtran, Lardöl u. a.; pflanzliche Öle Rüböl, Olivenöl usw.

Der Schmierwert der fetten Öle ist höher als der der reinen Mineralöle. Dagegen ist aber die Beständigkeit der Mineralöle der der fetten Öle weit überlegen. Fette Öle ebenso wie tierische Fette werden ranzig und harzen. Die Beständigkeit ist aber meist wichtiger, als der Schmierwert; deshalb werden die mineralischen Schmierstoffe vorgezogen. Der Verlust an Schmierwert wird durch bessere Gestaltungen und durch Verbesserung der mineralischen Schmierstoffe selbst ausgeglichen.

I. Mineralische Öle. Die Herstellung beruht auf der Eigenschaft des Erdöls, durch Wärmebehandlung zerlegt werden zu können, da das Rohöl aus einem Gemisch verschieden hoch siedender Kohlenwasserstoffe besteht. Einer der ersten Arbeitsvorgänge ist die Destillation, Abb. S 1. Das Rohöl wird zu diesem Zwecke vergast. Die einzelnen Kohlenwasserstoff-Gemische werden getrennt in einer Scheide-Anlage verflüssigt (fraktionierte Destillation). Die einzelnen Destillate enthalten noch unreine Bestandteile, die entfernt werden müssen. Destillate selbst sind nur für untergeordnete Schmierzwecke verwendbar (z. B. Ketten- und Seilschmierung, für Förderwagen-Gleitlager usw.).

In der Raffination werden die unerwünschten Anteile entfernt und die Öle hochwertig gemacht. Man wendet heute zwei Verfahren an:

a) Behandlung mit Schwefelsäure (altes Verfahren). Die Destillate werden mit der Säure vermischt; unerwünschte Bestandteile fallen als Säureharz aus. Eine nachfolgende Neutralisation entfernt die restlichen Säure-

teile. Die Säure greift stark in den chemischen Aufbau der Öle ein und zerstört wertvolle Teile.

b) Behandlung mit selektiven Lösungsmitteln (neueres Verfahren) wirkt physikalisch. Nur die unerwünschten, für die Schmierzwecke unbrauchbaren Anteile werden durch Lösung schonend entfernt.

Hochwertige, sehr schmierfähige Öle werden nach dem zweiten Verfahren erzeugt, beispielsweise Turbinenöle, Transformatoröle, Diesel- und Gasmotorenöle usw.

II. Gefettete Öle. Der Schmierwert mineralischer Öle kann durch die Zumischung von fetten Ölen gesteigert werden. Die Menge des Zusatzes wird nur so hoch gehalten, daß die harzende Neigung der Fettöle nicht in Erscheinung tritt. Gefettete Öle sind

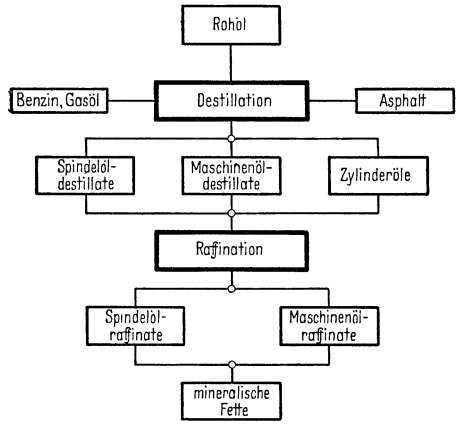


Abb. S 1. Verarbeitungsschema eines Rohöles.

nicht wasserbeständig. Sie gehen mit Wasser eine innige Mischung „Emulsion“ ein, die nur sehr schwer wieder zu trennen ist. In manchen Bedarfsfällen wird die Mischung aber angestrebt, z. B. in der Textilindustrie.

III. Mineralische Fette. Diese werden unter Zuhilfenahme von mineralischen Ölen hergestellt. Erzeugungsvorgang: Kochen einer Seife aus fetten Ölen mit einer Kalk- oder Natronlauge. In diese Seife wird das Mineralöl nebst den nötigen Chemikalien und Farbe gegeben. Fettkochen erfordert große Erfahrung. Die mineralischen Fette sind sehr viel beständiger als die tierischen Fette.

C. Unterschiede und Einteilung der Schmierstoffe.

Man teilt die Schmierstoffe ein in:

- I. Öle** nach Herstellung in Destillate und Raffinate;
- nach Zähflüssigkeit in Spindelöle (dünnflüssig), Maschinenölraffinate (leicht-mittel-zähflüssig), Zylinderöle (sehr zähflüssig);
- nach Art der Verwendung in Turbinenöle, Transformatoröle, Verdichteröle, Metallbearbeitungsöle, Marineöle, Textilöle usw.

Öle unterscheiden sich:

- a) in der Zähflüssigkeit oder Viskosität,
- b) im Schmierwert,
- c) im Kälte- und Wärmeverhalten,
- d) in der Beständigkeit gegen den Sauerstoff der Luft, gegen Wasser, Metalle und Wärme.

II. Fette nach Art der Verseifung in kalkverseifte und natronverseifte Fette;

nach Art der Verwendung in Maschinenfette, Wagenfette, Wälzlagerfette, Heißlagerfette usw.

Fette unterscheiden sich:

- a) im Tropfpunkt, also Temperaturverhalten;
- b) in der Konsistenz (es gibt weiche bis zähe Fette);
- c) in der Druckaufnahmefähigkeit;
- d) in der Wasserbeständigkeit (kalkverseifte Fette sind wasserbeständig, natronverseifte Fette sind nicht wasserbeständig);
- e) in der Farbe.

Die Vaselinen sind keine Fette im landläufigen Sinne, sondern reine Mineralölerzeugnisse. Eine Verflüssigung schadet diesen nichts, während verseifte Fette durch eine Verflüssigung zerstört werden. Die Wärmebeständigkeit der Vaselinen ist gering.

D. Untersuchung der Schmierstoffe im Laboratorium.

Es gibt chemische und physikalische Untersuchungsarten. Physikalische Untersuchungen sind beispielsweise:

I. Bestimmen der Zähflüssigkeit im Engler-Viskosimeter. Vergleich der Auslaufzeit von Öl bei einer bestimmten Meßtemperatur zu der Auslaufzeit von Wasser bei 20°. Öl braucht zum Auslauf aus dem Meßgerät länger als Wasser. Je länger die Auslaufzeit, desto zäher das Öl. Maßeinheit ist der Englergrad. Spindelöl hat etwa 3 bis 7 E (Englergrade)/20°, Maschinenöl etwa 6 bis 15 E/50°, Zylinderöl etwa 4 bis 6 E/100°.

II. Bestimmen des Flammpunktes. Erhitztes Öl bildet Dämpfe. Eine nach genau festgelegter Vorschrift zugeführte Flamme entzündet diese. Die Temperatur beim ersten einmaligen Aufflammen ist der Flammpunkt; er ist bei verschiedenen Öarten verschieden hoch. Bestimmung im offenen oder geschlossenen Tiegel. Im geschlossenen Tiegel liegt der Flammpunkt niedriger als im offenen Tiegel.

III. Bestimmen des Stockpunktes, d. h. Prüfung auf Kälteverfahren. Besonders wichtig für Autoöle, Flugmotorenöle, überhaupt immer dann, wenn ein Schmieröl tiefen Temperaturen ausgesetzt werden muß und dabei sein Fließvermögen nicht verlieren darf.

Bei Erreichen der Stockpunkt-Temperatur fließt das Öl im Prüfgerät nicht mehr unter seiner eigenen Schwere.

IV. Bestimmen des Tropfpunktes. Dieser wird bei mineralischen Fetten festgestellt. Das Fett wird im Luftbad erwärmt. Die Temperatur, bei der der erste Tropfen abfällt, ist der Tropfpunkt.

V. Chemische Untersuchungen. Mit Hilfe dieser Prüfungen bestimmt man das Alterungsverhalten bzw. den Zustand gealterter Öle. Kein Mineralöl behält seinen Ursprungszustand auf die Dauer bei, sondern alle werden durch äußere Einflüsse allmählich verschlechtert. Dieser Vorgang wird mit „Altern“ bezeichnet. Die Zahl solcher Laboratoriumsuntersuchungen ist sehr groß.

E. Hinweise für die Auswahl der Schmierstoffe.

Man unterscheidet Öl- und Fettschmierung.

I. Bei Gleitlagern (auch bei geschlossenen Zahnradgetrieben) richtet sich die Ölauswahl nach den Belastungen und Gleitgeschwindigkeiten, nach der Bearbeitung der Gleitflächen, der Größe des Lagerspieles, nach der Lager- und Getriebe-Temperatur. Im allgemeinen gilt der Satz: Je höher die Be-

lastung und je niedriger die Drehzahl, desto zäher muß das Öl ausgewählt werden, je höher die Drehzahl und je niedriger die Belastung, desto niedriger die Ölzähigkeit. Zusätzlich gilt, daß bei steigender Temperatur etwa durch Strahlungswärme (Lager oder Getriebe neben wärmeabgebenden Stellen) die Ölzähigkeit erhöht ausgesucht werden muß, falls keine Ölkühlung vorhanden ist.

Von Einfluß ist auch die Art der Ölanwendung. Bei Umlaufschmierungen ist die Ölbeständigkeit besonders wichtig. Nur sehr reine Öle verwenden (Raffinate); bei Gefahr von Wasserzutritt keine gefetteten Öle.

Die Fettschmierung kommt für einfache, schlecht abgedichtete oder schlecht zugängliche Gleitlager mit niederen Drehzahlen in Frage, ferner für die Schmierung von Maschinen bei Staubeinfluß (Steinbrüche, Braunkohlenbetriebe usw.). Fett dichtet die Lager besser ab. Je kälter die Lager, und je niedriger der Lagerdruck, desto niedriger der Tropfpunkt und desto weicher das Fett. Je heißer die Lager und je höher der Druck, desto höher der Tropfpunkt und desto zäher das Fett. Bei Wasserzutritt nur kalkverseifte Fette.

II. Graphitschmierung: Zusatz von kolloidalem Graphit zu Schmieröl, insbesondere für das Einlaufen neuer Maschinen. Graphitteilchen setzen sich in die Unebenheiten der Laufflächen und füllen diese aus. Graphit schmiert ebenfalls und vermeidet Lagerflächenbeschädigungen, selbst dann, wenn die Ölzufuhr zeitweise aussetzen sollte. Graphitierte Flächen werden vom Schmieröl besser benetzt als „nackte“ Metallflächen. Flockengraphit ist nicht geeignet, da er nicht rein genug ist.

III. Wälzlager haben meist Fettschmierung. Im Falle der Ölschmierung entscheidet Drehzahl und Temperatur. Hohe Drehzahlen und niedrige Lagertemperaturen erfordern dünnflüssige Öle (2 bis 3 E/50°), niedrige Drehzahlen und hohe Temperaturen zähere Öle (5 bis 6 E/50°).

IV. Preßstoff-Lager sind schlechte Wärmeleiter. Daher hohe Temperaturen an den Laufflächen, falls Belastungen und Drehzahlen hoch sind. Gute Lagerkühlung ist in diesem Falle Bedingung, da die Preßstofflager höhere Temperaturen als 100 bis 110° nicht dauernd vertragen können. Die Lauffläche verkohlt bzw. verascht in diesem Falle; daher Wasserkühlung oder Ölkühlung durch Umlaufschmierung. Reichlicher Ölfluß ist nötig. Besser Preßstoffbüchse mit der Welle umlaufen lassen, damit Wärme nach außen abfließen kann. Bei niedriger Drehzahl und Belastung genügt Ringschmierung. Bei Fettschmierung gutes Staufferfett verwenden. Falls Fettschmierung bei hoher Last angewendet werden muß, müssen Fette mit hohem Tropfpunkt gewählt werden (natronverseifte Fette).

F. Richtige Lage der Schmiernuten.

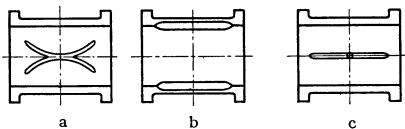


Abb. S 2. Anordnung der Schmiernuten in Gleitlagern: *a* Kreuznut in der belasteten Lagerschale falsch. *b* Längsnut am Rande der belasteten Lagerschale richtig. *c* Ölzufuhr durch Nute in der unbelasteten Lagerschale.

Grundsätzlich keine Nuten in die belastete Zone des Lagers legen. Nuten stören die Öldruckverteilung. Gleitende Teile berühren sich dann und außerdem verkleinern die Nuten die tragende Fläche. Ölzufuhr und Fettzufuhr immer in die unbelastete Zone legen, Abb. S 2.

Zur Verteilung des Schmierstoffes keine Kreuznuten, sondern nur Längsnuten oder sog. Schmiertaschen anbringen. Nur solche unterstützen die Bildung des Schmierfilms. (Genaueres hierüber s. AWF-Heft „Zweckmäßige Schmiernuten“.)

G. Wahl der zweckmäßigsten Schmiergeräte und verschiedenen Schmier-systeme.

Maßgebend für die Festlegung des richtigen Schmiergerätes ist die Beanspruchung und Gestaltung der Schmierstelle. Niedrig beanspruchte Lagerstellen, einfache schwach belastete Gleitlager erhalten Ölschmierung durch Handöler oder Fettschmierung durch Staufferbüchsen. Höher beanspruchte Stellen müssen zum Vermeiden der Abnutzung und zum Erreichen niedriger Lagertemperaturen rechtzeitigen Ersatz des Schmierstoffes erhalten. Deshalb Druckschmierung durch selbsttätige Drucköler oder selbsttätige Fettpressen (beide im Verbrauch für jede einzelne Schmierstelle weitgehend regelbar), z. B. Hochdruckschmierung (Tecalmit). Ist Wärmeabfuhr, also Kühlung nötig, dann kommt Ölumlaufschmierung in Frage mit Ölrückkühlung. Maßgebend ist oft auch die Forderung nach einfacher Bedienung. Viele Einzelschmierstellen erfordern große Aufmerksamkeit. Ersatz der Einzelschmierstellen durch Zentralschmierung oder Umlaufschmierung vereinfacht die Aufsicht und erhöht die Betriebssicherheit, Abb. S 3.

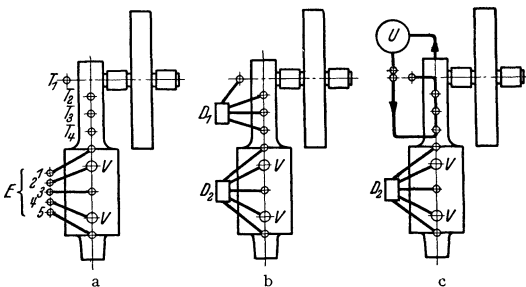


Abb. S 3 a bis c. Schmierarten an Dampfmaschinen (V Dampfverteilvertile). a Alte Art. Einkolbenpresse E für Zylinder-Tropföler T_1 bis T_4 für Triebwerk. b Selbsttätige Schmierpressen D_1 für Triebwerk und D_2 für Zylinder. c Selbsttätige Schmierpresse D_2 für Zylinder, Umlaufschmierung U für Triebwerk.

H. Öle für die Metallbearbeitung.

Öle werden als Hilfsflüssigkeiten in der Metallindustrie in großem Umfange für die Bearbeitung aller Arten von Metallen in zerspanender oder spanloser Fertigung benötigt. In beiden Fällen müssen die verwendeten Öle sowohl schmieren als auch kühlen, d. h. sie müssen beim zerspanenden Arbeitsvorgang für einen guten Spanablauf sorgen, sowie die beim Abtrennen der Späne entstehende Wärme abführen und damit die Schneidfähigkeit des Werkzeuges erhalten. Bei der spanlosen Verformungsarbeit muß das Schmiermittel besonders gut schmieren, um das Werkzeug vor Verschleiß zu schützen und Riefenbildung auf dem Werkstück zu vermeiden.

Man unterscheidet:

Schneidöle, mit Wasser nicht mischbar (dünnflüssig);

Kühlmittelöle und Kühlmittelfette, mit Wasser vermischt zu verwenden.

I. Schneidöle. Früher wurden fette Öle, hauptsächlich Rüböl, für diesen Zweck bevorzugt. Wegen ihrer Unbeständigkeit sind sie für den neuzeitlichen Zerspanungsvorgang nicht mehr zu gebrauchen. Mineralöle haben

sich besser bewährt. Vielfach werden aber gefettete Öle benutzt, s. Abs. B II. Es gibt auch Sonderöle mit besonderer zusätzlicher chemischer Behandlung. Insbesondere für schwerste Arbeiten. Reine Mineralöle genügen im allgemeinen für die Bearbeitung von Stählen niedriger Festigkeiten und für Metalle, wie Messing, Bronze, Aluminium. Gefettete Öle werden für Stähle höherer Festigkeiten benutzt. Sonderschneidöle für Stähle höchster Festigkeiten. Gewindegewinde, Zahnradstößen, Räumen erfordern auf alle Fälle Sonderschneidöle.

II. Kühlmittelöle und Kühlmittelfette haben größere Kühlwirkung, aber geringere Schmierwirkung als reine Schneidöle: Das verwendete Wasser soll möglichst weich sein; sonst wird Mischung (Emulsion) nicht gut und nicht haltbar. Mischungsverhältnis zwischen Wasser und Öl richtet sich nach dem jeweiligen Arbeitsvorgang. Im allgemeinen verwendetes Mischungsverhältnis ist: 1 Teil Öl auf 10 Teile Wasser. Bei Stählen niedriger Festigkeit oder bei Metallen: 1 Teil Öl auf 20 bis 30 Teile Wasser. Bei Schleifarbeiten sogar 1 : 50. Auch Blechzieharbeiten werden häufig mit Kühlmittel-Emulsionen durchgeführt.

J. Härte- und Anlaßöle.

In der Härterei dienen die Mineralöle bei dem Abschreckvorgang zum Wärmeentzug oder zum Erwärmen auf die Anlaßtemperatur.

Man unterscheidet:

Härteöle, Zähflüssigkeit meist 4 bis 5 E/50°;

Anlaßöle, zähflüssige Öle 4 bis 6 E/100°.

I. Härteöl. Am besten bewähren sich auch hier reine Mineralöle. Beständigkeit des Öles ist in diesem Falle sehr wichtig. Bei Salzbadhärtung sind besonders beständige Öle nötig, da das Salz, das mit den Werkstücken in das Öl gebracht wird, dieses stark angreift. Abschreckölbäder sollten nicht mit Preßluft umgewälzt oder gekühlt werden, da der Luftsauerstoff die Öle ungünstig beeinflusst („altert“). Mechanische Umwälzung bevorzugen. Blankhärteöle lassen die Werkstücke frei von dem sonst entstehenden angebrannten Ölüberzug.

II. Anlaßöl. Ebenfalls reines Öl nötig. Anlaßöl muß besonders wärmebeständig sein. Da Anlaßtemperaturen hoch liegen, kommen nur sehr zähflüssige Öle in Betracht.

K. Ölerhaltung und Ölpflege.

Kein Öl in den Betrieben unbeachtet verkommen lassen! Altöle sachgemäß sammeln, aufspeichern und wieder aufarbeiten. Keine verschiedenartigen Öle miteinander vermischen.

Mineralöle kann man schonen, wenn die Ölfüllungen in Lagern, Getrieben, Turbinen usw. keinen zu hohen örtlichen Überhitzungen ausgesetzt werden. Entsprechende Schutzmaßnahmen sind vorzusehen. Eine Schonung kann auch erzielt werden, wenn diese Ölfüllungen, insbesondere bei Umlaufschmierungen, nicht zu klein gehalten werden. Ölfüllungen können auch geschont werden, wenn man sie von Zeit zu Zeit von Alterungsstoffen und Fremdkörpern befreit (Schleudern, Filtern) und auch die Ölwege gut reinigt.

Nicht nur die Öle, auch die geschmierten Lager und Maschinen werden dadurch länger betriebsfähig erhalten.

Schrifttum.

Reuschle: Schmierung. München 27: Carl Hanser Verlag. — Krekeler: Schmierung. Berlin: Julius Springer.

Schweißtechnik.

A. Einteilung der Schweißungen.

Grundsätzlich sind zu unterscheiden:

I. Preßschweißungen,

bei denen die hoch erhitzten, aber nicht teigigen oder flüssigen, sondern nur plastischen Teile der Werkstücke unter Druck zusammengefügt werden und

II. Schmelzschweißungen,

bei denen die Kanten der zu verbindenden Werkstücke aufgeschmolzen und durch eingeschmolzenen Zusatzwerkstoff vereinigt werden.

B. Arten der Schweißungen.

I. Hammerschweißung (Preßschweißung).

Älteste Form der Schweißung. Heute nur noch gelegentlich bei Nickel und Aluminium angewendet.

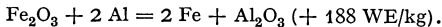
II. Wassergasschweißung (Preßschweißung).

Anwendung nur, wo noch Anlagen vorhanden. Wassergas ($H_2 + CO$) wird in großen Schamottbrennern unter Zugabe von Luft verbrannt und zur Erhitzung der Werkstücke benutzt. Eigentliche Schweißung dann durch Handhämmer oder Druckrollen.

III. Thermiterschweißung

(Verschiedene Verfahren, teils Preß-, teils Schmelzschweißung).

Nur noch für Schienenverbindung. Ausführung durch Fachfirmen. Thermitreaktion:



IV. Gasschmelzschweißung (Autogenschweißung).

Brenner für Brenngas und reinen Sauerstoff wird zum Aufschmelzen der Werkstückkanten und des Zusatzdrahtes benutzt. Bei der Ausführung der Schweißung unterscheidet man Rechts- und Linksschweißung (Abb. Sch 1

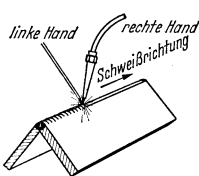


Abb. Sch 1. Rechtsschweißung.

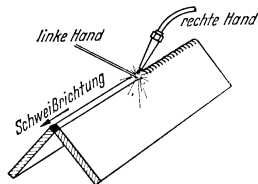


Abb. Sch 2. Linksschweißung.

u. Sch 2.) Die Linksschweißung ist handwerklich etwas leichter und meist dem Aussehen nach besser, die Rechtsschweißung dagegen im allgemeinen wirtschaftlicher und hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften besser.

a) Gase.

Flammentemperaturen bei Verwendung von reinem Sauerstoff.

Brenngas	Höchsttemperatur ° C	Anwendbar für Stahlblech bis mm
Leuchtgas	1700	3
Wasserstoff	1900	7
Methan	2000	7
Blaugas	2300	8
Benzol	2700	12
Azetylen	3200	50

Heute wird fast ausschließlich Azetylen benutzt, das entweder Entwicklern oder Flaschen entnommen wird.

1. Entwickler-Azetylen. Bewegliche oder ortsfeste Anlagen, in denen Kalziumkarbid und Wasser zu Azetylen und Kalkschlamm umgewandelt wird. Azetylen neigt bei höheren Drücken und Temperaturen zu explosivem Zerfall. Daher im Betrieb höchstens 1,5 atü.

Niederdruckentwickler: 0,02 bis 0,04 atü,

Mitteldruckentwickler: 0,04 bis 0,2 atü,

Hochdruckentwickler: 0,2 bis 1,5 atü.

Im Betriebe muß der Entwickler unbedingt kalt bleiben. Höchstzulässige Temperatur 60° C. Daher auf 1 kg Karbid mindestens 10 l Wasser. Der bei der Entwicklung des Azetylen entwickelte Kalkschlamm wird regelmäßig abgelassen und muß rein weiß sein. Bräunliche Färbung deutet auf Übertemperatur! Größte Vorsicht beim Reinigen der Entwickler wegen möglicher Azetylenrückstände. Azetylen und Luft sind in Mischungsverhältnissen von 3 bis 65 vH, Azetylen und Sauerstoff von 3 bis 93 vH explosiv. Keine Stahlwerkzeuge zum Abschlagen der Kalkreste. (Funkenbildung!)

2. Flaschengas (Dissousgas). Azetylen wird unter Druck von Azeton gelöst. Die Azetylenflaschen sind vollständig mit einer porösen Masse gefüllt, die Azeton enthält. Bei einem Druck von nur 15 atü faßt eine normale Flasche 6000 l Azetylen in gelöstem Zustand. Flaschengas ist reiner und sicherer, aber teurer als Entwicklergas.

3. Sauerstoff wird in Stahlflaschen geliefert, in denen er auf 150 atü verdichtet ist. Eine normale Flasche enthält 6000 l Sauerstoff. Vorsicht beim Befördern! Nicht werfen! Nicht in die Sonne stellen! Stets anketten! Kein Fett an sauerstoffführende Teile bringen!

b) Zubehör.

1. Kennfarben und Anschlüsse. Für alle technischen Gase sind zum Vermeiden von Verwechslungen Kennfarben vorgesehen, und zwar für

Sauerstoff blau,

Stickstoff grün,

Azetylen weiß,

Kohlensäure schwarz,

Wasserstoff rot,

Preßluft grau.

Die Anschlußgewinde für das Ansetzen der Reduzierventile (Druckminderer) an die Flaschen sind ebenfalls für alle Gase verschieden, teils Rechtsgewinde, teils Linksgewinde, DIN 477. Nur Azetylen macht eine Ausnahme; Azetylenventile werden mit Bügelverschluß befestigt.

2. Druckminder-Ventile (Reduzierventile) bezwecken das Herabsetzen des hohen Flaschendruckes auf den für die Brenner vorgeschriebenen Druck. Vor dem Ansetzen Dichtungen und Sauberkeit nachprüfen, Flaschenventile langsam öffnen. Plötzliches Öffnen von Sauerstoff-Flaschen kann zum Ausbrennen des Druckminderers und zu Unfällen führen. Kein Fett an sauerstoffführende Teile!!

3. Brenner. 1. Saugbrenner. In diesen saugt sich der Drucksauerstoff das notwendige Brenngas an (Injektor), Brenngas daher fast drucklos und Anwendung von Azetylniederdruckentwicklern möglich. Die Brenner neigen bei Erhitzung der Düse und des Mischrohrs zum Flammrückschlag infolge der Mischungsänderung des Gasmisches. 2. Druckbrenner. Beide Gase werden unter gleichem oder fast gleichem Druck zugeführt. Keine Mischungsänderung. Bei Verwendung von Azetylen nur Hochdruckentwickler oder Flaschengas.

4. Wasservorlage. Schutzvorrichtung gegen Flammrückschlag in die Azetylenleitung. Bei Entwicklern vorgeschrieben.

c) Flußmittel.

Während die Schweißung von Stahl ohne besondere Zusatzmittel möglich ist, erfordert die Schweißung von Gußeisen und Nichteisenmetallen sowie verschiedener Sonderstähle die Anwendung von Flußmitteln, die die Oxydation des Werkstoffs verhindern bzw. bereits gebildete Oxyde lösen sollen. Das vorgeschriebene Flußmittel muß unter allen Umständen, auch wenn die Schweißung sich scheinbar ohne dieses ausführen läßt, angewendet werden, um fehlerhafte porige Schweißnähte zu vermeiden.

d) Zeit- und Stoffaufwand bei der Gasschmelzschweißung.

Blechstärke Stahl	Zusatzdraht		Sauerstoff	Azetylen	Leistung	Zeit
	mm	Gew. kg	Durchm. mm	Liter	Liter	m/h	min/m
0,5	0,015	1	4,6	4,2	10	6
1	0,02	1,5	14	13	7,5	8
2	0,05	2	38	35	6	10
4	0,18	3	105	97	4	15
6	0,375	4	220	202	3	20
8	0,65	5	345	320	2,3	26
10	1,0	6	670	620	1,9	33
15	1,9	8	1260	1160	1,3	45
20	2,4	8	2060	1905	0,9	60
25	3,2	8	3160	2935	0,75	80
30	4,5	10	4950	4550	0,6	100
40	6,0	10	7200	6600	0,4	140
50	12,0	10	9000	8300	0,33	160

Die angegebenen Werte beziehen sich auf 1 m Schweißnaht bei der für die Blechstärke üblichen Stoßkantenbearbeitung (siehe Abb. Sch 5 bis Sch 9).

V. Brennschneiden (Autogenschneiden).

Die meisten Gas-Schweißbrenner haben eine Zusatzeinrichtung, die es erlaubt, Stahl mittels Sauerstoff zu schneiden. Ein solcher Schneidbrenner hat grundsätzlich 2 Düsen, von denen die eine ein Brenngas-Sauerstoff-Gemisch, die andere reinen Sauerstoff führt. Zunächst wird das Brenngas-

Sauerstoff-Gemisch der einen Düse (meist ringförmig um die Sauerstoffdüse angeordnet) entzündet und mit dieser Vorwärmflamme die Kante des zu schneidenden Stückes bis auf Entzündungstemperatur erwärmt (1000 bis 1200° C), dann wird der reine Sauerstoff der anderen Düse eingeschaltet, der nun den erhitzten Werkstoff rasch verbrennt. Infolge des hohen Druckes und der hohen Ausströmgeschwindigkeit des Schneid-Sauerstoffs entsteht

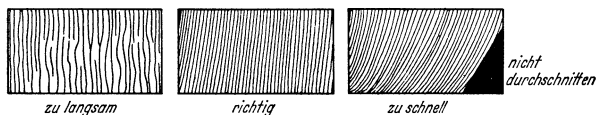


Abb. Sch 3. Schnittriefenbildung bei verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten.

ein scharf begrenzter Schnitt, wenn der Brenner über das Werkstück bewegt wird. Schneidbar ist nur Stahl, sofern er nicht zu hoch legiert ist. Die Sauberkeit des Schnittes hängt ab von Sauerstoffdruck, Düsendurchmesser, Schnittgeschwindigkeit (Abb. Sch 3), Einstellung der Vorwärmung, Reinheit des Sauerstoffs. Mit reinstem Sauerstoff und der höchsten einwandfrei zu erreichenden Schnittgeschwindigkeit sind die Kosten der Schneidarbeit am geringsten. Genaue Schnitte lassen sich nur mit zwangsläufig gesteuerten Schneidmaschinen erreichen. Als Brenngas wird, da meist sowieso vorhanden, Azetylen benutzt, doch eignen sich Benzol und Wasserstoff wegen der größeren Tiefenwirkung der Vorwärmflamme besser zum Schneiden von besonders dicken Stücken (über 300 mm) und für Paketschnitte.

Zeit- und Stoffaufwand beim Brennschneiden je m Naht.

Blech- stärke	Sauerstoff- druck	Sauerstoff- verbrauch	Azetylen- verbrauch	Leistung	Zeit
mm	atü	Liter	Liter	m/h	min/m
5	2	50	12	24	2,5
10	3	100	15	20	3
20	3,6	210	25	17	3,5
30	4	310	35	15	4
50	4,5	560	55	12	5
75	5	900	80	10	6
100	6	1200	100	7,5	8
150	8	2100	160	6	10
200	9	3000	200	5	12
300	11	5600	320	3,8	16

VI. Lichtbogenschweißung (Schmelzschweißung).

a) Maschinen.

Die Lichtbogenschweißung nach Slavianoff läßt sich grundsätzlich sowohl mit Gleich- wie mit Wechselstrom ausführen, jedoch erfordert die Besonderheit dieses Arbeitsverfahrens besondere Stromquellen. Dafür kommen in Betracht:

1. Umformer für Gleichstrom mit beliebigem Antriebsmotor,
2. Einphasenumspanner für Wechselstromschweißung,

3. Schweißstromgleichrichter für gleichphasigen Anschluß an Drehstromnetz und Schweißung mit Gleichstrom.

b) Elektroden.

Bei der normalen Lichtbogenschweißung wird zwischen dem zu schweißenden Werkstück und dem Zusatzdraht ein Lichtbogen gezogen, wobei Werkstück und Zusatzdraht durch entsprechend kräftige Kabel mit der Stromquelle verbunden sind. Es werden verschiedene Typen von Elektroden verwendet.

1. Blanke Drähte. Nur für Gleichstrom. Draht am Minuspol. Schweißnaht fest, aber spröde und porös.

2. Seelenelektroden; auch für Wechselstrom, besser wie blanke Drähte.

3. Schwachgetauchte Elektroden; für Gleich- und Wechselstrom. Besser als blanke Drähte und Seelenelektroden.

4. Ummantelte Elektroden. α) Stark getauchte, β) gewickelte Blaubestelektroden (beide für Gleich- und Wechselstrom), γ) gewickelte Weißbestelektroden. Nur für Gleichstrom am Pluspol.

Die ummantelten Elektroden vermeiden die schädliche Aufnahme von Sauerstoff und Stickstoff aus der Luft, ermöglichen einen ruhigen und stabilen Lichtbogen und ergeben bei richtiger Verarbeitung porenfreie und zähe Nähte. Lichtbogenlänge etwa gleich Elektroden-Kerndurchmesser.

c) Allgemeines.

Die Lichtbogenschweißung hat gegenüber der Gasschmelzschweißung den Vorteil, daß die beim Schweißen auftretenden Verziehungen des Werkstückes wegen der schnelleren Wärmeentwicklung des Lichtbogens geringer sind. Dagegen sind die zurückbleibenden inneren Spannungen im allgemeinen größer. Ferner kann man mit gleichem Elektrodendurchmesser beliebige Blechstärken verschweißen, insbesondere auch stark voneinander abweichende Blechstärken gleichzeitig. Beim Verschweißen verschiedener Stahlsorten miteinander muß beachtet werden, daß die Legierung der Stähle nicht zu stark voneinander abweicht, wie z. B. bei den verschiedenen Sorten des St 52.

Für die meisten Nichteisenmetalle, wie für Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium, Al-Legierungen, nichtrostende Stähle u. a. m., sind in letzter Zeit ebenfalls ummantelte Elektroden entwickelt worden.

d) Schutzmaßnahmen.

Obwohl die beim Schweißen benutzten Spannungen im allgemeinen verhältnismäßig niedrig liegen, muß doch für sorgfältige Isolierung und trockenes Arbeiten gesorgt werden, da beim Zusammentreffen ungünstiger Umstände lebensgefährliche Unfälle nicht ausgeschlossen sind. Ferner erfordert die außerordentlich starke Ultraviolettstrahlung des Lichtbogens Schutz für Augen und Haut. Schweißbrillen — auch mit sehr dunklen Gläsern — dürfen keinesfalls verwendet werden. Niemals ohne Schutzglas in den Lichtbogen sehen, da sonst Bindehautentzündungen des Auges auftreten, die zwar nicht gefährlich, aber sehr unangenehm und schmerzhaft sind! Stets Schutzschirm oder Helm benutzen, der das Gesicht ganz abdeckt!

e) Zeit- und Stromaufwand bei der Lichtbogenschweißung.

Blech- stärke	Elektroden- durchmesser	Mittlere Stromstärke		Reine Schweißzeit	
		blank	ummantelt	blank	ummantelt
mm	mm	Amp	Amp	min/m	min/m
3	2,5	90	85	4	3
4	3	110	95	10	9
5	4	150	125	11	10
6	4	160	150	12	10
8	4	160	150	25	20
10	4	160	150	27	25
10	5	190	165	24	21

Die angegebenen Werte gelten für die Verschweißung von Stahl, können aber nur a' Anhaltspunkte gewertet werden. Die Angabe der reinen Schweißzeit bezieht sich auf 1 m Schweißnaht.

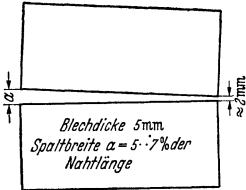


Abb. Sch 4. Ausgleichen der Verziegungen.

f) Arcatomschweißung (Schutzgasschweißung).

Zwischen zwei dünnen Wolfram-Elektroden wird ein Lichtbogen gezogen, wobei Elektroden und Schweißstelle dauernd von Wasserstoff umgeben sind, der aus zwei um die Elektroden angeordneten Ringdüsen strömt. Mit diesem Arcatom-Brenner wird ähnlich wie mit dem Gasschweißbrenner gearbeitet. Hochwertiges Arbeitsverfahren.

g) Ausgleichen der Verziegungen.

Beim Entwurf von geschweißten Teilen muß berücksichtigt werden, daß das Schweißen fast immer zu einer Verziehung des geschweißten Stückes führt. Vor dem Schweißen muß die Verziehung durch entsprechendes Zurechtlegen der Einzelteile ausgeglichen werden (Abb. Sch 4).

h) Vorbereitung, Berechnung und Ausführung von Schweißungen.

Vorbereitung von Blechen für Stumpfnähte nach Abb. Sch 5 bis Sch 9.

Die Berechnung der Stumpf- und Kehlnähte erfolgt mit einer zulässigen Spannung nach DIN 4100 (Vorschriften für geschweißte Stahlbauten).



Abb. Sch 5. Bördelnaht (bis 1,5 mm).

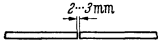


Abb. Sch 6. I-Naht (bis 5 mm).

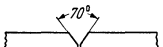


Abb. Sch 7. V-Naht (bis 15 mm).



Abb. Sch 8. X-Naht (ab 15 mm).



Abb. Sch 9. U-Naht (Kehlnaht) (ab 20 mm).

Bearbeitungen sollten möglichst nach der Schweißung, Fein- und Feinstbearbeitungen müssen nach der Schweißung ausgeführt werden. Bei jeder Konstruktion muß beachtet werden, daß durch die Anwendung des Schweißens ganz andere Voraussetzungen für den Arbeitsgang gegeben sind, und daß daher Konstruktionen, die bisher gegossen, genietet oder geschmiedet wurden, schweißgerecht neu entworfen werden müssen.

Die Schweißnähte sollen möglichst nicht gerade an die Stellen der höchsten Beanspruchung gesetzt werden. Schweißarbeiten in unbequemer Lage (z. B. überkopf) sollen vermieden werden.

i) Ausführungsbeispiele.

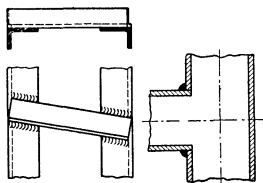


Abb. Sch 10. Nicht schweißgerecht.

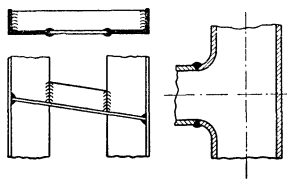


Abb. Sch 11. Schweißgerecht.

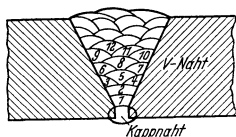


Abb. Sch 12.
Nahtfolge bei V-Naht.

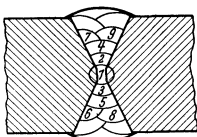


Abb. Sch 13.
Nahtfolge bei X-Naht.

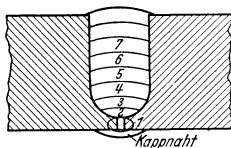


Abb. Sch 14.
Nahtfolge bei U-Naht.

VII. Widerstandsschweißung.

Der bei der Berührung zweier elektrischer Leiter auftretende Übergangswiderstand wird nach verschiedenen Verfahren zum Erwärmen und Verschweißen der Berührungsstellen benutzt.

Punktschweißung. Zum Verbinden verhältnismäßig dünner Bleche an Stelle von Einzelnieten.

Rollennahtschweißung. Zur dichten Verbindung verhältnismäßig dünner Bleche durchlaufende überlappte Punktschweißungen. Die stiftförmigen Elektroden der Punktschweißmaschine sind hier durch mechanisch angetriebene Rollen ersetzt, die für die Weiterbewegung der Bleche sorgen. Bei gleicher elektrischer Bemessung können durch Rollennahtschweißung nur wesentlich dünnere Bleche verarbeitet werden als mit der Punktschweißung. Beim Nahtschweißen von Nichteisenmetallen empfiehlt es sich, die Schweißstelle und die Elektroden während der Schweißung von außen her reichlich mit Wasser zu kühlen. Davon abgesehen werden die Elektroden der Punkt- und Nahtschweißmaschinen immer von innen wassergekühlt. Das Einschalten der Maschinen erfolgt durch Fußhebel, das Ausschalten (bzw. die fortlaufende Schaltung der Nahtschweißmaschinen) durch automatisch arbeitende Controller zum Einhalten genauer Zeiten. Für kürzeste Zeiten reichen die elektromagnetisch arbeitenden Höchststrom-Zeitrelais im allgemeinen nicht aus und müssen durch Röhrensteuergeräte ersetzt werden.

Stumpf- und Abschmelzschweißung. Zur axialen Verbindung von Profilen, heute meist mit vollselbsttätigen Maschinen. Die Stumpfschweißung gibt an der Schweißstelle einen Wulst, die Abschmelzschweißung einen scharfen Grat. Beide Verfahren werden auf der gleichen Maschine ausgeführt. Wo möglich, ist die Abschmelzschweißung vorzuziehen.

Die wichtigsten Zeichnungsnormen für Schweißnähte.

(Din 1911 und 1912 gekürzt.)

Benennung		maßstäbliche Darstellung		Sinnbild	
<i>Bördelnaht</i>					
<i>Stumpfnaht</i>	<i>I-Naht</i>				
	<i>V-Naht</i>				
	<i>X-Naht</i>				
<i>Kehlnaht</i>	<i>überwölbte Kehlnaht durchlaufend</i>				
	<i>flache Kehlnaht durchlaufend</i>				
	<i>hohle Kehlnaht durchlaufend</i>				
<i>Kehlnaht</i>	<i>überwölbte Kehlnaht unterbrochen</i>				
	<i>hohle Kehlnaht unterbrochen</i>				
	<i>überwölbte Kehlnaht zickzack</i>				

Die wichtigsten Zeichnungsnormen für Schweißnähte.

(DIN 1911 und 1912 gekürzt.)

Benennung	maßstäbliche Darstellung	Sinnbild
<i>Stirnstoß</i>		
<i>Kehlnaht einseitig</i>		
<i>Überlappter Stoß, durchlaufende Naht</i>		
<i>Kehlnaht einseitig</i>		
<i>Kehlnaht zweiseitig</i>		
<i>Überlappter Stoß, unterbrochene Naht</i>		
<i>Kehlnaht einseitig</i>		
<i>Kehlnaht zweiseitig</i>		
<i>T-Stoß, durchlaufende Naht</i>		
<i>Kehlnaht einseitig</i>		
<i>Kehlnaht zweiseitig</i>		
<i>T-Stoß, unterbrochene Naht</i>		
<i>Kehlnaht einseitig</i>		
<i>Kehlnaht zweiseitig</i>		
<i>Kehlnaht zickzack</i>		

Schrifttum.

Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik (Bd. I: Gas-Schw., 3. Aufl. 1938; Bd. II: Elektro-Schw., 2. Aufl. 1935). Berlin: Julius Springer.
 Kautny-Holler: Leitfaden für Azetylschweißer. 13. Aufl. 1938.
 Meller: Handbuch der Lichtbogenschweißung. 1935.
 Meller: Taschenbuch der Lichtbogenschweißung. 1937.
 Zeitschriften: Autogene Metallbearbeitung, Elektroschweißung.

Verzeichnis der bisher erschienenen DIN-Blätter der Schweißtechnik.

DIN-Blatt	Gegenstand	DIN-Blatt	Gegenstand
1901	Schläuche	1912	Schmelzschweißung, Zeichnungsnormen
1902	Feste Schlauchtüllen	1913	Lieferbedingungen für Zusatzwerkstoff
1903	Lösbare Schlauchtüllen und Anschlüsse	1914	Richtlinien für Röntgenprüfung
1904	Schweißbrenner	4100	Vorschriften für geschweißte Stahlbauten
1905	Schneidbrenner (Ringdüsenbrenner)	4101	Vorschriften für geschweißte Straßenbrücken
1906	Druckminderer	4647	Strahlungsschutz
1907	Manometer	4664	Stahlflaschen für verdichtete Gase
1908	Lösbare Schlauchtüllen für Druckminderer	4666	Stahlflaschen für Azetylen
1909	Anschlußbügel für Azetylenflaschen	4671	Flaschenkennzeichnung
1910	Begriffe und Arten des Schweißens		
1911	Widerstandsschweißung, Zeichnungsnormen		

Einätzen von Schriften in Metall.

Die mit Schrift zu versehenen Fläche ist mit Benzin oder Terpentin von etwa anhaftendem Fette zu reinigen. Je glatter und blanker die Fläche ist, desto besser fällt die Ätzung aus.

Die gereinigte Fläche wird mit einem Ätzgrunde überdeckt, der aus feinstem Asphalt und gelbem Bienenwachs besteht. Diese werden in etwa gleichen Teilen zusammengeschmolzen unter Zusatz von Terpentin, bis die Masse in kaltem Zustande streichtfähig ist (Vorsicht, da sehr feuergefährlich). Neigt der Ätzgrund zum Abspringen, so enthält er zuviel Asphalt; bleibt er zu weich, so ist zu viel Wachs zugesetzt. Die Erhärtung des aufgebrachtten Ätzgrundes kann durch kaltes Wasser (Eintauchen oder Übergießen) beschleunigt werden. Wird von dem Zusatz von Terpentinöl Abstand genommen, so erstarrt die Masse beim Erkalten und muß zum Gebrauch mit etwas Terpentin oder Benzin zur Lösung gebracht werden. Das Auftragen muß mit einem Pinsel sehr gleichmäßig erfolgen.

In den Ätzgrund wird mit Hilfe einer nicht zu spitzen Reißnadel die Schrift so eingeritzt, daß das blanke Metall sichtbar ist. Schattenstriche werden durch mehrmaliges Nachfahren erzielt. Sehr gut eignen sich für die Beschriftung auch die nach Schablonen mit Hilfe eines Pantographen arbeitenden Graviermaschinen, in die an Stelle des Fräasers ein Stahlstift eingesetzt wird.

Um ein Abfließen der Ätzflüssigkeit zu verhindern, wird die zu behandelnde Fläche mit einem Rande aus Wachs oder Plastilin umgeben.

Als Ätzflüssigkeit sind zu empfehlen:

- Salpetersäure rein oder mit geringem Wasserzusatz oder
- Quecksilbersublimat mit Wasser in einer Flasche angesetzt.

Es kann so lange Wasser nachgefüllt werden, als ungelöstes Sublimat am Boden der Flasche ist.

Das Aufbringen der Ätzflüssigkeit geschieht vorteilhaft mit einem Tropfglas. Die nötige Wirkungsdauer hängt von der Härte des Metalles und der Art und Verdünnung der angewendeten Flüssigkeit ab. Sublimat z. B. ätzt weichen Stahl genügend tief in etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde, harten Stahl in etwa der doppelten Zeit. Salpetersäure beansprucht ungefähr die halbe Zeit. Der Grad der Einwirkung kann an der Menge der losgelösten Metallteilchen beurteilt werden. Während des Ätzens sich bildende Gasblasen sind durch einen weichen Gegenstand (Federtahne) zu entfernen, wobei eine Verletzung des Ätzgrundes zu vermeiden ist.

Nach Beendigung der Ätzung wird der Ätzgrund mit Terpentinöl abgewaschen.

Drehen.

Für das wirtschaftliche Drehen sind eine große Anzahl von Einflußpunkten zu beachten. In erster Linie stehen:

der Spanquerschnitt,	die Drehbank und
die Schnittgeschwindigkeit,	das Werkzeug (Drehstahl).

A. Spanquerschnitt.

Der Spanquerschnitt richtet sich nach der zulässigen Schnittkraft und nach der Bearbeitungszugabe. Die Gesamtschnittkraft wird zweckmäßig zerlegt in die drei Komponenten: Hauptschnittkraft H in Richtung der Schnittbewegung, Vorschubkraft V in Richtung des Vorschubes und Rückkraft R in Richtung des Meißelschaftes, Abb. D 1. V ist bei scharfer Schneide etwa $H/8$ bis $H/4$, R etwa $H/3$ bis $H/2$. Für die Bestimmung der Leistung ist nur die Hauptschnittkraft H von Bedeutung. Sie ist abhängig von dem spezifischen Schnittwiderstand k_s und dem Spanquerschnitt f . $H = f \cdot k_s$. Dieser wieder setzt sich zusammen aus Schnitttiefe a und Vorschub s , bleibt aber wegen der Spitzenabrundung immer etwas kleiner als $a \cdot s = b \cdot d$

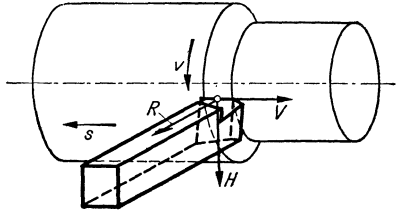


Abb. D 1. Kräfte am Drehstahl. H Hauptschnittkraft, V Vorschubkraft, R Rückkraft v Schnittgeschwindigkeit, s Vorschub je Umdrehung.

(s. Abb. D 2). Je größer der Abrundungshalbmesser und je größer der Vorschub s ist, desto kleiner wird der wirkliche Spanquerschnitt und desto größer der am Werkstück haftenbleibende sogenannte Restquerschnitt.

Der spezifische Schnittwiderstand k_s für einen bestimmten Werkstoff stellt die Kraft dar, die zu überwinden ist, um 1 mm^2 Querschnitt eines Drehspans abzuheben. k_s ist um so größer, je höher die Härte, Festigkeit und Zähigkeit des betreffenden Werkstoffes ist. Beeinflußt wird die spezifische Hauptschnittkraft auch von der Bogenspanndicke ¹⁾ $m = \frac{s \cdot a}{l}$, das

ist das Verhältnis des Spanquerschnittes $f = s \cdot a$ zur Schnittbogenlänge l (s. Abb. D 2). Je größer das umgekehrte Verhältnis $\frac{l}{s \cdot a}$, d. h. je größer die Schnittlinie zur Spanfläche wird, je feiner die Späne werden, desto größer wird der spezifische Schnittwiderstand und damit die zur Abtrennung des Spanes aufzuwendende Leistung.

Soll also der geringste Schnittwiderstand herrschen, muß demnach eine quadratische oder gleichseitig rhombische Querschnittsform gewählt werden. Dieser Gesichtspunkt steht indes in den wenigsten Fällen im Vordergrund.

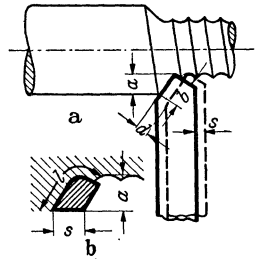


Abb. D 2 a und b. Spanquerschnitt und Restquerschnitt. a Schnitttiefe, b Spanbreite, d Spanndicke, s Vorschub je Umdrehung, l Schnittbogenlänge.

¹⁾ Siehe auch Friedrich: Z. VDI 1909 S. 860 – AWF-Betr.Bl. 121a u. 121b.

Für überschlägige Rechnungen setze man $k_s = 3$ bis $4 \cdot \sigma_B$ (Zerreißfestigkeit). In der Zahlentafel 1 sind für eine Reihe von Werkstoffen die Werte für k_s für Spanquerschnitte von 1 und 5 mm² angegeben¹⁾. Aus den Zahlen sieht man, daß k_s für den gleichen Werkstoff, je nach der Größe des Spanquerschnittes, veränderlich ist. Wird a/s groß, dann erhöht sich außerdem der Schnittwiderstand und damit der Kraft- bzw. der Leistungsbedarf und umgekehrt. k_s wird auch erheblich vom Spanwinkel γ beeinflt. Siehe Abschn. D I a.

Tafel 1. Schnittkräfte bez. auf 1 mm².

Werkstoff	Spezifische Schnittkraft k_s in kg/mm bei Spanquerschnitt f in mm ²	
	$f = 1$ mm ²	$f = 5$ mm ²
St 60	$k_s = 160$ kg/mm ²	$k_s = 135$ kg/mm ²
St 70	$k_s = 190$ „	$k_s = 160$ „
VCN 35 (90–105 kg/mm ²)	$k_s = 235$ „	$k_s = 190$ „
VCN 45 (140 kg/mm ²)	$k_s = 350$ „	$k_s = 260$ „
Nichtrostender Stahl (8/13)	$k_s = 300$ „	$k_s = 250$ „
Mangan-Hartstahl (12 vH Mn)	$k_s = 480$ „	$k_s = 370$ „
Stg (50–60 kg/mm ²)	$k_s = 150$ „	$k_s = 125$ „
Ge (HB = 220 kg/mm ²)	$k_s = 200$ „	$k_s = 170$ „
Ms 58	$k_s = 75$ „	$k_s = 65$ „
Al-Cu-Mg (Duralumin)	$k_s = 80$ „	$k_s = 70$ „
G Al-Si (Silumin)	$k_s = 100$ „	$k_s = 85$ „

Einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Wahl des Spanquerschnittes hat auch die Starrheit und die Einspannmglichkeit des Werkstückes. Um Überbeanspruchungen des Werkstückes, Rattern und ungenaues Arbeiten zu vermeiden, wird man bei ungenügender Starrheit, also bei großer Länge des Werkstückes im Verhältnis zum Durchmesser, oder bei unzureichender Einspannmglichkeit entweder den Spanquerschnitt vermindern oder, wenn angängig, Setzstcke anwenden müssen.

Die Gestalt des Spanquerschnittes wird wesentlich außer von der Wahl des Vorschubes und der Schnitttiefe auch vom Einstellwinkel α des Stahles zur Achse des Werkstückes beeinflt. Ein kleiner Einstellwinkel ergibt bei gleicher Schnitttiefe eine größere im Schnitt stehende Schneidkantenlnge und daher dünneren Span, verlängerte Standzeit des Werkzeuges, aber eine ungünstige Krafrichtung des Stahles auf das Werkstück; die Sicherheit gegen das Auftreten von Erschütterungen wird erniedrigt. Bei Verkleinerung des Einstellwinkels tritt in allen Fällen das Umgekehrte ein, s. Abb. D 3a und b.

Indessen ist meist nur für den Fall schwerer Schrupparbeit oder bei dem Drehen abgesetzter Werkstücke aus dem Vollen die Wahl des Querschnittes, namentlich hinsichtlich der Schnitttiefe, frei. Diese ist bei der heute vorherrschenden geringen Bearbeitungszugabe meist gegeben. Es empfiehlt sich hierbei jedoch nicht, zum Erreichen eines größeren Spanquerschnittes aus den oben angegebenen Gründen große Vorschübe zu wählen. Es werden in neuerer Zeit auch beim Schruppen die kleineren Spanquerschnitte zum Erreichen erschütterungsfreien Laufes und zur Schonung der Drehbänke unter Ausnutzung der stark verbesserten Werkzeuggte und dementsprechend erhöhter Schnittgeschwindigkeit namentlich an Revolverdrehbänken

¹⁾ Die Zahlen sind aus der Gemeinschaftsarbeit verschiedener Ausschüsse und Versuchsfelder entstanden.

und Automaten bevorzugt. Die geringfügige Erhöhung des Leistungsverbrauches spielt keine Rolle. Der durch die Wahl des feinen Querschnittes entstehende Verlust an Fertigstellungszeit wird durch Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit und Verbesserung der Oberfläche mehr als ausgeglichen.

B. Schnittgeschwindigkeit.

Die Wahl der Schnittgeschwindigkeit hängt hauptsächlich von folgenden Punkten ab:

1. von der Festigkeit und anderen physikalischen und chemischen Eigenschaften des zu schneidenden Werkstoffes;
2. von der Querschnittsform (Vorschub und Schnitttiefe) des Spanes;
3. von der Abnutzung, dem Festigkeits- und Gütegrad, der gewählten Drehzeit und der Form und dem Anschliff des Drehmeißels;
4. von der Art und Starrheit, den Drehzahlen der Spindel und den Vorschubgrößen der Drehbank;
5. von der geforderten Oberflächengüte;
6. von der Menge und Art der zugeführten Schneidflüssigkeit;
7. von der Starrheit des Werkstückes:

Durchmesser : Länge.

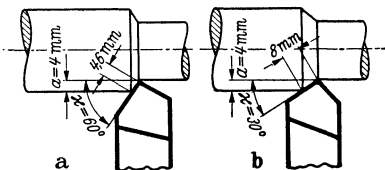


Abb. D 3 a und b. Einstellwinkel und Schnittkantentiefe bei gleicher Schnitttiefe $\alpha = 4 \text{ mm}$. Bei $\xi = 60^\circ$ wird $4,6 \text{ mm}$, bei $\xi = 30^\circ$ wird $8,0 \text{ mm}$.

I. Festigkeit.

Je höher die Festigkeit (Härte) und Dehnung und je geringer die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes ist, desto geringer muß man die Schnittgeschwindigkeit wählen.

II. Spanquerschnitt.

Je größer die Schnitttiefe und geringer der Vorschub für den gleichen Querschnitt gewählt wird, desto mehr wird wegen der längeren unter Schnitt stehenden Kante der Drehmeißel geschont, desto höher kann demnach die Schnittgeschwindigkeit für die gleiche Drehzeit sein (s. Abb. D 3 a und b).

III. Standzeit des Werkzeuges.

Standzeit ist die Zeit bis zum Unbrauchbarwerden des Drehmeißels.

Das sogenannte Erliegen (Ausgeben, Abnutzung bis zum Unbrauchbarwerden) beendet die Standzeit der Drehmeißel. Es ist gekennzeichnet:

- α) plötzliches Abschmelzen (Schnellstähle bei Bearbeitung harter Stoffe, wie übliche Baustähle, Stahlguß usw.);
- β) Bruch der Schneidkante (z. B. bei Hartmetallen, vielfach verbunden mit Funkenerscheinungen — Rundfeuer —);
- γ) Verschleiß auf der Freifläche bzw. Spanfläche (bei solchen Stoffen, die den Drehmeißel weder durch Bruch, noch durch die erzeugte Schnitttemperatur zum Erliegen bringen können — Leichtmetalle — Messing — Kunststoffe).

Wenn auch diese Arten des Erliegens vielfach allein auftreten, ist doch zu beachten, daß auch ein Zusammenwirken der verschiedenen Arten nacheinander stattfinden kann¹⁾.

¹⁾ R. Wallichs: Werkzeugverschleiß, insbesondere an Drehmeißeln. Diss. München 1938.

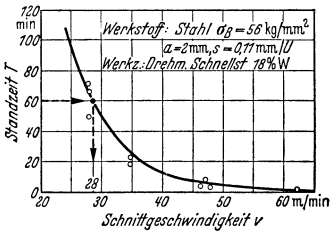


Abb. D 4. T - v -Kurve für Stahl $\sigma_B = 56 \text{ kg/mm}^2$. Drehmeißel aus Schnellstahl mit 18 vH W.
 $a = 2 \text{ mm}$, $s = 0,11 \text{ mm/U}$.

a) Beziehungen zwischen Standzeit und Schnittgeschwindigkeit.

Die Beziehung von Standzeit T und Schnittgeschwindigkeit v stellt die T - v -Kurve (Abb. D 4) dar, deren Lage und Verlauf die Wechselwirkung zwischen Werkzeug und Werkstück ausdrückt. Bei gleichförmig gehaltenem Werkstoff kann aus ihr die Leistungsfähigkeit des Drehmeißels, bei gleichem Drehmeißel die Zerspanbarkeit (Drehbarkeit) des Werkstoffes entnommen werden. Für Schrupparbeiten im Grobschnitt (herunter bis $\approx 0,5 \text{ mm/U}$

Vorschub) nimmt man die Standzeit des Drehmeißels zu 60 min^1) an und erhält als Meßgröße die hierfür zulässige Schnittgeschwindigkeit v_{60}^1).

Beispiel. Abb. D 4. Für ein Werkstück aus St 60.11 ergibt sich bei einem Vorschub von $s = 0,11 \text{ mm/U}$ und einer Schnitttiefe von $a = 2 \text{ mm}$ bei Anwendung des geraden Drehmeißels Abb. D12. eine Schnittgeschwindigkeit $v_{60} = 28 \text{ m/min}$ im trockenen Schnitt.

Aus einer Vielzahl von Grobschnittversuchen mit verschiedenen Spanquerschnitten ($a \times s$) und Werkstoffen verschiedener Festigkeit wurden für Stahl und Stahlguß, Abb. D 5, und für Gußeisen, Abb. D 6, Bestimmungstabellen für die zu wählende Schnittgeschwindigkeit v_{60} entwickelt ²⁾.

Beispiel. Es soll Gußeisen mit der Brinellziffer $H_n = 210 \text{ kg/mm}^2$ durch Drehen zerspannt werden. Auf Grund der vorliegenden Zerspanungsarbeit, Werkstückform, Maschinen-

¹⁾ Nach Vorschlägen des AWF.

²⁾ Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre an der Technischen Hochschule, Aachen. Näheres siehe Wallichs, Dabringhaus: Masch.-Bau (Der Betrieb 1930 Heft 8). Näheres über die gebräuchlichen Schnellstahlorten und die Verhältnisse ihrer Schneidleistungen, siehe Ratzpitz, Holzberger, Pollack: Die Schnittleistungen.. Stahl u. Eisen 1938 Heft 10.

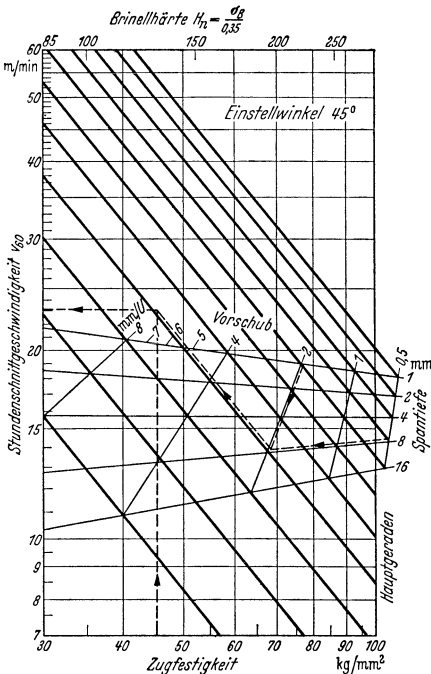


Abb. D 5. Bestimmungstafel für Schnittgeschwindigkeit v_{60} zum Schruppen werkstattüblichen Baustahles ohne Kühlung. Drehwerkzeug aus Schnellstahl etwa 18 vH W, 2,5 vH Co, 1,6 vH V.

zeugmaschinen und Betriebslehre an der Technischer Hochschule, Aachen. Näheres siehe Wallichs, Dabringhaus: Masch.-Bau (Der Betrieb 1930 Heft 8). Näheres über die gebräuchlichen Schnellstahlorten und die Verhältnisse ihrer Schneidleistungen, siehe Ratzpitz, Holzberger, Pollack: Die Schnittleistungen.. Stahl u. Eisen 1938 Heft 10.

größe usw. sind Spantiefe $a = 8$ mm, Vorschub $s = 2$ mm/U, also Nenn-Spanquerschnitt $F = 16$ mm² gewählt. Gesucht ist v_{60} , d. h. die Schnittgeschwindigkeit für die Standzeit der Schneide von 60 min.

Suche in Linientafel, Abb. D 6, in dem mit „Vorschub“ und „Spantiefe“ gekennzeichneten Hilfsnetz den Schnittpunkt der Linien $a = 8$ mm und $s = 2$ mm/U, gehe von diesem Punkt in Richtung zu den mit „Hauptgeraden“ bezeichneten schräg von links oben nach rechts unten verlaufenden Linien entlang bis an die Ordinate der betreffenden Brinellhärte 210. Von diesem Schnittpunkt geht man waagrecht nach links und liest den gesuchten Wert $v_{60} = 9,5$ m/min am linken Randmaßstab ab.

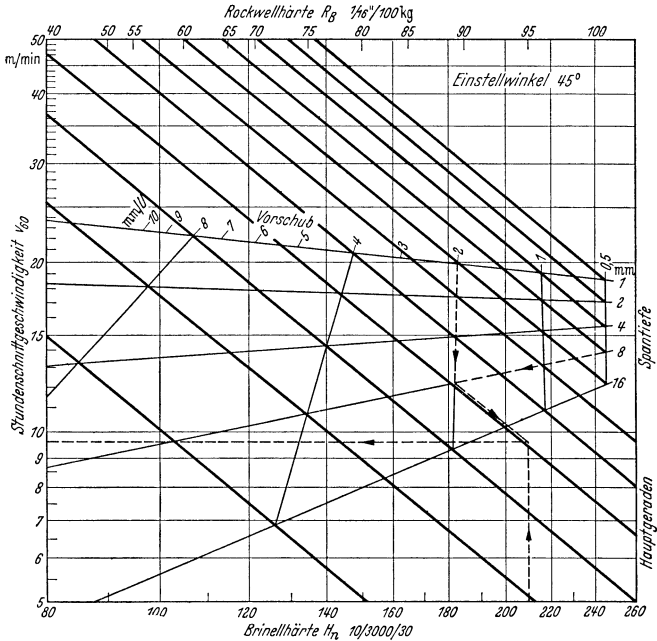


Abb. D 6. Bestimmungstafel für Schnittgeschwindigkeit v_{60} zum Schruppen werkstattüblichen Gußeisens ohne Kühlung. Drehwerkzeug aus Schnellstahl etwa 18 vH W, 2,5 vH Co, 1,6 vH V.

Bei anders legierten Schnellstahlmeißeln sind die v_{60} -Werte mit einem Umrechnungswert herunter bis 0,75 (niedrigst legiert), herauf bis auf 1,3 (höchst legiert) zu multiplizieren.

Für andere Standzeiten (z. B. 120, 240, 480 min) sind die v_{60} -Werte ebenfalls mit entsprechenden Umrechnungswerten zu multiplizieren. Als Anhalt mögen folgende Ziffern dienen:

$$v_{120} = v_{60} \cdot 8 \cdot 14 \text{ vH} = 0,92 \cdot 0,86 \cdot v_{60},$$

$$v_{240} = v_{60} \cdot 16 \cdot 28 \text{ vH} = 0,84 \cdot 0,72 \cdot v_{60},$$

$$v_{480} = v_{60} \cdot 32 \cdot 56 \text{ vH} = 0,68 \cdot 0,44 \cdot v_{60}.$$

Zahlentafel 2 (S. 301) gibt die Zusammensetzung neuer im Vergleich zu der bisheriger Schnellstähle. Die Versuche für die Bestimmungs-

tafeln, Abb. D 5 und D 6, sind mit Drehwerkzeugen der Gruppe C gefahren.

Mit Hilfe dieser beiden v_{60} -Bestimmungstafeln sind nunmehr alle Stellen des Betriebes (Zeitstudienbeamte, Vorkalkulator, Betriebsingenieur und Werkmeister) in der Lage, für ein Werkstück aus Gußeisen oder Stahl die Stundenschnittgeschwindigkeit v_{60} (für Grobschnitt) lediglich auf Grund der bekannten Festigkeit oder Brinellziffer des Werkstoffes abzugreifen.

Beim Feinschnitt, d. h. bei Spandicken unter 0,5 mm, sind die Erscheinungen und Gesetze noch nicht restlos geklärt. Für die Wahl der Schnittgeschwindigkeit beim Zerspanen von Baustählen und Gußeisen und von den in die Bestimmungstafeln nicht einbezogenen Nichteisen- und Leichtmetalle können hierbei die in den Lehrbüchern und Firmenschriften enthaltenen Grenzwerte, von denen in den Zahlentafeln 4 bis 6 (S. 305 u. 306) ein Auszug gegeben ist, einen gewissen Anhalt bieten.

In der Massenfertigung und bei Formstählen muß bei den Arbeiten auf Vielstahlbänken, Revolverbänken und Automaten die Standzeit gegenüber den v_{60} -Werten wesentlich erhöht werden. Je nach der Schwierigkeit des Stahlwechsels und der geforderten Formgenauigkeit der Werkstücke schwanken die Standzeiten zwischen einer halben, ganzen und vereinzelt auch mehreren Schichten. Die entsprechenden Arbeitsgeschwindigkeiten werden, wenn möglich, aus den T - v -Kurven als v_{120} , v_{240} , v_{480} usw. entnommen, immer unter Berücksichtigung der gegenüber dem Standzeitversuch veränderten Bedingungen hinsichtlich Meißelform und Güte, Kühlung, Erschütterungen u. a. m. und der Tatsache, daß die Zahlen der Bestimmungstafeln aus sorgfältig durchgeführten Versuchen stammen und daher als Bestwerte anzusehen sind. Entsprechende Abzüge sind auf Grund der auf den Zahlentafeln bzw. Abbildungen angegebenen Umrechnungsfaktoren zu machen. Frei ablaufender Span, ebene Spanflächen und normale, für Schrupparbeiten gebräuchliche Schneidwinkel (Abb. D 11) sind vorausgesetzt. Die Gültigkeit bezieht sich z. B. nicht auf Drehen mit Gewinde-, Form- und Abstechstählen, für welche wesentlich niedrigere Werte gelten. Ist namentlich bei Schrupparbeiten die Wahl der Spanunterteilung frei, so ergibt sich unter Benutzung der v_{60} -Werte aus der Bestimmungstafel D 5 und D 6 das größte Spanvolumen und damit die kürzeste Fertigstellungszeit bei großer Schnitttiefe und kleinem Vorschub¹⁾, weil ein solches Verhältnis die höchste Schnittgeschwindigkeit zuläßt; für die Praxis ist dies in den meisten Fällen die gegebene Richtschnur.

b) Schneidstoffe (siehe auch Abschnitte „Werkzeugstähle“, S. 222, und „Deutsche Hartmetalle“, S. 246).

Von den Werkstoffgütern der Drehmeißel sind außer dem Diamant, dem ein besonderer Abschnitt, S. 316, gewidmet ist, in Anwendung:

1. Werkzeugstahl (Kohlenstoffstahl). Nur für gewisse Sonderzwecke, z. B. Formwerkzeuge mit besonders scharfer Schneide (v klein), Gewindeschneiden u. a. m.

2. Legierte Kohlenstoffstähle. Hierzu gehören auch die gering legierten Wolframstähle, z. B. Riffelstähle.

3. Schnellstähle. Wie 2., nur mit höherem Chrom- und Wolframgehalt, weiter verbessert durch Zusätze wie Vanadium, Molybdän, Kobalt usw.

¹⁾ Wallichs-Dabringhaus: Die Zerspanbarkeit und die Festigkeitseigenschaften bei Stahl und Stahlguß. Maschinenbau/Betrieb 1930 S. 257/262.

Erhitzung beim Härten 1200 bis 1300°. Bleiben unter Schnitt selbst schwach rotglühend (etwa 600°) noch hart. Verbreitete Anwendung für den Schruppschnitt, bruchsicher, daher für Stoßbeanspruchung (unterbrochener Schnitt, Erschütterungen) geeignet. Der Wolframgehalt ist heute aus devisentechnischen Gründen behördlich auf unter 13 vH (6 V, 6 K) herabgesetzt. Die neu mit verringertem W-Gehalt herausgekommenen Sorten mit erhöhtem Zusatz von Kobalt, Vanadin, Molybdän sind in Zahlentafel 2 zusammengestellt und erreichen nach den in verschiedenen Stahlwerken vorgenommenen Versuchen die gleiche Schnittleistung wie die hochlegierten Schnellstähle. Es muß bemerkt werden, daß die neuen Mo-Stähle überhitzungsempfindlicher sind und mehr zur Ribildung neigen als die bisher verwendeten Schnellstahlsorten.

Tafel 2. Ungefähre Zusammensetzung neuer Schnellarbeitsstähle in Hundertteilen¹⁾.

Leistungsgruppe	Bisher		Wolfram-Schnellarbeitsstähle			Molybdän-Schnellarbeitsstähle		
	W	V	W	Mo	V	W	Mo	V
A	etwa bis 18	bis 0,8	10	1,0	1,0	—	—	—
B	etwa bis 18	bis 1,2	11	1,0	1,5	2,0	8,0 oder 4,0	1,2 oder 3,5
C	etwa bis 18	bis 1,8	12	1,0	2,0	—	—	—
D	etwa bis 18	über 2	12	1,0	2,7	6,0	4,5	2,7
E	13 W; 1,7 bis 5 V; bis 5 Co; bis 2 Mo.							

Bemerkungen zu A u. B: Falls der Molybdängehalt geringer ist, kann der Wolframgehalt bis auf 12 vH steigen; zu C u. D: Falls der Molybdängehalt geringer ist, kann der Wolframgehalt bis auf 13 vH steigen.

4. Hartmetalle. Die gegossenen Hartmetalle sind nicht bruchsicher, daher nur für stoßfreie Arbeit anwendbar, sie werden kaum mehr zu Schneidzwecken verwendet. Gesinterte Hartmetalle, wie Böhlerit, Miramant, Rheinit, Titanit, Widia, sind zäher und wegen ihrer hohen Schnitffähigkeit in Form aufgelöteter Plättchen immer mehr in Anwendung.

Tafel 3. Schnittgeschwindigkeit v_{240} beim Drehen von St 70 mit Hartmetall und mit Schnellarbeitsstahl²⁾.

	Vorschub mm/U	Schnittgeschwindigkeit v_{240} in m/min für eine Schnitttiefe von					Mehrleistung von Hartmetall gegenüber Schnellarbeitsstahl
		0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	
Hartmetall.....	0,10	310	300	285	—	—	} etwa 9,5-fach
Schnellarbeitsstahl.....	—	32,5	31,5	29,5	—	—	
Hartmetall.....	0,25	260	225	200	185	—	} etwa 7,5-fach
Schnellarbeitsstahl.....	—	30,5	29	27,5	25	—	
Hartmetall.....	1,0	—	—	110	101	98	} etwa 5,5-fach
Schnellarbeitsstahl.....	—	—	—	20,5	18	16	

¹⁾ Nach Rapatz: „Die Schnittleistungen...“ Stahl u. Eisen 1938 S. 265.

²⁾ Nach Rapatz, Holzberger, Pollack, Stahl und Eisen 1938. S. 265.

Für verschieden harte und verschiedenartig spanende Stoffe sind verschiedene Hartmetallsorten anzuwenden. Für harte Stähle, Weichstähle, für Gußeisen und Nichteisenmetalle und für Hartguß-Preßstoffe usw. sind für jede Art besondere Sorten entwickelt worden, über welche Näheres aus S. 246 u. f. und aus den Druckschriften der Stahlwerke zu entnehmen ist.

Die große Überlegenheit der neuzeitlichen Hartmetalle, z. B. für Automatenarbeit, geht aus den Vergleichszahlen Hartmetall zu Schnellstahl (Zahlentafel 3) hervor¹⁾.

5. Diamanten. Hierüber siehe den besonderen Abschnitt: „Der Diamant als Drehwerkzeug“, S. 316.

IV. Verschleiß des Werkzeuges beim Bearbeiten von Leichtmetallen.

Beim Schneiden von Leichtmetallen tritt normal keine Zerstörung durch Wärmewirkung, sondern nur Verschleiß des Drehmeißels auf, Abb. D7. Die Standzeit ist hierbei kein scharf umgrenzter Begriff mehr

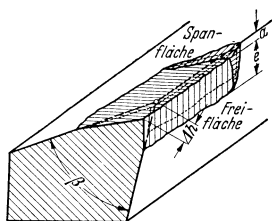


Abb. D 7. Schneidkante am Drehmeißel nach längerer Drehdauer. Ursprüngliche Form gestrichelt, eine Zwischenform gepunktet, Endform stark ausgezogen. *a* Schneidkantenversetzung SKV auf der Freifläche, *e* Verschleißmarkenbreite VB auf der Freifläche, *Δh* Zurücksetzung der Schneidkante.

wie beim Schneiden der Eisen- und Stahlsorten. Es tritt an die Stelle der Standzeit die Drehzeit für einen bestimmten Abnutungsgrad, gemessen an der Größe der auf der Freifläche des Drehstahles auftretenden Verschleißmarken²⁾. Dabei wird die Verschleißmarkenbreite VB als Meßeinheit für die Drehbarkeit des Werkstoffes angenommen, und zwar drückt sich diese als diejenige Schnittgeschwindigkeit in m/min aus, die in einer bestimmten Zeit eine bestimmte VB erzeugt. Z. B. würde die Schnittgeschwindigkeit $v_{10-0,2}$ diejenige sein, die in 10 min eine VB von 0,2 mm erzeugt. In Abb. D 8 ist die Schneidkantenversetzung und die VB mit zunehmenden Drehzeiten zu erkennen.

Die Schnittgeschwindigkeiten v_{60} der verschiedenen Werkzeugbaustoffe, ermittelt beim Schnitt von Flußstahl ($\sigma_B = 70 \text{ kg/mm}^2$) Festigkeit, verhalten sich bei den vorgenannten Sorten:

	Werkz.-Stahl	Leg.Wz.-Stahl	Schnellstahl	Hartmetall
	a	b	c	d
etwa wie	1	: 1,6	: 3,6	: 8

Beim Schneiden von Nichteisenmetallen und Leichtmetallen ergaben sich Erhöhungen $c:d$ im Mittel wie 1:6; in einzelnen Fällen (Aluminium-Kolbenlegierung) wie 1:18.

Den Verbrauch von Schnellstahl zu Hartmetall für eine gleichbleibende Zerspanungsmenge gibt Rapatz für Stahl mit 1:40 an³⁾.

¹⁾ Zusammengestellt aus den Angaben von Rapatz, Holzberger, Pollack: Stahl u. Eisen 1938 Heft 10. 10. März.

²⁾ Wallichs-Hunger: Untersuchung der Drehbarkeit von Leichtmetallen. Masch.-Bau (Der Betrieb) 1937 Heft 3/4 — Wallichs: Drehen und Zerspanbarkeit der Leichtmetalle. Werkstatt und Betrieb 1937 Heft 19/20 und 21/22.

³⁾ Rapatz, Holzberger, Pollack: Die Schnittleistungen von Schnellstählen verschiedener Zusammensetzung und von Hartmetallen. Stahl u. Eisen 1938 Heft 10 vom 10. März 1938.

V. Drehbank.

Über Auswahl der Drehbank s. Abschnitt „Die Drehbank“, über Drehzahlen s. Kapitel „Stufung, Normzahlen, Normdrehzahlen“.

Zwischen Drehzahl n in U/min, der Schnittgeschwindigkeit v in m/min und dem Drehdurchmesser d in m besteht die einfache Beziehung $v = d \cdot \pi \cdot n$ m/min. Aus dem Sägediagramm v/d , Abb. D 9, erscheinen die Drehzahl-

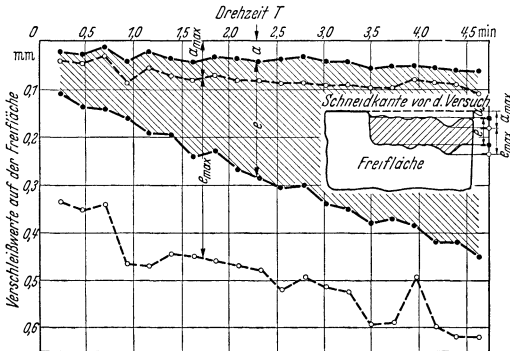


Abb. D 8. Verschleißwerte auf der Freifläche eines Schnellstahl-Drehmeißels in Abhängigkeit von der Drehzeit. Werkstoff Leichtmetall Al-Mg-Si. Schnittgeschwindigkeit $v = 1000$ m/min. Spanquerschnitt $f = a \cdot s = 2,0 \cdot 0,2 = 0,4$ mm². Kühlung Mineralöl MA 21. a Schneidkantenversetzung SKV, ϵ mittlere Verschleißmarkenbreite VB.

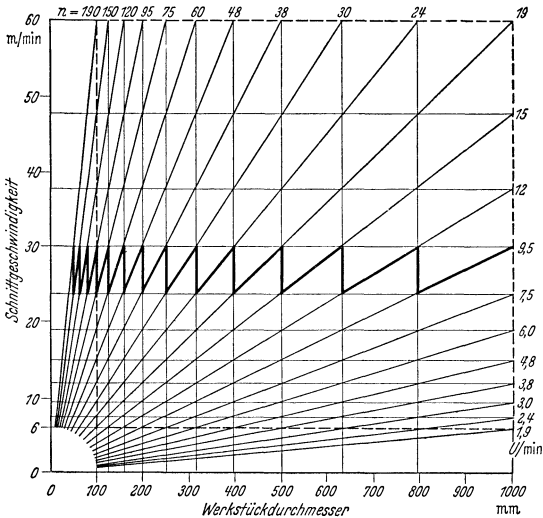


Abb. D 9. Sägediagramm für die Bereiche $d = 100$ bis 1000 mm, $v = 6$ bis 60 m/min und $n = 1,9$ bis 190 U/min bei einem Stufensprung $\varphi = 1,26$.

linien für verschiedene n (Stufenschaltungen) als gerade Linien. Die einzelnen Drehzahlen bilden in den neueren Maschinen meist annähernd eine geometrische Reihe. Je feiner die Stufung der Drehzahlen ist, desto genauer läßt sich für einen bestimmten Durchmesser die gewünschte Schnittgeschwindigkeit einstellen. Für jede Drehbank mit gestuften Drehzahlen sollte ein Schaubild oder Zahlentafel zum Ablesen von n bei gegebenem d und v greifbar sein.

VI. Oberflächengüte.

Siehe hierfür auch Abschnitt „Feinstbearbeitung“.

Wird bereits im Drehvorgang eine Oberfläche mit geringer Rauigkeit verlangt, welche Forderung namentlich bei Automatenarbeit aufgestellt wird, so sind folgende Bedingungen zu erfüllen: Spindellagerung mit geringstem Spiel, erschütterungsfreier Lauf, also in Gestalt und Einspannung starre und gut ausgewuchtete Werkstücke, feinsten Vorschub, geringe Schnitttiefe, hohe Schnittgeschwindigkeit, bestgeeignetes Kühl- und Schmiermittel. Als Drehwerkzeug ist gesintertes Hartmetall oder Diamant mit fast achsenparalleler Nebenschneide (2°) zu bevorzugen. Von den drei Grundformen der Entstehung des Spanes an der Spanwurzel: Reißspan, Scherspan und Fließspan¹⁾ muß beim Drehen von Stahlsorten der Fließspan durch hohe Schnittgeschwindigkeit und feinen Vorschub erreicht werden. Hierbei verschwindet auch der schlimmste Feind einer guten Oberfläche, die Bildung der sogenannten Aufbauschneide, auch Schneidenansatz genannt.

Im Mittel liegt die Grenze, über welche keine Aufbauschneide mehr auftritt, für C-Stahl bei $v = 70$ bis 120 m/min. Bei Nichteisenmetallen, namentlich bei den Leichtmetallen, konnten bisher keine Grenzen mit Sicherheit festgestellt werden.

Bei Gußeisen aller Art und Gußlegierungen der Nichteisenmetalle, also bei allen Werkstoffen mit bröckelnder Spanbildung, tritt im allgemeinen keine Aufbauschneide ein. Doch verhindert hier häufig das Ausbrechen kleinster Teile beim Drehschnitt die Bildung einer ganz glatten Oberfläche.

VII. Kühlen und Schmieren.

Die Anwendung von Schneidflüssigkeiten beim Drehen zum Kühlen und Schmieren, unter Umständen auch zur Spanabfuhr, empfiehlt sich für die meisten Werkstoffe und Werkzeuge zur Erhöhung der Standzeit der Drehmeißel, beim Schlichten außerdem zur Erhöhung der Oberflächenglätte. Ausgenommen sind wegen Brandgefahr die Magnesiumlegierungen (Elektron), die nicht mit Wasser, wohl aber mit einer 4 % igen wässrigen Natronfluoridlösung oder mit einer ölartigen Flüssigkeit (z. B. Elektronex) zu behandeln sind. Die heute gebräuchlichen Mittel sind:

A. Schneid- und Kühllöl nach DIN 6557,

B. Bohrölemulsion = Kühlmittlemulsion nach DIN 6558,

C. dünnflüssiges, oxydationsfreies Mineralöl DIN 6541.

Für Stahl verwendet man A und B, für Gußeisen B allein; für Kupfer und dessen Legierungen B und C. Für Aluminiumlegierung A und B, in einzelnen Fällen auch Petroleum oder Seifenspirit.

Für nahezu alle Automatenarbeiten (außer Gußeisen) ist die Anwendung eines breiten Filmes der Schneidflüssigkeit (meist Automatenöl) auch zur Fortspülung der Späne zwingend.

¹⁾ Siehe auch F. Schwerd: Z. VDI 1932 S. 1257.

Im einzelnen siehe: Betriebsblatt AWF 37: Kühlen und Schmieren bei der Metallbearbeitung. Ferner Gottwein: Kühlen und Schmieren bei der Metallbearbeitung. Masch.-Bau Bd. 27 S. 221 — Zur Wirkung der Kühl- und Schmiermittel beim Abdrehen von Stahl. Ber. über betriebswiss. Arbeiten Bd. 3.

VIII. Allgemeines über Schnittgeschwindigkeit. Feinstbearbeitung der Leichtmetalle.

Die rasche Entwicklung des Schnellstahles und der Hartmetalle hat die Möglichkeit einer Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit für das Schneiden aller Metalle auf der Drehbank gebracht; doch kann diese Möglichkeit nur in beschränktem Maße ausgenutzt werden, weil nur die neuen Drehbänke für die hohen Drehzahlen eingerichtet sind, die große Zahl der langsam laufenden, aber nur ganz allmählich ausgewechselt bzw. auf hohe Drehzahlen umgeändert werden können. Anzustreben ist für die kleineren und mittleren Drehbänke diejenige Schnittgeschwindigkeit, welche bei möglichst großer Schnitttiefe und geringem Vorschub und bei Verwendung von Hartmetallschneiden die wirtschaftliche Standzeit von 60 bis 80 min¹⁾ ergibt. An schweren Drehbänken ist namentlich bei Bearbeitung roher Schmiedestücke und der harten Kruste von Stahlgußstücken niedrigere Schnittgeschwindigkeit bei entsprechend kräftigen Spanquerschnitten am Platze. Maßgebend bleibt immer die Zerspanbarkeit des Werkstückes beim Drehen. Für die gebräuchlichen Gußeisen und Stahlsorten kann für die Wahl von v gemäß Punkt 1 (S. 297) die Festigkeitsziffer bzw. die Brinellhärte bei Gebrauch der Bestimmungstafel im Grobschnitt bleiben. Für die Kupfer- und Aluminiumlegierungen sind noch keine für jede Größe und Form gültigen Festwerte vorhanden. Die in Zahlentafel 4 gegebenen Richtwerte können

Tafel 4. Grenzwerte der Schnittgeschwindigkeit v_{60} in m/min für Nichteisenmetalle beim Schruppen mit Schnellstahl mittlerer Güte.

Kupfer	Messing	Rotguß	Gußbronz.	Aluminium weich	Silumin	Alusil	Elektron
80—220	90—250	60—150	40—100	300—500	25—50	10—25	400—600

daher nur die Grenzen nach unten und oben ganz roh angeben. Für das Drehen mit Hartmetall sind die aus neueren Versuchen der Hochschulversuchsfelder in Aachen, Berlin und München stammenden Anhaltswerte in Zahlentafel 5 im Auszuge wiedergegeben. Für den Querschnitt von 0,4 mm² sind in Zahlentafel 6 die auf Grund von der Einheitsbewertung $v_{1-0,1}$ gewonnenen Vergleichszahlen einiger untersuchter Leichtmetall-Legierungen gegeben. Da diese Zahlen auf Grund sehr kurzer Drehzeiten gewonnen sind, stellen sie nur Vergleichs-, jedoch keine Arbeitswerte dar.

Da die Verarbeitung von Aluminiumlegierungen in neuer Zeit einen sehr wichtigen Zweig unserer gesamten Metallindustrie umfaßt, seien hierfür einige Hinweise gegeben:

1. Leichtmetall soll mit hoher Geschwindigkeit bei geringem Spanquerschnitt gedreht werden.
2. Der Meißelanschiff muß den Eigenarten jeder Legierung angepaßt werden. Die für die Automatenarbeit erforderliche Kurzbrüchigkeit der Späne bei den Automaten-Leichtmetallen wird fast einheitlich beim Spanwinkel $\gamma_s = 0^\circ$ erreicht.

¹⁾ Wallichs-Schöpke: Die 60 min-Standzeit als Richtwert beim Schruppdrehen. Z. VDI 1934 S. 278/280.

Tafel 5. Grenzwerte der Schnittgeschwindigkeit v_{240} in m/min für das Drehen mit Hartmetall.

Die Zahlen stellen in den oberen Grenzen Bestwerte für vierstündige Standzeit dar, die nur bei erschütterungsfreiem Lauf, unnachgiebiger Werkstück- und Werkzeug-Einspannung gelten. Den Angaben sind Spanquerschnitte von 0,04 bis 1mm² zugrunde gelegt. Genaue Werte für den einzelnen Spanquerschnitt enthalten die Richtwertblätter für Hartmetalle AWF 123 u. f.

Festigkeit kg/mm ²	S. M. Stahl			Chromnickelstahl		Stahlguß	
	bis 60	60—85	85—100	70—140	140—200	30—60	über 60
Schruppen	100—200	60—100	40—80	50—100	20—50	60—100	30—60
Schlichten	150—300	90—170	60—100	70—120	30—70	90—120	60—90

Festigkeit kg/mm ²	Aluminium-Legierung			Magnesium Legierungen	Messing
	weich	hart	Alusil		
Schruppen	bis 1500	800	40—80	bis 1800	150—400
Schlichten	bis 2000	1200	70—120	—	300—500

Festigkeit kg/mm ²	Rotguß	Gußbronze	Hartgummi	Preßmassen	Porzellan
Schruppen	300	120	200—300	50—150	6—20
Schlichten	—	200	250—350	100—250	10—30

3. Alle Werkzeuge erhalten feingeschliffene Gleitflächen für das Abgleiten der Späne und weite Spanabfluräume.

4. Die Härtebestimmung oder sonstige physikalische Prüfungen der Werkstoffe geben keinen Anhalt für den Verschleiß der Werkzeuge.

5. Sandguß wirkt sich ungünstiger auf den Verschleiß der Werkzeuge aus als Kokillenguß.

6. Gute Oberflächen können nur bei hohen Schnittgeschwindigkeiten erreicht werden.

7. Am günstigsten von allen untersuchten Werkstoffen liegen hinsichtlich der Verschleißwirkung auf das Werkzeug die Magnesium-Knetlegierungen.

8. Hartmetallwerkzeuge halten namentlich bei stark siliziumhaltigen, in Sand geformten Gußstücken länger.

9. Diamantschneiden bewähren sich für den letzten Schnitt, namentlich bei Massenfertigung.

Tafel 6. Vorläufige Drehbarkeitsziffern $v_{1-0,1}$ für einige Leichtmetallsorten in m/min.

Gruppe: Ver- suchs- Nr. $v_{1-0,1}$ m/min	Aluminium-Knet-Legierung				Mag- nesium- Knet-Le- gierung	Aluminium-Guß-Legierungen			
	Al-Cu-Mg		Al-Mg- Si	Sonder- legie- rung		Sand- guß	Sand- guß	Kokil- lenguß	Kokil- lenguß
	1	4	5	13	36	23	32	17	21
	790	180	790	1500	4250	250	35	1580	700

Näheres siehe Wallichs/Hunger „Untersuchung der Dehnbarkeit von Leichtmetallen“ Maschinenbau 16 (1937) S. 81/86.

10. Schmier- und Kühlmittel wirken günstig, namentlich geschwefeltes Öl. Treten neue Werkstoffe auf, ist die wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeit und der beste Anschliff durch Versuche festzustellen.

IX. Kurzprüfverfahren.

Für die üblichen Maschinenbaustoffe ist die Brauchbarkeit von Kurzprüfverfahren festgestellt, und zwar gilt für

a) Grobschnitt:

Für C-Stähle, legierte C-Stähle, Stahlguß die Festigkeitsziffer¹⁾, Ge (außer den Sonderformen, wie Schleuderguß, säurebeständiger Guß) die Brinellhärte,

b) Feinschnitt:

Für Automatenstähle (nur Feinschnitt) die Hauptschnittkraft²⁾ eine brauchbare Anhaltszahl.

Ferner namentlich für Feinschnitt:

das Temperaturmeßverfahren von Gottwein-Reichel³⁾,
der Plandrehversuch von W. F. Brandsma⁴⁾.

Das Spanquerschnitt-Umrechnungsverfahren nach Leyensetter⁵⁾ und R. Woxen gestattet nach Vornahme einiger Standzeitversuche für einen Spanquerschnitt die nach Vorschub, Schnitttiefe, Abrundung veränderten Spanquerschnitte mit Hilfe der Bogenspanndicke m (s. S. 295) zu bestimmen.

C. Die Drehbank.

I. Auswahl.

Für die Auswahl der Drehbänke lautet der wichtigste Grundsatz: Einteilung der Arbeit so, daß die einzelnen Gruppen der Drehbänke bezüglich der Durchmesser, Längen, Werkstoffart, Genauigkeitsgrad der Werkstücke immer eine ähnliche Dreharbeit erhalten. Drehzahl und Vorschubabstufung können dann so eng gehalten werden, daß die Einhaltung der wirtschaftlichen Arbeitsgeschwindigkeiten und Vorschübe in feinen Grenzen möglich wird. Dies führt zur Anschaffung von einfachen und daher billigen Bauarten, welche sich in der strengen Durchführung solchen Grundsatzes den Einzweckmaschinen, wie Wellen-, Bolzen-, Vielstahldrehbänken u. a. m. nähern. Zur Anpassung an die auftretenden Veränderungen in der Zusammensetzung des Auftragbestandes wird eine Ausgleichgruppe von Drehbänken mit großem Verwendungsbereich notwendig bleiben, welche auch in Ausbesserungswerkstätten und Werkzeugmachereien und überall dort, wo ein starker Wechsel der Werkstücke in Größe und Form die Regel ist, die richtige Art verkörpern.

II. Antrieb.

Der Antrieb der Drehbänke geht mehr und mehr von der Transmission zum Einzelmotor über. Die beim Übergang noch vorhandenen für Trans-

¹⁾ Wallichs-Dabringhaus: Die Zerspanbarkeit des Gußeisens im Drehvorgang. Gießerei Bd. 17 S. 1169/1177 u. 1197/1201 (1930) u. Stahl u. Eisen Bd. 51 S. 1233/1234 (1931) — Die Zerspanbarkeit und die Festigkeitseigenschaften bei Stahl und Stahlguß. Masch.-Bau (Der Betrieb) Bd. 9 Heft 8 (1930).

²⁾ Wallichs-Opitz: Die Prüfung der Zerspanbarkeit von Automatenstahl. Arch. Eisenhüttenwes. Bd. 5 Heft 5 S. 251/260 (1930/31).

³⁾ K. Gottwein: Masch.-Bau-Betrieb 1925 S. 1129. — W. Reichel: Masch.-Bau-Betrieb 1935 S. 67; 1936 S. 187.

⁴⁾ Siehe Stahl u. Eisen 1936 S. 1185/1187.

⁵⁾ Schallbroch u. Schaumann: Z. VDI 1937 S. 325.

missionsantrieb eingerichteten Drehbänke werden für die Schaltung der Drehzahlen mit Vorsatzgetrieben ausgerüstet, welche zum Erreichen der richtigen Schnittgeschwindigkeit bei wechselndem Durchmesser der Arbeitsstücke mit stufenloser Regelung der Drehzahlen und vereinzelt auch des Vorschubes (PIV-, Heynau-, Flender Variator-, Prym-Köhl-Getriebe, Ölgetriebe usw., S. 587) versehen werden, was besonders beim Plandrehen erhebliche

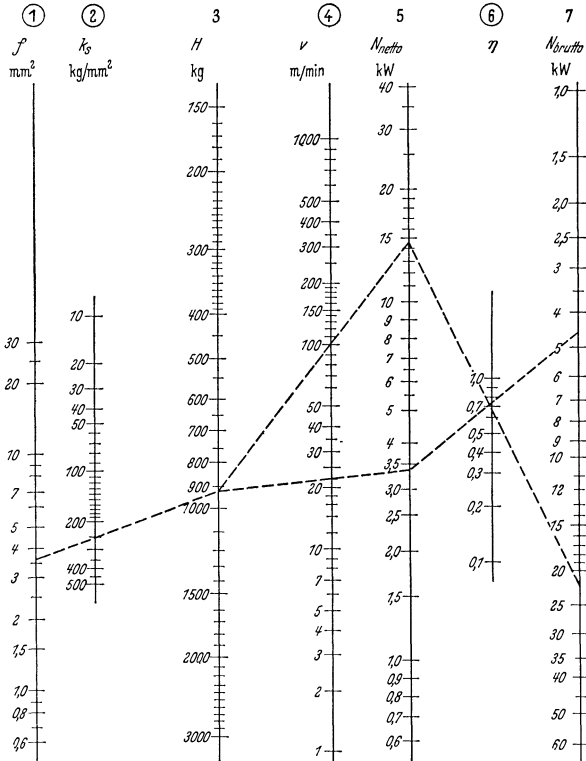


Abb. D 10. Leitertafel zum Ermitteln der Brutto-kW-Leistung an Drehbänken (Werkstattblatt 20, Carl Hanser Verlag, München 22). Fluchtgerade 1-2-3 durch f und k_s ergibt H , Fluchtgerade 3-4-5 durch H und v ergibt N_{netto} , Fluchtgerade 5-6-7 durch N_{netto} und η ergibt N_{brutto} .

Eingezeichnete Beispiele:

f	=	3,7 mm ²	3,7 mm ²
k_s	=	250 kg/mm ²	250 kg/mm ²
H	=	930 kg	930 kg
v	=	22 m/min	100 m/min
N_{netto}	=	3,3 kW	15 kW
η	=	0,75	0,65
N_{brutto}	=	4,4 kW	23 kW

(Nach Schallbroch und Schaumann.)

Vorteile bezüglich der Oberflächengüte und der Bearbeitungszeit mit sich bringt.

Die elektrische Feinstufung ist nur bei Anwendung von Gleichstrom möglich und für die große Zahl der vorhandenen Drehbereiche zu teuer. Da zudem heute Dreh- bzw. Wechselstrom vorherrscht, finden die erwähnten stufenlosen Zwischengetriebe steigende Anwendung.

Die rasche Entwicklung der Drehwerkzeuge, namentlich der Hartmetalle, führte bei kleinen Drehdurchmessern zu beträchtlicher Erhöhung der Drehzahlen an den Drehbänken bis zu $n = 8000$ U/min. Hierdurch und zur Erzielung eines besseren Spanabflusses in gefahrloser Richtung kamen Sonderbauarten als sogenannte Schnelldrehbänke bzw. Fließspanndrehbänke auf den Markt. Zur Erzeugung guter Drehbilder bei kurzer Fertigstellungszeit sind hohe Schnittgeschwindigkeiten bei erschütterungsfreiem Lauf notwendig. Erreicht wird dieses durch gute Lagerung der Spindel, unnachgiebige Stützung des Drehstahles von kräftigem Schaftquerschnitt, starres, ganz aufliegendes kastenförmiges Bett, breite Schlittenführung, sorgfältige Auswuchtung der sich drehenden Teile, entlastete Hauptspindel und als letztes Antriebsglied zur Spindel endlos geleimte oder gewebte Flachriemen oder mehrfache endlos hergestellte Keilriemen.

III. Leistung.

Aus Spanquerschnitt und Schnittdruck ($H = f \cdot k_s$) ergibt sich die am Werkstück aufzubringende Leistung:

$$N_{\text{PS}} = \frac{f \cdot k_s \cdot v}{60 \cdot 75}.$$

Da der Antriebsmotor die Reibungsarbeit der Bank mit zu überwinden hat, so finden wir die Motorleistung, indem wir die Leistung in PS durch den Wirkungsgrad der Bank teilen und dann mit dem Umrechnungswert PS/kW multiplizieren:

$$N_{\text{PS}} = \frac{f \cdot k_s \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta}, \quad N_{\text{kW}} = \frac{f \cdot k_s \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \cdot 0,736.$$

Für übliche Verhältnisse, d. h. für eine sorgfältig ausgeführte und gut geschmierte Drehbank bei einer Arbeit, welche nicht weit unter der Nennleistung des Motors liegt, gilt ein Wirkungsgrad von $\eta = 0,7$. Wird z. B. ein kleines Stück bei einem schwachen Spanquerschnitt auf einer verhältnismäßig schweren Drehbank bearbeitet, so fällt der Wirkungsgrad erheblich, zum Teil auf $\eta = 0,5$ und weniger. Man passe daher die Arbeiten möglichst der Motor-Nennleistung an. Zur Erleichterung der rechnerischen Arbeit dient die in Abb. D 10 dargestellte Leitertafel, deren Benutzung zur Errechnung der erforderlichen Bruttoleistung die gestrichelten Hilfslinien zeigen¹⁾.

Das stündlich zerspannte Volumen errechnet sich aus dem Produkt: Spanquerschnitt \times Schnittgeschwindigkeit.

Spanleistung (Volumen):

$$V = \frac{f \cdot v \cdot 60}{1000} \text{ dm}^3/\text{h}; \quad G = V \cdot 7,8 \text{ kg/h, allgemein } V \cdot \gamma \text{ kg/h,}$$

wobei f in mm^2 und v in m/min eingesetzt werden.

¹⁾ Näheres darüber Schallbroch u. Schaumann: Werkst. u. Betrieb 1936 H. 5/6.

Die vorstehende Rechnung nach der Spanleistung ist wesentlich, weil von allen erwähnten Einflußpunkten das Streben nach kürzester Fertigstellungszeit die Gesamtwirtschaftlichkeit des Werkstattbetriebes vor allen anderen Maßnahmen günstig beeinflusst. Man darf wohl in Einzelfällen die Spanleistung zurücksetzen, weil der Antriebsmotor eine im übrigen möglich höhere Spanleistung nicht zuläßt, doch darf dies kein Regelfall sein. Die Motorleistung hat sich in laufender Arbeit nach der Spanleistung zu richten und nicht umgekehrt.

D. Das Werkzeug.

I. Normale Drehmeißel.

Über den Werkstoff der Drehmeißel s. Absatz B III b „Schneidstoffe“, ferner Abschnitte „Werkzeugstähle“ und „Deutsche Hartmetalle“. Die Stahlformen hinsichtlich Schaftquerschnitt, Länge, rechte und linke Stähle, gerade, gebogene, gekröpfte und abgesetzte Stähle sind in den DIN-Blättern 768 und 4951 bis 4963 wiedergegeben. Es sei hier nur die Grundform des geraden rechten Schruppstahles, Abb. D 11, gezeigt.

a) Winkel und Flächen am Drehmeißel.

Die Winkel und Flächen sollen mit Rücksicht auf die einfache Darstellung und das Messen der Winkel bei der Anschliffarbeit für normale Drehmeißel an Drehbänken mit waagerechter Aufspannfläche unter Beziehung auf die Drehmeißel dargestellt werden. Vernachlässigt werden dabei die durch die „Überhöhung“ der Drehmeißelspitze eintretenden Winkeländerungen.

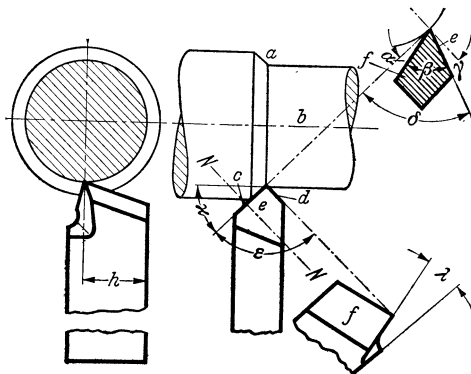


Abb. D 11. Winkel und Flächen am Werkstück und am geraden Drehmeißel. Am Werkstück: *a* Schnittfläche, *b* Arbeitsfläche; am Werkzeug: *c* Hauptschneide, *d* Nebenschneide, *e* Spanfläche, *f* Freifläche, *h* Schneidhöhe, α Freiwinkel, β Keilwinkel, γ Spanwinkel, δ Schnittwinkel, ϵ Spitzenwinkel, ζ Einstellwinkel, λ Neigungswinkel.

Bei den weiter unten behandelten, namentlich an Revolverdrehbänken und Automaten angewendeten Tangentialstählen müssen die Winkel und Flächen zur Schnittenebene in Beziehung gesetzt werden.

I. Die Flächen am Werkstück (s. Abb. D 11).

Schnittfläche *a* ist die am Werkstück tangential unmittelbar unter der Schneide entstehend gedachte Fläche.

Arbeitsfläche b ist die durch den Schneidvorgang erzeugte Oberfläche des Werkstückes. Ausgeführte Winkel und Flächen sind aus Abb. D 11 zu entnehmen.

2. Winkel und Flächen der Schneide (s. Abb. D 11).

Hauptschneide c ist die dem abzuhebenden Span zugekehrte Schneide. Nebenschneide d ist die dem abzuhebenden Span abgekehrte Schneide. Spanfläche e heißt die Fläche des Schneidkopfes, über die der Span abläuft. Freifläche f heißt die gegen die Schnittfläche gerichtete Fläche des Schneidkopfes an der Haupt- und an der Nebenschneide.

Freiwinkel α heißt der Winkel zwischen der durch die Schneidkante gelegten Vertikalebene und der Freifläche,
Keilwinkel β heißt der Winkel zwischen der Spanfläche und der Freifläche,

Spanwinkel γ heißt der Winkel zwischen der Horizontalebene und der Spanfläche.

Freiwinkel, Keilwinkel und Spanwinkel ergänzen sich zu 90° , also $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

Schnittwinkel $\delta = \alpha + \beta$ heißt der Winkel zwischen der Spanfläche und der durch die Schneidkante gelegten Vertikalebene.

Spitzenwinkel ε heißt der Winkel zwischen Haupt- und Nebenschneide in der Projektion auf die Horizontalebene.

Einstellwinkel \varkappa heißt der Winkel zwischen der Projektion der Schneidkante auf die Horizontalebene und der achsenparallelen Vertikalebene.

Neigungswinkel λ heißt der Winkel der Schneidkante gegen die Horizontalebene. Bei abfallender Schneide, d. h. wenn die Schneide nach der Spitze zu abfällt, ist der Winkel positiv.

Schneidenhöhe h heißt die Höhe von der Spitze des Stahles bis zur Auflage. Bei gekröpftem Stahl kann h auch negativ werden.

3. Die Größe der Winkel. Die Größe des Spanwinkels γ beeinflusst zunächst die Schnittkraft: Mit wachsendem Spanwinkel nimmt die Schnittkraft ab. Da aber andererseits mit wachsendem γ auch die Widerstandsfähigkeit bzw. die Lebensdauer der Schneide abnimmt (Keilwinkel wird kleiner), so muß γ um so kleiner sein, je härter und fester der Werkstoff des Werkstückes ist. Spröder Werkstoff verlangt einen besonders kleinen Winkel γ , da er unmittelbar an der Schneide zerbröckelt; für Drehmeißel mit Hartmetallschneide wird γ kleiner (bzw. Null oder negativ genommen) als für Schnellstahl und gewöhnlichen Werkzeugstahl, um die Gefahr des Ausbrechens der Kanten zu vermindern.

Für den Freiwinkel α genügen einige Grad. Ein unnötig großer Winkel schwächt den Keilwinkel und fördert das Rattern und Einhaken. Der Einstellwinkel \varkappa fördert die Lebensdauer der Schneide um so mehr, je kleiner er ist, da die Spanbreite b (Abb. D 2 u. 3) bei gegebenem Vorschub s und gegebener Schnitttiefe a um so größer, die Bogenspanndicke m um so größer ist, je kleiner \varkappa ist.

Die Schneide soll nicht allzu leicht stumpf werden, der Span soll gut ablaufen, der Stahl soll nicht rattern und einhaken, der Kraftverbrauch soll nicht groß sein. Bald steht die eine, bald die andere dieser Forderungen im Vordergrund.

Die für die verschiedenen Werkstoffe zur Normung vorgeschlagenen Winkel, die zum Teil den Deutschen Normvorschlägen (DIN 4951 bis 4963) entnommen sind, erscheinen in der Zahlentafel 7.

gemessen
in der Ebene
NN senkrecht
zur Schneid-
kante

Tafel 7. Anschliff-Winkel für normale Drehmeißel aus SS und Hartmetall.
Eingehendere Angaben für Hartmetallwerkzeuge siehe AWF Bl. 123 u. f. und Abschnitt „Deutsche Hartmetalle“.

		Weicher Stahl und Stahlguß bis 60 kg/mm ²	Stahl und Stahlguß über 70 kg/mm ²	Chromnickel-Stahl 100 kg/mm ²	Gußeisen, weich	Gußeisen, hart, Hartbronze, Hartmessing	Cu weiche Bronze
Freiwinkel	SS	8°	8°	8°	6–8°	6°	bis 14°
	Hartmetall	4–6°	4–6°	6–8°	5°	5°	10°
Spanwinkel	SS	15–20°	14°	15°	14°	0–8°	15–25°
	Hartmetall	14–18°	10–12°	12–14°	10–12°	0–5°	18–20°
		Aluminium und weiche Aluminium-Legierung	Alusil, Silumin	Automaten-Leichtmetalle	Preßstoffe	Glas gehärt. Stahl	
Freiwinkel	SS	bis 10°	6°	6–10°	6–10°	6–8°	
	Hartmetall	8°	5°	6–8°	6–8°	4–6°	
Spanwinkel	SS	bis 40°	10–18°	0–5°	18–30°		
	Hartmetall	30–35°	10–15°	0–5°	15–25°	–10°	

Die Spitzenwinkel schwanken zwischen 80 und 110°, die größeren für die harten und zähen Stoffe. Die Neigungswinkel schwanken zwischen 4 und 8°. Der Einstellwinkel wird in allen normalen Fällen zu 45° bei Schruppstählen angenommen.

b) Form der Schneidkante bei Schruppmeißeln.

Bewährt haben sich sowohl gerade Schneiden mit ganz geringer Spitzenabrundung (Abb. D 11), als auch halbrunde (Abb. D 12a), gebogene und rundnasige (Taylor-) Schneiden (Abb. D 12b), doch wird die gerade bzw. die halbrunde Schneide weit überwiegend gebraucht. Zur Schonung der Spitze erhält diese eine Abrundung, deren Halbmesser bei den geraden Schneidkanten zwischen 1 und 4 mm, bei den breitrunden Schneidkanten bis 12 mm schwankt.

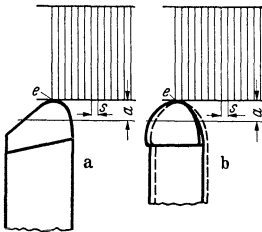


Abb. D 12. Schruppstähle mit gebogener Schneidkante. a Schnitttiefe, s Vorschub, e vorderster Schneidpunkt.

Es schneidet nicht nur die Hauptschneide, sondern auch ein kleines Stück der Nebenschneide¹⁾ (s. Abb. D 2 u. 11). Für den Einstellwinkel α der geraden Schneiden ist zwar eine geringe Größe günstig (s. oben), doch bleibt beim Drehen bis zu einem Ansatz eine um so längere Kegelfläche stehen, je kleiner α ist. Schließlich wächst mit abnehmendem α die senkrecht gegen die Achse des Werkstückes gerichtete Kraft gegenüber der Kraft in Vorschubrichtung, wodurch die Neigung des Werkstückes, durchzufedern, gefördert wird (Rattern!).

II. Sonderformen der Drehmeißel.

a) Schlichtstähle.

Wenn auch in vielen Fällen die letzte Spanabnahme zum Erreichen eines formgenauen Werkstückes mit glatter Oberfläche durch Schleifen bewerk-

¹⁾ Simon: Die Geometrie der Schneide. Werkst.-Techn. 1929 Heft 12 S. 357.

stellt wird, so nehmen doch in neuerer Zeit die Bestrebungen wieder zu, das sogenannte Maßglätten auf Drehbänken mit enggeführter Spindel und feinsten Vorschüben, herunter bis zu 0,004 m/U, durch Diamanten oder Schlichtstähle zu vollziehen. Bei den Schlichtstählen soll die Spitze mit verhältnismäßig großer Abrundung versehen sein, zum Teil wird ein gerades achsenparalleles Stück angeschliffen, welches breiter ist als das Maß des Vorschubes je Umdrehung. Besonders wichtig ist das Feinschleifen oder Läppen der Freifläche am Drehmeißel und die Anwendung eines guten Schneidöles. Siehe auch Abschnitt „Feinstbearbeitung“.

b) Die Tangentialmeißel.

Sie nehmen in ihrer Längsrichtung des Schaftes, tangential zum Werkstück liegend (s. Abb. D 13 a) die Hauptschnittkraft auf. Als Abstech-, Form- und Gewindestähle finden sie vornehmlich an Revolverbänken und Automaten, aber auch an normalen Drehbänken in sogenannten Stahlhaltern Anwendung. Der Anschliff der Schnittflächen wird bei dieser Werkzeugform besonders einfach, weil die eine Seite des Tangentialmeißels gleich in Richtung der Freifläche gelegt werden kann, die Spanfläche ist eine Querschnittsfläche des Schaftes. Sie braucht daher nicht in den Schaftkörper hineingeschliffen zu werden. Nachteilig ist, daß die Hauptschnittkraft nicht auf die Auflagefläche des Werkzeugträgers trifft, sondern durch die Reibung des Schaftes auf der Spannfläche aufgenommen werden muß. Die Tangentialmeißel kommen daher für schwere Schnitte weniger in Betracht.

c) Meißelformen und Drehvorgang an Revolverdrehbänken und Automaten.

Namentlich an den Stern- und Trommelrevolvern arbeiten die Drehstähle je nach Länge des Werkstückes und dessen Werkstoff in überhängender Einspannung oder mit Flach- bzw. Rollengegenführung. Besonders lange Werkstücke werden auf Langdreh-Automaten hergestellt, wobei die in einer Büchse geführte Werkstoffstange die Vorschubbewegung ausführt und der Schnitt unmittelbar an der Führungsbüchse erfolgt. Es werden dabei leichte Schnitte bei hoher Schnittgeschwindigkeit ausgeführt. Die Steigerung der Schnittgeschwindigkeit findet jedoch — wie bereits ausgeführt — ihre Grenze in der Forderung langer Standzeiten bei Automaten, bei Stücken geringeren Durchmessers auch in der begrenzten Drehzahl der Maschinen. Hinsichtlich der Anschliffwinkel wird vielfach die Forderung erhoben, daß bei wechselndem Werkstoff aber gleicher Form der Arbeitsstücke, z. B. von Messing oder Rotguß auf Leichtmetall, die gleichen Werkzeuge beibehalten werden müssen, d. h. in solchem Falle muß bei Leichtmetall auch mit dem für Messing günstigen Spanwinkel 0° gearbeitet werden. Dies ist zwingend bei Arbeiten mit vorhandenen Profilverkzeugen, weil das Profil nur bei einem Anschliff (meistens 0°) formgenau wird. Die Spanbildungsschwierigkeiten beim Schneiden der Leichtmetalle, das Entstehen langgelockter Späne muß ähnlich wie beim Automatenstahl durch besondere Zusätze in der Werkstoffherstellung überwunden werden¹⁾.

¹⁾ H. Opitz: Neuere Untersuchungen über die Zerspanbarkeit von Leichtmetallen, insbesondere von Automaten-Legierungen. Aluminium 1937 Nr. 3. — H. Bohner: Leichtmetall-Automaten-Legierungen auf Al-Mg-Basis. — H. Kästner: Aluminium-Automaten-Legierungen auf Al-Cu-Mg bzw. Al-Mg-Si-Basis. Aluminium 1937 März. — H. Schallbroch u. R. Wallichs: Al-Automatenlegierungen. Masch.-Bau 1938 S. 21.

d) Formstähle.

Die Formstähle sind nach ihrer äußeren Gestalt in zwei Gruppen zu scheiden: Gerade prismatische Formstähle, Abb. D 13a, und runde Formstähle, Abb. D 13b.

Die runden Formstähle, Abb. D 13b, die meist nur für schmale und mittelbreite Teile benutzt werden, haben den Vorzug der leichten Herstellung und geringen Raubeanspruchung; den Nachteil dagegen, daß ihre sichere Befestigung schwieriger ist. Die geraden Formstähle werden meist als Tangentialstähle verwendet (s. dort).

Anschleifen der Formstähle geschieht für runde wie gerade Formstähle nur an der ebenen Spanfläche (meist $\gamma = 0^\circ$). Die Werkzeuge ändern hierbei ihre Schneidenform nicht und erzeugen bis zuletzt richtige Profile.

Der Spanwinkel ist für die Bearbeitung von Eisen und Stahl meist nur klein ($\gamma = 10$ bis 15°). Bei sehr zähen und harten Stoffen wird der Spanwinkel $\gamma = 0^\circ$, oder negativ; bei Messing und Automaten-Leichtmetall-

legierungen stets $\gamma = 0^\circ$. Dagegen empfiehlt sich für Schlichtarbeiten an den meisten Werkstoffen ein größerer Spanwinkel mit Hohlkehlschliff.

Bei Kupfer, weichem Aluminium usw. und deren Legierungen wird $\gamma = 20$ bis 40° genommen.

Der Freiwinkel α schwankt zwischen 3 und 15° . Die größeren Werte (über 8°) nur bei stark schmierenden Stoffen, wie Cu. Beim runden Formmeißel entsteht der Freiwinkel dadurch, daß der Mittelpunkt des runden Formmeißels über der Werkstückachse liegt. Hierdurch flieht die Freifläche rascher von der Schnittfläche zurück. Die beiden Tangenten an Werkstück und an Formstahl bilden den Freiwinkel α , Abb. D 13b. In den meisten Fällen wird man aber den Formmeißel-Mittelpunkt auf gleiche Höhe mit der Werkstückachse setzen können. Hierdurch wird zwar der Freiwinkel α im Berührungspunkt 0° sein, doch unmittelbar unterhalb des Berührungspunktes ergibt sich aus der Rundung an Werkstück und Formstahl ein rasches Zurücktreten der Freifläche. Für sehr weiche Stoffe wird man die richtige Größe ausprobieren müssen.

Der Freiwinkel α schwankt zwischen 3 und 15° . Die größeren Werte (über 8°) nur bei stark schmierenden Stoffen, wie Cu. Beim runden Formmeißel entsteht der Freiwinkel dadurch, daß der Mittelpunkt des runden Formmeißels über der Werkstückachse liegt. Hierdurch flieht die Freifläche rascher von der Schnittfläche zurück. Die beiden Tangenten an Werkstück und an Formstahl bilden den Freiwinkel α , Abb. D 13b. In den meisten Fällen wird man aber den Formmeißel-Mittelpunkt auf gleiche Höhe mit der Werkstückachse setzen können. Hierdurch wird zwar der Freiwinkel α im Berührungspunkt 0° sein, doch unmittelbar unterhalb des Berührungspunktes ergibt sich aus der Rundung an Werkstück und Formstahl ein rasches Zurücktreten der Freifläche. Für sehr weiche Stoffe wird man die richtige Größe ausprobieren müssen.

Profilverzerrung. Das für die Herstellung der Stähle maßgebende Profil AA' , Abb. D 13a und b, senkrecht zur Formfläche beim geraden Stahl und radial beim runden Stahl, ist anders als das Profil BB' der Spanfläche, das auf das Arbeitsstück übertragen wird. Am Arbeitsstück würde also nicht genau das gewünschte Profil entstehen, wenn dieses selbst in den Formstahl eingearbeitet würde. Solange der Freiwinkel klein ist, etwa bis 5° , ist diese Verzerrung jedoch gering und zu vernachlässigen. Für größere Freiwinkel dagegen muß in den Formstahl, wenn er genau das verlangte Profil schneiden soll, ein entsprechend geändertes Profil eingearbeitet werden. Das geschieht beim runden Formstahl dadurch, daß der ihn erzeugende Profilmeißel beim Drehen um h , Abb. D 13b, unter Mitte gestellt wird, beim flachen Formstahl durch Hobeln mit einem Messer, welches das Werkstückprofil hat und um den Freiwinkel α schräggestellt wird.

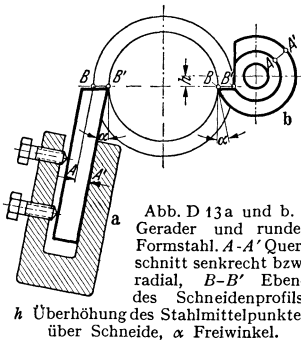


Abb. D 13a und b.
Gerader und runder
Formstahl. $A-A'$ Quer-
schnitt senkrecht bzw.
radial, $B-B'$ Ebene
des Schneidenprofils,
 h Überhöhung des Stahlmittelpunktes
über Schneide, α Freiwinkel.

Die für jeden gewählten Winkel γ erforderliche Profiländerung ist, wenn nötig, zeichnerisch zu ermitteln.

e) Meißelhalter.

Meißelhalter sind im Handel in verschiedenen Formen und Ausführungen zu haben. Ihr Hauptvorteil ist: Ersparnis an Werkzeugbaustoff dadurch, daß ein verhältnismäßig schwaches Drehmeißelstück (vielfach Einstechstahl) nur wenig aus dem Halter vorsteht. Solche in den Stahlhalter eingespannten Stähle sind leicht herzustellen und nachzuschleifen. Demnach sind an einen guten Meißelhalter folgende Anforderungen zu stellen:

1. Er muß den Form- oder Einstechmeißel sicher festhalten und bis nahe der Schneide unterstützen.

2. Er muß den Stahl so halten, daß Frei- oder Spanwinkel sich von selbst ergeben (s. Abschnitt „Tangentialmeißel“), oder doch das Nachschleifen wie auch das Nachstellen erleichtert wird.

3. Er muß starr und einfach sein (aus wenigen, nicht losen Teilen bestehen).

4. Auflage des Stahlkörpers bis zur vorderen Kante der Auflagefläche und feste Einspannung sind unerlässlich.

f) Plättchenmeißel¹⁾.

Eine besondere Gruppe von Haltern bilden die Schäfte aus Flußstahl mit aufgeschweißten oder aufgelöteten Plättchen aus Schnellstahl oder Hartmetall. Ihre Vorzüge sind:

1. Sie nutzen den Schnellstahl (bzw. das Schneidmetall) ebensogut aus wie die gewöhnlichen Halter, besser als der Vollmeißel.

2. Ihre Schruppleistung steht (wegen der guten Wärmeleitung) der der vollen Meißel nicht nach.

3. Ihr Schaft ist gegen jede Beanspruchung widerstandsfähiger als der der Vollmeißel.

Die Abb. D 14 a bis c zeigen die heute gebräuchlichsten Querschnitts- und Einsetzungsformen der Plättchen. Es kommen auch andere Querschnittsformen vor (s. DIN 771).

Die viereckigen und besonders die flachen Plättchen müssen so auf den Schaft gesetzt werden, daß ihre Spanflächen den notwendigen Spanwinkel schon vor dem Schleifen haben. Dazu ist es meist nötig, den Schaft abzusetzen und die abgesetzte Fläche zu neigen. Bei der dreieckigen Querschnittsform der Plättchen ist das weniger wichtig, weil man durch geringes Schleifen an der Spitze leicht den gewünschten Spanwinkel erhalten kann. Die dreieckige Form ist aber neuerdings fast vollständig von der eingelassenen prismatischen Plättchenform verdrängt.

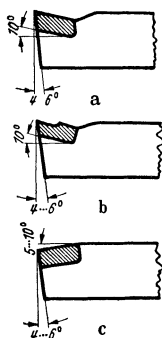


Abb. D 14 a bis c. Formen von Plättchenstäben. *a* für Cr-Ni-Stähle und Gußeisen bis 250 Brinell, *b* richtiger, spanformender Anschliff, *c* für gehärteten Schnellstahl, Glas, Porzellan.

¹⁾ Über die Herstellung und Behandlung der Plättchen siehe Abschnitte „Pfleger der Werkzeuge“, „Deutsche Hartmetalle“ und die Schriften von Fried. Krupp, Gebr. Böhler & Co., Deutsche Edelstahl-Werke usw., ferner „Hartmetallwerkzeuge“, herausgegeben vom AWF beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit.

Das Aufschweißen bzw. Löten ist nur bis zu bestimmten Stahlquerschnitten herab wirtschaftlich. Die Hartmetalle werden wegen ihres hohen Preises fast nur als Plättchen, bei ganz kleinen Dreh- und Bohrwerkzeugen als festgeschraubte oder in Blei eingebettete Einsatzstückchen verwendet.

Besonders zu beachten sind noch folgende Punkte: Die Schneiden müssen vor Stoßbeanspruchungen geschützt werden, daher lange Schneiden und kleine Vorschübe, großer Spitzenwinkel (über 90°) und großer Keilwinkel, Spanwinkel meist klein, 10 bis 12° für Chrom-Nickel-Stahl und Guß bis 200 Brinell, 0° für alle harten und zähen Stoffe, wie Mangan-Hartstahl, Hartguß, Duralumin, Silumin u. a. m., bis 10° negativ für gehärteten Stahl, Glas, Granit¹⁾.

Zu beachten ist ferner für alle Hartmetallmeißel:
Anstellen der Meißel nur bei voller Schnittgeschwindigkeit.
Abstellen nur unter Schnittauslauf.

III. Der Diamant als Drehwerkzeug.

Mit diesem härtesten Werkstoff wurden in neuerer Zeit stark wachsende Erfolge zur Erzeugung sehr formgenauer Werkstücke und vollkommen glatter Oberfläche erreicht.

Zur Bearbeitung geeignet sind Metalle, wie: Kupfer, Bronze, Bleibronze, Messing, Zink, Weißmetall, Aluminium- und Magnesiumlegierungen, Edelmetalle, sowie eine große Anzahl anderer Natur- und Kunststoffe, bei deren Bearbeitung gewöhnliche Drehstähle einer sehr raschen Abnutzung unter-

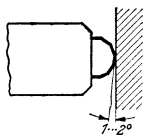


Abb. D 15. Diamant mit Facettenschliff.

worfen sind oder keine ausreichende Oberflächengüte erzielen. Stahl und Eisen sind nur in ganz bestimmten Fällen für die Bearbeitung durch Diamanten geeignet. Die großen Vorteile bei Verwendung von Diamanten als Drehwerkzeuge sind neben der hervorragenden Oberflächenbeschaffenheit, in der langen Standzeit begründet, die bei Massenfertigung große Zeit- und Geldersparnisse gestattet. In vielen Fällen lassen sich Zehntausende von Werkstücken mit einem Diamanten bearbeiten, ehe ein Nachschleifen der Schneide erforderlich

ist. Wegen der geringen Schnittkraft sind auch unterbrochene Teile ohne weiteres mit Diamantschneiden zu drehen bzw. zu bohren. Zum Einstechen von Nuten in Kolben sind entsprechend geschliffene Diamanten besonders geeignet. Sie werden seitlich verstellbar angeordnet, so daß jede Nutenbreite hergestellt werden kann. An Lagerstoffen, in denen in verhältnismäßig weichem Grundstoff harte Kristalle eingebettet sind, zerschneidet der Diamant im Gegensatz zu anderen Werkzeugen die Karbide so, daß eine spiegelglatte Lagerfläche entsteht, die von vornherein den Zustand des Eingelaufenseins hat.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Benutzung der Diamanten sind:

1. Schutz der Werkzeuge vor Stößen.
2. Sehr genaue Einstellung auf Höhe und Winkellage der Schneide zu der Drehachse.
3. Vollkommen erschütterungsfreier Lauf der Werkzeugmaschinen.

¹⁾ AWF-Mitteilungen 1938, Heft 8; Werkstatt und Betrieb 1938 S. 256.

4. Kleinstes Spiel im Hauptlager. Schmierung mit dünnflüssigem Öl (Petroleum).

5. Von sachkundigen Sonderfirmen hergestellte und wiederzugerichtete Diamantwerkzeuge.

Zu 1. Nur bei voller Geschwindigkeit in den Schnitt gehen. Vorschub zuerst ausschalten, dann erst Werkstück stillsetzen.

Kleine Spanquerschnitte! Vorschub 0,02 bis 0,15 mm/U. Schnittiefe: normal 0,005 bis 0,2 mm, für besondere Werkstoffe und Werkzeuge bis 0,6 mm.

Zu 2. Besondere Schutz- und Visierkappen zur Einstellung werden von der Firma E. Winter & Sohn, Hamburg, zu den Drehdiamanten geliefert. Schneidkante auf Mitte Drehachse, oder bis 1 vH des Werkstückdurchmessers über Mitte.

Zu 3. Als normale Dreh- bzw. Ausbohrwerkzeuge kommen die bogenförmige und Facettenform in Anwendung, aber auch jede andere spitze oder eckige Form kann für Sonderzwecke geliefert werden. Die Einstellung bei Anwendung des Facettenschliffes erfolgt so, daß die Nebenschneide unter einem Winkel von 1 bis 2° zur Oberflächenlinie im Horizontalschnitt liegt (s. Abb. 15). Besonders bewährt hat sich die von der Firma E. Winter & Sohn, Hamburg, eingeführte spannungsfreie Befestigung im Kugelsitz.

IV. Verschiedenes über alle Drehwerkzeuge.

Überhöhung der Schneidkante über Drehachsenhöhe ist nur in ganz geringer Höhe (1 vH des Werkstückdurchmessers) und nur bei Stahlbearbeitung zulässig. In allen anderen Fällen, namentlich beim Ausbohren sämtlicher Werkstoffe, muß die Schneidenhöhe genau auf der Höhe der Drehachse stehen.

Langdrehen dünner Wellen soll man möglichst mit senkrecht zur Achse stehender Schneidkante (Seitenstahl), um Durchbiegungen zu mildern.

Rotwarmwerden der Schneiden ist ein Zeichen der Überlastung. Veränderung der Anlaufarbe zu Blauviolett ist ein Zeichen der Schneidenabstumpfung. Man warte mit dem Neuanschliff nicht bis zum Ausbrechen einzelner Teile an der Schneide mit Feuererscheinung.

Zur Verhütung von Verletzungen des Drehers Sorge man durch Anschleifen einer spanabbiegenden Schulter oder Auflötung eines Spanbrechers aus Schnellstahl für das Abrollen der Späne in enggewundenen Locken.

V. Normen über Drehwerkzeuge.

Genormt sind:

Schneidstähle, Begriffe: DIN 768, Formen: DIN 4951 bis 4963.

Schneidstähle, Querschnitte DIN 770.

Aufschweißplatten: DIN 771 (Querschnitte der Walzstangen).

Revolverkopfb Bohrungen zur Aufnahme der Werkzeugschäfte in DIN 1815. Es kommen folgende Bohrungen in Frage: 12, 16, 20, (25) 26, 32, 40, 50, 60, (70) 80, (90) 100.

Bohren, Senken und Reiben.

A. Bohren.

I. Begriffsbestimmung.

Unter Bohren versteht man im allgemeinen das Ausschneiden eines runden Loches aus einem Werkstoff mit Hilfe eines sich drehenden Werkzeuges. Es kann auf drei Arten geschehen:

1. Das Werkzeug dreht und verschiebt sich, während das Werkstück feststeht (übliches Bohren).
2. Das Werkzeug steht fest und verschiebt sich, während das Werkstück sich dreht (Tieflochbohrmaschinen, Revolverbohrmaschinen).
3. Werkzeug und Werkstück drehen sich in entgegengesetzter Richtung bei vorschiebendem Werkzeug (Tieflochbohrmaschine).

Die zu verwendenden Werkzeuge sind verschiedenartig, entsprechend des Arbeitsvorganges und der Bearbeitbarkeit des Werkstoffes gestaltet. Von ihrer Bauart und Behandlung hängt die Wirtschaftlichkeit und Leistung der Arbeit ab.

II. Bearbeitbarkeit der Werkstoffe¹⁾.

Die zerspanende Arbeit der Werkstoffe ist abhängig von der Form und Art der Bohrwerkzeuge und von der Leistung der Bohrmaschine. Im allgemeinen sind in der Metallindustrie zu bearbeiten: Grauguß, Temper- und Stahlguß, schmiedbares Eisen, Messing, Rotguß, Bronze, Kupfer und alle Leichtmetalle; auch Kunststoffe und einige Gesteinsarten (Marmor, Schiefer).

Ihre mechanischen Eigenschaften, besonders Festigkeit, Härte und Dehnung, sind sehr verschieden und verlangen Beachtung bei der Konstruktion der Bohrwerkzeuge und Maschinen.

III. Spitzbohrer.

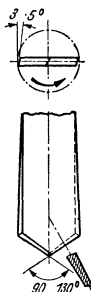


Abb. B 1.
Spitzbohrer.

Für wirtschaftliche Fertigung kommt der Spitzbohrer, die Urform des Bohrers, nicht mehr in Frage. Man verwendet ihn wohl noch für Sonderzwecke, besonders für sehr kleine Bohrer von 0,05 bis 0,2 mm. Der Schneidenwinkel kann bei sehr hartem, sprödem Werkstoff bis 130°, bei weichem Werkstoff bis 90° betragen. In der Regel wird ein Mittelwert von 116 bis 120° angewendet. Der Hinterschliff beträgt etwa 5 bis 6°. Zu großer Hinterschliff hat rasche Abnutzung der Schneiden zur Folge und verursacht Einhaken des Bohrers, zu kleiner Hinterschliff erhöht die erforderliche Vorschubkraft.

Abb. B 1 zeigt einen einfachen Spitzbohrer, Abb. B 2 einen Spitzbohrer mit Führung und Spanbrechernuten. Spanbrechernuten sind beim Bohren von großen Löchern aus dem Vollen

¹⁾ A. Wallichs: Werkstattmäßige Prüfung der Spiralbohrer und der Bohrbarkeit von Werkstoffen. Werkst. u. Betrieb Bd. 66 (1933) S. 325—330. — A. Wallichs u. W. Mendelson: Zerspanungsprüfung von Gußeisen und Stahl. Masch.-Bau Bd. 12 (1933) S. 402—404. — A. Wallichs u. H. Beutel: Spiralbohrer und Zerspanbarkeit von Stahlguß. Ber. betriebswirtsch. Arbeiten Bd. 8 (1932) S. 7. Berlin: VDI-Verlag. — A. Wallichs u. W. Mendelson: Die Bohrbarkeit des Gußeisens. Ber. betriebswirtsch. Arbeiten Bd. 8 (1932) S. 20—21. Berlin: VDI-Verlag. — St. Patkay: Bearbeitbarkeit, Bohrarbeit und Spiralbohrer. Werkst.-Technik Bd. 22 (1928) S. 677—683; Bd. 23 (1929) S. 3—10 u. 33—42. — H. Klein: Die Ausbildung der Spiralbohrerschneiden bei verschiedenen Werkstoffen. Werkst.-Techn. 1937 Heft 7 S. 123. — H. Schallbroch: Zerspanbarkeit neuzeitlicher Werkstoffe. Masch.-Bau Bd. 12 (1933) S. 237. — A. Wallichs: Bohren, Senken und Reiben der Leichtmetalle. Werkstatt und Betrieb. Bd. 71 (1938) S. 328—332.

in spröden Werkstoff (Gußeisen, Bronze usw.) zweckmäßig. Für zähen Werkstoff empfiehlt sich der Spitzbohrer mit Hohlkehle, Abb. B 3. Der Spanwinkel ist hierbei möglichst klein zu halten, weil dann die Späne kurz gebrochen und ein Verschlingen derselben und damit ein Verstopfen des Bohrloches verhindert wird; für größere Bohrungen sind auch hier zur Verringerung der Vorschubkraft Spanbrechnuten vorzusehen. Sie haben aber den Nachteil, daß der Bohrer nach mehrmaligem Nachschleifen neu geschmiedet werden muß. In allen Fällen ist es zweckmäßig, den Bohrer nach der Querschneide hin zu verjüngen, da er dort nur drückend wirkt und an dieser Stelle die größte Vorschubkraft erfordert.

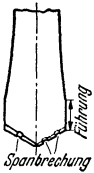


Abb. B 2. Spitzbohrer mit Spanbrechnuten.



Abb. B 3. Spitzbohrer mit günstigem Schnittwinkel durch Hohlkehlen-schliff.

Die Querschneide muß genau in der Bohrermitte liegen; bei der Ausgestaltung der Seitenschneiden (Abb. B 1) ist darauf zu achten, daß diese gleiche Schneidenlängen haben, gleich hoch liegen und mit der Bohrerachse gleiche Winkel einschließen.

IV. Allgemeines über Spiralbohrer.

Der Spiralbohrer ist der am wirtschaftlichsten arbeitende Bohrer. Er hat den großen Vorzug, daß er einen sehr günstigen Schnittwinkel an den Schneiden hat und nicht umgeschmiedet, sondern nur nachgeschliffen wird, wenn die Schneiden abgenutzt sind. Er behält bis zuletzt seinen wirksamen Durchmesser.

a) Äußere Form. Spiralbohrer werden mit zylindrischem und kegeligem Schaft nach DIN 329 bis 350 hergestellt. Der Durchmesser ist nach hinten zu etwas verjüngt, und zwar beträgt die Verjüngung bis zu 0,1 mm auf 100 mm Länge.

b) Nutenform¹⁾. Die Schneidlippen a , b des Spiralbohrers bilden Gerade, die als Berührende an einen Kreis vom Durchmesser der Kernstärke c verlaufen, Abb. B 4.

c) Drall ist der Winkel der Nuten gegen die Achsrichtung am äußeren Durchmesser. Er beträgt beim üblichen Spiralbohrer für Gußeisen und Stahl etwa $\alpha = 30^\circ$, Abb. B 5, für andere Werkstoffe, s. Abb. B 16 bis B 19, ist er je nach den Erfordernissen größer oder kleiner. Die Berechnung der Drall- oder Spiralsteigung geschieht nach der Formel

$$\text{Steigung } s = D \cdot \pi \cdot \text{ctg } \alpha \quad \text{in mm,}$$

$$s = \frac{D \cdot \pi \cdot \text{ctg } \alpha}{25 \cdot 4} \quad \text{in Zoll,}$$



Abb. B 4. Nutenform.

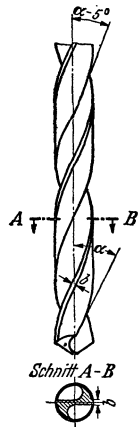


Abb. B 5. Spiralsteigung und Führungsfase.

wobei D den Außendurchmesser in mm bedeutet.

d) Kernstärke. Die Kernstärke c , Abb. B 4, beträgt an der Spitze des Bohrers bei Bohrern bis 10 mm Durchmesser etwa $0,15 D$, darüber hinaus $0,25 D$. Zur Erhöhung der Verdrehungsfestigkeit werden die Bohrer im Kern nach oben gegen den Schaft zu durch allmähliches Zurücknehmen

¹⁾ Über die Konstruktion der Fräserform für Spiralbohrernuten finden sich Angaben in der Zeitschrift für Mathematik und Physik 1909 Heft 3.

des Nutenfräasers gleichmäßig verstärkt. Um dabei mit Rücksicht auf leichten Spanabfluß ein Schmalwerden der Bohrnute zu vermeiden, wird bei gleichbleibender Fräserbreite der Drall vergrößert, oder bei gleichbleibendem Drall eine Winkelverstellung der Nutenfräser vorgenommen. Die mit der Drallvergrößerung verbundene Abnahme des Steigungswinkels bzw. die Verstellung der Nutenfräser beträgt etwa 5° für eine Bohrerumdrehung, Abb. B 5.

e) Führungsfase. Zur sicheren Führung des Bohrers im Bohrloch bleibt längs der Drallnute eine schmale Fase b stehen, Abb. B 5, die durch Hinterfräsen erzeugt wird, und deren annähernde Breite nachstehend gegeben ist:

Bohrerdurchmesser	10	20	30	40	50	60	80	100 mm
Breite der Führungsfase	1,3	2,0	2,6	3,0	3,4	3,6	3,8	4 mm

Nach dem Härten wird der Bohrer rundgeschliffen, und zwar, um schädliche Reibung zu verhindern, nach oben gegen den Schaft zu schwach verjüngt. Die Verjüngung beträgt für je 100 mm Länge etwa 0,1 mm und

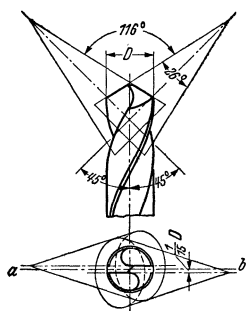


Abb. B 6. Spitzenwinkel.

hat allerdings den Nachteil, daß die Bohrlöcher mit zunehmendem Spitzenabschliff kleiner werden. Zieht man aber in Betracht, daß genau zylindrisch geschliffene Bohrer, sofern sie tiefere Löcher zu bohren haben, selten eine längere Lebensdauer haben, so wird man diesen Übelstand gern in Kauf nehmen. Die starke Erwärmung und das Knirschen arbeitender Bohrer hat neben unsachgemäßem Spitzenanschliff häufig seine Ursache in fehlender oder zu schwacher Verjüngung des Bohrerdurchmessers.

f) Spitzenwinkel¹⁾. Der Spitzenwinkel beträgt im allgemeinen 116 bis 120° , Abb. B 6. Diese Winkel stellen einen Mittelwert dar, der sowohl für harte als auch für weiche Werkstoffe befriedigende Leistungen ergibt. Für

harte und spröde Werkstoffe würde wohl ein größerer Winkel bis 130° und für weiche Werkstoffe ein kleinerer bis etwa 90° günstiger sein, doch würde für die gegebene Nutenform des normalen Spiralbohrers ein veränderter Winkel krumme Schneidlippen und dadurch eine schnellere Abnutzung bei geringerer Leistung ergeben. Auch müßten die veränderten Winkel von Hand angeschliffen werden, da die Spiralbohrerschleifmaschinen meistens auf 116° eingestellt sind, wodurch mehr Unheil als Nutzen angerichtet wird. Spitzenwinkel für die Bearbeitung spröder, zäher, weicher und sehr harter Werkstoffe siehe Sonderspiralbohrer, Abb. B 16 bis B 19.

g) Hinterschleifwinkel²⁾. Die Schneidwirkung wird durch den entsprechenden Hinterschliff erzielt. In Abb. B 7 ist die Linie $A-B$ abgewinkelt eingezeichnet. Sie entspricht der Schnittlinie der Hinterschleiffläche mit einer Zylinderfläche mit dem Außendurchmesser des Bohrers. Der Winkel β ist dann der Keil-, α der Frei-, δ der Schneid- und ε der Hinterschleifwinkel.

¹⁾ H. Klein: Die Ausbildung der Spiralbohrerschneiden für verschiedene Werkstoffe. Werkst.-Techn. 1937 Heft 5 S. 123. — H. J. Stoewer: Über verschiedene Spitzenanschliffe an Spiralbohrern. Stock-Z. Bd. 2 (1929) S. 23–25.

²⁾ A. Wallichs u. W. Mendelson: Wirtschaftliches Bohren durch richtigen Anschlag. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937, Heft 5 S. 97. — H. Schropp: Messung der Schneidwinkel am Spiralbohrer. Masch.-Bau Bd. 12 (1933) S. 427–428. — R. Sommerfeld: Über den Hinterschliff von Spiralbohrern. Heft 161 der Forsch. Ing.-Wes., herangezogen vom VDI, ferner auch Werkst.-Techn. Bd. 8 (1914) S. 258–261.

Der Winkel γ der Werkstoffoberfläche gegen die Waagerechte ergibt sich

aus $\operatorname{tg} \gamma = \frac{s}{d \cdot \pi}$. Hierin ist s der Bohrvorschub für eine Umdrehung,

d der entsprechende Bohrerdurchmesser. Bei gleichem Vorschub wird der Winkel γ nach der Mitte des Bohrers zu immer größer, s ist gleichbleibend, während d immer kleiner wird.

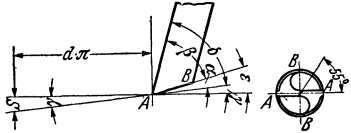


Abb. B 7. Hinterschleifwinkel und Querschneide.

Die Größe des Hinterschleifwinkels ϵ beträgt bei Bohrern üblicher Ausführung etwa 5 bis 8° am Außendurchmesser, an der Spitze über 20°. Der Hinterschleifwinkel wird mit Hilfe von Spiralbohrerschleifmaschinen erzeugt¹⁾.

h) Querschneide. Die Kante auf dem Kern an der Spitze des Bohrers, die die beiden Schneiden verbindet, heißt die Querschneide. Die Lage der Querschneide muß mit einer parallel zu den Schneidlippen gezogenen Geraden einen Winkel von 55° bilden, Abb. B 7. Jede andere Lage vergrößert die Vorschubkraft, ohne das Drehmoment wesentlich zu beeinflussen.

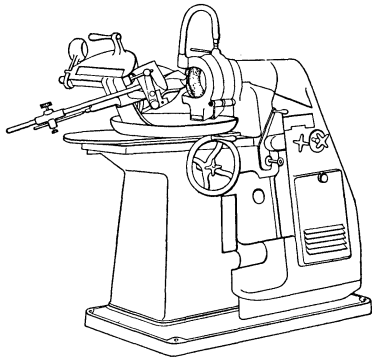


Abb. B 8. Spiralbohrerschleifmaschine für Bohrer von 10 bis 75 mm Durchmesser. Bauart R. Stock & Co., Berlin-Marienfelde.

i) Schleifen der Winkel. Die genaue Erzeugung dieser Winkel kann nur auf Spiralbohrerschleifmaschinen, z. B. Abb. B 8, geschehen. Das Schleifen von Hand ist möglichst zu vermeiden. Ungleiche Schnittlängen, Abb. B 9, und ungleiche Schnittkantwinkel, Abb. B 10, sind hierbei kaum zu vermeiden. Die Folgen sind unrunde und zu große Löcher, Anfressen der Fase und Bohrerbruch. Die Verwendung einer guten Spiralbohrerschleifmaschine ist deshalb unbedingt erforderlich. Auf der Maschine, Abb. B 8, können Bohrer von 10 bis 75 mm Durchmesser und Spitzenwinkel von 50 bis 140° geschliffen werden. Kleinere Bohrer bis 10 mm Durchmesser werden auf einer besonderen Maschine in Buchsen geschliffen, Abb. B 11.

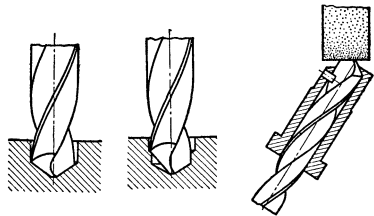


Abb. B 9 und B 10. Schlechtgeschliffene Spiralbohrer.

Abb. B 11. Buchsenhalter für Spiralbohrerschleifmaschinen aus Werkstattbuch 16, Dinneber, bis 10 mm Durchmesser

k) Ausspitzen. Der Spiralbohrer hat einen nach hinten

¹⁾ Ältere Bauarten siehe: Wallichs u. C. Barth: Werkst.-Techn. 1911 S. 615. — Neue Bauarten siehe Stock-Z. 1929 Heft 4 u. 5. — Grathwohl: Werkst.-Techn. 1929 S. 113.

verstärkten Kern, der beim Nachschleifen der Schneiden dicker wird und deshalb ausgespitzt werden muß. Der Spitzenwinkel und die Form der Ausspitzung üben einen großen Einfluß auf die Leistung des Bohrers aus.

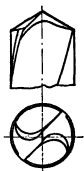


Abb. B 12.
Richtig ausgespitzter
Spiralbohrer.

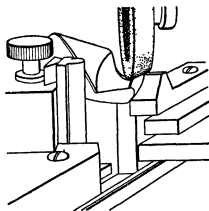


Abb. B 13. Ausspitzen eines
Spiralbohrers auf der Aus-
spitzmaschine.

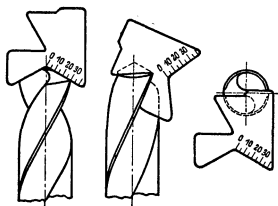


Abb. B 14. Einfache Spiralbohrer-
Schleiflehre.

Abb. B 12 zeigt einen richtig ausgespitzten Bohrer. Andere Ausspitzungen sind ungeeignet. Das Ausspitzen geschieht am besten auf Spiralbohrerausspitzmaschinen. Geschickte Schleifer können es auch von Hand vornehmen. Abb. B 13 zeigt den Bohrer in Schleifstellung bei einer Ausspitzmaschine.

1) Prüfen der Bohrer Spitze. Zum Prüfen gleichmäßigen Spitzenanschliffes sind verschiedene Prüfgeräte gangbar. Abb. B 14 zeigt eine einfache Blechlehre zum Messen des Spitzen- und Hinter-schleifwinkels und der Lage der Querschneide.

Eine andere Lehre zum Prüfen des Spitzenwinkels ist in Abb. B 15 dargestellt. Der Bohrer wird in ein Prisma eingelegt und gegen das am Ende der Lehre befindliche Dach geschoben. Abweichungen des Spitzenwinkels von der zentrischen Lage sind durch den Lichtspalt erkennbar.



Abb. B 15.
Spiralbohrer-
schleiflehre.

V. Spiralbohrer in Sonderausführung.

Sie dienen zum wirtschaftlichen Bohren von Werkstoffen, deren Bearbeitbarkeit wesentlich von der üblicher Maschinenbaustoffe (Maschinenstahl bis zu 70 kg/mm² Festigkeit und Grauguß) abweicht.

a) Spiralbohrer für Leichtmetalle und Kupfer¹⁾ (Aluminium, Silumin, Elektron und Kupfer). Für das Bohren von Leichtmetallen verwendet man Bohrer mit etwa 45° Drall und einen Spitzenwinkel von



Abb. B 16. Spiralbohrer für Aluminium
 $\alpha = 130-140^\circ$,
 $\beta = 35-45^\circ$,
 $v = 50-200$ m/min für
SS-Bohrer; Spiralbohrer für Kupfer $\alpha = 125^\circ$,
 $\beta = 35-45^\circ$,
 $v = 35-70$ m/min für
SS-Bohrer.

130 bis 140°, Abb. B 16. Die Bohrer eignen sich auch zum Bohren von Kupfer, jedoch mit einem Spitzenwinkel von 125°. Dabei ist die Schnittgeschwindigkeit zu vermindern. Für Elektron wird auch der Bohrer für

¹⁾ Werkst. u. Betrieb 1937 Heft 23/24 S. 317; 1938 Heft 23/24 S. 328.

Messing verwendet. Bohrer mit geringem Drall bohren hierbei sauberere Löcher als die Bohrer mit enger Spirale.

b) Spiralbohrer für Messing müssen wegen der Sprödigkeit des zu bohrenden Werkstoffes, besonders bei den kleineren Bohrern bis zu 10 mm Durchmesser, einen geringen Drall (15°) und einen stumpfen Spitzenwinkel (etwa 130°) haben, Abb. B 17. Größere Bohrungen können auch mit üblichen Spiralbohrern gebohrt werden. Der Bohrer für Messing wird auch vorteilhaft für Elektron, jedoch mit einem Spitzenwinkel von 116° verwendet.

c) Spiralbohrer für Kunststoffe. Pertinax, Galalit, Bakalit und ähnliche Preßstoffe lassen sich mit Spiralbohrern für Leichtmetalle, Abb. B 16, noch



Abb. B 17. Spiralbohrer für Messing $\alpha = 130^\circ$, $v = 35-200$ m/min für SS-Bohrer; Spiralbohrer für Elektron $\alpha = 116^\circ$, $v = 50-200$ m/min für SS-Bohrer.



Abb. B 18. Spiralbohrer für Pertinax, Ebonit, Hartgummi, Bakelit, Zelluloid.



Abb. B 19. Spiralbohrer für Marmor $v = 10$ m/min.



Abb. B 20. Spiralbohrer mit Hartmetallschneiden.

leicht bearbeiten. Für Hartgummi wird besonders ein Bohrer mit einem Spitzenwinkel von 50° und einem Drallwinkel von 15° nach Abb. B 18 verwendet.

d) Spiralbohrer für Marmor und Schiefer. Die Form dieses Bohrers ist dieselbe wie die für Messing, nur mit einem Spitzenwinkel von 85 bis 90° , Abb. B 19.

e) Spiralbohrer mit Hartmetallschneiden¹⁾. Der Bohrer, Abb. B 20, eignet sich für alle Werkstoffe, bei denen Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl versagen. Durch das Einsetzen der Hartmetallschneide in einen Schaft aus Schnellarbeitsstahl ist der Bohrer nicht so widerstandsfähig wie ein aus dem Vollen gearbeiteter Bohrer. Es empfiehlt sich deshalb, nur kleine Vorschübe bei hoher Schnittgeschwindigkeit zu verwenden. Außerdem ist beim Durchbohren darauf zu achten, daß der Bohrer nicht einhakt und das Brechen vermieden wird.

f) Spiralbohrer für Blechpakete. Für dünnwandige Werkstücke, Bleche, Blechpakete usw. werden vorteilhaft Spiralbohrer mit verstärktem Kern

¹⁾ Siehe auch Abschnitt: Deutsche Hartmetalle; ferner Werkst. u. Betrieb 1938 Hefte 19/20 u. 21/22.

benutzt, die auch den hohen Beanspruchungen beim Durchbohren der Bleche standhalten.

g) Spiralbohrer für feste und zähe Werkstoffe, z. B. Chrom-Nickel-Stahl oder nichtrostenden Stahl usw., haben einen geringeren Drall als die üblichen Spiralbohrer und einen Spitzenwinkel von 140° . Außerdem ist ihre Bauart kräftiger wie die der üblichen Spiralbohrer.



Abb. B 21.
Sonderan-
schliff für
Gußeisen.

h) Spiralbohrer mit Sonderanschliff der Spitze.

Die Standzeit der Bohrerschneiden kann beim Bohren von Grauguß durch einen Sonderanschliff der Spitze, Abb. B 21, wesentlich erhöht werden. Die Kanten werden bei dem normalen Spiralbohrer unter einem Winkel von 70 bis 80° auf etwa ein Drittel der Länge der Schneidlippen abgeschliffen.

i) Spiralbohrer mit Ölzuführung. Für besonders tiefe Löcher, die sich mit dem üblichen Spiralbohrer ohne Ölzuführung schlecht bohren lassen, da die Kühlflüssigkeit nur schlecht der Schneide zugeführt werden kann, verwendet man Spiralbohrer mit Ölzuführung, Abb. B 22, sog. Kanalbohrer. Diese Bohrer sind jedoch nicht sehr widerstandsfähig, es kann nur mit geringem Vorschub gebohrt werden.



Abb. B 22.
Spiralbohrer für Ölzuführung.

VI. Instandhaltung und Behandlung der Spiralbohrer.

Zusammengefaßt ist für die Instandhaltung und Behandlung der Bohrer folgendes zu beachten:

a) Bei Verwendung von Bohrern mit kegeligem Schaft muß der Kegel des Bohrers und der der Bohrspindel stets sauber sein. Verbeulte Kegel sitzen in der Bohrspindel nicht fest, so daß nur der Mitnehmerlappen die Kraft zu übertragen hat und dadurch leicht abbricht. Außerdem schlägt der Bohrer.

b) Der Spitzen- und Hinterschleifwinkel muß vorschriftsmäßig geschliffen werden. Dies kann nur auf einer guten Spiralbohrerschleifmaschine geschehen. Das Schleifen von Hand ist möglichst zu vermeiden. Es ist zweckmäßig, die Bohrer nach dem Schleifen mit einer Lehre zu prüfen.

c) Große Bohrer müssen an der Querschnide ausgespitzt werden.

d) Bei Verwendung großer Bohrer ist es zweckmäßig, mit einem kleinen Bohrer vorzubohren, dadurch wird die Querschnide entlastet und der Kraftverbrauch verringert. Der Bohrer erhält dadurch auch eine gute Führung.

e) Der Bohrer darf nicht schlagen, sondern muß genau laufen. Nur dann können genaue Löcher gebohrt werden. Dies gilt besonders für Bohrer, die im Bohrfutter eingespannt werden. Schlecht zentrierende Bohrfutter sind nachzuarbeiten, oder falls es sich nicht lohnt, aus dem Betriebe zu entfernen.

f) Die Bohrerschneide muß stets scharf sein. Stumpfe Bohrer werden heiß und glühen aus; außerdem verursachen sie eine große Reibung an den Fasen. Diese nützen sich dann sehr leicht ab.

g) Die Führungsfase darf vorn nicht abgenutzt sein, da sonst der Bohrer klemmt und abbricht. Der Bohrer muß stets nach hinten etwas verjüngt sein.

h) Mit dem Spiralbohrer darf nicht tiefer gebohrt werden, als seine Spiralnuten lang sind. Geschieht dies doch, dann verstopfen die Späne die Span-

nuten, da sie nicht aus dem Bohrloch herauskönnen; der Bohrer wird festgeklemmt und bricht ab. Bei tieferen Löchern muß der Bohrer des öfteren aus dem Bohrloch herausgezogen und die Späne entfernt werden.

i) Die Bohrspindel der Maschine darf kein axiales Spiel haben, da sie dann beim Durchbohren herunterfällt, der Bohrer einhakt und abbricht.

k) Beim Bohren von Stahl muß der Bohrer gut gekühlt werden.

l) Die Schnittgeschwindigkeit und der Vorschub sind richtig zu wählen, S. 329 bis 331, um den Bohrer wirtschaftlich auszunutzen.

VII. Schnittleistung der Spiralbohrer¹⁾.

Die Schnittleistung N_s hängt ab von der Drehkraft R , die den Schnittwiderstand, und von der Vorschubleistung N_v , die den Vorschubwiderstand (Axialkraft) P überwindet. Die Vorschubleistung ist, wie aus den folgenden Gleichungen zu ersehen ist, so klein, daß sie fast immer vernachlässigt werden kann.

Die Drehkraft R , die man sich je zur Hälfte rechtwinklig zu jeder der beiden Schneiden und parallel zueinander im Abstand x , Abb. B 23, angreifend denken kann, ergibt ein Drehmoment $M_d = R/2 \cdot x \cdot \text{cmkg}$. Dieses Moment ergibt nach einer allgemein bekannten Formel die in der Maschine gebrauchte Schnittleistung

$$N_s = \frac{M_d \cdot n}{71620} \quad \text{PS} = \frac{M_d \cdot n}{97410} \text{ kW.}$$

Die Vorschubleistung wird bei einem Weg von $n \cdot s$ in der Minute:

$$N_v = \frac{P \cdot n \cdot s}{75 \cdot 60 \cdot 1000} \quad \text{PS} = \frac{P \cdot n \cdot s}{4500000} \quad \text{PS} = \frac{P \cdot n \cdot s}{6120000} \text{ kW.}$$

In den Formeln bedeuten:

M_d = Drehmoment in cmkg,

P = Axialkraft in kg,

n = Umlaufzahl des Bohrers in U/min,

s = Vorschub in mm/U.



Abb. B 23.
Angriffspunkte für Drehkraft.

Die Drehkraft R ist abhängig vom Bohrerdurchmesser, von der Umdrehungszahl, von der Größe des Vorschubes, vom Schnittwinkel und vom Widerstand des Werkstoffes. Sie ist daher für jeden Werkstoff zu ermitteln.

Die Axialkraft kann durch richtiges Ausspitzen des Bohrers bis zu einem Drittel der Vorschubkraft beim nicht ausgespitzten Bohrer verringert werden.

Drehmomente und Axialkräfte werden mit Hilfe von besonderen Meßeinrichtungen durch Versuche bestimmt.

In dem Schaubild Abb. B 23a²⁾ sind Drehmomente für Gußeisen und Stahl angegeben. In Verbindung mit den im mittleren Teil des Schaubildes

¹⁾ Werkst.-Techn. 1911 S. 99; 1930 S. 573 — Masch.-Bau 1930 S. 244. — Dinnebieer-Stoewer: Bohren. Werkstattbuch 16. Berlin: Julius Springer. — Masch.-Bau Bd. 11 (1932) Nr. 5 S. 96. — R. Stock & Co., Berlin-Marienfelde.

²⁾ R. Stock & Co., Berlin-Marienfelde. — Boston u. Oxford: Masch.-Bau Bd. 11 (1932) Nr. 5 S. 16. — Hülle: Grundzüge der Werkzeugmaschinen. Bd. 1 (1928) S. 249. — Dinnebieer-Stoewer: Bohren. Werkstattbuch 16. Berlin: Julius Springer. — A. Wallichs: Werkst. u. Betrieb 1933 S. 325—330. — A. Wallichs u. H. Opitz: Stahl u. Eisen 1934 S. 1478—1479. — Schieß-Nachrichten Bd 12 (1932) S. 35—37. — Z. VDI Bd. 76 (1932) S. 240. — St. Patkay: Werkst.-Techn. Bd. 22 (1928) S. 677—683 u. Bd. 23 (1929) S. 3—10 u. 33—42.

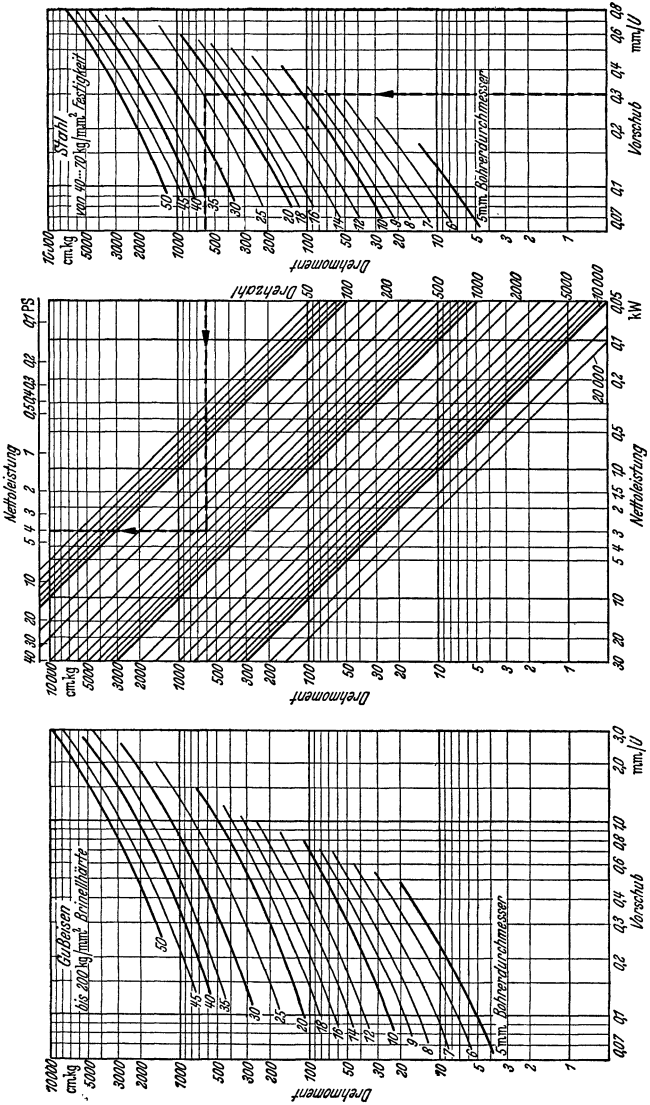


Abb. B 23 a. Drehmomente M_a und Nettoleistungen N_s der Spiralbohrer.

eingetragenen Drehzahllinien läßt sich auf der Abszisse die Nettoleistung ablesen.

Beispiel. Wie groß ist die an der Schneide eines Hochleistungsbohrers aus Schnellstahl von 25 mm aufzuwendende Leistung beim Bohren in Stahl von 40–70 kg Festigkeit? Lösung nach Abb. B 23a Die Umdrehungszahl des Bohrers beträgt bei etwa 39 m/min Schnittgeschwindigkeit 500 U/min, der Vorschub sei 0,3 mm/U.

Geht man im rechten Teil des Schaubildes vom Vorschubpunkte $s = 0,3$ senkrecht bis zum Schnitt der Drehmomentkurve des Bohrerdurchmessers 25 mm nach links bis

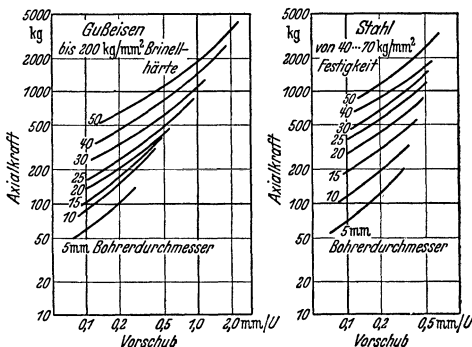


Abb. B 23b. Axialkraft P in Abhängigkeit vom Vorschub s .

zur Drehzahllinie 500 und von da senkrecht nach oben oder nach unten, so kann man auf der Skale die Nettoleistung $N_s = 4$ PS bzw. 3 kW ablesen.

Setzt man den Wirkungsgrad $\eta = 0,65$ ein, so ergeben sich $N = 6,1$ PS bzw. 4,6 kW.

Setzt man den aus den senkrechten Skalen, Abb. B 23a, abgelesenen Wert für $Md = 600$ cm/kg in die eingangs genannte Formel ein, so ergibt sich:

$$N_s = \frac{600 \cdot 500}{97410 \cdot 0,65} = 4,7 \text{ kW}.$$

In der Abb. B 23^b) sind durch Versuche ermittelte Werte für Axialkräfte P angegeben.

VIII. Sonstige Bohrwerkzeuge.

a) Tieflochbohrer (Kanonenbohrer), Abb. B 24, dienen zum Bohren tiefer Löcher. Der Hinterschliff beträgt etwa 6 bis 10°. Um den Bohrer rund-

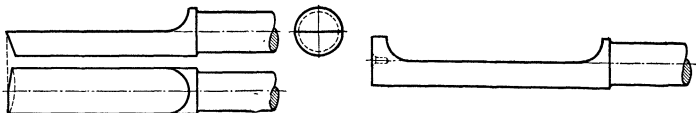


Abb. B 24. Tieflochbohrer (Kanonenbohrer). Abb. B 25. Vorgearbeiteter Tieflochbohrer.

schleifen zu können, erhält er vorher die in Abb. B 25 dargestellte Form. Der Bohrer wird nach hinten zu um einige hundertstel Millimeter dünner

¹) R. Stock & Co., Berlin-Marienfelde.

geschliffen. Der Ansatz an der Spitze wird nach dem Rundschleifen abgesprengt und dann die Schneide angeschliffen.

b) Gewehrlaufbohrer, Abb. B 26, sind einlippige Bohrer mit einem Bohrstück aus Schnellstahl, das in ein Bohrrohr eingelötet, etwa das 6–8fache des Durchmessers lang und mit einem Schmierloch versehen ist. Durch dieses wird die Kühlflüssigkeit unter hohem Druck (bis zu 30 atü) zugeführt, um ein Verstopfen des Bohrloches durch Späne zu verhüten. Die Spannute muß möglichst bis auf die Bohrerachse gefräst und durch Feinschliff gut geglättet sein, um das Abfließen der Späne zu erleichtern und ein Verstopfen zu verhindern. Als Bohrrohr dient ein Stahlrohr, in das eine Rille durch

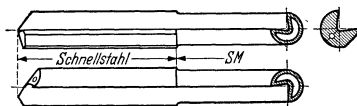


Abb. B 26. Tieflochbohrer neuerer Ausführung.

eine gehärtete Stahlrolle eingedrückt ist. Zur Verstärkung gegen Verdrehung empfiehlt es sich, kürzere Rohre im Einsatz zu härten. Bei längeren Rohren läßt sich das nicht mehr ausführen; es ist dann der Vorschub der Verdrehungsfestigkeit des Bohrers anzupassen. Beim Bohren muß das Werkstück sich drehen, während der Bohrer feststeht, weil er sonst wegen seines unebenen Querschnittes bei der Drehung schleudern und ausknicken würde.

Der Querschnitt des Bohrers wird zweckmäßig nach Abb. B 27 ausgeführt. Der Bohrer hat an drei Stellen *a*, *b*, *c* Führung. Die Fase *a* ist höchstens 0,5 mm breit und stark hinterschleifen und dient dazu, die kleinen Späne, die sich hinter den Bohrer zwängen wollen, zu erfassen und in die Spannute zu leiten. Sie soll sich federnd und schabend an die Wand der Bohrung anlegen. Die Führung liegt also an der Schneidkante. Verwendet man einfache rundgeschliffene Bohrer ohne Fase *a*, so entstehen durch Einklemmen von Spänen zwischen Bohrer und Bohrungswand tiefe Bohrriefen, in denen sich Späne einklemmen und gewöhnlich den Bohrer zum

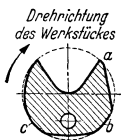


Abb. B 27. Querschnitt des Tieflochbohrers.

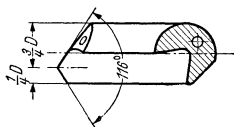


Abb. B 28. Spitzenwinkel des Tieflochbohrers.



Abb. B 29. Schleiflehre für Tieflochbohrer.

Bruch bringen. Bei richtig geschliffenem Bohrer entsteht beim Bohren von weichen Werkstoffen ein langer, zusammenhängender Span, während sich bei härteren Werkstoffen kürzere Späne bilden.

Schleifen der Bohrer Spitze. Das Schleifen der Spitze geschieht meist von Hand; es empfiehlt sich aber auch hier, Schleifmaschinen zu verwenden. Die Schneidspitze muß genau im ersten Viertel des Bohrerdurchmessers

stehen, Abb. B 28. Die Schneidwinkel müssen beiderseits genau gleich groß sein, damit der Bohrer nicht seitlich abgedrängt wird und infolge der erhöhten Reibung an der Lochwandung bricht. Das Messen des Spitzen- und Hinterschleifwinkels erfolgt mit Hilfe einer Lehre nach Abb. B 29.

IX. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe.

a) Spiralbohrer.

1. Stahl und Gußeisen.

Schnittgeschwindigkeit v in m/min und Vorschub s in mm/U für Bohrer aus Werkzeugstahl (W) und Schnellstahl (S)¹⁾.

Bohrer- durchmesser	1-5	5-12	12-22	22-30	30-50
Stahl bis ≈ 50 kg Festigkeit und $\approx 18-26$ vH Dehnung					
v { W	14	16	16-14	12	12
S	20-25	25-30	30-35	30-35	25-30
s { W	0,03-0,04	0,06-0,1	0,13-0,18	0,2-0,25	0,3
S	0,05-0,1	0,1-0,18	0,18-0,3	0,3-0,35	0,35-0,45
Stahl von $\approx 50-70$ kg Festigkeit und $\approx 14-20$ vH Dehnung					
v { W	10	12	10	10-9	8
S	20	20-25	25-30	25-30	25
s { W	0,03-0,04	0,06-0,1	0,13-0,18	0,2-0,25	0,3
S	0,05-0,1	0,1-0,18	0,18-0,3	0,3-0,35	0,35-0,45
Unlegierter und legierter Stahl (Chromnickelstahl) bis ≈ 90 kg Festigkeit und $\approx 12-16$ vH Dehnung					
v { W	6	7-9	8-6	6	6
S	15	15-20	15-20	18-20	15-20
s { W	0,02-0,03	0,04-0,08	0,1-0,14	0,16-0,18	0,2
S	0,03-0,08	0,08-0,15	0,15-0,25	0,30-0,35	0,35
Unlegierter und legierter Stahl (Chromnickelstahl) von $\approx 90-110$ kg Festigkeit und $\approx 8-14$ vH Dehnung					
v { W	5-6	6-7	6-4	4	4
S	10-14	10-14	12-20	14-20	12-16
s { W	0,01-0,02	0,03-0,05	0,05-0,09	0,11-0,13	0,15
S	0,03-0,06	0,08-0,12	0,12-0,18	0,2-0,25	0,3
Gußeisen von $\approx 12-18$ kg/mm ² Zugfestigkeit					
v { W	10	12	10-8	7-6	6
S	20-30	30-40	20-30	20	20
s { W	0,05	0,08-0,15	0,16-0,2	0,3-0,4	0,4
S	0,07-0,1	0,15-0,25	0,35-0,6	0,7-1,0	1,3
Gußeisen von $\approx 18-30$ kg/mm ² Zugfestigkeit					
v { W	5	7	6-4	4	3
S	12-18	12-18	14-18	16-20	14-18
s { W	0,02-0,03	0,05-0,1	0,1-0,12	0,12-0,15	0,2
S	0,05-0,1	0,1-0,15	0,2-0,25	0,3-0,35	0,4

Zum Bohren von hochprozentigem Manganstahl sind Bohrer mit Hartmetallspitzen erforderlich; $v \approx 15$ m/min, s bis etwa 0,1 mm/U.

¹⁾ Nach Werkstattbuch Heft 15 „Bohren“ von Dinnebieer. Berlin: Julius Springer.

2. Temper- und Stahlguß, Nichteisenmetalle, Leichtmetalle.

Bohrer- durchmesser	1-5	5-12	12-22	22-30	30-50
Temper- und Stahlguß					
$v \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	8-12 18-25				
$s \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	0,03-0,05 0,05-0,1	0,06-0,1 0,1-0,18	0,13-0,18 0,18-0,3	0,2-0,25 0,3-0,35	0,3 0,35-0,45
Rotguß und weiche Bronze					
$v \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	50-80 100-150				
$s \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	0,04-0,07 0,06-0,1	0,1-0,15 0,1-0,18	0,15-0,25 0,2-0,3	0,25-0,35 0,35-0,4	0,35-0,4 0,4-0,5
Hartbronze					
$v \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	8-16 18-25				
$s \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	0,03-0,05 0,05-0,1	0,06-0,1 0,1-0,18	0,13-0,18 0,18-0,3	0,2-0,25 0,3-0,35	0,3 0,35-0,45
Kupfer					
$v \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	25-50 35-70				
$s \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	0,1 0,15	0,18 0,2-0,25	0,25 0,25-0,3	0,3 0,3-0,35	0,4 0,4-0,5
Aluminium, Silumin, Elektron, Blei, Zink					
$v \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	40-100 50-200				
$s \begin{cases} W \\ S \end{cases}$	0,1 0,15	0,18 0,25	0,25 0,35	0,3 0,4	0,4 0,5-0,6

Für Hochleistungsschnellstahl können die Schnittgeschwindigkeiten um 50 vH erhöht werden.

3. Messing.

Bohrdurchmesser mm		<i>G</i> Ms 63/67 <i>M</i> s 58/60	<i>M</i> s 63/80	<i>M</i> s 90
	$v =$		bis 200	bis 50	bis 35
1-2 bis 5 10 15 20 30	$s =$	0,06 0,1 0,2 0,3 0,5 0,7 <i>W</i> oder <i>S</i>	0,04 0,08 0,15 0,2 0,3 0,5 nur <i>S</i>	0,02 0,06 0,1 0,15 0,3 0,5 nur <i>S</i>

Beim Bohren von Messing sind Schnittgeschwindigkeit und Vorschub von der Legierung und dem Verarbeitungszustand abhängig.

4. Kunststoffe und Marmor.

Werkstoff	v in m/min für Bohrer aus	
	Werkzeugstahl	Schnellstahl
Novotext	8-12	20-30
Galalit	8-12	bis 20
Pertinax	10-20	20-30
Trolit, Ebonit	20-30	30-50
Hartgummi	20-30	30-50
Wahnerit	20	30-50
Vulkan Fiber	50-100	bis 200
Marmor		≈ 10

b) Für Bohrer mit Hartmetallspitze¹⁾

gibt die Fa. R. Stock & Co. folgende Werte an:

Werkstoff	Schnittgeschw. m/min	Vorschub mm/U		Kühlung
		bei 10 mm Durchm.	bei 20 mm Durchm.	
Chromnickelstahl	etwa	bis	bis	
140 kg/mm ²	30	0,05	0,08	Bohrwasser
Werkzeugstahl				
180–200 kg/mm ²	10	0,03	0,06	„
Manganhartstahl 12 vH ..	20	0,03	0,06	trocken
Kokillenhartguß	7	0,04	0,08	Bohrwasser
Grauguß bis 200 Brinell ..	75–125	0,15	0,30	trocken
Grauguß über 200 Brinell ..	60–80	0,10	0,25	„
Kararischer Marmor	20–30	0,08	0,15	Wasser
Granit	6–10	0,02	0,05	„
Glas mit (Dreikantbohrer) ..	20–30	0,04	0,05	Terpentin
Porzellan je nach Härte ..	10–20	0,01–0,03	0,02–0,05	„
Isoliermaterialien	200	0,30	0,50	trocken

c) Tieflochbohrer.

Für Stahl von 50 bis 70 kg/mm² Festigkeit betragen die Schnittgeschwindigkeiten für Bohrer aus Hochleistungsschnellstahl $v = 20$ bis 35 m/min.

Die Vorschübe $s = 0,01$ bis 0,05 mm/U, je nach Leistung der Maschine, Bohrerdurchmesser, Bohrlänge und Bearbeitbarkeit des Werkstoffes.

B. Senken.

I. Formen der Senker.

Der Senker oder Aufbohrer dient zum Aufsinken vorgebohrter und vorgegossener Löcher, Ansenken von Nabenflächen und Einsenken von Vertiefungen für Schraubenköpfe.

Spiralsenker, Dreischneider (DIN 343), Abb. B 30, werden zum Aufbohren vorgegossener, sehr häufig aber auch vorgebohrter Löcher verwendet.

Durch die dreifache Führung verlaufen sie nicht so leicht wie der Spiralbohrer, auch werden die Löcher genauer. Das Anschleifen der Schneid-



Abb. B 30. Spiralsenker (Dreischneider).

lippen muß mit großer Sorgfalt vorgenommen werden. Spiralsenker sollen möglichst nicht von Hand angeschliffen werden. Das Nachschleifen kann auf den meisten Spiralbohrerschleifmaschinen erfolgen. Um eine gleiche Höhe der Schneidkante zu erreichen, muß dabei der Senker mit seinem Schaftende an dem verstellbaren Anschlag des Bohrerhalters der Schleifmaschine anliegen.

Aufstecksenker, Vierschneider (DIN 222), Abb. B 31, dienen dem gleichen Zwecke wie Spiralsenker. Die Senker werden an den Führungsflächen rundgeschliffen, und zwar so, daß das Werkzeug hinten um einige hundertstel Millimeter schwächer ist. Der Drallwinkel beträgt 12 bis 15°, der dem Spitzenwinkel des Spiralbohrers entsprechende schräge Anschliff der Schneiden 30 bis 45°. Der Hinterschliff soll etwa 6° sein. Das Schleifen

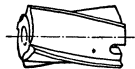


Abb. B 31. Aufstecksenker (Vierschneider).

¹⁾ Siehe Abschnitt: „Deutsche Hartmetalle“. Werkst. u. Betrieb 1938 Hefte 19/20 u. 21/22.

geschieht auf besonderen Schleifvorrichtungen, die auf Werkzeugschleifmaschinen aufgesetzt werden. Mit einem solchen Gerät ist es möglich, alle vier Schneidlippen gleichmäßig zu schleifen¹⁾.

Untermaße für Spiralsenker (DIN 343) und Aufstecksenker (DIN 222) nach DIN 342.

Durchmesser	Untermaß
bis 18	0,2
über 18—30	0,3
über 30	0,4

Spitzsenker, Abb. B 32, sind mit folgenden Winkeln genormt:

- $\alpha = 60^\circ$ zum Abfasen der Kanten gebohrter Löcher DIN 334
- $\alpha = 75^\circ$ für Halbrundnieten nach DIN 104
- „ Halbversenkieten nach DIN 301
- „ Senknieten nach DIN 661 DIN 381
- $\alpha = 90^\circ$ zum Versenken der Köpfe von Senk- und Linsenkopf-Schrauben, Versenkieten usw. DIN 335
- $\alpha = 120^\circ$ wie für 90° -Spitzsenker DIN 347

Zapfensenker, Abb. B 33, werden hauptsächlich gebraucht für das Einsenken von Schraubenköpfen. Sie werden mit festen und auswechsel-

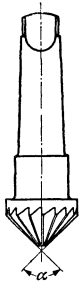


Abb. B 32. Spitzsenker.

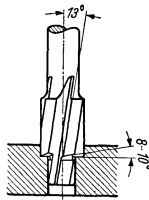


Abb. B 33. Zapfensenker.

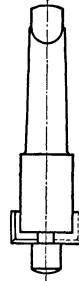


Abb. B 34. Zapfensenker mit auswechselbarem Messer und Führungsbuchse.

baren Führungszapfen hergestellt. Senker mit auswechselbaren Führungszapfen können besser geschliffen werden. Senker zum Anschneiden von Naben sind nach Abb. B 34 gestaltet.

II. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe für Spiralsenker DIN 343 und DIN 222.

Werkstoff	Spiralsenker			
	Werkzeugstahl		Schnellstahl	
	v	s	v'	s'
Gußeisen 12—18 kg/mm ² Festigkeit	8—12	0,1—0,4	20—30	0,15—0,7
Gußeisen 18—30 kg/mm ² Festigkeit	3—6	0,1—0,25	15—20	0,1—0,4
Stahl bis 50 kg/mm ² Festigkeit	12—14	0,1—0,3	20—35	0,1—0,65
Stahl von 50—75 kg/mm ² Festigkeit	8—10	0,1—0,3	20—30	0,1—0,55

Für Zapfensenker und Messerstangen sind die Vorschübe geringer, etwa 0,05—0,2 mm/U je nach Größe der Schneidflächen und Steifheit des Werkzeuges.

¹⁾ Siehe Dinnebier: Senken — Reiben. Werkstattbuch 16. Berlin: Julius Springer.

C. Reiben.

I. Arbeiten der Reibahlen.

Bohrungen, die besonders glatt und im Durchmesser mit einer zugehörigen Welle nach einer Passung übereinstimmen sollen, müssen nach dem Bohren durch Reibahlen auf den gewünschten Durchmesser aufgerieben werden. Dieser Zweckbestimmung, genaue Paßarbeit zu leisten, widerspricht eine zu starke Inanspruchnahme durch Zerspanungsarbeit. Die zum Ausreiben bestimmte Zugabe soll 0,3 mm im Durchmesser nicht überschreiten. Bei größeren Bohrungen ist deshalb meist eine Bearbeitung durch zwei Reibahlen (Vor- und Nachreibahle) erforderlich.

Die Größe des mit einer Reibahle erzeugten Loches hängt nicht lediglich vom Durchmesser des Werkzeuges, sondern auch vom Werkstoff, von der Art der Befestigung der Reibahle, von der Art des Kühlmittels und von der Starrheit der Maschine ab. Eine Reibahle wird im bröckligem Gußeisen einen anderen Lochdurchmesser erzeugen als im zähen Stahl. Ungenaues Fluchten der Reibahlenachse mit dem vorgebohrten Loch ergibt zu große Löcher. Selbst bei pendelnd angeordneten Reibahlen ist auf genauestes Fluchten zu sehen, da die Bewegungsfreiheit der Reibahle nur während des Arbeitens auftretende Störungen unschädlich machen soll.

II. Gestaltung der Reibahlen.

a) Einteilung. Nach der Verwendung der Reibahlen sind zu unterscheiden: Handreibahlen und Maschinenreibahlen. Beide Arten werden mit festen und verstellbaren Schneidzähnen ausgeführt. Nachstellbare Reibahlen sind vorteilhafter, da sie nach Abnutzung im Durchmesser durch Nachstellen wieder auf das richtige Maß gebracht werden können. Es gibt auch Reibahlen, die um mehrere Millimeter im Durchmesser verstellbar sind (für Instandsetzungswerkstätten).

b) Durchmesser. Neue Reibahlen sind im Durchmesser etwas stärker gehalten, sie haben eine Wetzzugabe von 0,02 bis 0,045 mm. Sie müssen entsprechend einer Bohrung nach den Passungssystemen DIN oder ISA nachgewetzt werden. Das Nachwetzen geschieht mit einem guten Ölstein oder mit einem Reibahlenwetzgeräten. Zum Messen dienen Schraublehren oder Einstell-Lehrringe.

c) Anschnitt. Die Schneidzähne der Reibahlen werden je nach ihrer Verwendung für durchgehende oder Sacklöcher mit einem längeren oder kürzeren kegeligen Anschnitt versehen. Für Sacklöcher und für alle Werkstoffe aus Stahl und zäher Bronze erhalten sie einen kurzen Anschnitt, Abb. B 35. Reibahlen mit langem Anschnitt sind für Stahl nicht geeignet, da sie einen zu breiten Span abnehmen müssen und dabei leicht brechen. Bei der Bearbeitung von Stahl kann nur mit geringen Vorschüben gearbeitet werden.



Abb. B 35.
Zylindrischer
Anschnitt.



Abb. B 36. Kege-
liger Anschnitt.

Für durchgehende Löcher eignen sich zur Bearbeitung von Gußeisen, Messing und Werkstoffe mit geringer Festigkeit, bei denen keine zusammenhängende Späne erzeugt werden, Reibahlen mit einem langen Anschnitt besser, Abb. B 36. Sie können leichter in die Bohrungen eingeführt werden und erzeugen auch bei größeren Vorschüben eine glatte Oberfläche. Die

Reibahlen werden nach hinten zu etwas verjüngt, um ein zu starkes Reiben des Führungsteiles zu vermeiden.

Handreibahlen erhalten einen Anschnitt, der durchschnittlich ein Viertel der Zahnlänge beträgt. Er ist je nach Größe um 0,2 bis 0,5 mm schwach kegelig¹⁾ Schneidzähne und Anschnitt erhalten einen Hinterschliff von etwa 5° in der Weise, daß noch eine etwa 0,2 bis 0,3 mm breite Stelle *f*, Abb. B 37, des Rundschliffes stehenbleibt, die dann nachgewetzt wird. Scharfhalten des Reibahlenanschnittes ist die erste Vorbedingung für gute und saubere Arbeit.



Abb. B 37. Zahn-hinterschliff.

d) Zahnteilung. Die Reibahlen werden mit geraden Zähnezahlen, jedoch mit ungleichen Zahnteilungen ausgeführt. Reibahlen mit gleicher Zahnteilung reiben unrunde, kantige Löcher. Es bilden sich Rattermarken, die dadurch entstehen, daß bei gleichem Abstand der Zähne der nachfolgende Zahn immer wieder in die Stellung des vorhergehenden Zahnes eintritt. Infolge der steten Wiederholung bilden sich die bereits erwähnten Rattermarken auf der Oberfläche der Bohrung. Die ungleich geteilten Reibahlen arbeiten ruhiger, weil hierbei die Aufeinanderfolge der Zähne verschieden ist. Um die Reibahlen ohne Schwierigkeiten messen zu können, erhalten sie gerade Zähnezahlen. Bei der Ungleichteilung wird die Bedingung dadurch erfüllt, daß stets zwei Zähne auf dem gleichen Durchmesser einander gegenüberliegen.

e) Zahnverlauf. Die Schneidzähne der Reibahlen verlaufen gerade oder schraubenförmig. Reibahlen mit geraden Zähnen werden aus bereits erwähnten Gründen (leichtere Herstellung und besseres Messen) bevorzugt verwendet. Reibahlen mit gewundenen Zähnen werden meist nur da verwendet, wo die Bohrung durch eine Nut unterbrochen ist; aber auch nur dann mit Vorteil, wenn sie einen langen kegeligen Anschnitt haben dürfen, der beim Anschneiden als Führung dient. Man verwendet Reibahlen mit gewundenen Zähnen auch als zylindrische Handreibahlen für normale Bohrungen und als Kegel- und Nietlochreibahlen. Das Wetzzen von Hand ist sehr schwierig und zeitraubend. Es kann zweckmäßig nur auf einem guten Reibahlenwetzgerät²⁾ vorgenommen werden.

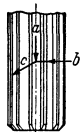


Abb. B 38. Reibahle mit geraden Zähnen.

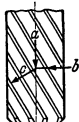


Abb. B 39. Reibahle mit gewundenen Zähnen.

Reibahlen mit gewundenen Zähnen werden rechtsschneidend mit Linksdrahl ausgeführt. Sie brauchen zwar eine nur ganz wenig größere Vorschubkraft. Rattermarken entstehen bei Verwendung von Reibahlen mit gewundenen Zähnen nicht. In Abb. B 38 und B 39 stellt *a* die Vorschubrichtung, *b* die Drehbewegung dar, *c* ist die Resultierende aus beiden Bewegungen. Es zeigt sich, daß bei geraden Nuten die Spanabnahme viel mehr schälend erfolgt als bei gewundenen, da hierbei die Schnittrichtung stets schräg zur Schneide sein wird. Bei linksgewundenen Zähnen wird das Abfließen des Spanes durch die Drallwindung erschwert.

¹⁾ Siehe auch Dinnebier: Senken — Reiben. Werkstattbuch 16. Berlin: Julius Springer.

²⁾ Hersteller: Loewe-Gesfürel, Berlin. Rohde & Dörrenberg, Düsseldorf-Oberkassel.

III. Feste Handreibahlen.

Mittels eines Windeisens werden die zum Reiben vorgebohrten Löcher nachgerieben. Abb. B 40 zeigt eine gerade genutete Reibahle mit festen

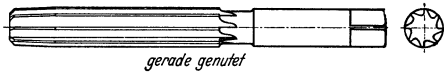


Abb. B 40. Handreibahle mit geraden Zähnen.

Zähnen, Abb. B 41 eine solche mit gewundenen Zähnen. Handreibahlen mit geraden Zähnen sind die gebräuchlichsten, da sie sich gut herstellen



Abb. B 41. Handreibahle mit gewundenen Zähnen.

und auch gut nachwetzen lassen. Sie haben einen langen, kegelförmigen Anschnitt, der in die Bohrung eingeführt wird und der Reibahle beim Anschneiden die Führung gibt.

IV. Feste Maschinenreibahlen.

a) Fest einzuspannende Reibahlen. Zum Ausreiben vorgebohrter Löcher werden auf Bohrmaschinen und Bohrwerken Reibahlen nach Abb. B 42 bis B 44 verwendet. Die Reibahlen,

Abb. B 42, haben einen zylindrischen Schaft und werden in Bohrfutter gespannt; die nach Abb. B 43 haben einen kegelförmigen

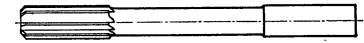


Abb. B 42. Maschinenreibahle mit zylindrischem Schaft.

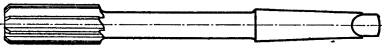


Abb. B 43. Maschinenreibahle mit kegelförmigem Schaft.

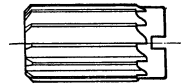


Abb. B 44. Aufsteckreibahle.

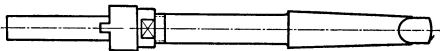


Abb. B 45. Dorn für Aufsteckreibahlen mit kegelförmigem Schaft.

Schaft und werden unmittelbar in die Bohrspindel oder in Kegelhülsen aufgenommen. Die Reibahlen, Abb. B 44, sind Aufsteckreibahlen, die auf besonderen Haltern, Abb. B 45, befestigt werden.

b) Pendelreibahlen werden hauptsächlich auf Revolverdrehbänken benutzt, und zwar deshalb, weil durch das Schalten des Revolverkopfes und Verschieben des Revolverschlittens Ungenauigkeiten seitlich und in der Höhe der Achsen eintreten, die durch die Pendelreibahle ausgeglichen

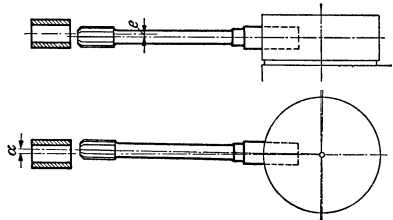


Abb. B 46. Achsenverlagerung bei einer Revolverdrehbank.

werden können, Abb. B 46. Die Ausführung einer Pendelreibahle zeigt Abb. B 47¹⁾. Sie wird Pendelreibahle genannt, weil sie im Schaft nicht fest eingespannt, sondern beweglich gelagert ist und durch einen Stift mitgenommen wird. Sie kann sich ohne Verklemmen in die vorgebohrte Bohrung einführen, so daß beim Reiben keine Vorweiten entstehen.

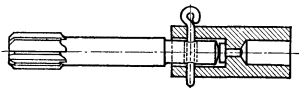


Abb. B 47. Pendelreibahle.

Es ist jedoch darauf zu achten, daß die Verlagerung der Achsen der Maschine durch die Abnutzung nicht zu groß wird, da sonst die Pendelreibahle ihren Zweck

nicht mehr erfüllt. Bei zu großer Abnutzung des Revolverkopfes ist eine Nacharbeit der Maschine erforderlich.

V. Nachstellbare Hand- und Maschinenreibahlen

haben den Vorteil, daß sie nach Abnutzung im Durchmesser durch Nachstellen wieder auf den Neudurchmesser gebracht werden können. Reibahlen mit verstellbaren Messern sind nach dem Nachstellen auf einer Rund- oder Scharfschleifmaschine rundzuschleifen, damit sämtliche Messer zum Schnitt gelangen.

Abb. B 48 zeigt eine nachstellbare Handreibahle. Der Reibahlenkörper ist dreimal geschlitzt und wird mittels einer Schraube mit Kegelzapfen nachgestellt. Die Reibahle nach Abb. B 49 hat

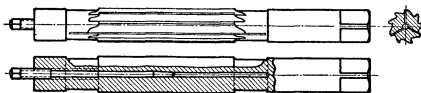


Abb. B 48. Verstellbare Handreibahle.

eingesetzte Messer, die durch Lösen der Klemmstücke und Zurückdrehen der Muttern mit einem Kupferdorn zurückgeschlagen werden. Nach dem Nachstellen müssen sie rundgeschliffen werden. In Abb. B 50 ist eine Aufsteckreibahle mit eingesetzten Messern,

in Abb. B 51 eine Reibahle mit aufgeschraubten Messern dargestellt. Bei letzterer geschieht das Vergrößern des

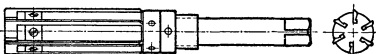


Abb. B 49. Handreibahle mit verstellbaren Messern.

Durchmessers durch Unterlegen von dünnem Papier oder Streifen aus Federbandstahl. Wie schon erwähnt, sind auch diese Reibahlen nach dem Nachstellen rund-

geschliffen werden. In Abb. B 50 ist eine Aufsteckreibahle mit eingesetzten Messern,

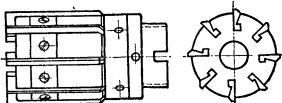


Abb. B 50. Aufsteckreibahle mit verstellbaren Messern.

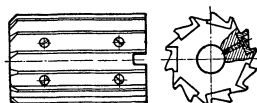


Abb. B 51. Aufsteckreibahle mit aufgeschraubten Messern.



Abb. B 52. Verstellbare Einzahnreibahle.

¹⁾ Weitere Ausführungen über Pendelreibahlen und Hülsen siehe Dinnebier: Senken - Reiben. Werkstattbuch 16. Berlin: Julius Springer.

zuschleifen und nachzuwetzen. Zum Nachregeln zu enger Bohrungen verwendet man vorteilhaft Einmesserreibahlen, Abb. B 52. Sie haben einen gehärteten und zylindrisch geschliffenen Schaft, in dem ein Messer gut gelagert ist und durch eine Schraube mit Kegelschaft verstellbar wird.

VI. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe

für zylindrische Reibahlen von 10 bis 100 mm Durchmesser.

Werkstoff	Spiralsenker			
	Werkzeugstahl		Schnellstahl	
	<i>v</i> m/min	<i>s</i> mm/U	<i>v</i> m/min	<i>s</i> mm/U
Gußeisen 12–18 kg/mm ² Festigkeit	4–5	0,5–3	6	0,5–3
Gußeisen 18–30 kg/mm ² Festigkeit	3–4	0,5–3	5–6	0,5–3
Stahl bis 50 kg/mm ² Festigkeit	4–5	0,3–0,75	5–6	0,3–0,75
Stahl von 50–75 kg/mm ² Festigkeit	3–4	0,3–0,75	5–6	0,3–0,75

VII. Kegelreibahlen.

Für das Herstellen von Innenkegeln in Hülsen oder anderen Werkstücken, deren Außendurchmesser erst nach Fertigstellung des Innenkegels auf einem laufenden Dorn fertiggestellt wird, verwendet man vorteilhaft drei Reibahlen nach Abb. B 53, 1 bis 3. Das zylindrisch vorgebohrte Loch wird mit der Schrupperibahle Nr. 1 aufgerieben. Die Reibahle ist hinterdreht und ergibt Wandungen mit mehreren Abstufungen. Durch Nachreiben mit der Reibahle Nr. 2 wird die Bohrung gut vorgerieben und mit der Reibahle Nr. 3 fertiggerieben.

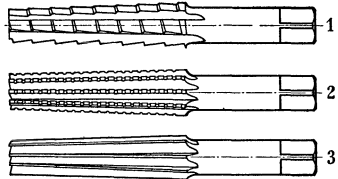


Abb. B 53. Kegelreibahlen.

Für Stiftlöcher werden Reibahlen nach Abb. B 54 bis B 56 verwendet. Abb. B 54 und B 55 (DIN 9) für Kegelstifte (DIN 1) werden bis zu 5 mm fünfkantig und darüber hinaus mit geraden Nuten hergestellt. Die Zähne der Stiftloch-Schälreibahlen, Abb. B 56, sind schraubenförmig mit Linksdrall ausgebildet, um das Festhaken im Loch zu verhindern. Die günstige Zahnstellung ermöglicht einen schälenden Schnitt und ergibt höhere Leistungen und sehr saubere Löcher.

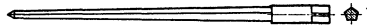


Abb. B 54. Stiftlochreibahle mit geraden Zähnen.

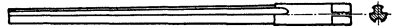


Abb. B 55. Stiftlochreibahle mit geraden Zähnen.



Abb. B 56. Stiftlochreibahle mit Spiralzähnen.

D. Bohrstanzen und Bohrköpfe.

Sie werden in großer Verschiedenheit ausgeführt. Abb. B 57 zeigt einige bewährte Bauarten. Der Bohrstanzendurchmesser ist so groß wie möglich zu bemessen, um Durchbiegungen zu vermeiden. Wenn irgend möglich,

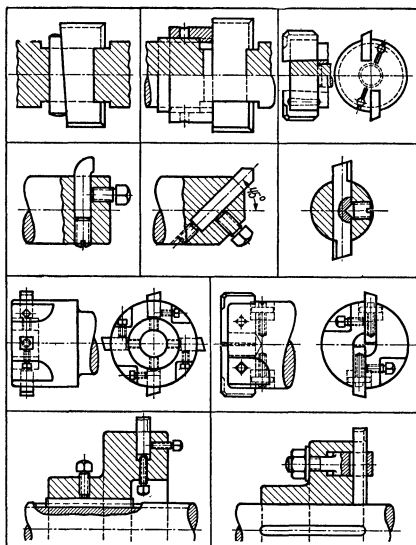


Abb. B 57. Bohrstanzen und Bohrköpfe.

ist das Bohrwerkzeug in unmittelbarer Nähe und auf beiden Seiten der Arbeitsstelle zu führen. Die Vorschubrichtung des Werkzeuges bzw. des Arbeitsstückes muß mit der Drehachse und der Führungsrichtung gleichgefluchtet sein. Hiergegen wird von unachtsamen Arbeitern öfters gefehlt, und kegelige, ungenaue Bohrungen, sowie Bohrstanzenbruch sind die üblen Folgen davon. Am empfehlenswertesten sind jene Bohrarten, bei denen das Bohrwerkzeug sich dreht und gleichzeitig den Vorschub ausführt, der Vorschubdruck aber hinter den Bohrstanzenführungen ausgeübt wird.

Fräsen¹⁾.

A. Fräsvorgang.

I. Allgemeines.

Der Fräsvorgang wird durch folgende Punkte wesentlich beeinflusst:

1. Von der Maschine, gegeben durch die Maschinenart und -leistung, die Schnittbedingungen wie Schnittgeschwindigkeit und Vorschub, Schnitttiefe und -breite, Kühlmittel.

2. Vom Werkzeug, das durch Zähnezahl, Zahnneigung (Drall), Zahnform, Durchmesser, Schneidenwinkel, Art der Kraftübertragung (Mitnahme) gekennzeichnet ist.

3. Vom Werkstück, das die Arbeitsbedingungen durch seine Stabilität in Gestalt und Aufspannmöglichkeit, seine Vorbehandlung und die geforderte Oberfläche und Maßhaltigkeit bestimmt.

4. Von den betrieblichen Maßnahmen, wie richtige Mensenauswahl, Arbeitsplan, Maschinenpflege. Diese können oft von größerem Einfluß sein als die zuerst genannten Punkte.

Wirtschaftlich fräsen heißt, mit möglichst geringem Energieaufwand in möglichst kurzer Zeit bei längster Standzeit des Fräasers eine Fläche so sauber und maßgerecht herzustellen, wie sie das Werkstück verlangt.

¹⁾ Schrifttum über Fräsen siehe Masch.-Bau Bd. 13 (1934) S. 655. Vgl. Werkstattbuch 22: Die Fräser. Berlin: Julius Springer. Werkstattbuch 40: Das Sägen der Metalle. Berlin: Julius Springer. Werkstattkniffe, Folge 2: Fräsen. München: Carl Hanser.

Der Zweck des Fräsen ist also nicht, Späne zu machen, sondern brauchbare Werkstücke zu erzeugen — allerdings so schnell wie nur irgend möglich. Man vergißt oft, daß Fräsen nicht nur Schrappen bedeutet, sondern in der Massenfertigung von Fahrzeugen, Waffen, elektrischen Geräten usw. der lehrenhaltigen Erzeugung von Teilen mit feinsten Oberfläche dient, die ohne einen Feilstrich austauschbar zusammengebaut werden müssen.

II. Vermeiden von Mißerfolgen.

Um Mißerfolge beim Fräsen zu vermeiden, sind folgende Gesichtspunkte zu beachten, die leider nicht selbstverständlich sind:

1. Wahl der richtigen Maschinenart. Zur Verfügung stehen Senkrecht-, Waagrecht- und Plan-Fräsmaschinen, Abb. F 1, 2, 3. Man hat die beste Aufspannmöglichkeit und die Lage der Arbeitsfläche zur Aufspannfläche zu bedenken. Manchmal ist es beim Fräsen wichtiger, daß Wasser und Späne leicht abfließen, als daß die Arbeitsfläche dauernd beob-

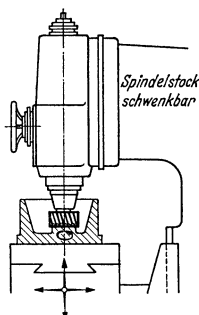


Abb. F 1.

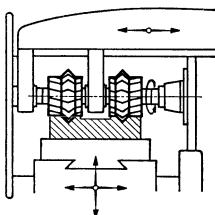


Abb. F 2.

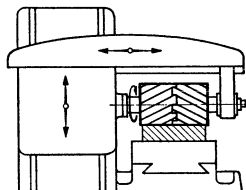


Abb. F 3.

Abb. F 1 bis F 3. Senkrecht-, Waagrecht- und Plan-Fräsmaschine.

achtet werden kann. Manchmal ist letzteres jedoch entscheidend, z. B. beim Gesenkfräsen oder beim „Auskurbeln“ von Formen. Manchmal bestimmt die geeignete Fräserform (z. B. Walzen- oder Stirnfräser) die Maschine. Für besonders schwere Schnitte empfiehlt sich die Plan-Fräsmaschine.

2. Prüfung der Antriebsleistung ist bei schweren Schrappschnitten erforderlich, s. Absatz III.

3. Geeignete Drehzahlen und Vorschübe für das vorgesehene Werkzeug und den zu bearbeitenden Werkstoff, z. B. Hartmetallfräser, Leichtmetallbearbeitung.

4. Zustand und Vorbereitung von Werkzeug, Werkstück und Maschine. Beschädigte Spindelkegel, zu schwache Fräsdorne, zu weit herausgespannte Fräser geben unsaubere Arbeit und Fräserbruch. Fräsdorn prüfen: Stirnflächen der Fräsdornringe nicht planparallel, Nuten schief zur Achse (Dorn wird beim Spannen krumm). Neuzeitliche Fräser erfordern gut gelagerte Arbeitsspindeln — vor allem axial — und nicht zu lose Tischführungen. Ein geeignetes Kühlmittel in genügender Menge spart an Werkzeug mehr, als es kostet.

Beim Fräsen alle Klemmungen festziehen. Gegenhalterstützen sind zum Gebrauch, nicht als Zierat geliefert.

getriebes und die durch den Vorschubantrieb bedingten Verluste berücksichtigt werden. Der Gesamtwirkungsgrad der Fräsmaschinen beträgt je nach Größe, Bauart und -jahr zwischen Halb- und Vollast

$$\eta = 0,5 \text{ bis } 0,8.$$

Rechnungsbeispiel. Es ist St 60.11 mit einem Walzenfräser zu schruppen. Frästiefe $a = 4$ mm; Fräsbreite $b = 100$ mm; Fräserdurchmesser $D = 100$ mm; Zähnezahl $z = 10$; Fräserdrehzahl $n = 50$ U/min (Schnittgeschwindigkeit $v = 16$ m/min); Vorschubgeschwindigkeit $s' = 90$ mm/min.

Zuerst ist die Mittenspandicke zu berechnen:

$$h_M = \frac{s'}{n \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{a}{D}} = \frac{90}{50 \cdot 10} \sqrt{\frac{4}{100}} = 0,036 \text{ mm} = 36 \mu.$$

Dazu aus Abb. F 5

$$K_M = 360 \text{ kg/mm}^2$$

und damit erforderliche Nutzleistung an der Frässpindel

$$N_e = \frac{K_M \cdot a \cdot b \cdot s'}{6,12 \cdot 10^6} = \frac{360 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 90}{6,12 \cdot 10^6} = 2,1 \text{ kW}$$

und Antriebsleistung der Fräsmaschine ($\eta = 0,8$ angenommen)

$$N_{e \text{ Motor}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{2,1}{0,8} = 2,6 \text{ kW}.$$

Die vereinfachte Berechnung der Antriebsleistung wird durch Richtwerte ermöglicht, die von den Fräsmaschinenherstellern für die zulässige Spanmenge V_{zul} in cm^3/kWmin , etwa nach Tafel 1, angegeben werden.

Tafel 1. Richtwerte für die zulässige Spanmenge in cm^3/kWmin .

Werkstoffe	Zulässige Spanmenge V_{zul}
Legierte Stähle (vergütet)	8...10 cm^3/kWmin
Legierte Stähle (geglüht).....	10...12 „
Unlegierte Stähle	12...14 „
Gußeisen (mittelhart).....	20...26 „
Messing und Rotguß	30...40 „
Leichtmetalle	40...70 „

Die Antriebsleistung ergibt sich dann aus der Gleichung

$$N_{e \text{ Motor}} = \frac{a \cdot b \cdot s'}{1000 \cdot V_{\text{zul}}} \quad (3)$$

Für das oben angeführte Beispiel beträgt V_{zul} im Mittel $13 \text{ cm}^3/\text{kWmin}$,

$$\text{damit wird } N_{e \text{ Motor}} = \frac{4 \cdot 100 \cdot 90}{1000 \cdot 13} = 2,8 \text{ kW}.$$

IV. Die Kräfte am Fräser.

Beim Fräsen hebt jeder Fräserzahn einen kommaförmigen Span ab (OAB Abb. F 4), dessen Dicke von einem Kleinstwert (theoretisch Null) bis zu einem Größtwert anwächst. Damit wird auch die auf den Fräserzahn wirkende Schnittkraft veränderlich. Der Fräsvorgang unterscheidet sich also vom Drehen, Bohren und Hobeln grundsätzlich dadurch, daß periodisch wechselnde Kräfte auftreten, die auf einen Größtwert anwachsen und ruckartig auf Null absinken, wenn der Fräserzahn das Werkstück verläßt.

Geradzahnige Fräser ergeben immer — auch bei hohen Zähnezahlen und großen Schnittiefen — eine stoßartige Beanspruchung der Maschine. Der Fräser schneidet auch dann nicht stoßfrei, wenn mehrere Zähne gleichzeitig im Eingriff sind, sondern nur, wenn ein neuer Zahn gerade in dem

Augenblick in das Werkstück eindringt, in dem der vorhergehende es verläßt. Dies ist der Fall, wenn die Zähne geneigt sind und Fräserdurchmesser, Zähnezah und Zahndrall in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen (s. Abb. F 14).

Für die Beanspruchung der Maschinenteile, insbesondere des Fräsdornes, der oft das schwächste Glied der Maschine ist, sind die größten auftretenden Schnittkräfte¹⁾ heranzuziehen. Diese unterscheiden sich infolge des meist „ungleichförmigen“ Schnittes und des Fräser-schlages oft erheblich von der mittleren Schnittkraft P_M , die für die Bestimmung der Antriebsleistung maßgebend ist. Um einen Begriff von der Größenordnung der Kräfte zu erhalten, kann man die Umfangskraft U , Abb. F 6, berechnen aus

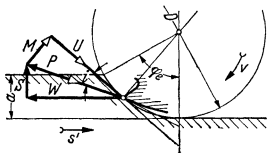


Abb. F 6.

$$U = \frac{N_e \cdot 6,12 \cdot 10^3}{v} \text{ (kg)}. \quad (4)$$

Beispiel. $N_e = 2,1 \text{ kW}; \quad v = 16 \text{ m/min}$

$$U = \frac{2,1 \cdot 6120}{16} = 800 \text{ kg.}$$

V. Wahl der Schnittbedingungen.

a) Schruppen: Werkstoff mit möglichst wenigen dicken Spänen zerspanen.

Dies erreicht man, wenn Frästiefe und -breite möglichst klein, Vorschubgeschwindigkeit und damit Spandicke möglichst groß, Drehzahl und Zähnezah des Fräses möglichst klein sind.

Infolge der großen Schnittkräfte ist die Vorschubgrenze oft durch die Stabilität des Werkstückes oder des Werkzeuges und der Aufspannungen von beiden gegeben. Die Maschinenleistung kann auch dann nicht voll ausgenutzt werden, wenn bei tiefen Schruppschnitten „Rattern“ des Fräses (Resonanzerscheinung: Eigenschwingungszahl der Maschine gleich Fräterschwingungszahl) auftritt. Dies läßt sich durch Herabsetzen der Schnittgeschwindigkeit meist unterbinden; sonst muß die Frästiefe in zwei oder mehr Schnitte unterteilt werden. Bedient ein Mann mehrere Maschinen, so kann die Gesamtfräzeit — trotz ungünstiger Schnittverhältnisse im einzelnen — kürzer sein, wenn nur ein Schnitt je Arbeitsfläche angesetzt wird.

Um die beträchtliche Zerspanungswärme abzuführen, ist reichliche Zufuhr von Kühlflüssigkeit, die gleichmäßig über die ganze Fräserbreite zu verteilen ist, unbedingt erforderlich. Für weichen Stahl genügt in der Regel Seifenwasser, Ölemulsion oder ein anderes Kühllöl. Für legierte Bau- stähle ist Schneidöl vorteilhafter. Preßluft kann beim Fräsen von Nuten und Schlitten in Gußeisen zum Wegblasen der Späne angewandt werden. Für Aluminiumlegierungen benutzt man außer Seifenwasser auch Petroleum. Magnesiumlegierungen werden meist trocken verarbeitet.

b) Schlichten: erhöhte Schnittgeschwindigkeit, herabgesetzter Vorschub.

Da Maßhaltigkeit und Oberflächengüte im Vordergrund stehen, arbeitet man bei verzugsfreier Spannung des Werkstückes mit kleinen Schnitt-

¹⁾ Näheres über ihre Messung und Werte vgl. Eisele: Dynamische Untersuchung des Fräsvorganges. Berlin: VDI-Verlag 1931. — Stock-Fräserhandbuch 1933 S. 46 u. 49. Berlin: Julius Springer.

kräften. Die Sauberkeit der Fräsfläche hängt außerdem von der guten Beschaffenheit der Werkzeugschneiden und der Verwendung geeigneter Schmiermittel, die das Aufsetzen von Werkstoffteilchen verhindern, ab.

c) Richtwerte für Fräsgeschwindigkeiten¹⁾:

Zahlenangaben für Schnittgeschwindigkeit und Vorschub müssen stets im Zusammenhang mit der zugeordneten Fräserart, Frästiefe und -breite, der Werkstückaufspannung und Maschinengattung²⁾ betrachtet werden. Die Richtwerte Zahlentafel 2 gelten für neuzeitliche Maschinen, starre Werkstückaufspannung und Schnellstahl-Fräser.

d) Gleichlaufräsen³⁾.

Beim Gleichlaufräsen arbeitet man, im Gegensatz zum üblichen „gegenläufigen“ Fräsen, mit erhöhter Schnittgeschwindigkeit. Hierbei sollen neben geringem Leistungsbedarf höhere Fräserstandzeiten und bessere Oberflächen auf harten Werkstoffen erreicht werden. Auch ist bei tiefen Schnitten die Neigung zum Rattern geringer. Das Gleichlaufräsen erfordert jedoch besonders hergerichtete Maschinen oder Werkzeuge und ist nicht in allen Fällen anwendbar. Ein Urteil über das zweckmäßigste Fräsverfahren wird man sich daher am besten von Fall zu Fall durch den Versuch bilden.

B. Auswahl und Gestaltung der Fräser.

I. Allgemeines.

Bei Beschaffung von Fräsern achte man mit Rücksicht auf den Preis dieser wertvollen Werkzeuge auf kleine Lagerhaltung. Dem Verwendungszweck bis ins Letzte angepaßte Fräser lohnen sich meist nur in der Massenfertigung.

Werkzeugstahl (Kohlenstoffstahl) wählt man meist nur für Fräserformen, die sich beim Härten stark verziehen, z. B. große Sägen und Formfräser.

Schnellstahl verwendet man allgemein für Fräser, die dann eine erheblich höhere Standzeit haben und gegen Wärmebeanspruchung unempfindlicher sind. Zur Bearbeitung besonders harter und hochlegierter Baustähle sind Hochleistungsschnellstähle (mit erhöhtem Vanadium- und Kobaltgehalt) erforderlich. Bei Schaftfräsern schweißt man heute in der Regel den Schneidenteil aus Schnellstahl an den Schaft aus Maschinenstahl.

Fräser mit Hartmetallschneiden — meist Messerköpfe — sind für schwer bearbeitbare Stähle (z. B. Manganstahl), hartes Gußeisen und andere stark verschleißende Werkstoffe (z. B. siliziumhaltige Leichtmetalle, Isolierstoffe), vor allem aber zum Nachschlichten von Zylinderblöcken, Gleitflächen u. ä. vorteilhaft.

Oberstes Gesetz für die Gestaltung der Fräser: Richtige Schneidewinkel, auch an den Nebenschneiden. Bei Stirn-, Schaft- und Scheibenfräsern ergibt der Zahndrall den Spanwinkel an der Nebenschneide. Schnittkraft und Reibungswärme bei der Zerspanung sinken mit wachsendem

¹⁾ Ausführliche Angaben über Fräsgeschwindigkeiten sind auch in dem neuen Refa-Heft „Fräsen“, Berlin: Benth-Vertrieb 1939, enthalten.

²⁾ Vgl. hierzu Klein: Wahl des Vorschubes beim Fräsen. Werkst.-Techn. 1937 S. 485.

³⁾ Vgl. Jereczek: Z. VDI 1936 S. 237, Werkstatt und Betrieb 1937 Heft 9/10, S. 123.

Tafel 2. Richtwerte für Fräsgeschwindigkeiten.

Schnittgeschwindigkeit v in m/min; Vorschubgeschwindigkeit s' in mm/min.

Zu zerspanender Werkstoff	Schichten		Schruppen			
	Frästiefe bis $a = 1$ mm		Frästiefe bis $a = 5$ mm		Frästiefe bis $a = 8$ mm	
	v	s'	v	s'	v	s'
Walzen-Fräser, Fräsbreite bis 100 mm						
Legierter Stahl, vergütet bis 100 kg/mm ² ...	10...14	35...45	10...12	45...70	8...10	25...35
Legierter Stahl, geglüht, bis 75 kg/mm ²	14...18	45...70	12...14	70...100	10...12	40...60
Unlegierter Stahl, bis 70 kg/mm ²	18...22	60...90	16...18	90...150	12...14	60...80
Gußeisen, bis 180 Brinell	14...18	70...100	12...14	100...170	10...12	70...100
Leichtmetalle	200...300	100...150	150...250	150...300	150...200	90...150
Messing (Ms 58)	40...60	100...160	30...40	160...220	30...40	100...150
Schaftfräser, Fräsbreite bis 60 mm						
Legierter Stahl, vergütet bis 100 kg/mm ²	16...18	45...55	12...14	15...25	12...14	10...15
Legierter Stahl, geglüht, bis 75 kg/mm ²	18...20	55...80	14...16	25...40	14...16	15...25
Unlegierter Stahl, bis 70 kg/mm ²	20...24	75...100	16...18	35...55	16...18	20...30
Gußeisen bis 180 Brinell	18...20	80...110	14...16	40...75	14...16	30...40
Leichtmetalle	150...180	70...100	140...180	50...90	140...180	30...50
Messing (Ms 58)	50...60	100...140	30...40	60...100	30...40	40...60
Walzenstirnfräser, Fräsbreite bis 100 mm						
Legierter Stahl, vergütet, bis 100 kg/mm ² ..	12...14	30...40	10...12	45...60	8...10	25...35
Legierter Stahl, geglüht, bis 75 kg/mm ²	16...18	40...60	12...14	70...90	10...12	35...55
Unlegierter Stahl, bis 70 kg/mm ²	20...22	60...80	16...18	90...130	12...14	55...75
Gußeisen, bis 180 Brinell	16...18	70...90	12...14	100...150	10...12	60...80
Leichtmetalle	200...300	90...140	150...250	140...280	150...250	80...140
Messing (Ms 58)	40...60	90...150	30...40	150...250	30...40	90...140
Messerköpfe, Fräsbreite bis 200 mm						
Legierter Stahl, vergütet, bis 100 kg/mm ² ..	15...20	20...35	12...15	35...50	10...12	15...25
Legierter Stahl, geglüht, bis 75 kg/mm ²	20...25	30...60	16...18	60...75	12...15	30...40
Unlegierter Stahl, bis 70 kg/mm ²	25...30	40...70	20...25	70...100	15...20	35...50
Gußeisen, bis 180 Brinell	20...25	40...80	18...22	90...120	12...18	45...60
Gußeisen bis 180 Brinell, Hartmetallschneiden ...	60...80	100...160	60...70	100...150	60...70	50...80
Leichtmetalle	200...400	80...150	200...300	150...300	200...300	70...150
Messing (Ms 58)	50...80	90...150	40...60	180...220	40...60	90...120

Tafel 2 (Fortsetzung).

Zu zerspanender Werkstoff	Fertigfräsen		Vorschruppen			
	Frästiefe bis $a = 40$ mm		Frästiefe bis $a = 10$ mm		Frästiefe bis $a = 40$ mm	
	v	s'	v	s'	v	s'
Scheibenfräser, Fräsbreite bis 20 mm						
Legierter Stahl, vergütet, bis 100 kg/mm ² ..	10...14	10...20	10...12	40...60	8...10	20...30
Legierter Stahl, gegluht, bis 75 kg/mm ²	14...18	15...25	12...14	70...90	10...12	30...50
Unlegierter Stahl, bis 70 kg/mm ²	18...22	20...45	16...18	90...120	12...14	40...70
Gußeisen, bis 180 Brinell.....	14...18	25...50	12...14	100...150	10...12	50...90
Leichtmetalle	200...300	60...120	150...250	150...300	150...200	80...150
Messing (Ms 58).....	40...60	40...75	30...40	140...200	30...40	70...120
Zu zerspanender Werkstoff	Schnittiefe bis $a = 4$ mm		Schnittiefe bis $a = 8$ mm		Schnittiefe bis $a = 20$ mm	
	v	s'	v	s'	v	s'
Kreissägen, Zähnezah nach DIN 136, Schnittbreite bis 3 mm						
Legierter Stahl, vergütet, bis 100 kg/mm ² ..	25...30	30...40	20...25	20...30	15...20	10...15
Legierter Stahl, gegluht, bis 75 kg/mm ²	35...40	45...60	30...35	35...50	25...30	20...25
Unlegierter Stahl, bis 70 kg/mm ²	45...50	60...75	40...45	45...60	35...40	25...30
Gußeisen, bis 180 Brinell.....	30...40	60...80	30...35	45...60	20...30	25...35
Leichtmetalle	300...400	200...400	300...350	150...200	200...300	80...150
Messing (Ms 58).....	300...400	200...500	300...400	150...300	300...350	100...200

Spanwinkel. Zu spitze Schneiden sind jedoch gegen Stöße und selbst kurzzeitige Überbeanspruchung empfindlich. Es empfiehlt sich daher, die in Tafel 3 angegebenen Richtwerte einzuhalten. Die hier gezeigten Fräserformen haben sich sowohl beim Schruppen als auch beim Schlichten bewährt. Mit ihnen läßt sich die Spanleistung auch bei veralteten Maschinen,

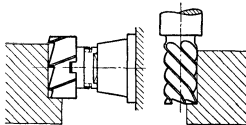


Abb. F 7. Stirnfräser besser als Schaftfräser.

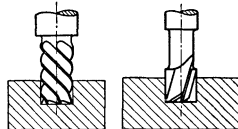
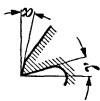

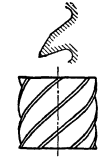
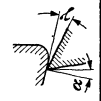
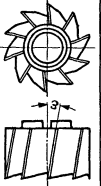
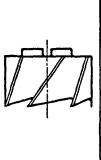


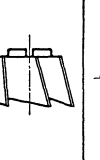

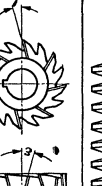

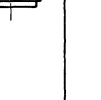
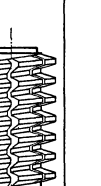
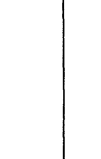


Abb. F 8. Zweischneider besser als Schaftfräser.

soweit diese an sich in Ordnung sind, wesentlich steigern. Nur falsch verwendete Fräser ergeben ungenügende Leistungen, z. B. Schaftfräser statt Zweischneider zum Fräsen von Nuten, dünne Schaftfräser statt Stirnfräser zum Abflächen (Abb. F 7, 8).

Tafel 3. Richtlinien für die Wahl der Schneidwinkel und Zähnezahlen an Fräsern.

Fräserart	Für Eisen, Stahl und Nichtisenmetalle	Für Leichtmetalle	Schneidwinkel			Zähnezahlen 1 für normale Stähle 2 zähbarte Werkstoffe 3 für Leichtmetalle	D = Außendurchmesser, Zähnezahlen $\begin{cases} z_1 = \text{für norm. Stähle,} \\ z_2 = \text{für zähbarte Werkstoffe,} \\ z_3 = \text{für Leichtmetalle} \end{cases}$ Bohrung = d ; Morsekegel = Mk ; Schaftdurchmesser = d										
			α	γ	ε												
Walzenfräser				1	4°	10°	40—	D	40	50	60	75	90	110	130	150	
				2	3°	5°	35—	z_1	6	6	6	6	8	10	12	14	16
				3	6°	25°	50—	z_2	8	8	10	10	12	14	14	14	16
Walzenstirnfräser				1	5°	10°	15—	D	40	50	60	75	90	110	130	150	
				2	3°	5°	15°	z_1	8	8	10	10	12	14	14	14	16
				3	8°	25°	35°	z_2	12	12	14	16	18	20	22	24	24
Winkelstirnfräser				1	5°	10°	10—	\sqrt{D}					90	110			
				2	3°	5°	5°	z_1					6	7	8	9	
				3	7°	25°	15°	z_2					9	10	12	14	
Scheibenfräser				1	5°	12°	12—	D	60	75	90	110	130	150	175	200	
				2	3°	5°	9—	z_1	8	10	12	14	16	18	20	20	20
				3	6—	25°	20—	z_2	16	18	20	22	24	26	28	30	30
Abwälzfräser				1				D						100	175	210	
				2				z_1							9	8	8
				3				z_2									

Radiusfräser usw.			1	10°		D	50	60	70	80	90			
			2	10°	0—10°	z_1	7	8	9	10	10	12		
			3	15°	bis 20°	z_2 z_3 d	8 5 22	8 6 22	10 6 22	10 8 22	12 8 22	12 8 27		
Kreissägen			1	5°	5—10°	D	100	150	200	250	300			
			2	3°	0—3°	z_1	44—54	64—84	104—124	136—156	180	220		
			3	8°	15°	Breite	1—3,5	1,5—4	2—5	2,5—6	3—6	4—6		
Schaftfräser, Fingerfräser			1	5°	8°	D	10	14	20	24	30	36	40	
			2	3°	9°	z_1	4	4	6	6	6	6	6	6
			3	8°	20—30°	z_2 z_3 Mk	6 3 Zylindr.	6 3 2	8 4 3	10 4 3	10 5 3	10 5 3	10 5 3	10 5 4
T-Nutenfräser			1	} siehe Scheibenfräser		D								
			2			z_1								
			3			z_2 z_3 Mk								
Paßfedernutenfräser, Langlochfräser			1	5°	7°	D	bis 14 mm, ab 16 mm							
			2	4°	3°	z_1	2 Zähne, auch 3—4 Zähne							
			3	8°	20°	z_2 z_3 d	2 Zähne bis 14 mm zylindr.							
Messerköpfe			1	5°	12°	D	160	200	250	320				
			2	3°	8°	z_1	10	12	14	16	20			
			3	8°	25°	z_2 z_3 d	12	14	16	20	27			

a) Walzenfräser.

Mit Rücksicht auf die Schnittkraftschwankungen (Abb. F 9) verwendet man schräggezahnte Fräser. Zähne mit hohem Drall (über 30°) ergeben einen schälenden Schnitt, neigen wenig zum „Rattern“ und bringen die

Späne gut von der Arbeitsfläche fort. Allerdings erhöht sich mit steigendem Drall die Leistungsaufnahme der Fräsmaschine, merklich jedoch erst bei Drallwinkeln über 45° (Abb. F 10). Der Walzenfräser muß so aufgenommen werden, daß der Achsdruck gegen die Ständerbrust der Maschine gerichtet ist. Rechtsschneidende Fräser sollen deshalb Linksdrall, links-

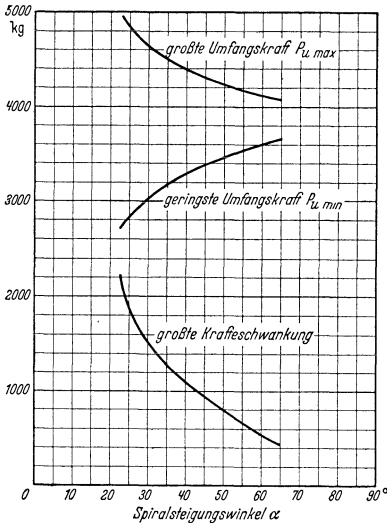


Abb. F 9. Schwankungen der Schnittkraft.

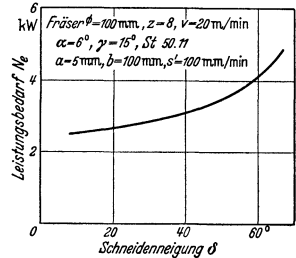


Abb. F 10. Leistungsbedarf bei gewundenen Fräsern.

schneidende Rechtsdrall haben. Die Begriffe rechts- und linksschneidend bestimmt DIN 857, Abb. F 11 und F 12. Um die Frässpindel vom Achs-

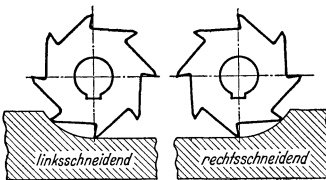


Abb. F 11.

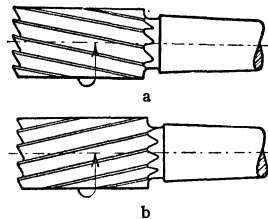


Abb. F 12 a und b. Rechtsschneidender Fräser mit Rechts- und mit Linksdrall.

druck zu entlasten, kuppelt man bei großen Fräsbreiten zwei Fräser mit entgegengesetztem Drall (Abb. F 13).

„Gleichförmiges“ Schneiden wird erreicht, wenn die Fräsbreite gleich der (einfachen oder mehrfachen) Achsteilung t_a des Fräasers (Abb. F 14) ist:

$$t_a' = \frac{D \cdot \pi}{z \cdot \operatorname{tg} \delta}$$

Darin bedeutet:

- δ Drallwinkel, d. h. Neigungswinkel der Zähne gegen die Achse,
- D Außendurchmesser,
- z Zähnezahl des Fräasers.

Je größer der Drallwinkel, um so kleiner die größtmögliche Schnittkraftschwankung und um so ruhiger der Fräsvorgang.

Für zähe Werkstoffe sind Fräser mit wenigen Zähnen und hohem Drall, für harte Werkstoffe (kurzbrüchige Späne) solche mit größerer Zähnezahl am Platze (Abb. F 15). Der Durchmesser des Fräasers soll nicht zu groß gewählt werden, jedoch muß die Verwendung eines kräftigen Fräsdornes möglich sein.

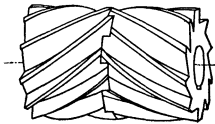


Abb. F 13. Schruppfräser mit Rechts- und Linksdrall.

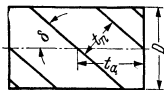


Abb. F 14.

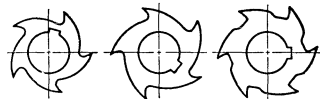
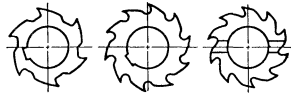


Abb. F 15. Fräser oben für harte, unten für zähe Werkstoffe.

Spanbrechernuten kommen bei Walzenfräsern und anderen spitzgezahnten Fräsern wegen ihrer ungünstigen Schneidenbeanspruchung immer mehr außer Gebrauch. Ihre Aufgabe, Spanverstopfungen zu verhindern,

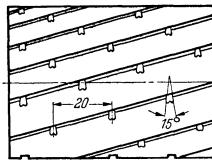
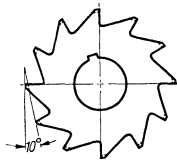


Abb. F 16. Walzenfräser mit Spanbrechernuten.

übernimmt der Drall der Spannuten. Soweit sie — beispielsweise bei langen Formfräsern geringen Dralls — berechtigt sind, gestaltet man sie so, daß die Schneidkanten nicht drücken (Abb. F 16).

b) Schafffräser.

Zum Schneiden ins Volle Drall unter 30° wählen; wenn Fräser vorwiegend am Umfang schneidet, 30° und mehr. Die Drallrichtung wählt man zweckmäßig so, daß auch die Stirnzähne positive Spanwinkel erhalten, also z. B. Rechtsdrall bei rechtsschneidendem Fräser (Abb. F 12). Das Werkzeug muß aber dann gegen Herausziehen aus der Maschinenspindel gesichert werden (s. Abb. F 38).

c) Stirn- und Walzenstirnfräser.

Zum Stirnen kurze Fräser verwenden. Soll der Fräser gleichzeitig am Umfang schneiden, so muß die Bauart der des Walzenfräasers angepaßt

werden. Zum Fräsen von Flächen sind Stirnfräser geeigneter als Walzenfräser, da mit ihnen leichter eine saubere Oberfläche erzeugt werden kann. Das gleiche gilt für Messerköpfe.

d) Messerköpfe.

Auf positive Spanwinkel achten. Feste, haltbare Klemmung der Messer (Stähle) macht sich trotz höherer Kosten durch Leistungssteigerung bezahlt (Abb. F 17). Für weniger hohe Beanspruchungen genügt die Befestigung durch abgeschrägte zylindrische Stifte (Abb. F 18), durch die das Messer keilförmig gegen die Anlagefläche gezogen wird. Manchmal genügt eine Befestigung nach Abb. F 19. Quer durch die Körper gebohrte Löcher dienen hier zum Austreiben der Stifte. Eine andere, leichtere Bauart zeigt Abb. F 20. Eingesetzte Messer

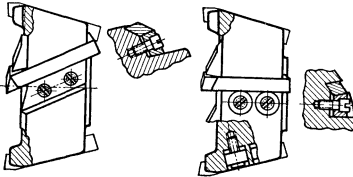


Abb. F 17. Messerköpfe.

haben den Vorzug, daß sie bei Beschädigung leicht einzeln ausgewechselt und Durchmesserverringern beim Nachschleifen durch Nachstellen ausgeglichen werden können. Rasch umlaufende Messerköpfe großen Durchmessers müssen vor Inbetriebnahme dynamisch ausgewuchtet werden.

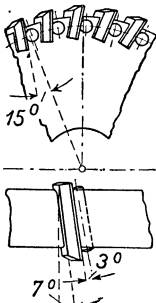


Abb. F 18.

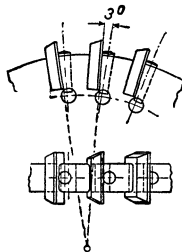


Abb. F 19.

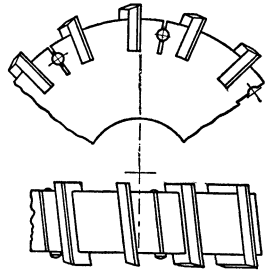


Abb. F 20.

Abb. F 18 bis 20. Fräser mit eingesetzten Messern.

Auch achte man in Anbetracht der erheblichen Schwungmassen auf genügende Gewichterleichterung des Körpers durch symmetrische Ausparungen oder Verwendung von Leichtmetallen.

e) Scheibenfräser

sind für tiefe Schnitte bestimmt. Mit Rücksicht auf positive Spanwinkel an den Seitenschnitten Kreuzverzahnung anwenden; jedoch geradzahnige Fräser erforderlich, wenn nur seitlich gearbeitet wird, z. B. beim Fräsen von Vierkanten mit zwei im Satz arbeitenden Scheibenfräsern.

f) Geteilte Scheibenfräser und Satzfräser.

Vor allem auf gute Spanabfuhr achten. Zahndrall soll Späne nach außen fördern. Keine toten Ecken dulden, in denen sich Späne festsetzen und

den Bruch des Fräasers herbeiführen. Mit Rücksicht auf günstige Schnittgeschwindigkeit wenn möglich keine zu großen Durchmesserunterschiede zwischen den einzelnen Fräsern zulassen; sonst für die großen Fräser Hochleistungsschnellstähle verwenden.

g) Kreissägen.

Gegen Verlaufen auf zähen Werkstoffen empfiehlt sich das umseitig abwechselnde Abschrägen der Schneidkanten. Gutes Spanabrollen durch Abrunden der Zahnücke und geeignete Zahnform fördern, vor allem bei Leichtmetallen und Sägen mit eingesetzten Messern.

Wichtige Einzelheiten: s. Abschnitt „Das Schärfen der Metallkreissägen“; Masch.-Bau 1928, S. 949 und 1059 und 1934, S. 207; Werkzeugmaschine 1934, S. 137; Stock-Zeitschrift 1930, S. 87; Werkstatt und Betrieb 1937, Heft 19/20, S. 263.

II. Hinterdrehte Fräser.

a) Anwendung.

Hinterdrehte Fräser haben den großen Vorzug, daß ihre Zahnform beim Nachschleifen erhalten bleibt (s. Abschnitt E). Sie haben deshalb trotz ungünstiger Schnittwinkel und dem hierdurch bedingten höheren Leistungsverbrauch gegenüber den spitzgezahnten Fräsern ein weites Anwendungsgebiet bei der Herstellung von Formstücken, Verzahnungen und gekrümmten Flächen. Allerdings soll man diese Fräser nur dort einsetzen, wo die Formgebung durch spitzgezahnte Fräser nicht möglich ist. Zum Fräsen genauer Nutenbreiten eignen sich beispielsweise geteilte kreuzverzahnte Scheibenfräser oder Zweischnneider besser.

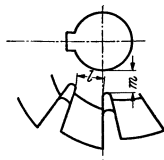


Abb. F 21.

Die Hinterdrehkurve muß so gewählt werden, daß das Profil der Schneidkanten beim Nachschleifen erhalten bleibt. Diese Forderung erfüllen unter anderen möglichen Kurven die logarithmische und archimedische Spirale als Begrenzungskurve des Zahnrückens.

Beim hinterdrehten Fräser können Zähnezahl, Durchmesser und Schneideneigung nicht allein nach den günstigen Schnittverhältnissen bestimmt werden, vielmehr ist meist die Profilform ausschlaggebend. Sie bedingt beispielsweise einen bestimmten kleinsten Durchmesser, da die Maße l und m (vgl. Abb. F 21) aus Festigkeitsgründen einen Kleinstwert nicht unterschreiten dürfen.

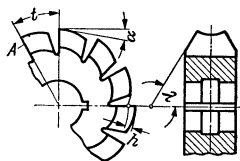


Abb. F 22.

b) Gerade hinterdrehte Fräser.

Die Größe der Hinterdrehung (Hubhöhe h Abb. F 22 und Tafel 4) wird bestimmt

1. durch die Zahnteilung t ,
2. durch die Größe des Freiwinkels α .

Die Zahnteilung ist durch den Durchmesser und die Zähnezahl gegeben. Dagegen ist die Wahl des Freiwinkels von der Form des Profils abhängig. Wenn λ den Winkel der Formtangente mit der Fräserachse bezeichnet (Abb. F 22, F 23), so muß die Hinterdrehung um so größer sein, je mehr λ sich einem rechten Winkel nähert. Damit wird nämlich der Freiwinkel

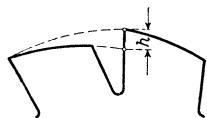
dieses Profilteiles kleiner, so daß der Fräser an dieser Stelle ungünstig schneidet. Die Hubhöhe h bestimmt sich aus

$$h = \frac{D \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z}$$

Hierin bedeutet:

D Durchmesser des Fräasers, z Zähnezahl.

An einer Hinterdrehbank sollen Hinterdrehkurven in Abstufungen von $\frac{1}{2}$ mm vorhanden sein. Tafel 4 gibt die Größe der Hinterdrehung bei waagerechter Formkante an für einen Freiwinkel etwa $\alpha = 10^\circ$.



Tafel 4. Hubgröße h für hinterdrehte Fräser in mm.

Freiwinkel $\alpha = 10^\circ$.

$$\text{Verhältnis } \frac{D}{z} = \frac{\text{Fräserdurchmesser}}{\text{Zähnezahl}}$$

$\frac{D}{z} = 1,4 \dots 2,2$ $h = 1$	$2,2 \dots 3,1$ $1,5$	$3,2 \dots 4,0$ 2	$4,1 \dots 4,9$ $2,5$	$5,0 \dots 5,8$ 3	$5,9 \dots 6,7$ $3,5$
$\frac{D}{z} = 6,8 \dots 7,6$ $h = 4$	$7,7 \dots 8,5$ $4,5$	$8,6 \dots 9,4$ 5	$9,5 \dots 10,3$ $5,5$	$10,4 \dots 11,2$ 6	$11,3 \dots 12,1$ $6,5$
$\frac{D}{z} = 12,2 \dots 13,0$ $h = 7$	$13,1 \dots 13,9$ $7,5$	$14,0 \dots 14,8$ 8	$14,9 \dots 15,7$ $8,5$	$15,8 \dots 16,6$ 9	$16,7 \dots 17,5$ $9,5$
$\frac{D}{z} = 17,6 \dots 18,4$ $h = 10$	$18,5 \dots 19,3$ $10,5$	$19,4 \dots 20,2$ 11	$20,3 \dots 21,1$ $11,5$	$21,2 \dots 22,0$ 12	

Beispiel. Fräserdurchmesser $D = 130$ mm; Zähnezahl $z = 9$.

Verhältnis: $\frac{D}{z} = \frac{130}{9} = 14,4$. Hubhöhe h aus Tafel 4 = 8 mm.

c) Schräg hinterdrehte Fräser.

Ist der Neigungswinkel λ der Formtangente nahe oder gleich 90° , so wird der Freiwinkel α zu klein oder gleich Null. Dieser Teil des Zahnprofils wird dann drücken anstatt zu schneiden. Um diesem Übelstand zu begegnen, hinterdreht man solche Fräser schräg

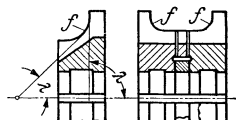


Abb. F 23. Schräg hinterdrehter Fräser.

zur Achse etwa in der Richtung der Pfeile f , Abb. F 23. Hat das Schräghinterdrehen zur Folge, daß sich die Breitenmaße der Form beim Nachschleifen ändern, so muß der Fräser aus zwei oder mehreren Teilen zusammengesetzt werden. Zur Vermeidung einer Fräsnaht versetzt man die Trennfuge nach Art der Kupp-

lungszähne und fügt Zwischenringe bei, deren Dicke sich der Änderung des Breitenmaßes anpassen muß.

Zwecks ruhigeren Arbeitens versieht man zuweilen auch hinterdrehte Fräser mit Drall. Der mögliche Drallwinkel ist von der Breite des Fräasers und den Durchmesserunterschieden innerhalb des Profils abhängig, er beträgt höchstens 15° . Die Zahnform von breiten, schrägverzahnten Fräsern prüft man zweckmäßig am Holzmodell.

C. Herstellung der Fräser¹⁾.

Entwurf und Fertigung verwickelter Fräser — insbesondere hinterdreher — erfordern meist Sonderkenntnisse und Sondereinrichtungen. Es ist daher wirtschaftlicher, Fräser von Werkzeugfabriken zu beschaffen, anstatt sie selbst herzustellen. Einige Bemerkungen zu diesem umfangreichen Gebiet mögen daher hier genügen.

I. Fräserverzahnung. Zur Herstellung der Zähne vielzahniger Fräser mit geraden oder wenig geneigten Zähnen werden doppelseitige Winkelfräser verwandt (Abb. F 24). Einseitige Fräser würden sich nicht freischneiden und dadurch die Zahnbrust mit tiefen Fräsriefen überdecken. Sollen die Zähne spiralig verlaufen, so würde ein einseitiger Fräser die Zahnbrust überschneiden (Abb. F 25), so daß ein unbrauchbarer Spanwinkel entstünde. Die Einstellung des Fräser-

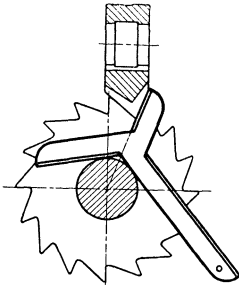


Abb. F 24.

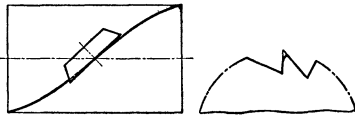


Abb. F 25. Einseitige Winkelfräser schneiden sich nicht frei.

körpers zum erzeugenden Fräser soll so erfolgen, daß die Zähne unterschritten sind, Abb. F 26, mit Spanwinkel größer als 0°.

Zum Fräsen von Stirnverzahnungen dienen einseitige Winkelfräser. Der Fräserkörper wird zur Erzielung eines Unterschnittes des Seitenzahnes um diesen Winkel geneigt, Abb. F 27.

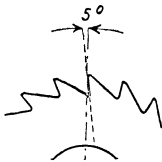


Abb. F 26. Unterschrittene Fräserzähne.

Grobgezahnte Fräser erfordern zur Erzeugung eines gewölbten Zahnrückens, soweit man diese Form der Festigkeit und guten Wärmeableitung wegen wählt, doppelseitige, hinterdrehte Fräser.

Saubere Schnitten neigen weniger zum Stumpfwerden und ergeben gute Fräsflächen.

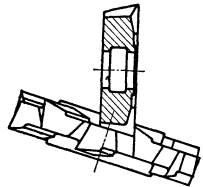


Abb. F 27. Fräsen von Stirnzähnen.

Es lohnt sich daher, auch die Spanflächen des Fräasers zu schleifen.

II. Ermittlung der Spiralsteigung kann auf zeichnerischem (Abb. F 28) oder auf rechnerischem Wege erfolgen. Wenn der Einstellwinkel α (Neigungswinkel zur Achse) gegeben ist, so ist

$$S(\text{mm}) = D(\text{mm}) \cdot 3,14 \cdot \text{ctg} \alpha, \quad S(\text{Zoll}) = \frac{D(\text{mm}) \cdot 3,14 \cdot \text{ctg} \alpha}{25,4}.$$

Der Einstellwinkel α ergibt sich aus

$$\text{tg} \alpha = \frac{D(\text{mm}) \cdot 3,14}{S(\text{mm})} = \frac{D(\text{mm}) \cdot 3,14}{S(\text{Zoll}) \cdot 25,4}.$$

Für D wäre genau genommen der mittlere Fräserdurchmesser D_m (äußerer Fräserdurchmesser D_a weniger Zahntiefe) einzusetzen, da der Einstell-

¹⁾ Werkstattbücher, Heft 22. Berlin: Julius Springer 1937.

winkel im Zahngrund ein anderer als am Fräserumfang ist. In der Praxis wird aber für D meist der äußere Fräserdurchmesser genommen, da die hierbei entstehenden Fehler vernachlässigt werden können. Eine Ausnahme machen Schneckenradfräser und schneckenförmige Zahnradfräser (Wälzfräser). Hier ist zu nehmen

$$D_m = D_a - 2 \cdot 1,166 \cdot \text{Modul} \\ = D_a - 2,33 \text{ Modul.}$$

Geringe Abweichungen sind auch hier, besonders bei Fräsern mit eingängigem Gewinde kleinerer Teilung, belanglos.

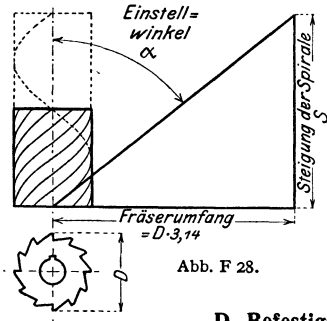


Abb. F 28.

D. Befestigung der Fräser.

I. Fräsdorne und ihre Herstellung.

Das Gewinde im Kegel des Fräsdornes, Abb. F 29, bei a dient zum festen Einziehen des Dornes in die Arbeitsspindel der Maschine und zum Wiederherausdrücken. Die Mitnehmerfläche b sichert die zwangsläufige Mitnahme.

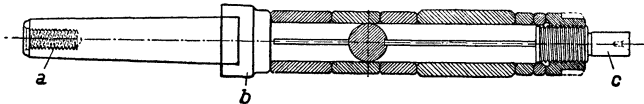


Abb. F 29. Fräsdorn.

Der vordere zylindrische Zapfen c führt den Dorn im Gegenhalter der Maschine. Wirksamer ist jedoch die Abstützung des Fräsdornes in einer Führungsbüchse, Abb. F 30, möglichst nahe am Fräser selbst. Lange Fräsdorne werden zweckmäßig mehrfach geführt, Abb. F 2, wobei ein genügend breiter Beilagering als Führung benutzt wird, der im Durchmesser etwas größer ist als die übrigen Ringe. Die Keilnute des Dornes ist viereckig auszuführen. (Normalmaße für Fräsdorndurchmesser und Keilnuten s. Tafel 5.) Die Fräsdornmutter hat Schlüsselflächen und ist gehärtet.

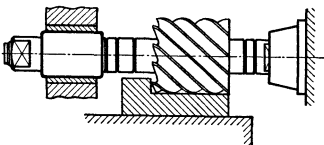


Abb. F 30. Abstützen von Fräsdornen.

Als Werkstoff für Fräsdorne wähle man Stahl hoher Festigkeit, möglichst Vergütungsstahl. Der Fräsdorn ist an allen Stellen zu schleifen. Die Gewinde sind erst nach der Warmbehandlung und nach dem Schleifen zu schneiden.

Bei der Herstellung eines Fräsdornes ist darauf zu achten, daß der fertige Dorn bei angezogener Mutter genau rund läuft. Hierfür ist erforderlich, daß alle Beilegeringe und die Mutter genau parallele Anlageflächen haben. Um dies zu erreichen, schleift man die Endflächen der Ringe planparallel. Es ist auch darauf zu achten, daß die Bohrungsachse senkrecht zu den Anlageflächen liegt und die Nute nicht zur Bohrungsachse versetzt ist.

Sehr wichtig ist es, die Anlagefläche der gehärteten Fräsdornmutter genau zu schleifen, damit sie den Dorn nicht krumm zieht. Die sorgfältig gedrehte Mutter, deren Gewinde besonders sauber zu schneiden ist, darf sich beim Härten nur ganz wenig verziehen. Nach dem Härten ist das Gewinde mit einem Gewindedorn aus Gußeisen unter Verwendung von feinem Schmirgel und Öl so zu läppen, daß die Mutter auf den Fräsdorn gut paßt. Alsdann wird auf einem besonderen Dorn die Mantelfläche und Anlagefläche genau geschliffen.

Für das Erreichen einer guten Fräsarbeit und hoher Leistungen müssen die Fräser rund laufen. Das ist aber nur möglich, wenn die Fräsdorne mit der oben geschilderten Sorgfalt hergestellt werden. Sind die zur Herstellung notwendigen Hilfsmittel nicht vorhanden, so ist es besser, man bezieht den Dorn aus einer gut eingerichteten Fabrik. Zur Einstellung der genauen Entfernung von Satzfräsern und zur Wiederherstellung der Breite nachgeschliffener seitlich gezahnter Fräser dienen dünne Beilegeringe aus genau gewalztem federhartem Stahl in verschiedenen Stärken von 0,05 bis 1 mm, ab 0,015 mm aus je nach Stärke farbigem Zellglas.

Verstellbare Fräsdorn-Zwischenringe, Abb. F 31, sind für die genaue Einstellung zweier oder mehrerer Fräser vorteilhaft zu verwenden. Die Entfernung zwischen zwei Teilstrichen entspricht 0,01 mm.

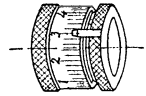


Abb. F 31. Verstellbarer Zwischenring.

II. Befestigung der Fräser in Fräsmaschinen.

Auf zylindrischen Fräsdornen werden Fräser am besten durch Keile von rechteckigem Querschnitt gegen Verdrehung gesichert, die sich besser bewähren als solche mit rundem Querschnitt. Tafel 5 gibt die für Bohrungen, Nuten und Mitnehmer für Fräser, Reibahlen und Senker festgelegten Abmessungen nach DIN 138.

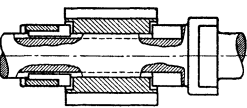
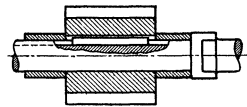
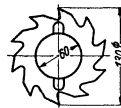
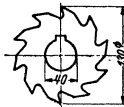


Abb. F 32. Mitnehmer für Walzenfräser.

Allerdings ist die Mitnahme der Fräser durch einen eingesetzten Keil nicht immer dem oft erheblichen Drehmoment gewachsen, das bei schweren Schnitten einem neuzeitlichen Fräser zugemutet werden kann. Der Fräsdorn und seine Fräsermitnahme sind häufig die schwächsten Glieder der Fräsmaschine. Unter der Wirkung der Schnittkraft weitet der Keil die Nute im Fräsdorn aus. Manchmal wird er selbst abgesichert oder er wird lose, setzt sich verkantet in die Nute des Fräfers und sprengt diese. Das wird durch Mitnehmer vermieden, die Abb. F 32 für Walzenfräser (DRP.), Abb. F 33 für Stirnfräser zeigt. Sie haben beide den großen Vorzug, daß sie dem gleichen Fräserdurchmesser eine größere Bohrung und damit einen stärkeren Dorn zuordnen, das Drehmoment schwingungsfrei übertragen und

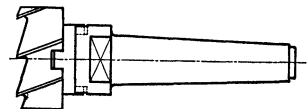


Abb. F 33. Mitnehmer für Stirnfräser.

Unter der Wirkung der Schnittkraft weitet der Keil die Nute im Fräsdorn aus. Manchmal wird er selbst abgesichert oder er wird lose, setzt sich verkantet in die Nute des Fräfers und sprengt diese. Das wird durch Mitnehmer vermieden, die Abb. F 32 für Walzenfräser (DRP.), Abb. F 33 für Stirnfräser zeigt. Sie haben beide den großen Vorzug, daß sie dem gleichen Fräserdurchmesser eine größere Bohrung und damit einen stärkeren Dorn zuordnen, das Drehmoment schwingungsfrei übertragen und

dadurch nachweislich eine geringere Antriebsleistung und eine längere Lebensdauer des Fräasers mit sich bringen. Die Mitnahme von Stirnfräsern durch eine Nute quer zur Achse dürfte demnächst Dinorm werden.

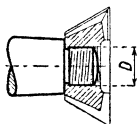
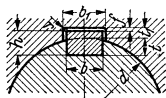


Abb. F 34.

Stirnfräser mit kleinem Durchmesser werden häufig mit Gewinde auf den Dorn geschraubt, Abb. F 34. Da die Gewindebohrung des Fräasers nach dem Härten nicht geschliffen werden kann, schärfe man zum Erreichen genauen Rundlaufens den Fräser auf dem Fräsdorn selbst. Der Schnitttrichtung des Fräasers entsprechend ist rechtes oder linkes Gewinde zu verwenden, so daß der Fräser sich beim Arbeiten fester zu ziehen sucht. Die Befestigung in einer Gewindebohrung hat aber soviel Nachteile, daß sie möglichst zu vermeiden ist.



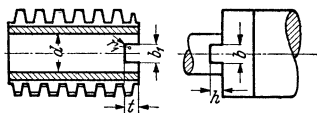
Tafel 5. Bohrungen, Nuten und Mitnehmer für Fräser, Reibahlen und Senker nach DIN 138. Fräserbefestigung durch Paßfeder.

Maße in mm.

Bohrung	d	8	10	13	16	(19)	22	27	32	40	50	60	70	80	100
Federbreite	b	2	3	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	24
Federhöhe	h	2	3	3	4	5	6	7	7	8	8	9	10	11	14
Tiefe der Dornnut	t	1,3	1,8	1,8	2,8	3,4	4,4	5	5	5,5	5,5	6	6,5	7	9
Tiefe der Fräsernut	t ₁	0,9	1,5	1,6	1,7	2,1	2,1	2,8	2,8	3,5	3,5	4,25	5	5,5	7
Breite der Fräsernut (Kleinstmaß)	b ₁	2,05	3,05	3,05	4,08	5,08	6,08	7,1	8,1	10,1	12,1	14,1	16,1	18,1	24,15
Größtes Spiel	f	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1	1	1,25	1,5	1,5	2
Ausrundung	r	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1	1	1,25	1,5	1,5	2

19 mm ist Reibahlenbohrung und für Fräser möglichst zu vermeiden. Kanten an der Feder leicht brechen.

Die Tiefe der Fräsernut t₁ darf nach dem Ausschleifen der Bohrung innerhalb des Spieles kleiner sein. (Grenzmaße für die Bohrung: Feinpassung, Gleitsitz.)



Tafel 6. Fräserbefestigung durch Mitnehmer.

Mitnehmer sind nur ausnahmsweise bei dünnwandigen Fräsern anzuwenden, die keine Längsnut gestatten.

Maße in mm.

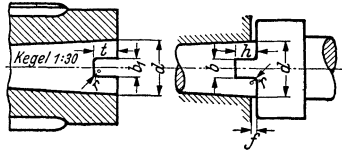
Bohrung	d	5	8	10	13	16	19 ¹⁾	22	27
Mitnehmerbreite	b	3	5	6	8	8	8	8	10
Mitnehmerhöhe	h	2	2,3	2,6	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8
Nutenbreite	b ₁	3,3	5,4	6,4	8,4	8,4	8,4	8,4	10,4
Nutentiefe	t	2,5	2,8	3,6	3,6	3,9	4,7	5	5,3
Ausrundung	r	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5
Bohrung	d	32	40	50	60	70	80	100	
Mitnehmerbreite	b	10	12	14	16	18	20	24	
Mitnehmerhöhe	h	4,3	5	5,5	6,1	6,7	7,3	8,5	
Nutenbreite	b ₁	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	24,5	
Nutentiefe	t	6,3	7	8	8,6	9,2	10,3	11,5	
Ausrundung	r	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	

¹⁾ 19 mm, ist Reibahlenbohrung und für Fräser möglichst zu vermeiden.

Der Mitnehmer erhält als oberes Ausmaß das Nennmaß, etwaiges Spiel ist in die Nut zu verlegen.

Tafel 7. Befestigung der Reibahlen
und Senker.

Maße in mm.



Bohrung	<i>d</i>	5	8	10	13	16	19	22	27
Mitnehmerbreite ...	<i>b</i>	2	3	4	4	5	6	7	8
Mitnehmerhöhe ...	<i>h</i>	2,5	3,5	4,6	4,6	5,6	6,7	7,7	8,8
Nutenbreite	<i>b₁</i>	2,2	3,3	4,3	4,3	5,4	6,4	7,4	8,4
Nutentiefe	<i>t</i>	3	4	5,6	5,6	6,6	8,2	9,2	10,3
Ausrundung	<i>r</i>	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5
Größter Abstand ..	<i>f</i>	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1,5	1,5
Bohrung	<i>d</i>	32	40	50	60	70	80	100	
Mitnehmerbreite ...	<i>b</i>	10	12	14	16	18	20	24	
Mitnehmerhöhe ...	<i>h</i>	9,8	11	12	13	14	15	16	
Nutenbreite	<i>b₁</i>	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	24,5	
Nutentiefe	<i>t</i>	11,8	13	14,5	15,5	16,5	18	19	
Ausrundung	<i>r</i>	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	
Größter Abstand ..	<i>f</i>	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	

Aufsteck-Reibahlen und -Senker erhalten normal Hohlkegel 1:30 mit dem Durchmesser der Bohrung *d* an der großen Öffnung. Zur Verwendung auf Bohrstangen wird die Bohrung zylindrisch mit dem Durchmesser *d* ausgeführt.

Werden Schafffräser mit kegeligem Zapfen im Spindelkopf befestigt, so zieht man sie mit der Anzugstange fest. Man kann dann wegen der günstigeren Schneidenwinkel an der Stirn auch rechtsschneidende Fräser

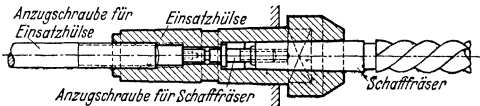


Abb. F 35. Einsatzhülse für Fräser.

mit Rechtsspirale verwenden. Wechselt die Größe des Werkzeugkegels mit dem Fräserdurchmesser, so läßt die Einsatzhülse nach Abb. F 35 die Verwendung der gleichen Anzugsstange zu. Amerikanische Fabriken befestigen Schafffräser mit Kegel in Hülsen nach Abb. F 36.

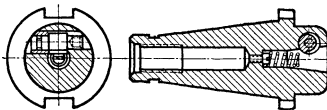


Abb. F 36. Amerikanische Fräser-
befestigung.

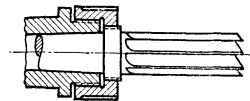
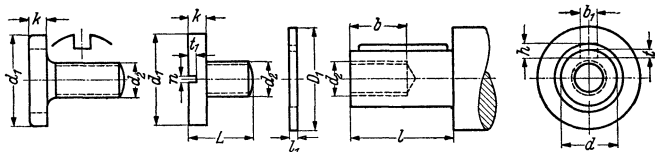


Abb. F 37. Fräserbefestigung mit
Differentialgewinde.

Zweckmäßig kann man den Fräser auch mit „Ausgleich“-Gewinde (Differentialgewinde) ausrüsten (Abb. F 37). Die beiden Gewinde verschiedener Steigung befestigen und lösen den Fräser gleich gut, wenn sie in Ordnung sind.

Tafel 8. Aufsteckdorne für Walzen- und Winkelstirnfräser nach DIN 841 und DIN 842.

Anschlußmaße nach DIN 843.



d	l	Dorn				Gewinde	Schraube					Ring	Für Walzenstirnfräser nach DIN 841	Für Winkelstirnfräser nach DIN 842	
		b	b ₁	t	h		d ₂ ¹⁾	d ₁	L	k	n				t ₁	D	l_{1}
10	7	12	3	1,8	3	M 5	14	12	3	1,5	1,5	—	—	—	35
13	24	16	3	1,8	3	M 8	17	15	3,5	1,5	1,5	19	15	—	45
13	24	16	3	1,8	3	M 8	17	15	3,5	1,5	1,5	—	—	30 × 30	—
16	11	18	4	2,8	4	M 8	21	18	5	2	2,5	—	—	40 × 20	65
16	11	18	4	2,8	4	M 8	21	18	5	2	2,5	26	3	—	55
16	29	18	4	2,8	4	M 8	21	18	5	2	2,5	—	—	40 × 40	—
16	29	18	4	2,8	4	M 8	21	18	5	2	2,5	26	3	35 × 35	—
22	37	20	6	4,4	6	M 10	28	22	6	2,5	3	—	—	50 × 50	—
22	37	20	6	4,4	6	M 10	28	22	6	2,5	3	35	24	50 × 25	75
27	20	24	7	5	7	M 12	35	26	7	2,5	3,5	—	—	{75 × 35} {90 × 35}	110
27	20	24	7	5	7	M 12	35	26	7	2,5	3,5	40	4	60 × 30	90
27	60	24	7	5	7	M 12	35	26	7	2,5	3,5	—	—	75 × 75	—
27	60	24	7	5	7	M 12	35	26	7	2,5	3,5	40	14	60 × 60	—
32	23	28	8	5	7	M 16	42	30	8	2,5	4	—	—	—	130
32	23	28	8	5	7	M 16	42	30	8	2,5	4	48	4	110 × 35	—
40	30	32	10	5,5	8	M 20	52	36	10	2,5	4	—	—	—	150
40	30	32	10	5,5	8	M 20	52	36	10	2,5	4	58	8	150 × 40	—
40	30	32	10	5,5	8	M 20	52	36	10	2,5	4	58	12	130 × 35	—

¹⁾ Von der Drehrichtung des Fräasers hängt es ab, ob die Schraube Rechts- oder Linksgewinde erhält. Schraube mit Nuten am Umfang noch nicht genormt.

Gewinde: Metrisch nach DIN 13 und 14.

Fräseraufnahme nach DIN 138

Paßfedern nach DIN 496.

Der Deutsche Normenausschuß hat bisher den Spindelkopf der Fräsmaschine mit einem Außenkegel 1:3,33 genormt. Damit ist auch die Bohrung der Messerköpfe festgelegt. DIN 2200 gibt die Übersicht der Werkzeugbefestigung an Fräsmaschinen, Abb. F 38. Die Einzelnormen sind in Tafel 9 zusammengestellt.

Tafel 9. DIN-Normen über Fräserbefestigungen.

Spindelköpfe: Konstruktionsblatt	DIN 2201	Mitnehmer	DIN 2205
Messerköpfe: Anschlußmaße	DIN 2202	Mitnehmerschrauben	DIN 2206
Mitnehmerbolzen	DIN 2203	Fräserdorne, Schaft	
Aufnahmedorn für Messerköpfe	DIN 2204	Konstruktionsblatt .	DIN 2207

Tafel 10a. Frässpindelnasen nach amerikanischer Bauart.

ISA-Empfehlung nach dem Stande vom August 1939. Maße in mm, Abmaße in μ .

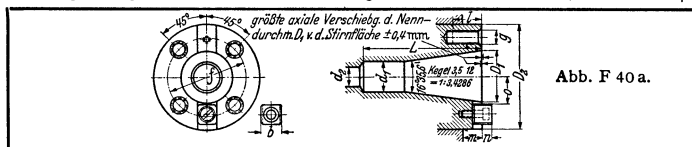


Abb. F 40 a.

Größenbezeichnung	D_1	D_2	d_1	d_2	L	g	l	t	m	b	n	o
	—	Toleranzfeld h 5	Toleranzfeld H 12	Kleinmaß	Kleinmaß	—	Ein-schraubtiefe	—	Kleinmaß	Toleranzfeld h 5 ¹⁾	Größtmaß	Kleinmaß
1 ¹ / ₄ ''	31,750	69,832 0 -13	17,40 +180 0	17	73	M 10	16	54,0 ±150	12,5	15,888 0 -8	8	16,5
1 ³ / ₄ ''	44,450	88,882 0 -15	25,32 +210 0	17	100	M 12	20	66,7 ±150	16	15,888 0 -8	8	23
2 ³ / ₄ ''	69,850	128,570 0 -18	39,60 +250 0	27	140	M 16	25	101,6 ±175	19	25,415 0 -9	12,5	36
4 ¹ / ₄ ''	107,950	221,440 0 -20	60,20 +300 0	35	220	M 20	30	177,8 ±200	38	25,415 0 -9	12,5	61

¹⁾ Ist der Mitnehmer nicht eingesetzt, sondern bildet ein Stück mit der Spindelnase, so ist die ISA-Lehre h 9 zu verwenden.

Tafel 10b. Fräsdornkegel nach amerikanischer Bauart.

ISA-Empfehlung nach dem Stande vom August 1939.

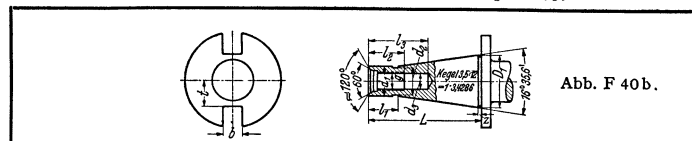


Abb. F 40 b.

Größenbezeichnung	D_1	d_1	L	l_1	g	l_2	l_3	d_3	d_2	z	b	t
	—	Toleranzfeld a 10	Größtmaß	—	—	—	—	—	—	—	Toleranzfeld B 12	Größtmaß
1 ¹ / ₄ ''	31,750	17,40 -290 +360	70	20	M 12	24	50	—	16	1,6 ±400	15,9 +330 +150	16
1 ³ / ₄ ''	44,450	25,32 -300 -384	95	25	M 16	30	60	gleich Kernloch- Durchmesser des Gewindes g	24	1,6 ±400	15,9 +330 +150	22,5
2 ³ / ₄ ''	69,850	39,60 -310 -410	130	25	M 24	45	90		38	3,2 ±400	25,4 +370 +160	35
4 ¹ / ₄ ''	107,950	60,20 -340 -460	210	45	M 30	56	110		58	3,2 ±400	25,4 +370 +160	60

DIN 2200 bis 2207 gelten heute (Anfang 1940) noch als Vornorm. Auf der Internationalen Normentagung in Helsinki, August 1939, sind die in Tafel 10

angegebenen vier Größen der amerikanischen Werkzeugbefestigung an Fräsmaschinen endgültig als ISA-Empfehlung angenommen worden.

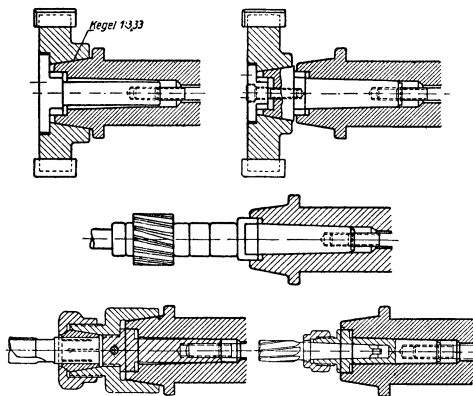


Abb. F 38. Fräserbefestigung nach DIN 2200.

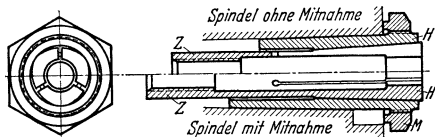


Abb. F 39. Einspannen von Fräsern mit zylindrischem Schaft.

Ferner werden noch Toleranzen für die Anschlußmaße der Messerköpfe und einige Maße für die Fräsdorne ausgearbeitet. Die Tafel 10 erhält erst nach Erscheinen des entsprechenden DIN-Blattes offizielle Gültigkeit. Abb. F 39 zeigt eine Spannhülse zum Einspannen von Fräsern mit zylindrischen Schäften. Diese sollten aber nur für Fräser gewählt werden, die nicht oder nur ganz wenig größer im Durchmesser sind als ihre Schäfte.

E. Schärfen von Fräsern¹⁾.

(Siehe auch Abschnitt „Das Schärfen der Metallkreissägen“.

Besonders zu beachten ist:

1. Schneidwerkzeuge oft schärfen. Es ist unwirtschaftlich, selten zu schärfen und dann starke Schleifspäne zu nehmen. Bei diesem Verfahren besteht Gefahr, daß die Schneiden ausglühen und rissig werden. „Weiche“ Schneiden sind selten auf Fehler in der Herstellung, meist auf Unachtsamkeit beim Schärfen zurückzuführen.

2. Schleifscheibe nach Möglichkeit gegen die Schneide laufen lassen, damit Gratbildung an der Schneide vermieden wird. Berührungsfläche zwischen Schleifscheibe und Werkzeug möglichst klein halten.

3. Zum Schärfen von Werkzeug- und Schnellstahl verwendet man Korundscheiben, und zwar zum Vorschleiff 46 L bis 50 K, zum Fertigschleiff 60 K bis 60 M. Zu langsam laufende Schleifscheiben arbeiten schlecht; für Fräderschleifscheiben ist eine Umfangsgeschwindigkeit von 15 bis 25 m/s die geeignetste.

Hartmetallschneiden schleift man mit Silizium-Karbid-Scheiben, deren Umfangsgeschwindigkeit man je nach ihrer Beschaffenheit bis auf 5 m/s herabsetzt. Hartmetalle möglichst trocken schleifen!

¹⁾ Vgl. auch Masch.-Bau 1938 S. 179.

4. Es lohnt sich, auch die Spanfläche der Fräser zu schleifen, insbesondere, wenn die Schneide schartig geworden ist (s. oben). Hartmetallschneiden müssen geläppt werden. Damit die Spanfläche sauber wird, muß die Schleifscheibe öfters abgezogen werden.

5. Nur auf rundlaufenden, zur Bohrung mit engster Toleranz passenden Dornen schleifen! Unrund laufende Fräser ergeben Minderleistung und stumpfen eher ab. Zulässiger Fräser Schlag auf der Maschine etwa 50μ .

6. Schneidenwinkel genau einhalten. Dies ist besonders wichtig bei hinterdrehten Fräsern zur Erhaltung ihres Profiles (s. S. 351). Fräser mit hohem Drall erfordern um so größere Freiwinkel als solche mit niedrigem Drall, je höher ihre Vorschubgeschwindigkeit und je kleiner ihre Schwingzahl (Drehzahl \times Zähnezahl) ist. Der beim Schnitt wirksame Freiwinkel ist senkrecht zur Schneidkante zu messen, er unterscheidet sich vom Freiwinkel senkrecht zur Fräserachse um

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha_v \cdot \cos \delta,$$

darin:

α_N Freiwinkel, senkrecht zur Fräferschneide,

α_v Freiwinkel, senkrecht zur Fräserachse,

δ Drallwinkel.

Wird beim Nachschleifen des Freiwinkels die Freifläche zu breit (b über 5 mm), so muß sie nachgeschliffen werden, da sonst der Fräser trotz richtigen Freiwinkels beim Arbeiten drückt (Abb. F 41b).

Zum Schleifen hinterdrehter Fräser mit geraden Zahnluken werden Tellerscheiben DIN 181 nach Abb. F 42 verwendet. Es kann sowohl mit der abgeschrägten als auch mit der flachen Seite geschliffen werden. Die Flachseite der Schleifscheibe gibt eine bessere Führung und macht unter Umständen, aber nur bei sehr geübten Schleifern, die Zahnaufgabe entbehrlich. In diesem Falle ist ein starkes Andrücken an die Schleifscheibe selbst bei größeren abzuschleifenden Unterschieden in der Zahnteilung unbedingt zu vermeiden, weil sonst die Schneidkanten ausgeglüht werden.

Hinterdrehte Fräser mit Drallzähnen werden am besten mit einer Scheibe DIN 182, Form C, nach Abb. F 43 geschliffen. Wird eine Scheibe nach Abb. F 42 benutzt, so darf das Schleifen nur mit der abgeschrägten Seite geschehen. Die Spanfläche der schräg genuteten Fräser stellt keine ebene, sondern eine gewundene Fläche (Schraubenfläche) dar, die von der ebenen Fläche der Schleifscheibe wesentlich abweicht. Beim Schleifen nach Abb. F 44 tritt daher ein Nachschneiden ein, das um so merkbarer wird, je größer der Durchmesser der Schleifscheibe und der Drallwinkel sind. Abb. F 45 zeigt die Art des Angriffes der flachen Seite einer Tellerscheibe in einer Drallwindung. Die Spanfläche der Zähne weicht dann, wie Abb. F 44 zeigt, nach außen zu von ihrer radialen Richtung ab. Man muß daher nach Abb. F 46 mit linien-

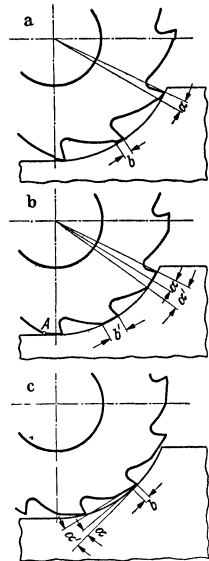


Abb. F 41 a bis c.
a Freifläche genügend frei;
b Freifläche zu breit geworden. Stelle A drückt;
c Zu breite Freifläche wieder nachgeschliffen.

förmiger Berührung schärfen, weil hierbei, wie Abb. F 47 zeigt, das Nachschneiden nicht eintritt.

Die Anwendung von Zahnauflagen ist Bedingung. Ein Anliegen der Zahnauflage an der Spanfläche, wie dies Abb. F 48 zeigt, muß unbedingt

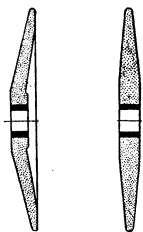


Abb. F 42. Abb. F 43.

Abb. F 42 u. 43.
Schleifscheibe für hinterdrehte Fräser.

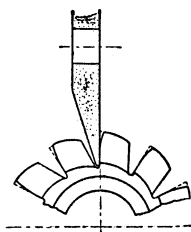


Abb. F 44.

Abb. F 44 u. 45. Falsches Schleifen hinterdrehter Fräser.

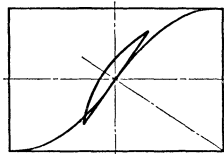


Abb. F 45.

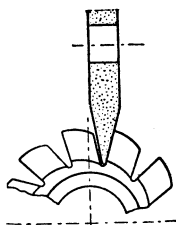


Abb. F 46.

Abb. F 46 u. 47. Richtiges Schleifen hinterdrehter Fräser.

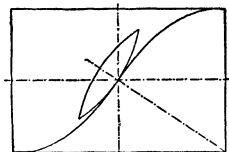


Abb. F 47.

vermieden werden, weil hierbei Teilungsfehler unvermeidlich sind und der Fräser unrund wird. Die Zahnauflage soll stets am Rücken *a* des zu schleifenden Zahnes (nicht eines anderen Zahnes) anliegen (Abb. F 49).

Die Lehren nach Abb. F 28 und F 50 dienen zum Einstellen der Arbeitsfläche der Schleifscheibe auf Fräsermitte oder auf den gewünschten Span-

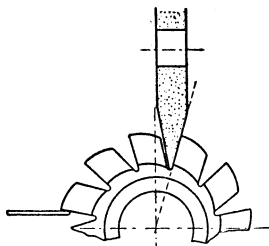


Abb. F 48.

Abb. F 48 u. 49. Falsches und richtiges Stützen des Zahnes.

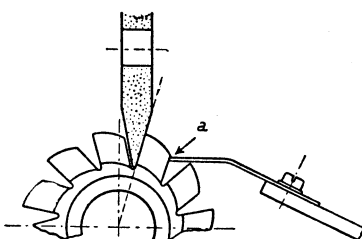


Abb. F 49.

winkel des Fräasers. Ist dieser positiv, so muß die Scheibenmitte um den Betrag $l = r \cdot \sin(\gamma + \delta)$ versetzt werden (Abb. F 51).

Ein Rundlaufen des Fräasers wird nur dadurch erreicht, daß man die höher stehenden Zähne solange an der Spanfläche nachschleift, bis die Schneidkanten aller Zähne wieder auf einem zur Bohrungsachse mittigen Kreise liegen. Man erleichtert sich diese Arbeit bei starker Unrundheit des Fräasers,

z. B. infolge Härteverzugs, dadurch, daß man alle Schneidkanten auf einer Rundschleifmaschine leicht anschleift und dann die Spanfläche bis zum Verschwinden dieser Fase nachschleift. Die Zahnteilung ändert sich hierbei zwar, was aber ohne Belang ist. Wichtig für die Schnittleistung ist jedoch die genaue Zahnhöhe, die den Rundlauf bestimmt. Die Verwendung einer Teilscheibe ist also — außer bei Fräsern mit geschliffenem Profil und dazu passender Teilung — mit Rücksicht auf den Rundlauf des Fräasers zu verwerfen, selbst dort, wo Zahnprofile mit großen Höhenunterschieden das Anbringen der Zahnauflagen erschweren.

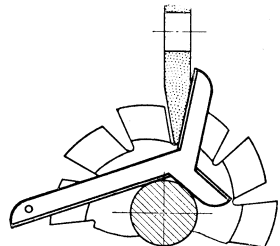


Abb. F 50. Lehre zum Einstellen der Schleifscheibe.

Das Nachschleifen hinterdrehter Fräser wird erleichtert, wenn man die Zähne, nachdem sie rundlaufen, auf genau gleiche Zahndicke schleift. Dann kann die rückwärtige Fläche des Zahnes als Auflage der Zahnstütze dienen. Beim Nachschleifen der Spanfläche wird sich die Zahnhöhe und damit der Rundlauf nicht ändern. Natürlich darf der Zahnrücken nicht durch ungeeignete Scheiben beim Schleifen beschädigt werden. Besonders wichtig ist genauer Rundlauf für die Herstellung von Verzahnungen durch Wälzfräser, da Rundlauffehler die Zahnform beeinflussen können (S. 351) ¹⁾.

Für das Scharfschleifen von Fräsern mit gefrästen Zähnen gelten sinngemäß die gleichen Regeln — insbesondere für das Nachschleifen der Zahnbrust spiralgenuteter Fräser und für den Rundlauf. Man achte darauf, daß die Spanfläche der Fräser mit starkem Drall nicht mit zu großer Scheibe geschliffen wird. Diese würde sonst nachschneiden und den Fräserzahn beschädigen. Auch hier vermeide man den Scharfschliff mit Hilfe von Teilscheiben, es sei denn, man schleift Spanfläche, Freifläche und Teilung passend zueinander, ein Verfahren, das den Fräser sehr verteuern würde. Die Zahnstütze greift an der Spanfläche des zu schleifenden Zahnes an, sie muß so ausgebildet werden, daß sie den Zahn auch nach Verlassen der Schleifscheibe noch abstützt, daß sie sich nicht verbiegt und nicht klemmt.

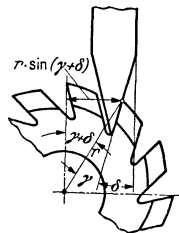


Abb. F 51.

Man schleift den Zahnrücken lieber mit Topfscheiben als mit Tellerscheiben nach, da letztere eine hohle Fläche erzeugen, und zwar um so mehr, je kleiner sie sind. Die Topfscheibe stellt man schräg und läßt sie nur mit einer Kante schneiden (Abb. F 52). Für Fräser mit enger Zahnteilung benutzt man Schleifscheiben DIN 183, Form E. Den Freiwinkel stellt man durch Heben oder Senken des Tisches der Werkzeugschleifmaschine ein (Abb. F 53).

$$\text{Einstellhöhe } A = \frac{D}{2} \cdot \sin \alpha,$$

darin: D = Fräserdurchmesser (bei Topfscheiben),
 bzw. = Scheibendurchmesser (bei Tellerscheiben).

¹⁾ Vgl. Jackowski: Beeinflussung der Laufeigenschaften von Zahnrädern durch das Scharfschleifen des Abwälzfräasers. Werkst.-Techn. 1933 S. 351. — Budnick: Genaue Zahnrad-Abwälzfräser. Maschinenbau 1934 Heft 3/4 S. 73.

Beispiel. Es ist ein Fräser von 80 mm Durchmesser mit 5° Hinterschliff mit einer Topfscheibe zu schärfen.

$$\text{Einstellhöhe } A = \frac{80}{2} \cdot \sin 5^\circ = 40 \cdot 0,0872 \approx 3,5 \text{ mm}$$

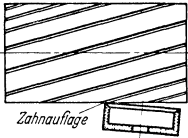


Abb. F 52. Schleifen von Walenfräsern.

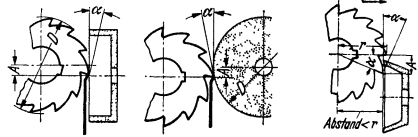


Abb. F 53.

Soll dagegen ein Fräser beliebigen Durchmessers mit einer flachen Scheibe von 120 mm Durchmesser geschliffen werden, so berechnet sich

$$A = \frac{120}{2} \cdot \sin 5^\circ = 60 \cdot 0,0872 \approx 5,2 \text{ mm.}$$

Die nachstehende Tafel 11 gibt die Einstellmaße A in mm (siehe auch Maschinenbau 1939, Heft 15/16, S. 389—390). Hierbei muß der Drallwinkel des Fräasers berücksichtigt werden. Der Freiwinkel α (Hinterschliff) eines drallverzahnten Fräasers ist, senkrecht zum Drall gemessen, größer als der in der Stirnebene gemessene Freiwinkel α' . Die Beziehung zwischen beiden ist $\text{tg } \alpha' = \text{tg } \alpha \cdot \cos \varepsilon$, wenn ε der Drallwinkel ist. Die Einstellmaße für den am meisten zur Anwendung kommenden Schliffwinkel von 5° bei geradverzahnten Fräsern sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Tafel 11. Einstellmaße für Hinterschliff von Fräsern.

Durchmesser D in mm	Drallwinkel ε	Einstellmaß A in mm für einen Frei- (Hinterschliff-) Winkel α						Durchmesser D in mm	Drallwinkel ε	Einstellmaß A in mm für einen Frei- (Hinterschliff-) Winkel α					
		6°	8°	10°	11 ³ / ₄ °	13 ³ / ₄ °	15°			6°	8°	10°	11 ³ / ₄ °	13 ³ / ₄ °	15°
60°		6°	8°	10°	11 ³ / ₄ °	13 ³ / ₄ °	60°		6°	8°	10°	11 ³ / ₄ °	13 ³ / ₄ °	15°	
50°		4 ³ / ₄ °	6 ¹ / ₂ °	7 ³ / ₄ °	9 ¹ / ₄ °	10 ³ / ₄ °	50°		4 ³ / ₄ °	6 ¹ / ₂ °	7 ³ / ₄ °	9 ¹ / ₄ °	10 ³ / ₄ °	12°	
40°		4°	5 ¹ / ₂ °	6 ¹ / ₂ °	7 ³ / ₄ °	9°	40°		4°	5 ¹ / ₂ °	6 ¹ / ₂ °	7 ³ / ₄ °	9°	10°	
25°		3 ¹ / ₄ °	4 ¹ / ₂ °	5 ¹ / ₂ °	6 ¹ / ₂ °	7 ³ / ₄ °	25°		3 ¹ / ₄ °	4 ¹ / ₂ °	5 ¹ / ₂ °	6 ¹ / ₂ °	7 ³ / ₄ °	9°	
0°		3°	4°	5°	6°	7°	0°		3°	4°	5°	6°	7°	8°	
6		0,16	0,21	0,26	0,31	0,37	95		2,49	3,31	4,14	4,97	5,79	6,61	
8		0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	100		2,62	3,49	4,36	5,23	6,09	6,96	
10		0,26	0,35	0,44	0,52	0,61	110		2,88	3,84	4,79	5,75	6,70	7,66	
12		0,31	0,42	0,52	0,63	0,73	120		3,14	4,19	5,23	6,27	7,31	8,35	
14		0,37	0,49	0,61	0,73	0,85	130		3,40	4,53	5,67	6,79	7,92	9,04	
16		0,42	0,56	0,70	0,84	0,97	140		3,66	4,88	6,10	7,32	8,53	9,74	
18		0,47	0,63	0,78	0,94	1,10	150		3,93	5,23	6,54	7,84	9,14	10,44	
20		0,52	0,70	0,87	1,05	1,22	160		4,19	5,58	6,97	8,36	9,75	11,14	
23		0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	170		4,45	5,93	7,41	8,89	10,36	11,84	
26		0,68	0,91	1,13	1,36	1,58	180		4,71	6,28	7,84	9,41	10,97	12,54	
30		0,79	1,05	1,31	1,57	1,83	190		4,97	6,63	8,28	9,93	11,58	13,23	
35		0,92	1,22	1,53	1,83	2,13	200		5,23	6,98	8,72	10,45	12,19	13,93	
40		1,05	1,40	1,74	2,09	2,44	210		5,50	7,32	9,15	10,98	12,80	14,62	
45		1,18	1,57	1,96	2,35	2,74	220		5,76	7,67	9,59	11,50	13,41	15,32	
50		1,31	1,74	2,18	2,62	3,05	230		6,02	8,02	10,02	12,02	14,02	16,02	
55		1,44	1,92	2,40	2,87	3,35	240		6,28	8,37	10,46	12,53	14,62	16,70	
60		1,57	2,09	2,61	3,14	3,66	250		6,54	8,72	10,90	13,07	15,23	17,39	
65		1,70	2,27	2,83	3,40	3,96	260		6,80	9,07	11,33	13,59	15,84	18,09	
70		1,83	2,44	3,05	3,66	4,27	270		7,07	9,42	11,77	14,11	16,45	18,70	
75		1,96	2,62	3,27	3,92	4,57	280		7,33	9,77	12,20	14,63	17,06	19,49	
80		2,09	2,79	3,49	4,18	4,87	290		7,59	10,12	12,64	15,16	17,67	20,18	
85		2,22	2,97	3,70	4,44	5,18	300		7,85	10,46	13,07	15,68	18,28	20,88	
90		2,36	3,14	3,92	4,70	5,48									

F. Teilkopf-Arbeiten.

I. Kreisteilungen.

Die neuzeitlichen Universal-Teilköpfe gestatten das Teilen in dreifacher Weise. Abb. F 54 zeigt den Längsschnitt, Abb. F 55 den Querschnitt durch einen Universal-Teilkopf.

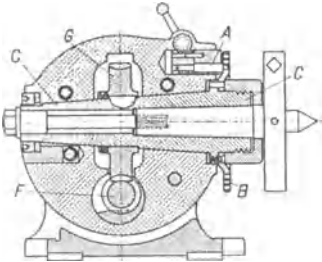


Abb. F 54.

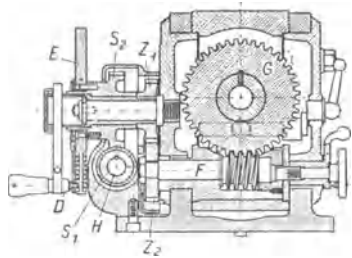


Abb. F 55.

Abb. F 54 u. 55. Teilkopf für Fräsmaschinen.

a) Einfaches Teilen, mit Teilscheibe *B* und Zeigerstift *A*, wobei die Teilscheibe fest auf der Teilkopfspindel *C* befestigt ist.

b) Mittelbares Teilen, mit Schnecke *F*, Schneckenrad *G* und der parallel mit der Schnecke *F* gelagerten, jedoch feststehenden Teilscheibe *E*. Vor der Teilscheibe befindet sich der Stift an der Zeigerkurbel *D*, der in einen der verschiedenen Lochkreise eingreift. Wird die Zeigerkurbel *D* gedreht, so wird diese Bewegung durch die Zahnräder Z_1 und Z_2 auf die Schnecke *F* übertragen, die in das Schneckenrad *G* eingreift, das fest mit der Teilkopfspindel *C* verbunden ist. Durch geeignete Wahl eines Lochkreises in der Teilscheibe *E* und der entsprechenden Anzahl Löcher können eine große Anzahl Teilungen hergestellt werden.

Zahl der herzustellenden Teilungen für eine volle Werkstück-Umdrehung ...	<i>T</i>	Für Primzahlen über 50 ist das Differential-Teilen anzuwenden
Zahl der Kurbel-Umdrehungen für eine volle Werkstückumdrehung	<i>k</i>	meistens $k = 40$
Zahl der Kurbel-Drehungen für eine Teilung	<i>u</i>	$u = \frac{k}{T} = \frac{l}{L}$
Zahl der Löcher des vollen zur Verwendung kommenden Lochkreises	<i>L</i>	$\frac{l}{L} = \frac{k}{T}$ Bei <i>T</i> kleiner als <i>k</i> wird $\frac{l}{L}$ ein unechter Bruch, bei <i>T</i> größer als <i>k</i> wird $\frac{l}{L}$ ein echter Bruch.
Zahl der Löcher auf dem Lochkreis <i>L</i> für eine Teilung oder eine Kurbeldrehung		

Beispiel I. Gegeben $T = 32$; $k = 40$.

$$\text{Lösung: } u = \frac{k}{T} = \frac{40}{32} = \frac{5}{4}.$$

Vorhandener passender Lochkreis zum Nenner „4“ $L = 16$. Also

$$u = \frac{4 \cdot 5}{4 \cdot 4} = \frac{20}{16} = 1\frac{1}{4};$$

d. h. eine volle Kurbelumdrehung und 4 weitere Löcher des Lochkreises 16.

Beispiel 2. Gegeben $T = 110$, $k = 40$.

Lösung: $u = \frac{k}{T} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11}$.

Vorhandener passender Lochkreis zum Nenner „11“ $L = 33$. Also

$$u = \frac{3 \cdot 4}{3 \cdot 11} = \frac{12}{33};$$

d. h. Kurbelumdrehung nur 12 Löcher des Lochkreises 33.

c) Differential-Teilen ist eine Erweiterung des mittelbaren Teilens und ist für solche Teilungen anzuwenden, die sich durch das mittelbare Teilen nicht verwirklichen lassen, insbesondere für Primzahlen über 50 und deren Vielfaches. Die Teilscheibe E , Abb. F 56, wird dabei von ihrem Sperrbolzen gelöst und durch Wechselräder a bis d , sowie notfalls ein oder mehrere Zwischenräder über den Zapfen H , mit der Teilspindel selbst, in die ein Spreizdorn eingesetzt wird, gekuppelt. Beim Betätigen der Zeigerkurbel D wird dann die Teilscheibe E um einen gewissen Betrag (Differenz) im oder im entgegengesetzten Sinn der Kurbel D bewegt.

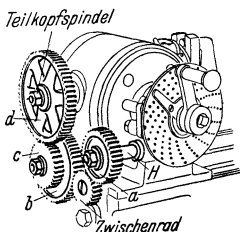
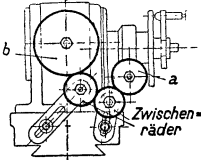
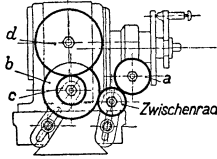


Abb. F 56. Wechselräder beim Differentialteilen.

Das Differential-Teilen ist nur für axial verlaufende Nuten zu brauchen, weil die Teilspindel und der Zapfen H einander parallel stehen müssen, um die Wechselräder a bis d in Eingriff zu bringen, und weil für Drallnuten bereits Wechselräder zwischen Leitspindel und Zapfen H notwendig sind (s. Abschnitt II, S. 368).

Zahl der für eine volle Werkstück-Umdrehung vorzunehmenden Teilungen .	T	kann jede beliebige ganze oder gebrochene Zahl sein
Zahl der für eine volle Werkstückdrehung notwendigen Kurbelumdrehungen ...	k	meistens $k = 40$
Übersetzung zwischen Zapfen H nach Teilscheibe E	i_h	meistens $i_h = 1$
Als Ersatz gewählte Zahl der Teilungen für eine volle Werkstückdrehung	T'	T' ist nahe T so zu wählen, daß für sie das mittelbare Teilen anwendbar ist und der Unterschied T' gegen T in bequemer Beziehung zu den Zähnezahlen der vorhandenen Wechselräder steht
Zahl der Kurbeldrehungen für eine Teilung T'	u	$u = \frac{k}{T'} = \frac{l}{L}$
Zahl der Löcher des vollen für T' zur Verwendung kommenden Lochkreises.	L	siehe bei „Mittelbares Teilen“
Zahl der Löcher auf dem Lochkreis L für eine Teilung T' oder eine Kurbeldrehung u	l	
Übersetzung von Teilspindel zu Zapfen h	i	$i = k \frac{T' - T}{T'}$ für $i_h = 1$

<p>Einfache Übersetzung</p> $i = \frac{a}{b}$	 <p>Abb. F 57.</p>	<p>Ist T' größer als T, ist ein Zwischenrad anzuwenden.</p> <p>Ist T' kleiner als T, sind zwei Zwischenräder (siehe Abb. F 57) anzuwenden.</p>
<p>Zweifache Übersetzung</p> $i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$	 <p>Abb. F 58.</p>	<p>Ist T' größer als T, ist kein Zwischenrad anzuwenden</p> <p>Ist T' kleiner als T, ist ein Zwischenrad anzuwenden, Abb. F 58.</p>

Beispiel 3. Gegeben $T = 337$, $k = 40$, $i_h = 1$.

Lösung: Gewählt $T' = 340$.

$$u = \frac{l}{L} = \frac{k}{T'} = \frac{40}{340} = \frac{2}{17}$$

$$i = k \frac{T' - T}{T'} = 40 \frac{340 - 337}{340} = 40 \frac{3}{340} = \frac{120}{340} = \frac{6}{17}$$

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{6}{10} \cdot \frac{10}{17} = \frac{18}{17} \cdot \frac{20}{34}$$

Kein Zwischenrad.

Beispiel 4. Gegeben $T = 247$, $k = 40$, $i_h = 1$.

Lösung: Gewählt $T' = 240$,

$$u = \frac{l}{L} = \frac{k}{T'} = \frac{40}{240} = \frac{1}{6} = \frac{3}{18}$$

$$i = k \frac{T' - T}{T'} = 40 \frac{240 - 247}{240} = -40 \frac{7}{240} = -\frac{280}{240} = -\frac{7}{6}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{7}{6} \cdot \frac{8}{8} = \frac{56}{48}$$

Ein Zwischenrad beliebig ($z = 20$).

II. Fräsen von Drallwindungen

braucht neben der Längsbewegung des Werkstückes eine gleichzeitige Drehung desselben. Die Zeigerkurbel D , Abb. F 54 und F 55, bleibt in der Teilscheibe E eingerückt, und die Wechselräder a bis d , Abb. F 59, notfalls

mit Zwischenrädern, sorgen für eine Kupplung zwischen der Leitspindel für die Verschiebung des Frässchlittens und dem Zapfen H für die Drehung der Teilscheibe und des Werkstückes. Differential-Teilen läßt sich nicht mit dem Fräsen von Drallnuten vereinigen; also müssen formgefäste Schraubenräder Zähnezahlen haben, die mit dem mittelbaren Teilen hergestellt werden können.

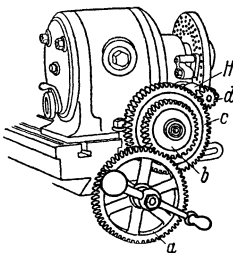
Zu fräsende Drall-Steigung auf eine volle Werkstück-Umdrehung	S	Vielfach in Zoll angegeben oder in Zoll umzurechnen; zweckmäßig S vielfaches von 4 Zoll
Anzahl der Kurbelumdrehungen für eine volle Werkstückumdrehung	k	meistens $k = 40$
Steigung der Leitspindel für die Verschiebung des Frässchlittens	s	vielfach $h = 1/4''$
Übersetzung der Wechselräder zwischen Leitspindel und Zapfen H	i	$i = \frac{k}{S/s}$
Übersetzung zwischen Zapfen H und Teilscheibe E	i_h	meistens $i_h = 1$
Einfache Übersetzung $i = \frac{a}{b}$		Bei Rechtsdrall mit einem Zwischenrad Bei Linksdrall mit zwei Zwischenrädern
Zweifache Übersetzung $i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$		Bei Rechtsdrall ohne Zwischenrad (siehe Abb. F 59) Bei Linksdrall mit einem Zwischenrad

Abb. F 59.

Beispiel 5. Gegeben $S = 18''$ Rechtsdrall; $s = 1/4''$; $k = 40$; $i_h = 1$.

Lösung:
$$i = \frac{k}{S/s} = \frac{40}{18/1/4} = \frac{40}{72} = \frac{10}{18}$$

$$i = \frac{a}{b} = \frac{10}{18} = \frac{20}{36}$$
 mit einem Zwischenrad beliebig.

Beispiel 6. Gegeben $48''$ Rechtsdrall; $s = 1/2''$; $k = 40$; $i_h = 1$.

Lösung:
$$i = \frac{k}{S/s} = \frac{40}{48/1/2} = \frac{40 \cdot 4}{48} = \frac{10}{3}$$

$$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{10}{5} \cdot \frac{5}{3} = \frac{56}{28} \cdot \frac{40}{24}$$
 ohne Zwischenrad.

III. Fräsen spiraler Kurvenscheiben.

Solche Spiralen kommen beispielsweise als Kurvenscheiben selbsttätiger Drehbänke vor.

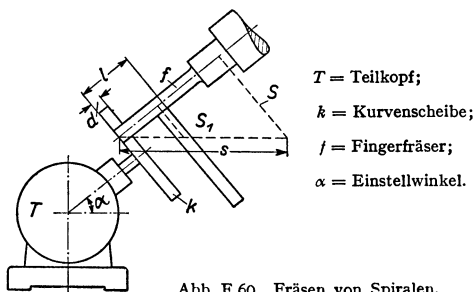


Abb. F 60. Fräsen von Spiralen.

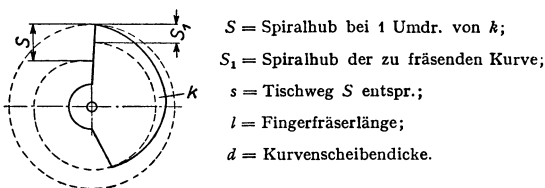
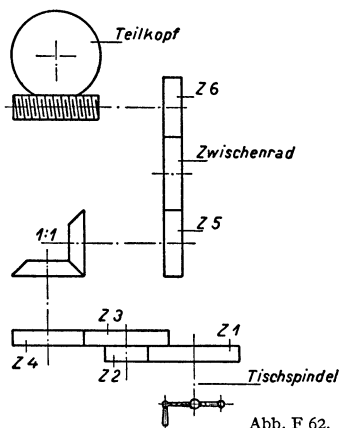


Abb. F 61. Zu fräsende Spiralscheibe.



$1) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{S_1}{l - d}$;
 $2) \quad s = \frac{S}{\sin \alpha}$;
 $3) \quad U = \frac{s}{S_t} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \cdot V.$

Abb. F 62. Plan der Übersetzungen.

Beispiel: Eine Kurvenscheibe, deren Umfang in 100 Teile geteilt ist, habe auf 85 Teile $S_1 = 15$ mm Spiralhub. $d = 11$ mm, $l = 100$ mm, $V = 40$. Rädersatz: 24, 28, 30, 32, 36, 37, 40, 48, 49, 56, 60, 64, 66, 68, 72, 76, 78, 80, 84, 86, 90, 96, 100, 112.

Wie groß ist: $\alpha, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$?

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{S_1}{l-d} \\ &= \frac{15}{100-11} \\ &= \frac{15}{89} \\ &= 0,169; \alpha \approx 9^\circ 35'. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S : S_1 &= 100 : 85; \\ S &= \frac{S_1 \cdot 100}{85} \\ &= \frac{15 \cdot 100}{85} \\ &= 17,6 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{S}{\sin \alpha} \\ &= \frac{17,6}{0,166} \\ &= 105,5 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} = \frac{s}{S_t} \cdot \frac{1}{40} = \frac{105,5}{6} \cdot \frac{1}{40} = \frac{50 \cdot 42}{80 \cdot 60}.$$

Da diese Räder nicht alle vorhanden, werden die nächstliegenden gewählt und α korrigiert

$$\frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{49 \cdot 40}{80 \cdot 60} \text{ gewählt.}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} \cdot V \cdot S_t \\ &= \frac{49}{80} \cdot \frac{40}{60} \cdot 40 \cdot 6 \\ &= 98 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{S}{s} \\ &= \frac{17,6}{98} \\ &= 0,1795. \\ \alpha &= 10^\circ 20'. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= 80; \\ Z_2 &= 49; \\ Z_3 &= 60; \\ Z_4 &= 40. \end{aligned}$$

IV. Optischer Teilkopf.

Die vollendetste Teilkopfkonstruktion verkörpert der optische Teilkopf, Erzeugnis der Firma Carl Zeiß, Jena, bei dem die durch Abnutzung der Teilschnecke sich einstellenden Ungenauigkeiten dadurch vermieden sind, daß als Teilmittel ein mit der Teilkopfspindel fest verbundener Glasteilkreis

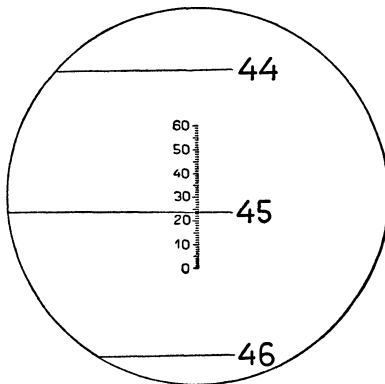
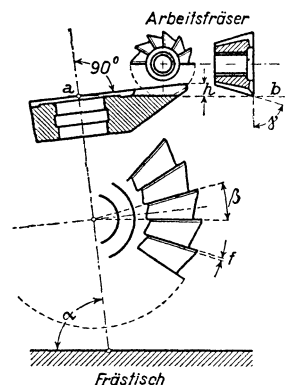
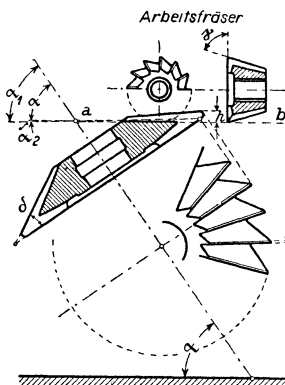


Abb. F 63. Gesichtsfeld des optischen Teilkopfes.

benutzt wird, der in Grade eingeteilt und mit einer nur bei astronomischen Geräten bekannten Winkelgenauigkeit innerhalb 4 Sekunden hergestellt ist. Abb. F 63 zeigt das Sehfeld in halber natürlicher Größe. Unter der feststehenden, mit 0 bis 60 bezeichneten Minutenteilung bewegt sich die Gradteilung des Glasteilkreises. Die Abbildung zeigt die Einstellung auf den Winkelwert $45^\circ 23,5'$.

G. Teilkopf-Einstellung zum Herstellen der Fräserverzahnungen.

 <p style="text-align: center;">Frästisch Abb. F 64.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Verzahnung einer ebenen Fläche</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">Bezeichnung</th> <th style="width: 15%;">Zeichen</th> <th style="width: 52%;">Berechnung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Einstellwinkel des Teilkopfes</td> <td style="text-align: center;">α</td> <td>$\cos \alpha = \text{tg } \beta \cdot \text{ctg } \gamma$</td> </tr> <tr> <td>Teilwinkel des Fräasers</td> <td style="text-align: center;">β</td> <td style="text-align: center;">$\frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}}$</td> </tr> <tr> <td>Winkel des Arbeitsfräasers</td> <td style="text-align: center;">γ</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verzahnung einer ebenen Fläche			Bezeichnung	Zeichen	Berechnung	Einstellwinkel des Teilkopfes	α	$\cos \alpha = \text{tg } \beta \cdot \text{ctg } \gamma$	Teilwinkel des Fräasers	β	$\frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}}$	Winkel des Arbeitsfräasers	γ										
Verzahnung einer ebenen Fläche																									
Bezeichnung	Zeichen	Berechnung																							
Einstellwinkel des Teilkopfes	α	$\cos \alpha = \text{tg } \beta \cdot \text{ctg } \gamma$																							
Teilwinkel des Fräasers	β	$\frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}}$																							
Winkel des Arbeitsfräasers	γ																								
 <p style="text-align: center;">Frästisch Abb. F 65.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Verzahnung einer Kegelfläche</th> </tr> <tr> <th style="width: 33%;">Bezeichnung</th> <th style="width: 15%;">Zeichen</th> <th style="width: 52%;">Berechnung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Einstellwinkel des Teilkopfes</td> <td style="text-align: center;">α</td> <td style="text-align: center;">$\alpha_1 - \alpha_2$</td> </tr> <tr> <td>Hilfswinkel</td> <td style="text-align: center;">α_1</td> <td>$\text{tg } \alpha_1 = \cos \beta \cdot \text{ctg } \delta$</td> </tr> <tr> <td>Hilfswinkel</td> <td style="text-align: center;">α_2</td> <td>$\sin \alpha_2 = \text{tg } \beta \cdot \text{ctg } \gamma \cdot \sin \alpha_1$</td> </tr> <tr> <td>Teilwinkel des Fräasers</td> <td style="text-align: center;">β</td> <td style="text-align: center;">$\frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}}$</td> </tr> <tr> <td>Grundwinkel des Fräserkegels</td> <td style="text-align: center;">δ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Winkel des Arbeitsfräasers</td> <td style="text-align: center;">γ</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verzahnung einer Kegelfläche			Bezeichnung	Zeichen	Berechnung	Einstellwinkel des Teilkopfes	α	$\alpha_1 - \alpha_2$	Hilfswinkel	α_1	$\text{tg } \alpha_1 = \cos \beta \cdot \text{ctg } \delta$	Hilfswinkel	α_2	$\sin \alpha_2 = \text{tg } \beta \cdot \text{ctg } \gamma \cdot \sin \alpha_1$	Teilwinkel des Fräasers	β	$\frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}}$	Grundwinkel des Fräserkegels	δ		Winkel des Arbeitsfräasers	γ	
Verzahnung einer Kegelfläche																									
Bezeichnung	Zeichen	Berechnung																							
Einstellwinkel des Teilkopfes	α	$\alpha_1 - \alpha_2$																							
Hilfswinkel	α_1	$\text{tg } \alpha_1 = \cos \beta \cdot \text{ctg } \delta$																							
Hilfswinkel	α_2	$\sin \alpha_2 = \text{tg } \beta \cdot \text{ctg } \gamma \cdot \sin \alpha_1$																							
Teilwinkel des Fräasers	β	$\frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}}$																							
Grundwinkel des Fräserkegels	δ																								
Winkel des Arbeitsfräasers	γ																								

Zum Einschneiden der Zähne muß der Fräser so eingestellt werden, daß der Grund $a-b$ der Zahnluke waagrecht, d. i. parallel zur Tischfläche liegt. Der Einstellwinkel a ist gleich dem Neigungswinkel des Zahngrundes gegen die Fräserachse. Die Schleiffläche der Zähne muß eine gleichmäßige Breite f haben; die Breite hängt von der Frästiefe h ab.

Beispiele für die Berechnung des Einstellwinkels α .

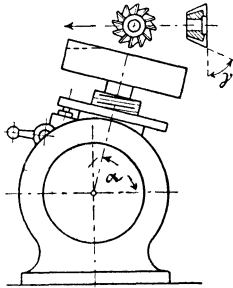


Abb. F 66.

1. Es ist die Stirnzahnung eines Scheibenfräasers mit 26 Zähnen zu fräsen. Der Arbeitsfräser hat einen Schneidwinkel γ von 75° (Formeln s. S. 371).

$$\begin{aligned}\beta &= 360^\circ : 26 = 13,84^\circ = 13^\circ 50' \\ \gamma &= 75^\circ \\ \cos \alpha &= \operatorname{tg} 13^\circ 50' \cdot \operatorname{ctg} 75^\circ \\ &= 0,2462 \cdot 0,2679 = 0,066\end{aligned}$$

$$\text{Einstellwinkel } \alpha = 86^\circ 13'$$

(vgl. Tafel 11).

2. Ein Winkelfräser von $\delta = 70^\circ$ soll mit $Z = 16$ Zähnen verzahnt werden. Der Winkel γ des Arbeitswinkelfräasers ist $\gamma = 75^\circ$. Wie groß ist der Einstellwinkel α ? (Formeln s. S. 371.)

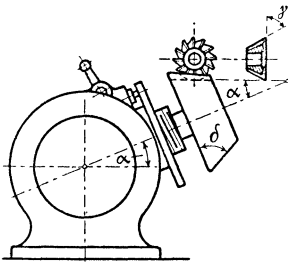


Abb. F 67.

$$\begin{aligned}\sphericalangle \beta &= 360^\circ : 16 = 22,5^\circ = 22^\circ 30' \\ \operatorname{tg} \alpha_1 &= \cos 22^\circ 30' \cdot \operatorname{ctg} 70^\circ \\ &= 0,9239 \cdot 0,3640 \\ &= 0,336; \quad \alpha_1 = 18^\circ 36' \\ \sin \alpha_2 &= \operatorname{tg} 22^\circ 30' \cdot \operatorname{ctg} 75^\circ \cdot \sin 18^\circ 36' \\ &= 0,4142 \cdot 0,2679 \cdot 0,3190 \\ &= 0,0354; \quad \alpha_2 = 2^\circ 2'\end{aligned}$$

$$\text{Einstellwinkel } \alpha = 18^\circ 36' - 2^\circ 2' = 16^\circ 34'$$

(vgl. Tafel 17).

3. In einen Winkelfräser ($\sphericalangle = 75^\circ$) mit den Grundwinkeln $\delta_1 = 15^\circ$ und $\delta_2 = 60^\circ$ sind beiderseits 16 Zähne einzufräsen, der Winkel des Arbeitsfräasers $\gamma = 70^\circ$.

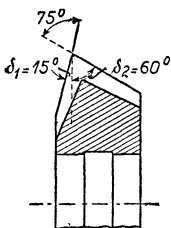


Abb. F 68.

$$\begin{aligned}\text{a) } \delta_1 &= 15^\circ; \quad \gamma = 70^\circ; \quad \beta = 360^\circ : 16 = 22^\circ 30'; \\ \operatorname{tg} \alpha_1 &= \cos 22^\circ 30' \cdot \operatorname{ctg} 15^\circ = 3,4481; \quad \alpha_1 = 73^\circ 50' \\ \sin \alpha_2 &= \operatorname{tg} 22^\circ 30' \cdot \operatorname{ctg} 70^\circ \cdot \sin 73^\circ 50' = 0,1448; \quad \alpha_2 = 8^\circ 20'\end{aligned}$$

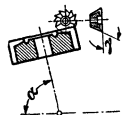
$$\text{Einstellwinkel } \alpha = 73^\circ 50' - 8^\circ 20' = 63^\circ 30'.$$

$$\begin{aligned}\text{b) } \delta_2 &= 60^\circ; \quad \gamma = 70^\circ; \quad \beta = 360^\circ : 16 = 22^\circ 30'; \\ \operatorname{tg} \alpha_1 &= \cos 22^\circ 30' \cdot \operatorname{ctg} 60^\circ = 0,5335; \quad \alpha_1 = 28^\circ 5' \\ \sin \alpha_2 &= \operatorname{tg} 22^\circ 30' \cdot \operatorname{ctg} 70^\circ \cdot \sin 28^\circ 5' = 0,071; \quad \alpha_2 = 4^\circ 5'\end{aligned}$$

$$\text{Einstellwinkel } \alpha = 28^\circ 5' - 4^\circ 5' = 24^\circ$$

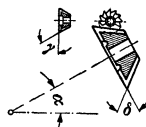
(vgl. Tafel 15).

Tafel 11. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Verzahnung einer ebenen Fläche. (Stirnverzahnung von Scheiben- und Stirnfräsern.)

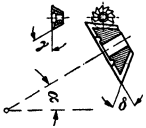


Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräasers							
	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
5	74° 23'	57° 08'	34° 24'	—	—	—	—	—
6	81° 17'	72° 13'	62° 21'	50° 55'	36° 08'	—	—	—
8	84° 59'	79° 51'	74° 27'	68° 39'	62° 12'	54° 44'	45° 33'	32° 57'
10	86° 21'	82° 38'	78° 59'	74° 40'	70° 12'	65° 12'	59° 25'	52° 26'
12	87° 06'	84° 09'	81° 06'	77° 52'	74° 23'	70° 32'	66° 09'	61° 01'
14	87° 35'	85° 08'	82° 35'	79° 54'	77° 01'	73° 51'	70° 18'	66° 10'
16	87° 55'	85° 49'	83° 38'	81° 20'	78° 52'	76° 10'	73° 08'	69° 40'
18	88° 10'	86° 19'	84° 24'	82° 27'	80° 14'	77° 52'	75° 14'	72° 13'
20	88° 22'	86° 43'	85° 00'	83° 12'	81° 17'	79° 11'	76° 51'	74° 11'
22	88° 32'	87° 02'	85° 30'	83° 52'	82° 08'	80° 14'	78° 08'	75° 44'
24	88° 39'	87° 18'	85° 53'	84° 24'	82° 49'	81° 06'	79° 11'	77° 01'
26	88° 46'	87° 30'	86° 13'	84° 51'	83° 24'	81° 49'	80° 04'	78° 04'
28	88° 51'	87° 42'	86° 30'	85° 14'	83° 53'	82° 26'	80° 48'	78° 58'
30	88° 56'	87° 51'	86° 44'	85° 34'	84° 19'	82° 57'	81° 26'	79° 44'
32	89° 00'	87° 59'	86° 56'	85° 51'	84° 37'	83° 24'	82° 00'	80° 24'
34	89° 04'	88° 07'	87° 08'	86° 06'	85° 00'	83° 48'	82° 29'	80° 59'
36	89° 07'	88° 13'	87° 18'	86° 19'	85° 24'	84° 10'	82° 50'	81° 29'
38	89° 10'	88° 19'	87° 26'	86° 31'	85° 32'	84° 28'	83° 17'	81° 57'
40	89° 12'	88° 24'	87° 34'	86° 42'	85° 46'	84° 45'	83° 38'	82° 22'

Tafel 12. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 45^\circ$.

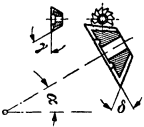


Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräasers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	26° 34'	22° 41'	18° 43'	14° 35'	10° 11'	5° 25'	—	—	—
8	35° 16'	32° 22'	29° 25'	26° 22'	23° 08'	19° 40'	15° 48'	11° 25'	6° 17'
10	38° 58'	36° 41'	34° 21'	31° 56'	29° 25'	26° 41'	23° 40'	20° 18'	16° 25'
12	40° 54'	39° 00'	37° 04'	35° 05'	33° 00'	30° 46'	28° 18'	25° 33'	20° 24'
14	42° 01'	40° 24'	38° 36'	37° 04'	35° 17'	33° 23'	31° 18'	28° 58'	26° 19'
16	42° 44'	41° 19'	39° 54'	38° 25'	36° 52'	35° 13'	33° 24'	31° 23'	29° 05'
18	43° 13'	41° 58'	40° 42'	39° 23'	38° 01'	36° 33'	34° 57'	33° 10'	31° 09'
21	43° 34'	42° 27'	41° 18'	40° 08'	38° 53'	37° 35'	36° 09'	34° 33'	32° 44'
22	43° 49'	42° 48'	41° 46'	40° 42'	39° 34'	38° 23'	37° 04'	35° 38'	33° 59'
24	44° 00'	43° 04'	42° 07'	41° 09'	40° 07'	39° 02'	37° 50'	36° 30'	35° 01'
26	44° 09'	43° 17'	42° 25'	41° 31'	40° 34'	39° 34'	38° 28'	37° 14'	35° 52'
28	44° 16'	43° 28'	42° 40'	41° 49'	40° 57'	39° 55'	39° 00'	37° 52'	36° 36'
30	44° 22'	43° 37'	42° 52'	42° 05'	41° 16'	40° 24'	39° 27'	38° 24'	37° 12'
32	44° 27'	43° 45'	43° 03'	42° 19'	41° 23'	40° 44'	39° 51'	38° 51'	37° 44'
34	44° 31'	43° 52'	43° 12'	42° 30'	41° 47'	41° 05'	40° 11'	39° 15'	38° 12'
36	44° 34'	43° 57'	43° 19'	42° 40'	41° 59'	41° 16'	40° 28'	39° 36'	38° 36'
38	44° 36'	44° 01'	43° 25'	42° 48'	42° 10'	41° 28'	40° 44'	39° 54'	38° 57'
40	44° 39'	44° 06'	43° 31'	42° 56'	42° 20'	41° 41'	40° 58'	40° 11'	39° 17'



Tafel 13. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 50^\circ$.

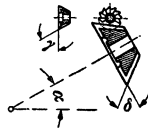
Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräsers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	22° 45'	19° 23'	15° 58'	12° 24'	8° 38'	4° 32'	—	—	—
8	30 41'	28° 07'	25° 31'	22° 50'	19° 59'	16° 55'	13° 33'	9° 45'	5° 20'
10	34° 10'	32° 07'	30° 03'	27° 53'	25° 38'	23° 12'	20° 32'	17° 34'	14° 09'
12	36° 00'	34° 18'	32° 05'	30° 47'	28° 54'	26° 54'	24° 42'	22° 15'	19° 27'
14	37° 05'	35° 38'	34° 09'	32° 37'	31° 01'	29° 18'	27° 26'	25° 21'	22° 59'
16	37° 47'	36° 31'	35° 13'	33° 53'	32° 29'	30° 59'	29° 21'	27° 33'	25° 29'
18	38° 15'	37° 07'	35° 58'	34° 47'	33° 32'	32° 13'	30° 46'	29° 10'	27° 21'
20	38° 35'	37° 34'	36° 32'	35° 28'	34° 21'	33° 10'	31° 52'	30° 26'	28° 48'
22	38° 50'	37° 55'	36° 58'	36° 00'	34° 59'	33° 54'	32° 44'	31° 25'	29° 57'
24	39° 01'	38° 10'	37° 19'	36° 25'	35° 30'	34° 30'	33° 26'	32° 14'	30° 53'
26	39° 10'	38° 23'	37° 36'	36° 46'	35° 55'	35° 00'	34° 01'	32° 54'	31° 39'
28	39° 17'	38° 34'	37° 49'	37° 04'	36° 16'	35° 25'	34° 30'	33° 29'	32° 19'
30	39° 23'	38° 43'	38° 01'	37° 19'	36° 34'	35° 47'	34° 55'	33° 58'	32° 53'
32	39° 27'	38° 49'	38° 10'	37° 31'	36° 49'	36° 04'	35° 16'	34° 22'	33° 22'
34	39° 31'	38° 55'	38° 19'	37° 41'	37° 02'	36° 20'	35° 35'	34° 45'	33° 48'
36	39° 34'	39° 00'	38° 26'	37° 51'	37° 13'	36° 34'	35° 51'	35° 03'	34° 09'
38	39° 37'	39° 05'	38° 33'	37° 59'	37° 24'	36° 46'	36° 06'	35° 21'	34° 30'
40	39° 39'	39° 09'	38° 38'	38° 06'	37° 33'	36° 57'	36° 18'	35° 35'	34° 47'



Tafel 14. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern $\delta = 55^\circ$.

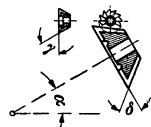
Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräsers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	19° 17'	16° 25'	13° 30'	10° 28'	7° 15'	3° 48'	—	—	—
8	26° 21'	24° 07'	21° 52'	19° 31'	15° 03'	14° 24'	11° 30'	8° 15'	4° 29'
10	29° 32'	27° 44'	25° 55'	24° 01'	22° 03'	19° 55'	17° 36'	15° 01'	12° 03'
12	31° 14'	29° 44'	28° 14'	26° 38'	24° 59'	23° 13'	21° 17'	19° 08'	16° 41'
14	32° 15'	30° 58'	29° 39'	28° 18'	26° 53'	25° 22'	23° 43'	21° 53'	19° 48'
16	32° 45'	31° 37'	30° 29'	29° 18'	28° 03'	26° 44'	25° 17'	23° 41'	21° 52'
18	33° 21'	32° 21'	31° 20'	30° 17'	29° 10'	28° 00'	26° 43'	25° 18'	23° 41'
20	33° 40'	32° 46'	31° 51'	30° 54'	29° 55'	28° 51'	27° 42'	26° 25'	24° 59'
22	33° 54'	33° 05'	32° 15'	31° 23'	30° 29'	29° 21'	28° 28'	27° 09'	26° 00'
24	34° 04'	33° 19'	32° 33'	31° 46'	30° 56'	30° 03'	29° 06'	28° 02'	26° 50'
26	34° 13'	33° 31'	32° 49'	32° 05'	31° 19'	30° 31'	29° 38'	28° 29'	27° 32'
28	34° 19'	33° 40'	33° 01'	32° 21'	31° 38'	30° 53'	30° 03'	29° 09'	28° 07'
30	34° 25'	33° 49'	33° 12'	32° 34'	31° 55'	31° 12'	30° 26'	29° 35'	28° 38'
32	34° 29'	33° 55'	33° 21'	32° 45'	32° 08'	31° 28'	30° 45'	29° 58'	28° 54'
34	34° 32'	34° 00'	33° 28'	32° 54'	32° 19'	31° 42'	31° 02'	30° 17'	29° 26'
36	34° 35'	34° 05'	33° 34'	33° 03'	32° 30'	31° 54'	31° 16'	30° 34'	29° 46'
38	34° 38'	34° 10'	33° 41'	33° 11'	32° 39'	32° 06'	31° 30'	30° 50'	30° 04'
40	34° 40'	34° 13'	33° 45'	33° 17'	32° 47'	32° 15'	31° 41'	31° 03'	30° 20'

Tafel 15. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 60^\circ$.

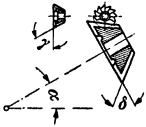


Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräasers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	16° 06'	13° 41'	11° 12'	8° 42'	6° 82'	3° 09'	—	—	—
8	22° 12'	20° 13'	18° 23'	16° 23'	14° 18'	12° 03'	10° 36'	6° 52'	3° 43'
10	25° 02'	23° 30'	21° 56'	20° 19'	18° 36'	16° 47'	14° 08'	12° 36'	10° 05'
12	26° 34'	25° 16'	23° 57'	22° 36'	21° 11'	20° 39'	18° 00'	16° 09'	14° 03'
14	27° 29'	26° 22'	25° 14'	24° 04'	22° 50'	21° 32'	20° 06'	18° 22'	16° 44'
16	28° 04'	27° 05'	26° 06'	25° 04'	24° 00'	22° 51'	21° 36'	20° 13'	18° 39'
18	28° 29'	27° 37'	26° 44'	25° 49'	24° 52'	23° 50'	22° 44'	21° 30'	20° 06'
20	28° 46'	27° 59'	27° 11'	26° 22'	25° 30'	24° 35'	23° 35'	22° 29'	21° 14'
22	28° 59'	28° 16'	27° 33'	26° 48'	26° 01'	25° 11'	24° 16'	23° 16'	22° 07'
24	29° 09'	28° 30'	27° 50'	27° 09'	26° 26'	25° 40'	24° 50'	23° 54'	22° 52'
26	29° 16'	28° 40'	28° 03'	27° 25'	26° 45'	26° 03'	25° 17'	24° 26'	23° 28'
28	29° 22'	28° 48'	28° 14'	27° 39'	27° 02'	26° 23'	25° 42'	24° 52'	23° 59'
30	29° 27'	28° 56'	28° 24'	27° 51'	27° 16'	26° 39'	26° 00'	25° 15'	24° 25'
32	29° 31'	29° 02'	28° 32'	28° 01'	27° 28'	26° 54'	26° 16'	25° 35'	24° 48'
34	29° 34'	29° 06'	28° 38'	28° 09'	27° 39'	27° 06'	26° 31'	25° 52'	25° 08'
36	29° 37'	29° 11'	28° 44'	28° 17'	27° 48'	27° 17'	26° 40'	26° 07'	25° 25'
38	29° 40'	29° 15'	28° 50'	28° 24'	27° 57'	27° 28'	26° 56'	26° 22'	25° 42'
40	29° 42'	29° 18'	28° 54'	28° 30'	28° 04'	27° 36'	27° 06'	26° 33'	25° 55'

Tafel 16. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 65^\circ$.

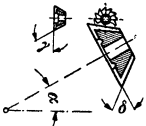


Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräasers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	13° 07'	11° 10'	9° 08'	7° 04'	4° 53'	2° 33'	—	—	—
8	18° 15'	16° 42'	15° 05'	13° 27'	11° 42'	9° 51'	7° 50'	5° 35'	2° 39'
10	20° 40'	19° 23'	18° 04'	16° 44'	15° 18'	13° 48'	12° 09'	10° 21'	8° 15'
12	21° 59'	20° 54'	19° 48'	18° 40'	17° 29'	16° 12'	13° 49'	13° 17'	11° 22'
14	22° 47'	21° 51'	20° 54'	19° 55'	18° 53'	17° 48'	16° 36'	15° 17'	13° 47'
16	23° 18'	22° 29'	21° 39'	20° 47'	19° 53'	18° 55'	17° 52'	16° 43'	15° 24'
18	23° 40'	22° 56'	22° 11'	21° 25'	20° 37'	19° 46'	18° 50'	17° 48'	16° 37'
20	23° 55'	23° 15'	22° 35'	21° 54'	21° 10'	20° 24'	19° 23'	18° 38'	17° 24'
22	24° 06'	23° 30'	22° 53'	22° 15'	21° 36'	20° 54'	20° 08'	19° 17'	18° 19'
24	24° 15'	23° 42'	23° 08'	22° 34'	21° 57'	21° 19'	20° 36'	19° 50'	18° 57'
26	24° 22'	23° 49'	23° 20'	22° 48'	22° 15'	21° 39'	21° 00'	20° 17'	19° 28'
28	24° 27'	23° 59'	23° 30'	23° 00'	22° 29'	21° 56'	21° 20'	20° 40'	19° 54'
30	24° 31'	24° 05'	23° 38'	23° 10'	22° 40'	22° 09'	21° 36'	20° 59'	20° 16'
32	24° 35'	24° 10'	23° 45'	23° 19'	22° 52'	22° 22'	21° 51'	21° 16'	20° 26'
34	24° 38'	24° 15'	23° 51'	23° 26'	23° 01'	22° 33'	22° 04'	21° 30'	20° 53'
36	24° 40'	24° 18'	23° 55'	23° 32'	23° 08'	22° 42'	22° 14'	21° 43'	21° 07'
38	24° 41'	24° 19'	23° 58'	23° 36'	23° 13'	22° 47'	22° 22'	21° 57'	21° 20'
40	24° 42'	24° 22'	24° 00'	23° 39'	23° 17'	22° 53'	22° 27'	22° 00'	21° 29'



Tafel 17. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 70^\circ$.

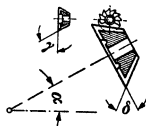
Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräsers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	10° 18'	8° 44'	7° 09'	5° 32'	3° 48'	—	—	—	—
8	14° 26'	13° 11'	11° 55'	10° 36'	9° 14'	7° 45'	6° 09'	4° 23'	2° 22'
10	16° 24'	15° 22'	14° 19'	13° 05'	12° 07'	10° 55'	9° 36'	8° 09'	6° 29'
12	17° 30'	16° 38'	15° 45'	14° 50'	13° 53'	12° 51'	11° 45'	10° 31'	9° 07'
14	18° 10'	17° 25'	16° 38'	15° 52'	15° 01'	14° 09'	13° 12'	12° 08'	10° 56'
16	18° 35'	17° 55'	17° 15'	16° 34'	15° 50'	15° 03'	14° 13'	13° 17'	12° 13'
18	18° 53'	18° 18'	17° 40'	17° 04'	16° 26'	15° 44'	14° 59'	14° 09'	13° 13'
20	19° 06'	18° 34'	18° 01'	17° 28'	16° 53'	16° 15'	15° 35'	14° 50'	13° 59'
22	19° 15'	18° 46'	18° 16'	17° 46'	17° 14'	16° 40'	16° 03'	15° 22'	14° 35'
24	19° 22'	18° 55'	18° 28'	18° 00'	17° 31'	16° 59'	16° 26'	15° 48'	15° 05'
26	19° 28'	19° 03'	18° 38'	18° 12'	17° 45'	17° 16'	16° 45'	16° 10'	15° 31'
28	19° 32'	19° 09'	18° 46'	18° 22'	17° 56'	17° 30'	17° 01'	16° 28'	15° 52'
30	19° 36'	19° 15'	18° 53'	18° 30'	18° 07'	17° 42'	17° 14'	16° 44'	16° 10'
32	19° 39'	19° 19'	18° 58'	18° 37'	18° 15'	17° 52'	17° 26'	16° 58'	16° 26'
34	19° 41'	19° 22'	19° 03'	18° 43'	18° 22'	18° 00'	17° 36'	17° 09'	16° 39'
36	19° 43'	19° 25'	19° 07'	18° 48'	18° 29'	18° 07'	17° 45'	17° 20'	16° 51'
38	19° 45'	19° 28'	19° 11'	18° 53'	18° 34'	18° 15'	17° 53'	17° 29'	17° 02'
40	19° 46'	19° 30'	19° 14'	18° 57'	18° 39'	18° 20'	18° 00'	17° 37'	17° 11'



Tafel 18. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 75^\circ$.

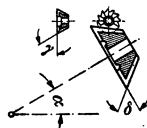
Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräsers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	7° 38'	6° 29'	5° 19'	4° 06'	2° 50'	1° 29'	—	—	—
8	10° 44'	9° 48'	8° 51'	7° 53'	6° 51'	5° 45'	4° 34'	3° 15'	1° 45'
10	12° 14'	11° 18'	10° 41'	9° 52'	9° 01'	8° 07'	7° 08'	6° 09'	4° 49'
12	13° 04'	12° 25'	11° 45'	11° 04'	10° 21'	9° 35'	8° 45'	7° 49'	6° 47'
14	13° 34'	13° 00'	12° 26'	11° 50'	11° 12'	10° 33'	9° 50'	9° 02'	8° 07'
16	13° 54'	13° 24'	12° 54'	12° 22'	11° 49'	11° 14'	10° 36'	9° 54'	9° 07'
18	14° 08'	13° 40'	13° 14'	12° 46'	12° 17'	11° 46'	11° 12'	10° 34'	9° 51'
20	14° 18'	13° 54'	13° 29'	13° 04'	12° 38'	12° 09'	11° 39'	11° 06'	10° 26'
22	14° 25'	14° 03'	13° 41'	13° 17'	12° 53'	12° 28'	12° 00'	11° 29'	10° 54'
24	14° 31'	14° 11'	13° 50'	13° 29'	13° 07'	12° 43'	12° 18'	11° 49'	11° 17'
26	14° 35'	14° 16'	13° 57'	13° 38'	13° 17'	12° 56'	12° 32'	12° 05'	11° 36'
28	14° 38'	14° 21'	14° 03'	13° 45'	13° 26'	13° 06'	12° 43'	12° 19'	11° 52'
30	14° 41'	14° 25'	14° 08'	13° 51'	13° 34'	13° 15'	12° 54'	12° 31'	12° 05'
32	14° 43'	14° 28'	14° 12'	13° 56'	13° 40'	13° 22'	13° 03'	12° 41'	12° 17'
34	14° 45'	14° 31'	14° 16'	14° 01'	13° 45'	13° 29'	13° 11'	12° 50'	12° 28'
36	14° 47'	14° 33'	14° 20'	14° 06'	13° 51'	13° 35'	13° 18'	12° 59'	12° 37'
38	14° 48'	14° 35'	14° 22'	14° 09'	13° 56'	13° 40'	13° 23'	13° 05'	12° 45'
40	14° 49'	14° 37'	14° 24'	14° 12'	13° 59'	13° 44'	13° 29'	13° 11'	12° 52'

Tafel 19. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 80^\circ$.



Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräsers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	5° 02'	4° 16'	3° 20'	2° 42'	1° 52'	0° 58'	—	—	—
8	7° 06'	6° 29'	5° 51'	5° 12'	4° 31'	3° 48'	3° 00'	2° 08'	1° 09'
10	8° 07'	7° 36'	7° 05'	6° 32'	5° 59'	5° 22'	4° 43'	4° 00'	3° 11'
12	8° 41'	8° 15'	7° 48'	7° 21'	6° 52'	6° 12'	5° 48'	5° 11'	4° 29'
14	9° 01'	8° 38'	8° 15'	7° 51'	7° 27'	7° 00'	6° 31'	5° 59'	5° 23'
16	9° 15'	8° 55'	8° 35'	8° 14'	7° 52'	7° 28'	7° 03'	6° 35'	6° 03'
18	9° 25'	9° 07'	8° 49'	8° 30'	8° 10'	7° 50'	7° 26'	7° 01'	6° 33'
20	9° 31'	9° 15'	8° 58'	8° 42'	8° 24'	8° 05'	7° 44'	7° 22'	6° 56'
22	9° 36'	9° 21'	9° 06'	8° 51'	8° 35'	8° 18'	7° 59'	7° 38'	7° 15'
24	9° 40'	9° 26'	9° 13'	8° 58'	8° 44'	8° 28'	8° 11'	7° 52'	7° 30'
26	9° 43'	9° 30'	9° 18'	9° 05'	8° 51'	8° 36'	8° 20'	8° 03'	7° 43'
28	9° 45'	9° 33'	9° 22'	9° 09'	8° 57'	8° 43'	8° 28'	8° 12'	7° 53'
30	9° 47'	9° 36'	9° 25'	9° 14'	9° 02'	8° 49'	8° 35'	8° 20'	8° 03'
32	9° 48'	9° 38'	9° 27'	9° 17'	9° 06'	8° 53'	8° 41'	8° 27'	8° 10'
34	9° 50'	9° 40'	9° 30'	9° 21'	9° 10'	8° 59'	8° 47'	8° 33'	8° 18'
36	9° 51'	9° 42'	9° 33'	9° 23'	9° 13'	9° 03'	8° 52'	8° 38'	8° 24'
38	9° 52'	9° 43'	9° 35'	9° 26'	9° 16'	9° 06'	8° 55'	8° 43'	8° 30'
40	9° 53'	9° 45'	9° 36'	9° 28'	9° 19'	9° 09'	8° 59'	8° 48'	8° 35'

Tafel 20. Einstellwinkel α des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne bei Winkelfräsern von $\delta = 85^\circ$.



Zähnezahl	Winkel γ des Arbeitsfräsers								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
6	2° 30'	2° 07'	1° 44'	1° 20'	0° 55'	—	—	—	—
8	3° 32'	3° 03'	2° 54'	2° 35'	2° 15'	1° 53'	1° 30'	1° 03'	0° 34'
10	4° 03'	3° 47'	3° 32'	3° 16'	2° 59'	2° 41'	2° 21'	1° 59'	1° 35'
12	4° 20'	4° 07'	3° 54'	3° 40'	3° 25'	3° 10'	2° 53'	2° 35'	2° 14'
14	4° 30'	4° 19'	4° 07'	3° 55'	3° 43'	3° 29'	3° 15'	2° 59'	2° 41'
16	4° 37'	4° 27'	4° 17'	4° 06'	3° 55'	3° 43'	3° 31'	3° 17'	3° 01'
18	4° 42'	4° 33'	4° 24'	4° 15'	4° 05'	3° 54'	3° 43'	3° 30'	3° 16'
20	4° 45'	4° 37'	4° 29'	4° 20'	4° 12'	4° 02'	3° 51'	3° 40'	3° 27'
22	4° 48'	4° 40'	4° 33'	4° 25'	4° 17'	4° 09'	3° 59'	3° 49'	3° 37'
24	4° 50'	4° 43'	4° 36'	4° 29'	4° 22'	4° 14'	4° 05'	3° 56'	3° 45'
26	4° 51'	4° 45'	4° 28'	4° 32'	4° 25'	4° 18'	4° 10'	4° 01'	3° 51'
28	4° 53'	4° 47'	4° 41'	4° 35'	4° 29'	4° 22'	4° 14'	4° 06'	3° 57'
30	4° 53'	4° 47'	4° 42'	4° 36'	4° 30'	4° 24'	4° 17'	4° 09'	4° 01'
32	4° 54'	4° 49'	4° 44'	4° 38'	4° 33'	4° 27'	4° 20'	4° 13'	4° 05'
34	4° 55'	4° 50'	4° 45'	4° 40'	4° 35'	4° 29'	4° 23'	4° 17'	4° 09'
36	4° 56'	4° 51'	4° 47'	4° 42'	4° 37'	4° 32'	4° 26'	4° 20'	4° 12'
38	4° 56'	4° 52'	4° 47'	4° 43'	4° 38'	4° 33'	4° 28'	4° 22'	4° 14'
40	4° 56'	4° 52'	4° 48'	4° 44'	4° 39'	4° 34'	4° 29'	4° 24'	4° 17'

Das Schärfen der Metallkreissägen.

(Siehe auch „Fräsen“, Abschnitt E.)

Metallkreissägen (Kaltkreissägen) haben meistens eingesetzte Zähne oder Zahngruppen, um nicht das ganze Sägeblatt aus hochwertigem Stahl anfertigen zu müssen und um ausgebrochene Zähne leicht ersetzen zu können. Als günstigste Verzahnung hat sich die Drehstahlform, Abb. 1, eingeführt, die ein einwandtreies Abrollen des Spanes ermöglicht.

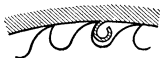


Abb. 1. Drehstahl-ähnliche Form der Sägezähne.

Die Zähne werden abwechselnd als Vor- und Nachschneider ausgebildet. Der Nachschneidezahn ist etwas kürzer. Der längere Vorschneidezahn ist an seiner Spitze beiderseitig abgeschragt. Hierdurch ergibt sich eine Spanteilung, die den Kraftbedarf und die Schnittfähigkeit der Sägen günstig beeinflusst, Abb. 2a und b.

Die beschriebenen Sägen erfordern zu ihrer Instandhaltung mit Rücksicht auf den verhältnismäßig hohen Anschaffungswert besondere Schärftmaschinen. Die auf dem Markt befindlichen Ausführungen sind zum größten Teil allgemein verwendbar ausgebildet. Sie lassen sich auf alle gebräuchlichen Sägendurchmesser und auf das jeweilige Zahnprofil einstellen. Es läßt sich sowohl die genaue Zahnentfernung durch Klinkenvorschub an einer Teilscheibe einhalten, als auch die Zahnhöhe bei laufender Maschine feinfühlig einstellen. Einfache Maschinen machen für das Kürzerschleifen der Nachschneidezähne einen besonderen Arbeitsgang erforderlich. Für große Schärflleistungen sind Maschinen vorzuziehen, die sowohl die Vorschneide- wie auch Nachschneidezähne in einem Zuge überschleifen. Hier läßt sich sogar der Höhenunterschied h



Abb. 2a und b. Sägeblatt mit Vorschneider x und Nachschneider y .

zwischen den beiden Zahnspitzen nach Wunsch einstellen. Die Sägenlieferfirmen geben für ihre Erzeugnisse die günstigsten Werte für dieses Maß h an.

Das doppelseitige Abschrägen der Zahnspitzen an den Vorschneidezähnen braucht nicht bei jedesmaligem Schärfen vorgenommen zu werden; es wird in einem besonderen Arbeitsgang, aber meist auf der gleichen Maschine, ausgeführt.



Abb. 3. Abschrägen der Zahnspitzen durch Schrägstellen des Sägeblattes.

Die Art der Einstellung ist hierbei unterschiedlich. Man verwendet hauptsächlich drei Arten:

1. Das Sägeblatt wird mit seiner Haltevorrichtung schräg gestellt, Abb. 3, damit die Schärfscheibe nur die Ecke des Sägezahnes fortnimmt. Für die zweite Zahnecke ist ein nochmaliges Umstellen erforderlich.

2. Die Sägeneinstellung bleibt unverändert, dafür läßt sich der Schleifkopf waagrecht verschieben, so daß er sowohl vor wie auch hinter seine Stellung beim Schleifen des Zahnprofils gebracht werden kann.

In Abb. 4 zeigt der mittlere Kreis die Einstellung der Schärfscheibe beim Schleifen des Zahnprofils, die beiden äußeren Kreise dagegen die Einstellungen beim Abschrägen der Zahnecken.

3. Es wird eine am Schleifkopf sitzende Zusatzvorrichtung mit einer zweiten, von der Hauptwelle angetriebenen Schärfscheibe verwendet. Die

Lage der Hauptschärfscheibe bleibt unverändert, dagegen wird die Zusatzvorrichtung einmal von vorn und einmal von ruckwärts so weit gegen das Sägeblatt eingeschwenkt, daß die Zahnspitzen beiderseits abgeschragt werden.

Dá, wie bereits eingangs gesagt, nur die Vorschneidezähne abzuschragen sind, müssen alle diese Maschinen beim Abschragen entweder mit doppeltem Vorschub arbeiten oder aber die Hubbewegung der Schärfscheibe wird so eingestellt, daß die Ecken der Nachschneidezähne nicht mit angegriffen werden.

Gemeinsam ist allen Maschinen die Verwendung umlaufender Schärfscheiben, die durch Nocken- oder Exzentersteuerung eine Hubbewegung ausführen, während die Sägen durch ruckweise oder auch gleichmäßige Vorschubbewegung weitergeschaltet werden. Durch geeignete Formgebung der Nocken ergibt die Relativbewegung zwischen Scheibe und Säge die gewünschte Zahnform.

Die Scheiben, die meistens in keramischer Bindung verwendet werden, erhalten ein abgerundetes Profil, das sich infolge des wandernden Berührungspunktes selbst erhält. Es ist infolgedessen höchstens ein Aufrauen der Scheiben mit Hilfe handelsüblicher Abrichtgeräte erforderlich.

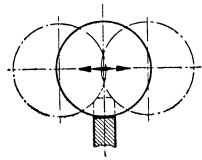


Abb. 4. Abschragen der Zahnspitzen mit verstellbarer Schleifscheibe.

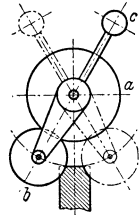


Abb. 5. Abschragen der Zahnspitzen durch besondere Abschraugscheibe.

a Haupt-Schärfscheibe;
b Abschrag-Scheibe;
c Griff zum Einschwenken von b.

Schleifen¹⁾.

A. Schleifwerkzeuge.

I. Schleifmittel.

Die Schleifwerkzeuge bestehen aus Schleifmittel und Bindung. Die natürlichen Schleifmittel sind fast vollständig von den künstlichen verdrängt. Hauptsächlich werden verwendet: Kunstkorunde und Silizium Karbid.

Kunstkorund wird aus Tonerde gewonnen (Aluminiumoxyd Al_2O_3) und hauptsächlich zur Bearbeitung zäher Werkstoffe mit höherer Festigkeit benutzt (Werkzeugstahl, Stahl- und Temperguß, Schmiedeeisen, Bronze usw.)

Silizium-Karbid (SiC) entsteht aus einer Schmelze von Quarzsand, Koks, Sägemehl und Salz. Es ist geeignet zum Schleifen spröder Werkstoffe von geringerer Festigkeit (Gußeisen, Hartguß, Glas, Porzellan, Steinen, aber auch sehr weicher Werkstoffe, wie Aluminium, Kupfer, Hartgummi usw.).

Für die Eigenschaft der Schleifwerkzeuge sind außerdem maßgebend: ihre Körnung, Bindung und Härte.

II. Körnung.

Die Körnung (Korngröße) wird nach der Feinheit des Siebes bezeichnet, durch welches das zerkleinerte Korn gerade noch durchfällt. Die Zahl gibt an, wieviel Maschen das Sieb auf die Länge von einem Zoll hat. Die ganz feinen Körnungen werden durch Schlämmen erzeugt. Hierbei gibt die Zahl die Minuten an, die zum Absetzen auf dem Gefäßboden benötigt werden.

¹⁾ Schleifen. d. h. in diesem Falle Schärfen, von Werkzeugen ist in den die jeweiligen Werkzeuge betreffenden Abschnitten behandelt.

Man unterscheidet nachstehende Körnungen:

		8	10	12	sehr grob
14	16	20	24	30	grob
36	40	46	50	60	mittel
70	80	90	100	120	fein
150	180	200	220	240	sehr fein
240	300	400	500	600	Staubform (geschlämmt).

Es werden auch verschiedene Körnungen gemischt (sog. Mischkörnungen).

III. Bindung.

Die gebräuchlichsten Bindungen sind keramisch, vegetabilisch und mineralisch.

a) Keramische Bindungen bestehen hauptsächlich aus Ton, Feldspat und Quarz und werden für hochgebrannte Scheiben (1400 bis 1600°) verwendet. Ihre Haupteigenschaften sind: geringe Elastizität, große Porosität und Verwendbarkeit für Trocken- und Naßschliff. Die Härte läßt sich feinstufig wählen. Daher sind keramische Bindungen für die verschiedensten Zwecke sehr gut geeignet.

b) Vegetabilische Bindungen sind Schellack-, Gummi-, Natur- und Kunstharz- sowie Ölbindungen.

Im Gegensatz zu den keramisch gebundenen Scheiben sind die vegetabilischen Bindungen elastisch. Dies ist besonders bei dünnen Scheiben oder bei stoßweisen Beanspruchungen vorteilhaft.

Schellack-Scheiben werden vielfach für Feinschliff auf Rundschleifmaschinen benutzt und können mit genügend feinem Korn sogar als Polierscheiben Verwendung finden.

Gummi-Scheiben, die bei niedrigen Temperaturen vulkanisiert werden, sind allgemein als Sägenschärfscheiben in Benutzung; siehe Abschnitt „Schärfen von Metall-Kreissägen“. Auch als Trennscheiben¹⁾ sind sie in vielen Fällen geeignet.

Kunstharz-Scheiben (Bakelit) werden nicht gebrannt, sondern nur bei geringer Temperatur gehärtet. Die Härteabstufungen sind jedoch nicht sehr groß. Die Kunstharz-Scheibe hat sich heute schon fast alle Arbeitsgebiete erobert: vom Grob- und Schruppschliff bis zum Fein- und Polierschliff; sie wird meistens trocken angewandt. Ein Hauptanwendungsgebiet ist das Trennschleifen¹⁾, wobei es von großem Vorteil ist, daß sich diese Scheiben in sehr geringen Stärken ausführen lassen.

c) Mineralische Bindungen, bei denen man zwischen Magnesit- und Silikatbindungen unterscheidet, treten gegenüber den vorerwähnten Bindungen stark zurück.

Magnesit-Scheiben, die nicht gebrannt werden, sondern nur an der Luft trocknen und erhärten, sind gegen Feuchtigkeit ziemlich empfindlich. Ihre Härte ist gering, daher verwendet man sie meistens an Stelle des Sandsteins, also zum Schleifen von Messern und Kleinteilen, bei denen ein zarter Schliff verlangt wird.

Silikat-Scheiben haben eine Wasserglasbindung und können für Naß- und Trockenschliff benutzt werden.

d) Gefüge der Schleifscheiben. Nicht die Bindung allein, sondern auch das Gefüge der Scheibe ist von großem Einfluß auf ihre Eigenschaften. Bei sonst gleichen Verhältnissen werden die Scheiben mit Gefügen nach Abb. S 1 auch verschieden arbeiten.

¹⁾ Werkstatt und Betrieb 1939 Heft 3/4.

Scheiben mit dichtem Gefüge ergeben feineren Schliff. Stark offene (poröse) Scheiben haben große Spanräume und sind vornehmlich für Schruppschliff geeignet; sie schleifen „kühler“. Dagegen kann infolge ihrer starken Saugefähigkeit beim Naßschliff Unwucht durch ungleichmäßige Wasserverteilung auftreten. Die Offenheit (Porosität) beeinflusst in erster Linie die Härte der Scheibe, mit der nicht etwa die Härte des Kornes, sondern der Widerstand gemeint ist, der dem Ausbrechen des Kornes seitens der Bindung entgegengesetzt wird.

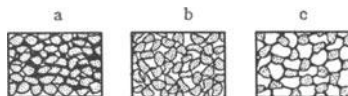


Abb. S 1a bis c. Gefüge von Schleifscheiben: a dicht, b mittel offen, c stark offen.

e) Härte der Schleifscheiben. Eine Scheibe hat die richtige Härte, wenn sich das Schleifkorn nach seinem Stumpfwerden durch den nun stärkeren Druck aus seiner Bindung löst und einem neuen, schärferen Korn Platz macht. Ist die Scheibe zu hart, so brechen die stumpfen Körner nicht aus, und die Scheibe „drückt“. Zu weiche Scheiben verlieren das Korn zu leicht, sie nutzen sich infolgedessen zu schnell ab.

Die Härte wird fast ausschließlich nach der Norton-Skale durch Buchstaben angegeben.

Die Bestimmung der Härte wird in der Praxis durch Anschaben oder Anbohren mittels eines Schraubenziehers von Hand vorgenommen. Bei einiger Übung sind hierdurch sehr feine Härteunterschiede festzustellen.

sehr weich	weich	mittel	hart	sehr hart
E	H	L	P	T
F	I	M	Q	U
G	Jot	N	R	V
	K	O	S	W

Von anderen auf dem Markt befindlichen Härteprüfgeräten sind besonders zu nennen:

Schaber mit Kontrollvorrichtung zur Einhaltung gleichen Anpreßdruckes.

Schlagprüfer mit Nadelspitzen. Hierbei ist die Eindringtiefe für die Härte maßgebend.

Sandstrahlgebläse, bei denen die in einer bestimmten Zeit erzielten Lochtiefen gemessen werden.

Diese und ähnliche Geräte haben sich jedoch in der Werkstatt noch nicht allgemein durchsetzen können.

IV. Auswahl der Schleifscheiben.

Bei der Auswahl der Schleifwerkzeuge sind so viele Punkte von Einfluß, daß es nicht möglich ist, für einen bestimmten Werkstoff und ein bestimmtes Schleifverfahren eindeutig die geeignetste Scheibe anzugeben.

Daher kann die nachstehende Tafel nur Anhaltspunkte bei der Auswahl der Schleifwerkzeuge geben:

Werkstoff	Schleifmittel und Bindung	Rundschliff	Innenschliff	Flächenschliff
Gehärteter Stahl.....	Korund keramisch	46 K-M	40–50 K	mit Segment. 24–60 Jot
Weicher Stahl.....	desgl.	40–50 L-N	45–60 K-N	24–60 I-K
Gußeisen.....	Silizium-Karbid keramisch	40–60 I-K	40–46 H-L	20–40 H-K
Messing.....	desgl.	30–36 Jot-K	30–40 H-K	24–40 H-Jot
Aluminium u. a. Leichtmetalle (Elektron usw.)	Silizium-Karbid und Kunstharz keramisch	36–60 I-Jot	30–60 H-Jot	20–40 H-I

Als allgemeine Richtlinien merke man sich:

Je härter der Werkstoff, desto weicher soll die Scheibe sein. Für Vorschleiff wähle man weichere Scheiben und gröberes Korn. Für Nachschleiff härtere Scheiben und feineres Korn.

Für das Handschleifen sind härtere Scheiben als bei maschineller Zustellung zu wählen.

Große Berührungsflächen erfordern weichere Scheiben und gröberes Korn, damit die Spanräume größer sind.

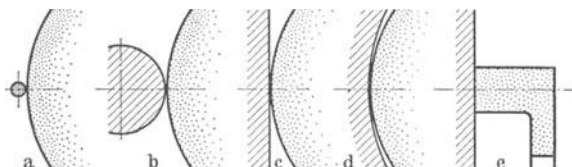


Abb. S 2a bis e. Berührung zwischen Werkstück und Schleifscheibe nach zunehmendem Spanweg geordnet. a. Werkstückdurchmesser klein. b. Werkstückdurchmesser übliche Größe. c. Werkstückdurchmesser unendlich (Ebene). d. Werkstückdurchmesser negativ (Innenschleifen). e. Flächenberührung, Spanweg verhältnismäßig sehr lang.

Die Art der Berührung zwischen Werkstück und Schleifscheibe, Abb. S 2a bis e, hat Einfluß auf die Wahl von Körnung und Bindung nach folgenden Gesichtspunkten:

Werkstoff zähe (Fließspäne) verlangt große Spanräume, also grobes Korn, Werkstoff spröde (Brockenspäne) gestattet kleinere Spanräume, also feineres Korn.

Spanweg kurz, Abb. S 2a, gestattet kleinere Spanräume, also feineres Korn,

Spanweg lang, Abb. S 2d bis e, verlangt großen Spanraum, also grobes Korn. —

Werkstoff schwer zerspanbar verlangt weiche Bindung,

Werkstoff leicht zerspanbar gestattet härtere Bindung.

Spanweg kurz, Abb. S 2a, verlangt harte Bindung zum Schutz gegen vorzeitiges Zermürben der Scheibe und gestattet harte Bindung, weil Spanabnahme je Korn gering,

Spanweg lang, Abb. S 2d bis e, verlangt weiche Bindung, weil Schleifkörner rasch stumpf werden.

Vorschub klein gestattet harte Bindung,

Vorschub groß verlangt weiche Bindung, weil Schleifkörner rasch stumpf werden.

Kann man der Schleifscheibenlieferfirma Angaben über Schleifmittel, Korn, Bindung und Härte nicht machen, so mache man, um ganz sicher zu gehen, genaue Angaben über den zu schleifenden Werkstoff, gewünschte Werkstoffabnahme, geforderte Feinheit und Genauigkeit des Schleiffs, Art der verwendeten Maschine, Drehzahl des Schleifwerkzeugs, ob naß oder trocken gearbeitet wird.

Die Abmessungen der Schleifwerkzeuge wähle man möglichst nach DIN. Außer den Scheiben für Werkzeugschleiff (für Fräser, Reibahlen, Spiralbohrer, Drehstähle usw.) sind bereits genormt:

verjüngte (konische) Schleifscheiben	DIN 190,
gerade Schleifscheiben (für Außenrundsleiff)	DIN E 2214.

Weitere Normblätter befinden sich in Vorbereitung.

B. Vorbereitungen zur Schleifarbeit.

I. Befestigung der Scheiben.

Die Scheiben sind vor dem Einspannen abzuklopfen. Gesprungene Scheiben geben keinen klaren Ton und dürfen keinesfalls verwendet werden (Gefahr des Zerspringens). Die Maschinen müssen mit kräftiger Schutzhaube aus Stahlguß oder Schmiedeeisen versehen sein, keinesfalls darf Grauguß oder Aluminium hierzu verwendet werden. Man lese die Unfallverhütungsvorschriften der Eisen- und Stahlberufsgenossenschaft, die in den §§ 9 bis 26 die einschlägigen Bestimmungen enthalten.

Wichtig ist ferner die richtige Einspannung der Scheiben und Segmente, die nur unter Verwendung weicher Zwischenlagen aus Wollpapier zu geschehen hat. Hierdurch wird ein sattes Anliegen erreicht und ein Zerdrücken verhindert.

Die Einspannflanschen von Rundschleifscheiben müssen gleiche Durchmesser haben, und zwar soll derselbe mindestens $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ des Scheibendurchmessers betragen. Durch Ausdrehungen erreicht man eine einwandfreie Klemmung am Rand der Flanschen. Die Scheibenbohrung darf nicht zu groß sein; andererseits ist ein Aufzwängen der Scheiben auf die Welle oder Flanschnabe zu vermeiden. Die Abb. S 3a zeigt eine einwandfreie Ein-

spannung, Abb. S 3b eine falsche Befestigung.

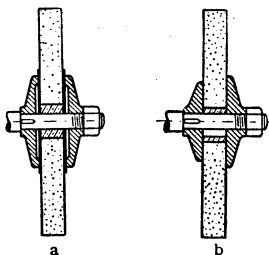


Abb. S 3a und b. Richtige und falsche Einspannung von Schleifscheiben.

II. Auswuchten der Scheiben.

Für einen ruhigen und erschütterungsfreien Lauf der Scheiben ist ein vollkommenes Auswuchten Voraussetzung. Bei schmalen Scheiben genügt häufig ein statisches Auswuchten, das darin besteht, daß die Scheiben mit den Einspannflanschen auf einen Auswuchtdorn gesteckt und dann auf zwei genau waagrecht angeordnete Schneiden oder, besser noch, genau zylindrische Dorne, Abb. S 4, gelegt werden. Gerät hierbei die aus ihrer Ruhelage gebrachte Scheibe ins Pendeln, so ist in der senkrechten Ebene entweder oberhalb der Achse ein entsprechendes Zusatzgewicht am Flansch anzubringen oder aber unterhalb der Achse etwas Werkstoff zu entfernen. Die Scheibe ist genau ausgewuchtet, wenn sie, aus ihrer Ruhelage gebracht, in jeder Stellung stehenbleibt.

Breite Scheiben können sog. Schwerpunkte in verschiedenen Ebenen haben, Abb. S 5, die sich vielleicht bei statischer Auswuchtung nicht bemerkbar machen, da sie sich unter Umständen gegenseitig aufheben. Bei voller Umlaufzahl dagegen bilden sie ein Kräftepaar, das einen unruhigen Lauf zur Folge hat. Diese Tatsache macht vielfach eine dynamische

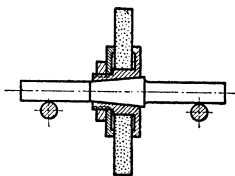


Abb. S 4. Statisches Auswuchten von Schleifscheiben.

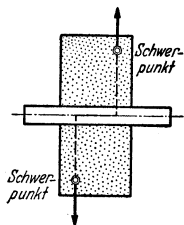


Abb. S 5. Kräftepaar an breiten Schleifscheiben.

Auswuchtung erforderlich, die bei voller Drehzahl auf Auswuchtmaschinen vorgenommen wird. Die neuesten Auswuchtmaschinen erlauben unmittelbare Ablesung, in welcher Ebene das Gegengewicht anzubringen ist und wie groß dasselbe gewählt werden muß.

Das Auswuchten spielt hauptsächlich beim Außenrundscheifen eine Rolle, hat aber auch beim Flächenschleifen mit großen Topfscheiben oder Segmentköpfen Bedeutung.

III. Trocken- und Naßschleifen.

Das Schleifen von Gußeisen erfolgt meistens trocken, wobei jedoch dünnwandige Teile mit geringer Schleifradbeistellung bearbeitet werden müssen, da sonst eine übermäßige Erwärmung und ein Verziehen der Werkstücke eintritt. Für eine gute Staubabsaugung ist hierbei Sorge zu tragen.

In allen übrigen Fällen wird zur Vermeidung übermäßiger Erwärmung vornehmlich naß geschliffen. Verwendet wird mit gutem Erfolg eine 3- bis 5proz. Sodalösung. Außerdem sind im Handel die verschiedensten Kühlmittel erhältlich. Von Wichtigkeit ist, daß die Lösungen weder ein Rosten der blanken Maschinenteile, noch eine Beschädigung des Maschinenanstrichs zur Folge haben. Ungeeignet sind ferner Kühlmittel, die Ausschläge an den Händen der Schleifer verursachen. Für die Kühlflüssigkeit muß ein genügend großer Behälter mit mehreren Kammern vorgesehen werden, damit sich der Schleifschlamm absetzen kann und nur reine Flüssigkeit angesaugt wird. Verunreinigte Kühlflüssigkeit verursacht Kratzer auf der geschliffenen Oberfläche.

C. Außen-Rundscheifen (Vorschubscheifen).

I. Arbeitsgeschwindigkeiten.

Die meisten Maschinen arbeiten bei umlaufendem und gleichzeitig längsbewegtem Werkstück (Norton). Besonders lange Maschinen, z. B. Walzen-Schleifmaschinen, werden auch mit umlaufendem Werkstück und gleichzeitig längsbewegtem Schleifschlitten ausgeführt (Landis).

Außer den Eigenschaften der Schleifscheibe selbst sind für die Schleifwirkung von Einfluß:

Drehzahl n bzw. Schnittgeschwindigkeit v der Schleifscheibe,
 Drehzahl n bzw. Umfangsgeschwindigkeit u des Werkstückes,
 Vorschub s bzw. Vorschubgeschwindigkeit s' ,
 Spantiefe a je abzuhebender Werkstoffschicht.

a) Schnittgeschwindigkeiten v der Schleifscheibe sind üblich:

Zu schleifender Werkstoff	Schnittgeschwindigkeiten v von Scheiben mit	
	keramischer Bindung. Silikat- und Kunstharz-Bindg. etwa m/s	Magnesit-Bindung m/s
Stahl	30	20 bis 25
Schnellstahl	20	
Gußeisen	25	
Leichtmetall	15	

Bezüglich der zulässigen Höchst-Schnittgeschwindigkeiten sei auf die Unfallverhütungsvorschriften der Eisen- und Stahl-Berufsgenossenschaft und die besonderen Bestimmungen des Deutschen Schleifscheiben-Ausschusses in Hannover verwiesen. Auskünfte erteilt der Verein Deutscher Schleifmittelwerke e. V., Charlottenburg 2, Postfach 3.

Zum Errechnen der Drehzahlen oder der Schnitt- bzw. Umfangsgeschwindigkeiten gelten die nachstehenden Formeln. Dabei sind einzusetzen:

Drehzahl n in U/min,
 Schnittgeschwindigkeit v in m/s,
 Durchmesser d in mm.

$$\text{Es ist Drehzahl } n = \frac{60000 \cdot v}{d \cdot \pi},$$

$$\text{Schnittgeschwindigkeit } v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60000}.$$

Außerdem merke man sich:

Durch Erhöhung der Drehzahl wirkt eine Schleifscheibe wie eine mit härterer Bindung.

Durch Herabsetzen der Drehzahl wirkt eine Schleifscheibe wie eine mit weicherer Bindung.

Zum Aufrechterhalten der günstigsten Umfangsgeschwindigkeiten sollen abgenützte Scheiben möglichst auf höhere Drehzahlen umstellbar sein, was durch Stufenscheiben-Antrieb, stufenlos regelbare Getriebe oder durch regelbare Antriebsmotoren zu erreichen ist.

b) Umfangsgeschwindigkeiten u des Werkstückes haben sich nach bestimmten Erfahrungswerten in der Praxis bewährt.

Zu schleifender Werkstoff	Umfangsgeschwindigkeiten u des Werkstückes	
	Schruppen m/min	Schlichten m/min
Gußeisen	12 bis 15	10 bis 12
Weicher Stahl	10 „ 12	8 „ 10
Gehärteter Stahl	12 „ 15	10 „ 12
Messing	15 „ 18	12 „ 15
Leichtmetalle	30 „ 40	20 „ 30

Zum Errechnen der Drehzahlen oder der Umfangsgeschwindigkeiten gelten die nachstehenden Formeln. Dabei sind einzusetzen:

Drehzahl n in U/min,
 Umfangsgeschwindigkeit u in m/min,
 Durchmesser d in mm.

$$\text{Es ist Drehzahl } n = \frac{1000 \cdot u}{d \cdot \pi},$$

$$\text{Umfangsgeschwindigkeit } u = \frac{n \cdot d \cdot \pi}{1000}.$$

Maßgebend ist eigentlich nicht die Werkstück-Drehzahl bzw. Werkstück-Umfangsgeschwindigkeit, sondern das Verhältnis der Schnittgeschwindigkeit der Schleifscheibe zur Umfangsgeschwindigkeit des Werkstückes. Je größer dieses Verhältnis ist, um so feiner wird die geschliffene Oberfläche.

c) Der seitliche Vorschub s ist in erster Linie für die Mengenleistung der Schleifmaschine maßgebend. Man gibt ihn meistens in mm/U, d. h. je

Werkstückumdrehung, an, und zwar als Bruchteil der Schleifscheibenbreite B . Durchschnittliche Vorschübe sind für

Stahl	$s = \frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4} B$,
Gußeisen	$s = \frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5} B$,
sehr feinen Schliff	$s = \frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3} B$.

Der Vorschub je Werkstückumdrehung darf nie größer werden als die Schleifscheibenbreite B , weil sonst nur eine Schraubenfläche aus der Werkstückoberfläche herausgearbeitet werden würde.

Für das Umrechnen des Vorschubes s in die auf der Schleifmaschine angegebene Vorschubgeschwindigkeit s' in m/min gilt die Formel

$$s' = \frac{s \cdot n}{1000},$$

wobei s in mm und die Drehzahl des Werkstückes n in U/min einzusetzen ist.

d) Die Spantiefe a richtet sich nach der Körnung der Schleifscheibe. Zu große Spantiefe hat ein Zusetzen und ein Drücken harter Scheiben oder eine übermäßig große Abnützung weicher Scheiben zur Folge. Übliche, auf den Halbmesser des Werkstückes bezogene Spantiefen sind:

Zu schleifender Werkstoff	Spantiefe a beim	
	Schruppen	Schlichten
Maschinenstahl	0,02 bis 0,05	0,005 bis 0,01 mm
Gußeisen	0,08 „ 0,15	0,02 „ 0,05 mm

Zweckmäßige Schleifzugaben sind in DIN 60 angegeben.

II. Das Abrichten der Schleifscheiben

erfolgt beim Rundschleifen durch Diamanten. Die Scheibe soll dabei, wenn möglich, langsamer als mit der Schnittgeschwindigkeit laufen. Naß schleifende Scheiben zieht man mit, trocken schleifende ohne Kühlwasserzufuhr ab.

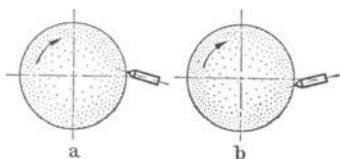


Abb. S 6a und b. Falsch und richtig eingestellter Abricht-Diamant.

Abb. S 6a und b zeigen falsche und richtige Diamant-Einstellung. Über der Maschinenmitte und gegen die Umlaufrichtung der Scheibe eingestellte Diamanten laufen Gefahr, auszubringen.

Zum Abrichten neuer oder grober Scheiben werden vielfach zwecks Ersparnis der teuren Diamanten Abziehgeräte aus gerillten Stahlrädchen oder

andere im Handel befindliche Vorrichtungen verwendet. Das gilt besonders auch für Topfscheiben oder Segmentköpfe für Flachsleifen.

Sonderausführungen von Abziehvorrichtungen sind:

Abrundvorrichtungen für das Hohlkehlschleifen (meist mit einstellbaren Halbmessern).

Profilierereinrichtungen für das Einstechschleifen (meist mit Schablonen arbeitend). Hierher gehört auch das Gewindeschleifen, siehe Abschnitt „Schleifen von Gewinden“.

III. Das Einspannen der Werkstücke

zwischen toten Spitzen gibt die günstigsten Schleifergebnisse. In Sonderfällen, insbesondere bei fliegender Einspannung, wird mit umlaufender Spindelstockwelle gearbeitet. Eine Unterstüztung durch Setzstöcke (Lünetten) ist bei dünnen Wellen oder längeren fliegend gespannten Werkstücken erforderlich. Das Anstellen der Unterstüztungsbacken muß nach jedem Tischdurchgang nach Maßgabe der Schleifradbeistellung erfolgen und erfordert große Geschicklichkeit, da durch unrichtige Nachstellung der Backen die Werkstücke abgedrängt werden und Ungenauigkeiten entstehen.

Die fliegende Spannung ist entweder in Backenfuttern oder bei kleinen Teilen in Spannpatronen möglich, letztere bei Reihenfertigung häufig mit Preßluftspannung.

IV. Das Messen

in einfachster Form geschieht mit Rachenlehren oder Schraublehren. Selbsttätig anzeigende Meßgeräte arbeiten mit Fühlhebeln, geben nur Vergleichswerte an und müssen daher nach einem Musterstück eingestellt werden. Man unterscheidet:

Meßgeräte, die fest auf den Maschinentisch gesetzt werden.

Geräte, die mit Hilfe von Klemmbacken oder prismatischen Auflageflächen am Werkstück anliegen und oft durch einen besonderen Taststift auf die Anzeige-Einrichtung einwirken.

Geräte, die gelenkig am festen Maschinenkörper angebracht werden und damit auch von Erschütterungen des Werkstückes unabhängig sind.

Die Fühlhebelgeräte können, wenn ihre Meßflächen durch Hartmetall-Auflage oder Diamant gegen Abnutzung geschützt sind, auch während des Schleifens am Werkstück verbleiben, so daß sie den jeweiligen Bearbeitungszustand anzeigen.

D. Das Einstechschleifen.

Beim Rundschleifen kürzerer oder profilierter Stellen wird, besonders in der Reihenfertigung, häufig das Einstechverfahren benutzt.

Einstech-Schleifmaschinen haben meistens keinen Tischselbstgang, höchstens eine Einstellmöglichkeit von Hand. Das Schleifrad erhält die Breite der zu schleifenden Stelle und wird selbsttätig mit einstellbarer Vorschubgeschwindigkeit gegen das Werkstück angestellt. Häufig ist außerdem eine Schnellverstellung vorhanden, um das Schleifrad ohne großen Zeitverlust ganz zurückfahren zu können. Für das Messen, Ein- und Ausspannen ist diese Einrichtung sehr vorteilhaft. Die breiten Schleifräder erfordern starke Antriebsmotoren. Die Schleifradzustellung je Werkstückumdrehung ist mit Rücksicht auf den größeren Scheibendruck erheblich kleiner zu wählen als bei gewöhnlichen Rundschleifmaschinen. Er beträgt je nach Durchmesser und Werkstoff der Werkstücke 0,002 bis 0,04 mm/U. Die Drehzahlen von Werkstück und Schleifrad entsprechen den im Abschnitt C angegebenen Werten beim Vorschubschleifen.

Häufig wird beim Einstechschleifen eine geringe hin und her gehende Bewegung der Schleifscheibe in Richtung ihrer Achse ausgeführt (Zonenverschiebung), um dadurch eine feinere Oberfläche zu bekommen.

Sonderzubehör sind selbsttätige Meß- und Ausschaltvorrichtungen, die beim Erreichen eines bestimmten Durchmessers in Tätigkeit treten; ferner Abdreh-, Abrund- und Profiliereinrichtungen. Letztere arbeiten mit Schablonen.

E. Innenschleifen.

Die im Abschnitt „Außen-Rundschleifen“ gemachten grundlegenden Ausführungen haben auch für das Innenschleifen Geltung. Innenschleifspindeln sollen zur Vermeidung des Abfederns möglichst stark und kurz sein. Bohrungen, bei denen das Verhältnis von Durchmesser : Länge über 1 : 7 hinausgeht, sind schon schwierig zu schleifen. Die Drehrichtungen von Werkstück und Schleifrad sollen gegenläufig sein, wobei die Gangrichtung der Flanschbefestigungsschraube für die Drehrichtung der Scheibe maßgebend ist. Letztere muß ein Festziehen des Flanschgewindes bewirken.

Die Scheibe wählt man möglichst groß, etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ der Bohrung.

Während umlaufsfähige Werkstücke meistens in waagerechter Lage geschliffen werden, sind die für sperrige Stücke, z. B. Zylinderblöcke usw., erforderlichen Planetenspindel-Schleifmaschinen häufig senkrechter Bauart. Hier werden die Werkstücke fest auf dem waagerechten Maschinentisch aufgespannt. Die infolge senkrechter Anordnung ohne jeden Durchhang arbeitende Spindel führt die Schleifraddrehung, die kreisende, exzentrische Drehung der ganzen Spindel (Planetbewegung) und den Längsvorschub des Schleifrades aus.

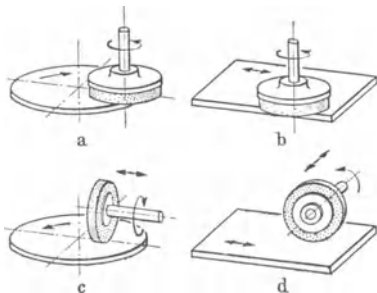


Abb. S 7 a bis d. Flächenschleifen.

Jede dieser Arbeitsweisen ist sowohl bei waagerechter wie auch senkrechter Anordnung des Maschinentisches möglich. Erstere wird häufiger angewandt, da sie das Auf- und Abspannen sowie das Messen der Arbeitsstücke erheblich erleichtert.

F. Flächen-Schleifen.

Flächenschliff ist auf verschiedene Arten möglich:

- a) mit Stirnschleifkopf auf Rundtisch, Abb. S 7 a,
- b) mit Stirnschleifkopf auf Langtisch, Abb. S 7 b,
- c) mit Umfangschleifrad auf Rundtisch, Abb. S 7 c,
- d) mit Umfangschleifrad auf Langtisch, Abb. S 7 d.

I. Das Schleifen mit Stirnschleifkopf

ist besonders geeignet für große Spanleistungen, wobei häufig eine Vorbearbeitung durch Hobeln oder Fräsen erspart werden kann. Bei stark unterbrochenen Flächen wählt man als Werkzeug gern eine Topfscheibe, bei Vollflächen zur besseren Kühlung und Spanabfuhr einen Segmentschleifkopf. Je nachdem, ob der Schleifkopf genau waagrecht oder etwas geneigt steht, ergeben sich die beiden Schleifbilder, Abb. S 8 a und b.



Abb. S 8 a und b. Schleifbild bei genau senkrecht stehender und bei etwas geneigter Schleifspindel.

Der seitlich geneigte Schleifkopf erzeugt einen geringen Hohlchliff, der häufig sogar erwünscht ist. Die zu schleifenden Flächen müssen bei dieser Arbeitsweise einen Überlauf des Schleifkopfes gestatten.

a) **Rundtisch-Maschinen** sind vorteilhaft für ring- und scheibenförmige Werkstücke in Einzelaufspannung oder auch für die Massenerbearbeitung kleinerer Teile, mit denen der Tisch voll belegt wird. Die Tischmitte soll jedoch möglichst frei bleiben, da hier keine Vorschubgeschwindigkeit mehr vorhanden ist.

b) **Langtisch-Maschinen** werden für das Schleifen langgestreckter Teile, wie Zylinderblöcke, Leisten, Platten usw., bevorzugt. Die Schleifköpfe sollen breiter als die Schleifflächen sein, damit letztere in einem Zuge voll überstrichen werden. Die Beistellung des Schleifwerkzeuges wird bei den gebräuchlichen Maschinen mit dem Schleifkopf vorgenommen. Die erreichbaren Genauigkeiten betragen je nach Größe und Form der Werkstücke 0,01 bis 0,02 mm.

II. Das Schleifen mit Umfang-Schleifrad

ermöglicht wegen der viel geringeren Berührungsfläche zwischen Schleifrad und Werkstück nicht die gleichen Spanleistungen wie Maschinen mit Stirnschleifkopf. läßt dafür aber größere Genauigkeiten zu. Die Beistellung erfolgt entweder mit dem Werkstück oder mit dem Schleifrad.

a) **Rundtisch-Maschinen** sind gebräuchlich für den Feinschliff von Kolben- und Kugellagerringen bei zentrischer Aufspannung, sowie bei ringförmiger Tischbelegung für Kleinteile jeder Art. Ein Ausgleich für die nach der Tischmitte geringer werdende Vorschubgeschwindigkeit wird entweder durch Neigen des Schleifschlittens bzw. des Tisches oder aber durch selbsttätige Regelung der Tischdrehzahl in Abhängigkeit vom Schleifradvorschub erzielt. Ohne derartige Maßnahmen können die Flächen leicht hohl werden.

b) **Langtisch-Maschinen** führen den erforderlichen Quervorschub entweder mit dem Schleifrad oder bei kleineren Maschinen auch mit dem Tisch aus. Bei geeigneter Formgebung, Abb. S 9, des Schleifrades ist auch in gleicher Aufspannung ein Schleifen seitlicher Bunde möglich. Die mit Umfangschleifrad erreichbaren Arbeitsgenauigkeiten betragen bei kleinen Maschinen 2 bis 3 μ , bei größeren Maschinen 5 bis 8 μ .

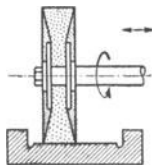


Abb. S 9 Seitliches Schleifen eines Bundes.

III. Das Aufspannen der Werkstücke

geschieht entweder mechanisch mit Hilfe von T-Schlitzten oder magnetisch. Falls der für die Magnetplatten erforderliche Gleichstrom nicht zur Verfügung steht, werden kleine Umformer oder Gleichrichter benutzt. Für die Massenerfertigung von kleinen Teilen wird, falls keine Sonderspannvorrichtung erforderlich ist, die magnetische Aufspannung bevorzugt.

G. Spitzenloses Schleifen.

Beim spitzenlosen Schleifen unterscheidet man Durchgangsschleifen und Einstechschleifen.

I. **Spitzenloses Durchgangsschleifen** hat in der Massenerfertigung kleinerer zylindrischer Werkstücke hohe Bedeutung erlangt. An die Stelle der festen Einspannung tritt die Führung durch die Schleifscheibe *a*, die Vorschubscheibe *b* und die Auflage *c*, Abb. S 10.

Die Scheibe *a* hat großen Durchmesser und große Breite; Korn und Bindung entsprechen den Angaben beim Außenrundsleifen nach dem

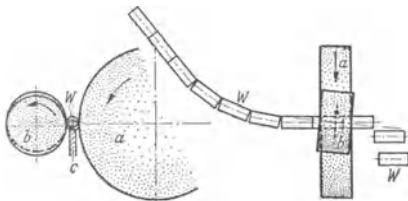


Abb. S 10. Schema des spitzenlosen Schleifens: *a* Schleifscheibe, *b* Vorschubscheibe, etwa 4° geschränkt, *c* Auflage, *w* Werkstück.

Vorschubverfahren, nur nimmt man wegen der verhältnismäßig geringen Spanabnahme und im Interesse einer längeren Standzeit der Schleifscheibe das Korn einige Grade feiner und die Bindung einige Grade härter. Die Schnittgeschwindigkeit ist die übliche (15 bis 25 m/s). Die Scheibe *b* ist im Durchmesser kleiner, in der Breite ebenso groß wie die Scheibe *a*.

Die Körnung ist gröber als die von *a*; als Bindung nimmt man vielfach Gummibindung. Die Umfangsgeschwindigkeit ist wie üblich 8 bis 12 m/min. Die Scheibe *a* ist um etwa 4° gegen die Achse von *a* geschränkt und deswegen hyperbolisch (hohl); dadurch schraubt sie das Werkstück zwischen den Scheiben längs hindurch. Die Auflage *c* ist aus verschleißfestem Werkstoff (Stahl oder Hartmetall).

Der Zwischenraum zwischen *a* und *b* entspricht dem Durchmesser des Werkstückes nach dem Schleifen und muß etwa nach je 200 bis 500 Werkstücken nachgestellt werden. Die Werkstoffabnahme im Durchmesser ist je Durchgang 10 bis 30μ ; bei größerer Schleifzugabe ist also mehrmaliger Durchgang notwendig.

Die erreichbare Genauigkeit ist für viele Zwecke ausreichend. Wegen der Gefahr der sog. Gleichdicke sollte man aber Wellen, von denen hohe Formgenauigkeit verlangt wird, nicht spitzenlos schleifen. Um solche Gleichdicke beim Messen zu erkennen, sind besondere Vorkehrungen notwendig (siehe Abschnitt „Messen“, S. 452 u. f.). Die Stückzeit ist außerordentlich gering¹⁾, die Rüstzeit nicht unerheblich, so daß sich das spitzenlose Schleifen nur für große oder sehr große Stückzahlen eignet.

II. Spitzenloses Einstechschleifen arbeitet ebenfalls mit der Schleifscheibe *a*, der Vorschubscheibe *b* und der Auflage *c* oder statt dessen, falls Hohlkörper geschliffen werden sollen, mit einem Aufsteckdorn.

Im Gegensatz zum spitzenlosen Durchgangsschleifen ist die Vorschubscheibe *b* nicht oder nur um etwa $1/4^\circ$ geschränkt gelagert, um das Werkstück gegen den Dorn oder gegen einen Anschlag zu drücken.

Die Werkstücke sind einzeln, meistens von Hand, einzuführen. Die Schleifscheibe *a* ist fest gelagert, die Vorschubscheibe *b* wird vor dem Einführen von der Scheibe *a* hinweggezogen und dann radial stetig vorgeschoben, bis ein Anschlag den Fertigdurchmesser begrenzt. Falls ein federnder Anschlag vorhanden ist, schleudert dieser beim Rückgang der Scheibe *b* das Werkstück nach rückwärts wieder heraus.

Das Verfahren eignet sich für zylindrische Stücke mit Bund, für kegelige und beliebig profilierte Stücke. Die Scheiben *a* und *b* und die Auflage *c* sind entsprechend profiliert. Werkstücke mit stark einseitigen Massen sind nicht immer nach diesem Verfahren zu bearbeiten, mindestens liegt die

¹⁾ Refa-Mappe „Schleifen“, Beuth-Vertrieb, Berlin SW 68.

Gefahr des Unrundschleifens um so näher, je mehr der Schwerpunkt des Werkstückes außer Mitte liegt.

H. Das Trenn-Schleifen¹⁾

ist eines der jüngsten Anwendungsgebiete der Schleifscheibe; es eignet sich für gehärteten und ungehärteten Stahl mit Hilfe kunstharzgebundener Scheiben von 3 bis 4 mm Stärke. Noch dünnere Scheiben werden auch in Gummibindung ausgeführt. Der Vorteil liegt in den außerordentlich kurzen Schnittzeiten gegenüber dem Trennen mit Hilfe von Sägen. Der Scheibendurchmesser ist 300 bis 400 mm. Daraus ergibt sich, daß außer Blechen oder dünnen Platten nur Rund- und Profilstangen bis etwa 50 mm größtem Durchmesser oder größter Breite oder auch dünnere Stangen in Bündeln und dünnwandige Rohre mit einem Schnitt bewältigt werden können. Die Schnittzeit beträgt nur wenige Sekunden.

Die Trennmaschinen haben Handvorschub, um die Schnittgeschwindigkeit den Werkstoffeigenschaften entsprechend gefühlsmäßig regeln zu können. Bei zu geringem Vorschub glüht der Werkstoff aus, was bei hartem Stahl vermieden werden muß. Infolge der hohen Umfangsgeschwindigkeiten dieser Scheiben (80 m/s) sind die Unfallverhütungsvorschriften hier besonders scharf. Die mit kräftigen Schutzhauben ausgestatteten Maschinen erfordern zu ihrer Aufstellung eine behördliche Anmeldung. Ihre Scheiben dürfen nur von Firmen geliefert werden, die vom Deutschen Schleifscheiben-Ausschuß hierfür zugelassen sind.

J. Praktische Winke und Kennzeichen für falsche Handhabung von Schleifscheiben.

1. Durch zu harte Scheiben, welche drücken und eine zu große Erwärmung hervorrufen, ist besonders bei dünnwandigen Stücken, bei denen die Wärmeableitung nicht schnell genug möglich ist oder wenn durch zu starke und verspätete Abkühlung durch Wasserzuführung eine Abschreckung eintritt, eine Schleifrißbildung zu befürchten.

2. Kreuzmuster entstehen beim Schleifen mit Topfscheiben, wenn sowohl die vordere und auch die rückwärtige Kante des Schleifwerkzeuges zum Angriff kommt.

3. Eine mit zu weicher Scheibe geschliffene Fläche kann ohne weiteres einwandfrei aussehen. Jedoch wird sie insbesondere bei größeren Abmessungen den Genauigkeitsvorschriften meistens nicht entsprechen, da bei einmaligem Überstreichen die Abnutzung des Schleifwerkzeuges größer sein kann als die zulässige Toleranz.

4. Bei zu harter Scheibe setzen sich deren Poren zu, sie poliert statt zu schleifen; man sagt: sie drückt. Die bearbeitete Fläche wird blank. In besonders krassen Fällen läuft die Schleiffläche durch die übermäßige Erwärmung an oder zeigt sogar Schleifrisse (siehe Absatz 1).

5. Falsche Umfangsgeschwindigkeiten wirken sich wie folgt aus:

- a) Umfangsgeschwindigkeit die Scheibe wirkt zu hart. Fehler wirken des Schleifwerkzeuges zu sich im Sinne des Abschn. 4 aus. groß:

¹⁾ Werkstatt und Betrieb 1939 Heft 3/4 S. 39.

- | | | |
|------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| b) Umfangsgeschwindigkeit
des Schleifwerkzeuges zu
gering: | } | In beiden Fällen wird die Verspannungs-
arbeit größer; die Oberflächen der Werk-
stücke werden rauher. Die Schleifscheiben
können durch stärkere Beanspruchung
schneller abgenutzt werden; sie wirken also
weicher. |
| c) Umfangsgeschwindigkeit
des Werkstückes zu groß: | | ergibt an und für sich keine Fehler, nur zu
geringe Arbeitsleistung. |
| d) Umfangsgeschwindigkeit
des Werkstückes zu gering: | | Erscheinungen wie unter b) und c). Bei
Rundschliff kann Spiralenbildung auftreten
(bei nicht gut abgezogenen Scheiben). Wenn
Vorschub je Werkstückumdrehung größer
als Scheibenbreite wird, bleiben sogar un-
geschliffene Stellen stehen. |
| e) Vorschub zu groß: | | Wirkung wie unter d). |
| f) Vorschub zu gering: | | |

6. Lagerluft in Längsrichtung (mit Umfangsschleifscheibe) ist beim Rund- und Flächenschleifen glatter Flächen bedeutungslos; beim Schleifen gegen Bunde oder Ansätze werden keine genauen und sauberen Anlauf- flächen erzielt. Bei zu großem Spiel kann sogar eine Zerstörung der Schleif- scheibe, besonders wenn sie dünnwandig ist, eintreten.

Bei Lagerluft in Längsrichtung (bei Topfscheibenschliff) wird die ge- schliffene Oberfläche rauh, uneben und liegt meistens nicht in den verlangten Toleranzen. Auch hier ist infolge plötzlich eintretender Überbeanspruchung eine Zerstörung des Werkzeuges oder der Werkstücke möglich, wenn diese dünnwandig sind.

Bei Lagerluft in Querrichtung werden die Schleifflächen nicht maß- haltig. Der Fehler zeigt sich besonders bei der Bewegungsumkehr der Ma- schine, kann aber auch durch unzulässiges Spiel in den Geradföhrungen des Maschinentisches oder Schleifschlittens hervorgerufen werden. Diese Er- scheinung wird vielfach mit „Umsetzen“ bezeichnet.

7. Hohlflächen entstehen hauptsächlich beim Schleifen mit Topfscheiben, wenn die Schleifwellenachse nicht genau senkrecht zur Schleiffläche steht. Erforderlich ist einmal genaues Abziehen der Topfscheibe und zweitens Ein- regelung der Schleifwellenlage. (Bei den meisten Maschinen sind hierfür besondere Einstellmöglichkeiten vorhanden.) Diese Einstellung muß so geschehen, daß sowohl die vordere wie auch die rückwärtige Kante des Schleifwerkzeuges am Werkstück angreift. (Kreuzmuster siehe Absatz 2).

Hohlflächen können auch durch falsche Einspannung der Werkstücke auftreten. Letztere können sich entweder durch übermäßige Erwärmung durchbiegen, wenn sie seitlich zu starr gehalten sind und sich daher nicht ausdehnen können. Oder aber sie sind schon bei der Einspannung verformt worden und gehen nach dem Schleifen und Abspannen wieder in ihre natür- liche Lage zurück, wobei die an und für sich eben geschliffenen Flächen hohl werden.

Feinstbearbeitung.

A. Begriffsbestimmung und Zweck.

Unter Feinstbearbeitung fallen die Arbeitsverfahren: Feinstdrehen, Feinstbohren; Schaben, Räumen; Feinst-, Rund-, Flächen-, Gewinde- und Formschleifen; Honen, Läppschleifen, Läpp-Polieren, bedingt auch das Preßpolieren. Der Zweck der Feinstbearbeitung liegt in der Steigerung der Werkstückgüte durch bessere geometrische Formgebung (Makrogeometrie) unter gleichzeitiger Verbesserung der Oberflächengüte (Mikrogeometrie). Diese Gütesteigerung wirkt sich durch günstigere Lauf-, Trag- und Abnutzungseigenschaften in den Maschinen und Geräten aus.

Nach den Richtlinien des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung (AWF) fallen unter den Begriff Feinstbearbeitung nur Werkstücke, deren Herstellungsgenauigkeit innerhalb der Edelpassung oder der ISA-Qualität 4 liegt. Danach gehören die Verfahren, die zur Erhöhung der Oberflächengüte dienen, wie Polieren, Schwabbeln, Trommeln mit elastischen Werkzeugen unter Verwendung von Schleif- und Poliermitteln nicht zur Feinstbearbeitung.

B. Feinstdrehen und Feinstbohren,

vorwiegend auf Sondermaschinen wie Feinstdrehbänken, Feinstbohrwerken, Lehrenbohrmaschinen ausgeführt, eignen sich praktisch für alle Metalle. Wo hohe Oberflächengüte nötig ist, sind mit Ausnahme von Diamant-Werkzeugen auch höhere Schnittgeschwindigkeiten (Fließspan) erforderlich. Wegen der dadurch bedingten schnellen Abnutzung der Schneidwerkzeuge kann nur Diamant oder Hartmetall zur Anwendung kommen.

I. Anforderungen an die Werkzeugmaschinen.

Die Starrbauweise der Maschine ist unerlässlich. Ihr Antrieb soll stets über endlose Riemen aus weichem Leder, Seide, Baumwolle oder Gummi erfolgen. Der Antriebsmotor wird zweckmäßig getrennt von der Maschine aufgestellt, um Schwingungen fernzuhalten. Es können aber auch bei nicht bodenisolierter Maschine Schwingungen von außen in die Maschine kommen. In solchen Fällen muß die Maschine auf einer schwingungsdämpfenden Unterlage stehen. Die Arbeitsspindeln sollen sehr kräftige Bauart haben, sie sind überwiegend mit Gleitlager ausgeführt und laufen, sofern engstes Spiel für hohe Ansprüche gefordert, nur in einem engen Drehzahlbereich. Das engste Spiel unter den Gleitlagern hat das Klemmlager von Mackensen¹⁾. Am besten haben sich geläppte Spindeln aus Nitrierstahl von großem Durchmesser in kurzen Bleibronzelagern (unter $1,5 D$ zur Vermeidung der Kantenpressung) mit geringer Wandstärke (wegen des Einflusses der verschiedenen Ausdehnungszahlen bei der Erwärmung) bewährt. Auch Wälzlager, besonders solche mit Vorspannung, finden als Rollen und Kugellager, letztere für leichtere Spindeln, Anwendung. Sie lassen ein engeres Spiel gegenüber dem Gleitlager zu und sind auch für einen größeren Drehzahlbereich geeignet. Sie stellen aber an die Ausführung für Dauerbenutzung, sofern ihre Laufruhe überhaupt ausreicht, außergewöhnliche Ansprüche.

Sowohl das enge Spiel und die hohe Spindeldrehzahl erfordern möglichst Umlaufschmierung, um die Erwärmung der Maschine in engen Grenzen zu halten, bzw. die Temperatur gleichmäßig auf die ganze Maschine zu verteilen. Dies ist auch zum Erreichen gleichmäßiger Abmessungen der Werk-

¹⁾ Werkstatt und Betrieb 1938 Heft 7/8 S. 96.

stücke unerlässlich. Viel Wert wird auf lange starre Schlittenführungen gelegt, auf denen sich weitausladende Schlitten als Werkzeug- oder Werkstückträger bewegen, um eine ausreichende Geradlinigkeit der Bewegung zu sichern. Den Achsgang der Hauptspindel radial und axial prüft man mit gut ansprechenden Fühlhebeln höherer Meßgenauigkeit oder optisch. Ebenfalls optisch wird auch die Geradföhrung der Schlitten und die auftretenden Schwingungen von Werkzeug bzw. Werkstück geprüft.

II. Hartmetallwerkzeuge.

(Siehe auch Abschnitt „Deutsche Hartmetalle“.)

Die Ansprüche an die Maschine an Starrheit gelten noch mehr für das Werkzeug, weshalb es die größtmöglichen Abmessungen erhalten soll. Als Werkzeugschneiden hat man gemäß nachstehender Tafel entweder Hartmetall oder Diamant zu nehmen.

Werkzeugschneiden für Feinstbearbeitung.

Werkstoff	Werkzeug	Hartmetallmarke, bisherige Bezeichnung	Bezeichnung ab 1. 10. 39 nach AWF- Betriebsblatt 118
Aluminium u. Legierungen	Diamant	1) Böhlerit GS und E	G 1 u. S 1
Magnesium „ „	Diamant	Miramant 75	G 1
Aluminium mit 10 vH Si	Diamant od. Hartmetall ¹⁾	Rheinit II	S 2
		Titanit G	G 1
Messing	Diamant	Widia N	G 1
Rotguß	Diamant		
Bronze	Diamant	2) Böhlerit E	S 1
Lagermetall	Diamant	Miramant 70	S 1
Gußeisen	Hartmetall ¹⁾	Rheinit III	G 1
Stahl unlegiert	Hartmetall ²⁾	Titanit U und VF	S 1
Stahl legiert	Hartmetall ³⁾	Widia X und S 246	S 2 u. F 1

Diamant gibt in jedem Fall höhere Oberflächengüte.

Kommt es nicht auf höchste Ansprüche an, läßt sich für Aluminium-, Magnesium- und Kupfer-Legierungen auch Hartmetall verwenden.

Schneidenwinkel für Hartmetallwerkzeuge¹⁾.

Richtwerte.

Werkstoff	Spanwinkel γ	Bemerkungen
Reinaluminium	27 bis 33°	
Aluminiumlegierungen, hart	8 „ 15°	
Hochsiliziumhaltige Aluminiumlegierungen	10 „ 14°	Neigungswinkel λ
Magnesiumlegierungen	8 „ 12°	3 bis 10°
Kupfer	23 „ 29°	Freiwinkel α
Messing	8 „ 12°	4 bis 6°
Rotguß	14 „ 18°	
Bronze	7 „ 9°	
Stahl, bis 70 kg/mm ²	12 „ 16°	Schneidspitzen-
Stahl, 70 bis 85 kg/mm ²	8 „ 12°	rundung
Leg. Stahl, 85 bis 100 kg/mm ²	12 „ 16°	0,3 bis 1,0 mm
Leg. Stahl, 100 „ 130 kg/mm ²	4 „ 6°	
Leg. Stahl, 130 „ 180 kg/mm ²	2 „ 4°	
Gußeisen, Brinellhärte bis 180 kg/mm ²	7 „ 10°	
Brinellhärte 180 bis 400 kg/mm ²	1 „ 6°	

Die nötige Feinheit der Schneidkanten erhält man nach dem Scharf-schleifen mit Siliziumkarbid-Scheiben durch Nachschleifen mit einer mit

¹⁾ AWF Hartmetallwerkzeuge. Berlin und Leipzig: B. G. Teubner 1939.

Borkarbid (Norbide) oder Diamant belegten Gußeisen- oder Kupferscheibe. Das Schleifmittel rollt man am besten mit einer aus Hartmetall bestehenden Druckrolle in die Metallscheiben ein. Man benetzt die mit etwa 3 m/s umlaufende Scheibe mit etwas Petroleum. Das gleiche gilt für die noch leistungsfähigeren metallgebundenen Diamantscheiben¹⁾, soweit sie heute beschaffbar sind.

Vorschübe, Schnittgeschwindigkeiten und Schnitt-Tiefen lassen sich nur als Näherungswerte angeben. Sie sind von der verlangten Endgüte, der Form und Aufspannung des Werkstückes und von der Genauigkeit der Vorbearbeitung abhängig.

Als Maßzugabe wählt man je nach Werkstückgröße, Form, Werkstoff und Endtoleranz 40 bis 300 μ Aufmaß. Diese entspricht einer Schnitt-Tiefe von 20 bis 150 μ bei einem Vorschub von 5 bis 100 μ /U.

Den Schnittgeschwindigkeiten ist in den meisten Fällen nach oben durch die Höchstdrehzahl der Maschine und bei umlaufenden Werkstücken durch deren Unwucht eine Grenze gesetzt.

Da mit Hartmetallwerkzeugen im Gegensatz zu Diamanten besonders beim Bearbeiten von Stahl-Aufbauschneiden entstehen, ist zum Erreichen glatter Werkstückflächen eine sorgfältige Kühlung bzw. Schmierung unerlässlich.

III. Diamantwerkzeuge.

Der Diamant hat als Schneidwerkzeug gegenüber den Hartmetallen eine vielfach größere Standzeit. Mit ihm erhält man infolge seiner nicht zu überbietenden Härte und Feinheit des Gefüges die besten Schneidleistungen. Sofern nicht durch harte Stöße beschädigt, hält ein Diamantschneidwerkzeug im Dauerbetrieb Monate, manchmal auch Jahre ohne Nachschärfen aus, weshalb sich auch die Verwendung trotz höheren Preises rechtfertigen läßt. Für Werkstoffe hoher Festigkeit und Dehnung wie Stahl und auch für Gußeisen ist jedoch der Diamant ungeeignet.

Sofern keine Erfahrungen in der Auswahl und der Bearbeitung von Diamanten vorliegen, überläßt man Gesamtausführung und etwa notwendig werdende Nacharbeit der Lieferfirma des Diamantwerkzeuges. Die Lebensdauer hängt, unabhängig vom Verwendungszweck, von der Güte des verwendeten Rohdiamanten, der richtigen Formgebung und seiner Befestigung im Diamantenhalter und Maschine ab.

Die Formgebung richtet sich nach dem Verwendungszweck. Gebräuchliche Schneiden zeigt Abb. Fb 1 mit gerader Schneidkante für durchgehende Zylinder und gerade Stirnflächen, Abb. Fb 2 mit Kreisbogenschneide zum



Abb. F 1.



Abb. F 2.



Abb. F 3.

Abb. F 1 bis F 3. Diamant-Schneiden.

Erreichen höherer Oberflächengüte, jedoch mit der Gefahr der Schwingungserzeugung durch höhere Schnittkraft, Abb. Fb 3 Fasen-Schneide, an der die Schneidkanten beim Stumpfwerden auf die nächste Fasen-Kante eingestellt werden können. Sonderformen, z. B. an Bundflächen oder für Einsätze, sind möglich.

¹⁾ Werkstatt und Betrieb 1939 Heft 3/4.

Scharf auslaufende Kanten sind wegen der Sprödigkeit zu vermeiden, wenn unbedingt nötig, ist eine kleine Fase anzubringen. Der geringeren Zähigkeit gegenüber den Schneidmetallen wegen muß der Keilwinkel größer und der Spanwinkel in allen Fällen kleiner sein, wie die nachstehenden Richtwerte angeben.

Richtwerte für Schneidenwinkel an Diamant-Werkzeugen.

Werkstoff	Spanwinkel γ	Freiwinkel α
Aluminium- und Magnesium-Legierungen	+ 3 bis 0°	Außendrehen 5 bis 8°
Kupfer, Messing, Bronze, Lagermetall	- 10 bis 0°	Innendrehen 8 bis 10°

Eine Kühlung der Diamantschneiden ist unnötig, weil die Artfremdheit vom Werkzeug zum Werkstück die Aufbauschneide verhindert und deshalb auch bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten glatte Oberflächen erzeugt werden.

C. Fein-, Rund-, Flächen-, Gewinde- und Form-Schleifen¹⁾.

Grundsätzliche Anforderungen an die Maschinen sind wie beim Feindreihen vor allem Riemenantrieb für Schleifscheibe und Werkstück von einem möglichst von der Maschine getrennten Motor, sorgfältiges Auswuchten der mit Kühlmittel benetzten Schleifscheibe. Eine gleichmäßige Bindungshärte ist nötig, damit die Schleifscheiben im Arbeitsvorgang nicht unrund werden. (Besonders wichtig beim spitzenlosen Schleifen.) Auch eine feinere Körnung der Scheiben ist erforderlich. Man benutzt keramische, wie auch Bakelit- oder Gummibindung; letztere besonders für feine Gewinde- und Profilformen. Die Bindungshärten entsprechen den sonst beim Schleifen üblichen Buchstaben. Sie müssen aber bei den feinen Körnungen und beim Formschleifen der Formhaltung wegen etwas härter genommen werden.

Allgemein muß man beim Feinschleifen gegenüber dem üblichen Schleifen mit den Werkstückgeschwindigkeiten, Vorschüben und Zustellungen heruntgehen, ferner für genügend genaue Vorarbeit mit nur kleinen und gleichmäßigen Maßzugaben sorgen. Die Endgenauigkeiten sind auch von der Starrheit und Unwucht der Werkstücke und von der Güte ihrer Aufspanflächen abhängig.

In jedem Fall ist ein Kühlmittel erforderlich, um die Erwärmung in engen Grenzen und die Scheiben offen zu halten, wofür sich bei hohen Ansprüchen auch dünnflüssige Sonderöle an Stelle von Bohrölemulsionen gut bewährt haben.

D. Räumen²⁾

wird im Sinne der Feinstbearbeitung besonders für Lagerbohrungen angewandt, und auch dort, wo besonders in Bohrungen, Durchbrüchen usw. andere Verfahren versagen. Genügend genaue Vorarbeit auch hier nötig, um der Räumnadel nur kleine Spanmengen zu überlassen.

E. Schaben.

Gemeint ist das Tuschieren von Werkstückflächen, d. h. das Fortnehmen der höchsten Flächenpunkte mit einem Handschaber, die durch Anreiben

¹⁾ Siehe auch Abschnitt „Gewindeschleifen“.

²⁾ Siehe Abschnitt „Räumen“.

mittels eines mit einer festen Fettfarbe bestrichenen Normalstückes (Tuschierplatte, -Leiste oder -Dorn) sichtbar gemacht werden. Als ausgesprochene Handarbeit ist die Endgüte vom Ausführenden und den benutzten Normalstücken, bei großen Werkstücken auch von der Auflagerung abhängig.

Unter Schaben als Maschinenarbeit fallen auch die Rollschabeverfahren für Zahnräder, wobei mit einer Schabezahnstange oder Schabezahnradern, die an den Flanken mit vielen Schneiden versehen sind, wälzschabend die Zahnflanken verfeinert werden.

F. Preßpolieren

kommt nur für Werkstücke mit ausreichender und gleichmäßiger Wandstärke aus homogenen, weicheren Werkstoffen in Frage. Man unterscheidet das Polierrollen mit harten Walzen oder Rollen in einem Halter als Werkzeug angeordnet, für Bohrung und Außendurchmesser und das Aufkugeln von Bohrungen mit gehärteten Stahlkugeln. Beiden Verfahren gemeinsam ist eine plastische Verformung (keine Zerspanung), weshalb leicht durch Ungleichmäßigkeiten im Werkstoff und der Vorarbeit Fehler vergrößert in Erscheinung treten.

G. Rollieren

ist ein Glättverfahren, welches vorwiegend in der Uhrenherstellung zur Verfeinerung der geometrischen Gestalt und Oberflächengüte an gehärteten bzw. hochvergüteten Lagerzapfen zur Anwendung kommt.

Die Ausführung von Hand erfolgt mittels einer quer zur Bewegungsrichtung geschliffenen (angerauhten) feilenartig ausgeführten und arbeitenden Leiste aus gehärtetem Stahl oder besser aus Hartmetall. Maschinell arbeitet man mit umlaufenden scheibenförmigen Werkzeugen aus gehärtetem gerauhtem Stahl oder Hartmetall.

Die Werkzeuge werden an das in einem Prisma geortete (ausgerichtete, zentrierte) und von einer Spannpatrone gehaltene und gegenläufig angetriebene Werkstück herangeführt.

H. Läppen,

ein Feinstschleifen von Hand oder Maschine zur Erzeugung höchster Oberflächengüte geometrischer Form und Abmessung. Anwendung für alle Metalle, ferner für Glas und keramische Werkstoffe, nicht aber für plastische Massen. Die aufeinander gleitenden Flächen, zwischen denen sich ein loses Schleifmittel und eine Schmierflüssigkeit befindet, formen sich, indem immer andere Stellen miteinander in Berührung kommen, aufeinander ab. Mit fortschreitender Arbeit werden somit Gestalts- und Oberflächenfehler kleiner und erhalten ein Endprodukt mit engem Toleranzbereich.

Wenn nun auch ein solcher Ausgleich zwischen Werkzeug und Werkstück bei der Erzeugung ebener zylindrischer und kugeligter Flächen unter sich stets ändernden Bewegungen stattfindet (s. später), ist es jedoch an Läppmaschinen zur Erzeugung ebener und paralleler und Zylinderflächen erforderlich die Werkzeugflächen ausreichend eben zu gestalten. Erst dann bekommt man genügend ebene bzw. zylindrische Werkstücke. In diesem Falle (übrigens auch beim Läppen ebener Flächen von Hand) erhält das

Werkstück die Gestalt der Werkzeugfläche, d. h. beim Erzeugen ebener Flächen die Ebene, beim Erzeugen von Zylinderflächen die gerade Mantelfläche. Es formt sich also das Werkzeug auf das Werkstück ab.

Als Werkstoff für das Läppwerkzeug benutzt man meistens ein weiches, feinkörniges Gußeisen. Sein Vorzug liegt in der Formtreue, da es sich wenig abschleift und seine geometrische Form lange Zeit beibehält. Es hält ferner das Läppmittel gut und neigt wenig zum Fressen. Kleine und wenig fest erscheinende Läppwerkzeuge fertigt man wegen der Sprödigkeit des Gußeisens aus Weicheisen, Kupfer und Messing. Für Werkstücke aus weichen Werkstoffen, manchmal aber auch zum Feinläppen von Stahl, nimmt man mit Blei-Lettermetall oder Woodscher Legierung bewehrte Werkzeuge, letzte besonders für Gewinde und Formteile, die sich als Abguß leicht herstellen lassen. Auch Phenolresinate (s. Abschnitt „Neue deutsche Werkstoffe“) mit Zellulose-Füllkörpern wie Turbax, Novotext, Lignofol u. ä. eignen sich, besonders auch für schwere Läpparbeiten harter Werkstücke, da sich die Läppmittel gut einbetten.

Das Grobläppen läßt sich mit Gußeisenwerkzeugen auf Gußeisenwerkstücken nicht gut durchführen; man verwendet hierfür besser feinkörnige Karborundum-Schleifkörper, die so weich gehalten werden, daß die ausbrechenden Körner die Läpparbeit mit übernehmen.

Als bestes Läppmittel für Stahl vom groben bis zum feinsten Läppschliff wird sehr reiner Kunstkorund verwendet. Seine große Schleifkraft, auch bei den feinsten Körnungen, beschleunigt den Arbeitsvorgang erheblich. Weitere Läppmittel für Stahl sind Chromoxyd, Diamantine und Tonerde. Für weichere Werkstoffe, wie Messing, Bronze, Aluminium nimmt man zum Vorläppen Bimsstein, dann für Fertigstellung Graustein (Schiefermehl), Diamantine oder Tonerde.

Die Erzeugung einer gleichmäßigen Oberflächengüte ohne Kratzer bedingt eine sehr gleichmäßige Körnung besonders der feineren Läppmittel, weshalb ein vorheriges Schlämmen durch den Benutzer immer zu empfehlen ist. Sehr hohe Oberflächengüten erfordern oftmals zwei bis drei Arbeitsgänge mit Läppmitteln verschiedener Feinheit. In solchen Fällen ist auf große Sauberkeit Wert zu legen und möglichst auf getrennten Maschinen zu arbeiten, um die verschiedenen Feinheitsgrade der Läppmittel nicht durcheinander zu bringen.

Als Schmiermittel eignet sich bei Flächenberührung, d. h. beim Läppen von Hand und beim Maschinenläppen ebener Flächen, Petroleum mit einigen Hundertteilen eines fetten Öles (Rüb-, Lard- oder Stearin-Öl). Bei weicheren Werkstoffen gibt Wasser bessere Ergebnisse besonders auf Blei- und Lettermetall-Werkzeugen. Mit fortschreitendem Arbeitsvorgang steigt die Viskosität durch Zerkleinerung des Schleifmittels und dem Abrieb sowieso. Linienberührung, die beim Maschinenläppen von Zylindern zwischen ebenen Werkzeugflächen auftritt, verlangt die oben genannten fetten, aber dünnflüssigen Öle. Werkstücke aus Gußeisen auf Schleifscheiben schmiert man mit Bohrölemulsionen.

Gute Läpparbeit verlangt allgemein eine um so sparsamere Verwendung der Läppmittel, je höher die Endgüte vom Werkstück ausfallen soll.

Bohrungen läppt man von Hand mit nachstellbaren Läppdornen nach Abb. Fb 4 oder 5. Der geschlitzte Läppkörper, Abb. F 5, ist als Spreizhülse auf einem kegeligen Dorn mittels Stellmuttern ein- und nachstellbar. Für

kleine Durchmesser, Abb Fb 4, schlitzt man den Körper und benutzt zum Spreizen einen Keil. Für hohe Anforderung eignen sich auch feste, im Durchmesser fein abgestufte Läppdorne mit kegeligem Anlaufteil. Große Außendurchmesser läppt man mit Ringkluppen, Abb. Fb 6, mittelgroße mit Backenkluppen, Abb. Fb 7. Für kleine Durchmesser erhält die Kluppe an Stelle der Bohrung durch einen Schlitz eine Dreilinienanlage, Abb. Fb 8. Für Innengewinde kommen gleiche Werkzeugformen, wie für glatte Bohrungen, selbstverständlich aber mit dem entsprechenden Gewinde versehen, in Frage, während für Außengewinde die Form nach Abb. Fb 6, ebenfalls mit Gewinde versehen, besser ist. Mit Läppwerkzeugen, deren Länge größer als ihr Durchmesser ist, erhält man die nötige Zylinder-Geradheit; beim Außendurchmesser aber

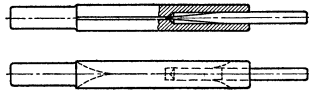


Abb. F 4.

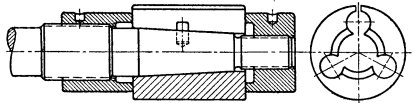


Abb. F 5.

Abb. F 4 und F 5. Läppwerkzeuge für Bohrungen.

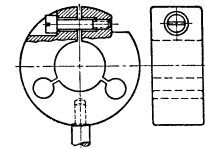


Abb. F 6.

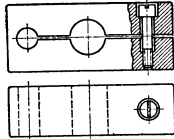


Abb. F 7.

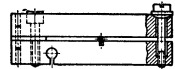


Abb. F 8.

Abb. F 6 bis F 8. Läppwerkzeuge für zylindrische Werkstücke.

tonnenförmige, bei der Bohrung kissenförmige Werkstücke, d. h. solche mit Vorweite an beiden Enden. Die Behebung dieser Fehler geschieht danach mit Läppwerkzeugen, die kürzer als der Durchmesser sind.

Ebene Werkstückflächen sind nur von ebensolchen Läppwerkzeugen zu erhalten, gleichgültig, ob es sich um Hand- oder Maschinenarbeit handelt. Dies gilt auch für das maschinelle Läppen von ebenen und parallelen und von zylindrischen Werkstücken. Die Ebenheit der Läpp-Platten wird durch Über-einanderschleifen dreier Flächen in der Folge I mit II, I mit III und II mit III erreicht. Das Erreichen von Ebenheit, Parallelität und zylindrischer Form auf der Läppmaschine erfordert weiterhin ein Umlegen der Werkstücke im Käfig. War die Anfangslage in der Folge 1 bis 8 in Abb. Fb 9, so gibt das Umlegen der Hälfte der Werkstücke in die durch eingeklammerte Ziffern gekennzeichnete Lage einen Fehlerausgleich, der durch Wiederholungen praktisch auf Null gebracht werden kann.

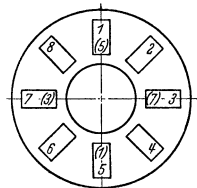


Abb. F 9. Umlegen der Werkstücke in Läppmaschinen.

I. Ziehschleifen (Honen)

stellt eine Abart des Läppens dar, bei dem als Schleifmittelträger an Stelle eines Metallwerkzeuges ein Schleifkörper mit sehr feiner Körnung und weicher Bindung tritt. Diese Schleifkörper, meist rechteckige Stäbe, sind in den ebenfalls ein- und nachstellbaren Honwerkzeugen eingekittet und übernehmen in ähnlicher Weise, wie beim Läppen, eine Verfeinerung der Oberflächen. Voraussetzung für die Arbeitsgüte sind genügend weiche Schleifkörper mit frühzeitig aus der Bindung brechendem Korn und kräftige Petroleumspülung zur Entfernung des Abriebes, der sonst zu Kratzern Veranlassung gibt.

Schrifttum.

- Büttner: Qualitätssteigerung in Werkzeug und Feinmaschinenbau. Berlin: VDI-Verlag.
Büttner: Der Läppvorgang bei der Herstellung von Meßwerkzeugen. Werkst.-Techn. 1931 S. 113.
Feinstbearbeitung, AWF 24. Berlin: Beuth-Verlag.
Grodzinski: Diamant- und Hartmetallwerkzeuge zur Feinstbearbeitung in der Feinwerktechnik. Feinmech. u. Präz. 1938 S. 247.
Knoll: Räumen. Werkstattbücher Heft 26. Berlin: Julius Springer.
Puchstein: Zur Theorie des Läppvorganges. Schleif- u. Poliermittel-Ind. 1934 S. 167.
Werkstatt und Betrieb 1938, Heft 19/20. Sonderheft „Hartmetalle“ mit Werkstattblatt 51 „Anwendungsgebiete der deutschen Hartmetalle“.

Räumen.

A. Der Räumvorgang.

Räumen ist die spanabhebende Form-, Maß- und Oberflächengebung von Werkstücken durch eine Anzahl von hintereinander angeordneten, starr verbundenen Schneiden (Räumnadel für Innen-, Räumzeug für Außenbearbeitung). Sowohl der Vorschub (Zerspanungsanteil der einzelnen Schneide) als auch die Gesamtwerkstoffabnahme (Summe der Zerspanungsanteile aller Schneiden) sind mit der Gestaltung des Werkzeuges unabänderlich festgelegt, Abb. Rm 4.

B. Anwendungsbereich.

Die technischen Voraussetzungen für die Anwendbarkeit des Räumens sind:

1. Das Werkstück darf keine Vorsprünge haben, die der Bewegung des Werkzeuges hinderlich sein könnten.
2. Die Gestaltung des Werkstückes muß so sein, daß es weder als Ganzes noch in seinen Teilen unter der Schnittkraft des Räumwerkzeuges unzulässig stark ausweicht. Das Zurückfedern würde starke Maßabweichungen verursachen.
3. Die Bearbeitungslänge, genannt Räumlänge, ist begrenzt. Je länger die Fläche bzw. Profilhahn, desto größer müßte die Anzahl der in Eingriff stehenden Schneiden und damit die Schnittkraft oder, bei größerem Schneidenabstand, die Länge des Werkzeuges werden.

Rohe Guß- und Schmiedeteile sind nur in beschränktem Umfang durch Räumen bearbeitbar. Die üblichen Schwankungen der Bearbeitungszugaben an Guß- und Schmiedeteilen sind so groß, daß der erste Zahn des Räumzuges, der bei Tiefenstellung die wechselnde Spandicke allein

auszugleichen hätte, zu Bruch gehen würde. Die Anwendbarkeit des Räumens für die Bearbeitung roher Guß- und Schmiedeteile setzt also bei Tiefenstellung enge Toleranzen der Bearbeitungszugaben voraus. Man wendet bei solchen Räumarbeiten entweder Seiten- oder Keilzustellung an¹⁾.

C. Vorzüge.

Die Vorzüge des Räumverfahrens sind:

1. Sehr hohe Stundenleistung,
2. Erzeugen und Veredeln von Flächen und Profilbahnen durch einen einzigen Hub des Werkzeuges,
3. hoher Gütegrad der Oberfläche,
4. lange Standzeit zwischen zwei Scharfschliffen und damit zusammenhängend eine sichere Einhaltung enger Maß-Toleranzen.

D. Wirtschaftlichkeit.

Abgesehen von den Fällen, in denen das Räumverfahren wegen der höheren Güte der erzeugten Oberfläche und der Maßgenauigkeit anderen Bearbeitungsverfahren vorgezogen wird, entscheidet die Wirtschaftlichkeit über die Anwendung. Räumnadel und Räumzeug sind Einzweckwerkzeuge. Sie eignen sich daher nur für die Bearbeitung von Werkstücken, die in genügender Stückzahl zu fertigen sind. Eine Erhöhung der Stückzahl durch Zusammenfassung ähnlicher Werkstücke ist nur möglich, wenn sich die Längen der zu bearbeitenden Flächen oder Profilbahnen nicht zu sehr voneinander unterscheiden, der gleiche Werkstoff vorliegt und die baulichen Merkmale, soweit sie sich auf Festigkeit und Federung auswirken, ähnlich sind.

Beim Innenräumen liegt die Wirtschaftlichkeitsgrenze bei geringeren Stückzahlen als beim Außenräumen, weil das in Wettbewerb stehende Stoßen sowohl hinsichtlich der Mengenleistung als auch der erreichbaren Genauigkeit wegen wenig leistungsfähig ist. Auch ist der einmalige Aufwand beim Innenräumen geringer, weil keine Sondervorrichtungen für die Aufnahme der Werkstücke notwendig sind.

Beim Außenräumen dagegen umschließt der einmalige Aufwand Werkzeug und Vorrichtung. Dazu ist das zum Vergleich heranzuziehende Fräsen ein hochentwickeltes und leistungsfähiges Arbeitsverfahren. Ein eingehender Wirtschaftlichkeitsvergleich¹⁾ zwischen Außenräumen und Fräsen ist daher zu empfehlen.

Einige Kennzahlen für die Wirtschaftlichkeit des Außenräumens sind:

1. Von einem Ausnutzungsgrad des Räumzeuges von 0,08 (8 %) an wird der Werkzeug-Kostenanteil beim Außenräumen geringer als beim Fräsen.
2. Von einem Ausnutzungsgrad der Außenräummaschine von 12 % an sind die anteiligen Kosten der Maschine geringer als beim Fräsen.
3. Das Außenräumen ebener Flächen mit der Räummaschine zu 12 % ihrer Ausnutzungszeit mit Arbeit belegt werden kann, von etwa 5000 Stück an billiger als das Fräsen.

¹⁾ Ausführliche Darstellung der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Dr.-Ing. Schatz: Außenräumen. Werkstattbücher, Heft 80. Berlin: Julius Springer 1940.

E. Das Räumwerkzeug¹⁾.

1. Der einzelne Zahn. Man unterscheidet grundsätzlich drei Arten von Zähnen: Schneidzähne, Schabezähne und Glättzähne. Die Schneidwinkel sind so zu wählen, daß bei zufriedenstellender Oberfläche die Standzeit der Schneide möglichst groß wird. Ein kleiner Spanwinkel γ , Abb. Rm 1, verringert die Oberflächengüte, verlängert jedoch die Lebensdauer des Werkzeuges, ein großer Spanwinkel dagegen verbessert zwar die Oberfläche, verkürzt jedoch die Standzeit. Der Bestwert des Spanwinkels muß somit je nach den Anforderungen als Zwischenwert gewählt werden.

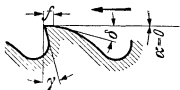


Abb. Rm 1.

Der Freiwinkel α ist stets 0° , Abb. Rm 1. Durch die Fase f an der Schneidkante wird die Lebensdauer des Räumwerkzeuges erhöht, da die Schneidkante länger scharf bleibt, und weil der Zahn nur an der Brust nachgeschliffen zu werden braucht, solange die Fase f noch steht. Beim Innenräumen hat die Fase noch die zusätzliche Aufgabe, die Räumnadel zu führen. Der Rückenwinkel δ ist nur von geringem Einfluß. Bei der Wahl der Schneidwinkel sind die Eigenschaften des zu bearbeitenden Werkstoffes zu berücksichtigen. Bei der Bildung des Spanes wird dessen Werkstoff gestaucht. Dieser Verformungsvorgang führt nun entweder zu einem Abbrechen des Spanes, wie beim Gußeisen (bröckelig) oder aber zu einem Dehnen des Spanes wie beim Stahl (Spanlocke). Daher sind beim Räumen von Stahl wegen der Breitenzunahme des Spanes Spanbrecher-nuten, Abb. Rm 2, notwendig.

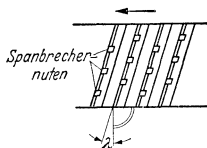


Abb. Rm 2.

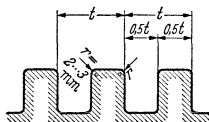


Abb. Rm 3.

Zur Verbesserung der Oberfläche läßt man vielfach die Schneiden schräg zur Bewegungsrichtung verlaufen (Neigungswinkel λ). Erfahrungswerte für die Gestaltung der Schneidezähne sind:

	Gußeisen	Stahl	
		weich	hart
Spanwinkel γ	$6^\circ \dots 10^\circ$	$15^\circ \dots 18^\circ$	$12^\circ \dots 15^\circ$
Fasenbreite f	0,7 ... 1,2 mm	1,5 ... 2,5 mm	1,0 ... 1,5 mm
Freiwinkel α	0°	0°	0°
Rückenwinkel δ	$2^\circ \dots 5^\circ$	$2^\circ \dots 5^\circ$	$2^\circ \dots 5^\circ$
Neigungswinkel λ	20°	bis 30°	bis 30°

Bei den Schabezähnen hat sich ein Spanwinkel zwischen $\gamma = 0^\circ \dots 1^\circ$ und eine Fasenbreite von $f = 0,2 \dots 1$ mm bewährt. Der Rückenwinkel wird hier zwischen $\delta = 1^\circ \dots 2^\circ$ bei Gußeisen und $\delta = 1^\circ \dots 3^\circ$ bei Stahl genommen. Neigungswinkel λ wie bei Schneidzähnen.

Glättzähne, Abb. Rm 3, sind einfache abgerundete Kuppen, die auf Hochglanz poliert sein müssen.

¹⁾ Berechnungsgang s. Werkstatt u. Betrieb 1935, Heft 3/4, S. 39.

2. Die Zahnfolge. In der Gesamtzahnfolge des Räumwerkzeuges folgen Schrupp-, Schlicht-, Schabe- und Glättzähne aufeinander, Abb. Rm 4. Es

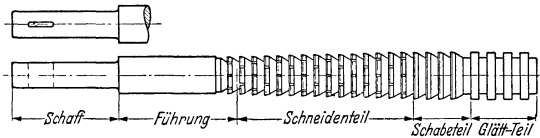


Abb. Rm 4.

sind mehrere Glättzähne vorzusehen, damit sie nach mehrmaligem Nachschleifen des Räumwerkzeuges z. T. als Schabezähne ausgebildet werden können.

Bei der Gestaltung der Zahnfolge sind zu beachten:

1. Die Belastbarkeit von Werkzeug und Maschine durch den Schnittwiderstand. Beim Innenräumen bestimmt der engste Querschnitt der Räumnadel die Belastbarkeit Q , beim Außenräumen die Zug- bzw. Stoßkraft der Maschine. Zu ermitteln ist für die verschiedenen Abschnitte (siehe w. u. unter 5.) im Schneidenteil des Räumwerkzeuges die Spantiefe a , die von den gleichzeitig in Eingriff befindlichen Zähnen bei der durch das Werkstück gegebenen Räumlänge l , der jeweiligen Spanbreite b und bei dem spezifischen Schnittwiderstand f des zu zerspannenden Werkstoffes erreicht werden kann:

$$a = \frac{Q}{b \cdot f}.$$

Rechenwerte für den spezifischen Schnittwiderstand f sind:

Stahl mittlerer Festigkeit	300 kg/mm ² ,
Gußeisen	150 kg/mm ² .

Es werden dann auf die Räumlänge l so viel Zähne genommen, daß auf jeden etwa eine Spantiefe von 0,15 bis 0,25 mm im Schruppteil und 0,02 bis 0,10 mm im Schlichtteil innerhalb der Grenze der Belastbarkeit Q entfällt. Es müssen jedoch immer, um Stöße zu vermeiden, mindestens stets zwei Zähne zugleich in Eingriff stehen.

2. Der Hub der Räummaschine. Die Länge des Räumwerkzeuges darf den Hub der Maschine nicht überschreiten. Anderenfalls muß die Räumarbeit auf mehrere Räumwerkzeuge unterteilt werden. Die erforderliche Länge eines Schneidenteiles gleicher Steigung (Teilabschnitt des Werkzeuges) ergibt sich zu

$$L = l \cdot \frac{t}{a},$$

wobei t die Tiefe der durch den Teilabschnitt durch Räumen abzutragenden Schicht ist. Dazu kommen noch die Zuschläge in der Länge für Führung, Schabeteile und Glätteile, soweit solche vorgesehen werden sollen.

3. Der erforderliche Spanraum für die Aufnahme des vom Zahn abgetrennten Werkstoffes. Er errechnet sich aus: Bearbeitungslänge des Werkstückes \times Spanquerschnitt \times Werkstoff-Faktor. Der Werkstoff-Faktor stellt das Verhältnis des Raumbedarfes des in Spanform befindlichen Werkstoffes zum Raumbedarf des gleichen Werkstoffes in unzerspanntem Zustande dar. Zahlenwerte sind für bröckelnden Werkstoff (Gußeisen) etwa 5, für langspannenden Werkstoff (Stahl) etwa 9.

4. Die Sicherung der Spanlockenbildung. Hierzu sollte sich am Zahnfuß eine im Querschnitt kreisförmige Mulde, Abb. Rm 1, mit einem Umschlingungswinkel von etwa 150° befinden, deren Durchmesser etwas geringer als die Zahnhöhe sein soll. An diese Mulde ist dann der erhabene gewölbte Zahnriemen anzuschließen.

5. Die Gleichhaltung der Schnittkraft über den Verlauf des Räumhubes. Die Gesamtsteigung der Zahnfolge wird so in verschieden starke Teilsteigungen unterteilt, daß die Schnittkraft über den Verlauf des Räumhubes möglichst gleichbleibt; d. h. wird der Span schmaler, so wird die Zahnhöhen-Zunahme über die entsprechende Anzahl von Zähnen vergrößert. Die Zunahme je Zahn (Vorschub) schwankt bei Schruppzähnen zwischen 0,15 und 0,25 mm, bei Schlichtzähnen von 0,02 bis 0,10 mm¹⁾.

F. Schnittgeschwindigkeit.

	Gußeisen m/min	Stahl m/min
Innenräumen	3—4	4—6
Außenräumen	6—8	7—10

G. Schmier- und Kühlmittel.

Guß

Stahl trocken
 Mischung aus Maschinenöl, Bleiweiß, Paraffinöl und Schwefelblume.

H. Die Räumvorrichtung.

Eine gute Räumvorrichtung soll folgende Aufgaben erfüllen:

1. Sie soll das Werkstück in der gewünschten Lage festlegen.
2. Sie soll das Werkstück in der festgelegten Lage sicher festhalten und es gegenüber der Hauptschnittkraft und der Abdrängkraft des Räumwerkzeuges so unterstützen, daß es nicht unzulässig ausweicht.
3. Sie soll das Werkstück vor Beginn des Räumhubes in den Bereich des Räumwerkzeuges bringen und nach Vollendung des Hubes wieder daraus entfernen.
4. Sie soll die Möglichkeit geben, die Zeit während des Bearbeitungshubes an einem Werkstück für das Entfernen eines fertigen Stückes aus der Vorrichtung zu nutzen und für das Vorbereiten (Festlegen und Festspannen) eines unbearbeiteten Stückes für den Räumvorgang.

I. Innenräumen.

Bei Innen-Räumarbeiten mit symmetrischer Verteilung der Spanabnahme (z. B. beim Räumen von Vierkant-, Sechskant- oder Vielkantlöchern, von Innenkerbverzahnungen) können die Aufgaben 1. und 2. fortfallen, da die Abdrängkräfte sich gegenseitig aufheben, das Werkstück also selbst in die richtige Lage bringen, und da die Hauptschnittkraft das Teil gegen die Auflagefläche der Maschine drückt und es so festhält. Aufgabe 3 läßt sich nicht erfüllen, weil das Werkzeug in keiner Richtung quer zu den hergestellten Flächen ausweichen kann. Das Werkzeug muß also nach

¹⁾ Nähere Angaben über Konstruktionseinheiten von Räumwerkzeugen für Innenräumenadeln; L. Knoll, Räumen. Werkstattbücher Heft 26. Berlin: Julius Springer 1926; für Außenräumzeuge: Dr.-Ing. A. Schatz, Außenräumen. Werkstattbücher, Heft 80. Berlin: Julius Springer 1940.

jedem Arbeitsgang aus der Maschine herausgenommen und in das zu bearbeitende Rohstück neu eingeführt werden. Da für Aufgabe 1 bis 3 keine Vorkehrungen zu treffen sind, fällt das Bedürfnis zu einer Ausnutzung der Räumhauptzeit (Aufgabe 4) fort.

Innen-Räumarbeiten mit einseitig beanspruchten Räumnadeln (z. B. beim Räumen unsymmetrischer Profile) erfordern Aufnahmevorrichtungen für das Werkstück (Aufnahmedorne bzw. Vorlagen), die Werkstück und Nadel abstützen und die Bearbeitungsstellen genau festlegen (Aufgabe 1). (Teilvorrichtungen, Drallvorrichtungen.) Das Festhalten des Teiles erfolgt auch hier durch die Schnittkraft. Es besteht teilweise die Möglichkeit, mit Hilfe eines Keiles (z. B. beim Räumen von Keilnuten) die Räumnadel entweder an das Werkstück heranzuführen oder abzuheben (Aufgabe 3). Da das Teil leicht festzulegen ist und nicht festgespannt zu werden braucht, fehlt auch hier das Bedürfnis zur Erfüllung von Aufgabe 4.

II. Außenräumen.

Soweit Außen-Räumarbeiten an kleinen Teilen (z. B. an Lagerdeckeln, Füßen von Turbinenschaufeln, Kronenmuttern) vorzunehmen sind, genügen die bei Innen-Räumarbeiten mit einseitig beanspruchter Nadel beschriebenen Vorrichtungs-elemente mit der Ergänzung, daß die Werkstücke gespannt werden müssen. Nachteilig ist hier jedoch die Unmöglichkeit, die Räumhauptzeit eines Teiles für das Abrüsten fertiger und das Aufrüsten unbearbeiteter Teile auszunutzen. Denn Werkzeug und Werkstück stützen sich innerhalb eines geschlossenen Rahmens gegenseitig ab und erlauben daher nicht ein Ein- bzw. Ausschwenken aufeinanderfolgender Teile.

Restlos verwirklicht werden müssen die Anforderungen an die Vorrichtung, wie sie oben unter 1 bis 4 dargestellt sind, beim eigentlichen Außenräumen mittlerer und großer Werkstücke. Hier sind die Teile vielfach unregelmäßig geformt, z. T. noch völlig unbearbeitet, die Schnittkräfte sehr groß und die Räumhauptzeit kurz. Das Räumzeug ist zu schwer, um es aus der Maschine herausnehmen zu können. Aufgabe 3 wird hier meist vom durch Preßöl verschobenen Aufspanntisch der Außenräummaschine übernommen und Aufgabe 4 durch die Drehbarkeit der Aufspanplatte unterstützt.

J. Räummaschinen.

Der Gesamtaufbau der Räummaschinen und die Gestaltung ihrer Baugruppen für Aufnahme und Bewegung des Werkzeuges und die Aufnahme und Bewegung des Werkstückes sind eng an die Sonderaufgaben angepaßt, die sie jeweils zu erfüllen haben.

So ist für Innen-Räumarbeiten stark wechselnder Art die waagerechte Bauart (waagerechte Bewegung des Werkzeuges) am zweckmäßigsten, weil sie die Handhabung und den Wechsel der Räumnadeln erleichtert. Innen-Räummaschinen senkrechter Bauart (senkrechte Bewegung des Werkzeuges) sollten nur dort verwandt werden, wo Teile mit hohen Stückzahlen zu bearbeiten sind, denn die Rüstzeit und auch der Preis dieser Maschinen ist höher als bei Waagerechtmaschinen. Andererseits ist bei ihnen die Leistung je Zeiteinheit höher, da sie mit selbsttätigen Einrichtungen zum Einspannen und Freigeben der Räumnadeln an beiden Enden ausgerüstet sind (die Räumnadel braucht also nicht nach jedem Hub mit der Hand aus der Maschine herausgenommen und in Ausgangsstellung gebracht zu

werden). Sie haben Schalttische bzw. Schwenktische, die ein Ausnutzen der Haupträumzeit für das Herausnehmen bereits bearbeiteter Teile und das Festlegen und Spannen von Rohteilen gestatten.

Außen-Räummaschinen werden größtenteils mit senkrechter Bewegung des Werkzeugschlittens gebaut. Ausnahmen bilden lediglich Sondermaschinen, z. B. zur Bearbeitung von Zylinderblöcken. Zur Ausnutzung der Haupträumzeit für Bedienungsarbeiten findet man oft die Anordnung zweier Werkzeugschlitten nebeneinander, die sich gegenläufig bewegen. Außen-Räummaschinen sollten stets einen zum Werkzeug querbeweglichen Aufspanntisch mit Einrichtungen zum Schwenken bzw. Kippen der Vorrichtung aufweisen. Die Bewegungen bei neuzeitlichen Räummaschinen erfolgen fast ausnahmslos durch Preßöl und sind für die Werkzeugbewegung stufenlos regelbar.

K. Ratschläge für die Handhabung und Pflege des Räumwerkzeuges.

Um eine falsche Verwendung der Räumwerkzeuge zu vermeiden, ist es zweckmäßig, die Räumlänge und den Werkstoff sowie die zulässige Höchstbelastung des Werkzeuges auf das Werkzeug zu schreiben. Das Stumpfwerden des Räumwerkzeuges äußert sich in erhöhtem Kraftverbrauch und kann daher leicht am Manometer ölgetriebener Maschinen abgelesen werden. Es ist zu empfehlen, rechtzeitig nachzuschleifen, da die erhöhte Beanspruchung des stumpfen Werkzeuges leicht zum Bruche führen kann. Da in den meisten Betrieben, in denen geräumt wird, die notwendigen Sondereinrichtungen für die Herstellung von Räumwerkzeugen fehlen, sollte man sich, namentlich bei schwierigeren Räumaufgaben, die Werkzeuge von Sonderfirmen anfertigen lassen. Zum Nachschärfen von Außenräumzeugen sind Sondermaschinen erforderlich, deren Anschaffung sich nur lohnt, wenn das Räumen in stärkerem Umfange angewandt wird. Daher ist auch hier die Zusammenarbeit mit den Sonderfirmen für die Werkzeugherstellung angebracht.

Maschinenmesser.

Maschinenmesser kommen entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Industriezweige in den verschiedensten Ausführungen zur Anwendung.

Bei der Wahl des Werkstoffes für die Messer empfiehlt sich die beratende Mitwirkung einer Messerfabrik. Ganz allgemein ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, daß es bei Messern mit aufgelegtem Stahl (Stahl auf Eisen) nicht nur auf die Güte des Stahles, sondern auch auf die Festigkeit des Eisens ankommt, damit beim Nachschleifen ein Verziehen, d. h. ein Krümmwerden der Messer, vermieden wird.

Bei der Wahl der Messerform ist von der Arbeitsweise der Messer auszugehen. Die Arbeitsweise der durch Zuschärfung entstandenen keil-

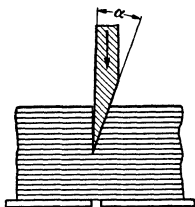


Abb. M 1. Schneidende Wirkung eines Messers.

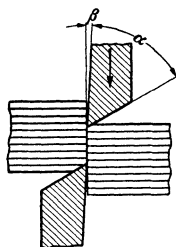


Abb. M 2. Scherende Wirkung eines Messerpaars.

förmigen Schneide kann je nach Anstellung und Bewegung zur Arbeitsfläche eine schneidende, Abb. M 1, oder eine scherende, Abb. M 2, sein. Zu der ersteren kommt noch eine sägende Wirkung, wenn ein ziehender Schnitt angewandt wird. Die erste Arbeitsweise erfolgt mittels einzelner Messer. Auch bei der zweiten Arbeitsweise ist mit einem Messer auszukommen,

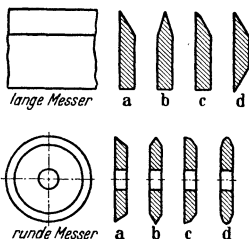


Abb. M 3. Verschiedene Waten-Formen an langen und an runden Messern. a Einseitige Wate, b zweiseitige Wate, c einseitige gebrochene Wate, d doppelseitige gebrochene Wate.

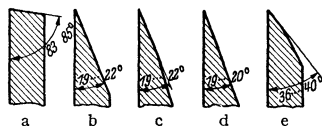


Abb. M 4. Watenwinkel für verschiedene Zwecke: a Scherenmesser für Metalle; b und c Papiermesser; d Fourniermesser; e Hackmesser.

wenn verhältnismäßig geringe Schneidkräfte zu überwinden sind. In diesem Falle wird die Kante der Arbeitsstückunterstützung für die Scherarbeit mit herangezogen.

Für eine scherende Wirkung bestimmte Messer müssen stets so gestaltet sein, daß ihre Schneiden in der Scherebene liegen. Erfahrungsgemäß

muß die Stirnfläche der keilförmigen Schneide, die sog. Wate, für die verschiedensten Anwendungsgebiete in einem ganz bestimmten Winkel zur Planfläche des Messers, oder bei doppelkeilförmigen Schneiden zur Gegenwate stehen. In Abb. M 3 sind die gebräuchlichsten Watenausbildungen und in Abb. M 4 sind die gebräuchlichsten Watenwinkel α wiedergegeben. Es ist ferner darauf zu achten, daß die Planfläche des Messers mit der

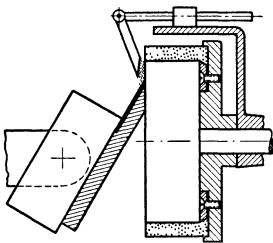


Abb. M 5. Richtige Lage des Messers beim Schärfen.

Scher-Ebene einen kleinen Winkel β bildet oder mit dieser zusammenfällt. In keinem Falle ist eine entgegengesetzte Neigung der Planfläche zulässig.

Ein dritter für die Schneidfähigkeit der Messer bedeutungsvoller Winkel ist der Neigungswinkel, unter dem zwei zusammenarbeitende Messer zueinander eingestellt sind. Da dieser Winkel aber in den Schneidemaschinen im allgemeinen ein für allemal festliegt, erübrigt sich hier eine ausführliche Erläuterung.

Beim Schärfen der Messer ist für richtige Wahl der Schleifscheibe und für ausreichende Kühlung Sorge zu tragen. Bei Verwendung zu harter Schleifscheiben bzw. Schleifringe oder ungenügender Kühlung entsteht eine zu hohe örtliche Erwärmung. Die dadurch auftretenden Spannungen führen zu Schleifrisen, die dann beim späteren Gebrauch der Messer zum Bruch führen.

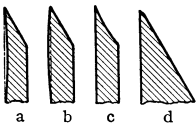


Abb. M 6. Günstige und ungünstige Planflächen und Waten: a Planfläche hohl, günstig; b Planfläche gewölbt, ungünstig; c Wate hohl, nicht widerstandsfähig, ungünstig; d Wate nach dem Schärfen durch Ölstein mit schmaler Fase versehen.

Man schleife niemals ein Messer mit nach unten gerichteter Schneide, weil das von oben zugeführte Kühlwasser die dünne Schneide nicht ausreichend überspült, so daß die Gefahr des Verbrennens der Schneide besteht. Man verfähre nach Abb. M 5. Besondere Beachtung erfordert auch die Schnittgeschwindigkeit.

Bei der Wahl von Härte und Körnung der Schleifscheiben lasse man sich vom Hersteller beraten. Ungeeignete Scheiben erhöhen die Schleifzeiten, zerstören das Gefüge oder die Scheiben nutzen zu früh ab. Man nehme nie zu harte Scheiben.

Bisher wurden die zur Verwendung kommenden Schleifringe auf die Schleifringaufnahme aufgeklittet. Das ist eine zeitraubende Arbeit. Hinzu kommt noch, daß, wenn harte und weiche Steine zur Anwendung kommen, auch mehrere Aufnahmen erforderlich sind. Hier empfiehlt sich eine Schleifringaufnahme, wie sie in Abb. M 5 dargestellt ist.

Nach dem Schleifen der Messer entferne man den an der Schneide noch haftenden Grat durch starkes Zustreichen von beiden Seiten mit einem Ölstein unter Anwendung von Öl oder Petroleum. Dabei verfähre man so, daß eine kleine stumpfwinklige doppelseitige Fase entsteht, wie sie stark vergrößert in Abb. M 6d dargestellt ist.

Herstellen von Gewinden.

A. Herstellen von Innengewinden.

I. Arten der Gewindebohrer.

Genormt sind:

Gewindebohrer für	Metrisches Gewinde	Whitworth-Gewinde	Whitworth-Rohrgewinde
Hand-Gewindebohrer	DIN 352	DIN 351	DIN 353
Mutter-Gewindebohrer (mit langem Schaft)	DIN 357	DIN 356	—
Schneideisen-Gewindebohrer	DIN 359	DIN 358	DIN 360
Hand-Backengewindebohrer	DIN 362	DIN 361	DIN 363
Maschinen-Backengewindebohrer	DIN 511	DIN 510	DIN 512

a) **Hand-Gewindebohrer** werden nach DIN in zwei Ausführungen hergestellt: Ausführung A, Abb. G 1, zylindrisch überdreht mit abgestuftem Außen- und Flankendurchmesser; Ausführung B, Abb. G 2, kegelig überdreht mit abgestufter Anschnitlänge.

1. Zylindrisch überdrehte Handgewindebohrer, Ausführung A, werden als Satzbohrer verwendet. Ihre Abstufung im Flankendurchmesser,



Abb. G 1.

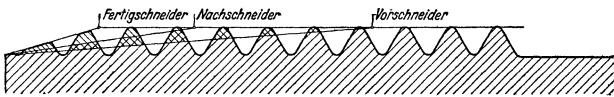


Abb. G 2.

Abb. G 3, hat den Vorteil, daß sich kleine Steigungsunterschiede des Gewindes in Vor-, Mittel- und Fertigschneider ausgleichen, wodurch Absätze an den Flanken des fertig geschnittenen Gewindes vermieden werden.

2. Kegelig überdrehte Hand-Gewindebohrer, Ausführung B, können als Einzelfertigschneider benutzt werden. Jeder Gewindebohrer liefert nach vollständigem Durchschneiden ein fertig ausgeschnittenes Gewinde. Die Bezeichnung nach DIN „Vorschneider“ und „Nachschneider“ ist so aufzufassen, daß bei längeren Gewinden, bei denen ein Durchschneiden des Vor- oder Nachschneiders nicht möglich ist, das Gewinde mit dem Fertigschneider auf die ganze Länge ausgeschnitten wird. Die Fertigschneider sind bei Ausführung A und B gleich und liegen im Außen- und Flankendurchmesser je nach Steigung 0,03 bis 0,1 mm über den theoretischen Maßen.

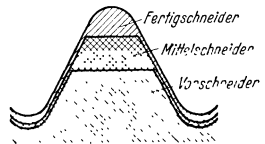


Abb. G 3.

3. Auswahl der Gewindebohrer. Gewindebohrer verwendet man in Sätzen oder als Einzelfertigschneider. Die Zahl der erforderlichen Gewindebohrer richtet sich nach der Art des Gewindeschneidens (von Hand

oder auf der Maschine), dem zu bearbeitenden Werkstoff, der Lochtiefe und der Form des Gewindeloches (Grundloch oder Durchgangsloch). Man unterscheidet nach Abb. G 4:

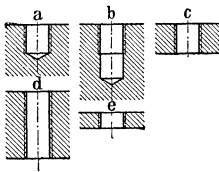


Abb. G 4.

- a) Grundlöcher (Sacklöcher),
- b) Grundlöcher mit langem Auslauf (mindestens 6 Gänge),
- c) Durchgangslöcher,
- d) besonders tiefe Durchgangslöcher,
- e) besonders flache Durchgangslöcher, z. B. Bleche sowie Muttern.

Für die Auswahl der zweckmäßigen Gewindebohrer-Ausführung gelten folgende Richtlinien:

Gewinde-schneiderarbeiten	Form des Gewindeloches nach Abb. G 4			
	a	b und c	d	e
Von Hand: mittelharte und spröde Werkstoffe	Satz zu 3 Stück, Ausf. A	Einzelfertigschneider mit kurzem Anschnitt, Nachschneider Ausf. B	Satz zu 2 Stück, Vorschneider Ausf. A oder B und Nachschneider Ausf. B	Einzelfertigschneider mit langem Anschnitt, Vorschneider Ausf. B
zähe und zähnharte Werkstoffe	desgl.	Satz zu 2 Stück	Satz zu 3 Stück	Einzelfertigschneider mit langem Anschnitt
Auf der Maschine mittelharte und spröde Werkstoffe	Satz zu 2 Stück	Einzelfertigschneider mit kurzem Anschnitt	Einzelfertigschneider oder Satz zu 2 Stück	Einzelfertigschneider mit langem Anschnitt oder Masch.-Mutter-Gewindebohrer
zähe und zähnharte Werkstoffe	desgl.	Satz zu 2 Stück		

b) Maschinen-Gewindebohrer sind mit Ausnahme der Maschinen-Mutter-Gewindebohrer noch nicht genormt. Sie unterscheiden sich von den Hand-Gewindebohrern in erster Linie durch die Form des Schaftes. Der zylindrische Schaft wird länger und auch kräftiger ausgebildet als bei den Hand-Gewindebohrern und hat einen Vierkant oder Mitnehmerlappen. Die **Maschinen-Mutter-Gewindebohrer** sind mit langem kegelförmigen

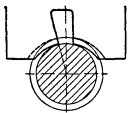


Abb. G 5.



Abb. G 6.

Anschnitt und besonders langem Schaft versehen, auf dem eine Reihe von geschnittenen Muttern Platz findet. Das Werkzeug braucht daher zur Entfernung der Arbeitsstücke nicht so häufig ausgespannt zu werden.

c) Schneideisen-Gewindebohrer werden als Einzelbohrer oder als Satzbohrer hergestellt. Sie haben einen Anschnitt wie die Mutterbohrer und erhalten Untermaße, je nach

Gewindesteigung zwischen 0,01 bis 0,1 mm.

d) Hand-Backengewindebohrer, Abb. G 5, dienen zum Einschneiden des Gewindes in die Backen von Schneidkluppen und sind um die doppelte Gewindetiefe stärker als der Nenn Durchmesser des Gewindes.

e) Maschinen-Backengewindebohrer, Abb. G 6, sind zum Einschneiden des Gewindes in die Backen von Gewindegewindeschneidköpfen bestimmt

und werden in der Stärke der zu schneidenden Schraube ausgeführt. Sie haben einen Führungszapfen.

II. Form der Gewindebohrer.

Die Nutenzahl der Hand- und Maschinen-Gewindebohrer ist von Gewindedurchmesser und Steigung, Werkstoff des Werkstückes und der Art des Gewindeschneidens abhängig. Zum Gewindeschneiden in zähe und weiche Werkstoffe auf der Maschine wählt man beispielsweise zweinutige Gewindebohrer, während für die gleiche Arbeit von Hand wegen der besseren Führung dreinutige Gewindebohrer erforderlich sind. Bei größeren Gewinden (über M 16) nimmt man

fast allgemein viernutige Gewindebohrer. Für die Anordnung einer geraden Anzahl von Nuten spricht der Umstand, daß diese Bohrer leichter und sicherer gemessen werden

können, während bei dreinutigen Bohrern die Messung schwieriger ist und das Vorhandensein besonderer Meßgeräte voraussetzt.

Die gebräuchlichsten Nutenformen sind in Abb. G 7, G 8 und G 9 dargestellt. Bei der Nutenform nach Abb. G 7 ist die Stegbreite des Bohrers durch Abschrägen des Rückens verschmälert. Diese Ausführung ist nur für Gewindebohrer, die ausschließlich vorwärts arbeiten, brauchbar. Denn beim Zurückdrehen des Bohrers können sich sonst Späne zwischen Rücken, Abschrägung und Gewinde klemmen und das Gewinde verderben. Dieser Übelstand wird bei den beiden anderen Nutenformen mit Sicherheit vermieden. Bei Abb. G 8 soll der Rückenwinkel der Nut mindestens 80° betragen. Die halbkreisförmige Nutenform nach Abb. G 9 ergibt auch im Rücken oft einen positiven Spanwinkel. Trotzdem kann der Gewindebohrer beim Zurückdrehen nicht schneiden, da die Schneidarbeit nur durch den hinterdrehten oder hinterschlifften Anschnitt des Gewindebohrers (Abb. G 10) geleistet wird. Der übrige Gewindeteil des Gewindebohrers dient lediglich als Führung.

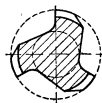


Abb. G 7.

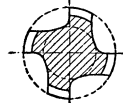


Abb. G 8.

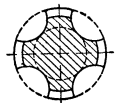


Abb. G 9.

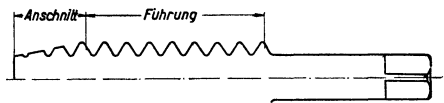


Abb. G 10.

Geschnittene Gewindebohrer verziehen sich

meistens beim Härten; man erreicht mit ihnen meist nur eine Gewindepassung Gütegrad mittel (s. Abschnitt „Gewindepassungen“). Die durch Härteverzug hervorgerufenen Ungenauigkeiten lassen sich durch Fertigschleifen der Gewindebohrer nach dem Härten mit einer entsprechend geformten Schleifscheibe beseitigen. Geschliffene Gewindebohrer können mit hoher Genauigkeit und Gleichmäßigkeit hergestellt werden. Sie erzeugen daher in der Regel Innengewinde innerhalb der Gewindepassung Gütegrad fein.

III. Gewinde-Kernloch.

Beim Arbeiten mit Gewindebohrern bildet sich, vor allem in zähen Werkstoffen, Grät vor den Schneiden, Abb. G 11, so daß sich der Lochdurchmesser scheinbar verkleinert. Wenn das Gewinde-Kernloch entsprechend

dem gewünschten Kerndurchmesser des Gewindes vorgebohrt ist, so drückt der gestauchte Werkstoff im Grund des Gewindebohrers und klemmt diesen fest. Hierdurch werden entweder die Gänge des Muttergewindes ausgerissen

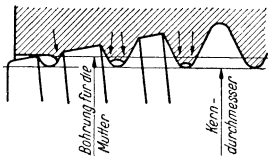


Abb. G 11.

oder der Bruch des Gewindebohrers herbeigeführt. Um dies zu vermeiden, bohrt man das Gewinde-Kernloch in der Regel größer. Besonders beim Schneiden in Leichtmetallen ist es wichtig, den Bohrerdurchmesser für das Kernloch im richtigen Verhältnis zum Kerndurchmesser des Gewindebohrers zu wählen. Wenn hierbei aus Festigkeitsrücksichten das Gewinde-Kernloch enger als gewöhnlich gebohrt werden soll, muß der

Kerndurchmesser des Gewindebohrers entsprechend kleiner ausgeführt sein.

Das auf diese Weise erreichte Gewindespitzenspiel bewirkt eine gegenüber dem voll ausgeschnittenen Gewinde verbesserte Flankenlage. In den folgenden Tafeln sind Richtlinien für die Wahl der Kernlochbohrer gemäß

Tafel 1. Bohrerdurchmesser für Gewinde-Kernlöcher.

Richtlinien nach DIN 336 (Maße in mm).

Metrisches Gewinde nach DIN 13 und 14			Whitworth-Gewinde nach DIN 11		
Gewinde	Bohrerdurchmesser		Gewinde	Bohrerdurchmesser	
	Reihe I	Reihe II		Reihe I	Reihe II
M 1	0,75		$\frac{1}{4}''$	5	5,1
M 1,2	0,95		$\frac{5}{16}''$	6,4	6,5
M 1,4	1,1		$\frac{3}{8}''$	7,7	7,9
M 1,7	1,3		$(\frac{7}{16}'')$	9,1	9,25
M 2	1,5	1,6	$\frac{1}{2}''$	10,25	10,5
M 2,3	1,8	1,9	$\frac{5}{8}''$	13,25	13,5
M 2,6	2,1	2,1	$\frac{3}{4}''$	16,25	16,5
M 3	2,4	2,5	$\frac{7}{8}''$	19	19,25
M 3,5	2,8	2,9	1''	21,75	22
M 4	3,2	3,3	$1\frac{1}{8}''$	24,5	24,75
(M 4,5)	3,6	3,7	$1\frac{1}{4}''$	27,5	27,75
M 5	4,1	4,2	$1\frac{3}{8}''$	30	30,5
(M 5,5)	4,4	4,5	$1\frac{1}{2}''$	33	33,5
M 6	4,8	5	$1\frac{5}{8}''$	35	35,5
(M 7)	5,8	6	$1\frac{3}{4}''$	38,5	39
M 8	6,5	6,7	$(1\frac{7}{8}'')$	41	41,5
(M 9)	7,5	7,7	2''	44	44,5
M 10	8,2	8,4			
(M 11)	9,25	9,4			
M 12	9,9	10			
M 14	11,5	11,75			
M 16	13,5	13,75			
M 18	15	15,25			
M 20	17	17,25			
M 22	19	19,25			
M 24	20,5	20,75			
M 27	23,5	23,75			
M 30	25,75	26			
M 33	28,75	29			
M 36	31	31,5			
M 39	34	34,5			
M 42	36,5	37			
M 45	39,5	40			
M 48	42	42,5			
M 52	46	46,5			

Reihe I: für spröde Werkstoffe, die beim Gewindeschneiden nur wenig anfragen, wie Gußeisen, Bronze, Messing usw.

Reihe II: für Stahl und Werkstoffe mit ähnlicher Spannbildung.

Für längere Gewinde (Gewindelänge größer als Gewindedurchmesser) und Sacklöcher wird Reihe II empfohlen.

Eingeklammerte Gewindegrößen möglichst vermeiden.

DIN 336 gegeben. Bei weichen und zähen Aluminiumlegierungen muß berücksichtigt werden, daß der Durchmesser des gebohrten Loches oft erheblich vom Bohrerdurchmesser abweicht. Bei solchen Werkstoffen empfiehlt es sich zuweilen, das Gewinde-Kernloch nach Reihe I oder noch etwas enger zu bohren und Gewindebohrer mit kleinerem Kerndurchmesser zu verwenden. Zur schnellen Berechnung der Bohrerdurchmesser für Gewinde-Kernlöcher gelten folgende Näherungsformeln:

Durchmesser Kernlochbohrer = Gewinde- Nenndurchmesser — Abmaß.

Gewindesteigung h	Abmaß	Gewindesteigung h	Abmaß
Metrisches Gewinde		Whitworth-Gewinde	
0,25 mm bis 1,0 mm	$1,0 \cdot h$ bis $1,2 \cdot h$	bis 18 Gänge auf 1"	$1,0 \cdot h$ bis $1,1 \cdot h$
1,25 mm bis 3,0 mm	$1,1 \cdot h$ bis $1,2 \cdot h$	18 bis 10 Gänge auf 1"	$1,0 \cdot h$ bis $1,2 \cdot h$
3,5 mm und darüber	$1,2 \cdot h$ bis $1,3 \cdot h$	ab 10 Gänge auf 1"	$1,1 \cdot h$ bis $1,3 \cdot h$

IV. Instandhaltung.

Gewindebohrer, die Abstumpfungsfasen oder Grat zeigen, sollen sofort nachgeschliffen werden; denn zum großen Teil werden Bohrerbrüche nicht nur durch zu enge Kernlöcher und ungeeignete Schmiermittel, sondern auch durch stumpfe Werkzeuge verursacht. Das Nachschleifen erfolgt in den Nuten oder am Rücken des Anschnittes. Das Schleifen des Anschnittes erfordert eine größere Geschicklichkeit, da die Anschnittzähne auf gleicher Höhe liegen müssen, wenn das Werkzeug gut schneiden soll; man benutzt daher hierfür zweckmäßig besondere Schleifvorrichtungen.

V. Schneiden mit der Maschine.

In der Massenfertigung werden Gewindelöcher wirtschaftlich mit der Maschine geschnitten. Bei richtiger Arbeitsweise ist dann Gewindebohrerbruch und Schiefschneiden von Gewinden fast gänzlich ausgeschlossen. Aus diesem Grunde werden auf vielen Böhrrmaschinen Gewinde-

schnide-Einrichtungen oder Gewindebohrköpfe, Abb. G 12, verwendet. Für schnelles Arbeiten sind mehrspindlige Bohrmaschinen und Schnellwechselfutter, Abb. G 13, erforderlich, die eine Verkürzung der Nebenzeiten beim Auswechseln der Werkzeuge ermöglichen. Aus dem gleichen Grunde ist beim Bau von Bohrvorrichtungen darauf zu achten, daß die Führungsbüchsen der Spiralbohrer leicht herauszunehmen sind, so daß ohne Umspannen des Arbeitsstückes Gewinde geschnitten werden kann.

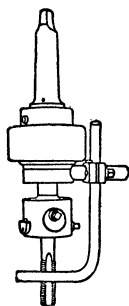


Abb. G 12.

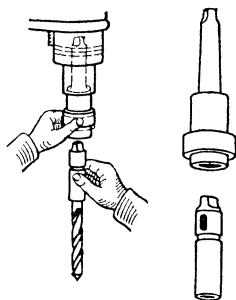


Abb. G 13. Schnellwechselfutter.

VI. Stähle und Strahler zum Innengewinde-Schneiden.

Zum Schneiden von Innengewinde auf der Drehbank benutzt man außer Gewindebohrern auch Gewindestähle, Abb. G 14, oder Gewinderundstrahler,

Abb. G 15. Da letztere in der Regel außer Mitte angesetzt werden, Abb. G 16, muß die Profilverzerrung berücksichtigt werden (s. auch Abhandlung über Rundformstähle). Strahler arbeiten leichter, wenn die ersten Gänge einen kegeligen Anschnitt haben, so daß sich die Späne auf mehrere Zähne verteilen. Andernfalls ist es zweckmäßig, das Gewinde vorzuschneiden und nur fertigzustrahlen oder umgekehrt, das Gewinde mit einem Stahl oder Strahler vorzuschneiden und mit dem Gewindebohrer nachzuschneiden.

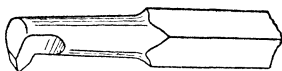


Abb. G 14.

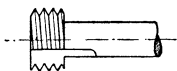


Abb. G 15.

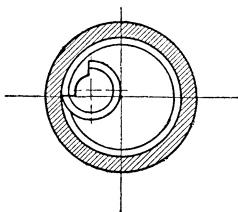


Abb. G 16.

Über das Arbeiten mit Gewindeschneidköpfen und Gewindefräsern, die neuerdings in steigendem Maße auch zur Herstellung größerer Innengewinde verwendet werden, ist in Abschnitt B II und B III Näheres gesagt.

VII. Arbeitsbedingungen.

Die Güte der geschnittenen Gewinde wird durch die Wahl richtiger Arbeitsbedingungen entscheidend beeinflusst. Die folgenden Richtwerte gelten für die üblichen Gewindetiefen und Mutternhöhen unter Voraus-

Tafel 2. Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten beim Gewindeschneiden nach Angaben von R. Stock & Co., Berlin-Marienfelde.

Werkstoff des Arbeitsstückes	Schnittgeschwindigkeit m/min für Gewindeschneidwerk- zeuge aus		Schmierung
	WS	SS	
Unlegierte Baustähle			
bis 70 kg/mm ²	3— 7	9—15	Rüböl oder Schneidöl
über 70 kg/mm ²	2— 3	5— 8	„ „ „
Stahlguß, Temperguß	2— 3	5— 7	„ „ „
Legierte Stähle			
70—90 kg/mm ²	von Hand	5— 7	„ „ „
über 90 kg/mm ²	—	1— 4	Schneidöl, Terpentin,
Rostfreie Stähle (V2a) ..	—	2— 3	Petroleum
Gußeisen weich	6— 8	12—16	trocken oder reichliche
„ hart	3— 5	8—12	Ölkühlung
Nichteisenmetalle			Petroleum
Sprödes Messing	12—18	20—30	trocken oder Schneidöl
Zähes Messing	8—12	14—20	Rüböl oder Schneidöl
Bronze	je nach Härte u. Zähigkeit	12—25	„ „ „
Aluminiumlegierungen ...	12—20	20—30	Seifenwasser, Schneidöl,
Magnesiumlegierungen ...	15—20	25—35	Petroleum
			trocken oder Preßluft-
			kühlung

setzung guter Schmierung. Bei geringen Gewindetiefen kann die Geschwindigkeit um etwa 50 vH gesteigert werden; bei großen Tiefen und engen Kernlöchern ist sie herabzusetzen.

Maschinenöl ist zum Schmieren von Gewindeschneidwerkzeugen vollkommen untauglich. Wenn kein anderes Öl vorhanden ist, wird besser trocken geschnitten (vgl. auch Betriebsblatt des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung AWF 37 „Kühlen und Schmieren bei der Metallbearbeitung“ und Buch Reuschle „Werkstattniffe, Schmierer“, Carl Hanser Verlag, München 22).

B. Herstellen von Außengewinden.

I. Gewindeschneiden auf der Drehbank.

a) Beim Schneiden von **Spitzgewinden** auf der Drehbank ist es zweckmäßig, dem Gewindestahl bei größeren Steigungen eine Neigung zu geben, die dem Steigungswinkel des zu schneidenden Gewindes entspricht. Der Steigungswinkel δ ergibt sich aus der Abwicklung des Schraubenganges, Abb. G 18 (Steigung $h =$ kleine Kathete; Umfang $d \cdot \pi =$ große Kathete; Länge des Schraubenganges = Hypotenuse) zu $\operatorname{tg} \delta = \frac{h}{d \cdot \pi}$. Wie auch aus Abb. G 17 hervorgeht, ist der Steigungswinkel verschieden, je nachdem der Außendurchmesser d_a , der Kerndurchmesser d_k oder der Flankendurch-

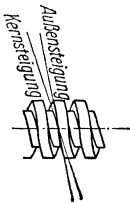


Abb. G 17.

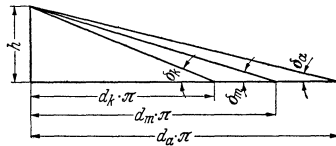


Abb. G 18.

messer d bzw. der mittlere Durchmesser d_m zugrunde gelegt wird. Für die Schrägstellung des Gewindestahles kommt der Steigungswinkel δ_m des Flankendurchmessers (mittlerer Durchmesser) in Frage. Bei metrischer Steigung

ergibt sich $\operatorname{tg} \delta_m = \frac{h}{d_m \cdot \pi}$, bei Zollsteigung $\operatorname{tg} \delta_m = \frac{25,4}{\text{Gangzahl} \cdot d_m \cdot \pi}$.

In der Tafel 3, sind Werte für metrisches Gewinde, metrisches Feingewinde, Whitworth- und Whitworth-Rohrgewinde angegeben.

Bei schräggelagertem Gewindestahl schneiden beide Flanken gleich gut, und das Gewinde wird sauber. Allerdings muß man bei der üblichen Stahlform eine geringe Formverzerrung in Kauf nehmen.

b) Bei **Flachgewinden** sind Einstellung und Form des Gewindestabes besonders wichtig. In den Zeichnungen werden in der Regel nur die Maße für Kern- und Außendurchmesser sowie Steigung angegeben, dagegen nicht der Außen- und Kern-Steigungswinkel. Diese für den Dreher oder Werkzeugmacher wichtigen Maße können aber nach Abb. G 18 leicht ausgerechnet werden aus

$$\operatorname{tg} \delta_a = \frac{h}{d_a \cdot \pi}, \quad \operatorname{tg} \delta_k = \frac{h}{d_k \cdot \pi}, \quad \operatorname{tg} \delta_m = \frac{h}{d_m \cdot \pi}.$$

Tafel 3. Mittlerer Steigungswinkel.

Whitworth-Gewinde DIN 11			Metrisches Gewinde DIN 13 u. 14			Rohrgewinde DIN 259 u. 260		
Bolzen- durch- messer Zoll	Steigung mm	Steig- ungs- winkel Grad	Bolzen- durch- messer mm	Steigung mm	Steig- ungs- winkel Grad	Nenn- durch- messer Zoll	Steigung mm	Steig- ungs- winkel Grad
1/16	0,423	5 3/4	1	0,25	5 1/2	1/8	0,907	1 3/4
1/8	0,635	4 1/4	1,2	0,25	4 1/2	1/4	1,337	2
1/4	1,270	4 1/4	2	0,4	4 1/4	3/8	1,337	1 1/2
5/16	1,411	3 3/4	2,3	0,4	3 1/2	1/2	1,814	1 3/4
3/8	1,588	3 1/2	3	0,5	3 1/2	5/8	1,814	1 1/2
7/16	1,814	3 1/2	4	0,7	3 1/2	3/4	1,814	1 1/4
1/2	2,117	3 1/2	4,5	0,75	3 1/2	7/8	1,814	1 1/4
9/16	2,117	3	5	0,8	3 1/4	1	2,309	1 1/4
5/8	2,309	3	6	1	3 1/2	1 1/8	2,309	1 1/4
1 1/16	2,309	2 3/4	8	1,25	3 1/4	1 1/4	2,309	1
3/4	2,540	2 3/4	10	1,5	3	1 3/8	2,309	1
1 1/16	2,540	2 1/2	12	1,75	3	1 3/4	2,309	3/4
7/8	2,822	2 1/2	14	2	2 3/4	2	2,309	3/4
1	3,175	2 1/2	16	2	2 1/2	2 1/4	2,309	3/4
1 1/8	3,629	2 1/2	20	2,5	2 1/2	2 1/2	2,309	3/4
1 1/4	3,629	2 1/4	22	2,5	2 1/4	2 3/4	2,309	1/2
1 3/8	4,233	2 1/2	24	3	2 1/2	3	2,309	1/2
1 1/2	4,233	2 1/4	30	3,5	2 1/4	3 1/2	2,309	1/2
1 5/8	5,080	2 1/2	36	4	2 1/4	3 3/4	2,309	1/2
1 3/4	5,080	2 1/4	39	4	2	4	2,309	1/2
1 7/8	5,645	2 1/4	42	4,5	2	Metr. Feingewinde 3		
2	5,645	2 1/4	48	5	2	(Auswahlreihe) DIN 243		
2 1/4	6,350	2 1/4	56	5,5	2	mm	mm	Grad
2 1/2	6,350	2	60	5,5	1 3/4	12	1,5	2 3/4
2 3/4	7,257	2	72	6	1 3/4	14	1,5	2 1/2
3	7,257	2	76	6	1 1/2	16	1,5	2
3 1/2	7,816	1 3/4	84	6	1 1/2	20	1,5	1 1/2
3 3/4	8,467	1 3/4	89	6	1 1/4	24	1,5	1 1/2
4	8,467	1 1/2	99	6	1 1/4	30	1,5	1
5	9,237	1 1/2	104	6	1	40	1,5	3/4
6	10,160	1 1/2	149	6	1	52	1,5	1/2

Bei den meisten eingängigen Gewinden und anderen Gewinden mit geringer Steigung kann die Schneide des Stahles waagrecht angesetzt werden.

Die Stahlform entspricht dann, von oben gesehen, dem Gewindeprofil im Achsenschnitt, Abb. G 19. Der seitliche Freiwinkel ist mit 3° angenommen. Bei dieser Anordnung sind aber die beiden seitlichen Keilwinkel ungleich. Bei steilgängigem Gewinde wird dabei der linke Keilwinkel β_1 , Abb. G 20,

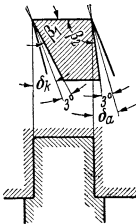


Abb. G 19.

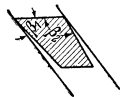


Abb. G 20.

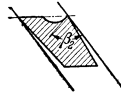


Abb. G 21.

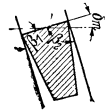


Abb. G 22.

zu klein, so daß die linke Schneidkante leicht ausbricht. Der rechte Keilwinkel β_2 dagegen wird zu groß, so daß die rechte Schneidkante nicht richtig

schneidet, sondern nur schabt oder drückt. Durch Hohl Schiff, Abb. G 21, kann zwar der Winkel β_2 auch kleiner als 90° gemacht und so ein besseres Arbeiten der rechten Schneidkante erreicht werden; in diesem Fall ist aber das Anschleifen des Stahles schwierig.

c) Steilgängiges Gewinde. 1. Rechnerisches Bestimmen der Stahlbreiten. Bei mehrgängigen und anderen steilgängigen Gewinden (mittlerer Steigungswinkel größer als 10°) ist es notwendig, die Meißelschneide schräg anzustellen, und zwar meist unter dem mittleren Steigungswinkel, Abb. G 22. Hierbei ergeben sich gleiche seitliche Keilwinkel, so daß die rechte und linke Schneide gleichmäßig arbeiten und beansprucht werden. Wie ohne weiteres ersichtlich, ist aber jetzt die Stahlbreite geringer als bei waagerechter Stellung. Außerdem ändert sich die Breite mit der Gewindetiefe und ist beim Flachgewinde am äußeren (größeren) Durchmesser größer

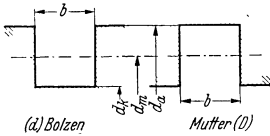


Abb. G 23.

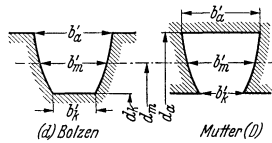


Abb. G 24.

als am inneren (kleinen) Durchmesser. Die Gewindeprofile sind für Bolzen und Mutter gleich, Abb. G 23 und 24, nur stehen sie zum Meißelschaft entgegengesetzt. Die ungleichmäßige Breite ergibt sich daraus, daß die Steigungswinkel dem Durchmesser entsprechend sich ändern. Mit wachsendem Steigungswinkel nimmt die Breite des Stahles ab. In den Bildern sind die Abweichungen zur besseren Kenntlichmachung stark übertrieben gezeichnet.

Das genaue Berechnen der Stahlbreite b' ist schwierig und führt zu verwickelten Formeln¹⁾. In einfachen Fällen, vor allem bei Steigungswinkeln bis etwa 10° , geben folgende Gleichungen²⁾ für die Praxis brauchbare Werte:

$$b'_a = b_a \cdot \frac{\cos \delta_a}{\cos (\delta_m - \delta_k)}, \quad b'_k = b_k \cdot \frac{\cos \delta_k}{\cos (\delta_m - \delta_a)},$$

$$b'_m = b_m \cdot \frac{\cos \delta_m}{\cos (\delta_m - \delta_m)} = b_m \cdot \cos \delta_m.$$

Diese Gleichungen gelten für den Fall, daß die Stahlschneide senkrecht zur mittleren Schraubenschnittlinie steht. Steht sie senkrecht zur inneren oder äußeren Schraubenschnittlinie, so ist in den Formeln im Nenner δ_k oder δ_a an Stelle von δ_m zu setzen.

Für größere Steigungswinkel rechnet man mit ausreichender Genauigkeit nach folgenden Näherungsformeln³⁾:

$$b'_a = \frac{b_a}{\cos \delta_m (1 + \operatorname{tg} \delta_m \operatorname{tg} \delta_k)}, \quad b'_k = \frac{b_k}{\cos \delta_m (1 + \operatorname{tg} \delta_m \operatorname{tg} \delta_k)},$$

$$b'_m = \frac{b_m}{\cos \delta_m (1 + \operatorname{tg} \delta_m \operatorname{tg} \delta_m)}.$$

¹⁾ Vgl. Vogel: Werkst.-Techn. 1933 Heft 14 sowie 1935 Heft 6 u. 7.

²⁾ Vgl. Fritzen: Werkst.-Techn. 1920 Heft 3 u. 4 sowie 1922 Heft 23.

³⁾ Vgl. Schröder: Masch.-Bau (Der Betrieb) 1938 Heft 3/4.

Für sehr große Steigungswinkel sind zusätzliche Verbesserungsglieder zu berücksichtigen.

Alle Formeln gelten grundsätzlich für Flachgewinde und Trapezgewinde. Nur ist zu bedenken, daß bei Trapezgewinde die Breiten von Bolzen und Mutter im Achsenschnitt nicht gleich sind, Abb. G 25 und 26, die Profile der Bolzen unterscheiden sich infolgedessen von denen der Muttern. Die

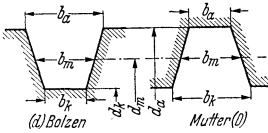


Abb. G. 25.

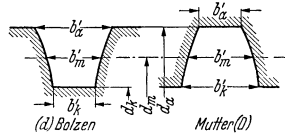


Abb. G. 26.

Außenbreite b_a des Bolzens ist gleich der Kernbreite b_k der Mutter und die Kernbreite des Bolzens b_k gleich der Außenbreite b_a der Mutter. Nur die mittlere Breite b_m ist bei Bolzen und Mutter gleich.

2. Zeichnerisches Bestimmen der Stahlbreiten. Man zeichnet die Abwicklung der Schraubenlinie für den Außen-, Flanken- und Kerndurchmesser in der Weise, Abb. G 27 und 28, daß die entstehenden drei Dreiecke eine der Steigung h entsprechende Kathete CB gemeinsam haben.

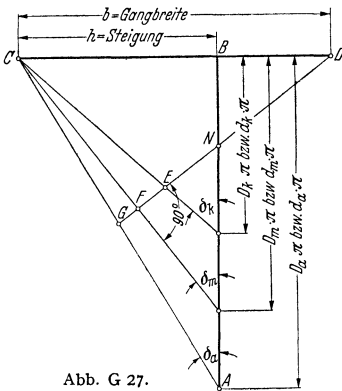


Abb. G. 27.

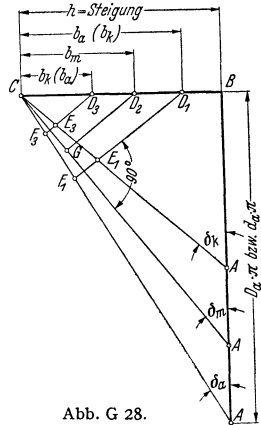


Abb. G. 28.

Abb. G 27 und G 28. Zeichnerische Ermittlung der Stahlbreiten bei Flach- und bei Trapezgewinde.

Beim Flachgewinde, Abb. G 27, wird vom Punkt C aus auf der Geraden CB die Gangbreite b abgetragen, und zwar in vergrößertem Maßstab (etwa 10': 1). Vom Endpunkt D fällt man dann ein Lot auf die Schraubenlinie, zu der die Stahlschneide senkrecht steht (im Bild auf die mittlere CF).

Die Strecke DE gibt dann die Kernbreite b'_k , Strecke DF die Mittenbreite b'_m und Strecke DG die Außenbreite b'_a des Stahles an. Die Längen sind abzugreifen und auf Naturgröße umzurechnen.

Beim Trapezgewinde, Abb. G 28, geht man ähnlich vor. Nur sind auf BC drei Strecken abzutragen, nämlich CD_3 für die Kernbreite b_k , CD_2 für die Mittenbreite b_m und CD_1 für die Außenbreite b_a . Die Stahlbreiten entsprechen dann folgenden Strecken:

Stahlbreiten	Außenbreite b'_a	Mittenbreite b'_m	Kernbreite b'_k
für Bolzenherstellung	$D_1 F_1$	$D_3 G$	$D_3 E_3$
für Mutterherstellung	$D_3 F_3$	$D_1 G$	$D_1 E_1$

3. Formen der Stahlflanken. Beim Flachgewinde ergeben sich für Bolzen und Mutter nach außen gewölbte Gewindeprofile, und zwar bei jeder Schrägstellung des Stahles. Beim Trapezgewinde dagegen ist das Bolzenprofil in der Regel nach innen gekrümmt, kann aber je nach Größe des Flankenwinkels auch nach außen gewölbt oder gerade sein. Das stets nach außen gewölbte Mutterprofil weicht in der Regel nur unwesentlich von der Geraden ab. Nur bei großen Gewinden und Schnecken ist die Wölbung stärker.

Die Schrägstellung der Stahlschneide hat den Nachteil, daß die Form des Meißels schwerer herzustellen und zu schleifen ist. Außerdem läßt sich die unterschrittene Form, Abb. G 24, des Schraubenganges der Mutter beim Flachgewinde schwer herstellen. Bei kleineren Gewinden behilft man sich in der Weise, daß man die Mutter rechteckig ausschneidet. Das Profil des Bolzens muß dann entsprechend im Kern kleiner oder außen größer werden, je nachdem, ob die äußere (größere) oder innere (kleinere) Breite des Mutterprofils angenommen wird.

Das Gewinde wird zunächst im Grund und in den beiden Flanken vorgearbeitet und dann mit dem Formstahl nach dem genauen Profil fertiggeschnitten. Bei der Mutter mit Flachgewinde muß der Formstahl (des unterschrittenen Profils wegen) schmäler als die Lücke sein und beim Fertigschneiden jede Flanke für sich bearbeitet werden. Auch wenn der Einfachheit halber mit waagerechtem Stahl geschlichtet wird, empfiehlt es sich dennoch, mit schrägem Stahl vorzuschruppen. Bei großer Steigung und großem Gewindequerschnitt kann man auch beide Flanken mit getrennten Stählen schlichten.

Schruppstähle mit vollem Lückenquerschnitt ergeben kein sauberes Gewinde; denn bei jeder Zerspanung werden die Späne gestaucht und suchen seitlich auszuweichen. Kann der Werkstoff, wie in Abb. G 29 gezeigt, seitlich nach a hin abfließen, so treten keine Schwierigkeiten auf. Wird aber eine kreis- oder schraubenförmige Nute eingestochen, so stößt der Span auf die Nutenwand und rauht sie auf. Beim Schlichten tritt dieser Übelstand meist nicht in Erscheinung, da die Spanstärke zu gering ist und der den Schlichtspan bildende Werkstoff bequem nach innen abfließen kann.

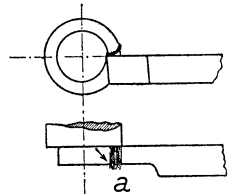


Abb. G 29.

4. Beispiele für das Bestimmen der Stahlbreiten bei schräggestelltem Stahl.

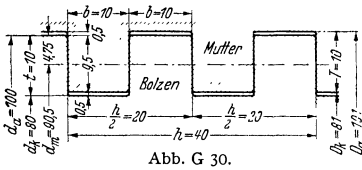


Abb. G 30.

Beispiel 1. Doppelgängiges Flachgewinde, Abb. G 30:

Außendurchmesser des Bolzens $d_a = 100$ mm.

Steigung $h = 40$ mm.

Gangweite (Teilung) $h/2 = 20$ mm.

Gangbreite $b =$ Gangtiefe $t =$

$h/4 = 10$ mm.

Schrägstellung der Stahlschneide senkrecht zur mittleren Schraubenslinie.

	Außen	Flanke (Mitte)	Kern
Bolzen			
Durchmesser	d	100	80 mm
Steigung	h	40	40 mm
Steigungswinkel .. $\text{tg } \delta = \frac{h}{\pi \cdot d}$	$\frac{40}{\pi \cdot 100}$	$\frac{40}{\pi \cdot 90,5}$	$\frac{40}{\pi \cdot 80}$
$\text{tg } \delta$	0,12732	0,14069	0,15915
δ	$7^\circ 15'$	8°	$9^\circ 03'$
Schrägstellung der Stahlschneide	δ_m	8°	8°
Abweichung	$\delta_m - \delta$	$0^\circ 45'$	$-1^\circ 03'$
$\cos(\delta_m - \delta)$	0,99991	1	0,99983
Steigungswinkel	$\cos \delta$	0,99201	0,98755
Gangbreite	b	10	10 mm
Stahlbreite $b' = \frac{b \cdot \cos \delta}{\cos(\delta_m - \delta)}$	$10 \cdot \frac{0,99201}{0,99991}$	$10 \cdot \frac{0,99027}{1}$	$10 \cdot \frac{0,98755}{0,99983}$
b'	9,921	9,903	9,877 mm
Mutter			
Durchmesser	D	101	81 mm
Steigung	h	40	40 mm
Steigungswinkel .. $\text{tg } \delta = \frac{h}{\pi \cdot D}$	$\frac{40}{\pi \cdot 101}$	$\frac{40}{\pi \cdot 90,5}$	$\frac{40}{\pi \cdot 81}$
$\text{tg } \delta$	0,12606	0,14069	0,15719
δ	$7^\circ 11'$	8°	$8^\circ 56'$
Schrägstellung der Stahlschneide	δ_m	8°	8°
Abweichung	$\delta_m - \delta$	$0^\circ 49'$	$-0^\circ 56'$
$\cos(\delta_m - \delta)$	0,99989	1	0,99987
$\cos \delta$	0,99215	0,99027	0,98787
Gangbreite	b	10	10 mm
Stahlbreite $b' = b \cdot \frac{\cos \delta}{\cos(\delta_m - \delta)}$	$10 \cdot \frac{0,99215}{0,99989}$	$10 \cdot \frac{0,99027}{1}$	$10 \cdot \frac{0,98787}{0,99987}$
b'	9,923	9,903	9,880 mm

Bei der zeichnerischen Bestimmung der Profilbreiten ist zu beachten, daß Bolzen und Mutter verschiedene Durchmesser haben und infolgedessen die Dreiecke für den Kern- und Außendurchmesser gesondert zu zeichnen sind.

Die seitlichen Keilwinkel β_1 und β_2 , Abb. 19, des nicht schräggestellten Gewindestahls ergeben sich bei Annahme eines seitlichen Freiwinkels von 3° an dem berechneten Bolzen-Flachgewinde:

$$\beta_1 = 90^\circ - (\delta_k + 3^\circ), \quad \beta_1 = 90^\circ - (9^\circ 03' + 3^\circ) = 77^\circ 57',$$

$$\text{und } \beta_2 = 90^\circ + (\delta_a - 3^\circ), \quad \beta_2 = 90^\circ + (7^\circ 15' - 3^\circ) = 94^\circ 15'.$$

Beispiel 2. Doppelgängiges Trapezgewinde nach DIN 103, Abb. G 31:

Außendurchmesser des Bolzens $d_a = 120$ mm.

Steigung $h = 28$ mm.

Teilung (Gangweite) $h/2 = 14$ mm.

Kernbreite des Bolzens $b_k =$ Außenbreite der Mutter b_a .

Außenbreite des Bolzens b_a größer als Kernbreite der Mutter b_k .

Schrägstellung der Stahlschneide senkrecht zur mittleren Schraubelinie.

Theoretische Gewindetiefe $t = 1,866 \cdot h = 6,124$ mm.

Die Breiten b_a , b_m und b_k ergeben sich gemäß Abb. G 31.

Bolzen:	Mutter:
Außenbreite	Außenbreite
$b_a = 14 \cdot \frac{16,562}{26,124} = 8,876$	4,856
Mittenbreite	Mittenbreite
$b_m = \frac{14}{2} = 7$	7
Kernbreite	Kernbreite
$b_k = 14 \cdot \frac{9,062}{26,124} = 4,856$	$14 \cdot \frac{16,312}{26,124} = 8,742$

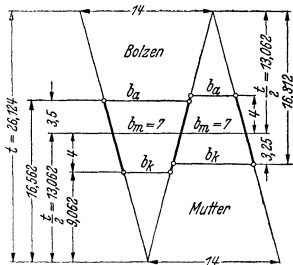


Abb. G 31.

	Außen	Flanke (Mitte)	Kern
Bolzen			
Durchmesser	d	120	113
Steigung	h	28	28
Steigungswinkel .. $\text{tg } \delta = \frac{h}{\pi \cdot d}$		28	28
		$\pi \cdot 120$	$\pi \cdot 113$
		0,07427	0,07887
		δ	δ
		4°15'	4°30'
Schrägstellung der Stahlschneide	δ_m	4°30'	4°30'
	$\delta_m - \delta$	0°15'	0°
	$\cos(\delta_m - \delta)$	0,99999	1
	$\cos \delta$	0,99725	0,99692
Gewindebreite	b	8,876	7
Stahlbreite $b' = b \cdot \frac{\cos \delta}{\cos(\delta_m - \delta)}$		$8,876 \cdot \frac{0,99725}{0,99999}$	$7 \cdot \frac{0,99692}{1}$
	b'	8,851	6,978
Mutter			
Durchmesser	D	121	113
Steigung	h	28	28
Steigungswinkel .. $\text{tg } \delta = \frac{h}{\pi \cdot D}$		28	28
		$\pi \cdot 121$	$\pi \cdot 113$
		0,07366	0,07887
		δ	δ
		4°13'	4°30'
Schrägstellung der Stahlschneide	δ_m	4°30'	4°30'
	$\delta_m - \delta$	0°17'	0°
	$\cos(\delta_m - \delta)$	0,99999	1
	$\cos \delta$	0,99729	0,99692
Gewindebreite	b	4,856	7
Stahlbreite $b' = b \cdot \frac{\cos \delta}{\cos(\delta_m - \delta)}$		$4,856 \cdot \frac{0,99729}{0,99999}$	$7 \cdot \frac{0,99692}{1}$
	b'	4,843	6,978

Bei der zeichnerischen Bestimmung der Profilbreiten ist es übersichtlicher, für Bolzen und Mutter je ein getrenntes Schaubild zu zeichnen, und zwar stark, möglichst 20fach, vergrößert.

Das oben berechnete Gewinde mit $4 \cdot 30'$ mittlerem Steigungswinkel liegt an der Grenze zwischen normalem und steilgängigem Gewinde. Die Verzerrung ist infolgedessen gering.

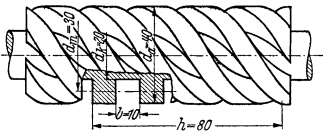


Abb. G 32.

Beispiel 3. Viergängiges Flachgewinde (absichtlich übertrieben steil und tief gewählt), Abb. G 32, berechnet nach Näherungsformel.

Außendurchmesser des Bolzens $d_u = 40$ mm.
Steigung $h = 80$ mm.
Teilung $h/4 = 20$ mm. Gangbreite $b = 10$ mm.
Schrägstellung der Stahlschneide senkrecht zur mittleren Schraubenlinie.

Bolzen.

	Außen	Flanke (Mitte)	Kern
Durchmesser	d	40	30
Steigung	h	80	80
Steigungswinkel $\text{tg } \delta = \frac{h}{\pi \cdot d}$	80	80	80
$\text{tg } \delta$	$\frac{80}{\pi \cdot 40}$	$\frac{80}{\pi \cdot 30}$	$\frac{80}{\pi \cdot 20}$
δ	0,63662	0,84882	1,27324
Schrägstellung der Stahlschneide	δ_m	$40^\circ 20'$	$40^\circ 20'$
$1 + \text{tg } \delta_m \cdot \text{tg } \delta$	$1 + 0,84882 \cdot 0,63662$	$1 + 0,84882 \cdot 0,84882$	$1 + 0,84882 \cdot 1,27324$
	$= 1,54038$	$= 1,72050$	$= 2,08076$
$\cos \delta_m$	0,76229	0,76229	0,76229
Gewindebreite	b	10	10
Stahlbreite	b	10	10
$b' = \frac{b}{\cos \delta_m \cdot (1 + \text{tg } \delta_m \cdot \text{tg } \delta)}$	$\frac{10}{0,76229 \cdot 1,54038}$	$\frac{10}{0,76229 \cdot 1,72050}$	$\frac{10}{0,76229 \cdot 2,08076}$
b'	8,514	7,624	6,300

II. Gewindeschneiden mit Schneideisen (Schneidkluppe) und Schneidköpfen.

Beim Gewindeschneiden von Hand mit Schneideisen oder Schneidkluppe ist auf gute Führung des Werkzeuges zu achten, damit das Gewinde fluchtet. Die Bolzen werden auf einen kleineren Durchmesser überdreht als der Außendurchmesser des Außengewindes sein soll, da auch beim Schneiden mit Schneideisen (Schneidkluppe) der Werkstoff fließt, wie bei den Gewindebohrern erläutert wurde.

Dies hat gleichfalls Gültigkeit, wenn das Gewinde auf Gewindeschneidmaschinen oder Automaten hergestellt wird. Gute Ergebnisse erreicht man, wenn der Außendurchmesser des Bolzens etwa um $\frac{1}{10}$ bis $\frac{2}{10}$ der Steigung unter dem Soll-Maß des Gewindeaußendurchmessers liegt. Die Festigkeit der Schraubenverbindung ändert sich praktisch hierdurch nicht. Dagegen wird die Leistungsfähigkeit des Werkzeuges bedeutend erhöht. Auch der Ausschub wird geringer, da das Gewinde weniger ausreißt und die Gewindeflanken sauberer werden. Genaue Außen- und Kerndurchmesser sind nur für Schrauben erforderlich, die im Gewinde dichten sollen.

Beim Schneiden von Gewinde mit dem Schneideisen in zähe Werkstoffe kommt es vor, daß sich beim Wiederabschrauben des Schneideisens vom Werkstück das Gewinde streckt, so daß die Steigung zu groß wird.

Neben Schneideisen werden auf Maschinen, vor allem bei Massenfertigung, selbstöffnende Schneidköpfe verwendet, da bei diesen eine Umkehr der Drehbewegung für den Rücklauf nicht erforderlich ist. Das Gewinde kann daher beim Rücklauf auch nicht ausreißen oder sich strecken. Die Bauarten der Köpfe sind verschieden¹⁾. Sie lassen sich aber alle in zwei Gruppen, nämlich Schneidköpfe mit Radialbacken und Schneidköpfe mit Tangentialbacken, einordnen. Während die Radialschneidköpfe mit verhältnismäßig kleinen Baumaßen ausführbar sind, ist dies bei Schneidköpfen mit Tangentialbacken nicht möglich. Deshalb findet man Radialschneidköpfe meist auf Automaten, während Tangentialköpfe auf Sondergewindeschneidmaschinen verwendet werden. Schneidköpfe mit Tangentialbacken haben den Vorteil, daß die Spanabfuhr bedeutend besser ist. Trotz guter Schneidköpfe kann man schlechte Gewinde erhalten, wenn die Maschine nicht richtig gerüstet (eingrichtet) wird. Es ist vor allem wichtig, daß beim Schneiden die Bolzenachse mit der Schneidkopfachse zusammenfällt, da das Gewinde sonst einseitig oder schief ausfällt.

Schmiermittel²⁾ werden beim Schneiden der Außengewinde in gleicher Weise verwendet wie beim Innengewinde.

III. Gewindefräsen³⁾.

Das Fräsen der Gewinde ist in vielen Fällen wesentlich billiger als die bisher geschilderten Herstellungsverfahren, vor allem, wenn an die Genauigkeit hohe Anforderungen gestellt werden oder besonders harte Werkstoffe zu bearbeiten sind. Für lange Gewinde werden scheibenförmige Fräser (Einförmfräser) verwendet, während kurze Gewinde mit walzenförmigen Mehrrillenfräsern (Kammfräsern) hergestellt werden.

a) Fräsen von Langgewinde mit scheibenförmigen Gewindefräsern (Einförmfräsern).

Einförmfräser (scheibenförmige Gewindefräser) arbeiten den Gewindegang Windung nach Windung in seiner ganzen Länge heraus. Deshalb können mit ihnen Gewinde beliebiger Länge, Art und Form hergestellt werden. Hierzu sind entsprechende Langgewinde-Fräsmaschinen erforderlich. Durch das Sichfreischneiden des schräggestellten Fräasers tritt bei großen Gewindesteigungswinkeln eine Verzerrung der Gewindeform auf. Am ungünstigsten arbeitet der Fräser bei rechtwinkliger Gewindeform (Flachgewinde, Flankenwinkel 0°). Bei Flankenwinkeln über 10° ist der Formfehler meist belanglos. Größere Gewinde, wie Spann- und Förder-spindeln, können fertiggeträst werden. Bei genauen Gewinden dagegen, beispielsweise bei Leit- und Meßspindeln oder schneckenförmigen Walzenfräsern, dient das Fräsen lediglich als Vorbearbeitung, während die Fertigstellung auf der Drehbank oder Schleifmaschine erfolgt.

Beim Fräsen wird das Werkzeug mit seiner Achse meist um den mittleren Steigungswinkel gegen die Schraubenachse versetzt eingestellt, da hierbei

¹⁾ Näheres vgl. Mütze: Masch.-Bau (Der Betrieb) 1936 Heft 11/12.

²⁾ S. Buch Reuschle: Werkstattkniffe, Schmiermittel. München 22: Carl Hanser.

³⁾ S. Buch Theegarten u. Geyer: Werkstattkniffe, Fräsen. München 22: Carl Hanser.

das Gewindepfil am wenigsten verzerrt wird. Die Berechnung des Steigungswinkels und der Fräserbreite kann sinngemäß, wie beim Schneidstahl erörtert, erfolgen. Mit demselben Fräser können Gewinde verschiedenen Durchmessers und entsprechend verschiedener Steigungswinkel gefräst werden, soweit die Teilung oder Steigung gleich ist. Die gemäß den verschiedenen Steigungswinkeln erforderlichen verschiedenen Breiten im Senkrechtschnitt kann man dadurch erreichen, daß mit dem Fräser bei größeren Schrauben (kleinerem Steigungswinkel) tiefer gefräst wird als bei kleineren Schrauben. Die Breite des Fräfers ist dann nach dem größten Steigungswinkel (geringste Breite des Gewindeganges einer Gruppe) zu bestimmen. Die hierbei auftretende Profilverzerrung ist meist belanglos. Dieses Verfahren hat in allen Fällen Vorteile, in denen es auf Genauigkeit ankommt, besonders bei steilgängigem (mehrfachen) Gewinde und bei größeren Schrauben. Wird mehr auf billige Herstellung Wert gelegt, beispielsweise beim Vorfräsen, so ist es zweckmäßig, den Fräser nach einem mittleren Steigungswinkel einzustellen, der sich aus den mittleren Steigungswinkeln der kleinsten und größten Schraube einer Gruppe gleicher Steigung ergibt. Die Muttern müssen bei beiden Verfahren für jeden Durchmesser und jede Steigung besonders angefertigt werden.

b) Fräsen von Kurzgewinde mit walzenförmigen Gewindefräsern (Mehrrillenfräsern).

Kurze Innen- und Außengewinde mit größerem Flankenwinkel, beispielsweise metrische, Whitworth-, Löwenherz- und ähnliche Gewinde, können mit walzenförmigen Fräsern hergestellt werden. Die Fräser haben einzelne in sich geschlossene Rillen mit dem Gewindepfil und sind hinterdreht oder hinterschiffen. Die hierdurch bedingte geringe Verzerrung der Gewindeform kann in Anbetracht der verhältnismäßig kleinen Steigungswinkel vernachlässigt werden. Der Arbeitsvorgang ist folgender:

Der Gewindefräser dringt während etwa $\frac{1}{6}$ Werkstückumdrehung bis zur vollen Gewindetiefe ein und fräst dann das Gewinde während einer weiteren vollen Werkstückumdrehung fertig. Der gesamte Fräsweg entspricht $1\frac{1}{6}$ Werkstückumfang. Die Fräszeiten sind daher meist überraschend kurz, und bei richtigen Arbeitsbedingungen (zweckmäßigem Verhältnis von Vorschubgeschwindigkeit zur Schnittgeschwindigkeit) fallen die gefrästen Gewinde sauber und genau aus.

IV. Gewindewalzen.

Für die spanlose Gewindefertigung durch Aufwalzen oder Eindrücken (Rollen) der Gewindegänge in das Arbeitsstück werden in der Hauptsache Gewindewalzmaschinen verwendet. Diese arbeiten entweder mit flachen Backen, die mit Gewinderillen versehen sind, oder mit scheibenförmigen Gewinderollen. Seltener werden Gewinde auch auf Drehbänken gerollt. Wenn auch in beiden Fällen der Arbeitsvorgang grundsätzlich der gleiche ist, so ist doch das Gewinderollen auf der Drehbank sowohl hinsichtlich des Werkstoffes als auch hinsichtlich der Gewindeform nur beschränkt anwendbar.

a) Gewindewalzen mit flachen Backen.

Während früher die auf Gewindewalzmaschinen hergestellten Schrauben keine besondere Genauigkeit hatten und daher nur für bestimmte Zwecke, z. B. für Befestigungsschrauben an Schaltern, Beleuchtungskörpern, Fern-

sprechern, hauswirtschaftlichen Geräten u. dgl., in großem Umfange angewendet wurden, arbeiten neuzeitliche Gewindewalzmaschinen mit einer Genauigkeit und Geschwindigkeit, die das Aufwalzen von Gewinden auch in vielen anderen Fällen wirtschaftlich machen. Die Güte der fertigen Schraube ist sehr von der Beschaffenheit des vorgepreßten oder vorgearbeiteten Körpers abhängig. Als Werkstoff wird vielfach weicher gebeizter Stahl, seltener Messing und Kupfer oder andere Nichteisenmetalle, verwendet.

Der Walzvorgang ist folgender, Abb. G 33: Zwischen einer feststehenden, achsial und radial einstellbaren Backe *A* und der gegenüber vorbeilaufenden Backe *B* wird die Schraube *C* unter starkem Druck hindurchgerollt. Hierbei drückt sich das in die Backen eingearbeitete Gewindeprofil in den Schaft der Schraube, so daß das Gewinde nach einer halben Umdrehung der Schraube in seiner ganzen Länge fertig ist. Da durch das Eindrücken der Profile der Werkstoff hochgequetscht wird, fällt der Außendurchmesser des Gewindes größer aus als der ursprünglich vorhandene Schaftdurchmesser. Dieser muß also um ein bestimmtes Maß kleiner gehalten werden. Ist der Schaftdurchmesser der Schraube zu klein, so drückt sich der Werkstoff nicht genügend hoch, und das Gewinde wird nicht scharf ausgewalzt. Wird andererseits das richtige Maß erheblich überschritten, so entstehen ungenaue Gewinde. Geeignete Abmessungen können den folgenden Tafeln entnommen werden.

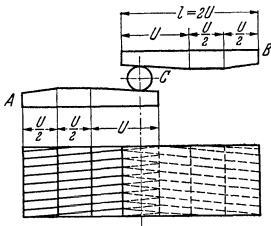


Abb. G 33. Gewindewalzen.

Tafel 4. Angaben für das Berechnen zu walzender Gewinde.

Bezeichnungen siehe Abb. G 34.

Benennung	Zeichen	Berechnung
Außendurchmesser der Schraube	d_a	
Flankendurchmesser der Schraube	d_m	
Kerndurchmesser der Schraube	d_k	
Werkstückdurchmesser vor dem Walzen	d	$= \sqrt{1/2 \cdot (d_a^2 + d_k^2)}$
Gangzahl auf 1"	G	
Steigung	h	$= 25,4 : G$
Mittlerer Steigungswinkel (vgl. Tafel 3)	δ	$\text{tg } \delta = \frac{h}{\pi \cdot d_m}$
Länge der Walzbacke	l	
Breite der Walzbacke	b	
Mindestbreite des Fräasers zum Einfräsen der Rillen	b_F	$= l \cdot \sin \delta + b \cdot \cos \delta$

Beispiel. Es soll ein Whitworth-Gewinde $3/8''$ gewalzt werden.

$$d_a = 9,525 \text{ mm}; \quad d_k = 7,492 \text{ mm}; \quad h = 1/16'' = 1,59 \text{ mm.}$$

$$d = \sqrt{1/2 \cdot (9,525^2 + 7,492^2)} = \sqrt{73,43} = 8,57 \text{ mm.}$$

Gewindewalzbacken müssen mit größter Sorgfalt aus hochwertigem Werkzeugstahl, der einen geringen Härteverzug hat, hergestellt werden. Die Gewindeprofile, die der Form und Steigung des zu walzenden Gewindes entsprechen, Abb. G 34, werden in die Backen gehobelt oder gefräst, wobei

Tafel 5. Werkstückdurchmesser d in mm vor dem Walzen.

Whitworth	d_a in Zoll	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$
		d in mm	1,35	2,07	2,80	3,50	4,14	4,93	5,60	7,10	8,57	10,00	11,43
Metz. Gew.	d_a in mm	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	
	d in mm	2,65	3,14	3,55	4,04	4,45	5,35	6,34	7,18	8,18	9,02	
Löwenherz-Gewinde	d_a in mm	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3	3,5	4	4,5
	d in mm	0,84	1,03	1,20	1,46	1,73	2,02	2,29	2,65	3,08	3,51	3,98
	d_a in mm	5	5,5	6	7	8	9	10				
	d in mm	4,44	4,87	5,30	6,23	7,16	8,08	9,01				

man die Backen entsprechend dem Steigungswinkel α schräg einspannt, Abb. G 35. Um die Gewinderillen, deren Abstand gleich der Steigung des zu erzeugenden Gewindes sein muß, mit einem Schnitt einfräsen zu können, muß der Fräser länger sein als die Breite der Rollenbacken. Für ein besseres

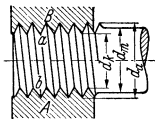


Abb. G 34.

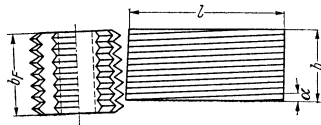


Abb. G 35.

Anrollen der Schrauben werden die Backen außerdem an der Anrollseite zweckmäßig etwas abgeschrägt. Das gerade mittlere Stück der Walzbacken, dessen Länge etwa 50 vH des Schaftumfanges beträgt, dient zum Fertigwalzen. Das angegebene Maß soll möglichst nicht überschritten werden, da sonst die Herstellungsgenauigkeit der Schrauben beeinträchtigt wird. Da beim Walzen erhebliche Reibung auftritt, ist es notwendig, für reichliche Kühl- und Schmiermittelzufuhr zu sorgen und möglichst mit einem starken Kühlstrom zu arbeiten.

b) Gewindewalzen mit scheibenförmigen Gewinderollen.

Das behelfsmäßige Gewindewalzen auf Drehbänken, Revolverbänken und selbsttätigen Drehbänken mittels scheibenförmiger Gewinderolle wird nur dann angewandt, wenn Arbeitsstücke dicht an einem Bund mit Gewinde versehen werden sollen. Grobe Gewinde auf harten Werkstoffen sind auf diese Weise schwer zu walzen und setzen entsprechend kräftige Maschinen voraus.

Der Arbeitsgang ist folgender: Die Gewindgänge der scheibenförmigen Gewinderolle drücken sich beim Abrollen in das Werkstück ein. Ihre Länge muß daher genau ein n -faches der Länge des zu erzeugenden Gewindenganges sein, weil nach n Umdrehungen des Arbeitsstückes und einer Umdrehung der Rolle der folgende Gewindengang der Rolle mit den in das Arbeitsstück bereits eingedrückten wieder zusammentreffen muß. Die Zusammenhänge gehen aus Abb. G 36 hervor. Wenn mit h_r (h_g) und G_r (G_g) Steigung und Gangzahl des Rollengewindes bzw. des zu erzeugenden Gewindes bezeichnet werden, bestehen die Beziehungen

$$h_r = n \cdot h_g \text{ und } G_r = \frac{G_g}{n}.$$

Die Form des auf diese Weise gewalzten Gewindes weicht von der normalen Gewindeform insofern ab, als die Gewindetiefe größer und der Kern-durchmesser kleiner als normal sind. Denn die Gewinderolle muß zur Überwindung des Verformungswiderstandes mit scharfen, anstatt abgerundeten oder abgeflachten, Kanten ausgeführt werden. Bei grobgängigen Gewinden oder harten Werkstoffen werden, damit sich die Rolle besser eindrücken kann, vorteilhaft zwei Gänge ausgespart, Abb. G 37. Außerdem ist es zweckmäßig, die Enden der Gewinderolle unter 45° abzuschrägen, um ein Ausbrechen des Gewindes zu verhindern. Die wegen der scharfen Kanten vorsichtig

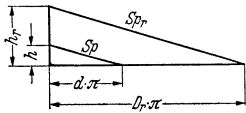


Abb. G 36.

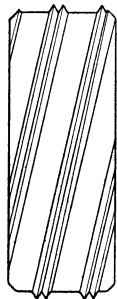


Abb. G 37.

zu härtende Gewinderolle wird nach dem Härten auf der Drehbank mittels eines Stückes Hartholz, Öl und Schmirgel geglättet. Das Werkzeug wird in einem Halter, Abb. G 38, gut eingepaßt, so daß es um einen Zapfen leicht drehbar ist. Der Halter wird im Werkzeugschlitten eingespannt. Beim Walzen ist es wichtig, daß die Gewinderolle tangential und nicht unmittelbar auf die Mitte wirkend gegen das Arbeitsstück angedrückt

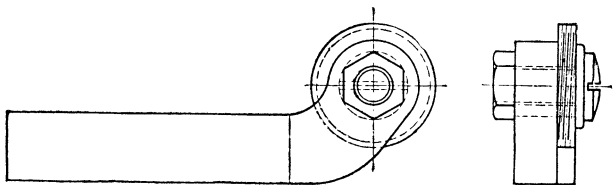


Abb. G 38.

wird. Die Einführung auf die nötige Tiefe muß möglichst rasch geschehen. Nach vollendetem Einwalzen des Gewindes soll die Rolle sofort zurückgezogen werden, da sonst die Gewindegänge leicht ausbrechen. Die Umfangsgeschwindigkeit des Werkstückes wähle man nicht zu hoch.

Die Abmessungen der Gewinderollen richten sich nach dem Schaftdurchmesser des Werkstückes vor dem Walzen. Ihre Berechnung erfolgt gemäß umstehender Zusammenstellung.

In neuerer Zeit werden auch Gewindewalzmaschinen mit Gewinderollen geliefert. Der Durchmesser der Rollen entspricht dem gewünschten Gewindedurchmesser und liegt zwischen 110 und 140 mm. Es können Werkstücke bis zu 70 mm Durchmesser mit Gewinde versehen werden. Die Walzgeschwindigkeit beträgt bis zu 16 m/min. Diese Maschinen liefern auch auf zäharten Stählen höherer Festigkeit (70 bis 100 kg/mm²) ein sauberes und maßhaltiges Gewinde. Es lassen sich auf diese Weise nicht nur Schrauben

Tafel 6. Angaben zur Berechnung zu rollender Gewinde.

Benennung	Zeichen	Berechnung
Außendurchmesser der Schraube . . .	d_a	
Kerndurchmesser der Schraube	d_k	
Werkstückdurchmesser vor dem Walzen (Rollen)	d	$= \sqrt[1/2]{(d_a^2 + d_k^2)}$
Steigung des fertigen Gewindes in mm	h	$= \frac{25,4}{G}$
Gewindetiefe	t	$= 0,96 \cdot h$ bei 55° Flankenwinkel $0,87 \cdot h$ bei 60° Flankenwinkel
Außendurchmesser der Gewinderolle .	D_r	$= d \cdot n + t$
Durchmesserverhältnis $D_r : d$	n	
Gewindesteigung der Rolle in mm . . .	h_r	$= n \cdot h = n \cdot \frac{25,4}{G}$
Gangzahl des fertigen Gewindes auf 1''	G	
Gangzahl der Gewinderolle auf 1'' . .	G_r	$= \frac{G}{n}$

Beispiel. Es soll ein Sellers- (U.S.St.-) Gewinde von $d_a = 15,88$ mm Außendurchmesser, Steigung $h = 18$ Gängen auf 1'' ($h = \frac{25,4}{G} = 1,41$ mm) und 60° Flankenwinkel auf ein Werkstück gewalzt werden. Wenn $n = 4$ gewählt wird, so ist

$$G_r = \frac{18}{4} = 4,5 \text{ Gänge je Zoll,}$$

$$h_r = 1,41 \cdot 4 = 5,64 \text{ mm,}$$

$$d = \sqrt[1/2]{(15,88^2 + 14,42^2)} = 15,17 \text{ mm}$$

$$D_r = 15,17 \cdot 4 + 1,41 \cdot 0,87 = 61,91 \text{ mm.}$$

herstellen, sondern es können auch Formteile und Hohlkörper mit kurzen Gewinden versehen werden, z. B. Radkappenverschraubungen, Zündkerzen u. dgl. Das zu walzende Werkstück liegt auf einer Auflage und dreht sich nur um seine eigene Achse. Das Gewinde wird mit schwachem Anfangsdruck, der allmählich zunimmt, eingewalzt, und zwar alle Gänge gleichzeitig. Bei Verwendung geeigneter Schmiermittel werden Flanken und Profil vollkommen glatt. Durch eine eingebaute Meßuhr, die jeweils das genaue Flankenmaß angibt, ist es möglich, den Flankendurchmesser der Schrauben genau einzuhalten. Der gesamte Arbeitsgang dauert, je nach Gewindedurchmesser, 2 bis 10 Sekunden.

C. Berechnung der Wechselräder¹⁾ zum Gewindeschneiden auf der Drehbank.

Durch die Wechselräder mit den Zähnezahlen a, b, c, d usw. werden die Umdrehungszahlen der Dreh- und Leitspindel in das zum Schneiden eines bestimmten Gewindes erforderlichen Verhältnis gebracht. Es ist:

Steigung in mm des zu schneidenden Gewindes	oder	Gänge auf 1 Zoll der Leitspindel	=	Produkt der Zähnezahlen der treibenden Räder
Steigung in mm der Leitspindel		Gänge auf 1 Zoll des zu schneidenden Gewindes	=	Produkt der Zähnezahlen der getriebenen Räder
A		=		B

¹⁾ Zähnezahlen für Wechselräder siehe Tafel 7.

Für die Berechnung des Verhältnisses A dienen die in umstehender Tafel für alle vorkommenden Fälle unter A aufgeführten Formeln, in welche die gegebenen Werte einzusetzen sind.

Aus dem Verhältnis A werden die Zähnezahlen B der Wechselräder abgeleitet, indem Zähler und Nenner mit gleichen Zahlen erweitert (vervielfacht) werden, so daß sich Zähnezahlen vorhandener Räder ergeben. Eine Hilfe bieten die Tafeln über Primzahlen S. 47 bis 51.

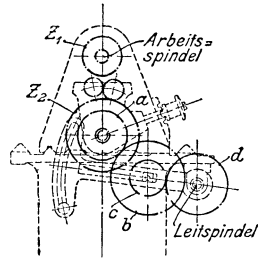


Abb. G 39.

Beispiele.

1. Auf einer Drehbank mit einer Leitsspindel von 5 Gang auf 1'' soll ein Gewinde mit einer Steigung = 2 mm geschnitten werden.

Auflösung: $G_2 = 5$; $h_1 = 2$

$$A = \frac{h_1 \cdot G_2 \cdot 5}{127} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 5}{127} = \frac{50}{127} = \frac{a}{b}.$$

2. Es ist ein Gewinde von 30 Gang auf 1'' zu schneiden. Die Leitsspindel der Drehbank hat 4 Gang auf 1''.

Auflösung: $G_1 = 30$; $G_2 = 4$; $A = \frac{G_2}{G_1} = \frac{4}{30} = \frac{a}{b}.$

In diesem Falle kommen wir mit einer 1fachen Übersetzung $\frac{a}{b}$ nicht mehr aus und gehen zur 2fachen Übersetzung über:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{4}{30} = \frac{4 \cdot 10}{30 \cdot 10} = \frac{40 \cdot 40}{30 \cdot 100} = \frac{40 \cdot 10 \cdot 3}{30 \cdot 3 \cdot 100} = \frac{40 \cdot 30}{90 \cdot 100}.$$

Bei Herzübersetzung, wenn $\frac{Z_2}{Z_1} = i = 5$ wird:

$$A = \frac{G_2 \cdot i}{G_1} = \frac{4 \cdot 5}{30} = \frac{20}{30} = \frac{30}{45} = \frac{40}{60} \text{ usf.} = \frac{a}{b}.$$

3. Auf einer Drehbank, deren Leitspindeln 4 Gang auf 1'' hat, ist eine Schnecke Modul 5 zu schneiden.

Auflösung: $m = 5$; $G_2 = 4$

$$A = \frac{m \cdot G_2 \cdot 157}{10 \cdot 127} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 157}{10 \cdot 127} = \frac{20 \cdot 157 \cdot 100 \cdot 157}{10 \cdot 127 \cdot 50 \cdot 127} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}.$$

Soweit ein Zahnrad mit 157 Zähnen nicht zur Verfügung steht, benutzt man die Näherungsformel.

$$A \approx \frac{m \cdot G_2 \cdot 47}{4 \cdot 95} = \frac{20 \cdot 47}{4 \cdot 95} = \frac{80 \cdot 94}{32 \cdot 95} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}.$$

Anmerkungen zur Tafel 7 auf S. 430.

*) Bei Herzübersetzung (Abb. G 39) sind die unter A angeführten Werte mit dem Übersetzungsverhältnis $i = Z_2 : Z_1$ zu vermehren.

1) Das Zahnrad mit 157 Zähnen beruht auf der Annäherung $\pi = \text{rd. } 3,14$ anstatt $\pi = 3,14159265$; also wird die Steigung des geschnittenen Modulgewindes um $0,0016 \times \text{Modul}$, entsprechend $0,0016 : \pi = 0,0005$ oder $0,5 \text{ vT}$ zu kurz, im Beispiel 3 also $0,0005 \times 5 = 0,0025 \text{ mm} = 2,5 \mu$.

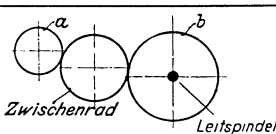
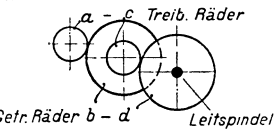
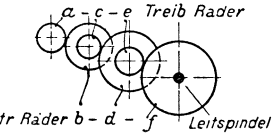
Die Annäherung $\pi = \frac{25 \cdot 47}{22 \cdot 47} = 3,14171123$ ergibt ein Modulgewinde, dessen Steigung nur $0,00012 \times \text{Modul}$ zu lang ist, entsprechend $0,00012 : \pi = 0,00004$ oder $0,04 \text{ vT}$, im Beispiel 3 also $0,00004 \times 5 = 0,0002 \text{ mm} = 0,2 \mu$.

Das unbequem große Rad mit 157 Zähnen ist vermieden und gleichzeitig die Abweichung vom richtigen Wert unter ein Zehntel des Fehlers herabgesetzt.

Weitere Winke über Wechselräder siehe „Werkstattbuch 1, Gewindeschneiden“ (Berlin: Julius Springer).

Tafel 7. Berechnung $A = B$.

Gegebene Werte				$A^*)$
Zu schneidendes Gewinde	Gewinde der Leitspindel			
Gangzahl auf 1'' G_1	Gangzahl auf 1''	G_2		$G_2 : G_1$
	Steigung mm	h_2		$\frac{25,4}{G_1 \cdot h_2} = \frac{127}{G_1 \cdot h_2 \cdot 5}$
	Steigung Zoll	E_2		$\frac{1}{G_1 \cdot E_2}$
Steigung mm h_1	Gangzahl auf 1''	G_2		$\frac{h_1 \cdot G_2}{25,4} = \frac{h_1 \cdot G_2 \cdot 5}{127}$
	Steigung mm	h_2		$h_1 : h_2$
	Steigung Zoll	E_2		$\frac{h_1}{E_2 \cdot 25,4} = \frac{h_1 \cdot 5}{E_2 \cdot 127}$
Modul $m = h_1 : \pi$	Gangzahl auf 1''	G_2		$\frac{m \cdot G_2 \cdot 3,14}{25,4} \approx \frac{m \cdot G_2 \cdot 157^1)}{10 \cdot 127} \approx \frac{m \cdot G_2 \cdot 47}{4 \cdot 95}$
	Steigung mm	h_2		$\frac{m \cdot 3,14}{h_2} \approx \frac{m \cdot 157^1)}{h_2 \cdot 50} \approx \frac{m \cdot 25 \cdot 47}{h_2 \cdot 22 \cdot 17}$
	Steigung Zoll	E_2		$\frac{m \cdot 3,14}{E_2 \cdot 25,4} \approx \frac{m \cdot 157^1)}{E_2 \cdot 127 \cdot 10} \approx \frac{m \cdot 47}{E_2 \cdot 4 \cdot 95}$
Steigung Zoll	Gangzahl auf 1''	G_2		$E_1 \cdot G_2$
	Steigung mm	h_2		$\frac{E_1 \cdot 25,4}{h_2} = \frac{E_1 \cdot 127}{h_2 \cdot 5}$
	Steigung Zoll	E_2		$E_1 : E_2$

Übersetzung	Anordnung der Räder	B
1 fach	 <p style="text-align: center;"><i>Zwischenrad</i> <i>Leitspindel</i></p>	$\frac{a}{b}$
2 fach	 <p style="text-align: center;"><i>Treib. Räder</i> $a - c$ <i>Getr. Räder</i> $b - d$ <i>Leitspindel</i></p>	$\frac{a \cdot c}{b \cdot d}$
3 fach	 <p style="text-align: center;"><i>Treib. Räder</i> $a - c - e$ <i>Getr. Räder</i> $b - d - f$ <i>Leitspindel</i></p>	$\frac{a \cdot c \cdot e}{b \cdot d \cdot f}$

1) *) Anmerkungen s. Fußnote S. 429.

Tafel 8. Zähnezahlen der Wechselläder
für Leitspindel-Drehbänke. Universal-Fräsmaschinen und Zahnrad-
Bearbeitungsmaschinen
nach DIN 781.

Zähnezahl	Zähnezahlen für			Zähnezahl	Zähnezahlen für		
	Leitspindel-Drehbänke; Leitspindel mit Steigungen von $1/4''$, $1/2''$ und 3, 6, 12, 24 mm	Universal-Fräsmaschinen; Tischspindel mit 10 mm Steigung	Zahnrad-Bearbeitungsmaschinen		Leitspindel-Drehbänke; Leitspindel mit Steigungen von $1/4''$, $1/2''$ und 3, 6, 12, 24 mm	Universal-Fräsmaschinen; Tischspindel mit 10 mm Steigung	Zahnrad-Bearbeitungsmaschinen
20	20		20	68	68		68
21			21	69			69
22	22		22	70	70		70
23			23	71			71
24	24	24	24	72	72	72	72
25	25		25	73			73
26	26		26	74			74
27			27	75	75		75
28		28	28	76	76		76
29			29	77			77
30	30		30	78			78
31			31	79			79
32	32	32	32	80	80	80	80
33			33	81			81
34			34	82			82
35	35		35	83			83
36	36	36	36	84	84		84
37			37	85	85		85
38			38	86			86
39			39	87			87
40	40	40	40	88			88
41			41	89	89		89
42	42		42	90	90	90	90
43			43	91			91
44	44		44	92			92
45	45		45	93			93
46			46	94			94
47			47	95	95		95
48	48	48	48	96	96	96	96
49			49	97	97		97
50	50		50	98			98
51	51		51	99			99
52			52	100	100		100
53			53	105	105		
54	54		54	106			106
55	55		55	110	110		
56		56	56	112	112		
57	57		57	114	114		
58			58	115	115		
59			59	118			118
60	60		60	120	120		
61			61	125	125		
62			62	127	127		127
63			63	128			128
64		64	64	135			135
65	65		65	140	140		
66			66	144			144
67			67				

Das Schleifen von Gewinden.

A. Anwendungsgebiete.

Das Schleifen von Gewinden wird angewendet:

wegen der außerordentlichen Genauigkeit in Profil, Flankendurchmesser und Steigung des erzeugten Gewindes in gehärtetem, vergütetem und auch nicht gehärtetem Stahl, in schwierig und in leicht zu bearbeitenden Werkstoffen;

wegen der Unmöglichkeit, gehärteten Stahl auf andere Weise mit Gewinde zu versehen;

wegen der hohen Oberflächengüte und dadurch hohen Verschleißwiderstandes und großer Wechselfestigkeit.

Die wichtigsten mit geschliffenem Gewinde versehenen Teile sind:

Schneid- und Meßwerkzeuge aus gehärtetem Kohlenstoff- oder legiertem Stahl bzw. aus einsatzgehärtetem Stahl, z. B. Gewinde-Bohrer, -Fräser, -Schneidbacken, -Rollbacken, -Lehrdorne, -Lehringe, Meß- und Meister-spindeln;

Maschinenteile aus gehärtetem, einsatzgehärtetem oder vergütetem Stahl. Bewegungs- und Einstellspindeln mit Spitz-, Trapez- und Sägewinde.

B. Verfahren.

I. Allgemeines. Das Gewindeschleifen wird ausgeübt als:

Außenschleifen, Innenschleifen, Hinterschleifen;

Schleifen in einer Ebene, auf einem Zylinder, einem Kegel, nach Leitkurve beliebig (z. B. für Anschnitt und Auslauf);

zwischen Spitzen, fliegend, in Vorrichtung, Futter, Patrone, spitzelos.

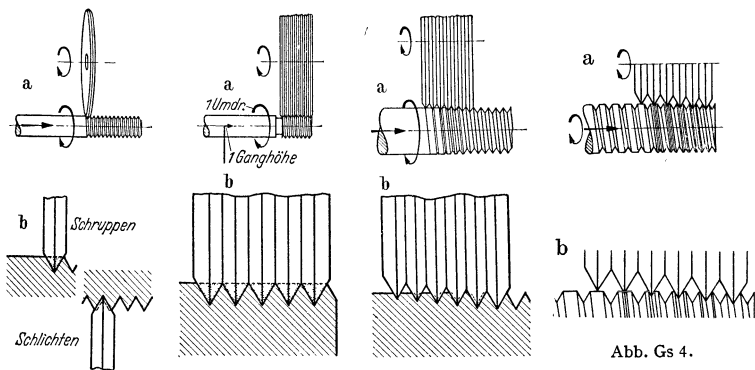


Abb. Gs 4.

Abb. Gs 1.

Abb. Gs 2.

Abb. Gs 3.

Das Gewindeschleifen ist wirtschaftlich, wenn gewählt ist: das richtige Arbeitsverfahren und die richtige Arbeitsweise; die richtige Gewindeschleifmaschine; die richtige Schleifscheibe.

Als Arbeitsverfahren sind möglich:

einprofiliges Schleifen, Abb. Gs 1;

mehrprofiliges Einstechschleifen, Abb. Gs 2;

mehrprofiliges, axiales Durchgangsschleifen, Abb. Gs 3 und 4.

Das zuletzt genannte Verfahren ist für Außen- und für Innengewinde patentrechtlich geschützt (DRP. 476310 in ausländischem Besitz) und darf nur nach Erwerb der entsprechenden Lizenz (für Deutschland durch Herbert Lindner, Berlin-Wittenau) angewendet werden.

Die Arbeitsweise hängt von der Gewindeart und der Größe des Gewindeprofils ab. Spitzgewinde bis etwa 3 mm Steigung schleift man wirtschaftlich aus dem Vollen. Bei größeren Steigungen ist das Vorarbeiten des Gewindes günstiger, ausgenommen Gewindespindeln. Je nach dem Grad der geforderten Genauigkeit und der Bearbeitbarkeit des Werkstoffes wird man die Arbeit in Schruppen und Schlichten unterteilen.

II. Einprofiliges Schleifen, Abb. Gs 1 a und b, gibt das genaueste Gewinde und wird für Schneid- und Meßwerkzeuge angewendet. Einhaltbare Toleranzen (für Maschinen Herbert Lindner gültig):

Flankendurchmesser $\pm 2 \mu$,
Steigung $\pm 2 \mu$ auf 25 mm Länge,
 $\pm 8 \mu$ auf 1000 mm Länge,
Flankenwinkel $\pm 5'$.

III. Mehrprofiliges Einstechschleifen, Abb. Gs 2 a und b, ergibt die kürzesten Schleifzeiten und eignet sich für Massenfertigung von Befestigungsgewinden oder für Werkzeuge geringerer Genauigkeit. Einhaltbare Toleranzen (für Maschinen Herbert Lindner gültig):

Flankendurchmesser $\pm 15 \mu$,
Steigung $\pm 10 \mu$ auf 25 mm Länge bzw.
auf Schleifscheibenbreite,
Flankenwinkel $\pm 10'$.

IV. Mehrprofiliges Durchgangsschleifen für Gewinde üblicher Steigungen, Abb. Gs 3 a und b, für feine Steigungen mit Schleifscheibe doppelter Ganghöhe, Abb. Gs 4 a und b, vereinigt Genauigkeit des einprofiligen Schleifens mit der Wirtschaftlichkeit des Einstechschleifens. Anwendung für lange Gewindespindeln und für Innengewinde.

C. Die richtige Gewindeschleifmaschine.

I. Allgemeine Anforderungen: Starre, schwere Bauart, auch für das Bearbeiten kleiner Werkstücke; schwingungsfreies Arbeiten durch dynamisches Auswuchten aller schnell umlaufenden Teile; schwingungs isolierte Aufstellung der Maschine; schwingungs isoliert angebrachte Motoren.

II. Anforderungen zum Erreichen der Genauigkeit: Gehärtete, geschliffene, gealterte, geläppte Leitspindeln; genaues Fluchten der Schlittenführungen; längs und quer spielfreier Lauf der Schleifspindel; Feinzustellung bis 1μ Einstellmöglichkeit; schwingungsfrei arbeitende Abzieheinrichtungen.

III. Sondereinrichtungen: zum Schleifen kegeliger Gewinde; zum Erreichen gewollter Plus- und Minus-Abweichungen in der Steigung; zum Hinterschleifen von Werkzeugen mit gerader oder schraubenförmiger Spannte; zum Längsverschieben (Weiterteilen) des Schleiftisches für das Schleifen von in sich geschlossenen (Ring-) Profilen; zum Teilen bei mehrgängigen Gewinden; zum Eilgang über Leerwinkel (Nuten an Gewindebohrern); zur Korrektur der Leitspindel (Korrektionslineal) bei allerhöchster Genauigkeit.

IV. Sonstige Möglichkeiten: Zusatz-Schleifgeräte zum Gebrauch auf Drehbänken sind nicht für hohe Genauigkeiten geeignet.

D. Die richtige Schleifscheibe.

I. Anforderungen. Überwiegend verwendet man Siliziumkarbid- und Korund-Schleifscheiben keramischer Bindung. Zweckmäßig sind Scheiben, die nach dem Lindner-Härteprüfverfahren (DRP.) geprüft sind; für solche wird Garantie übernommen, daß sie sich zum Schleifen eines bestimmten Werkstoffes und eines bestimmten Profiles bzw. Steigung eignen. Körnung und Härte sind hauptsächlich von der Gewindeform und dem Halbmesser der Rundung am Gewindegrund abhängig. Für lange Standzeiten der Profile auf der Schleifscheibe sind große Scheibendurchmesser und zum Vermeiden von Schleifmarken genaues Auswuchten wesentlich.

II. Abrichten einprofiliger Schleifscheiben (metrisches Gewinde) geschieht durch Rohdiamanten. Schleifscheiben für Gewinde mit beiderseitigen Abrundungen (Whitworth-Gewinde) werden mit geschliffenen Formdiamanten (DRP.) abgezogen.

Mehrdprofilige Schleifscheiben werden durch Einrollen mit Profilrollen (aus gehärtetem Werkzeugstahl mit eingeschliffenem Profil), mehrprofilige Schleifscheiben mit weniger als 1 mm Steigung mit Formdiamanten abgerichtet.

III. Schleifscheibenverbrauch. Bei feinen Gewinden wird die Leistungsfähigkeit der Schleifscheibe in erster Linie durch die Profilhaltigkeit („Spitze“ der Scheibe zur Erzeugung der feinen Abrundung im Gewindegrund), bei gröberen Gewinden durch die Gefahr des „Brennens“ bestimmt. Das Brennen, das durch die größere Flächenberührung zwischen dem gröberen Gewinde und der Schleifscheibe hervorgerufen wird, kann die harte Haut bei Schneid- und Meßwerkzeugen weich und diese damit unbrauchbar machen. Bei gröberen Gewinden ist daher eine weichere Scheibe angebracht. Bei feinen Gewinden dagegen muß die feine Schneide möglichst lange erhalten bleiben. Man wählt deshalb hierfür härtere Scheiben. Auf jeden Fall muß man sich zum Grundsatz machen: Häufig abziehen ist wirtschaftlicher als das Verlängern der Profilhaltigkeit durch niedrige Werkstückdrehzahlen oder geringe Spananstellung. Das Abziehen selbst nimmt nur sehr geringe Zeit in Anspruch, und die Kosten der Schleifscheibe fallen kaum ins Gewicht, auch wenn man die teureren, nach dem obengenannten Verfahren geprüften Scheiben verwendet. Als Beispiel sei angeführt, daß bei einem Gewinde M 30 × 1,5 von 11 mm Länge beim mehrprofiligen Einstechschleifen, Abb. Gs. 2, wobei sich 15000-Gewinde mit einer Scheibe von 100 mm Durchmesser bei einem Sicherheitszuschlag von 100 vH schleifen lassen, also nur 0,3 Pfennig als Schleifscheibenkosten auf ein Gewinde kommen.

E. Das richtige Kühlmittel.

Bisher wurde fast ausschließlich Schleifwasser verwendet, eine Emulsion aus Bohrlöl mit Wasser. Dieses Kühlmittel ist jedoch beim Gewindeschleifen in vielen Fällen ungenügend. Deswegen geht man immer mehr dazu über, reine Öle zu verwenden. Sie verhüten besser das Brennen und helfen die Oberflächengüte zu verbessern. Außerdem üben sie eine reinigende Wirkung auf die Schleifscheibe aus und tragen auch dadurch zum Kühlschneiden bei. Hierzu ist es zweckmäßig, das Öl nicht nur tangential zwischen Schleifscheibe und Werkstück einzuführen, sondern auch radial durch besondere Düsen gegen die Scheibe zu spritzen.

Strichmaßstäbe.

Die Normung unterscheidet nach Genauigkeiten gestuft: **Normalmaßstäbe** (nicht genormt), **Vergleichsmaßstäbe DIN 864**, **Prüfmaßstäbe DIN 865**, **Arbeitsmaßstäbe DIN 866**.

Der Abstand L eines beliebigen Teilstriches von dem Nullstrich darf bei 20° von seinem Nennwert um keinen größeren Betrag abweichen, als nachstehend angegeben:

Zu messende Länge L in mm	Zulässige Abweichungen in $\pm \mu$				Zu messende Länge L in mm	Zulässige Abweichungen in $\pm \mu$			
	Vergleichsmaßstäbe	Prüfmaßstäbe	Arbeitsmaßstäbe			Vergleichsmaßstäbe	Prüfmaßstäbe	Arbeitsmaßstäbe	
			1. Güte	2. Güte				1. Güte	2. Güte
unter 100	5	10	20	50	1100	21	42	105	
100	5,5	11	22	55	1200	22	44	110	
200	6	12	24	60	1300	23	46	115	
300	6,5	13	26	65	1400	24	48	120	
400	7	14	28	70	1500	25	50	125	
500	7,5	15	30	75	1600	26	52	130	
600	8	16	32	80	1700	27	54	135	
700	8,5	17	34	85	1800	28	56	140	
800	9	18	36	90	1900	29	58	145	
900	9,5	19	38	95	2000	30	60	150	
1000	10	20	40	100					

Für Zwischenlängen werden die Werte der nächst kleineren Stufe gewählt

Als Werkstoff ist vorgeschrieben ungehärteter Stahl mit einer Ausdehnungszahl $11,5 \cdot 10^{-6}$ bei 20° oder Werkstoff gleicher Ausdehnung.

Die Normen bringen noch nähere Angaben über den Querschnitt, Ausführung der Teilung und Maßdefinition.

Parallelendmaße DIN 861 (gekürzt).

Länge des Endmaßes	Genauigkeitsgrad I		Genauigkeitsgrad II		Länge des Endmaßes	Genauigkeitsgrad I		Genauigkeitsgrad II	
	Mittenmaß	Größte Abweichung des Maßes an beliebiger Stelle der Meßfläche gegenüber Mittenmaß	Mittenmaß	Größte Abweichung des Maßes an beliebiger Stelle der Meßfläche gegenüber Mittenmaß		Mittenmaß	Größte Abweichung des Maßes an beliebiger Stelle der Meßfläche gegenüber Mittenmaß	Mittenmaß	Größte Abweichung des Maßes an beliebiger Stelle der Meßfläche gegenüber Mittenmaß
0,1	0,2	0,2	0,5	0,35	300	1,7	0,3	3,5	0,6
10	0,25	0,2	0,6	0,35	400	2,2	0,4	4,5	0,6
20	0,3	0,2	0,7	0,35	500	2,7	0,4	5,5	0,7
30	0,35	0,25	0,8	0,4					
40	0,4	0,25	0,9	0,4	600	3,2	0,4	6,5	0,8
50	0,45	0,25	1,0	0,4	700	3,7	0,5	7,5	0,8
60	0,5	0,25	1,1	0,4	800	4,2	0,5	8,5	0,9
70	0,55	0,25	1,2	0,4	900	4,7	0,5	9,5	1,0
80	0,6	0,25	1,3	0,4	1000	5,2	0,6	10,5	1,0
90	0,65	0,25	1,4	0,4					
100	0,7	0,3	1,5	0,5	1500	7,7	0,7	15,5	1,3
150	0,9	0,3	2,0	0,5	2000	10,2	0,9	20,5	1,7
200	1,2	0,3	2,5	0,5	3000	15,2	1,2	30,5	2,3

Für Endmaße mit Zwischenlängen gelten die Werte der nächst kleineren Stufe

1 mm vom Rande einsetzender Abtall ist zulässig und bleibt bei Prüfungen außer Betracht. Mittenmaß ist die Länge des Lotes vom Mittelpunkt einer Meßfläche auf die an die andere Meßfläche angesprengte (angeschobene) Ebene.

Anwendungsgebiet der Genauigkeitsgrade:

Genauigkeitsgrad I: Einstellmaße für Meßmaschinen, Fühlhebel und sonstige Prüfmeßgeräte aller Art, zur Kontrolle von Prüfmaßen. Prüflehren. Edelpassungslehren usw.

Genauigkeitsgrad II: zur Prufung von Arbeitslehren (Feinpassung usw.), Prüfen und Einstellen von Arbeitsmeßgeräten, Arbeitsmaße (Edel- und Feinpassung) im Vorrichtungsbau usw.

Niedere Genauigkeitsgrade (nicht genormt): für geringere Genauigkeitsforderungen, für Arbeitsmaße, im Vorrichtungsbau, zum Anreißen, Einstellen von Werkzeugmaschinen usw.

Schraublehren DIN 863 (gekürzt).

Größte Meßlänge mm	Gesamtfehler der Schraublehren		Fehler der Meßflächen bei Genauigkeitsgrad I			Auf- biegung je kg Meßkraft μ
	Genauig- keitsgrad I	Genauig- keitsgrad II	Ebeneit	Parallelität	Zulässige Gesamtab- weichung in $\pm \mu$	
	μ	μ					Zahl der Interferenzstreifen
25	4	8	3	5	2	2
50	4	8	3	7	2,5	2
75 und 100	4	8	3		3	3
125 „ 150	5	10	3		4	4
175 „ 200	6	12	3		6	5
225 bis 300	7	14	3		8	6
325 „ 400	8	16	3		10	8
425 „ 500	10	20	3		12	10

Unter den Gesamtfehlern der Schraublehren sind die Fehler zu verstehen, die bei der Prüfung mit Parallelendmaßen festgestellt werden. Der Unterschied der dabei auftretenden Fehler (also die Ordinatendifferenz irgend zweier Punkte der Fehlerkurve) darf die obenstehenden Beträge nicht überschreiten. Die Fehler gelten für Schraublehren mit einem Verstellbereich bis 25 mm. Sie dürfen auch bei solchen Schraublehren nicht überschritten werden, deren Fehler durch eine Einstellvorrichtung ausgeglichen werden können. Für Schraublehren ohne Bügel gelten die Zahlen für Verstellbereiche von 25 und 25 mm.

Bei der Prüfung auf Ebeneit und Parallelität bleibt eine Zone von $\frac{1}{2}$ mm von der Kante ab unbeachtet. -- Für Schraublehren des Genauigkeitsgrades II werden keine Vorschriften über die Ebeneit und Parallelität der Meßflächen gemacht.

Über die Form des Bügels werden keine Vorschriften gemacht; die Prüfung erfolgt dadurch, daß der Bügel am Amboß mit etwa 5 bis 10 kg belastet und der Unterschied der Einstellung gegenüber dem unbelasteten Zustand auf 1 kg umgerechnet wird.

Schieblehren DIN 862 (gekürzt).

(Präzisions-Schieblehren¹⁾).

Die Schieblehren müssen in allen Teilen so ausgeführt sein, daß bei sachgemäßem Ausmessen mit Parallelendmaßen (an beliebiger Stelle der Schnäbel) die Abweichungen der Ergebnisse von dem Werte der Endmaße sich innerhalb folgender Grenzen halten:

Zu messende Länge in mm	Grenzen der zulässigen Abweichungen in μ bei Verwendung des Nonius		
	$\frac{1}{10} \pm$	$\frac{1}{20} \pm$	$\frac{1}{50} \pm$
0	75	50	20
100	80	55	22
200	85	60	24
300	90	65	26
400	95	70	28
500	100	75	30
600	105	80	32
700	110	85	34
800	115	90	36
900	120	95	38
1000	125	100	40
1100	130	105	42
1200	135	110	44
1300	140	115	46
1400	145	120	48
1500	150	125	50
1600	155	130	52
1700	160	135	54
1800	165	140	56
1900	170	145	58
2000	175	150	60

Für Zwischenlängen sind die Werte der nächst kleineren Stufe anzuwenden.

¹⁾ Schieblehren höherer und niederer Genauigkeit sind nicht genormt.

Stahllineale DIN 874 (gekürzt).

Gesamte Lineallänge in mm	Zulässige Abweichungen der Meßfläche von der Ebene an beliebiger Stelle des Lineals in μ für			
	Haar- und Dreikantlineale	Vierkant- und Normallineale	Werkstattlineale	
			I	II
70	$\pm 1,1$			
100	$\pm 1,2$	$\pm 1,5$		
150	$\pm 1,3$			
200	$\pm 1,4$	± 2	± 4	± 9
300	$\pm 1,6$	$\pm 2,5$		
500	± 2	$\pm 3,5$	± 7	± 15
1000	± 3	± 6	± 12	± 25
1500		$\pm 8,5$	± 17	± 35
2000		± 11	± 22	± 45
2500		$\pm 13,5$	± 27	± 55
3000		± 16	± 32	± 65
4000		± 21	± 42	± 85
5000		± 26	± 52	± 105

Für Zwischenlängen sind die Werte der nächst kleineren Stufe anzuwenden.

Die Parallelität der Meßflächen der Normal-, Vierkant- und Werkstattlineale wird durch die Unterschiede der Abstände der korrespondierenden Punkte beider Flächen gemessen. Die zulässigen Grenzen dieser Unterschiede betragen das Zweifache der für die Ebenheit der Meßflächen zulässigen Grenzen.

Die zulässige Abweichung der Seitenflächen (der nicht als Meßflächen dienenden Flächen) von der Ebenheit beträgt das Dreifache der für die Ebenheit der Meßfläche zulässigen Grenzen. — Die zulässige Abweichung der Seitenflächen von der Parallelität beträgt bei Normal- und Werkstattlinealen das Sechsfache der für die Ebenheit der Meßfläche zulässigen Grenzen.

Die Abweichungen der von benachbarten Flächen gebildeten Winkel von einem rechten dürfen an keiner Stelle mehr als das Dreifache der für die Ebenheit der Meßfläche zulässigen Grenzen betragen.

Werkstoff: Gewaltzert oder gezogener Stahl. Haar-, Drei- und Vierkantlineale haben gehärtete Meßkanten.

Tuschierlineale und Platten DIN 876.

Gesamtlänge der längsten Kante in mm	Zulässige Abweichungen der Meßfläche von der Ebene an beliebiger Stelle derselben in μ für		
	Genauigkeit I	Genauigkeit II	Genauigkeit III
100	$\pm 5,5$	± 11	± 22
150	$\pm 5,75$	$\pm 11,5$	± 23
200	± 6	± 12	± 24
300	$\pm 6,5$	± 13	± 26
400	± 7	± 14	± 28
500	$\pm 7,5$	± 15	± 30
600	± 8	± 16	± 32
700	$\pm 8,5$	± 17	± 34
800	± 9	± 18	± 36
1000	± 10	± 20	± 40
1200	± 11	± 22	± 44
1500	$\pm 12,5$	± 25	± 50
2000	± 15	± 30	± 60

Für Zwischenlängen sind die Werte der nächst kleineren Stufe anzuwenden.

Die der Meßfläche entgegengesetzte Seite muß 3 Auflager haben.

Das Schaben soll ausschließlich dem Zwecke der Erzielung der Genauigkeit dienen. Das nachträgliche Anbringen von sog. gleichmäßigen Schabezeichen ist zu vermeiden, da es die vorher vorhandene Genauigkeit zu verschlechtern geeignet ist.

Bedingt durch die Herstellung von Platten, sollen die zum Prüfen der Ebenheit verwendeten Meßmittel die Platte nicht mit Punkten, sondern mit Meßflächen berühren von mindestens 2,7 cm² Flächeninhalt (entsprechend dem Endmaßquerschnitt 30×9).

Werkstoff: Gußeisen.

Messen¹⁾.

A. Grundlagen des Messens.

I. Allgemeines.

Grundbedingungen jeder Messung sind Ruhe, peinlichste Sauberkeit und Sorgfalt, ein hohes Maß von Geduld, Verantwortungsbewußtsein und Selbstkritik des Messenden. Die meisten Meßvorgänge verlangen großes Feingefühl der Hand und auch gefühlsmäßiges Empfinden für die Zuverlässigkeit der durchgeführten Messung. Dazu kommen noch gediegene Ausbildung und Erfahrung als Grundlage der Eignung zu meßtechnischem Arbeiten.

Genau-Messungen sollen nur in möglichst staubfreien und erschütterungsfreien Räumen (Fenster nach Norden oder wenigstens Rolläden auf der Außenseite der Fenster) mit bester Beleuchtung, gleichmäßiger Temperatur und mittlerer Luftfeuchtigkeit vorgenommen werden. Schalterfenster und Vorhänge an den Türen verhindern Zugluft, regelbare Heizeinrichtungen ermöglichen das Einhalten einer bestimmten Temperatur. Wände mit schlechtem Wärmeleitvermögen (also kein Beton), Einrichtungen zur Kühlung und Feuchtigkeitsregelung sind anzustrebende, wenn auch nicht immer erfüllbare Forderungen.

Die Bezugstemperatur (DIN 102) ist 20° (S. 71), d. h. bei dieser Temperatur sollen die Meßmittel und Werkstücke die vorgeschriebene Größe haben. Für Vergleichsmessungen ist es wichtig, daß Meßmittel und Werkstück die gleiche Temperatur haben und möglichst beide aus demselben Werkstoff oder wenigstens aus Werkstoffen fast gleicher Wärmedehnungszahl bestehen. Bei genauen Absolutmessungen muß die Bezugstemperatur eingehalten werden.

Um die außergewöhnlich wichtige Temperaturgleichheit zu erreichen, legt man Meßmittel und Werkstück längere Zeit auf genügend große Metallplatten, die die Raumtemperatur haben. Der Temperatenausgleich dauert bei kleineren Werkstücken mit großer Auflagefläche etwa 30 Minuten, bei größeren Werkstücken bis zu mehreren Stunden. Ein schwaches Anblasen mit einem Tischventilator hilft den Temperatenausgleich beschleunigen. Feinmeßgeräte sollen 24 Stunden vor der Messung in die Temperatur, bei der später gemessen werden soll, gebracht werden. Das gleiche gilt für Werkstücke größeren Ausmaßes. Als Faustregel kann gelten: 1° Temperaturunterschied ändert bei Stahl eine Länge von 100 mm um $1 \mu = 0,001$ mm (Wärme-Dehnungszahlen s. S. 160). Bei genauen Messungen sollte man zum Überwachen des Temperatenausgleiches Körper-Thermometer (Zeiss) anwenden, die mit Klebwachs am Werkstück und Meßmittel zu befestigen sind. Der Quecksilberbehälter dieser Thermometer ist in ein gut wärmeleitendes Mittel in einer Silberhaube eingebettet. Der Temperatenausgleich zwischen Unterlage, Meßgerät oder Meßgut und Thermometer braucht etwa 1,5 min.

Es muß größte Schonung und vorsichtige Behandlung der Meßmittel

¹⁾ Berndt: Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen. Berlin: Julius Springer 1929 — Technische Winkelmessungen. Werkstattbücher Heft 18. Berlin: Julius Springer 1930 — Meßwerkzeuge und Meßverfahren für metallbearbeitende Betriebe. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1932. — Körwien: Meßwerkzeuge und Werkstattmessungen. Deutsche Werkmeisterbücherei, Bd. X. Wittenberg: A. Ziemsen 1938. — Sorg: Meßwerkzeuge. Stuttgart: Holland & Josenhaus 1938. — Heinze: Prüfen und Instandhalten von Werkzeugen und anderen Betriebsmitteln. Werkstattbücher Heft 67. Berlin: Julius Springer 1938. — Leinweber: Toleranzen und Lehren. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1940.

verlangt werden. Meßmittel, die achtlos auf den Tisch geworfen werden, die zwischen Spänen oder Schraubenschlüsseln, in der Sonne oder in der Nähe der Heizung liegen, mit denen ohne besondere Vorkehrungen in Bewegung befindliche Werkstücke gemessen werden, die nicht vor Schleifstaub geschützt werden oder die mit Wasser in Berührung kommen, werden sehr bald unbrauchbar sein und zu Fehlmessungen Anlaß geben. Lehren sind beim Gebrauch an Maschinen grundsätzlich an dafür bestimmten Orten auf Holzunterlagen, einem reinen Tuch oder besser Filzplatten abzulegen, oder, wenn dazu geeignet, aufzuhängen; Meßgeräte sind möglichst nicht auf Metall abzulegen (harte Unterlage), es sei denn zum Zweck des Temperatúrausgleiches. Meßflächen sind vor dem Messen mit reinen Leinenlappen (weiße Putzlappen) sorgfältig abzuwischen. Der Lappen muß vor Staub geschützt werden. Zur Aufbewahrung sind die Meßmittel mit Vaseline oder mit einem säurefreien Öl (Knochenöl, Rostschutzöl) einzufetten, nachdem sie vorher gereinigt worden sind. Es ist hierbei zu beachten, daß auf fettigen Flächen Staub besonders haftet, der von hochwertigen Meßflächen vorher vorsichtig entfernt werden muß.

II. Grundbegriffe¹⁾.

(S. auch Abschnitt Passungen.)

Es ist unmöglich, völlig fehlerfrei zu messen. Das durch eine Messung gefundene Istmaß wird mehr oder weniger von dem tatsächlichen Istmaß des Prüflings abweichen, diese Abweichung nennt man die Meßunsicherheit, die einer jeden Messung anhaftet. Der Begriff „Meßgenauigkeit“ ist zu vermeiden, da er, weil begrifflich widersinnig, zu Irrtümern führen kann („größere“ Genauigkeit ist mit einer kleineren Zahl verbunden).

Beim Ablesen von Strichteilungen ist es meist zwecklos, kleinere Zwischenwerte als $\frac{1}{2}$ Teilstrichabstand zu schätzen, da diese Zwischenwerte bereits kleiner als die Meßunsicherheit sind. Es wäre also z. B. sinnlos, mit Hilfe einer Lupe bei einem mechanischen Fühlhebel $\frac{1}{10}$ Teilstrichabstand schätzen zu wollen, da die Meßunsicherheit hier bereits $\frac{1}{2}$ Teilstrichabstand beträgt. Dies gilt sinngemäß auch für den Nonius. Bei Anwendung dieser Hilfsmittel (wenn sie nicht bereits vom Hersteller mitgegeben sind) muß also die geringste erreichbare Meßunsicherheit beachtet werden; keinesfalls aber darf man die durch Anwendung von Hilfsmitteln gewonnene geringere Ableseunsicherheit mit der Meßunsicherheit verwechseln.

Bei Angabe der Meßunsicherheit mit z. B. ± 3 kann der jeweilige Fehler zahlenmäßig nie größer als 3 sein (also nicht z. B. 6), sondern größtenfalls entweder $+3$ oder -3 .

Die Meßgröße ist die zu messende Größe. Die Skalenteilgröße ist der Abstand zweier benachbarter Striche einer Skale in Millimeter. Der Skalenwert ist die einem Skalenteil entsprechende Meßgröße. Die Anzeige (z. B. eines Fühlhebels) ist die vom Zeiger eines Meßgerätes angezeigte Anzahl von Skalenteilen multipliziert mit dem Skalenwert. Der Anzeigebereich (Meßbereich) ist das Produkt aus sämtlichen Skalenteilen einer Skale und dem Skalenwert.

¹⁾ S. a. AWF 950, Eigenschaften der Meßgeräte. Berndt: Werkst.-Techn. u. Werkseleiter 1938 S. 505.

Der Fehler ist immer gleich Istwert minus Sollwert (falsch minus richtig). Er kann als Berichtigung mit umgekehrtem Vorzeichen dem Meßwert beigefügt werden.

Beispiel. Eine Schraublehre zeigt bei Vergleich mit einem Endmaß von 15 000 mm Länge 15,010 mm. Also Fehler + 10 μ und Meßwert mit Berichtigung: 15,010 mm - 10 μ . Oder die Schraublehre zeigt bei einem Endmaß von 16,500 mm 16,490 mm, also: Fehler - 10 μ und Meßwert mit Berichtigung: 16,490 mm + 10 μ .

Streuung ist die Unsicherheit des Meßergebnisses bei wiederholter Messung derselben Meßgröße. Zum Vergleich der Streuung zweier Geräte ist zur Ausschaltung zufälliger Abweichungen der mittlere Fehler f nach Gauß zu berechnen.

Es ist

$$f = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n-1}},$$

hierbei δ der Unterschied der arithmetischen Mittel weniger die Ablesung, n die Anzahl der Ablesungen.

Beispiel:	Nr.	Ablesung	also δ	δ^2
	1	5	- 0,2	0,04
	2	4	+ 0,8	0,64
	3	5	- 0,2	0,04
	4	4	+ 0,8	0,64
	5	6	- 1,2	1,44
	6	7	- 2,2	4,84
	7	3	+ 1,8	3,24
	8	4	+ 0,8	0,64
	9	5	- 0,2	0,04
	10	5	- 0,2	0,04
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	$n-1=9$	also arith.	$\sum \delta = 0$	$\sum \delta^2 = 11,60$
		Mittel 4,8		

also

$$f = \pm \sqrt{\frac{11,60}{9}} = \pm 1,14.$$

Parallaxe entsteht durch größeren Abstand z. B. eines Zeigers von der Teilung, wenn die Blickrichtung sich ändert (Abb. M 1). Empfindlich-

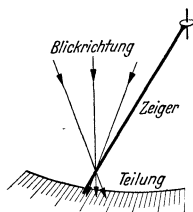


Abb. M 1. Parallaxe.

keit ist, nach AWF¹⁾ $E = \frac{\text{Änderung der Anzeige}}{\text{Änderung der Meßgröße}}$, bei Längenmeßgeräten gleichbedeutend mit Übersetzung. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird unter Empfindlichkeit sehr oft der Ansprechwert verstanden, d. h. die kleinste Meßgrößenänderung, auf die das Gerät eben noch anspricht. Der AWF bezeichnet den Ansprechwert mit Schwellenwert.

Die Meßkraft ist die Kraft, mit der der Tastbolzen eines Meßgerätes auf das Werkstück einwirkt.

Der Freihub ist bei Feintastern der über den Meßbereich hinausgehende größtmögliche Weg des Tastbolzens.

Wird mit einem Feintaster ein Werkstück abwechselnd mit hinein- und herausgehenden Tastbolzen ausgemessen (Rundlaufprüfung eines nicht rundlaufenden Dornes bei angestelltem Tastbolzen und wechselndem

¹⁾ AWF 950. Eigenschaften der Meßgeräte.

Drehsinn), so zeigt sich ein Unterschied der Meßwerte, die Umkehrspanne, hervorgerufen durch Verlagerungen im Meßwerk infolge der wechselnden Meßrichtung.

III. Prüfen von Meßflächen auf Ebenheit durch die Lichtinterferenzen mittels Planglasplatten¹⁾.

Das Verfahren beruht darauf, daß die zu prüfende Fläche mit einer optisch geschliffenen, genau ebenen Glasplatte überdeckt wird und aus den sich dann zeigenden Lichtinterferenzstreifen, die die Folge einer ungleichmäßigen Dicke der Luftschicht zwischen Prüffläche und Glasplatte sind, ein Schluß auf den Grad der Unebenheit gezogen werden kann.

Ausführung der Prüfung: Die Meßfläche und die Planglasplatte sind mit fettfreiem Benzin zu reinigen und mit einem trockenen Wattebausch (Augenwatte) abzureiben. Die Glasplatte wird seitlich mit leichtem Druck aufgeschoben, oder bei sehr guter Fläche auch aufgelegt. Zu starke Kraftanwendung ist zu vermeiden, weil durch Krümmung der Flächen nicht vorhandene Unebenheiten vorgetäuscht und Fehler verdeckt werden können. Überflüssiges Anfassen soll auch vermieden werden, weil die dabei entstehende Erwärmung bei der Empfindlichkeit des Verfahrens die Bilder verändern kann.

Die Prüfung kann sowohl bei einfarbigem wie bei zusammengesetztem Licht (Tages-, elektrisches, Gaslicht) erfolgen. Der Wert des Streifenabstandes ist mit etwa $0,3 \mu$ anzunehmen. Unter diesem Streifenabstand ist der Abstand von Mitte dunklen Farbton des einen Streifens zur Mitte dunklen Farbton des nächsten Streifens zu verstehen. Es erfordert ziemliche Übung und Vertrautheit mit dem Prüfverfahren, hier zuverlässig auf den Zahlenwert der Abweichung von der Ebene zu schließen. In den überwiegenden Fällen, wie z. B. bei Rachenlehren, genügt es, wenn durch die Prüfung mit der Planglasplatte überhaupt ein Bild von der Oberflächenbeschaffenheit gewonnen wird, daß sich z. B. die Streifen leicht bilden und in erträglichen Abständen voneinander verlaufen. Enge, unregelmäßig gekrümmte Streifen deuten stets auf eine mangelhafte Fläche.

Liegt die Glasplatte voll auf, bzw. sind Meßfläche und Glasplatte aneinander angesprengt, so verschwinden die Interferenzbilder. An der Stelle des Ansprengens tritt eine graue Fläche mit verlaufendem Rande auf, der bei gemischtem Licht, allerdings nicht von jedem Beobachtungsstandpunkt aus, sichtbar ist, jedoch durch Hin- und Herdrehen leicht gefunden werden kann. Er zeigt an, daß zwischen Glasplatte und Meßfläche kein Zwischenraum mehr vorhanden ist. Man kann annehmen, daß innerhalb der Fläche und deren Verlauf keine größere Abweichung von der Ebene als $0,1 \mu$ vorhanden ist.

Nun tritt aber Interferenzbildung nur dann auf, wenn die Oberflächenbeschaffenheit schon eine gewisse Güte hat. Für manche Fälle kann das Erscheinen von Interferenzfarben, gleichgültig wie diese auftreten, schon als genügender Gütegrad angesehen werden. Bei Endmaßen und anderen genauen Flächen genügt aber die Tatsache des Erscheinens von Interferenzbildern noch nicht, sondern es wird aus diesen noch zu ergründen sein, wie weit der Gütegrad der Fläche reicht. Für die Beurteilung

¹⁾ Die Firma Carl Zeiss in Jena stellt genau geschliffene Planglasplatten aus einer besonders geeigneten Glassorte her.

mögen die Beispiele an der Meßfläche eines Parallelendmaßes in Abb. M 2 bis M 7 einen Anhalt geben:

Abb. M 2. Die Streifen laufen über die ganze Meßfläche parallel und in gleichen Abständen. Die Fläche ist vorzüglich eben. Die leichte Krümmung der Streifen an den Rändern der Fläche rührt von dem sogenannten Kantenabfall her, der bei Endmaßen auf 1 mm Breite beschränkt sein soll.



Abb. M 2.

In einem solchen Falle wird es nach gründlicher Säuberung fast immer möglich sein, in weißem Licht die oben genannte charakteristische Fläche mit verlaufendem Rande zu erzeugen. Wenn sich das Endmaß an die

Glasplatte ansprengt, werden die Streifen immer breiter, und schließlich erscheint die Fläche fast einfarbig. Ein Interferenzstreifen ist dann so breit geworden, daß er fast die ganze Platte bedeckt.

Abb. M 3. Die um ein auf der Meßfläche selbst sichtbares oder außerhalb liegendes Zentrum herumlaufenden Streifen zeigen, daß an diesem Punkt eine Erhöhung oder Vertiefung vorhanden ist. Zur Beurteilung genügt



Abb. M 3.



Abb. M 4.



Abb. M 5.



Abb. M 6.

ein leichter Druck mit einem Stift möglichst über der Mitte der Meßfläche. Wandern die Streifen von der Druckstelle weg, handelt es sich um eine Erhöhung, wandern sie auf die Druckstelle zu, um eine Vertiefung. Ist der dunkle Fleck zu sehen, ist die Erhöhung ohne weiteres ersichtlich.

In Abb. M 4 ist schematisch dargestellt, daß die beiden Enden der Meßfläche parallel zueinander sind, weil die Streifenabstände auf ihnen gleich sind. Dazwischen liegt eine Einsenkung mit verhältnismäßig ebenem Boden, die etwa 4 Streifenbreiten, d. h. $1,2 \mu$ tief ist.

Abb. M 5. Das Maß ist in seinem rechten Teile ganz schwach gewölbt; da aber die Streifen sehr breit auseinandergezogen sind, kann man es als praktisch eben ansehen. Der linke Teil ist stark gekrümmt, und zwar nach der Anzahl der Streifen um mehrere tausendstel Millimeter.

Abb. M 6. Ganz unregelmäßige Krümmungen in verschiedenen starken Beträgen; ein charakteristisches Beispiel für das Verziehen dünner Endmaße im Gebrauch. Die in der Planglasplatte ersichtliche Unregelmäßigkeit des Endmaßes hat aber nichts zu bedeuten, wenn sich das Endmaß beim Anschieben (Ansprengen) an ein anderes Endmaß wieder geradezieht oder doch seine Unebenheit so weit vermindert, daß sie für den praktischen Gebrauch nicht mehr als schädlich angesprochen werden kann.

Die Lage der Linien ist eine zufällige, weil sie von den vorhandenen Unebenheiten des Maßes und Verunreinigungen durch Staub u. dgl. abhängt. Deswegen wird auch das Bild der Streifen beim Verschieben oder bei der Neuauflage der Glasplatte bisweilen merklich verändert sein; der wesentliche Charakter muß aber erhalten bleiben. Das mag noch folgendes schematische Beispiel zeigen:

Abb. M 7. Links eine ebene Fläche, die nach rechts dachförmig ausläuft. Wird die Glasplatte im wesentlichen links aufgelegt, so entsteht das Streifenbild rechts oben; links sind parallele Streifen, die auf Ebenheit schließen lassen, rechts winkelförmige Streifen, die gleichzeitig zeigen, daß die beiden Dachflächen nach unten geneigt sind. Bei Steigungen nach oben würde die Winkelöffnung entgegengesetzt gerichtet sein. Wird die Glasplatte zur Längsseite des Endmaßes geneigt, so entsteht ein Interferenzbild wie in Abb. M 7 rechts unten. Durch einen Druck kann man feststellen, daß rechts die Streifen entgegengesetzt laufen, daß also die Steigung der beiden Flächen entgegengesetzt ist; das Strichbild der linken Hälfte bleibt im wesentlichen unverändert; durch Abzählen der Streifen kann man in beiden Fällen ohne weiteres die Steigung der beiden Hälften der Fläche zueinander abschätzen.

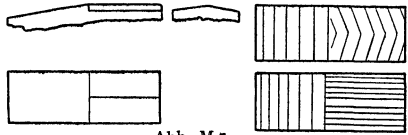


Abb. M 7.

Es gilt folgende Regel: Beim Aufdrücken auf die Glasplatte wandern die Streifen stets von den höchsten Punkten der Fläche fort.

Die Interferenz des Lichtes kann neben der Prüfung der Ebenheit und Planparallelität von Meßflächen auch zur **Ermittlung von Längenunterschieden** benutzt werden. Diese Aufgabe erfüllt in einfacher Weise der von Dr. Kösters erdachte und von der Firma Carl Zeiss ausgeführte **Interferenz-Komparator**. Dieser dient durch Beurteilung der Interferenzstreifen nach Farbe, Richtung und Abstand

1. zum unmittelbaren Bestimmen der Länge eines Endmaßes,
2. zur Bestimmung der Abweichung der Endfläche von der Ebene und der Parallelität zur anderen Meßfläche,
3. zur Bestimmung des Längenunterschiedes zweier Endmaße in Bruchteilen eines μ ,
4. zur Feststellung der relativen oder absoluten thermischen Ausdehnungszahl von Parallelendmaßen.

Schrifttum.

- Berndt, Prof. Dr., und Dr. H. Schulz: Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen. Berlin: Julius Springer 1929.
- Büttner: Gutebestimmung in der Feinstbearbeitung. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1936, S. 524.
- Kösters, Dr. W.: Der gegenwärtige Stand der Meter-Definition, des Meteranschlusses und seine internationale Bedeutung für Wissenschaft und Technik. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 527 u. 1939, S. 39.
- Firmendrucksschrift Zeiss: „Interferenz-Komparator“.

B. Die Meßmittel.

I. Meßmittel zur Bestimmung des Istmaßes.

1. Strichmaßstäbe.

Stahlmaßstäbe nach DIN 864, 865, 866, s. S. 435.

Für die Anwendung in optischen Meßgeräten werden Teilungen auf Silber oder Glas bis zu einer Genauigkeit von $\pm 1 \mu$ je Teilstrichabstand handelsüblich hergestellt (Objektmikrometer, Okularmikrometer, Glasmaßstäbe). Kleinster handelsüblicher Teilstrichabstand: 10μ .

2. Parallel-Endmaße¹⁾.

In DIN 861 (S. 435) sind die Endmaße in zwei Genauigkeitsgraden mit folgenden Anwendungsgebieten genormt:

Genauigkeitsgrad I: Als Einstellmaße für Meßmaschinen, Fühlhebel und sonstige Prüfmeßgeräte aller Art, zur Kontrolle von Prüfmaßen, Prüflehren, Edelpassungslehren usw.

Genauigkeitsgrad II: Zur Prüfung von Arbeitslehren, zum Prüfen und Einstellen von Arbeitsmeßgeräten, für Arbeitsmaße, zur Anwendung im Vorrichtungsbau usw.

Niedere Genauigkeitsgrade sind nicht genormt, werden jedoch von den meisten Firmen geliefert. (Arbeitsmaße, zum Anreißen, zum Einstellen von Werkzeugmaschinen usw.)

Die Meßflächen der Endmaße sind hochglanzpoliert, die Oberflächenbeschaffenheit wird durch die Bedingung erfaßt, daß sich Endmaße ansprengen oder anschieben lassen müssen. Unter Ansprengen versteht man das freiwillige Haften der in Berührung gebrachten Meßflächen aneinander, unter Anschieben das Haften der Meßflächen aneinander, nachdem die Endmaße schiebend oder drehend aneinandergedrückt worden sind. Die Meßflächen müssen hierbei sachgemäß gereinigt sein, das Haften darf nicht durch Fett, Talg oder andere Hilfsmittel verursacht werden. Unter sachgemäßer Reinigung versteht man das Abwaschen mit rückstandsfreiem Leichtbenzin oder Äther. Zweckmäßig wird ein Wattebausch (Augenwatte) mit der Flüssigkeit wenig angefeuchtet und leicht über die Meßfläche geführt. Staub oder Fasern werden mit einem Haarpinsel entfernt. Beim Zusammensetzen von Endmaßen ist darauf zu achten, daß sich auf den Meßflächen kein Hauch von niedergeschlagenem Wasserdampf bildet; am besten werden die Endmaße zum Schutz vor der Handwärme mit weichem, reinem Waschleder (Fingerlinge) angefaßt. Angesprenge Endmaße sind über Nacht auseinander zu nehmen, da sie sonst leicht rosten (s. DIN 861). Zum sicheren Zusammenhalten größerer Längen dienen Endmaß-Verbinder.

Die kleinste Endmaßstufung ist $0,5 \mu$, die kleinste Endmaßlänge $0,5 \text{ mm}$, die größte handelsübliche Länge 200 mm , jedoch werden auch Längen von $300, 400, 500, 1000 \text{ mm}$ und darüber hergestellt. Für das einfachere Zusammenstellen der Grenzmaße von Rundpassungen gibt es Endmaße mit negativem Abmaß (z. B. $2 - 0,003 \text{ mm}$, also $1,997 \text{ mm}$).

Beim Zusammenstellen der für eine bestimmte Länge benötigten Endmaße beginnt man zweckmäßig mit der kleinsten Stufung.

¹⁾ AWF 950, „Parallel-Endmaße“

Beispiel. Zusammenzubauen ist eine Länge von $L = 85,627$ mm. Man fügt aneinander je ein Endmaß von folgenden Einzellängen entsprechend der Zusammensetzung des Endmaß-Satzes:

entweder	1,007	oder	1,007
	1,02		1,12
	1,6		3,5
	2		80
	50		
	30		
	<hr style="width: 100%;"/>		<hr style="width: 100%;"/>
	$L = 85,627$ mm		$L = 85,627$ mm

Da bei Arbeitssätzen die kleineren Endmaße meist unmerklich verzogen sind, ist es zweckmäßig, diese in die Mitte zwischen längere zu nehmen, sie ziehen sich dann beim Anschieben sicherer gerade als an den Enden; außerdem verteilt sich die Abnutzung des Satzes gleichmäßiger.

Die Dicke der Ansprenschicht wird, sachgemäße Reinigung vorausgesetzt, mit 25μ angegeben, ist also für die Praxis der Metallindustrie ohne Bedeutung.

Zum Messen von Innenmaßen werden Meßschnäbel und Endmaßhalter benutzt. Die Ansprenfläche der Meßschnäbel sind über die eigentliche Endmaßbreite hinaus verlängert, so daß mit zwei Meßschnäbeln eine Art Rachenlehre entsteht, die im Endmaßhalter zusammengeklammert wird. Beim Einführen der Zusammenstellung in den Endmaßhalter ist darauf zu achten, daß sie angesprengt bleibt.

Die Zubehörkästen enthalten meist einen Fuß zum Aufstellen des Endmaßhalters, eine Zentrierspitze und Anreißschneide zur Verwendung als Höhenreißer oder Anreißzirkel.

Messen der Endmaße s. Abschnitt „Prüfen der Meßflächen auf Ebenheit“. Kugelendmaße s. Abschnitt Grenzlehren.

3. Schieblehren.

Die Genauigkeit der Schieblehren ist durch DIN 862 (S. 435) festgelegt. Außer den üblichen Schieblehren, mit deren Nonien $0,1$ mm abzulesen ist, sind auch solche mit $\frac{1}{20}$ und $\frac{1}{50}$ Nonien im Handel. Besondere Ausführung der Meßschnäbel: mit Spitzen (Anreißzirkel), Schneiden (Messen von Eindrehungen), mit einem außen verbreiterten Meßschnabel (als Höhenreißer, auch mit Prisma) gestatten vielseitige Anwendung.

Eine gute Schieblehre soll einen möglichst lang geführten Schieber haben, der Verkanten und ein Abweichen von der Parallelität der Meßschenkel ausschließt. In der Nullstellung darf sich zwischen den Meßflächen kein Lichtspalt zeigen.

Beim Messen mit der Schieblehre ist das Werkstück möglichst weit in den Rachen hineinzuschieben und nur mäßige Kraft anzuwenden, um ein Aufbiegen der Meßschnäbel zu vermeiden. Das Messen der Werkstücke während des Laufes ist in jedem Fall unzulässig, da hierbei, ganz abgesehen von der starken Abnutzung der Meßflächen, auch sehr oft die Gefahr von Unfällen gegeben ist. Zur Schonung der Meßflächen darf die angestellte Schieblehre nicht auf dem Werkstück verdreht oder verschoben werden.

Zum Messen der Tiefe von Sacklöchern, Nuten und ähnlichem werden Tiefenschieblehren (Tiefenmaße) verwendet. Diese sind T-förmig ausgebildet, der Querbalken (Schieber) hat auf seiner äußeren Seite die eine Meßfläche (Schiebermeßfläche), die lange, den Maßstab tragende

Zunge an ihrem gleichgerichteten Ende die andere Meßfläche. Der Querbalken wird auch zum Aufsetzen auf Zylinderflächen prismenartig ausgeführt (Reiterlehre). Für das Messen von Eindrehungen in Bohrungen gibt es Ausführungen, bei denen der Winkel zwischen Schiebermeßfläche und Maßstab beliebig einstellbar ist.

Die Prüfung aller Schieblehren geschieht durch Vergleich mit Endmaßen.

4. Schraublehren.

Die Genauigkeit der Schraublehren ist in DIN 863 (S. 436) vorgeschrieben. An der Teilung auf der Trommel der Meßschraube können $10\ \mu$ unmittelbar abgelesen werden. Bei großem Trommeldurchmesser (großem Teilstrichabstand) können $3\ \mu$ geschätzt werden, jedoch kann eine Meßsicherheit von $5\ \mu$ nur bei guter Oberfläche des Werkstückes erreicht und bei großer Übung unterschritten werden.

Zum Schutz gegen Abnutzung können die Meßflächen mit Hartmetallflächen versehen sein, bei eingetretener Abnutzung kann meist nach Lösen einer Befestigungsmutter die Trommel gegenüber der Spindel zum Neueinstellen des Nullpunktes verstellt werden. Das Beseitigen von totem Gang im Gewinde ist nach Abschrauben der Trommel durch Drehen einer Stellmutter, die die geschlitzte Gewindehülse der Meßspindel zusammendrückt, möglich.

Zum besseren Erkennen der Teilungen und als Oberflächenschutz werden die Schraublehren heute meist matt verchromt, mit schwarz ausgelegten Teilstrichen.

Das Prüfen der Schraublehren (und Justierung) geschieht für die Anfangs- und Endstellung mit Hilfe von meist beigegebenen Kugelmäßen und Meßscheiben. Zwischenstellungen werden mit Endmaßen verglichen.

In der Werkstatt wird bei kleineren Meßbereichen und bei leichten Werkstücken die Schraublehre in eine Hand und das Werkstück in die andere Hand genommen. Daumen und Zeigefinger drehen die Trommel. Das Anfassen der Schraublehre mit beiden Händen ist nur dann zweckmäßig, wenn das Werkstück entweder so schwer ist, daß es sich während des Messens nicht verschiebt oder wenn es fest eingespannt ist. Soll die Gefühlsratsche bei leichten Werkstücken benutzt werden (oder beim Justieren der Schraublehre mit Hilfe der Ratsche), so ist die Schraublehre in einen Halter einzuspannen. Übung und Gefühl für die richtige Anpreßkraft ist für die zuerst geschilderte Meßart selbstverständliche Voraussetzung. Das „richtige Gefühl“ für die Anpreßkraft kann durch eine Vergleichsmessung mit Hilfe der Ratsche leicht nachgeprüft werden.

Für besondere Zwecke gibt es Standschraublehren, bei denen Amboß (feste Meßfläche) und Meßschraube in einen schweren Gußfuß eingebaut sind. Es werden hierzu auch (besonders für die Feinmechanik) austauschbare Meßflächen verschiedener Form geliefert (Spitzen, ringförmig, mit Schneiden, Nuten, Prismen usw.). In Maschinen und Geräten werden Meßspindeln ohne Bügel verwendet. Ähnlich den Tiefenschieblehren werden auch Tiefenschraublehren gefertigt.

Innenmessungen von 30 mm aufwärts können mit Innenschraublehren (Stichmaßen) vorgenommen werden, das sind Meßspindeln mit kugelförmigen Meßflächen an beiden Enden. Sie werden zusammensetzbar bis zu Längen von 1000 mm hergestellt. Anwendung beim Messen einer

Bohrung: Das Stichmaß wird mit einer Meßfläche möglichst senkrecht auf die Wand der Bohrung fest aufgesetzt und in Umfangrichtung unter langsamem Verlängern des Stichmaßes so lange hin- und herbewegt, bis keine Bewegung mehr möglich ist. In dieser Stellung muß sich das Stichmaß mit geringem Kraftaufwand in der Längsrichtung der Bohrung durchschwenken lassen. Erwärmung beachten!

Fühlhebelschraublehren s. Abschnitt „Sondermeßmittel“.

5. Winkelmessung.

Das Istmaß von Winkeln wird mit verstellbaren Winkelmessern ermittelt, bei denen der Meßwert entweder unmittelbar oder mit einem Nonius abgelesen wird, der die Ablesung bis zu 5 Bogenminuten herunter ermöglicht. Winkelmesser mit eingebauten Meßuhren und der optische Winkelmesser von Zeiss (Teilung auf Glas, Ablesung durch eingebaute Lupe) geben eine geringere Ableseunsicherheit, die Meßunsicherheit beträgt etwa $\pm 5'$. Die Winkel-Libelle mit Mikroskop (Zeiss) ermöglicht bestimmte Winkelmessungen (Winkellage von Ebenen und Zylindern), Meßunsicherheit $\pm 1'$ (s. Abschnitt „Wasserwaagen“). Genauere Winkelmessungen, insbesondere von Winkeldrehungen (Kreisteilungen, Teilscheiben, Rastenscheiben) können mit dem

Optischen Teilkopf (Zeiss) (s. Abschnitt „Fräsen“), Meßunsicherheit $\pm 20''$,

Winkelteilungsprüfer mit Mikroskop (Zeiss), $\pm 20''$,

Rundteiltisch (Lindner) und Optischen Rundtisch (Zeiss), $\pm 10''$

vorgenommen werden. Für genaueste Winkelmessungen dient der Winkelteilungsprüfer mit Theodolit und Kollimator (Zeiss), die Meßunsicherheit beträgt hier $\pm 1''$.

6. Wasserwaagen (Libellen).

Die im vorhergehenden Abschnitt genannte Winkellibelle mit Mikroskop gehört streng genommen zu den Wasserwaagen. Die Winkelwasserwaage gestattet das unmittelbare Ablesen der Winkelstellung der Waagenmeßfläche zur Waagerechten. Wasserwaagen bestehen entweder aus einem niedrigen zylindrischen Glasgefäß, das mit einem innen kugelförmig geschliffenen Glasdeckel verschlossen ist (Dosenlibelle), oder aus einer längeren zylindrischen Glasröhre, die innen z. T. tonnenförmig ausgeschliffen ist (Röhrenlibelle); billige Ausführungen haben schwach gebogene Glasröhren. Die Gefäße sind mit sehr leichtflüssigen Flüssigkeiten, wie Äther, Spiritus oder Benzin bis auf einen kleinen Rest gefüllt, der durch eine Gasblase gebildet ist.

Einfache Wasserwaagen geben durch das Verschieben der Blase gegenüber der Teilung an, um wieviel μ bei Ausschlag der Blase um 1 Teilstrich das Ende einer 1 m langen Waagenmeßfläche aus der waagerechten Lage herausgekippt sein würde. In DIN 877 sind folgende Genauigkeitsgrade genormt:

Genauigkeitsgrad I:

Für besondere Anforderungen a) 50 ... 100 μ/m
 b) 150 ... 200 μ/m

Genauigkeitsgrad II:

Normale Wasserwaagen 300 ... 400 μ/m

Tafel 1. Deutsche Feintaster.

Die eingeklammerten Zahlen verweisen auf die Anmerkungen auf S. 450.

Feintaster	Hersteller	Meßwerk Wirkungsweise	Bau- größen (1) 1 Groß 2 Mittel 3 Klein	Übersetzung	Meßbereich µ	Einspann- durchmesser mm	Mehnhüchen Bohrung Ø mm	Über Meßkraft (2) Über Meß- unsicherheit (3)			
								Bemerkungen			
Minimeter	Fortuna-Werke A.-G. Stuttgart Cannstatt	Hebel, Schneide und Pfanne	1	1:1000 1: 500 1: 200	60 120 300 600	28	6	Baugröße 3 glatt zylindrisch			
								3	1: 200 1: 100		
Mikrotast	Friedr. Krupp A.-G., Essen	Hebel, Schneide und Pfanne	1	1:1000 1: 500 1: 200	60 120 300 600	Schaft 28 und 16	6	Baugröße 3 glatt zylindrisch			
								2	1: 200 1: 100		
										3	1: 100
Compar Klein- Compar	Fr. Keilpart & Co., Suhl	Doppel-Hebel, Schneide und Pfanne	1	1:1000 1: 100	100 600	Schaft 28 Tastfassung 18	6				
								3	1: 100	Skalenwert: 5 µ	
Orthotest	Carl Zeiss, Jena	Hebel, Zahn- segment u. Ritzel	1	1:1000	200 100	36	5	Freihub: 5 mm			
Kleine Fühluhr	Carl Zeiss, Jena	Hebel, Zahn- segment u. Ritzel	3	1: 100	800	10	Tastkugel- Ansatz (4)	Meßkraft: 25 g			
Puppitast	C. Mahr, Eßlingen	Hebel, Zahn- segment u. Ritzel	3	1: 100	800	8	Tastkugel- Ansatz (4)	Meßkraft: 25 g			

Passungslehre HK	Hahn & Kolb, Stuttgart	Kegelübersetzung	In 5 Größen gestuft (5)	1 : 300 1 : 200 1 : 120 1 : 75 1 : 50	70 105 175 300 400	—	—	Auch für Gewinde
Passameter	Carl Zeiss, Jena	Hebel, Zahnsegment und Ritzel	In 6 Größen gestuft (6)	0...120 mm 1:500 120...150 mm 1:200	160 340	—	—	Rachen mit Dreipunktauflage Meßkraft 1 kg
Passimeter	Carl Zeiss, Jena	Hebel, Zahnsegment und Ritzel	In 5 Größen gestuft (7)	11...30 mm 1:500 30...120 mm 1:100	120 300, 400 440	—	—	Nur für Bohrungen Meßkraft 600 g
Meßuhren	Verschiedene Hersteller	Zahnrad-Übersetzung	(8)	1: 100 1:1000 (9)	10 mm 1 mm	DIN E 878 8 (8)	Gewindezapfen M 3	Meßkraft 75 bis 200 g schwankend
Optimeter	Carl Zeiss, Jena	Mech. Hebel und Opt. Zeiger	(10)	1:1000	100	27	5	Meßunsicherheit $\pm 0,25 \mu$
Ultra-Optimeter	Carl Zeiss, Jena	Mech. Hebel und Opt. Zeiger	—	1:5000	166	—	5	Für Endmaßprüfung und ähnl. Meßunsicherheit $\pm 0,1 \mu$
Mikrolux	Fritz Werner A.-G., Berlin	Mech. Hebel und Opt. Zeiger	—	1:1000	150	—	—	Für Massenprüfungen
Elektro-Compar	Fr. Keilpart & Co., Suhl	Mech. Hebel, elektr. Anzeige	—	1:1000	1 mm (11)	28	6	Nicht für Istmaßmessung (11)
Eltas-Lehre (Anm. 3) S. 450	Bauer & Schaurte-AEG	Elektrisch-induktiv	—	(12)	20, 50 100 200	16	5	Meßunsicherheit 1% vom Meßbereich, begrenzt auf $0,5 \mu$
Mahr-Siemens-Gerät	Mahr-Siemens	Elektrisch-induktiv	—	1:1000 1:5000	100 20	28	—	(12) Freihub 3 mm

Die Feintaster: Minimeter, Mikrotast, Compar, Orthotest, Meßuhr, Optimeter und Eltas-Lehre sind mit entsprechenden Zusatz-Einrichtungen auch zum Innenmessen bzw. Messen von Bohrungen verwendbar. Die untere Grenze für mechanische Innenmessungen (Istmaßmessung) liegt etwa bei 3 mm (13).

Anmerkungen zu Tafel 1.

(1) **Baugrößen.** Die Gesamtlänge des Feintasters ist bei Baugröße 1 kleiner als 100 mm; Baugröße 2 zwischen 100 und 150 mm; Baugröße 3 größer als 150 mm.

(2) **Meßkraft.** Die Meßkraft der Feintaster wird im allgemeinen zwischen 150 und 250 g angegeben. Nicht in diesem Rahmen liegende Werte sind in Tafel 1 verzeichnet. Nach Untersuchungen von Barz¹⁾ und Bern d t²⁾ jedoch ist die Meßkraft, gemessen bei hineingehendem oder bei herausgehendem Tastbolzen bei fast allen Feintastern verschieden (Wirkung der Reibung). Ebenso ist sie für denselben Bewegungssinn nicht immer gleichmäßig über den ganzen Meßbereich. Bei nicht genügend starrem Meßaufbau oder federndem (z. B. dünnwandigem) Werkstück kann dies bei schwellegenden Meßwerten oder wiederholter Messung an verschiedenen Stellen der Teilung zu Meßfehlern führen. Die ungleichmäßige Meßkraft ist die Hauptursache der Umkehrspanne.

(3) **Meßunsicherheit** (von Meßuhren s. auch (9)). Als Faustregel für den Werkstattgebrauch kann gelten, daß die Meßunsicherheit der Feintaster $\pm \frac{1}{2}$ Teilstrichabstand bei kleinen Meßgrößen beträgt. Dieser Betrag wird von Fühlhebeln meist unterschritten, von Meßuhren meist eingehalten³⁾. Wird die Meßgröße so groß, daß der ganze Meßbereich ausgenutzt werden müßte, dann ist es zweckmäßig, einen Feintaster kleinerer Übersetzung zu wählen. Der Gesamtfehler über den ganzen Meßbereich kann zumindest gleich dem Unterschied zwischen Größt- und Kleinstfehlerwert werden, da sich im allgemeinen die Fehler nicht sprunghaft, sondern stetig ändern werden.

(4) **Tastkugelansatz.** Der Tastansatz mit Kugelende ist über Stirnverzahnung (Zeiss) oder Reibkupplung (Mahr) um $\approx 280^\circ$ schwenkbar. Meßkraftrichtung umschaltbar.

(5) **Passungslehre HK.** 0 ... 10, 10 ... 20, 20 ... 30, 30 ... 40, 40 ... 50 mm Durchmesser.

(6) **Passameter.** 0 ... 18, 18 ... 40, 40 ... 65, 65 ... 90, 90 ... 120, 120 ... 150 mm Durchmesser.

(7) **Passimeter.** 11 ... 18, 18 ... 30, 30 ... 50, 05 ... 80, 80 ... 120 mm Durchmesser.
50 90 130 175 210 mm Tiefe d. Bohrg.

(8) **Meßuhren.** Es werden 3 Größen Meßuhren gebaut: 1. Kleines Gehäuse (28 mm Durchm., Meßbereich bis 5 mm), 2. übliches Gehäuse (52 mm Durchm. Meßbereich meistens 10 mm), 3. großes Zifferblatt (≈ 120 mm Durchm.) für Ablesung aus größerer Entfernung. Der Befestigungslappen an Meßuhren hat nach DIN E 878 5 mm Breite und 5 mm Bohrung.

(9) **Meßuhren.** Die Angaben unter (3) beziehen sich in der Hauptsache auf Meßuhren 1:100. Meßuhren 1:1000 haben eine größere Meßunsicherheit als ± 1 Teilstrichabstand.

(10) **Optimeter.** Das Optimeter wird mit zwei Ständerarten als Senkrecht- und Waagrecht-Optimeter geliefert. Das Waagrecht-Optimeter kann für Außen-, Innen- und Gewindemessungen benutzt werden. Eine Projektions-Einrichtung erübrigt die Beobachtung durch Mikroskop und gestattet das Beobachten des Meßergebnisses durch mehrere Personen gleichzeitig. Eine besondere Ausführung des Optimeterrohres enthält Toleranzzeiger.

(11) **Elektro-Compar.** Der Elektro-Compar enthält den Compar mit elektrischer Toleranz-Anzeige. Zwei Schraublehren mit großen Meßtrommeln (Ablesung 1μ) an den Seiten des Meßkopfes ermöglichen die Einstellung der Toleranz. Drei Leuchtzeichen (zu klein, gut, zu groß) zeigen an, ob das Werkstück zwischen den Grenzmaßen liegt oder nicht.

(12) **Elektr. Feintaster.** Da die Anzeige durch einen beliebig verstärkbaren elektrischen Strom an einem in μ geeichteten Stromzeiger hervorgerufen wird, könnte auch die Übersetzung beliebig vergrößert werden. Der Teilstrichabstand der Teilungen ist so gehalten, daß die dem Meßbereich entsprechende Genauigkeit (1%) leicht geschätzt werden kann. Die elektrischen Feintaster sind als Steuergerate z. B. an Werkzeugmaschinen und Sortiergeräten vielseitig anwendbar.

(13) **Innenmessungen.** Der mit Innenmeßgeräten unter Verwendung von Feintastern erfaßte Durchmesserbereich liegt etwa zwischen 3 mm und 300 mm. Die Meßunsicherheit ist etwa um die Hälfte größer als die des Feintasters. Unter 3 mm Messung mit Bildwerfer oder Mikroskop. Für kleinste Bohrungen (Düsen) gibt es Meßverfahren mit verdichteter Luft⁴⁾, die jedoch in Deutschland nicht im Handel sind (z. B. Solex-Verfahren, Frankreich). Das Meßverfahren mit einem in die Bohrung eingeführten Kegel in Verbindung mit Schieber und Nonius mißt nicht die Bohrung selbst, sondern den in (oder einen in der Nähe) der Stirnfläche liegenden meist größeren Kreis.

¹⁾ Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 287. — Feinmech. u. Präz. 1938, Heft 14 u. 16.

²⁾ Z. Instrumentenkde 1938, S. 389. — Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 508.

³⁾ Werkst. u. Betrieb 1938, Heft 9/10, S. 133. — Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937, S. 471 und 1938, S. 82.

⁴⁾ Feinmech. u. Präz. 1938, S. 289.

Genauigkeitsgrad III:

Für kurze Wasserwaagen und Querlibellen 600 ... 800 μ/m

Genauigkeitsgrad IV:

Für sehr kurze Querlibellen 1200 ... 1600 μ/m

Die Meßunsicherheit soll $\pm 1/10$ Teilstrichabstand betragen. Zur Prüfung richtet man die Wasserwaage so aus, daß ein Blasenende bei einem Mittelstrich steht und setzt dann um 180° um. Die genauesten für technische Zwecke hergestellten Wasserwaagen haben eine Empfindlichkeit von 30 μ/m , sie sind außerordentlich empfindlich für Wärmeschwankungen, das Einspielen geht sehr langsam vor sich.

Besonders für Zwecke des Maschinenbaues wird die Rahmenwasserwaage hergestellt, bei der die Libelle in einen quadratischen Rahmen eingebaut ist, der meist 3 ebene und 1 prismatische Seitenfläche hat.

Winkelwasserwaagen werden außer der bereits genannten Bauart noch in Verbindung mit Meßuhr oder Schraublehre hergestellt, wobei letztere verhältnismäßig hohe Meßsicherheit erreicht.

7. Feintaster.

Unter Feintaster werden Meßgeräte für Istmaßbestimmung verstanden, bei denen die Änderung der Meßgröße durch eine mechanische, optische oder elektrische Übersetzung vergrößert an einer Strichteilung angezeigt wird. Über die einzelnen Bauarten s. Tafel 1 „Deutsche Feintaster“. Es sind zu unterscheiden¹⁾:

Feintaster mit einfacher Hebelübersetzung (Schneide und Pfanne) oder mit Hebel, Zahnsegment und Ritzel: mechanische Fühlhebel.

Feintaster uhrenähnlicher Bauart: Meßuhren²⁾.

Feintaster mit mechanischem und optischem Hebel: Optische Fühlhebel.

Feintaster mit elektrischer Anzeige oder elektrischer Übersetzung: Elektrische Fühlhebel.

a) Zubehör zu Feintastern.

α) Lüfthebel und -mutter. Zum Abheben des Tastbolzens vom Werkstück dienen Lüfthebel, die meist auf den Spannschaft des Feintasters aufgeklemt werden. Vorteilhafter sind Ausführungen, bei denen dem Hebel eine parallele Schiene zugeordnet ist, die fest am Klemmring sitzt. Der Kräfteverlauf bleibt hier (Daumen an der festen Schiene, Kraftangriff durch Zeigefinger am langen Hebelarm) innerhalb des Lüfthebels, so daß ein Verbiegen des Meßaufbaues unmöglich ist. Eine gute Lösung ist die Lüftmutter (Mikrotast), eine Überwurfmutter über einen Bund am Tastbolzen, die durch Drehung den Taststift hochschiebt. Lüfthebel und Lüftmutter ermöglichen meist noch ein dauerndes Abheben der Meßfläche vom Werkstück, vorteilhaft z. B. zum Messen der Werkstücke in spangebenden Werkzeugmaschinen während der Bearbeitung.

β) Meßhütchen. Der die Meßfläche tragende Teil der Feintaster ist das Meßhütchen, das wegen der Vielgestaltigkeit der Meßflächen (Ebene, Kugel, Schneide) auswechselbar gestaltet ist. Die bei Meßhütchen mit Kugelmeßfläche meist angewandten Kugelhalbmesser von 5 mm und kleiner sind unzweckmäßig³⁾. Beim Messen einer mit 0,2 mm Vorschub

¹⁾ Reindl: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1939, S. 528.

²⁾ s. a. AWF 952. Meßuhren.

³⁾ Kienzle: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937, S. 505.

schlicht-gedrehten Oberfläche sinkt eine Kugelfläche von 3 mm Halbmesser beim Aufsetzen zwischen zwei Drehriefen um 2μ tiefer ein als beim Aufsetzen auf eine Riefe selbst. Der Durchmesser des Werkstückes würde also um 4μ kleiner gemessen als bei der Verwendung zweier ebener Meßflächen. Der Halbmesser der Kalotten von Kugelmeßflächen sollte daher etwa 25 mm betragen.

γ) Ständer. In den weitaus meisten Fällen werden die Feintaster in Ständern verwendet. Von einem sachgemäß gebauten Ständer muß verlangt werden, daß er unter der Einwirkung der Meßkraft von 200 g praktisch starr bleibt. Dies ist besonders bei Rundlaufprüfungen mit Meßbuhren wichtig, deren Meßkraft stark schwankt (s. S. 450). Der senkrechte Stab der Ständer sollte daher mindestens 20 mm Dmr. haben. Ein Ständer, der auch die vielseitige Anwendung der Fühlhebel (ähnlich einem Meßuhrständer) ermöglicht, ist leider noch nicht im Handel.

b) Der Anwendung der Feintaster

steht in der Abnahme und Prüfung von Maschinen ein weites Feld offen. Zur Vermeidung von Meßfehlern sind folgende Punkte zu beachten:

α) Antasten. Vor der Messung ist durch wiederholtes Antasten zu prüfen, ob der Meßaufbau „steht“. Die Anzeige muß innerhalb einer gewissen Streuung gleich bleiben.

β) Verrutschen des Ständers. Auf geschabten oder geschliffenen Führungsbahnen pflegt der Ständer beim Antasten infolge der unvermeidlichen Ölschicht zu rutschen (Meßwert wird kleiner). Abhilfe: Unterlegen von zwei Papierstücken unter die Enden des Ständerfußes, so daß der Ständer „hohl“ steht.

γ) Umkehrspanne. Zur Ausschaltung der Umkehrspanne ist vor jeder Ableseung der Tastbolzen abzuheben, so daß alle Messungen mit demselben Bewegungssinn des Tastbolzens ausgeführt werden. Dies ist besonders bei Rundlaufprüfungen zu beachten.

δ) Prüfdorne. Rundlauf- und Stirnlauf-, Form- und Lagefehler. Für Prüfdorne (besonders für Zahnradmessung) muß eine Rundlaufgenauigkeit von 1μ verlangt werden. Das gleiche gilt für Stirnlauffehler, z. B. an Aufnahmebunden. Bei der Prüfung des Rundlaufs (ebenso des Stirnlaufs) muß zwischen Formfehlern (Dorn ist kein Zylinder oder Kegel) und Lagefehlern (Zylinder- oder Kegelachse fällt nicht mit der Dornachse, d. h. der Verbindungslinie beider Körner zusammen) unterschieden werden¹⁾. Die Trennung von Form- und Lagefehlern (ohne Aufzeichnung von Fehlerkurven) ist nur durch gleichzeitiges um 180° versetztes Anstellen

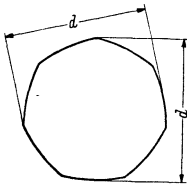


Abb. M 8.

zweier Fühlhebel möglich. Hiermit ist der Fall des sog. Gleichdickes, Abb. M 8, (besonders bei spitzenlosem Schleifen wahrscheinlich) nicht immer sicher erfaßt, wenn nicht die Anzeige beider Fühlhebel während der Drehung des Dornes laufend überwacht wird. Besonders dreiseitige Gleichdicke können zu Täuschungen führen. Ebenso werden

¹⁾ Kienzle: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937, S. 507.

durch Messung mit Rachenlehre oder Schraublehre Gleichdicke nicht erkannt, sondern nur durch symmetrische „Dreipunkt“-Messung, d. h. durch Auflage in einem Prisma oder durch Reiterlehren¹⁾.

Bei der Prüfung des Stirnlauffehlers einer eingebauten Welle kann außerdem noch ein „Schieben“ der Welle vorliegen, d. h. eine Bewegung der ganzen Welle in Achsenrichtung. Gemessen wird es durch Einlegen einer Kugel in den Körner und Anstellen der ebenen Meßfläche des Feintasters an diese Kugel. Auch diese Messung kann zu Täuschungen führen, wenn die Meßfläche nicht senkrecht zur Wellenachse steht, der Körner außermittig zur Drehachse liegt und ein Stirnlauffehler vorhanden ist.

Sehr oft wird der Rundlauffehler eines Dornes durch schlechte Körner verursacht. Der Aufnahmekegel im Körner ist daher durch Drehen oder Schleifen herzustellen. Um die Kegelfläche vor Beschädigungen zu schützen (z. B. Verformungen des Randes durch die Dornpresse), ist vor dem tragenden Kegel eine Kegelfläche mit größerem Öffnungswinkel anzuordnen (DIN 332). Durch Aufsetzen der Körnerfläche auf die scharfen Spitzen in Meßgeräten entstehen Kratzer und damit Rundlauffehler. Diese können leicht dadurch vermieden werden, daß die Spitzen mit einem Halbmesser von etwa 0,5 mm abgerundet werden.

Für die Rundlaufprüfung sind Sonder-Spitzenböcke im Handel.

ε) Lagefehler an Feintastern. Bei Prüfungen durch Umschlag ist zu beachten, daß sich bei einer Reihe von Feintastern mit wechselnder Lage die Meßkraft nicht unerheblich ändert. (Einfluß des Tastbolzen-gewichtes.)

ζ) Messen mit Innenmeßgeräten. Beim Einführen des Tastkopfes in die Bohrung ist der Tastbolzen einzudrücken, da sonst Werkstück und Meßgerät beschädigt werden können. Das Meßgerät ist schräg einzuführen und langsam gegen die Mittellage unter Beobachtung des Zeigers des Feintasters zu schwenken. Bewegt sich der Zeiger nicht, so ist der Feintaster tiefer in seine Fassung einzuschieben, reicht der Meßbereich nicht aus, so ist er herauszuziehen. Bei richtiger Einstellung kehrt der Zeiger etwa in der Mitte der Teilung seine Bewegungsrichtung um (Umkehrpunkt). Zur Messung wird dieser Umkehrpunkt als Nullpunkt mit Endmaßen (Meßschnäbeln), Einstellringen oder einem Urstück eingestellt und dann beim Werkstück die Abweichung vom Nullpunkt durch mehrmaliges langsames Durchschwenken durch die Mittellage festgestellt.

η) Selbsttätige Meßgeräte. Die elektrischen Fühlhebel können durch Fernleitung des Meßergebnisses und elektrische Zusatzeinrichtungen in selbsttätigen Meßgeräten (z. B. von Keilpart, Bauer & Schaurte-AEG)²⁾ und zur Steuerung von Maschinen verwendet werden.

8. Sondermeßmittel.

Die Meßmittel zur Bestimmung des Istmaßes finden vielseitige Anwendung durch Einbau in Meßgeräte für Sonderzwecke. Strichmaßstäbe mit Nonius, Meßschrauben dienen in Geräten zu Längsverstellungen, Endmaße zum Einstellen von Abständen, Wasserwaagen zum Ausrichten, die Feintaster, Glasmaßstäbe und optische Einrichtungen sind die Grundlage des Baues von Meßgeräten größeren Ausmaßes für höchste Genauigkeit.

Ein besonderes Gebiet der Anwendung von Feintastern ist ihre Verwendung als Nullzeiger an größeren Meßeinrichtungen (Fühlhebelanschlag, Meßkraftzeiger).

¹⁾ Preger: Masch.-Bau 1932, S. 249. — Sachsenberg und Kreher: Schleif- und Poliertechn. 1939, S. 89.

²⁾ Bürger: Masch.-Bau 1939, S. 227.

Das bekannteste Beispiel ist die Fühlhebelschraublehre, an deren Amboß meist ein Fühlhebel 1 : 500, Meßbereich 40 μ , angelenkt ist. Beim Messen wird die Meßschraubentrommel so lange gedreht, bis der Zeiger des Fühlhebels auf 0 steht, wodurch immer gleichbleibende Meßkraft (die des Fühlhebels) gesichert ist. Andererseits kann innerhalb des Meßbereiches des Fühlhebels dieser auch zu genaueren Messungen, als sie mit der Meßschraube allein möglich wären, benutzt werden. Weitere Beispiele im Abschnitt „Zahnradmessen, Messung der Teilung“.

Einige Sondergeräte mit Fühlhebeln und Meßuhren sind: Tiefenmaße, Schieblehren, Schraublehren, Rachenlehren, Meßgeräte für Kolben, Walzen (bügelförmig oder als Reiterlehren mit Prisma-Auflageflächen), Blechdicke (auch mit rollenförmigen Meßflächen), Draht, Rohrwandungen, Kurbelwellen, dreinutige und fünfnutige Gewindebohrer.

Zum Prüfen von Kegeln werden Sonderständer für Fühlhebel unter Verwendung des Sinuslineals (Tangenslineals) gebaut. Der Kegel wird auf einem verschiebbaren Tisch auf ein Lineal aufgelegt, das um den halben Kegelwinkel gekippt wird. Bei richtigem Kegelwinkel wird dann die obere Mantellinie des Kegels parallel zur Tischführung liegen. Von oben her wird der Kegel durch einen Fühlhebel angetastet, der bei Verschiebung des Tisches die Abweichungen anzeigt.

Für die Feststellung des Maßes von Werkstücken in der Maschine in bezug auf seine Lage im Toleranzfeld kann außer dem Passameter (Zeiss) die Passungslehre HK nach Wolff (Hahn & Kolb) dienen²⁾. Das einer Schraublehre ähnliche Gerät hat statt der Meßschraube eine Meßhülse, die beim Hineindrücken in den Bügel über eine Kegelübersetzung die Lehre zum Einführen des Werkstückes öffnet. Je nach Dicke des Werkstückes geht die Hülse beim Loslassen in eine andere Endstellung zurück, die an auswechselbaren Meßleisten (mit aufgetragenen Toleranzbereichen) abgelesen wird (auch mit Einsätzen für Gewinde).

Genaueste Messungen sind ohne Anwendung von optischen Hilfsmitteln nicht mehr denkbar¹⁾. Zur Prüfung und Messung von Strichteilungen, Härteprüfeindrücken, für Längen- und Winkelmessungen dienen Meßmikroskope mit Teilungen im Okular (Okularschraubenmikrometer) und durch Meßschrauben seitlich verstellbaren Mikroskopen sowie mit Drehtischen mit Kreisteilung und Nonius. Die Genauigkeit entspricht der der Meßschrauben und Teilung. Für das Ausmessen von Härteprüfeindrücken sind außerdem Sondergeräte entwickelt worden. Werkzeuge, Werkstücke, Formen und Lehren können mit Werkzeugmeßmikroskopen (Leitz und Zeiss [s. auch S. 511])²⁾ in vielfältiger Weise gemessen werden. Das Mikroskop ist hier an einer seitlich neigbaren Säule angebracht und hat in seinem Okular eine Revolver-Strichplatte, die Fadenkreuze verschiedener Art, Kreisbögen, Formen von Gewinden und Modul-Zahnformen enthält. Ein besonderes Okular dient für Winkelmessungen. Der Tisch zur Aufnahme des Werkstückes hat Längs- und Querverstellung (Kreuztisch) mittels Meßschrauben und kann mit einem besonderen Drehtisch (Drehung meßbar) oder Spitzenbock versehen sein. Meßunsicherheit: Meßschrauben $\pm 2 \mu$, Winkelmeßokular $\pm 2'$, sie kann je nach Art der Messung

¹⁾ Dr. Keßler: Eine halbe Stunde Optik für den Techniker. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 534.

²⁾ Reindl: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 191.

und Eigenschaften des Werkstückes bis $\pm 5 \mu$ betragen. Mikroskopvergrößerungen meist etwa 10-, 20-, 30- und 50fach.

Besonders für Zwecke der Feinmechanik (Uhrenherstellung) ist das Koordinatenmeßgerät¹⁾ (Leitz, Zeiss) entwickelt worden, das im grundsätzlichen Aufbau dem Werkzeugmeßmikroskop ähnlich ist.

Durch Auswechseln des Mikroskopes gegen eine Feinbohrspindel (Leitz)¹⁾ kann das Gerät als kleines Lehrenbohrwerk für feinmechanische Zwecke verwendbar werden.

Zur Prüfung von Formen jeder Art dienen die Feinmeßprojektoren (Profilbildwerfer) (Leitz, Zeiss)¹⁾. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, daß auch die Werkzeug-Meßmikroskope mit Projektionseinrichtungen geliefert werden. Die Meßtische der Profilbildwerfer enthalten Kreuztisch, Winkelverstellung und Winkeldrehung mit den entsprechenden Meßeinrichtungen. Das Werkstück kann in vorbeistreifendem parallelem Licht (Durchlicht) und Auflicht betrachtet werden. Das Bild erscheint auf einer Projektionsfläche oder auf einer Mattscheibe von etwa 500 mm Dmr. Die Vergrößerungen sind etwa 10-, 25-, 50fach. Die Profilbildwerfer geben die Möglichkeit, Formen vergrößert nachzuzeichnen und mit den Soll-Profilen zu vergleichen. Einfache Profilbildwerfer ohne Meßeinrichtungen dienen nur zum Vergleichen von Formen, vielfach mit vergrößerten Profil-Toleranzzeichnungen auf der Mattscheibe.

Genaueste Längenmessungen mit Mikroskopen werden unter Verwendung von Glasmaßstäben bis 200 mm Länge (Genauigkeit je Teilstrichabstand $\pm 1 \mu$) und Ablesung durch Spiralmikrometer vorgenommen, mit dem 1μ unmittelbar abgelesen und $0,3 \mu$ mit Sicherheit geschätzt werden können. Zur Feinablesung dient eine Doppelspirale auf einer drehbaren Glasplatte mit 100μ Steigung über einen Maßstab mit $\frac{1}{10}$ -Teilung. Glasmaßstab, $\frac{1}{10}$ Teilung und Spirale sind optisch in eine Ebene gebracht. Die einfache Ausführungsform eines derartigen Längenmessers ist der Abbe'sche Längenmesser von Zeiss, bestehend aus einer auf Rollen gelagerten Meßpinole, die den Maßstab (100 mm) trägt und die an ihren Enden Einrichtungen zur Aufnahme des Meßhütchens hat. Über der Pinole ist das Spiralmikroskop angeordnet. Mit dem Abbe'schen Längenmesser können alle Längen bis 100 mm (200 mm) ohne Vergleichsmessung unmittelbar mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \mu$ zahlenmäßig ausgemessen werden. (In Verbindung mit dem Optimeterständer auch für Innenmessungen, zusammen mit dem optischen Teilkopf für Nockenwellen.)

Im Universal-Meßmikroskop von Zeiss²⁾ dienen Glasmaßstab und Spiralmikroskop zur Messung der Längs- und Querverschiebung zweier kreuzförmig angeordneter Schlitten, auf denen das Werkstück aufgenommen wird. Die übrigen Baueinheiten entsprechen denen des Werkstatt-Meßmikroskopes, die Genauigkeit bei Längenmessungen ist jedoch wesentlich höher. Beim Profilmessstand von Leitz³⁾ wird der Glasmaßstab mit einem Meßokular mit gegeneinander verschieblichen Glaskeilen abgelesen.

Unter Meßmaschinen werden heute im allgemeinen Geräte für unmittelbare (absolute) Längenmessungen (Endmaße, Lehrringe) hoher Genauigkeit verstanden. Meßmaschinen mit rein mechanischen Meßmitteln (Gewindespindel und Meßdose) sind für genaueste Messungen gegenüber den opti-

¹⁾ Reindl: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 191.

²⁾ Dr. Bürger: Masch.-Bau 1938, S. 183.

³⁾ Metz: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1939, S. 400.

schen Geräten etwas zurückgetreten. Die optische Meßmaschine von Zeiss (4 Größen) erlaubt Längenmessungen bis 6000 mm. Sie arbeitet mit einem Stahlmaßstab, der in Abständen von 100 mm Glasmarken mit Doppelstrichen trägt, einem Glasmaßstab von 100 mm Länge mit $\frac{1}{10}$ -Unterteilung und einem Optimeterrohr. Die Einstellung und Ablesung wird durch eine optische Anordnung ermöglicht. Die Meßunsicherheit beträgt bei 10 mm Meßlänge etwa $\pm 0,5 \mu$, bei 6000 mm $\pm 60 \mu$. Es können auch Innenmessungen durchgeführt werden.

Genaueste Längenmessungen werden mit dem Interferenzkomparator von Zeiss (s. S. 443) vorgenommen.

Oberflächenprüfungen¹⁾ (Messung der Tiefe von Bearbeitungsriefen u. a.) können mit dem Oberflächenprüfgerät nach Prof. Schmaltz (Zeiss) durchgeführt werden. Zur Anwendung kommt das Lichtschnittverfahren²⁾, bei dem ein scharf begrenzter Lichtspalt (Lichtstreifen) auf das Werkstück projiziert und mit einem Mikroskop mit Okularmikrometer beobachtet wird. Infolge der Rauigkeiten der Oberfläche erscheint der Lichtspalt im Mikroskop gesehen nicht geradlinig begrenzt. Die Abweichungen von der Geraden werden ausgemessen. Das Oberflächenprüfgerät nach Mechau (Zeiss) dient zur Feststellung des tragenden Anteils von geläppten oder feingeschliffenen Zylinderoberflächen in Hundertteilen der Gesamtfläche.

II. Festmaßlehren und Passungen.

1. Taster (Tastzirkel).

Die Außentaster dürften heute als Meßmittel für Istmaßmessung durch zuverlässigere Meßgeräte so gut wie ganz verdrängt sein. Die Innentaster können zum Messen von Eindrehungen oder Hinterdrehungen in Bohrungen an der Maschine gute Dienste leisten. Da man sie nicht herausnehmen kann, ohne das eingestellte Maß zu zerstören, werden sie mit einem kurzen Hilfsschenkel versehen, der beim Zusammenklappen stehenbleibt. Außerhalb der Bohrung wird der Taster wieder bis auf das durch den Hilfschenkel gegebene Maß auseinandergespreizt.

2. Winkel, Lineale, Richtplatten

werden hauptsächlich beim Zusammenbau und an der Anreißplatte verwendet. Normen: Stahlwinkel DIN 875, Stahllineale DIN 874, Tuschie-lineale und Platten DIN 876.

Bei der Aufbewahrung der Lineale und Platten ist darauf zu achten, daß sie gleichmäßig aufliegen, um ein Verziehen auszuschließen. Bei der Anwendung sind sie vor ungleichmäßiger Wärmeeinwirkung zu schützen.

Haarlineale (Kantel, Messerlineale) dienen zum Prüfen der Ebenheit von Flächen oder der Geradheit von Linien (z. B. bei Drehteilen einer Mantellinie) mittels des Lichtspaltverfahrens. Der sich beim Auflegen an unebenen Stellen zeigende Lichtspalt kann bei einiger Übung bis auf 1μ geschätzt werden, besonders beim Vergleich mit einem Lichtspalt bekannter Größe (z. B. Haarlineal über zwei auf einer Planglasplatte nebeneinander angesprengten Endmaßen verschiedener Länge).

¹⁾ Schmaltz: Technische Oberflächenkunde. Berlin: Jul. Springer 1936.

²⁾ Büttner: Werkst.-Techn. u. Werkleiter 1938, S. 524. — Schorsch: AWF-Mittlgn. 1939, Heft 1 und 2.

3. Draht- und Blechlehren, Spaltlehren (Spione).

Draht- und Blechlehren (zum Sortieren von Draht oder Blech) bestehen aus kreisförmigen oder rechteckigen Blechen, die mit einer Anzahl abgestufter Einschnitte oder Löcher versehen sind. Die Stufung wird mit Nummern oder Buchstaben bezeichnet (s. S. 109 und 110).

Spaltlehren (Spione) sind meist um 100μ in der Dicke gestufte längliche Blechstückchen oder Blechstreifen, die häufig zu mehreren in einem Halter vereinigt sind. Sie dienen zum „Ausfühlen“ von Rissen und feinen Spalten oder zum Einstellen von kurzen Abständen (z. B. von Unterbrecherkontakten).

4. Passungen und Lehren¹⁾.

Die Wirtschaftlichkeit einer Fertigung bedingt möglichste Ausschaltung von Nacharbeit zum Zwecke des Zusammenpassens zusammengehöriger Teile, gleichviel, ob diese im gleichen Werke oder in verschiedenen Betrieben hergestellt sind.

Zu einem solchen Austauschbau ist notwendig:

a) Die Aufstellung eines einheitlichen **Passungssystems**, d. h. die Festlegung von Grenzwerten, bei deren Einhaltung man die gewünschte Passung erhält.

b) Die Einführung eines Meßverfahrens, das die Einhaltung dieser vorgeschriebenen Grenzwerte bei der Herstellung ermöglicht, nämlich des **Lehrensystems**.

c) Möglichste Beschränkung in den zur Verwendung kommenden Durchmessern. Eine Richtlinie ist die vom Normenausschuß der deutschen Industrie aufgestellte **Normaldurchmesserreihe** (s. Abschnitt „Normaldurchmesser“).

d) Eine einheitliche Bezugstemperatur, bei der die Meßmittel und Werkstücke dem vorgeschriebenen Maß entsprechen, Meßwert und Maßwert also übereinstimmen. Die Bezugstemperatur ist 20°C (vgl. S. 71).

a) DIN- und ISA-Passungen.

Das vom Deutschen Normenausschuß aufgestellte DIN-Passungssystem behandelt die Rundpassungen, d. h. das Zusammenpassen von Welle und Bohrung, und unterteilt sich, je nachdem die Welle oder Bohrung zum Ausgangspunkt genommen wird, in

α) das System der **Einheitswelle**: für einen bestimmten Durchmesser wird die gewünschte Passung bei gleichbleibender Welle durch die größere oder kleinere Bohrung erreicht;

β) das System der **Einheitsbohrung**: die gewünschte Passung wird bei gleichbleibender Bohrung durch die größere oder kleinere Welle bewirkt.

Die **Grundbegriffe** beider Systeme sind auf Tafel 2 zusammengestellt.

Die Aufstellung verschiedener **Gütegrade** (Edel-, Fein-, Schlicht- und Grobpassung) war notwendig mit Rücksicht auf die Herstellungskosten. Es wäre unwirtschaftlich, für Teile, bei denen es auf ein genaues Passen nicht ankommt, unnötig genaue Toleranzen vorzuschreiben.

Innerhalb der Gütegrade sind wieder verschiedene **Sitzarten** festgelegt, deren Abmaße nach **Paßeinheiten** abgestuft sind. Eine **Paßeinheit** ist gleich $0,005 \cdot \sqrt[3]{\text{Durchmesser}}$.

¹⁾ Schrifttum s. S. 481.

Die **Abmaße** sind auf den Seiten 464 bis 471 zusammen mit denen des ISA-Systems nach den Festlegungen des Deutschen Normenausschusses und des ISA-Komitees zusammengestellt. Eine graphische Übersicht über die sich für die einzelnen Sitze ergebenden Toleranzgebiete bringen die Tafeln 3 und 5.

Für die Gütegrade und Sitzarten wurden zur Kennzeichnung der Lehren **abgekürzte Bezeichnungen** und Farben aufgestellt (Tafel 4). Die Abkürzungen können, wenn nicht ein ziffernmäßiges Eintragen der Abmaße vorgezogen wird, auch auf den Zeichnungen Verwendung finden.

Das in Einführung befindliche Internationale Passungssystem (ISA)¹⁾ hat die wesentlichen Grundlagen vom DIN-Passungssystem übernommen:

- α) Nulllinie als Begrenzungslinie.
- β) Bezugstemperatur 20°.
- γ) Stufung der Durchmesserbereiche.
- δ) Der Begriff der Paßeinheit ist für den Aufbau der ISA-Toleranzen

verlassen. Zugrunde gelegt ist die Toleranzeinheit i (in μ) = $0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D$ (D in mm). Die Größe und Lage der Toleranzen ist so festgelegt, daß die DIN-Sitze durch eine entsprechende Auswahl von ISA-Wellen und -Bohrungen mit theoretisch großer Annäherung, praktisch aber gleichwertig erreicht werden können (Tafel 5).

Eines der wesentlichsten Merkmale des ISA-Systems ist, daß die bei fast allen bisherigen Passungssystemen übliche Zusammenfassung bestimmter Bohrungen und Wellen zu bestimmten Sitzqualitäten unterblieben ist. Es sind vielmehr durch die Größe der Toleranz charakterisierte Qualitäten für die Wellen und Bohrungen genormt, die dann, um einen bestimmten Sitz zu erreichen, zweckentsprechend gepaart werden. Eine Empfehlung für die Auswahl ist in dem Schaubild auf Tafel 5 gegeben.

Die Qualitäten sind fortlaufend mit 1 bis 16 beziffert und haben mit der Qualitätsziffer und Durchmesserstufung steigende Toleranzen (siehe Tafel 6), die sogenannten Grundtoleranzen (Kurzzeichen IT = ISA-Toleranz). Durch die Qualitätsziffer ist also eine bestimmte Toleranzgröße in einem bestimmten Durchmesserbereich eindeutig festgelegt.

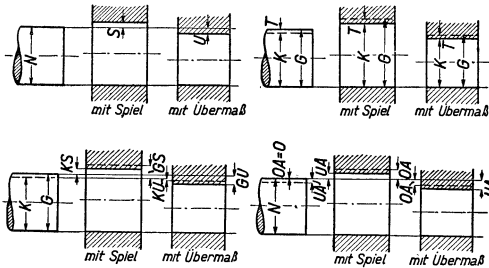
Um eine Welle oder Bohrung vollkommen zu bestimmen, ist nicht nur die Kenntnis der Toleranz nach ihrer Größe, sondern auch nach ihrer Lage zur Nulllinie erforderlich. Diese wird gekennzeichnet durch große lateinische Buchstaben für die Bohrungen und kleine lateinische Buchstaben für die Wellen. Dabei sind mit J bzw. j die Bohrungen bzw. Wellen bezeichnet, deren Toleranzfeld \pm zur Nulllinie liegt; die Toleranzfelder der Bohrungen H und Wellen h berühren die Nulllinie (entsprechen also Einheitsbohrung und Einheitswelle im DIN-System), die Toleranzen der Bohrungen K bis Z liegen unterhalb, die der Bohrungen G bis A oberhalb der Nulllinie. Bei den Wellen ist es umgekehrt. Je weiter der Buchstabe im Alphabet von H bzw. h entfernt ist, desto weiter liegt das Toleranzfeld von der Nulllinie ab.

Eine Bohrung und eine Welle sind in Lage und Größe ihrer Toleranz durch den Buchstaben mit angehängter Qualitätsziffer gekennzeichnet, z. B. K7, h6, ein bestimmter Sitz durch Vereinigung beider Kennzeichen, wobei das Kennzeichen für die Bohrung vorangestellt wird K7 · h6 (entspricht dem Haftsitz Einheitswelle im DIN-System; siehe Tafel 5).

¹⁾ ISA: Abkürzung von „International Federation of the National Standardizing Associations“.

Tafel 2. Passungen — Grundbegriffe.

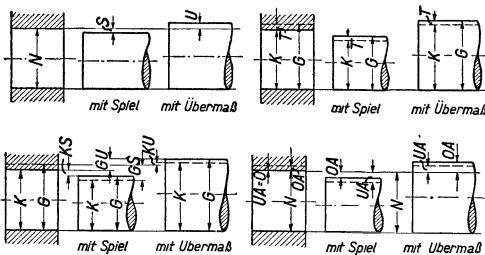
Einheitswelle.



Kennzeichen: Die Welle wird innerhalb der einzelnen Gütegrade gleichgehalten, d. h. die Abmaße der Welle bleiben für alle Sitze die gleichen, während die Abmaße der Bohrung nach der Art des Sitzes verschieden ausgeführt werden. Das obere Abmaß der Welle ist Null, also Nulllinie obere Begrenzungslinie der Wellenabmaße.

Wellen, auf denen verschiedene Sitze vorkommen, können glatt oder abgesetzt sein.

Einheitsbohrung.



Kennzeichen: Die Bohrung wird innerhalb der einzelnen Gütegrade gleichgehalten, d. h. die Abmaße der Bohrung bleiben für alle Sitze die gleichen, während die Abmaße der Welle nach der Art des Sitzes verschieden ausgeführt werden. Das untere Abmaß der Bohrung ist Null, also Nulllinie untere Begrenzungslinie der Bohrungsabmaße.

Wellen, auf denen verschiedene Sitze vorkommen, müssen abgesetzt sein.

Passung (im Sinne des Zusammenpassens) bezeichnet allgemein das körperliche Verhältnis zweier zusammengefüger Teile, gekennzeichnet durch das Spiel bzw. Übermaß.

Spiel (S) ist der freie Raum zwischen Bohrung und Welle.

Übermaß (U) ist das Maß, um das die einzuführende Welle größer ist als die Bohrung.

Größtmaß G und Kleinmaß (K) sind die Grenzmaße, zwischen denen das ausgeführte Maß eines Werkstückes liegen muß.

Toleranz (T) ist der Unterschied zwischen dem größtzulässigen Maß (Größtmaß) und dem kleinstzulässigen Maß (Kleinmaß) eines Werkstückes.

Kleinste Spiel (KS) ist der Unterschied zwischen Kleinmaß der Bohrung und Größtmaß der Welle.

Größtes Spiel (GS) ist der Unterschied zwischen Größtmaß der Bohrung und Kleinmaß der Welle.

Kleinste Übermaß (KU) ist der Unterschied zwischen Kleinmaß der Welle und Größtmaß der Bohrung.

Größtes Übermaß (GU) ist der Unterschied zwischen Größtmaß der Welle und Kleinmaß der Bohrung.

Nennmaß (N) ist das Maß, welches die Größe der Stücke kennzeichnet.

Abmaß ist das Maß, um das ein Stück vom Nennmaß abweicht, und zwar gibt das
a) Obere Abmaß (OA) zum Nennmaß hinzugezählt, bzw. vom Nennmaß abgezogen das Größtmaß.

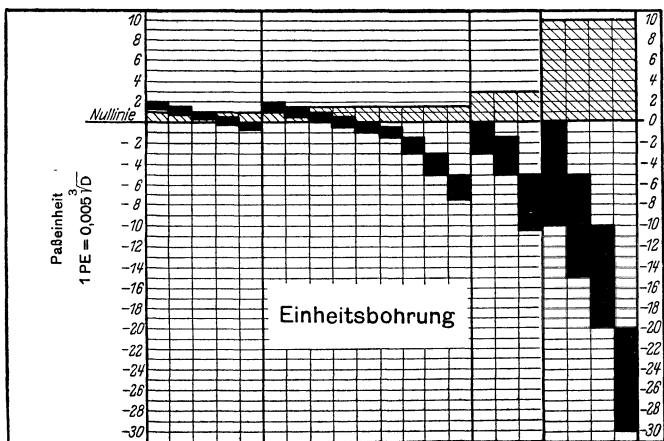
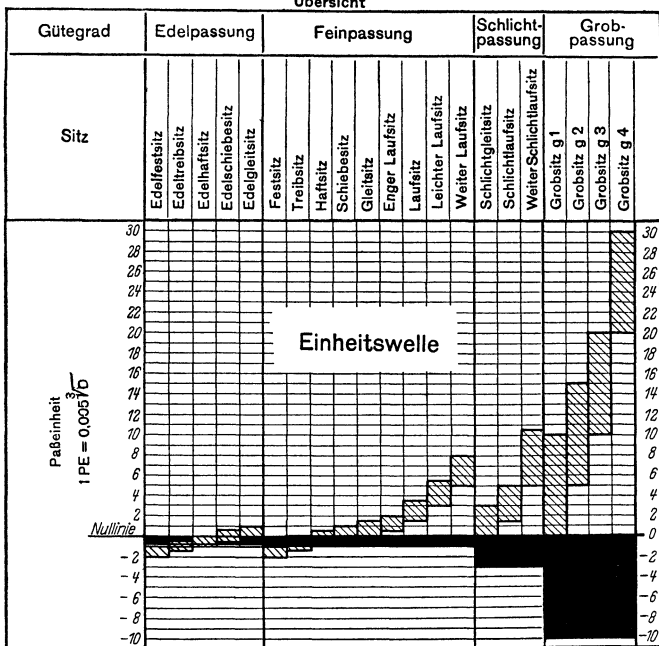
b) Untere Abmaß (UA) zum Nennmaß hinzugezählt, bzw. vom Nennmaß abgezogen das Kleinmaß.

Sitz ist eine Passung, gekennzeichnet durch das kleinste und größte Spiel bzw. durch das größte und kleinste Übermaß.

Gütegrade sind Bearbeitungsgrade nach denen die Feinheit von Passungen abgestuft ist. Es werden unterschieden: Edelpassung, Feinpassung, Schlichtpassung, Grobpassung.

Tafel 3. DIN-Passungen.

Übersicht



Toleranzgebiet: der Bohrung der Welle

Tafel 4. DIN-Passungen.

Bezeichnung der Gütegrade und Sitze nach DIN 776.

Gütegrad			Einheitsbohrung		Sitze	Einheitswelle	
Benennung	Kurzzeichen	Kennfarbe der Lehre	Bohrung	Wellen		Bohrungen	Welle
Edel- passung	<i>e</i>	korn- blumen- blau	<i>eB</i>	<i>eF</i>	Ruhsitze Edelfestsitz	<i>eF</i>	<i>eW</i>
				<i>eT</i>	Edeltreibrsitz	<i>eT</i>	
				<i>eH</i>	Edelhaftsitz	<i>eH</i>	
				<i>eS</i>	Edelschiebesitz	<i>eS</i>	
					Bewegungssitz		
				<i>eG</i>	Edelgleitsitz	<i>eG</i>	
Fein- passung		schwarz	<i>B</i>	<i>P</i>	Ruhsitze Preßsitz	<i>P</i>	<i>W</i>
				<i>F</i>	Festsitz	<i>F</i>	
				<i>T</i>	Treibrsitz	<i>T</i>	
				<i>H</i>	Haftsitz	<i>H</i>	
				<i>S</i>	Schiebesitz	<i>S</i>	
					Bewegungssitze		
				<i>G</i>	Gleitsitz	<i>G</i>	
				<i>EL</i>	Enger Laufsitz	<i>EL</i>	
				<i>L</i>	Laufsitz	<i>L</i>	
				<i>LL</i>	Leichter Laufsitz	<i>LL</i>	
<i>WL</i>	Weiter Laufsitz	<i>WL</i>					
Schlicht- passung	<i>s</i>	gelb	<i>sB</i>	<i>sG</i>	Bewegungssitze Schlichtgleitsitz	<i>sG</i>	<i>sW</i>
				<i>sL</i>	Schlichtlaufsitz	<i>sL</i>	
				<i>sWL</i>	Weiter Schlichtlaufsitz	<i>sLW</i>	
Grob- passung	<i>g</i>	hellgrün	<i>gB</i>	<i>g₁</i>	Bewegungssitze Grobsitz <i>g₁</i>	<i>g₁</i>	<i>gW</i>
				<i>g₂</i>	Grobsitz <i>g₂</i>	<i>g₂</i>	
				<i>g₃</i>	Grobsitz <i>g₃</i>	<i>g₃</i>	
				<i>g₄</i>	Grobsitz <i>g₄</i>	<i>g₄</i>	

Die Kennzeichen dienen:

zur Beschriftung der Grenzlehren (siehe DIN 249, 1811, 1812),
zur Angabe der Lehren auf den Zeichnungen (siehe DIN 406, Bl. 5 und 6).

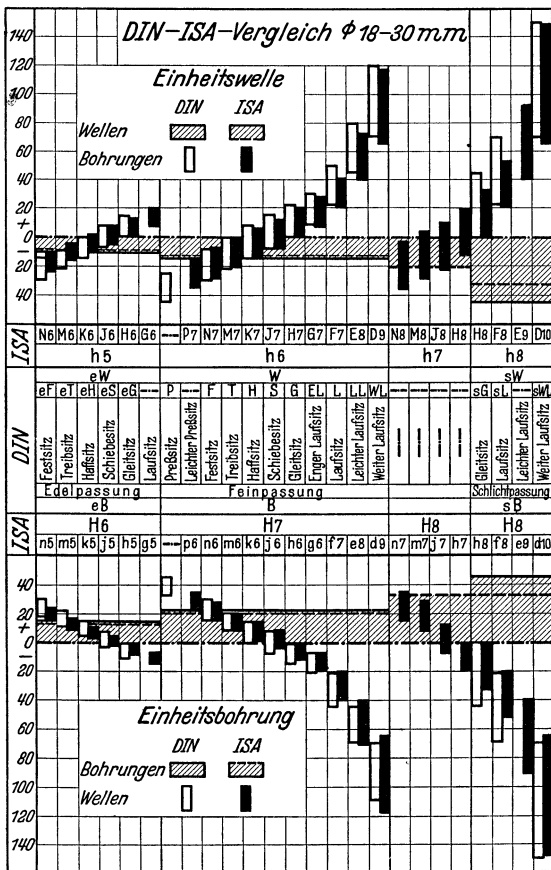
Die Bohrungslehren im System Einheitsbohrung stimmen mit den Bohrungslehren für die Gleitsitze und Grobsitz *g₁* im System Einheitswelle überein und sind wie folgt gezeichnet:

$$eB = eG \quad B = G \quad sB = sG \quad gB = g_1.$$

Die Wellenlehren im System Einheitswelle stimmen mit den Wellenlehren für die Gleitsitze und Grobsitz *g₁* im System Einheitsbohrung überein und sind wie folgt gezeichnet:

$$eW = eG \quad W = G \quad sW = sG \quad gW = g_1$$

Tafel 5. Vergleich der DIN- und ISA-Sitzfamilien.



Tafel 6. Grundtoleranzen der ISA-Qualitäten in μ .

Qualitäts- ziffer	Nenndurchmesserbereich in mm									Grund- toleranz- reihe
	1-3	über 3-6	über 6-10	über 10-18	über 18-30	über 30-50	über 50-80	über 80-120	über 120-180	
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	3	4	IT 1
2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	IT 2
3	3	3	3	3	4	4	5	6	8	IT 3
4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	IT 4
5	5	5	6	8	9	11	13	15	18	IT 5
6	7	8	9	11	13	16	19	22	25	IT 6
7	9	12	15	18	21	25	30	35	40	IT 7
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	IT 8
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	IT 9
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	IT 10
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	IT 11
12	90	120	150	180	210	250	300	350	400	IT 12
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	IT 13
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	IT 14
15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	IT 15
16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	IT 16

Die Grundtoleranzen IT 1 bis 4 sind für Lehren vorgesehen, können aber auch für besonders genaue Werkstücke Anwendung finden. Für Grobpassungslehren gilt IT 5 bis 8, für Lehren zu Werkstücken nach der Qualität 13 bis 16 die Grundtoleranz IT 7 u. 8.

Obleich im ISA-System keine starre Bindung an eine bestimmte Paarung der verschiedenen Wellen und Bohrungen festgelegt ist, liegt seinem Aufbau doch der Gedanke eines Systems Einheitsbohrung (H -Bohrung) und eines Systems Einheitswelle (h -Welle) zugrunde. Alle Passungen mit einer Einheitsbohrung bzw. einer Einheitswelle werden unter dem Begriff „Sitzfamilie“ zusammengefaßt, der etwa dem Begriff „Gütegrad“ des DIN-Systems gleichkommt. Die entsprechend dem DIN-System zusammengefaßten Sitzfamilien zeigt Tafel 7 und 8 (s. a. DIN 7154 und 7155).

Das ISA-System unterscheidet drei Gruppen von Sitzen: Spielsitze (haben immer Spiel), Übergangssitze (haben Spiel oder Übermaß je nach Lage der Toleranz), Preßsitze (haben immer Übermaß).

In den Tafeln 7 und 8 ist eine Gesamtübersicht der Nennabmaße der DIN- und der entsprechenden ISA-Passungen gegeben.

b) Lehrensystem.

Um das Einhalten der notwendigen Grenzmaße in der Herstellung zu ermöglichen, sind zweckentsprechende Meßmittel notwendig.

Die Lehren gestatten die Feststellung, ob das Werkstück innerhalb der verlangten Grenzen liegt, ermöglichen aber nicht die Ablesung des Istmaßes.

Die Grenzlehren haben zwei Meßstellen, von denen die eine das Größtmaß und die andere das Kleinstmaß aufweist. **Zum Messen von Außenmaßen (Wellen) dienen die Grensrachenlehren, zum Messen der Bohrungen die Grenzlehrdorne für die Durchmesser bis 100 mm, die Flachlehren für die Durchmesser über 100 bis 250 mm und die Kugelendmaße für die Durchmesser über 250 mm.** Die Werkstücke werden die gewünschte Passung haben, wenn bei der Bohrungslehre (Dorn) die Seite

Tafel 7. DIN- und ISA-Passungen — Gesamt-
Nach

Nennmaß- bereich mm	Bohrungen		Wellen										
	Edel- e B bohrung +	ISA H 6 +	Edel- e F festsitz +	ISA n 5 +	Edel- e T treibsitz +	ISA m 5 +	Edel- e H hartsitz +	ISA k 5 +	Edel- e S schiebe- sitz +	ISA j 5 -	Edel- e G gleitsitz -	ISA h 5 -	ISA g 5 -
1 bis 3	-	7	-	11	-	7	-	-	-	+ 4	-	0	3
über 3	8	8	15	13	12	9	8	-	+ 4	+ 4	0	5	8
bis 6	0	0	10	8	6	4	2	-	- 2	- 1	6	5	4
über 6	10	9	20	16	15	12	10	7	+ 5	+ 4	0	0	9
bis 10	0	0	12	10	7	6	2	1	- 2	- 2	7	6	11
über 10	12	11	25	20	18	15	12	9	+ 6	+ 5	0	0	6
bis 18	0	0	15	12	9	7	3	1	- 3	- 3	9	8	14
über 18	15	13	30	24	22	17	15	11	+ 8	+ 5	0	0	7
bis 30	0	0	18	15	11	8	4	2	- 4	- 4	11	9	16
über 30													
bis 40	18	16	35	28	25	20	18	13	+ 9	+ 6	0	0	9
über 40	0	0	22	17	13	9	4	2	- 4	- 5	13	11	20
bis 50													
über 50													
bis 65	20	19	40	33	30	24	20	15	+ 10	+ 6	0	0	10
über 65	0	0	25	20	15	11	5	2	- 5	- 7	15	13	23
bis 80													
über 80													
bis 100	22	22	45	38	35	28	22	18	+ 11	+ 6	0	0	12
über 100	0	0	28	23	17	13	6	3	- 6	- 9	17	15	27
bis 120													
über 120													
bis 140													
über 140	25	25	50	45	40	33	25	21	+ 13	+ 7	0	0	14
bis 160	0	0	32	27	20	15	7	3	- 7	- 11	20	18	32
über 160													
bis 180													
über 180													
bis 200													
über 200	30	29	60	51	45	37	30	24	+ 15	+ 7	0	0	15
bis 225	0	0	38	31	22	17	8	4	- 8	- 13	22	20	35
über 225													
bis 250													
über 250	30		60		45		30		+ 15		0		
bis 260 ¹⁾	0		38		22		8		- 8		22		
über 260 ¹⁾	35	32	70	57	50	43	35	27	+ 18	+ 7	0	0	17
bis 280	0	0	43	34	25	20	9	4	- 9	- 16	25	23	40
über 280	35		70		50		35		+ 18		0		
bis 315	0		43		25		9		- 9		25		
über 315	35		70		50		35		+ 18		0		
bis 355	0		43		25		9		- 9		25		
über 355	35	36	70	62	50	46	35	29	+ 18	+ 7	0	0	18
bis 360 ¹⁾	0	0	43	37	25	21	9	4	- 9	- 18	25	25	43
über 360 ¹⁾	40		80		60		40		+ 20		0		
bis 400	0		50		28		10		- 10		28		
über 400													
bis 450	40	40	80	67	60	50	40	32	+ 20	+ 7	0	0	20
über 450	0	0	50	40	28	23	10	5	- 10	- 20	28	27	47
bis 500													
DIN	18	7161 Bl. 2	2051	7160 Bl. 2	2052	7160 Bl. 2	2053	7160 Bl. 2	2054	7160 Bl. 2	2055	7160 Bl. 2	7160 Bl. 1

Gerade stehende Zahlen: Nennabmaße Lehre Gutseite.

Schräg stehende Zahlen: Nennabmaße Lehre Ausschußseite.

übersicht — Einheitsbohrung — Nennabmaße.

DIN 7165.

(Fortsetzung auf S. 466 und 467.)

Bohrungen		Wellen														Nennmaßbereich mm	
Feinbohrung B +	ISA H7 +	Preßsitz P +	ISA s6 +	ISA r6 +	Festsitz F +	ISA n6 +	Treibrsitz T +	ISA m6 +	Haftsitz H +	ISA k6 +	Schiebesitz S +	ISA j6 +	Gleitsitz G -	ISA h6 -	Enger Laufsitz EL -		
9 0	9 0	15 10	22 15	19 12	12 6	13 6	9 3	9 2	6 0	-	+3 -3	+6 -1	0 6	0 7	3 9	1 bis über	3 3
12 0	12 0	20 15	27 19	23 15	15 8	16 8	12 4	12 0	8 0	-	+4 -4	+7 -1	0 8	0 8	4 12	über bis	3 6
15 0	15 0	30 20	32 23	28 19	20 10	19 10	15 5	15 6	10 0	1	+5 -5	+7 -2	0 10	0 9	5 15	über bis	6 10
18 0	18 0	38 25	39 28	34 23	25 12	23 12	18 6	18 7	12 0	12	+6 -6	+8 -3	0 12	0 11	6 18	über bis	10 18
22 0	21 0	45 32	48 35	41 28	30 15	28 15	22 8	21 8	15 0	15	+8 -8	+9 -4	0 15	0 13	8 22	über bis	18 30
25 0	25 0	60 40	59 43	50 34	35 18	33 17	25 9	25 9	18 0	18	+9 -9	+11 -5	0 18	0 16	9 25	über bis	40 50
30 0	30 0	75 55	72 53 78 59 93 73	60 41 62 43 73 51	40 20 20	39 20 20	30 10 10	30 11	20 0	21	+10 -10	+12 -7	0 20	0 19	10 30	über bis	65 80
35 0	35 0	90 65	71 51 76 79 117 88 92 63	45 22 23	45 23	35 11	35 13	22 0	25 3	25	+11 -11	+13 -9	0 22	0 22	11 35	über bis	100 120
40 0	40 0	105 80	125 100 133 108 151 106 122 77	90 65 93 68 106	50 25	52 27	40 13	40 15	25 0	28	+13 -13	+14 -11	0 25	0 25	13 40	über bis	140 160
45 0	46 0	130 100	159 130 169 140 84	109 80 113	60 30	60 31	45 15	46 17	30 0	33	+15 -15	+16 -13	0 30	0 29	15 45	über bis	200 225
45 0		130 100	190 158 94	126 94	60 30		45 15	30 0			+15 -15		0 30		15 45	über bis	250 260 ¹⁾
50 0	52 0	155 120	190 158 94	126 70	66 34		50 20	35 0	36 4		+18 -18	+16 -16	0 35	0 32	18 50	über bis	280 280
50 0		155 120	202 170 98	130 35	70 35		50 18	35 0			+18 -18		0 35		18 50	über bis	280 315
50 0		155 120	226 190 108	144 35	70 35		50 18	35 0			+18 -18		0 35		18 50	über bis	315 355
50 0	57 0	155 200	244 208 114	150 35	73 37		50 21	35 0	40 4		+18 -18	+18 -18	0 35	0 36	18 50	über bis	355 360 ¹⁾
60 0		180 140	244 208 114	150 40	80 40		60 20	40 0			+20 -20		0 40		20 60	über bis	360 ¹⁾ 400
60 0	63 0	180 140	272 232 126 172 132	166 40	80 40		60 20	63 23	40 0	45 5	+20 -20	+20 -20	0 40	0 40	20 60	über bis	400 450 450 500
19	7161 Bl. 2	54	7160 Bl. 3	7160 Bl. 3	26	7160 Bl. 2	58	7160 Bl. 2	25	7160 Bl. 2	24	7160 Bl. 2	23	7160 Bl. 2	22	DIN	

¹⁾ Diese Zwischenstufen sind die bisherigen Abgrenzungen der Bereiche im DIN-System. Bei Benutzung der Tafel sind die Bemerkungen auf den Einzelblättern für Nennabmaße zu beachten. Die mit „ISA“ gekennzeichneten Spalten entsprechen empfohlenen

Tafel 7. DIN- und ISA-Passungen — Gesamt-

(Fortsetzung von S. 464 und 465.)

Nach

Nennmaß- bereich mm	Wellen							Bohrungen		Wellen						
	ISA	Laufsitz	ISA	Leichter Laufsitz	e ISA	Weiter Laufsitz	ISA	Schlichtbohrung	ISA	Schlichtgleitsitz	ISA	ISA	Schlichtlaufsitz	ISA	ISA	
	g 6	L	f 7	LL	e 8	WL	d 9	s B	H 8	s G	h 8	h 9	s L	f 8	e 9	
1 bis 3	3	9	7	18	14	30	20	18	14	0	0	0	9	7	14	
über 3	10	18	16	30	28	50	45	0	0	18	14	25	30	21	39	
bis 6	4	12	10	25	20	40	30	25	18	0	0	0	12	10	20	
über 6	12	25	22	40	38	60	60	0	0	25	18	30	40	28	50	
bis 10	5	15	13	30	25	50	40	30	22	0	0	0	15	13	25	
über 10	14	30	28	50	47	75	76	0	0	30	22	36	50	35	61	
bis 18	6	18	16	35	32	60	50	35	27	0	0	0	18	16	32	
über 18	17	35	34	60	59	90	93	0	0	35	27	43	60	43	75	
bis 30	7	22	20	45	40	70	65	45	33	0	0	0	22	20	40	
über 30	20	45	41	70	73	110	117	0	0	45	33	52	70	53	92	
bis 40	9	25	25	50	50	80	80	50	39	0	0	0	25	25	50	
über 40	25	50	50	80	89	130	142	0	0	50	39	62	80	64	112	
bis 50																
über 50								60	46	0	0	0	30	30	60	
bis 65	10	30	30	60	60	100	100	0	0	60	46	74	100	76	134	
über 65	29	60	60	100	106	150	174	0	0	0	0	0	0	0	0	
bis 80																
über 80								70	54	0	0	0	35	36	72	
bis 100	12	35	36	70	72	120	120	0	0	70	54	87	120	90	159	
über 100	34	70	71	120	126	180	207	0	0	0	0	0	0	0	0	
bis 120																
über 120								80	63	0	0	0	40	43	85	
bis 140	14	40	43	80	85	140	145	0	0	80	63	100	140	106	185	
über 140	39	80	83	140	148	200	245	0	0	0	0	0	0	0	0	
bis 160																
über 160								90	72	0	0	0	45	50	100	
bis 180	15	45	50	90	100	150	170	0	0	90	72	115	150	122	215	
über 180	44	90	96	150	172	220	285	0	0	0	0	0	0	0	0	
bis 200																
über 200		45		90		150		90		0			45			
bis 225		90		150		220		0		90			150			
über 225		50	56	100	110	170	190	100	81	0	0	0	50	56	110	
bis 250	17	100	108	170	191	250	320	0	0	100	81	130	170	137	240	
über 250	49	100	108	170	191	250	320	0	0	0	0	0	0	0	0	
bis 260 ¹⁾		50		100		170		100		100			50			
über 260 ¹⁾		100		100		170		0		0		130	170			
bis 280		50		100		170		100		0			50			
über 280		100		100		170		0		100			170			
bis 315		50		100		170		100		0			50			
über 315		100		100		170		0		100			170			
bis 355		50		100		170		100		0			50			
über 355		100		100		170		0		100			170			
bis 360 ¹⁾	18	50	62	100	125	170	210	100	89	0	0	0	50	62	125	
über 360 ¹⁾	54	100	119	170	214	250	350	0	0	100	89	140	170	151	265	
bis 400		60		120		200		120		0			60			
über 400		120		200		280		0		120			200			
bis 450	20	60	68	120	135	200	230	120	97	0	0	0	60	68	135	
über 450	60	120	131	200	232	280	385	0	0	120	97	155	200	165	290	
bis 500																
DIN	7160 Bl. 1	21	7160 Bl. 1	20	7160 Bl. 1	52	7160 Bl. 1	148	7161 Bl. 2	151	7160 Bl. 2	7160 Bl. 2	150	7160 Bl. 1	7160 Bl. 1	

ISA-Sitzn. — Beim Ersatz von DIN-Sitzen durch ISA-Sitze ist in jedem Falle, d. h. für jeden Nennmaßbereich an Hand der Zahlenwerte zu untersuchen, welcher ISA-Sitz dem betreffenden DIN-Sitz am besten entspricht. Für die für die Abnahme von Werk-

übersicht — Einheitsbohrung — Nennabmaße.

DIN 7165.

(Fortsetzung von S. 464 und 465.)

Wellen		Bohrungen		Wellen										Nennmaß- bereich
Weiter Schlicht- laufsitz	ISA	Grob- g B	H II	Grob- sitz g 1	ISA	Grob- sitz g 2	ISA	Grob- sitz g 3	ISA	ISA	ISA	Grob- sitz g 4	ISA		mm
—	d 10	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	20	50	60	0	0	30	20	50	60	140	100	270	1	bis 3
60	60	0	0	50	60	80	80	100	120	200	180	330		
40	30	80	75	0	0	40	30	80	70	140	150	270	über	3
80	78	0	0	80	75	120	105	150	145	215	250	345	bis	6
50	40	100	90	0	0	50	40	100	80	150	200	280	über	6
100	98	0	0	100	90	150	130	200	170	240	300	370	bis	10
60	50	100	110	0	0	60	50	100	95	150	250	290	über	10
120	120	0	0	100	110	200	160	250	205	260	350	400	bis	18
70	65	150	130	0	0	70	65	150	110	160	300	300	über	18
150	149	0	0	150	130	250	195	300	240	290	450	430	bis	30
									120	170		310	über	30
80	80	150	160	0	0	80	80	150	280	330	350	470	bis	40
180	180	0	0	150	160	250	240	350	130	180	500	320	über	40
									290	340		480	bis	50
									140	190		340	über	50
100	100	200	190	0	0	100	100	200	330	380	400	530	bis	65
200	220	0	0	200	190	300	290	400	150	200	600	360	über	65
									340	390		550	bis	80
									170	220		380	über	80
120	120	200	220	0	0	120	120	200	370	440	450	600	bis	100
250	260	0	0	200	220	350	340	450	180	240	700	410	über	100
									400	460		630	bis	120
									200	260		460	über	120
									450	510		710	bis	140
140	145	250	250	0	0	140	145	250	210	280	500	520	über	140
280	305	0	0	250	250	400	395	500	460	530	800	770	bis	160
									230	310		580	über	160
									480	560		830	bis	180
									240	340		660	über	180
									530	630		950	bis	200
150	170	250	290	0	0	150	170	250	260	380	550	740	über	200
320	355	0	0	250	290	450	460	550	550	670	900	1030	bis	225
									280	420		820	über	225
									570	710		1110	bis	250
150		250		0		150		250	300	480	550	920	über	250
320		0		250		450		550	620	800	900	1240	bis	260 ¹⁾
170	190	300	320	0	0	170	190	300	300	480	600	920	über	260 ¹⁾
350	400	0	0	300	320	500	510	600	620	800	1000	1240	bis	280
170		300		0		170		300	330	540	600	1050	über	280
350		0		300		500		600	650	860	1000	1370	bis	315
170		300		0		170		300	360	600	600	1200	über	315
350		0		300		500		600	720	960	1000	1560	bis	355
170	210	300	360	0	0	170	210	300	400	680	600	1350	über	355
350	440	0	0	300	360	500	570	600	760	1040	1000	1710	bis	360 ¹⁾
200		350		0		200		350	400	680	700	1350	über	360 ¹⁾
400		0		350		550		700	760	1040	1100	1710	bis	400
									440	760		1500	über	400
200	230	350	400	0	0	200	230	350	840	1160	700	1900	bis	450
400	480	0	0	350	400	550	630	700	480	840	1100	1650	über	450
									880	1240		2050	bis	500
149	7160 Bl. 1	159	7161 Bl. 2	163	7160 Bl. 2	162	7160 Bl. 1	161	7160 Bl. 1	7160 Bl. 1	160	7160 Bl. 1	160	DIN

stücken als gleichwertig anzusehenden Toleranzfelder beider Systeme sind noch besondere Angaben in Vorbereitung. — Einführung in die ISA-Passungen siehe DIN 7150. — Weitere empfohlene ISA-Sitze siehe DIN 7154.

Tafel 8. DIN- und ISA-Passungen — Gesamt-Nach

Nennmaßbereich mm	Wellen		Bohrungen										
	Edelwelle eW	ISA h5	Edelfestsitz eF	ISA N6	Edel-treibsitz eT	ISA M6	Edel-hafstsitz eH	ISA K6	Edel-schiebesitz eS	ISA J6	Edel-gfestsitz eG	ISA H6	ISA G6
1 bis 3	—	0	—	4	—	0	—	—	—	+3	—	7	10
über 3	0	5	—	11	—	7	—	—	—	—4	—	0	3
bis 6	6	5	8	5	4	1	0	—	+4	+4	8	8	12
über 6	0	0	10	7	5	3	0	+2	+5	+5	10	9	14
bis 10	7	6	20	16	15	12	10	-7	-5	-4	0	0	5
über 10	0	0	12	9	6	4	0	+2	+6	+6	12	11	17
bis 18	9	8	25	20	18	15	12	-9	-6	-5	0	0	6
über 18	0	0	15	11	8	4	0	+2	+8	+8	15	13	20
bis 30	11	9	30	24	22	17	15	-11	-8	-5	0	0	7
über 30	0	0	18	12	9	4	0	+3	+9	+10	18	16	25
bis 40	13	11	35	28	25	20	18	-13	-9	-6	0	0	9
über 40	0	0	20	14	10	5	0	+4	+10	+13	20	19	29
bis 50	15	13	40	33	30	24	20	-15	-10	-6	0	0	10
über 50	0	0	22	16	11	6	0	+4	+11	+16	22	22	34
bis 65	17	15	45	38	35	28	22	-18	-11	-6	0	0	12
über 65	0	0	25	20	13	8	0	+4	+13	+18	25	25	39
bis 80	20	18	50	45	40	33	25	-21	-13	-7	0	0	14
über 80	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 100	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 100	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 120	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 120	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 140	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 140	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 160	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 160	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 180	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 180	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 200	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 200	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 225	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 225	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 250	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 250	0	0	30	22	15	8	0	+5	+15	+22	30	29	44
bis 260 ¹⁾	22	20	60	51	45	37	30	-24	-15	-7	0	0	15
über 260 ¹⁾	0	0	35	25	18	9	0	+5	+18	+25	35	32	49
bis 280	25	23	70	57	50	41	35	-27	-18	-7	0	0	17
über 280	0	0	35	25	18	9	0	+5	+18	+25	35	32	49
bis 315	25	23	70	57	50	41	35	-27	-18	-7	0	0	17
über 315	0	0	35	25	18	9	0	+5	+18	+25	35	32	49
bis 355	25	23	70	57	50	41	35	-27	-18	-7	0	0	17
über 355	0	0	35	26	18	10	0	+7	+18	+29	35	36	53
bis 360 ¹⁾	25	25	70	62	50	46	35	-29	-18	-7	0	0	18
über 360 ¹⁾	0	0	40	20	20	0	0	+20	+20	+20	40	40	60
bis 400	28	27	80	67	60	50	40	-32	-20	-7	0	0	20
über 400	0	0	40	27	20	10	0	+8	+20	+33	40	40	60
bis 450	28	27	80	67	60	50	40	-32	-20	-7	0	0	20
über 450	0	0	40	27	20	10	0	+8	+20	+33	40	40	60
bis 500	28	27	80	67	60	50	40	-32	-20	-7	0	0	20
DIN	2056	7160 Bl. 2	51	7161 Bl. 2	56	7161 Bl. 2	50	7161 Bl. 2	49	7161 Bl. 2	48	7161 Bl. 2	7161 Bl. 1

Gerade stehende Zahlen: Nennabmaße Lehre Gutseite.

Schräg stehende Zahlen: Nennabmaße Lehre Ausschußseite.

übersicht — Einheitswelle — Nennabmaße.

DIN 7166.

(Fortsetzung auf S. 470 und 471.)

Wellen		Bohrungen													Nennmaßbereich mm	
Feinwelle W	ISA h 6	Preßsitz P	ISA S 7	ISA R 7	Festsitz F	ISA N 7	Treibsitz T	ISA M 7	Haftsitz H	ISA K 7	Schiebesitz S	ISA J 7	Gleitsitz G	ISA H 7		Enger Laufsitz EL
0	0	7	13	10	3	4	0	0	+ 3	-	+ 6	+ 3	9	9	12	1 bis 3
6	7	15	22	19	12	13	9	9	- 6	-	- 3	- 6	0	0	3	über 3
0	0	10	15	11	4	4	0	0	+ 4	-	+ 8	+ 5	12	12	15	bis 6
8	8	22	27	23	15	16	12	12	8	-	- 4	- 7	0	0	4	über 6
0	0	15	17	13	5	4	0	0	+ 5	+ 5	+ 10	+ 8	15	15	20	bis 10
10	9	30	32	28	20	19	15	15	- 10	- 10	- 5	- 7	0	0	5	über 10
0	0	20	21	16	6	5	0	0	+ 6	+ 6	+ 12	+ 10	18	18	25	bis 18
12	11	38	39	34	25	23	18	18	- 12	- 12	- 6	- 8	0	0	6	bis 18
0	0	25	27	20	8	7	0	0	+ 8	+ 6	+ 15	+ 12	22	21	30	über 18
15	13	45	48	41	30	28	22	21	- 15	- 15	- 8	- 9	0	0	8	bis 30
0	0	35	34	25	9	8	0	0	+ 9	+ 7	+ 18	+ 14	25	25	35	über 30
18	16	60	59	50	35	33	25	25	- 18	- 18	- 9	- 11	0	0	9	bis 40
0	0	45	42	30	10	9	0	0	+ 10	+ 9	+ 20	+ 18	30	30	40	über 40
20	19	75	72	60	40	39	30	30	- 20	- 21	- 10	- 12	0	0	10	bis 65
0	0	55	48	32	40	39	30	30	- 20	- 21	- 10	- 12	0	0	10	über 65
0	0	55	78	62	45	45	35	35	- 22	- 25	- 11	- 13	0	0	11	bis 80
22	22	90	58	38	45	45	35	35	- 22	- 25	- 11	- 13	0	0	11	über 80
0	0	65	93	73	11	10	0	0	+ 11	+ 10	+ 22	+ 22	35	35	45	bis 100
25	25	105	66	41	45	45	35	35	- 22	- 25	- 11	- 13	0	0	11	über 100
0	0	65	101	76	45	45	35	35	- 22	- 25	- 11	- 13	0	0	11	bis 120
25	25	105	77	48	50	50	40	40	- 25	- 28	- 13	- 14	0	0	13	über 120
0	0	85	85	50	13	12	0	0	+ 13	+ 12	+ 25	+ 26	40	40	50	bis 140
30	29	130	93	53	50	52	40	40	- 25	- 28	- 13	- 14	0	0	13	über 140
0	0	85	133	93	60	60	45	46	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	bis 160
30	29	130	105	60	60	60	45	46	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	über 160
0	0	85	113	63	15	14	0	0	+ 15	+ 13	+ 30	+ 30	45	46	60	bis 180
30	29	130	119	63	15	14	0	0	+ 15	+ 13	+ 30	+ 30	45	46	60	über 180
0	0	85	123	67	15	14	0	0	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	bis 200
30	29	130	169	113	60	60	45	46	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	über 200
0	0	85	138	74	15	14	0	0	+ 15	+ 13	+ 30	+ 30	45	46	60	bis 225
30	29	130	105	109	60	60	45	46	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	über 225
0	0	85	169	113	60	60	45	46	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	bis 250
30	29	130	138	74	15	14	0	0	+ 15	+ 13	+ 30	+ 30	45	46	60	über 250
0	0	105	130	126	60	60	45	46	- 30	- 33	- 15	- 16	0	0	15	bis 260 ¹⁾
35	32	155	105	138	74	18	14	0	+ 18	+ 16	+ 35	+ 36	50	52	70	über 260 ¹⁾
0	0	105	155	190	126	70	66	50	- 35	- 36	- 18	- 16	0	0	18	bis 280
35	32	155	105	150	78	18	0	0	+ 18	+ 16	+ 35	+ 36	50	52	70	über 280
0	0	105	155	202	130	70	50	50	- 35	- 36	- 18	- 16	0	0	18	bis 315
35	32	155	105	169	87	18	0	0	+ 18	+ 16	+ 35	+ 36	50	52	70	über 315
0	0	105	155	226	144	70	50	50	- 35	- 36	- 18	- 16	0	0	18	bis 355
35	32	155	105	187	93	18	16	0	+ 18	+ 17	+ 35	+ 39	50	57	70	über 355
0	0	105	155	244	150	70	73	50	- 35	- 40	- 18	- 18	0	0	18	bis 360 ¹⁾
35	36	155	120	187	93	20	0	0	+ 20	+ 20	+ 40	+ 43	60	63	80	über 360 ¹⁾
0	0	120	180	244	150	80	60	60	- 40	- 45	- 20	- 20	0	0	20	bis 400
40	40	180	209	103	80	80	60	63	- 40	- 45	- 20	- 20	0	0	20	über 400
0	0	120	272	166	20	17	0	0	+ 20	+ 18	+ 40	+ 43	60	63	80	bis 450
40	40	180	229	109	80	80	60	63	- 40	- 45	- 20	- 20	0	0	20	über 450
0	0	120	292	172	80	80	60	63	- 40	- 45	- 20	- 20	0	0	20	bis 500
40	7160 Bl. 2	55	7161 Bl. 3	7161 Bl. 3	47	7161 Bl. 2	57	7161 Bl. 2	46	7161 Bl. 2	45	7161 Bl. 2	44	7161 Bl. 2	43	DIN

1) Diese Zwischenstufen sind die bisherigen Abgrenzungen der Bereiche im DIN-System. Bei Benutzung der Tafel sind die Bemerkungen auf den Einzelblättern für Nennabmaße zu beachten. Die mit „ISA“ gekennzeichneten Spalten entsprechen empfohlenen

Tafel 8. DIN- und ISA-Passungen — Gesamt-

(Fortsetzung von S. 468 und 469.)

Nach

Nennmaß- bereich mm	Bohrungen							Wellen			Bohrungen				
	ISA	Laufsitz	ISA	Leichter Laufsitz	ISA	Weiter Laufsitz	ISA	Schlicht- welle	ISA	ISA	Schlicht- gleitsitz	ISA	Schlicht- laufsitz	ISA	ISA
	G 7 +	L +	F 7 +	LL +	E 8 +	WL +	D 9 +	s W -	h 8 -	h 9 -	s G +	H 8 +	s L +	F 8 +	E 9 +
1 bis 3	12	20	16	35	28	50	45	0	0	0	18	14	30	21	39
über 3	3	9	7	18	14	30	20	18	14	25	0	0	9	7	14
bis 6	16	30	22	45	38	60	60	0	0	0	25	18	40	28	50
über 6	4	12	10	25	20	40	30	25	18	30	0	0	12	10	20
bis 10	20	35	28	55	47	80	76	0	0	0	30	22	50	35	61
über 10	5	15	13	30	25	50	40	30	22	36	0	0	15	13	25
bis 18	24	40	34	65	59	100	93	0	0	0	35	27	60	43	75
über 18	6	18	16	35	32	60	50	35	27	43	0	0	18	16	32
bis 30	28	50	41	80	73	120	117	0	0	0	45	33	70	53	92
über 30	7	22	20	45	40	70	65	45	33	52	0	0	22	20	40
bis 40	34	60	50	95	89	140	142	0	0	0	50	39	80	64	112
über 40	9	25	25	50	50	80	80	50	39	62	0	0	25	25	50
bis 50															
über 50															
bis 65	40	70	60	110	106	160	174	0	0	0	60	46	100	76	134
über 65	10	30	30	60	60	100	100	60	46	74	0	0	30	30	60
bis 80															
über 80															
bis 100	47	80	71	130	126	180	207	0	0	0	70	54	120	90	159
über 100	12	35	36	70	72	120	120	70	54	87	0	0	35	36	72
bis 120															
über 120															
bis 140															
über 140	54	95	83	150	148	210	245	0	0	0	80	63	140	106	185
bis 160	14	40	43	80	85	140	145	80	63	100	0	0	40	43	85
über 160															
bis 180															
über 180															
bis 200															
über 200	61	105	96	170	172	240	285	0	0	0	90	72	150	122	215
bis 225	15	45	50	90	100	150	170	90	72	115	0	0	45	50	100
über 225															
bis 250															
über 250		105		170		240		0			90		150		
bis 260 ¹⁾		45		90		150		90			0		45		
über 260 ¹⁾	69	120	108	190	191	270	320	0	0	0	100	81	170	137	240
bis 280	17	50	56	100	110	170	190	100	81	130	0	0	50	56	110
über 280		120		190		270		0			100		170		
bis 315		50		100		170		100			0		50		
über 315		120		190		270		0			100		170		
bis 355		50		100		170		100			0		50		
über 355	75	120	119	190	214	270	350	0	0	0	100	89	170	151	265
bis 360 ¹⁾	18	50	62	100	125	170	210	100	89	140	0	0	50	62	125
über 360 ¹⁾		140		220		300		0			120		200		
bis 400		60		120		200		120			0		60		
über 400															
bis 450	83	140	131	220	232	300	385	0	0	0	120	97	200	165	290
über 450	20	60	68	120	135	200	230	120	97	155	0	0	60	68	135
bis 500															
DIN	7161 Bl. 1	42	7161 Bl. 1	41	7161 Bl. 1	53	7161 Bl. 1	154	7160 Bl. 1	7160 Bl. 2	157	7161 Bl. 2	156	7161 Bl. 1	7161 Bl. 1

ISA-Sitzen. — Beim Ersatz von DIN-Sitzen durch ISA-Sitze ist in jedem Falle, d. h. für jeden Nebenmaßbereich an Hand der Zahlenwerte zu untersuchen, welcher ISA-Sitz dem betreffenden DIN-Sitz am besten entspricht. Für die für die Abnahme von Werk-

übersicht — Einheitswelle — Nennabmaße.

DIN 7166.

(Fortsetzung von S. 468 und 469.)

Bohrungen		Wellen		Bohrungen										Nennmaß- bereich mm
Weiter Schlicht- laufsitz s WL +	ISA D10 +	Grob- welle g W -	ISA h11 -	Grobsitz g1 +	ISA H11 +	Grobsitz g2 +	ISA D11 +	Grobsitz g3 +	ISA C11 +	ISA B11 +	Grobsitz g4 +	ISA A11 +		
60	60	0	0	50	60	80	80	100	120	200	180	330	1 bis 3	
30	20	50	60	0	0	30	20	50	60	140	100	270	über 3	
80	78	0	0	80	75	120	105	150	145	215	250	345	bis 6	
40	30	80	75	0	0	40	30	80	70	140	150	270	über 6	
100	98	0	0	100	90	150	130	200	170	240	300	370	bis 10	
50	40	100	90	0	0	50	40	100	80	150	200	280	über 10	
120	120	0	0	100	110	200	160	250	205	260	350	400	bis 18	
60	50	100	100	0	0	60	50	100	95	150	250	290	über 18	
150	149	0	0	150	130	250	195	300	240	290	450	430	bis 30	
70	65	150	130	0	0	70	65	150	110	160	300	300	über 30	
									280	330		470	bis 40	
180	180	0	0	150	160	250	240	350	120	170	500	310	über 40	
80	80	150	160	0	0	80	80	150	290	340	350	480	bis 50	
									130	180		320	über 50	
									330	380		530	bis 65	
200	220	0	0	200	190	300	290	400	140	190	600	340	über 65	
100	100	200	190	0	0	100	100	200	340	390	400	550	bis 80	
									150	200		360	über 80	
									390	440		600	bis 100	
250	260	0	0	200	220	350	340	450	170	220	700	380	über 100	
120	120	200	220	0	0	120	120	200	400	460	450	630	bis 120	
									180	240		410	über 120	
									450	510		710	bis 140	
280	305	0	0	250	250	400	395	500	200	260		460	über 140	
140	145	250	250	0	0	140	145	250	460	530	800	770	bis 160	
									210	280	500	520	über 160	
									480	560		830	bis 180	
									230	310		580	über 180	
									530	630		950	bis 200	
320	355	0	0	250	290	450	460	550	240	340		660	über 200	
150	170	250	290	0	0	150	170	250	550	670	900	1030	bis 225	
									260	380	550	740	über 225	
									570	710		1110	bis 250	
									280	420		820	über 250	
320		0		250		450		550	620	800	900	1240	bis 260 ¹⁾	
150		250		0		150		250	300	480	550	920	über 260 ¹⁾	
350	400	0	0	300	320	500	510	600	620	800	1000	1240	bis 280	
170	190	300	320	0	0	170	190	300	300	480	600	920	über 280	
350		0		300		500		600	650	860	1000	1370	bis 315	
170		300		0		170		300	330	540	600	1050	über 315	
350		0		300		500		600	720	960	1000	1560	bis 355	
170		300		0		170		300	360	600	600	1200	über 355	
350	440	0	0	300	360	500	570	600	760	1040	1000	1710	bis 360 ¹⁾	
170	210	300	360	0	0	170	210	300	400	680	600	1350	über 360 ¹⁾	
400		0		350		550		700	760	1040	1100	1710	bis 400	
200		350		0		200		350	400	680	700	1350	über 400	
									840	1160		1900	bis 450	
400	480	0	0	350	400	550	630	700	440	760	1100	1500	über 450	
200	230	350	400	0	0	200	230	350	880	1240	700	2050	bis 500	
									480	840		1650	über 500	
155	7161 Bl. 1	164	7160 Bl. 2	169	7161 Bl. 2	167	7161 Bl. 1	166	7161 Bl. 1	7161 Bl. 1	165	7161 Bl. 1	DIN	

stücken als gleichwertig anzusehenden Toleranzfelder beider Systeme sind noch besondere Angaben in Vorbereitung. — Einführung in die ISA-Passungen siehe DIN 7150. Weitere empfohlene ISA-Sitze siehe DIN 7155.

Tafel 9. ISA-Passungen. Nennabmaße der Wellen in μ . (Nach DIN 7160.)

Durchmesserbereich	1-3	über 3-6	über 6-10	über 10-18	über 18-30	über 30-50	über 50-80	über 80-120	über 120-180		
5. Qualität	g5	-3	-4	-11	-14	-16	-9	-10	-12	-14	-32
	h5	0	-5	-6	-8	-9	0	0	0	0	-18
	j5	+4	+4	-2	3	4	6	6	6	7	11
	k5	-	+7	+1	9	11	13	13	18	21	3
	m5	+7	+9	+6	15	17	20	20	24	28	33	15
6. Qualität	n5	+11	+13	+10	20	24	28	33	38	45	27
	g6	-3	-10	-4	-12	-5	-14	-6	-17	-7	-39
	h6	0	-7	-8	-11	-13	-9	-16	-10	-14	-25
	j6	+6	+7	-2	8	9	11	11	12	13	11
	k6	-	+10	+1	12	15	18	18	21	25	28	3
7. Qualität	m6	+9	+12	+6	18	21	25	30	35	40	15
	n6	+13	+16	+8	23	28	33	37	45	52	27
	p6	+16	+20	+12	29	35	42	46	51	59	43
	e7	-14	-23	-20	32	40	46	50	60	72	-107
	f7	-7	-16	-10	22	28	34	41	50	60	-83
8. Qualität	h7	0	-9	-12	-18	-18	0	21	30	0	-40
	j7	+7	+9	-3	12	13	15	18	20	22	18
	k7	+15	-	+16	19	23	27	34	41	48	3
	m7	-	-	+21	27	33	40	49	58	67	15
	n7	+6	+20	+8	30	36	42	50	60	72	27
9. Qualität	d8	-20	-34	-30	48	50	58	68	80	106	-208
	e8	-14	-28	-20	38	47	50	60	72	85	-148
	f8	-7	-21	-10	28	35	43	50	60	72	-106
	h8	0	-18	-18	27	33	40	46	54	63	0
	j8	+7	+9	-9	14	17	20	23	27	32	-31
10. Qualität	k8	+14	+18	+22	27	33	39	46	54	63	0
	d9	-20	-45	-30	60	65	75	80	92	106	-243
	e9	-14	-39	-25	61	75	90	112	134	159	-185
	h9	0	-25	-36	43	52	62	74	87	100	0
	j9	+13	-12	+18	22	26	31	37	44	50	0
11. Qualität	k9	+25	+30	+36	43	52	62	74	87	100	0
	d10	-20	-60	-40	98	120	149	180	220	260	-305
	h10	0	-40	-58	70	84	100	120	140	160	0
	j10	+20	+24	+29	35	42	50	60	70	80	0
	k10	+40	+48	+58	70	84	100	120	140	160	0
11. Qualität	d11	-20	-80	-40	130	160	195	240	290	340	-395
	h11	0	-60	-90	110	130	160	190	220	250	0
	j11	+30	+38	+45	55	65	80	95	110	125	0
	k11	+60	+75	+90	110	130	160	190	220	250	0

Tafel 10. ISA-Passungen. Nennabmaße der Bohrungen in μ . (Nach DIN 7161.)

Durchmesserbereich	1—3		über 3—6		über 6—10		über 10—18		über 18—30		über 30—50		über 50—80		über 80—120		über 120—180		
	+3	+10	+4	+12	+5	+14	+6	+17	+7	+20	+9	+25	+10	+29	+12	+34	+14	+39	
6. Qualität	G 6	0	+7	+8	0	+9	0	+11	0	+13	0	+16	0	+19	0	+22	0	+25	
	H 6	-4	+3	-4	+4	-5	+6	-5	+8	-6	+10	-6	+13	-7	+16	-7	+18		
	K 6	-	-	-	-	-7	-9	-2	-11	-13	-3	-15	-5	-14	-18	-4	-21		
	M 6	-7	0	-9	-1	-12	-3	-15	-4	-17	-4	-20	-4	-25	-28	-6	-33		
	N 6	-11	-4	-13	-5	-16	-7	-20	-9	-24	-11	-28	-12	-33	-38	-16	-45		
	E 7	+14	+23	+20	+32	+25	+40	+32	+50	+61	+50	+75	+60	+90	+72	+107	+85		
7. Qualität	F 7	+7	+16	+10	+22	+13	+28	+34	+41	+41	+50	+30	+60	+60	+36	+71	+83		
	G 7	+3	+12	+4	+16	+5	+20	+24	+28	+9	+34	+10	+40	+40	+12	+47	+54		
	H 7	0	+9	0	+12	0	+15	0	+18	0	+21	0	+25	0	+30	0	+40		
	J 7	-6	+3	-7	+5	-7	+8	+10	+12	-9	+12	+14	-12	+18	-13	+22	-14	+26	
	K 7	-	-	-	-	-10	+5	-12	+6	-15	+6	-18	+7	-21	+10	-28	+12		
	M 7	-9	0	-12	0	-15	0	-18	0	-21	0	-25	0	-30	0	-35	0	0	
	N 7	-13	-4	-16	-4	-19	-4	-23	-5	-28	-7	-33	-8	-39	-9	-45	-10	-52	
8. Qualität	P 7	-16	-7	-20	-8	-24	-9	-29	-11	-35	-14	-42	-17	-51	-21	-59	-24	-68	
	D 8	+20	+34	+30	+48	+40	+62	+50	+77	+65	+80	+119	+100	+146	+120	+174	+145	+208	
	E 8	+14	+28	+20	+38	+25	+47	+32	+59	+40	+73	+50	+89	+106	+72	+126	+85	+148	
	F 8	+7	+21	+10	+28	+13	+35	+16	+43	+20	+53	+25	+64	+60	+36	+90	+43	+106	
	H 8	0	+14	0	+18	0	+22	0	+27	0	+33	0	+39	0	+46	0	+54	+63	
	J 8	-7	+7	-9	+9	-10	+12	-12	+15	-13	+20	-15	+24	-18	+28	-20	+34	-22	+41
	K 8	-	-	-	-	-16	+6	-19	+8	-23	+10	-27	+12	-32	+14	-38	+16	-43	+20
	N 8	-15	-1	-20	-2	-25	+3	-30	-3	-36	+3	-42	-3	-50	-4	-58	-4	-67	-4
9. Qualität	D 9	+20	+45	+30	+60	+40	+76	+50	+93	+65	+117	+80	+142	+100	+174	+207	+145	+245	
	E 9	+14	+39	+20	+50	+25	+61	+32	+75	+40	+92	+50	+112	+60	+134	+72	+159	+85	
	H 9	0	+25	0	+30	0	+36	0	+43	0	+52	0	+62	0	+74	0	+87	0	
10. Qualität	J 9	-13	+12	-15	+15	-18	+18	-22	+21	-26	+26	-31	+31	-37	+37	-44	+43	-50	
	D 10	+20	+60	+30	+78	+40	+98	+50	+120	+65	+149	+80	+180	+100	+220	+120	+260	+305	
	H 10	0	+40	0	+48	0	+58	0	+70	0	+84	0	+100	0	+120	0	+140	0	
11. Qualität	J 10	-20	+20	-24	+29	-29	+35	-35	+42	-50	+50	-60	+60	-70	+70	-80	+80	-80	
	D 11	+20	+80	+30	+105	+40	+130	+50	+160	+65	+195	+80	+240	+100	+290	+120	+340	+445	
	H 11	0	+60	0	+75	0	+90	0	+110	0	+130	0	+160	0	+190	0	+220	0	
	J 11	-30	+30	-38	+45	-45	+55	-55	+65	-65	+80	-80	+95	-95	+110	-110	+110	-125	

mit dem Kleinstmaß (Gutseite) sich einführen läßt, die mit dem Größtmaß (Ausschußseite) jedoch nicht, und wenn die Wellenlehre (Rachenlehre) mit dem Größtmaß (Gutseite) sich über die Welle schieben läßt, mit dem Kleinstmaß (Ausschußseite) jedoch nicht, Abb. M 9 a und b.

Für die Ausschußseite der Bohrungslehren werden Lehrdorne oder Meßkörper mit verminderter Berührungsfläche bis 100 mm, darüber hinaus

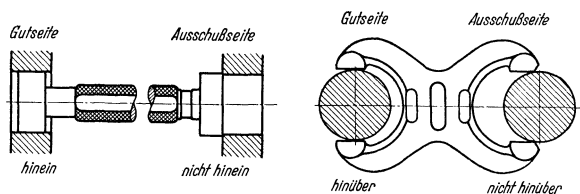


Abb. M 9 a und b.

Kugelendmaße oder ähnliche Meßmittel dann empfohlen, wenn es darauf ankommt, daß die Formgenauigkeit der Bohrungen die Grenzmaße nicht überschreitet. Entsprechend dem Taylorschen Grundsatz¹⁾ werden beim Lehren auf der Gutseite alle Bestimmungsgrößen gemeinsam gelehrt, auf der Ausschußseite jede Bestimmungsgröße einzeln.

Die Grenzlehren (**Arbeitslehren**), deren Abmaße auf den Seiten 464 bis 471 gebracht sind, müssen mit größter Genauigkeit hergestellt werden, wofür in DIN 7162 Toleranzen festgelegt sind. Sie dürfen auch nicht über eine bestimmte Abnutzungsgrenze (siehe Tafel 11 und 12) hinaus benutzt werden, da sonst nicht mehr der gewünschte Sitz erreicht wird.

Tafel 11. Zulässige Vergrößerung der Grundtoleranzen infolge Abnutzung der Gutseite der Arbeitslehren in μ .

Nach DIN 7151 (ISA-Passungen).

Lehren für	Qual.	Abnutzungsstufen								
		1 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 10	über 10 bis 18	über 18 bis 30	über 30 bis 50	über 50 bis 80	über 80 bis 120	über 120 bis 180
Außenmaße (Wellen)	5	1	1	1	1,5	2	2	2	3	3
	6	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4
	7	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4
	8	3	3	3	4	4	5	5	6	6
Innenmaße (Bohrungen)	6	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3
	7	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4
	7	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4
	8	3	3	3	4	4	5	5	6	6

Das DIN-System sieht **Abnahmelehren** vor, d. h. die Lehren, die vom Besteller (vor allem von Behörden) zur Prüfung der Werkstücke auf Einhaltung der Toleranz benutzt werden können. Hierfür sind vom Normenausschuß besondere Abmaße vorgeschlagen, die die Herstellungstoleranz und die Abnutzung der Arbeitslehren berücksichtigen.

Die Herstellungstoleranz der Abnahmelehren ist für die Gut- und Ausschußseite gleich der für die Ausschußseite der Arbeitslehren in DIN 2057 festgesetzten. In der Praxis werden Abnahmelehren nur selten verwendet.

¹⁾ Kienzle: Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937, S. 505.

Tafel 12. Zulässige Abnutzung der Arbeitslehren-Gutseite
im DIN-Passungs-System nach DIN 2060.

Abnutzungswerte in μ ($1 \mu = 0,001 \text{ mm}$).

Im System Einheitswelle.

Durchmesserbereich mm	Rachenlehren				Lehrdorne, Flachlehren, Kugelendmaße						
	Edel- passung	Fein- passung	Schlicht- passung	Grob- passung	Edel- passung	Feinpassung			Schlicht- passung	Grob- passung	
					alle Sitze	P. F. T. H. S. G. EL.	L	LL	WL	alle Sitze	
1 - 3	—	1,5	3	9	—	2	2,5	3	3	3	9
über 3 - 6	1,5	2	5	12	2	3	3	4	5	5	12
„ 6 - 10	2	2,5	5	15	2,5	3,5	4	5	5	5	15
„ 10 - 18	2,5	3	8	18	3	4	5	6	8	8	18
„ 18 - 30	3	4	8	22	4	5	6	8	8	8	22
„ 30 - 50	3,5	4,5	10	25	4,5	6	7	9	10	10	25
„ 50 - 80	4	5	12	30	5	7	8	10	12	12	30
„ 80 - 120	4,5	6	15	35	6	8	9	11	15	15	35
„ 120 - 180	5	7	15	40	7	9	10	13	15	15	40
„ 180 - 260	6	8	20	45	8	10	12	15	20	20	45
„ 260 - 360	7	9	20	50	9	12	14	18	20	20	50
„ 360 - 500	8	10	25	60	10	14	16	20	25	25	60
Paßeinheiten	0,2	0,25	0,6	1,5	0,25	0,35	0,4	0,5	0,6	0,6	1,5

Im System Einheitsbohrung.

Durchmesserbereich mm	Lehrdorne, Flachlehren, Kugelendmaße				Rachenlehren						
	Edel- passung	Fein- passung	Schlicht- passung	Grob- passung	Edel- passung	Feinpassung			Schlicht- passung	Grob- passung	
					alle Sitze	P. F. T. H. S. G. EL.	L	LL	WL	alle Sitze	
1 - 3	—	2	3	9	—	1,5	2	2,5	3	3	9
über 3 - 6	2	3	5	12	1,5	2	3	3	4	5	12
„ 6 - 10	2,5	3,5	5	15	2	2,5	3,5	4	5	5	15
„ 10 - 18	3	4	8	18	2,5	3	4	5	6	8	18
„ 18 - 30	4	5	8	22	3	4	5	6	8	8	22
„ 30 - 50	4,5	6	10	25	3,5	4,5	6	7	9	10	25
„ 50 - 80	5	7	12	30	4	5	7	8	10	12	30
„ 80 - 120	6	8	15	35	4,5	6	8	9	11	15	35
„ 120 - 180	7	9	15	40	5	7	9	10	13	15	40
„ 180 - 260	8	10	20	45	6	8	10	12	15	20	45
„ 260 - 360	9	12	20	50	7	9	12	14	18	20	50
„ 360 - 500	10	14	25	60	8	10	14	16	20	25	60
Paßeinheiten	0,25	0,35	0,6	1,5	0,2	0,25	0,35	0,4	0,5	0,6	1,5

Die Lehren erhalten eine Beschriftung, die das Passungssystem, Nennmaß, Abmaß und Sitzart angibt, und einen Farbanstrich zur Kenntlichmachung des Gütegrades (Tafel 4). Die Ausschußseite wird außerdem noch durch einen roten Farbstreifen gekennzeichnet. Die Abnahmelehren erhalten zur Unterscheidung von den Arbeitslehren als besonderes Kennzeichen noch einen weißen Farbring bzw. Farbstrich. In DIN 249, 1811, 1812 und 7180 sind Richtlinien für die Kennzeichnung und Beschriftung der Arbeits-Abnahme und -Prüflehren aufgestellt.

Um die Abnutzung der Lehren zu verringern und somit die Gebrauchsdauer zu verlängern, werden die Meßflächen auch verchromt oder wie bei den Rachenlehren mit Hartmetallplättchen versehen. Im letzteren Fall wird eine etwa 40fache Lebensdauer erreicht.

Bei häufigem Wechsel in der Fertigung, kleinen Stückzahlen, in Instandsetzungswerkstätten, für selten vorkommende Sitze werden mit Vorteil die auf einen Bereich von mehreren Millimetern verstellbaren Rachenlehren verwendet, bei denen durch Verstellen der Meßflächen einesteils die verschiedenen Sitze innerhalb des Meßbereiches eingestellt wie auch die Abnutzung ausgeglichen werden können.

Alle Lehren bedürfen, um Fehlerarbeiten zu vermeiden, einer dauernden Überwachung auf ihre Maßgenauigkeit. Zur Prüfung der Grenzbohrungslehren dienen Prüfrachenlehren (im ISA-System nicht vorgesehen), besser aber ist der Vergleich mit Parallel-Endmaßen durch Fühlhebelgeräte oder Meßmaschine. Die Grenzwellenlehren werden durch Meßscheiben oder Meßstäbe geprüft¹⁾. Die Herstellungsgenauigkeit der Prüflehren s. DIN 2058 und 7162. Am wichtigsten ist die Maßüberwachung der Urmaße, der Parallel-Endmaße (Herstellungsgenauigkeit s. S. 435), die die Grundlage des gesamten Meßwesens in einer Maschinenfabrik sind. Durch Messung mit dem Interferenzkomparator von Zeiss, der ihre Länge in Lichtwellenlängen auswertet, ist eine zuverlässige Sicherung bis auf Bruchteile eines tausendstel Millimeters möglich (vgl. S. 70 und 443). Die Gebrauchsnormale, ebenfalls Parallel-Endmaße, die periodisch mit den Urmaßsätzen verglichen werden, dienen in der Hauptsache zur Einstellung von Meßmaschinen und -Geräten.

Grundsatz muß sein, in die Werkstatt nur geprüfte Lehren hinauszugeben. Zweckmäßig ist es, in der Werkstatt nur neue Lehren zu benutzen und die (noch nicht unzulässig) abgenutzten Lehren in der Abnahme zu verwenden. Regelmäßige Maßüberwachung ist eine selbstverständliche Forderung.

Auch der zweckmäßigen Aufbewahrung der Lehr- und Meßgeräte in der Ausgabe und am Standort des Arbeiters ist ein besonderes Augenmerk zu schenken. Schutz vor Feuchtigkeit und starker Erwärmung; Aufbewahrung in besonderen Behältern; Ablegen auf Filzplatten oder Tuch an der Maschine.

c) Besonderes für Lehren der ISA-Passungen.

Als **Arbeitslehren** werden die gleichen Lehrenarten wie im DIN-System verwendet. Die Werte für Herstellungsgenauigkeit und Abnutzung sind aber gegenüber DIN herabgesetzt. Die Herstellungsgenauigkeit für die Aus-

¹⁾ Zur Berücksichtigung der elastischen Aufbiegung durch die Meßkraft bei der Verwendung von Fühlhebeln s. Schorsch: Rachenlehrenprüfung mit Innenmeßgeräten. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1940, S. 21.

schußlehre liegt wie bei DIN symmetrisch zum Ausschußmaß des Werkstückes, dagegen ist das Gesamtfeld für Herstellung und Abnutzung der Gutlehre weiter in das Toleranzfeld für das Werkstück hineingeschoben, um so ein Überschreiten des Abmaßes bei Abnutzung der Lehre möglichst zu verringern und den Sitzcharakter besser wahren zu können.

Von einer Normung der **Abnahmelehren** ist im ISA-System abgesehen worden.

Jedes Werkstück gilt als abnahmefähig, wenn es für gut befunden wird, mit Lehren, die die äußersten Maße haben, die für Arbeitslehren (Abnutzung einbegriffen) festgelegt sind. Für die Abnahme der Werkstücke sind also die in den Tafeln gebrachten Nenn-Abmaße nur unter Berücksichtigung der Abnutzung (s. DIN 7162) maßgebend.

Bei den **Prüflehren** wurde von einer Normung von Prüflehren für Bohrungslehren Abstand genommen, da diese am zweckmäßigsten unmittelbar mit Endmaßen verglichen werden.

Als Prüflehren für die Wellenarbeitslehren (Rachenlehren) finden Meßscheiben und Endmaße mit Zylinderflächen Anwendung. Vorgesehen ist die Prüfung der neuen und abgenutzten Gutseite und der Ausschußseite. Die Herstellungsgenauigkeit der Prüflehre liegt immer symmetrisch zu dem zu prüfenden Maß der Arbeitslehre und ist enger als die Arbeitslehre (DIN 7162).

Die **Beschriftung und Kennzeichnung der Grenzarbeitslehren** erfolgt in Deutschland in Angleichung zu den DIN-Lehren (DIN 249); statt der Sitzbezeichnung werden bei den ISA-Lehren dem Nennmaß die Symbole für Toleranzfeld und Qualität hinzugefügt (z. B. 35 H 7). Die ISA-Lehren sind für alle Qualitäten schwarz zu streichen und mit dem Zeichen ISA zu versehen. Bei Auslandslieferungen sind gegebenen Falles die Sonderbestimmungen der einzelnen Länder zu berücksichtigen.

Die **Eintragung der Kurzzeichen in Zeichnungen** ist international nicht festgelegt und erfolgt in Deutschland zweckmäßig wie bei den DIN-Passungen in der Weise, daß die Kurzzeichen für Bohrungen über, die für die Wellen unter die Maßlinie gesetzt werden.

Zahlentafeln und DIN-Blätter.

Das Urheberrecht an den veröffentlichten Zahlen und Auszügen aus DIN-Blättern steht für Deutschland dem Deutschen Normenausschuß zu. Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes in DIN-Format A 4, das durch den Beuth-Vertrieb, GmbH., Berlin SW 68, zu beziehen ist.

d) Anwendungsbeispiele für die Passungen¹⁾.

Edel- und Feinpassung.

Für die Erfordernisse des Feinmaschinenbaues, insbesondere bei Werkzeugmaschinen und bei Maschinen, die in bezug auf Genauigkeit ähnliche Anforderungen stellen (z. B. Zigarettenmaschinen), gelten die Abmaße der Edel- und Feinpassung.

Die Edelpassung kommt nur für die festen Sitze (Fest-, Treib-, Haft-, Schiebe- und Gleitsitz in Frage, wenn besonders hohe Ansprüche an die Gleichartigkeit der Ausführung gestellt werden.

Der **Preßsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die unter allen Umständen festsitzen müssen und mit großem Druck zusammengefügt werden. Die Festigkeit der Verbindung ist von Form und Werkstoff der zu verbindenden Körper abhängig. Für gewisse Preßsitzverbindungen des Großmaschinenbaues sind größere Übermaße erforderlich.

Anwendungsbeispiele: Bronzekränze auf gußeisernen Zahn- und Schneckenrädern; Lagerbuchsen in Gehäusen, Zahnrädern und Pleuelstangen; Ankerbleche, Ventilatornaben, Lagerschilde in Bahnmotoren; Induktorkörper.

Der **Festsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die unter allen Umständen sicher festsitzen müssen. Die Paßteile können nur unter Druck zusammengefügt oder auseinandergenommen werden, sie sind jedoch gegen Verdrehung besonders zu sichern.

Anwendungsbeispiele: Radkränze auf Radkörpern, Lagerbuchsen in Lagerkörpern, Planscheiben auf Arbeitsspindeln der Kopfbänke, aufgezoogene Bunde auf Spindeln oder Wellen; Schwinghebel und Kurbeln auf Wellen, eingesetzte Zapfen in Walzen, Schneckenräder sowie alle Teile, welche während ihres Umlaufes Stöße auszuhalten haben, wie Hubscheiben und Antriebsräder auf Wellen von Schüttelapparaten, Bronzekränze auf gußeisernen Zahn- und Schneckenradkörpern, Feldbahnräder auf Achsen, ungeteilte Kupplungen auf Wellenenden, Läufer von Dynamomaschinen, Winkelhebel auf Wellen, geteilte Reibungskupplungen und Zahnräder auf Motorwellen (z. B. bei Straßenbahnen).

Der **Treibsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die stets festsitzen müssen und nur unter größerem Kraftaufwand, mit Handhammer, zusammengefügt oder auseinandergetrieben werden können. Die Teile sind gegen Verdrehung zu sichern.

Anwendungsbeispiele: Zahnräder, für die der Festsitz mit Rücksicht auf den Ausbau nicht anwendbar ist und die unbedingt festsitzen sollen und gegen Verdrehen durch Federn und gegen Längsverschiebungen gesichert sind, Riemenscheiben, Kugellager-Innenringe auf Wellen.

Der **Haftsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die festsitzen sollen und ohne erheblichen Kraftaufwand mit dem Handhammer zusammengefügt oder auseinandergenommen werden können. Die Teile sind gegen Verdrehung und auch gegen Verschiebung zu sichern.

¹⁾ Nach Gramenz DIN-Buch 4 „Die Passungen und ihre Anwendung“.

Anwendungsbeispiele: Teile, die durch Keile fest auf- oder nur selten abgekeilt werden, Lagerbuchsen in Rädern, Zahnräder auf Arbeitsspindeln (Drehbänke), Kuppelscheiben, Kugellager-Innenringe, Handräder, Handhebel u. dgl. auf Wellen, Steuer- oder Regulatorantriebsräder sowie Exzenterkörper auf Steuerwellen, Schwungräder auf Wellen, Turbinenlaufräder, Bremsscheiben, alle treibenden und getriebenen Teile, wenn sie auf einem Wellenende oder -ansatz sitzen und ein fester Sitz nicht erforderlich ist, Kugellager-Innenringe auf Wellen für mittlere Belastung, Anker auf Ankerwellen, einzutreibende einteilige Lagerbuchsen, Stopfbuchsenfutter, gehärtete Buchsen für Steuerungshebel.

Der **Schiebesitz** wird bei Paßteilen verwendet, die von Hand oder mit Holzhammer zusammengefügt oder auseinandergenommen werden können.

Anwendungsbeispiele: Teile, die oft auseinandergenommen werden müssen und durch Keile oder Vorbohren gegen Drehung gesichert sind, ruhende Achsen in ihren Lagerstellen, oft auszubauende Lagerbuchsen und Handräder, Kugellager-Außenringe in Gehäusen, Wechselräder, Zentrierungen, Stellringe, Kreiselräder auf Wellen, Kugellager-Innenringe für leichte Belastung, zylindrische Kolbenstangenansätze im Kreuzkopf, Gabelzapfen der Steuerung.

Der **Gleitsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die sich bei Verwendung von Schmiermitteln von Hand eben noch verschieben lassen.

Anwendungsbeispiele: Pinole im Reitstock, Säulenführung der Radialbohrmaschinen, Bohrköpfe auf Bohrstangen, Stellringe, Wechselräder auf Wellen, Fräser auf Fräsdornen, Griffzapfen in Handrädern, Kolben für Ölbremse, lose Buchsen für Kolbenbolzen, Kugellager-Außenringe in Gehäusen, ausrückbare Kupplungsscheiben, aufzukeilende ungeteilte Scheiben und Reibungskupplungen auf Wellen, Zentrierflansche für Rohrleitungen und Ventile.

Der **Enge Laufsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die ineinander beweglich sein und kein merkliches Spiel haben sollen.

Anwendungsbeispiele: Ziehkeilräder, Rammschieber der Stoßmaschinen, leerlaufende Kupplungsteile für präzise Antriebe, Teilkopfspindeln, Spindellager an Patronenbänken und Schleifmaschinen, Schubzahnrad in Wechselgetrieben, Indexstifte an Teilköpfen in Führungsbuchsen, Kurbelstangenlager, Indikator Kolben, Regulier-, Steuer- und Isodromkolben für indirekte Regulierungen, verschiebbare Kupplungen.

Der **Laufsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die ineinander beweglich sein und ein merkliches Spiel haben sollen.

Anwendungsbeispiele: Gewöhnliche genaue Lagerungen für Getriebewellen u. dgl., Sprengringe oder Reibungskupplungen, Hauptlager an Drehbänken, Fräs- und Bohrmaschinen, Kardanwellen, Kurbelwellen, Nockenwellen in Buchsen oder Lagern, sämtliche Lagerungen an Regulatoren und Beharrungsgehäusen, Hülsen und Gleitmuffen auf Wellen, Führungssteine in Führungen, Lagerstellen in Räder- und Schneckenkästen.

Der **Leichte Laufsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die ineinander beweglich sein und reichliches Spiel haben sollen.

Anwendungsbeispiele: Gewindespindeln an Supporten, Konsolen, mehrfach gelagerte Wellen.

Der **Weite Laufsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die ineinander beweglich sein und sehr reichliches Spiel haben sollen. Das Spiel beträgt im Mittel das $1\frac{1}{2}$ fache mittlere Spiel des Leichten Laufsitzes.

Anwendungsbeispiele: Genaue Transmissionen und Vorgelege, sehr schnelllaufende Maschinen, Sonderfälle, in denen sehr großes Spiel mit großer Genauigkeit eingehalten werden soll, Lagerschalen von Turbo-Generatoren.

Schlichtpassung.

Die Schlichtpassung wird bei Paßteilen verwendet, wenn die Anforderungen an die Gleichartigkeit der Sitze nicht so groß wie bei der Feinpassung sind, aber eine gewisse Eigenart der einzelnen Sitze gewahrt bleiben soll.

Die Schlichtpassung gilt für die Bewegungssitze; für die Ruhesitze sind Bohrungslehren (Wellenlehren) der Feinpassung zu verwenden. Der sich ergebende Sitz ist dann höchstens so fest wie der Sitz, den diese Bohrungslehre in der Feinpassung ergibt, im allgemeinen aber lockerer.

Der **Schlichtgleitsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die sich leicht ineinanderfügen und betriebsmäßig verschieben lassen sollen, ohne daß die Einhaltung eines satten Sitzes im Sinne der Feinpassung erforderlich ist.

Anwendungsbeispiele: Stellringe, Handkurbeln, Zahnräder, einteilige feste Riemenscheiben, Kupplungen usw., die über Wellen geschoben werden müssen.

Der **Schlichtlaufsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die ineinander beweglich sein und merkliches bis reichliches Spiel haben sollen.

Anwendungsbeispiele: Achsbuchsen der Vorderräder im Kraftfahrbau, Hauptlager der Kurbelwellen, Kurbelstangenlager, Kolbenstangenfürungen, Schieberstangen, Ventilspindeln bei Verbrennungsmotoren, Kolben und Kolbenschieber in Zylindern, Plunger in Buchsen; Dynamolager, Walzenlager, Lager für Kreiselpumpen-, Zahnradpumpen- und Ventilatorwellen, lose laufende Seilrollen, Stopfbuchsenbrillen, verschiebbare Muffen bei Kupplungen usw., Zapfen am Schieberstangenkreuzkopf, Steuerwellenlager.

Der **Weite Schlichtaufsitz** wird bei Paßteilen verwendet, die ineinander beweglich sein und sehr reichliches Spiel haben sollen.

Anwendungsbeispiele: Lager für Motorpflüge, Achsbuchsen für Fuhrwerke, Lager für landwirtschaftliche Maschinen, die auf unebenem Boden fahren sollen, Transmissionslager, Losscheiben. Zentrierungen von Zylinder- und Schieberkastendeckeln, Stopfbuchsenanteile, Breite für Kolbenringe, Drehzapfen an der Schwinge.

Grobpassung.

Die Grobpassung wird bei Paßteilen verwendet, für die ein erhebliches Spiel zulässig und große Herstellungstoleranzen erforderlich sind, oder bei sehr lockeren Sitzen zur Vermeidung des Festsitzens durch Rostansatz.

Der **Grobsitz g₁** wird bei Paßteilen verwendet, die sich leicht zusammenstecken lassen sollen und bei denen trotz der großen Herstellungstoleranzen ein möglichst geringes Spiel vorhanden sein soll.

Anwendungsbeispiele: Distanzbuchsen, Teile, die zusammengesteckt und verschweißt werden, Teile, die auf Wellen verstiftet, festgeschraubt oder festgeklemmt werden, Lager für Hebelschalter, Bohrungen in Handkurbeln und Hebeln, Schreibmaschinenteile, Schieberstangenfürung, Scharnierbolzen für Feuertüren.

Der **Grobsitz g_2** wird bei Paßteilen mit großen Herstellungstoleranzen verwendet, deren Beweglichkeit durch ein gewisses Kleinstspiel unter allen Umständen gewahrt werden soll, ohne daß unzulässig große Größtspiele entstehen können.

Anwendungsbeispiele: In allen Fällen, in denen der Grobsitz g_1 zu stramm wird, wenn die Teile nach der Gutseite ausfallen, z. B. bei weiten Laufsitzen unter Verwendung von gezogenem Werkstoff mit Genauigkeit $-10 PE$, abnehmbare Hebel und Kurbeln, Hebel- und Gabelbolzen, Lager für Rollen, Lager für Drehkurbel, Bohrungen in Federgehäusen, die gleichzeitig als Federführungen dienen; in der Feinmechanik für Teile, die – z. B. auch in vernickeltem Zustande – austauschbar zusammengesteckt werden sollen, Lagerung von Hebelachsen und Gelenkstiften, Stativzapfen mit Klemmhülsen, Nietzapfen und Nietbuchsen, Achsen an Apparaten, die häufig in axialer Richtung bewegt werden.

Der **Grobsitz g_3** wird bei Paßteilen mit großen Herstellungstoleranzen verwendet, die ein Kleinstspiel von $10 PE$ haben sollen.

Anwendungsbeispiele: Lager für landwirtschaftliche Maschinen, Haushaltmaschinen, Schnappstifte für Schalthebel, Achslagerung für Drehschalter, Drehzapfen im Eisenbahnwagenbau.

Der **Grobsitz g_4** wird bei Paßteilen mit großen Herstellungstoleranzen verwendet, die sehr locker sitzen und ein Kleinstspiel von $20 PE$ haben soll.

Anwendungsbeispiele: Reglerwelle an Lokomotiven, Rauchkammertüren, Feder- und Bremsgehänge, Bremswellenlager, Buchsen in Schiebetürrollen von Eisenbahn- und Straßenfahrzeugen, Kuppelbolzen für Lokomotiven.

Schrifttum.

- Kienzle: Das ISA-Toleranzsystem. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1935, S. 354. Berlin: Julius Springer.
- Kienzle: Der heutige Stand der Toleranz- und Prüfsysteme für Werkstückabmessungen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1936, S. 501.
- Kienzle: Feste Lehren im ISA-System. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1936, S. 503.
- Leinweber: Toleranzen und Lehren. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1940.
- Kienzle: Wege zum zuverlässigen Werkstückmaß. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937, S. 505.
- Kienzle: Auffinden geeigneter Sitze der ISA-Passungen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 19.
- Leinweber: Probleme der Meßtechnik für den Großverbraucher. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 514.
- Leinweber: Passungsgrundlagen des Austauschbaues. Masch.-Bau, Betrieb 1940, S. 299.
- Schorch: Rachenlehrenprüfung mit Innenmeßgeräten. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1940, S. 21.
- Dreyhaupt: Lehrdorne mit Vorführansatz. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1940, S. 261.

e) ISA-Wälzlagerpassungen.

Die Wälzlagerpassungen sind international noch nicht festgelegt. Die folgende Festlegung lehnt sich an Vorschläge von Törnebohm an, die in Heft 2 der Kugellagerzeitschrift 1931 veröffentlicht sind. Auf internationaler Vereinbarung beruhen die Toleranzen für Bohrung und Mantel.

Zu der folgenden Zusammenstellung ist zu bemerken:

„Umlaufende Welle“ bedeutet: Die Welle läuft bezüglich der Belastungsrichtung um, oder die Belastungsrichtung läuft bezüglich der stillstehenden Welle um.

„Umlaufendes Gehäuse“ bedeutet: Das Gehäuse läuft bezüglich der Belastungsrichtung um oder die Belastungsrichtung läuft bezüglich des stillstehenden Gehäuses um.

„Unbestimmt“ bedeutet: Bei hoher Drehzahl, aber geringem Gewicht oder sich drehenden Teilen kann oft nicht geklärt werden, welche Belastung überwiegt und für die Passung maßgebend sein sollte.

Ausführliche Angaben über Wälzlager in Jürgensmeyer, Die Wälzlager, Berlin, Jul. Springer, 1936.

Gehäuse.

ISA	Sitzart	Belastungsfall	Beispiele
P 7	Leichter Preßsitz	„Umlaufendes Gehäuse“	Stark belastete, schnelllaufende schmale Rollenlager, Automobil-Vorderräder (Gehäuse dünnwandig), Laufrollen für Hebezeuge, Zentrifugen
N 7	Festsitz	„Umlaufendes Gehäuse“	Pendelrollenlager auf Kugellager bei starker Belastung; für Spann- und Seilrollen; Automobil-Vorderräder (Gehäuse dickwandig)
M 7	Treibsitz	„Umlaufendes Gehäuse“ Allzu feste Passung mit Rücksicht auf Ein- und Ausbau nicht wünschenswert	Spannrollen, Seilrollen, Transportrollen (für leichtere Belastung)
M 6	Treibsitz bis Haftsitz	„Unbestimmt“ Verschiebbarkeit im Gehäuse nicht notwendig	Für offene Rollenlager Für kleine Kugellager in Aluminiumgehäusen
K 6 oder K 7	Haftsitz	„Unbestimmt“ Bremswirkung zur Verhinderung von Rotation im Gehäuse wünschenswert	Lagersitze für Schleifspindeln und vertikale Spindeln in Holzbearbeitungsmaschinen
J 6	Schiebesitz	„Umlaufende Welle“ oder „Unbestimmt“ Verschiebbarkeit im Gehäuse notwendig oder wünschenswert	Elektromotoren, Werkzeugmaschinen
J 7	Looser Schiebesitz bis leichter Haftsitz	„Umlaufende Welle“ Wenn die Passungen K 6 und J 6 verwendet werden können	Offene Rollenlager, Zylinderrollenlager, Kegelrollenlager
H 7	Gleitsitz	„Umlaufende Welle“ Leichte Verschiebbarkeit im Gehäuse wünschenswert	Kugellagereinbauten für Automobile und allgemeinen Maschinenbau
H 8	Gleitsitz	„Umlaufende Welle“ Niedrige Drehzahlen	Transmissionsgehäuse

Wellen.

ISA	Sitzart	Belastungsfall	Beispiele
g 6	Schiebesitz	„Umlaufendes Gehäuse“ Der Innenring ist auf der Welle leicht verschiebbar	Vorderräder von Automobilen, Losräder von Transportwagen, kleine Laufrollen von Hängebahnen
h 6	Haftsitz bis Schiebesitz	„Umlaufendes Gehäuse“ Der Innenring ist nicht immer leicht verschiebbar auf der Welle	Hinterräder von Automobilen, Spannrollen, Seilscheiben
h 5	Haftsitz	„Unbestimmt“ Kleine unbedeutende Belastung, hohe Drehzahl	Tachometer, Licht- und Zündmaschinen, Staubsauger, Separatoren, kleine elektr. Apparate
j 5	Treibersitz	„Unbestimmt“ oder „Umlaufende Welle“ Belastungsfähigkeit der Lager nicht voll ausgenutzt. Lager können verhältnismäßig leicht ausgebaut werden	Werkzeugmaschinen-Vorgelege, kleine schnelllaufende Elektromotoren (bis etwa 25 oder 30 mm Wellendurchmesser)
j 6	Festsitz bis Treibersitz	„Umlaufende Welle“ Die Belastungsfähigkeit des Lagers nur selten ausgenutzt. Große Toleranzen wünschenswert	Getriebekästen in Automobilen, Kreissägen, Registrierwalzen, Leitwalzen, außerdem Längslager
k 5	Festsitz	„Umlaufende Welle“ Tragfähigkeit normal ausgenutzt	Kugellagereinbauten im allgemeinen, kleine und mittlere Elektromotoren, Zylinderrollenlager der leichten Reihen
k 6	Preßsitz bis Festsitz	„Umlaufende Welle“ Tragfähigkeit normal ausgenutzt Die Lagerluft begrenzt nicht das obere Abmaß	Kegelrollenlager auf umlaufender Welle
m 5	Preßsitz	„Umlaufende Welle“ Große Belastungen	Stark belastete Kugellager (nicht für leichte Reihe, für mittlere u. schwere nur über 50 mm Bohrung), Zylinderrollenlager der mittelschweren Reihen, Pendelrollenlager der leichten Reihen
m 6	Preßsitz	„Umlaufende Welle“ Sehr große Stoßbelastungen	Zylinderrollenlager der schweren Reihen, Pendelrollenlager der mittelschweren Reihen. Achslager für Schienenfahrzeuge
n 5	Preßsitz	„Umlaufende Welle“ Sehr große Belastungen	Zylinderrollenlager der schweren Reihen, Pendelrollenlager der mittelschweren Reihen
n 6	Preßsitz	„Umlaufende Welle“ Sehr große Stoßbelastungen Große Toleranzen wünschenswert	Wie bei n 5 und m 6
h 10	—	Spannhülsenlager	Für einfache Betriebsverhältnisse
h 7	—	Spannhülsenlager Bei hoher Drehzahl oder großer Belastung	Eisenbahn-Achsbuchsen, Hammermühlen, raschlaufende Ventilatoren

f) Preß- und Schrumpfsitze.

Anwendungsbereich.

Mit Preß- oder Schrumpfsitz wird eine Verbindung von meist zylindrischen Maschinenteilen bezeichnet, bei denen vor dem Zusammenfügen der Teile Übermaß vorhanden ist. Preßsitze werden durch äußere Kräfte, Schrumpfsitze mit Hilfe von Wärmeunterschieden der Teile gefügt. „Mehrfache Preß- bzw. Schrumpfsitze“ sind aus 3 oder mehr ineinandersitzenden Teilen aufgebaut. Die Paßflächen sind zylindrisch, aber auch kegelig, flach oder sonst beliebig geformt.

Preß- und Schrumpfsitze sind Werkstoff und Bearbeitung sparende Verbindungen mit einfacher Fügeweise, die bei Berechnung und Gestaltung auf Grund zuverlässiger Unterlagen Sicherungen gegen Verdrehen (z. B. Federn, Keile, Kerbzähne) entbehrlich machen. Dadurch können in vielen Fällen Wellen ohne Keilnut glatt ausgeführt und dabei schwächer gehalten werden, da auch örtliche Spannungsanhäufung durch Kerbwirkung am Nutengrund fortfällt. Als besonderen Vorzug bieten sie sichere Gleichmittigkeit der gefügten Teile; Kegelpreßsitze darüber hinaus noch Einhaltung einer gewünschten Lage des Außenteils in Längsrichtung (ohne Anlage) in engen Grenzen; Ersparnis von Wellenabsätzen.

Wiederholte Lösbarkeit.

Preßsitze¹⁾. Falls nur mit elastischen Formänderungen gefügt, („Rein elastische Preßsitze“) unbedenklich mehrfach lös- und wieder ffügbar. Nach Erfahrung und Forschung ist der Haltekraftabfall nicht mehr als 10 . . . 15 %. Gleiches gilt, wenn in Zonen des Außenteils bleibende Formänderungen aufgetreten sind („Halbplastische Preßsitze“). Diese Sitze verhalten sich wie nach vorheriger Verdichtung des Werkstoffes des Außenteils, z. B. durch Aufdornen. „Vollplastische Preßsitze“ sind noch nicht genügend erforscht. Für den Entwurf können, falls erforderlich, Spannungen bis zur unteren Fließgrenze unbedenklich zugelassen werden, solange keine besonders ungünstigen sonstigen Verhältnisse dagegen sprechen.

Schrumpfsitze²⁾ sind nur dann durch Temperaturunterschied wieder lösbar, wenn beim Lösen das Innenteil gekühlt wird (Trockeneis). In diesen Fällen mehrfach ffügbar. Im Mittel höhere Haltekkräfte, also stets schwerer zu lösen als Preßsitze mit gleichem Übermaß. Falls bei der Erwärmung die Sitzfläche verzundet, sind die Teile nicht mehrfach ffügbar. Die vorzuschreibenden Übermaße sind durch begrenzte Erwärmungsmöglichkeit der Werkstoffe stark beschränkt. Sonderfügevorrichtungen verhindern vorzeitigen Wärmeübergang.

Fügeweise.

Preßsitze werden auf senkrechten oder waagerechten Pressen beliebiger Bauart gefügt. Es ist zweckmäßig, ein Diagramm vom Verlauf der Einpreßkraft aufzunehmen, Schmiermittel vermerken. Höchste Einpreßkraft dauerhaft vermerken (Reichsbahn: aufschlagen).

Schrumpfsitze gleichmäßig erwärmen. Geeignet sind Blei-, Salz- oder Ölbäder, elektrische oder Gasöfen mit geregelter Atmosphäre; nur für große und sperrige Werkstücke unmittelbar Gasflammen. Letztere geben

¹⁾ S. Werth: Austauschbare Längspreßsitze. VDI-Forschungsheft 383. Berlin 1937

²⁾ D. Wassileff: Austauschbare Querpreßsitze. VDI-Forschungsheft 390. Berlin 1938.

Unregelmäßigkeiten in der Pressung wegen ungleichmäßiger Formänderungen. Möglichst vermeiden.

Begriffsbestimmungen.

„Übermaß U “ ist der Betrag, um den das Innenteil größer als das Außenteil gemessen wurde. Zur Berechnung der Spannungen davon abziehen: „Übermaßverlust ΔU “, errechnet aus Rauheitsgrößen des Außenteils und des Innenteils H_A und H_I zu $\Delta U = 1,2 \cdot (H_A + H_I)$. Dadurch gefunden Haftmaß $Z = U - 1,2 (H_A + H_I)$, Grundlage für Festigkeitsrechnung. Übermaß und Haftmaß häufig ausgedrückt in Tausendsteln des Nenndurchmessers.

Spez. Übermaß $\beta = 1000 \cdot U$ (in mm)/ D (in mm) = U (in μ)/ D (in mm),
 Spez. Haftmaß $\zeta = 1000 Z$ (in mm)/ D (in mm) = Z (in μ)/ D (in mm).

„Pressung p “ in der Preßfuge eine unmittelbarer Messung bisher nicht zugängliche Rechnungsgröße.

„Kräfte“. Es werden unterschieden Einpreß-(größt-)kraft P_e , Auspreßsitzkraft P_s und Auspreßbrutschkraft P_r . Bei Rüttellast sinkt Sitzkraft auf den Betrag der Rutschkraft, meist $P_r = 2 \cdot P_s/3$. Gleiche Unterscheidungen und gleiche Gesetzmäßigkeit bei Verdrehmomenten. „Haftbeiwert ν “ wird aus gemessenen Haltekräften oder -drehmomenten, gerechneter Pressung p und wirksamer Preßfläche F errechnet und darf nicht mit dem Reibungsbeiwert μ für Metall auf Metall verwechselt werden. ν kann für Preß- oder Schrumpfsitze mit ähnlichen Verhältnissen zur Vorausbestimmung der Haltekräfte herangezogen werden.

Normen.

Preß- und Schrumpfsitze sind in den ISA-Passungen weitgehend erfaßt¹⁾. DIN 7154 „Empfohlene Sitze“ sieht vor (Einheitsbohrung): 8 Übermaßsitze der alten Edel-, 9 der alten Fein- und 7 der alten Schlichtpassung,

Tafel 13. Kleinste Übermaße, in ‰ des Nennmaßes, für genormte Preß- und Schrumpfsitze.

Systeme Einheitsbohrung und Einheitswelle gleich aufgebaut; hier Beispiel Einheitsbohrung, Sitzfamilie H 7-Welle 6 (alte „Feinpassung“). Die Gesetzmäßigkeit gilt streng nur für den Nennmaßbereich 50 . . . 500 mm.

Lfd. Nr.	Sitz	Bezogenes kleinstes Übermaß $\beta = 1000 \cdot U/D$	Bemerkungen
1	H 7 - p 6	—	} Übermaße sehr klein, Sitze sinu interpoliert
2	H 7 - r 6	—	
3	H 7 - s 6	0,4	Die Zahlenwerte sind (bis auf 1,25 und 2,00) aus der Normzahlreihe R 10 entnommen und wachsen daher um je $\approx 60\%$ an.
4	H 7 - t 6	0,63	
5	H 7 - u 6	1,00	
6	H 7 - v 6	1,25	
7	H 7 - x 6	1,60	
8	H 7 - y 6	2,00	
9	H 7 - z 6	2,50	

¹⁾ Kienzle: Die Preßsitze im ISA-Passungssystem. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, Heft 19, S. 421—428.

Tafel 14a. Haftbeiwerte ν (ν_s und ν_r) bei Längspresssitzen.

Forscher, Jahr	Nenn- durchmesser	Werkstoffe		Zustand der Preß- fuge (Bearbeitung)	Schmiermittel	Haftbeiwerte ν 1)
		Bolzen	Buchse			
C. F. Mac Gill 1913	$3\frac{1}{8} \dots 20''$ (88,90 ... 508 mm)	Stahl	Stahl Gußeisen	Keine Angaben	Keine Angaben	$0,077 \dots 0,33$ } Mittel aus 200 Versuchen: $0,053 \dots 0,30$ } 0,17
Huggenberger 1926 (Werte von Horger u. Nel- son errechnet)	250 mm	Stahl	Stahlguß	Beide Teile geschliffen	90% Talg, 10% Öl $U = 20 \mu$ $U = 40 \mu$	$0,106 \dots 0,122$ $0,155 \dots 0,201$
N. N. Sawin 1928	$0,315 \dots 8,2''$ $= 8 \dots 210$ mm	Stahl	Stahl gehärtet	Beide Teile geschliffen	Rapsöl	Einpr.: $0,054 \dots 0,22$ Mittel: 0,11
J. G. Ritter 1930	$6\frac{1}{8}'' = 165$ mm	Stahl, kegelig be- arbeitet, gehärtet	Stahl gehärtet	Beide Teile geschliffen	Keine Angaben	Auspr.: $0,15 - 0,17 - 0,21$ Mittel: 0,18
J. W. Baugher 1930	Keine Angabe	C-Stahl gehärtet	C-Stahl gehärtet	Beide Teile geschliffen Ein Teil nicht geschliffen	Keine Angaben	Mittel aus 123 Versuchen { 0,086 0,091
J. W. Baugher 1930	$5\frac{1}{4}'' = 133$ mm	Stahl ölgehärtet Brinellhärte 175	Stahlgußstern gehärtet, Brinell- harte 160 ... 260	Beide Teile geschliffen	Bleiweiß + Maschinenöl	Einpr.: $0,11 - 0,11 - 0,11 - 0,14$ Mittel: 0,12 Auspr.: $0,14 - 0,14 - 0,12 - 0,15$ Mittel: 0,14
J. W. Baugher 1930	$6\frac{1}{16}'' = 154$ mm	C-Stahl ölgehärtet Brinellhärte ≈ 170	C-Stahl ölgehärtet Brinellhärte ≈ 170	Beide Teile geschliffen	Bleiweiß + Maschinenöl	Ein: $0,075 \dots 0,25$ Mittel aus 15 Versuchen: 0,15
F. Streiff 1934	300 mm	SM-Stahl	Gußeisen	Welle geschliffen, Bohrung sauber gedreht	Talg	ν_s 0,100 ν_r
S. Werth 1937	$5 \dots 30$ mm	Stahl 50.11 Brinellhärte 185	Stahl 50.11 Brinellhärte 148 ... 192	$(\nu = 120$ mm/min) $(\nu = 1200$ mm/min)	Maschinenöl	$0,086 \dots 0,25$ 0,097 ... 0,17 0,05 ... 0,095
S. Werth 1937						

S. Werth 1937	5 ... 18 mm		Gußbeisen Brinellhärte 187			0,09 ... 0,17	0,07 ... 0,12
S. Werth 1937		Stahl 50.11 Brinellhärte 185		Bohrung gerieben	Rübölersatz	0,12	—
S. Werth 1937	5 ... 30 mm		Stahl 50.11	Bohrung sauber ausgebohrt	Talg	0,045	—
S. Werth 1937					Talg	0,063	—
Tafel 14 b. Haftbeiwerte ν (ν_s) und ν_r bei Querpreßsitzen.							
J. W. Baugher 1930	5 1/4" \approx 133 mm	Stahl ölgehärtet Brinellhärte 175	Stahlgußsterne gehärtet, Brinell- härte 160 ... 260	Beide Teile geschliffen	} Schrupfspitze { Nicht angegeben	0,16 ... 0,17	
J. G. Ritter 1930	6 1/8" \approx 165 mm (mittlerer Dmr.)	Stahl kegelig be- arbeitet, gehärtet	Stahl gehärtet	Beide Teile geschliffen		Auspr.: 0,21 ... 0,23	
S. Timoshenko u. L.S. Jacobsen 1930	2 1/8" \approx 63 mm				Dehnsitze	0,25 ... 0,33	
P. Meyer 1938					Schrumpfsitz mit feinkörnigem Karbonium	0,65 (Messung aus Reibungsversuch)	
Wassileff 1938	18 mm	St 50. 11 Brinellhärte 220	St 50. 11 Brinellhärte 188	Bolzengeschliffen, Buchse gerieben	Buchse in Öl er- wärmt, Verdrehen	ν_{su} 0,13 ... 0,24	ν_{ru} 0,08 ... 0,19
Wassileff 1938	18 mm	St 50. 11 Brinellhärte 220	St 50. 11 Brinellhärte 188	Bolzengeschliffen, Buchse gerieben	Auspressen	ν_{sl} 0,14 ... 0,36	ν_{rl} 0,055 ... 0,12
Wassileff 1938	18 mm	St 50. 11 Brinellhärte 220	St 50. 11 Brinellhärte 188	Bolzengeschliffen, Buchse gerieben	Bolzen in flüssiger Luft gekühlt, ausgepreßt	0,16 ... 0,40	0,065 ... 0,16
Wassileff 1938	18 mm	St 50. 11 Brinellhärte 220	St 50. 11 Brinellhärte 188	Bolzengeschliffen, Buchse gerieben	Buchse in Luft erwärmt, oxydiert U = 18 ... 30 μ	0,35 ... 0,395	0,15 ... 0,155

1) Wo im Schrifttum nicht gesagt ist, ob der Haftbeiwert im Sitz oder beim Rutschen gemeint ist, ist nicht zwischen ν_s und ν_r unterschieden.

DIN 7155 entsprechend für Einheitswelle. Preßsitze mit gleichem Lagebuchstaben haben über alle Nenndurchmesser gleiches spez. Kleinstübermaß, nach Tafel 13. Häufig angewendete Sitze (kleine Nabenlängen und kleine Nenndurchmesser vorausgesetzt) H 7 - v 7 für Stahl- und Stahlgußnaben ($\beta_{\min} = 1,25$), H 7 - u 6 für Gußeisennaben ($\beta_{\min} = 1,00$), H 7 - t 6 für Gußbronzenaben ($\beta_{\min} = 0,63$). Bei großen Nenndurchmessern Übergang auf nächstleichteren Sitz der gleichen Qualität. H 7 - z 7 sichert fast stets nur rein elastische Formänderung. Die Normung von Sitzen mit noch größeren Übermaßen ist in Vorbereitung.

Besondere Einflüsse auf die Haltekräfte.

Durch Beachtung der folgenden Besonderheiten bei Entwurf, Herstellung, Messung, Fügung und im Gebrauch ist weitgehende Beeinflussung der Haltekräfte möglich.

Entwurf. Spannungsverteilung festgelegt durch geometrische Abmessungen. Große Übermaße schaffen große Pressungen p , durch dicke Außenteile noch verstärkbar. An Randzonen der Sitzlänge ergibt sich Spannungsabfall gegen gerechneten Mittelwert. Zusätzliche Beanspruchungen, z. B. auf Biegung, berücksichtigen. Einfluß plastischer Verformung um so undurchsichtiger, je breiter die plastisch verformte Zone ist. Wellen erhalten kegelförmigen Ansatz mit $10 \dots 15^\circ$ eingeschlossenem Winkel, um glattes Fügen ohne Spanbildung zu ermöglichen.

Herstellung. Gute Oberflächen mit geringen Rauheitsgrößen H halten Übermaßverluste klein, dadurch höchste Haltekräfte. Enge Formtoleranzen verhindern Streuungen der Einpreßkräfte.

Fügung. Schmiermittel bzw. Erwärm-(Abkühl-)Weise legen stärksten Einfluß auf Haltekräfte in die Hände der Werkstatt. Verwendet werden u. a. Maschinenöl, Rüböl, Leinöl, Bleiweiß + Maschinenöl, Talg + Maschinenöl, Talg allein (ungünstig!) für Preßsitze; Maschinenöle, Anlaßöle, Härtebadflüssigkeiten, neutrale, oxydierende Atmosphären, flüssige Kohlen säure, flüssige Luft für Schrumpfsitze. Zusammenstellung errechneter Haftbeiwerte s. Tafel 14 a und b¹).

Einpreßgeschwindigkeit nicht zu hoch, sonst Haftkraft beträchtlich herabgesetzt. Zweckmäßig etwa höchstens 120 mm/min für Stahl in Stahl.

Gebrauchsweise. Preß- und Schrumpfsitze sind empfindlich gegenüber rüttelnder Belastung. Absinken der Haltekräfte auf etwa $\frac{2}{3}$ derjenigen bei zügiger Belastung. Wirkung von hohen Gebrauchstemperaturen bei Sitzen von Werkstoffen mit verschiedenen Wärmedehnungszahlen nachprüfen. Gefährdung durch Fliehkräfte (Turbinenläufer) untersuchen.

Sitzzeit. Lange Sitzzeiten wirken Haltekraft erhöhend. Nach 48 Stunden erreichen Längspreßsitze erst volle Tragfähigkeit.

Entwurf eines neuen Preß- oder Schrumpfsitzes.

Erforderliche Angaben: Geforderte Haltekraft, Fugendurchmesser, Sitzlänge, Belastungsart (zügig oder rüttelnd), Werkstoffe, Außenmaße des Außenteils, Bearbeitungsgüten (Rauheitsgrößen H), verlangte Wiederlösbarkeit, Schmierung bzw. Erwärmungs- oder Kühlweise, besondere Bedingungen.

¹) Aus Kienzle: Einflüsse auf die Haftbeiwerte in den Fugen von Preßsitzen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, Heft 24, S. 552... 559.

Rechnungsgang: Errechnung der sicherzustellenden Rutschkraft P_r . Mit angenommenen Haftbeiwerten ν Errechnung der kleinsten in der Fuge benötigten Pressung p . Bestimmung des kleinsten vorzuschreibenden Haftmaßes; Zuschlag des Übermaßverlustes, Umrechnung auf $D/1000$ und Auswahl der ISA-Passung, für $0 < \beta < 2,5$. Kontrolle, ob die Grundannahmen für größtes Übermaß keine unzulässigen Spannungen ergibt. Für $\beta > 2,5$ Prüfung, ob die Grundannahmen geändert werden können: Größerer Nenn-durchmesser, längere Sitzfläche, dickeres Außenteil, besserer Werkstoff des Außenteils, feinere Bearbeitung, stärkere Erwärmung bzw. Abkühlung. Dadurch kann β meist unter 2,5 heruntergebracht werden. Falls $\beta = 2,5$ überschritten werden muß, Prüfung, ob bleibende Verformungen zu erwarten sind. Zulässig, wenn genügend elastisch verformte Teile des Außenteils erhalten bleiben.

Schrifttum.

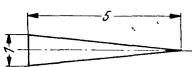
- Baugher, J. W.: Transmission of Torque by means of Press and Shrink Fits. Am. Soc. Mech. Eng. Trans. Bd. 53 (1931) MSP 10, S. 85.
 McGill, C. F.: A Record of Pressed Fits. Am. Soc. Mech. Eng. (1913) S. 1657.
 Horger, O. J. und C. W. Nelson: Design of press- and shrink-fitted assemblies. Journ. appl. Mechanics, XII. 37, S. A 183 und 111, 38, S. A 32.
 Kienzle, O.: Werkstoffersparnis durch zweckmäßige Fertigung. Masch.-Bau/Betrieb 13 (1934) S. 587.
 Kienzle, O.: Die Einflüsse auf die Haftbeiwerte in den Fugen von Preßsitzen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 552.
 Kienzle, O., u. T. Heiss: Die Berechnung einfacher Preßsitze. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938, S. 468.
 Russel, R.: Factors affecting the Grip in Force, Shrink and Expansion Fits. Proc. Inst. Mech. Eng. 125 (1933) S. 493.
 Sawin, N. N.: Research on force fits. Amer. Mach. N. Y. Bd. 68 (1928) S. 889.
 Schmaltz, G.: Oberflächenbeschaffenheit und Passungen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1936, S. 1.
 Streiff, F.: Die Preßsitze im ISA-Toleranzsystem. Schweiz. techn. Z. Bd. 9 (1934) S. 497.

C. Kegel.

Werkzeugkegel. (Nach DIN 228.)

Bezeichnung		Verjüngung	Bezeichnung		Verjüngung
Metrischer Kegel	4	1:20	Morse-Kegel	6	1:19,180
	6			80	
Morse-Kegel	0	1:19,212	Metrischer Kegel	100	1:20
	1	1:20,048		120	
	2	1:20,020		140	
	3	1:19,922		160	
	4	1:19,254		180	
	5	1:19,002		200	
Metrischer Kegel	50	1:20			

Kegel (Verjüngungen). (Nach DIN 254.)

Kegelverjüngung V 1: k	Kegelwinkel α	Einstellwinkel an der Bearbeitungsmaschine $\alpha/2$	Beispiele für die Anwendung		
			Maschinenbau	Werkzeugbau	Schrauben, Niete
1:0,289	120°	60°	Schutzsenkung für Zentrierbohrungen	Spitzsenker DIN 347	Senk-Vierkantschrauben
1:0,350	110°	55°			Linsensenkholzschrauben
1:0,500	90°	45°	Ventilkegel, Bunde an Kolbenstangen	Spitzsenker DIN 335	Blanke Senkschrauben bis $\frac{3}{4}$ " bzw. 20 mm Blanke Linsensenschrauben Senkholzschrauben Rohe Senkschrauben mit Nase Blechniete mit Senkkopf
1:0,652	75°	37° 30'			Senkniete und Linsenskniete von 10 bis 16 mm \varnothing
1:0,866	60°	30°	Dichtungskegel für leichte Rohrverschraubungen, V-Nuten, Zentrierbohrungen	Körnerspitzen Spitzsenker DIN 334	Blanke Senkschrauben von $\frac{7}{8}$ " bis 1" bzw. von 22 bis 27 mm Senkniete und Linsenskniete von 19 bis 25 mm \varnothing
1:1,21	45°	22° 30'			Senkniete und Linsenskniete von 28 bis 43 mm \varnothing
1:1,50	36° 52'	18° 26'	Dichtungskegel für schwere Rohrverschraubungen		
1:1,87	30°	15°		Senker DIN 348	Rohe Kegelsenkschrauben
1:3	18° 56'	9° 28'	Nur im Schiffsmaschinenbau zur Befestigung der Kolbenstange im Kolben und Kreuzkopf		
1:5	11° 25'	5° 42' 30"	Spurzapfen Reibungskupplungen leicht abnehmbare Maschinenteile bei Beanspruchung quer zur Achse und auf Drehung		
1:6	9° 32'	4° 46'	Dichtungskegel für Hähne, Kreuzkopfpapfen für Lokomotiven		
1:10	5° 44'	2° 52'	Kupplungsbolzen nachstellbare Lagerbuchsen, Maschinenteile bei Beanspruchung quer zur Achse auf Drehung u. längs der Achse		
1:15	3° 49'	1° 54' 30"	Kolbenstangen für Lokomotiven, Propellernaben für Schiffe		
Morsekegel	Siehe DIN 231			Schäfte von Werkzeugen und Aufnahmekegel der Werkzeugmaschinenspindeln Reibahnen DIN 204 u. 205	
1:20	2° 52'	1° 26'			
1:30	1° 54' 34"	57' 17"		Bohrungen der Aufsteckreihbahnen und Aufstecksender	
1:50	1° 8' 44"	34' 22"	Kegelstifte	Reibahnen DIN 9	

Kegeldurchmesser: Die großen Durchmesser der Kegel sind der Reihe der Normaldurchmesser nach DIN 323 zu entnehmen. Ausgenommen sind diejenigen für Kegelstifte nach DIN 1 sowie für Schrauben Niete und Morsekegel. Bei Kegel 1:20 sind möglichst die Durchmesser nach DIN 233 zu verwenden da hierfür normale Reihahlen und Lehren vorhanden sind.

Kegellängen: Längen sind für Morsekegel Werkzeugkegel 1:20 und Kegel 1:50 genormt. Werden diese Kegel für andere Zwecke verwendet, so sind die Längen der Kegelbohrungen nicht größer als die vorhandenen Reihahlenlängen zu wählen.

Kegelberechnung.

Zum Drehen eines Kegels ist der Oberteil des Werkzeugschlittens um einen Winkel $\alpha/2$ zu verstellen, der dem halben Kegelswinkel gleich ist (Bild K_1). Der Vorschub muß hierbei allerdings von Hand erfolgen. Bei Drehbänken mit Leitlineal wird dieses auf den $\sphericalangle \alpha/2$ eingestellt und der Vorschub durch Leit- oder Zugspindel bewirkt. Bei sehr langen Stücken, für die das Leitlineal nicht mehr ausreicht oder der Kegel nicht mehr durch Verdrehung des Schlittenoberteils erzeugt werden kann, wird das Werkstück durch Verschiebung der Reitstockspitze um einen Betrag s entsprechend $\alpha/2$ verdreht (Bild K_2). Da aber dann die Körnerspitzen in den Körnerlöchern nicht mehr voll anliegen, wird der für s errechnete Wert geringe Abweichungen vom genauen Kegel ergeben, die durch Versuchseinstellungen zu beseitigen sind, soweit nicht kugelförmige Anlage bevorzugt wird.

Gesucht	Bezeichnung	Berechnung
Größter Kegeldurchmesser mm	D	$V \cdot l + d; \quad 2 \operatorname{tg} \alpha/2 \cdot l + d$
Kleinster Kegeldurchmesser mm	d	$D - V \cdot l; \quad D - 2 \operatorname{tg} \alpha/2 \cdot l$
Kegellänge mm	l	$\frac{D - d}{V}; \quad \frac{D - d}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha/2}$
$1/2$ Kegelswinkel = Verstellwinkel für den Schlitten	$\frac{\alpha}{2}$	$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{2 \cdot l}; \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{V}{2}$
Verstellung der Körnerspitze mm	s	$L \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$ angenähert $= L \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{L \cdot V}{2} = \frac{L \cdot (D - d)}{2l}$
Kegelverjüngung (Koni- zitat)	V	$1 : \frac{l}{D - d}; \quad \frac{D - d}{l}; \quad 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$
Länge des Werkstückes ..	L	

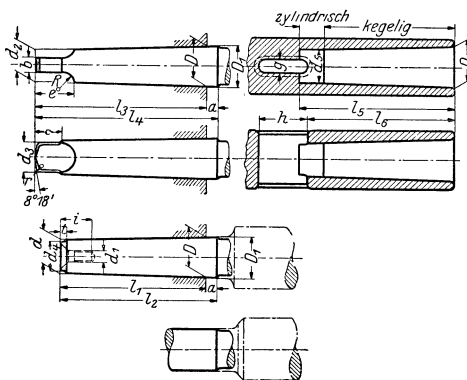
Beispiele:

1. Gegeben: $D = 90 \text{ mm}; d = 50 \text{ mm}; l = 80 \text{ mm}$; gesucht: Einstellwinkel $\frac{\alpha}{2}$.

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{2l} = \frac{90 - 50}{2 \cdot 80} = 0,25, \quad \frac{\alpha}{2} \approx 14^\circ \text{ (s. Tafel S. 32)}$$
 2. Gegeben: $D = 60 \text{ mm}; l = 163 \text{ mm}$; Verjüngung $V = 1 : 20 = 0,05$ (= metr. Kegel Nr. 7); gesucht d . $d = D - V \cdot l = 60 - 0,05 \cdot 163 = 60 - 8,15 = 51,85 \text{ mm}$.
 3. Gegeben: $D = 90 \text{ mm}; d = 50 \text{ mm}; l = 300 \text{ mm}; L = 400 \text{ mm}$; gesucht: Verschiebung s .

$$s = L \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \text{ aus } \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{2l} = \frac{90 - 50}{2 \cdot 300} = 0,0667;$$

$$\frac{\alpha}{2} \approx 3^\circ 50' \quad s = 400 \cdot \sin 3^\circ 50' \approx 400 \cdot 0,0669 \approx 27 \text{ mm}.$$
- Mit Näherungsformel gerechnet: $s = \frac{B \cdot (D - d)}{3 \cdot l} \text{ mm} = \frac{400 \cdot 40}{600} \text{ mm} = \frac{80}{3} \text{ mm} = 27 \text{ mm}.$



Morsekegel. Schaft und Hülse. (DIN 231.)

Den Mitnehmerlappen auf die Länge c abzusetzen, wird empfohlen, ist aber nicht unbedingt erforderlich. Das Maß a ist der Größtwerth des überragenden Kegeldes.

Maße in mm.

Bezeichnung	Schaft									
	D	D_1	d	d_1	d_2	d_3	d_4	l_1	l_2	l_3
Morsekegel 0	9 045	9,212	6,401	—	6 115	5,9	5,5	50 8	54	56,3
„ 1	12 065	12,239	9 371	M 6	8 973	8 7	8	54	57,5	62
„ 2	17,781	17 981	14 534	M 10	14,060	13 6	13	65	69	74,5
„ 3	23,826	24,052	19 760	$\frac{3}{16}$ ''	19,133	18 6	18	81	85 5	93,5
„ 4	31,269	31 544	25 909	$\frac{5}{16}$ ''	25,156	24 6	24	103,2	108,5	117,7
„ 5	44,401	44 732	37 470	$\frac{3}{4}$ ''	36,549	35 7	35	131 7	138	149,2
„ 6	63 350	63,762	53 752	1''	52 422	51 3	50	184 1	192	209 6
„ 7	83 061	83,555	69,853	$1\frac{3}{8}$ ''	68,215	66,8	65	254	263,5	285,5

Bezeichnung	Schaft									
	l_4	a	b	c	e	i	R	r	t	
Morsekegel 0	59 5	3,2	3,9	6 4	10 4	—	4	1	2,5	
„ 1	65 5	3,5	5 2	9 5	14 5	15	5	1,25	3	
„ 2	78 5	4,0	6 3	11,1	17 1	20	6	1 5	4	
„ 3	98	4,5	7 9	14 3	21 3	30	7	2	4	
„ 4	123	5,3	11,9	15 9	24 9	35	9	2,5	5	
„ 5	155 5	6,3	15 9	19 0	30 0	45	11	3	6	
„ 6	217 5	7,9	19 0	28 6	45 6	60	17	4	7	
„ 7	295	9,5	28 5	35 0	55,0	80	20	5	8	

Bezeichnung	Hülse						Verjüngung
	D	d_5	l_5	l_6	g	h	
Morsekegel 0	9,045	6,7	51 9	49	4,1	14 5	1 : 19,212 = 0 05205
„ 1	12 065	9,7	55 5	52	5,4	18,5	1 : 20 048 = 0 04988
„ 2	17 781	14,9	66 9	63	6 6	22	1 : 20 020 = 0 04995
„ 3	23 826	20 2	83 2	78	8,2	27 5	1 : 19 922 = 0 050196
„ 4	31 269	26,5	105 7	98	12 2	32	1 : 19 254 = 0 051938
„ 5	44 401	38 2	134 5	125	16 2	37 5	1 : 19 002 = 0 0526265
„ 6	63 350	54 8	187 1	177	19 3	47 5	1 : 19 180 = 0 052138
„ 7	83,061	71,1	257,2	241,5	28 8	67	1 : 19,231 = 0 052

Die metrischen Regel 4 6 50 (nur für Fräsmaschinen) 80 100 120 140 160 180 200 und die Morsekegel 0 bis 6 sind Werkzeugkegel.

Metrische Kegel (Schaft und Hülse).

DIN 233. (Bild siehe S. 492.)
Kegel 1: 20 = 0,05. Maße in mm.

Bezeichnung		Schaft										
		D	D ₁	d	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄
Metrischer Kegel	4	4	4,1	2,85	—	—	—	2	23	25	—	—
	6	6	6,15	4,4	—	—	—	3,5	32	35	—	—
	(9)	9	9,2	6,5	—	6,2	6	5,5	50	54	56	60
	(12)	12	12,2	9,4	M 6	9	8,5	8	52	56	60	64
	(18)	18	18,2	14,5	M 10	14	13,5	13	70	74	80	84
	(24)	24	24,2	19,6	1/2''	19	18	18	88	92	100	104
	(32)	32	32,2	26,7	5/8''	26	25	24	106	110	120	124
	(40)	40	40,2	33,8	3/4''	33	32	30	124	128	140	144
	50	50	50,25	42,9	3/4''	42	41	40	142	147	160	165
	(60)	60	60,30	52,0	1''	51	49	48	160	166	180	186
	(70)	70	70,35	61,1	1''	60	58	58	178	185	200	207
	80	80	80,40	70,2	1 1/8''	69	67	65	196	204	220	228
	(90)	90	90,45	79,3	1 1/8''	78	76	75	214	223	240	249
	100	100	100,50	88,4	1 1/8''	87	85	85	232	242	260	270
	(110)	110	110,55	97,5	1 1/8''	96	94	92	250	261	280	291
	120	120	120,60	106,6	1 1/8''	105	103	100	268	280	300	312
	(130)	130	130,65	115,7	1 1/2''	114	112	110	286	299	320	333
	140	140	140,70	124,8	1 1/2''	123	121	120	304	318	340	354
	(150)	150	150,75	133,9	1 1/2''	132	130	125	322	337	360	375
	160	160	160,8	143	1 3/4''	141	139	135	340	356	380	396
(170)	170	170,85	152,1	1 3/4''	150	148	145	358	375	400	417	
180	180	180,9	161,2	1 3/4''	159	157	150	376	394	420	438	
(190)	190	190,95	170,3	2''	168	166	160	394	413	440	459	
200	200	201	179,4	2''	177	175	170	412	432	460	480	

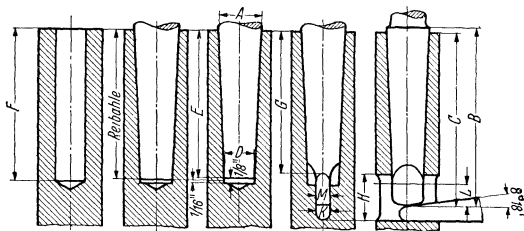
Metrischer Kegel	Schaft								Hülse				
	a Größtmaß	b	c	e	i	R	r	t	d ₅	l ₅	l ₆	g	h
4	2	—	—	—	—	—	0,5	2,2	3,0	25	21	2,5	8
6	3	—	—	—	—	—	0,5	2,5	4,6	34	29	3,5	12
(9)	4	3,9	6	10	—	4	1,0	2,5	6,7	52	49	4,3	17
(12)	4	5	8	13	15	5	1,25	3	9,7	54	51	5,3	20
(18)	4	6,5	10	16	20	6	1,5	4	14,8	72	68	6,8	24
(24)	4	8	12	19	30	7	2,0	4	20,0	90	85	8,3	28
(32)	4	11	14	23	35	9	2,5	5	27,2	109	103	11,3	32
(40)	4	14	16	27	45	11	3	5	34,4	127	119	14,3	36
50	5	17	18	32	45	14	3	6	43,6	145	136	17,3	40
(60)	6	20	20	37	60	17	4	7	52,9	164	153	20,3	44
(70)	7	23	22	42	60	20	4	8	62,1	182	170	23,3	48
80	8	26	24	47	80	23	5	8	71,4	200	186	26,3	52
(90)	9	29	26	52	80	26	5	9	80,6	219	204	29,3	56
100	10	32	28	58	80	30	6	10	89,9	237	220	32,3	60
(110)	11	35	30	63	80	33	6	10	99,2	255	236	35,3	64
120	12	38	32	68	80	36	6	11	108,4	274	254	38,3	68
(130)	13	41	34	73	90	39	8	12	117,2	292	270	41,3	72
140	14	44	36	78	90	42	8	13	126,9	310	286	44,3	76
(150)	15	47	38	83	90	45	8	14	136,2	329	305	47,3	80
160	16	50	40	88	100	48	8	14	145,4	347	321	50,3	84
(170)	17	53	42	93	100	51	8	15	154,7	365	338	53,3	88
180	18	56	44	98	100	54	10	16	163,9	384	355	56,3	92
(190)	19	59	46	103	110	57	10	17	173,2	402	372	59,3	96
200	20	62	48	108	110	60	10	18	182,4	420	388	62,3	100

Den Mitnehmerlappen auf die Länge *c* abzusetzen, wird empfohlen, ist aber nicht unbedingt erforderlich.

Die eingeklammerten Kegel sind keine normalen Werkzeugkegel (siehe Fußnote S. 492).

Die kleineren Kegel werden mit Rücksicht auf die Rundung *r* ohne Schutzsenkung ausgeführt.

Brown & Sharpe-Kegel.



Kegelverjüngung 1 : 24; nur Nr. 10 hat 1:23¹/₄.

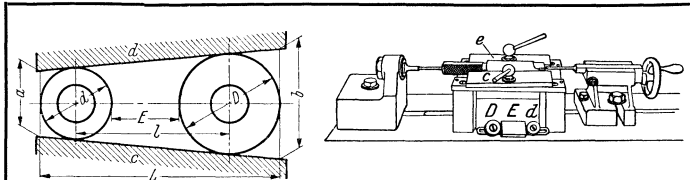
Schräge Zahlen: 1 B & S-Standard, 2 Fräsmaschinennorm, 3 für verschiedene Zwecke.

	Nr.	A	B	C	D	E	F	H	K	L	M
1	1	6,07	32,54	30,16	5,08	23,81	26,99	9,53	3,43	4,76	3,18
1	2	7,59	40,48	38,10	6,35	30,16	33,34	12,70	4,22	6,35	3,97
1	3	9,53	50,01	47,63	7,93	38,10	41,28	15,88	5,00	7,94	4,76
3	3	9,78	56,36	53,98	7,93	44,45	47,63	15,88	5,00	7,94	4,76
3	3	10,03	62,71	60,33	7,93	50,80	53,98	15,88	5,00	7,94	4,76
2	4	10,21	44,45	42,07	8,89	31,75	34,93	17,46	5,79	8,73	5,56
1	4	10,67	55,56	53,18	8,89	42,86	46,04	17,46	5,79	8,73	5,56
2	5	13,28	57,95	55,56	11,43	44,45	47,63	19,05	6,60	9,53	6,35
3	5	13,54	64,30	61,91	11,43	50,80	53,98	19,05	6,60	9,53	6,35
1	5	13,69	67,47	65,09	11,43	53,98	57,15	19,05	6,60	9,53	6,35
1	6	15,22	75,41	73,03	12,70	60,33	63,50	22,23	7,39	11,11	7,14
—	6	16,13	97,63	95,25	12,70	82,55	85,73	22,23	7,39	11,11	7,14
3	7 ¹⁾	17,88	79,38	77,00	15,24	63,50	66,68	23,81	8,18	11,91	7,94
1	7 ²⁾	18,29	88,90	86,52	15,24	73,03	76,20	23,81	8,18	11,91	7,94
2	7 ¹⁾	18,42	92,08	89,70	15,24	76,20	79,38	23,81	8,18	11,91	7,94
—	7	19,48	117,48	115,10	15,24	101,60	104,78	23,81	8,18	11,91	7,94
1	8	22,81	107,95	104,78	19,05	90,49	93,67	25,40	8,97	12,70	8,73
—	8	23,29	119,07	115,89	19,05	101,60	104,78	25,40	8,97	12,70	8,73
2	9	27,10	120,65	117,48	22,86	101,60	104,78	28,58	9,78	14,29	9,53
1	9	27,36	127,00	123,83	22,86	107,95	111,13	28,58	9,78	14,29	9,53
1	10	32,01	148,44	145,26	26,53	127,00	130,18	33,34	11,35	16,67	11,11
2	10	32,74	165,90	162,72	26,53	144,47	147,64	33,34	11,35	16,67	11,11
3	10	33,33	179,40	176,22	26,53	157,96	161,14	33,34	11,35	16,67	11,11
1	11	38,05	172,25	169,08	31,75	150,82	153,99	33,34	11,35	16,67	11,11
2	11	38,89	192,89	189,71	31,75	171,45	174,63	33,34	11,35	16,67	11,11
1; 2	12	45,65	204,80	201,62	38,10	180,98	184,16	38,10	12,95	19,05	12,70
1	13	52,66	220,67	217,50	44,45	196,86	200,03	38,10	12,95	19,05	12,70
1; 2	14	59,54	235,75	232,58	50,80	209,56	212,73	44,45	14,53	21,43	14,29
1	15	66,42	248,45	245,28	57,15	222,26	225,43	44,45	14,53	21,43	14,29
1	16	73,28	263,53	260,36	63,50	234,96	238,13	47,63	16,13	23,81	15,88
1	17	80,17	—	—	69,85	247,66	250,83	—	—	—	—
1	18	87,05	—	—	76,20	260,36	263,53	—	—	—	—

1) Veraltet.

2) Nur in den Betrieben von Brown & Sharpe verwendet.

Prüfung von Verjüngungen mit Hilfe von Meßscheiben und Endmaßen.



Die verstellbaren Meßscheiben c und e werden durch zwei Meßscheiben mit den Durchmessern D und d , die in einer durch Endmaße festzulegenden Entfernung E in einen Rahmen gespannt sind, auf die gewünschte Verjüngung V eingestellt und der Kegel hinsichtlich der Anlage an die Meßscheiben geprüft.

Gesucht	Gegeben	Berechnung
l	D, d, V	$l = \frac{D - d}{2 \cdot V} \cdot \sqrt{V^2 + 4}$
E	D, d, V	$E = \frac{D - d}{2 \cdot V} \cdot \sqrt{V^2 + 4} - \frac{D + d}{2}$
D	a, b, L	$D = \frac{b}{2 \cdot L} \cdot [\sqrt{4L^2 + (b - a)^2} - (b - a)]$
d	a, b, L	$d = \frac{a}{2 \cdot L} \cdot [\sqrt{4L^2 + (b - a)^2} + (b - a)]$
a	D, d, l	$a = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot l - (D - d)}{2 \cdot l + (D - d)}}$
b	D, d, l	$b = D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot l + (D - d)}{2 \cdot l - (D - d)}}$
V	D, d, l	$V = \frac{2 \cdot (D - d)}{\sqrt{4l^2 - (D - d)^2}}$

Beispiel: Morsekegel.

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7
D	10	18	22	28	34	44	56	74
d	6	14	18	24	30	40	52	68
E	68 875	64,216	60,104	53 712	45,040	34,034	22,745	44,423

D. Gewindepassungen und Gewindemessen.

Zur wahllosen Austauschbarkeit von Schrauben und Muttern wurde vom Deutschen Normenausschuß ein System von Gewindetoleranzen nach DIN 2244 ausgearbeitet. Die Abmessungen und Toleranzen für die üblichen Befestigungsgewinde mit Whitworth- und mit metrischem Profil, sowie die zugehörigen Lehren sind in DIN 11, sowie DIN 13 und 14 nebst Beiblättern festgelegt¹⁾. Diese und einige sonstige genormte Gewinde sind diesem Abschnitt auszugsweise als Tafeln beigegeben.

Die in Deutschland aufgestellten Gewindetoleranzen haben auch im Ausland Anerkennung gefunden und dienen als Grundlagen für die Arbeiten des ISA-Komitees 2a, Gewinde.

Zu den Voraussetzungen austauschbarer Fertigung von Gewinden gehören: Gewindetoleranzen, d. h. einheitliche Grundmaße und Abmaße für die Herstellung von Schrauben und Muttern

Gewindelehren zur Feststellung, ob Schrauben und Muttern innerhalb der vorgeschriebenen Grenzmaße liegen

Gewindeschneidzeuge, deren Abmessungen so gelegt sind, daß sie eine toleranzhaltige Fertigung der Schrauben und Muttern sichern.

I. Gewindetoleranzen.

An die Passung von Bolzen- und Muttergewinden sind folgende grundlegende Forderungen zu stellen:

1. Die Gewinde müssen zusammenschraubbar sein. Das Bolzengewinde muß mit allen seinen Abmessungen innerhalb, das Muttergewinde außerhalb des in den DIN-Tafeln angegebenen theoretischen Gewindeprofils bleiben; letzteres tritt an die Stelle der Nulllinie der Rundpassungen.

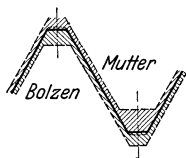


Abb. M 10. Lage der Toleranzen beim metrischen Gewinde.

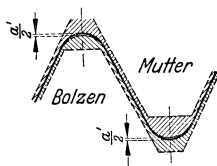


Abb. M 11. Lage der Toleranzen beim Whitworth-Gewinde.

2. Bolzen- und Muttergewinde sollen beim Anziehen des Gewindes in sämtlichen Flanken satt tragen. Die früher üblich gewesene Forderung,

¹⁾ Im Deutschen Reichs- und Preußischen Staatsanzeiger Nr. 283 vom 2. Dezember 1939 ist die Anordnung zur allgemeinen Einführung des metrischen Gewindes vom 30. November 1939 veröffentlicht. Die Anordnung lautet im Auszug:

§ 1. Schrauben, Muttern und Fassonteile (Dreh-, Preß- und Stanzteile) aller Art mit Innen- und Außengewinde bis einschließlich 10 mm Durchmesser jeder Art dürfen für den Inlandsbedarf nur mit metrischem Gewinde nach den DIN-Blättern 13 und 14 bzw. mit metrischem Feingewinde nach den DIN-Blättern 243, 517 bis 521 hergestellt werden.

Schrauben, Muttern und Fassonteile (Dreh-, Preß- und Stanzteile) aller Art mit Innen- und Außengewinde über 10 mm Durchmesser jeder Art sollen für den Inlandsbedarf möglichst mit metrischem Gewinde nach den DIN-Blättern 13 und 14 bzw. mit metrischem Feingewinde nach den DIN-Blättern 243, 516 bis 521 hergestellt werden.

Ausgenommen von den Vorschriften der Abs. 1 und 2 ist die Herstellung von einzelnen Schrauben, Muttern und Fassonteilen für den Reparaturbedarf.

§ 4. Die Anordnung tritt am 1. Oktober 1941 in Kraft, jedoch mit der Maßgabe, daß bereits vom 1. April 1941 an für die Neuanfertigung von Gewinden, die nicht zur Erfüllung laufender Aufträge hergestellt werden, die Vorschriften dieser Anordnung gelten.

daß ein Gewinde zügig gehen müsse, ist nicht gerechtfertigt. Abb. M 12 bis 15 zeigen, daß trotz Zügiggehen ein gutes Tragen der Flanken nicht vorhanden zu sein braucht. Ein gewisses Längsspiel ist für ein richtiges Tragen in den Flanken belanglos.

Ein Gewinde ist hinsichtlich der Paarungsmöglichkeit von Schraube und Mutter von folgenden 5 Bestimmungsstücken abhängig:

in erster Linie vom **Flankendurchmesser d_2 bzw. D_2** , vom **Flankenwinkel α** und der **Steigung h** ,

in zweiter Linie vom **Außendurchmesser d bzw. D** und vom **Kerndurchmesser d_1 bzw. D_1** (vgl. Abb. S. 517, 520).

Der Flankendurchmesser d_2 des Bolzens bzw. D_2 der Mutter ist der quer zur Achse gemessene Abstand der Mitten zweier zum gleichen Gang gehöriger Flanken des scharf ausgeschnitten gedachten Profils.

Der Flankenwinkel α ist die Summe der beiden Teilflankenwinkel α_1 und α_2 , die als Winkel zwischen der Achsensenkrechten und je einer der beiden Flankengeraden bestimmt sind. Bei symmetrischem Profil sind die Teilflankenwinkel einander gleich $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha/2$.

Die Steigung h ist der achsenparallel gemessene Abstand zweier Rechts- oder Linksflanken desselben Gewindeganges. Bei mehr- (n -) gängigen Gewinden ist der achsenparallel gemessene Abstand zweier aufeinanderfolgender Rechts- oder Linksflanken die Teilung (H/n).

Der Außendurchmesser d des Bolzens und D der Mutter ist der Durchmesser des das Gewinde einhüllenden Zylinders.

Der Kerndurchmesser d_1 des Bolzens und D_1 der Mutter ist der Durchmesser des dem Gewinde einzuschreibenden Zylinders.

Die Höhe t des scharf ausgeschnittenen Profils, also ohne Abrundung oder Abflachung in den Spitzen und im Kern, bestimmt sich aus Steigung und Teilflankenwinkel: $t = \frac{1}{2}h \cdot \text{ctg}\alpha/2$.

Die Tiefe t_1 des Gewindes ist der achsensenkrecht gemessene Abstand der äußersten und innersten Punkte des Gewindes, also mit Abrundung oder Abflachung: $t_1 = \frac{1}{2}(d - d_1)$ bzw. $t_1 = \frac{1}{2}(D - D_1)$.

Die Tragtiefe t_2 des Gewindes ist die achsensenkrecht gemessene Flankenüberdeckung: $t_2 = \frac{1}{2}(d - D_1)$.

Flankendurchmesser, Flankenwinkel und Steigung, die für die „Passung“ am wichtigsten sind, sind nicht unabhängig voneinander; dies ist für das Tolerieren und Messen der Gewinde von besonderer Bedeutung.

Außen- und Kerndurchmesser spielen für die Passung nur eine untergeordnete Rolle; notwendig ist ein gewisses Spiel zwischen Schraube und Mutter, damit ein Klemmen an den Spitzen unbedingt vermieden und eine gute Flankenanlage gesichert wird.



Abb. M 12.

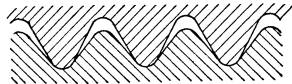


Abb. M 13.

Für die gegenseitige Abhängigkeit von Flankendurchmesser, Flankenwinkel und Steigung zeigt Abb. M 12 bis 15 einige Beispiele. In Abb. M 12 haben Bolzen und Mutter den gleichen Flankendurchmesser, aber verschiedene Flankenwinkel; sie lassen sich nicht zusammenschrauben. In

Abb. M 13 ist der eine Gewindeteil mit größerem Flankenwinkel geschnitten als der andere; Bolzen und Mutter haben jedoch genügend verschiedene Flankendurchmesser, so daß sie sich zusammenschrauben lassen. In Abb. M 14 hat ein Teil schiefliegendes Profil; die Gewinde passen scheinbar dennoch zueinander, da die Flankendurchmesser wiederum genügend verschieden sind. In Abb. M 15 ist die Steigung von Bolzen und Mutter verschieden; die Gewinde lassen sich über eine gewisse Länge zusammenschrauben, wenn die Flankendurchmesser genügend verschieden sind.



Abb. M 14.

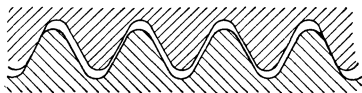


Abb. M 15.

Lassen sich Bolzen und Mutter trotz geringer durch die Fertigung bedingter Unterschiede gerade eben noch zusammenschrauben, so bedeutet das nicht, daß für beide Werkstücke die wahren Flankendurchmesser gleich sind, sondern es zeigt nur, daß ihre sog. wirksamen Flankendurchmesser übereinstimmen. Bezeichnet d_{2W} bzw. D_{2W} den wirksamen Flankendurchmesser von Bolzen bzw. Mutter, d_2 bzw. D_2 dagegen den wahren Flankendurchmesser und bedeuten f_1 bzw. F_1 , sowie f_2 bzw. F_2 die zum Ausgleich von Steigungs- und Winkelfehlern notwendigen Zusatzbeträge des Flankendurchmessers, so ist:

$$d_{2W} = d_2 + (f_1 + f_2) \quad \text{und} \quad D_{2W} = D_2 - (F_1 + F_2).$$

$$(f_1 \text{ bzw. } F_1 = \Delta h \cdot \operatorname{ctg} \alpha/2 \quad \text{und} \quad f_2 \text{ bzw. } F_2 = t_2 \frac{\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2}{\sin \alpha}$$

entsprechend DIN 2244, S. 4). Wird f_2 bzw. F_2 in μ verlangt, so ist $\Delta \alpha$ in Minuten einzusetzen und die rechte Seite der Gleichung mit 0,291 zu multiplizieren.

Die Bedingung der Einschraubbarkeit lautet: $d_{2W} \leq D_{2W}$.

Bolzen Gewinde mit Fehlern in Steigung oder Profil oder beiden zugleich bleiben einschraubbar, wenn der wahre Flankendurchmesser zum Ausgleich dieser Fehler gegenüber dem wirksamen Flankendurchmesser um ein entsprechendes Maß verkleinert ist: $d_2 = d_{2W} - (f_1 + f_2)$.

Muttergewinde mit Fehlern in Steigung oder Profil oder beiden zugleich bleiben aufschraubbar, wenn der wahre Flankendurchmesser zum Ausgleich dieser Fehler um ein entsprechendes Maß vergrößert ist: $D_2 = D_{2W} + (F_1 + F_2)$.

Das wirksame Spiel zwischen Bolzen und Mutter ist:

$$(D_{2W} - d_{2W}) = (\Delta D_2 - \Delta d_2) - (f_1 + f_2 + F_1 + F_2),$$

worin ΔD_2 und Δd_2 die Abmaße von D_2 und d_2 gegen das im Normblatt angegebene theoretische Maß sind. (Es ist zu beachten, daß Δd_2 nur negative, also nach innen liegende, ΔD_2 nur positive, also nach außen liegende Werte annimmt.)

Der Unterschied der Abweichungen der wahren Flankendurchmesser von den Flankendurchmessern des theoretischen Gewindes (erste Klammer in obiger Formel) würde das wirksame Spiel von Bolzen und Mutter darstellen, wenn es nicht durch die Einflüsse der Winkel- und Steigungsfehler von

Bolzen und Mutter eingeschränkt würde. Da ΔD_2 bzw. Δd_2 alle Werte zwischen Null und dem oberen bzw. unteren Abmaß annehmen kann, ergibt sich, daß dieses für die Herstellung zur Verfügung stehende Toleranzfeld für den Flankendurchmesser durch Fehler in Steigung und Flankenwinkel nicht nur verengert, sondern daß bei fehlerhaftem Flankenwinkel und nicht einwandfreier Steigung dieses Spiel negativ werden kann. Damit das wirksame Spiel bei einwandfreier Steigung und einwandfreiem Flankendurchmesser unter keinen Umständen negativ wird, d. h. in Übermaß übergeht, muß also, von der gemeinsamen Nulllinie des theoretischen Profils aus gerechnet, Δd_2 immer negativ und ΔD_2 immer positiv bleiben, wie es auch für die Werkstücke nach den Normen festgelegt ist.

Bolzen oder Muttern sind normgerecht, wenn sie mit genormten Gewinde-Grenzlehren überprüft, sich als toleranzhaltig erweisen. Es wird darauf verzichtet, bei den Bolzen und Muttern auch Steigung und Flankenwinkel gesondert zu tolerieren. Einzelfehler im Flankendurchmesser, in der Steigung und im Flankenwinkel werden bei der **Gut- und Ausschußlehre** nicht erkannt. Es wird also nur gefordert, daß die Abweichungen des wahren Flankendurchmessers vom theoretischen Wert höchstens gleich dem zulässigen Abmaß der betreffenden Güteklasse und Durchmessergröße sind.

Die **Gutlehre** prüft den wirksamen Flankendurchmesser und damit die Zusammenschraubbarkeit.

Die **Ausschußlehre** prüft den wahren Flankendurchmesser und damit die Sitzqualität.

Um die wirtschaftliche Fertigung der Gewinde zu erleichtern, wird für die wahren Flankendurchmesser d_2 bzw. D_2 eine gewisse Abweichung vom theoretischen Maß zugelassen. Die Größe des sich daraus ergebenden Spieles bei sonst fehlerfreiem Gewinde kennzeichnet die Qualität der Schraubenverbindung. Diese Abweichung äußert sich als größtes Spiel zwischen Bolzen und Mutter. Die geringe axiale und radiale Beweglichkeit hat auf das richtige Tragen in den Flanken, die Sicherheit und Festigkeit der Schraubenverbindungen keinen Einfluß. Zügiggehende Gewinde sind nach den Normenvorschriften um so weniger zu erwarten, je besser die Fertigung ist. Vorausgesetzt, ein Gewinde-Werkstück geht nicht über oder in die Ausschuß-Gewindelehre, so sind die Genauigkeiten der Einzelbestimmungsstücke je für sich um so besser eingehalten, je mehr Spiel sich bei der Paarung mit der Gutlehre zeigt.

Da die Ansprüche der Praxis an die Güte und Genauigkeit der Schraubenverbindungen verschieden sind, sind wie bei den Rundpassungen auch hier verschiedene **Gütegrade**, genormt, unterschieden durch die für den Flankendurchmesser zugelassenen Toleranzen, ausgedrückt durch **Gewindepaßeinheiten** (GPE).

$$1 \text{ GPE (in } \mu) = 67 \sqrt{\text{Steigung}} \quad (\text{Steigung in mm}).$$

Festgelegt sind drei Gütegrade: fein, mittel, grob. Gütegrad „fein“ ist jedoch erst Vornorm. Gütegrad „mittel“ und „grob“ unterscheiden sich nur durch die Größe der Flankendurchmessertoleranz, während die Festlegungen für Außen- und Kerndurchmesser die gleichen sind. Beachtigt ist noch die Normung eines Gewindefestsitzes, der auf dem Grundsatz der Einheitsbohrung aufgebaut werden soll, d. h. bei gleicher Mutter soll der feste Sitz durch ein Übermaß der Schraube erreicht werden. Für einen **Gewindefestsitz**, wie er z. B. bei den Einschraubenden von

Stiftschrauben notwendig ist, konnten normenmäßige Festlegungen noch nicht getroffen werden. In der Praxis wird der gewünschte Sitz dadurch erreicht, daß das Ende des Bolzengewindes kegelig gehalten wird. Versuche zur Aufstellung von Toleranzen sind im Gange.

Es werden unterschieden:

Feinschrauben mit einer Flankendurchmessertoleranz von 1 GPE (Vornorm)

Mittelschrauben mit einer Flankendurchmessertoleranz von $1\frac{1}{2}$ GPE für normale handelsübliche Schrauben, wie sie hauptsächlich als Blank-schrauben geliefert werden.

Grobschrauben mit einer Flankendurchmessertoleranz von $2\frac{1}{2}$ GPE für Zwecke, bei denen es nicht auf große Genauigkeit ankommt.

Mindestspitzenspiel: Wie schon bemerkt, ist zur Vermeidung des Klemmens in den Spitzen, wodurch leicht ein gutes Passen vorgetäuscht werden könnte, ein Mindestspitzenspiel festgelegt. Erreicht wird es im Außendurchmesser beim Whitworth-Gewinde durch Verkleinerung der Schraube gegenüber dem theoretischen Maß a' (s. Abb. M 11 S. 496), beim metrischen Gewinde durch das Herstellungsverfahren und die Lehrung. Das Spitzenspiel im Außendurchmesser ist weiter sichergestellt durch die Minustoleranzen für das gewalzte Schraubeneisen nach DIN 1613 und durch den für den Gewindebohrer festgelegten kleinsten Außendurchmesser, der größer ist als das Nennmaß des Schraubenbolzens.

Im Kerndurchmesser wird das Mindestspitzenspiel a' gesichert beim Whitworth-Gewinde dadurch, daß der kleinste Kerndurchmesser der Mutter größer gehalten ist als der theoretische Kerndurchmesser, beim metrischen Gewinde durch die Lehrung und Herstellung. Der Gewindelehring ist im Kerndurchmesser abgeflacht ausgeführt mit dem Kleinstmaß der Mutter, so daß die Schraube mit gerundetem Grunde stets kleiner bleiben wird als der kleinste Mutterkerndurchmesser.

Ein Spiel im Kerndurchmesser beim Whitworth- und metrischen Gewinde ist dann an sich schon bedingt durch die Verwendung der Gewindekernlochbohrer (s. Abschnitt „Herstellen von Gewinde“), die stets größer sind als der kleinste Mutterkerndurchmesser.

Bezüglich des metrischen Gewindes ist noch zu bemerken, daß durch die Aufstellung von Toleranzen für Außen- und Kerndurchmesser das Spitzenspiel zwischen Kleinst- und Größtwerten schwanken kann und die in

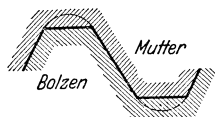


Abb. M 16. Voraussichtliche internationale Darstellung des metrischen Gewindes.

DIN 13 und 14 (s. S. 520 u. f.) für das Spitzenspiel enthaltenen Werte a praktisch jede Bedeutung verloren haben. Es ist deshalb beabsichtigt, diese Normen später international dahin zu ändern, daß ein für Schraube und Mutter gleiches Gewindeprofil im Außen- und Kerndurchmesser abgeflacht, mit den Maßen des jetzigen Schrauben-außen- und Mutterkerndurchmessers dargestellt und das durch das Herstellungsverfahren und

durch die Lehrung sich ergebende Spitzenspiel für die Übergangszeit durch gestrichelte Bögen ohne Angabe eines bestimmten Zahlenwertes angedeutet wird (s. Abb. M 16)

Beim Whitworth-Gewinde ist das theoretische Spitzenspiel nur noch beibehalten bei den Feingewinden (s. S. 518 und 519), wofür Toleranzen aber noch nicht festliegen.

Im Zusammenhang mit der Festlegung der Feingewindetoleranzen zeigte sich bei den Arbeiten des ISA-Komitees 2a die Notwendigkeit, einheitliche Formeln für die Feststellung der Flankendurchmessertoleranz bei allen Gewinden zu finden. Für den Gütegrad „mittel“ sind von Berndt derartige Formeln aufgestellt worden¹⁾.

II. Gewindelehren.

Allgemeines.

Wie beim Messen glatter Rundpassungen wird auch bei den Gewinden die Prüfung durch ein ideales körperliches Gegenstück vorgenommen. Da ein Gewinde durch mehrere Bestimmungsgrößen festgelegt ist, muß bei der Prüfung nach dem als Taylorschen Grundsatz bekannten Verfahren vorgegangen werden. Es ist erforderlich,

1. auf der Gutseite sämtliche Bestimmungsstücke auf einmal zu prüfen, um überhaupt die Möglichkeit der Paarung zu untersuchen,

2. auf der Ausschußseite die Einzelbestimmungsgrößen getrennt zu erfassen, um die Qualität des Sitzes (in der Deutschen Normung Gütegrad genannt) zu prüfen.

Läßt sich ein Gewindewerkstück (d. h. eine Mutter oder ein Bolzen) mit einem in sämtlichen Bestimmungsgrößen vollkommen idealen Gegenstück (also sozusagen einem theoretischen Gewinde) so paaren, daß das Gewindestück sich in oder auf dem idealen Gegenstück gerade eben von Hand bewegen läßt, ohne Spiel zu zeigen (sog. zügiger Gang des Gewindes), so bedeutet das durchaus nicht, daß für das Werkstück und für das ideale Gegenstück etwa die wahren Flankendurchmesser einander gleich sind, sondern nur, daß der sog. wirksame Flankendurchmesser des Gewindestückes mit dem Flankendurchmesser des idealen Gegenstückes übereinstimmt.

Bei der Abnahme wird der Bolzen mit einem Leerring, heute meist mit einer Gewinderachenlehre, die Mutter mit einem Lehrdorn geprüft. Diese Lehren stellen sozusagen die idealen Gegenstücke dar; dies sind sie aber keineswegs, da mit der Herstellung zwangsläufig auch gewisse Fehler im wahren Flankendurchmesser, in Steigung und Flankenwinkel verbunden sind. Wenn sich eine Mutter oder ein Bolzen mit einer solchen Lehre so paaren läßt, daß sog. zügiger Gang auftritt (auch saugende Paarung genannt), so kann daraus nur geschlossen werden, daß der wirksame Flankendurchmesser von Bolzen oder Mutter mit dem wirksamen Flankendurchmesser der jeweiligen Lehre übereinstimmt; denn die Betrachtungen über das wirksame Flankenspiel von Mutter und Bolzen (s. S. 498) gelten sinngemäß auch für die Paarung von Werkstücken und Lehren.

Das für die Fertigung zur Verfügung stehende Toleranzfeld wird nicht nur von den Fehlern der Werkstücke in Flankenwinkel und Steigung eingeengt, sondern auch von den entsprechenden Fehlern der Lehren. Hieraus ergibt sich, daß die Lehren mit größtmöglicher Genauigkeit hergestellt und auch mit entsprechender Sorgfalt überprüft werden müssen. Es kann sonst vorkommen, daß ein Flankenwinkel- oder Steigungsfehler der Lehre durch einen Meßfehler verdeckt wird und eine Lehre noch als gut bezeichnet wird, die in Wirklichkeit das Toleranzfeld einengt und Schrauben und Muttern als unbrauchbar bezeichnen läßt, die in Wirklichkeit innerhalb der

¹⁾ Berndt: Werkst.-Techn. und Werksleiter 1936 S. 515 u. 1937 S. 44

Toleranz liegen und verwendbar sind. Um den Rest des Toleranzfeldes möglichst groß zu machen, wäre es (wie oben bei den Werkstücken gezeigt) sinngemäß, ΔD_2 (für den Lehring) immer positiv und $\Delta d'_2$ (für den Lehdorn) immer negativ zu wählen. In den Deutschen Normen ist dies nicht geschehen, um die vorhandenen Normalgewindelehren, die eine Plusminus-toleranz haben, als Grenzgewindelehren „Gut“ verwenden zu können. Die Herstellungsgenauigkeit der Gut-Lehren wird im Flankendurchmesser den Toleranzrest für die Fertigung also teils vergrößern, teils verringern. Praktisch spielt dies indessen für die Werkstücke keine entscheidende Rolle, da die Toleranzen der Lehren gegenüber denen der Werkstücke gering sind.

1. Prüfung der Mutter.

Gutseite: Dem Taylorschen Grundsatz entsprechend werden mit der Gutseitelehre sämtliche Bestimmungsstücke gleichzeitig erfaßt, um die Paarungsmöglichkeit zu untersuchen (die Gutlehre prüft den wirksamen Flankendurchmesser). Der Gewindelehdorn „Gut“ erhält im Flankendurchmesser das Maß jenes Bolzens, mit dem die zu prüfenden Muttern gerade noch gepaart werden sollen, d. h. im Flankendurchmesser das Kleinmaß der Mutter. Dasselbe gilt für den Außendurchmesser. Aus herstellungstechnischen Gründen und da der Kerndurchmesser der Mutter sich sehr gut mit Hilfe eines glatten Lehdornes prüfen läßt, wird der Gut-Gewindelehdorn im Kerndurchmesser freigearbeitet.

Der Gut-Gewindelehdorn, der in die Prüflinge eingeschraubt wird, unterliegt der Abnutzung. Er muß mit Prüflehren auf Gut und Ausschub, d. h. auf Abnutzung untersucht werden. Man benutzt dazu eine Rachenlehre mit im Kern- und Außendurchmesser freigearbeiteten und mit verkürzten Flanken versehenen Meßstücken, Abb. M 17. Diese Rachenlehre wird nach einer besonderen Einstellgewindelehre eingestellt. Diese ist im Kern- und Außendurchmesser freigearbeitet, besitzt aber keine verkürzten Flanken, um eine volle Anlage der Rachenlehren-Meßstücke zu sichern. Im allgemeinen ist es vorzuziehen, für die Untersuchung des Gut-Gewindelehdornes andere Hilfsmittel zu verwenden, über die noch berichtet wird.

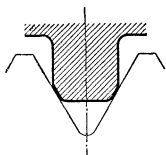


Abb. M 17.

Ausschubseite: Dem Taylorschen Grundsatz entsprechend werden die Bestimmungsstücke einzeln erfaßt. Es ist ausreichend, auf der Ausschubseite allein den wahren Flankendurchmesser zu prüfen. Als Lehre wird ein sog. Ausschub-Gewindelehdorn mit verkürzten Flanken¹⁾, Abb. M 17, und nur wenigen Gängen benutzt²⁾. Der Kerndurchmesser wird unabhängig davon mit einem glatten Lehdorn geprüft. Das Größtmaß des Außendurchmessers der Mutter wird nicht untersucht, da ein geringfügiges Überschreiten für die Festigkeit der Schraubenverbindung und die Qualität des Sitzes ohne Bedeutung ist und andererseits die wahllose Austauschbarkeit auch nicht gefährden kann.

¹⁾ Der Zusatzbetrag des Flankendurchmessers, veranlaßt durch einen Fehler in der Steigung f_1 bzw. $F_1 = 1h \cdot \text{ctg } \alpha/2$ verringert sich mit der Einschraublänge des Gewindes.

²⁾ Der Zusatzbetrag des Flankendurchmessers, veranlaßt durch einen Fehler im Flankenwinkel f_2 bzw. $F_2 = f_2 (\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2) / \sin \alpha$ wird um so geringer, je kleiner die Flankenüberdeckung ist.

Da der Ausschuß-Gewindelehndorn nur sehr selten eingeschraubt wird¹⁾, unterliegt er der Abnutzung nicht in dem Maße wie ein Gut-Lehndorn. Die Abnutzung ist daher nicht toleriert und eine Abnutzungslehre auf der Ausschußseite nicht vorgesehen.

2. Prüfung der Bolzen.

Gutseite: Auch hier wird nach dem Taylorschen Grundsatz die Summe der sämtlichen Fehler in ihrem Einfluß auf die Paarungsmöglichkeit, d. h. der sog. wirksame Flankendurchmesser untersucht. Die Gutlehre (die Gut-Gewinderachenlehre oder der Gut-Gewindelehrring) erhält im Flankendurchmesser das Maß jener Mutter, mit der die zu prüfenden Bolzen gerade noch gepaart werden sollen; der Flankendurchmesser ist gleich dem vorgesehenen Größtmaß des Flankendurchmessers des Bolzens. Dasselbe gilt auch für den Kerndurchmesser. Wegen der herstellungstechnischen Schwierigkeiten wird das Größtmaß des Außendurchmessers nicht mit der Gut-Gewindelehre geprüft; der Außendurchmesser der Gewindelehre wird freigearbeitet, Abb. M 18, und das Größtmaß des Außendurchmessers am Bolzen mit Hilfe einer glatten Rachenlehre geprüft. Dasselbe kann auch beim Kerndurchmesser mit einer Sonderachenlehre geschehen.

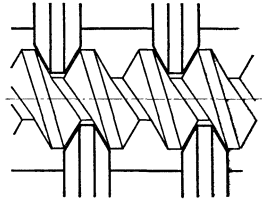


Abb. M 18.

Für die Prüfung der Gutseite des Bolzengewindes hat sich heute die Gut-Gewinderachenlehre gegenüber dem Gut-Gewindelehrring weitgehend durchgesetzt, obwohl mit ihr eine vollständige Formprüfung nicht erfolgt. Ihr richtiges Rachenmaß wird durch einen Einstell-Gewindelehndorn eingestellt und geprüft, so daß sie als Maßübertragungsmittel von dem Einstellhorn auf den Prüfling dient. Da die Gutlehre, die ja den wirksamen Flankendurchmesser erfassen soll, mit vollen Flanken ausgerüstet ist, wird der Einstell-Gewindelehndorn mit verkürzten Flanken (ähnlich dem Ausschuß-Lehndorn) ausgeführt.

Teilweise erfolgt die Gutlehrung noch mit dem Gut-Gewindelehrring. Auch für die Prüfung dieser Lehre muß ein Abnahmegerät vorhanden sein. Der Hersteller benutzt hierzu einen sog. Paßdorn, der das theoretische Profil erhält und dessen eigene Herstellungsgenauigkeit gegenüber diesem Profil nach Minus liegt. (Dieser Paßdorn ist die Gutlehre für den Gewindelehrring.) Die mit der Zeit zwangsweise eintretende Abnutzung des Gewindelehrringes wird mit Hilfe eines sog. Abnutzungsprüfdornes (einer Ausschußlehre für den Gewindelehrring) untersucht. Da die Abnutzung auf den immer zum Tragen kommenden Flanken des Lehringes am größten sein wird, prüft der Abnutzungsprüfdorn in erster Linie den Flankendurchmesser. Er hat verkürzte Flanken und nur wenige Gänge (s. Abb. M 17).

Ausschußseite: Dem Taylorschen Grundsatz entsprechend werden hier Einzelbestimmungen vorgenommen. Da bei der Gutseiteprüfung der sog. wirksame Flankendurchmesser untersucht wurde (d. h. also jener, der sich

¹⁾ Die Ansichten sind geteilt, ob sich der Ausschuß-Gewindelehndorn nur einige Gänge oder weiter hineinschrauben lassen darf, wenn er nur auf der anderen Seite nicht hervortritt.

aus der Summe vom wahren Flankendurchmesser und den Einflüssen der Steigungs- und Flankenwinkelfehler zusammensetzt), so braucht für die Prüfung der Ausschußseite nur mehr der wahre Flankendurchmesser unter möglichst Ausschaltung der Steigungs- und Winkelfehlereinflüsse gemessen zu werden. Hierzu dient als Lehre eine sog. Ausschuß-Gewinderachenlehre, Abb. M 19, deren Meßstücke mit verkürzten Flanken und nur wenigen Gängen versehen sind. Außendurchmesser und Kerndurchmesser, die unabhängig davon zu untersuchen sind, werden mit einer glatten Rachenlehre bzw. Sonderrachenlehre geprüft.

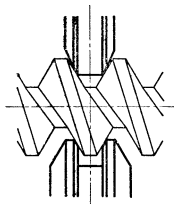


Abb. M 19.

Auch die Ausschuß-Gewinderachenlehre wird nach einem Einstellgewindedorn eingestellt; dieser ist im Kern- und Außendurchmesser freigearbeitet. Seine Flanken sind nicht verkürzt, um eine sichere Anlage des Flankenteils der Gewinderachenlehren-Meßstücke zu gewährleisten. Für die Kerndurchmesser-Rachenlehre ist ebenfalls eine Einstell-Lehre vorgesehen.

Die Lehren für die Gut- und Ausschußprüfung desselben Werkstückes werden für den Flankendurchmesser, den Kerndurchmesser und den Außendurchmesser zweckmäßig je zu einer Grenzlehre vereinigt, so daß die Prüfung der Bolzen auf Gut- und Ausschuß durch je eine Gewindegrenzrachenlehre, eine Kerndurchmesser- und eine Außendurchmesser-Grenzrachenlehre erfolgen kann.

III. Messen von Gewinden und Gewindelehren.

Die laufende Überwachung der Richtigkeit der im Betrieb verwendeten Gewindelehren sowie der Prüfmittel (Einstell-Lehren, Paßdorne, Abnutzungsprüfdorne usw.) für diese Lehren ist für die Fertigung von besonderer Wichtigkeit. Die zulässige Abnutzungsgrenze der Lehren darf nicht überschritten werden.

Bei der Prüfung von Gewindewerkstücken wird, zumindest auf der Gutseite, mit den vorgeschriebenen Lehren mehr summarisch geprüft und im allgemeinen nur der wirksame Flankendurchmesser erfaßt. Nach den Normvorschriften ist bereits bei den Arbeitslehren die Einhaltung der Toleranzen der einzelnen Bestimmungsstücke, insbesondere Flankendurchmesser, Flankenwinkel und Steigung je für sich vorgeschrieben, ohne daß ein Fehlerausgleich wie bei den Werkstücken zugelassen ist.

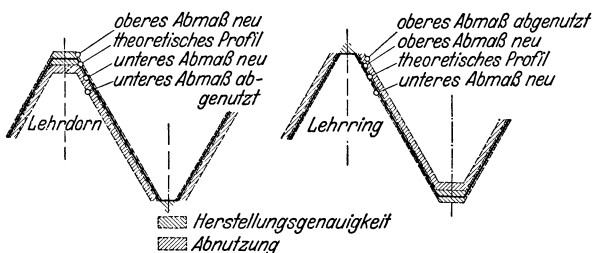


Abb. M 20 und 21. Lage der Herstellungsgenauigkeit und Abnutzung der Gutlehren für das metrische Gewinde.

Die Lage der Herstellungsgenauigkeit und der Abnutzung der Gutlehren für das metrische und das Whitworth-Gewinde zeigen die Abb. M 20, M 21 bzw. M 22, M 23.

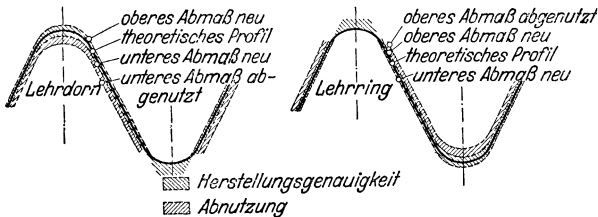


Abb. M 22 und 23. Lage der Herstellungsgenauigkeit und Abnutzung der Gutlehren für das Whitworth-Gewinde.

Die Herstellungstoleranzen für die Lehren sämtlicher Gütegrade einer Gewindegröße sind gleich. Für die Gewindelehndorne gelten nach DIN 2244 die folgenden Vorschriften:

Für d_2

$$\text{zulässige Herstellungsgenauigkeit: } \pm \left(2 + \frac{1}{\sin \alpha/2} + 0,03 F \right) \mu,$$

für $\alpha/2$

$$\text{zulässige Herstellungsgenauigkeit: } \pm \left(6 + \frac{6}{L} \right) \text{ Bogenminuten,}$$

für h

$$\text{zulässige Herstellungsgenauigkeit: } \pm \left(3,5 + \frac{0,375}{\cos \alpha/2} + 0,03 H \right) \mu,$$

für d und d_1

$$\text{zulässige Herstellungsgenauigkeit: } \pm \left(2 + \frac{1}{\sin \alpha/2} + 0,03 F \right) \cdot 1,5 \mu.$$

Hierbei ist: F = Flankendurchmesser, H = Einschraublänge, L = Flankenlänge in mm.

Die Werte der Herstellungsgenauigkeiten für Flankendurchmesser, Flankenwinkel und Steigung sind je für sich einzuhalten. Die Angaben für Außen- und Kerndurchmesser gelten nur, soweit die Lehren an diesen Stellen nicht freigearbeitet sind.

Die Gutlehren sämtlicher Gütegrade stimmen überein. Bei den Ausschußlehren sind die Abmaße nur für den Kern- und Außendurchmesser bei allen Gütegraden gleich, für den Flankendurchmesser, den Flankenwinkel und die Steigung sind sie je nach dem Gütegrad verschieden. Durch das vom Deutschen Normenausschuß aufgestellte Lehrensystem für die Gewindeprüfung sind selbstverständlich andere Möglichkeiten der Prüfung nicht unterbunden.

Das bisher am meisten in der Werkstatt verwendete Meßgerät zur Schraubenprüfung ist die **Gewindeschraublehre** mit Kegel und Kimme, Abb. M 24. Kegel und Kimme werden als Einsätze in zwei Arten ausgeführt.

Die übliche Form mit langen Flanken mißt nicht den wahren, sondern erfaßt nur den sog. wirksamen Flankendurchmesser, weil vorhandene Flankenwinkelfehler das Meßergebnis stark beeinflussen; reine Steigungsfehler machen sich hierbei nicht bemerkbar. Die Gewindeschraublehre mit normalen Einsätzen läßt sich als Ausschnitt aus einem Gut-Gewindelehring (oder als Gut-Gewinderachenlehre) auffassen; der wahre Flankendurchmesser wird nur erfaßt, wenn der Prüfling und die Einsätze genau den gleichen Flankenwinkel haben.

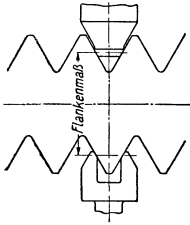


Abb. M 24.

Um eine Ausschußprüfung zu ermöglichen, werden auch Einsätze hergestellt, deren Flanken verkürzt ausgebildet sind. Die Gewindeschraublehre mit verkürzten Flanken stellt einen Ausschnitt aus einem Ausschußgewindelehring (oder eine Ausschuß-Gewinderachenlehre) mit nur einem Gewindengang dar. Sie dient zur Bestimmung des wahren Flankendurchmessers. Für jede Steigung ist ein besonderer Satz von Einsätzen erforderlich, die das Gewinde möglichst nur in der Flankenmitte berühren, um den Einfluß der Flankenwinkelfehler auf die Messung des Flankendurchmessers auszuschließen.

Die Gewindeschraublehre dient bei der Lehrenprüfung zweckmäßig nur als Vergleichsgerät und Maßübertragungsmittel von einem Muster-Gewindelehrdorn auf den zu prüfenden Lehrdorn. Es ist stets darauf zu achten, daß die Meßeinsätze sich zwanglos entsprechend dem Steigungswinkel einstellen; dazu müssen sie leicht drehbar, aber spielfrei im Amboß und in der Spindel der Schraublehre sitzen. Bei größeren Flankendurchmessern

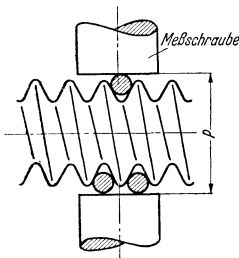


Abb. M 25.

verwendet man zweckmäßig Fühlhebel-Schraublehren, um der Gefahr einer verschiedenen Bügelaufweitung durch Schwankungen der Meßkraft zu entgehen. Außer den Meßeinsätzen für die Flankendurchmesser der verschiedenen Spitz- und Trapezgewinde sind z. B. auch Einsätze für die bequeme Messung von Kerndurchmessern erhältlich.

Soll der wahre Flankendurchmesser ermittelt werden, so ist als für die Werkstatt geeignetes Meßverfahren die **Dreidrahtmethode**, Abb. M 25 (Berndt [3 bis 7]) zu empfehlen, die bei Werkstücken mit einer Schraublehre, bei Lehren jedoch mit einem Fühlhebelgerät und

im Vergleich mit Endmaßen durchgeführt wird. Bei Verwendung sog. günstigster Drähte und Rechnung mit den Istmaßen der Prüflinge ist eine Ermittlung des wahren Flankendurchmessers mit hoher Genauigkeit möglich.

Bei diesem Meßverfahren werden auf der einen Seite des Gewindes in eine Lücke ein Draht und auf der anderen Seite in zwei benachbarten Lücken, nämlich rechts und links von dem der Lücke gegenüberliegenden Zahn (bei mehrgängigen Gewinden im gleichen Gang) je ein weiterer Draht eingelegt. Gemessen wird das Maß über die Mantelflächen der Drähte, das sog. Prüfmaß P , aus dem der Flankendurchmesser errechnet werden kann.

Für das Prüfmaß gilt bei Gewinden mit symmetrischem Profil folgender Zusammenhang mit den Bestimmungsstücken des Gewindes:

$$P = d_2 - h/2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha/2 + d_D \cdot (1 + 1/\sin \alpha/2) + \delta_1 - \delta_2.$$

In dieser Formel für das Prüfmaß P bedeuten d_2 den Flankendurchmesser, h die Steigung, $\alpha/2$ den halben Flankenwinkel des Gewindes und d_D den Durchmesser¹⁾ der verwendeten Drähte. δ_1 ist ein erstes Korrektionsglied, das der Schiefelage des Drahtes im Gewindegang Rechnung trägt, und δ_2 ein zweites Korrektionsglied, das die Abplattung von Draht und Gewindeflanke unter dem Einfluß der Meßkraft berücksichtigt (Bochmann [8]). Beim Vergleich eines Prufstückes mit einer Urlehre oder Vergleichslehre durch die Dreidrahtmethode wird bei gleicher Meßkraft die Abplattung der Drähte und der Gewindeflanken gleich groß sein, also keinen Einfluß auf die Vergleichsmessung haben.

In Tafel 15 sind die Prüfmaße P aufgeführt, die sich bei genau geschnittenen Gewinden (Sollwerte sind eingehalten) ergeben müßten. Um fehlerfreie Ergebnisse zu erhalten, ist zumindest bei Lehren die Rechnung mit den Istwerten sämtlicher in der Formel vorkommenden Größen erforderlich, was deren gesonderte genaue Bestimmung an der zu prüfenden Lehre voraussetzt.

Ein Fehler Δh in der Steigung des Gewindes gegenüber dem in die Formel eingesetzten Sollwert h macht sich als Fehler f_h des Flankendurchmessers bemerkbar. Er ist unabhängig vom Drahtdurchmesser; wird er nicht berücksichtigt, so ist mit einem Fehler $f_h = \frac{1}{2} \Delta h \cdot \operatorname{ctg} \alpha/2$ zu rechnen.

Auch ein Fehler Δd_D des Drahtdurchmessers gegenüber dem in die Formel eingesetzten Wert d_D macht sich als Fehler $f_d = -\Delta d_D (1 + 1/\sin \alpha/2)$ bemerkbar. Der Fehler $f_{\alpha/2}$ im Flankendurchmesser, der sich durch eine Abweichung $\Delta \alpha/2$ des Teilflankenwinkels $\alpha/2$ gegenüber dem Sollwert dieses Winkels einstellt, errechnet sich zu:

$$f_{\alpha/2} = \Delta \alpha/2 \left(d_D - \frac{h}{2 \cos \alpha/2} \right) \frac{\cos \alpha/2}{\sin^2 \alpha/2}.$$

Von dem Einfluß des Fehlers des Flankenwinkels auf das Meßergebnis kann man frei werden, wenn Drähte vom sog. günstigsten Durchmesser verwendet werden; diese liegen in der Flankenmitte an, ihr Durchmesser

ist $d_0 = \frac{h}{2 \cos \alpha/2}$. Das bedeutet, daß für jeden Flankenwinkel $\alpha/2$ und

jede Steigung h je ein Satz von drei besonderen Drähten d_0 erforderlich ist. Drähte vom günstigsten Durchmesser für jedes einzelne Gewinde sind teuer und nicht allgemein im Gebrauch. Begnügt man sich, was für viele Zwecke ausreichend ist, mit einer Anlage im mittleren Achtel der Flanke, so kann eine Vielzahl verschiedener Gewinde mit ihren sämtlichen Steigungen mit einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Drahtdurchmessern, z. B. Normaldrahtreihe von Carl Zeiss, Tafel 15 (Günther [9]), gemessen werden.

Ist die genannte Bedingung der Anlage im mittleren Achtel der Flanke erfüllt, $(1 - \frac{1}{16}) d_0 < d_D < (1 + \frac{1}{16}) d_0$, so kann $f_{\alpha/2}$ meist vernachlässigt werden; ist sie nicht erfüllt, so muß $\sqrt{2}$ bestimmt und sein Istwert in die Prüfmaßformel eingesetzt werden. Die Verwendung des günstigsten Drahtes macht für die Prüfmaßberechnung in allen Fällen eine Bestimmung des Flankenwinkels überflüssig, nicht aber die Bestimmung der Steigung und des Drahtdurchmessers. Stehen sog. günstigste Drahte nicht zur Verfügung, so ist für genaueste Messungen auch bei Verwendung der Drähte der Normaldrahtreihe eine Bestimmung der Flankenwinkelabweichung vom Sollwert erforderlich, um durch Einsetzen der Istwerte in die Prüfmaßformel den Flankendurchmesserfehler von der Größe $f_{\alpha/2}$ zu vermeiden. Bei unbeabsichtigt schiefgeschnittenem Gewinde gilt für $\alpha/2 = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)$ und $\Delta \alpha/2 = \frac{1}{2}(\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2) = \frac{1}{2} \Delta \alpha$, wenn α_1 und α_2 die Teilflankenwinkel bedeuten. Der Schiefelagefehler des Profils wird also nicht wirksam, sondern nur der Gesamtwinkelfehler. Der Fehler der Flankendurchmesserbestimmung ist dann insgesamt:

$$\Delta d_2 = \frac{1}{2} \Delta h \operatorname{ctg} \alpha/2 - \Delta d_D \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right) + \frac{1}{2} \Delta \alpha (d_D - d_0) \cdot \frac{\cos \alpha/2}{\sin^2 \alpha/2}.$$

¹⁾ Sind die drei Drahtdurchmesser nicht gleich, so setze man $d_D = \frac{1}{2}(d_{D1} + \frac{1}{2}(d_{D2} + d_{D3}))$, wobei d_{D1} der Durchmesser des einzelnen Drahtes auf einer Seite und d_{D2} und d_{D3} die Durchmesser der Drähte des Drahtpaares auf der anderen Seite sind.

Für metrische Gewinde ($\alpha/2 = 30^\circ$) gilt:

$$\Delta d_2 = 0,866 \cdot \Delta h - 3 \cdot \Delta d_D + 0,0005 \cdot (d_D - d_0) \Delta \alpha$$

(der Winkelfehler $\Delta \alpha$ ist in Minuten einzusetzen).

Eine Übereinstimmung von d_D und d_0 ist nicht erforderlich, wenn mit dem wahren Flankenwinkel gerechnet wird; jedoch muß d_D genau bekannt sein, da Δd_D bei metrischem Gewinde bereits mit dem dreifachen Betrag in die Flankendurchmesser- bzw. Prüfmaßbestimmung eingeht.

Das Glied zur Korrektur der Schiefelage, δ_1 , kann im allgemeinen mit den Sollwerten der Bestimmungsstücke errechnet werden, ohne daß praktisch Fehler entstehen. Für dieses Korrektionsglied ist die Näherung $\delta_1 = \frac{1}{2} d_D \frac{h^2}{\pi^2 d_2^2} \cos \alpha/2 \operatorname{ctg} \alpha/2$ in Gebrauch, die jedoch nur für geringe Steigungswinkel als gültig anzusehen ist.

Für größere Steigungswinkel, als sie den genormten eingangigen Gewinden entsprechen, also insbesondere bei mehrgängigen Gewinden, ist für dieses Korrektionsglied mit einer genaueren Formel zu rechnen:

$$\delta'_1 = \frac{1}{2} d_D \cdot \frac{h^2}{\pi^2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1}{E(E-F)}$$

Hierin bedeuten: $E = d_2 - \frac{h}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{d_D}{\sin \alpha/2}$, $F = d_D \sin \alpha/2$.

Tafel 15. **Gewindemessen nach der Dreidrahtmethode.**
Drahtdurchmesser und Prüfmaße P .*)

Metr. Gew. DIN 13/14	Draht-dmr.	P	Metr. Gew. DIN 13/14	Draht-dmr.	P	Metr. Gew. DIN 13/14	Draht-dmr.	P
1	0,17	1,131	12	1,1	12,649	68	4,0	70,910
1,2		1,330	14	1,35	15,020	72		74,909
1,4		1,455	16		17,020	76		78,909
1,7	0,22	1,830	18	1,65	19,163	80		82,909
2	0,25	2,144	20		21,162	84		86,908
2,3		2,443	22		23,163	89		91,908
2,6	0,29	2,788	24	2,05	25,606	94		96,908
3		3,112	27		28,605	99		101,908
3,5	0,335	3,594	30		30,848	104		106,908
4	0,455	4,304	33		33,848	109		111,908
(4,5)		4,729	36	2,55	37,591	114		116,908
5		5,152	39		40,590	119		121,908
(5,5)	0,53	5,726	42		42,832	124		126,908
6	0,62	6,345	45		45,832	129		131,908
(7)		7,344	48	3,2	50,025	134		136,908
8	0,725	8,281	52		54,024	139		141,907
(9)		9,281	56		57,267	144		146,907
10	0,895	10,413	60		61,267	149		151,907
(11)		11,412	64	4,0	66,910			
Whitw.-Gew. DIN 11	Draht-dmr.	P	Whitw.-Gew. DIN 11	Draht-dmr.	P	Whitw.-Gew. DIN 11	Draht-dmr.	P
$\frac{1}{4}''$	0,725	6,615	$1\frac{3}{8}''$	2,55	36,226	$3\frac{1}{2}''$	5,05	92,382
$\frac{5}{10}''$	0,895	8,514	$1\frac{1}{2}''$		39,401	$3\frac{3}{4}''$		97,690
$\frac{3}{8}''$		9,819	$1\frac{5}{8}''$	3,2	43,280	4''		104,040
$\frac{7}{16}''$	1,1	11,693	$1\frac{3}{4}''$		46,454	$4\frac{1}{4}''$		109,801
$\frac{1}{2}''$	1,35	13,588	$1\frac{7}{8}''$		48,725	$4\frac{1}{2}''$		116,151
$\frac{5}{8}''$		16,455	2''		51,899	$4\frac{3}{4}''$		121,858
$\frac{3}{4}''$	1,65	20,210	$2\frac{1}{4}''$	4,0	59,655	5''		128,207
$\frac{7}{8}''$		22,935	$2\frac{1}{2}''$		66,004	$5\frac{1}{4}''$	6,35	137,970
1''	2,05	26,811	$2\frac{3}{4}''$		70,902	$5\frac{1}{2}''$		144,319
$1\frac{1}{8}''$		29,260	3''		77,252	$5\frac{3}{4}''$		149,895
$1\frac{1}{4}''$		32,435	$3\frac{1}{4}''$	5,05	86,032	6''		156,246

*) Die Tafel enthält die Normaldrahtreihe der Firmen Carl Zeiss und Reindl & Nieberding.

Für n -gängiges Gewinde ($H = n \cdot h$) gilt die Formel: $\delta'_n = n^2 \cdot \delta'_1$.
Die Formel für das Prüfmaß lautet dann:

$$P = E + d_D + \delta'_n - \delta_2.$$

Für die Berechnung von P bei einer Meßkraft Null ($\delta_2 = 0$) bedient man sich zweckmäßig des logarithmischen Rechenschemas Tafel 16. Sollte das Glied δ'_n unerwartet groß werden, d. h. Werte von einigen Zehntelmillimetern überschreiten, so erscheint es empfehlenswert, mit einer exakten Formel zu rechnen, die in einer Arbeit von Tomlinson [13] abgeleitet ist; auf diese Arbeit geht auch die hier mitgeteilte Näherung zurück. Nach dem Rechenschema, das sich bei häufig wiederkehrenden Rechnungen noch vereinfachen läßt, wird zunächst der günstigste Draht d_0 berechnet; der nächstgelegene (größere) Draht der Normaldrahtreihe d_D ist für die Messung zu verwenden; mit dessen Durchmesser wird die weitere Rechnung durchgeführt. Beim Aufschlagen des Logarithmus der Winkelfunktionen ($\alpha/2$) werden sofort die Werte für $\log \sin \alpha/2$, $\log \cos \alpha/2$ und $\log \operatorname{ctg} \alpha/2$ sowie die *kursiv* gesetzten Werte, da für alle Rechnungen gleich, in die entsprechenden Zeilen und Spalten eingetragen. Alles Weitere folgt aus dem Schema selbst.

Tafel 16. Prüfmaß-Berechnung (Beispiel). Gewinde: Tr. 26 \times 12 (2 gäng.)

$n = 2$	$h = 6 \text{ mm}$	d_2	23,0000 mm	$\alpha/2 = 15^\circ$	$d_D = 3,20 \text{ mm}$
$\log h$	0,778151	$+ d_D/\sin \alpha/2$	12,3639 „	E	24,1677 mm
$\log 1/\cos \alpha/2$	0,015056	$- h/2 \operatorname{ctg} \alpha/2$	-11,1962 „	d_D	3,2000 „
$\log 0,5$	9,698970	E	24,1677 mm	δ_n	0,1492 „
$\log d_0$	0,492177	$- F$	- 0,8282 „	P	27,5169 mm
d_0	3,1058 mm	$E - F$	23,3395 mm	Formeln: $P = E + d_D + \delta_n$ $E = d_2 + \frac{d_D}{\sin \alpha/2} - h/2 \operatorname{ctg} \alpha/2$ $F = d_D \cdot \sin \alpha/2$ $\delta_n = n^2 \cdot \delta_1 \quad \left| \quad d_0 = \frac{h}{2 \cos \alpha/2}$ $\delta_1 = \frac{d_D}{2} \cdot \frac{h^2}{\pi^2} \cdot \frac{\cos \alpha/2 \operatorname{ctg} \alpha/2}{E(E - F)}$	
$\log d_D$	0,505150	$\log E$	1,383236		
$\log \sin \alpha/2$	9,412996	$\log(E - F)$	1,368092		
$\log d_D/\sin \alpha/2$	1,092154	$\log E(E - F)$	2,751328		
$\log d_D \cdot \sin \alpha/2$	9,918146	$\log 1/E(E - F)$	7,248672		
$\log h$	0,778151	$\log \cos \alpha/2$	9,984944		
$\log \operatorname{ctg} \alpha/2$	0,571948	$\log \operatorname{ctg} \alpha/2$	0,571948		
$\log 0,5$	9,698970	$\log d_D$	0,505150		
$\log \frac{h}{2} \operatorname{ctg} \alpha/2$	1,049069	$2 \cdot \log h$	1,556302		
		$\log \frac{1}{2} \pi^2$	8,704670		
		$\log n^2$	0,602060		
		$\log \delta_n$	9,173746		
n	Gangzahl des Gewindes	d_0	Dmr. des günstigsten Drahtes		
h	Teilung des Gewindes	d_D	Dmr. des verwendeten Drahtes		
$\alpha/2$	Teilflankenwinkel	d_2	Flankendmr. des Gewindes		

Eine Mehrfachberührung des Drahtes im Gewindegang ist bei den gebräuchlichen Gewinden nicht zu befürchten. Sie braucht erst bei den steilgängigen Mehrfachgewinden untersucht zu werden (Günther und Zöllner [11]).

Für das genaue Messen des Flankenwinkels bedient man sich optischer Methoden. Auf den bekannten **Werkzeugmikroskopen** ist die Flankenwinkelmessung und bei Verwendung von Endmaßen auch die Steigungsmessung recht genau möglich. In Verbindung mit der Ermittlung der Istwerte der Bestimmungsstücke auf dem Werkstattmikroskop liefert die Dreidrahtmethode (bei Berücksichtigung aller Fehlermöglichkeiten) für den Flankendurchmesser Ergebnisse, die nur von der vollständigen optischen Vermessung auf dem Universal-Meßmikroskop an Zuverlässigkeit übertroffen werden.

Auf den Werkzeugmikroskopen werden die Gewinde nach dem sog. Schattenbildverfahren ausgemessen. Über die Handhabung dieser Geräte sind stets die Gebrauchsanweisungen der Lieferfirmen zu Rate zu ziehen, in denen auch Angaben über die erreichbaren Meßgenauigkeiten enthalten sind. Bei Körpern mit gekrümmten Begrenzungsflächen stimmt die optische Projektion im allgemeinen nicht mit der geometrischen Projektion überein. Ist jedoch die Krümmung der von den Lichtstrahlen gestreiftten Flächen annähernd bekannt, so kann durch die Wahl der richtigen Beleuchtungsöffnung (Wahl des günstigsten Blendendurchmessers) der Durchmesser von Zylindern oder der Flankendurchmesser von Gewinden praktisch fehlerfrei gemessen und auch die Korrektur der Flankenwinkelverzerrung zahlenmäßig angegeben werden. Für die verschiedenen Durchmesser können die zugehörigen Blendenöffnungen nur aus den optischen Daten der verwendeten Geräte errechnet werden; sie werden vom Erzeuger in Form von Zahlentafeln in den Gebrauchsanweisungen zu derartigen Geräten bekanntgegeben. Um Fehlmessungen zu vermeiden, ist dieser Erscheinung sorgfältige Beachtung zu schenken (Günther [10]).

Eine achsensenkrechte Projektion gibt nicht das Profilbild des Gewindes im Achsenschnitt; solange der Ständer des Mikroskopes senkrecht steht, ist es auch — trotz des Scharfstellens auf die Achsenschnittebene — nicht möglich, die beiden Flanken einer Gewindelücke oder eines Gewindezahnes gleichzeitig mit ausreichender Schärfe abzubilden. Es ist erforderlich, die Abbildung bei Neigung des Mikroskopständers in Richtung des mittleren Steigungswinkels φ vorzunehmen; die gleichzeitige Schärfe beider Gewindeflanken dient dabei als Kriterium für die richtige Neigung des Mikroskopes. Die Neigung des Ständers muß für die beiden Gewindegewandungen entgegengesetzt gleich sein; bei Durchmessermessungen ist also die Neigung des Mikroskopes während der Messung zu verändern. Der in der geeigneten

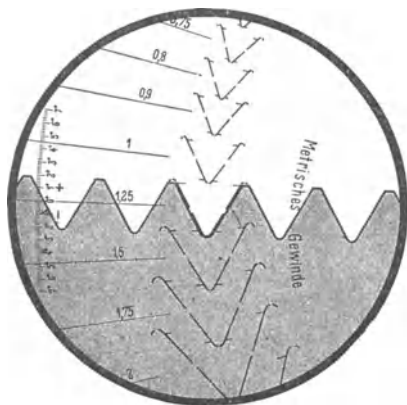


Abb. M 26.

Stellung des Mikroskoparmes ermittelte Flankenwinkel α' ist nicht der Winkel des Gewindeprofils im Achsenschnitt; α errechnet sich erst gemäß der Formel: $\text{tg } \alpha'/2 = \text{tg } \alpha/2 \cdot \cos \varphi$. Für diese Messung verwendet man zweckmäßig ein „Winkelmeßokular“.

Die Verwendung der „Revolverokulare“ ermöglicht einen unmittelbaren Profilvergleich: Man vergleicht das Schattenbild des Gewindes mit den Gewinde-Normalprofilen auf der Strichplatte dieser Okulare, Abb. M 26. Die verschiedenen Normalprofile sind auf

der um einen außerhalb des Gesichtsfeldes des Okulars gelegenen Punkt drehbaren Glasplatte so angebracht, daß sie nacheinander und mit richtiger Lage zur Gewindeachse

in das Gesichtsfeld des Okulars gebracht werden können; Abweichungen in der Lage des Schattenbildes zum Normalprofil sind an einer Hilfsteilung im Gesichtsfeld des Okulars im Winkelmaß ablesbar. Diese Normalprofile dienen auch zur bequemen Ermittlung des Flankendurchmessers. Die Strichfigur, die der Steigung und der Profilform des Gewindes entspricht, wird nach Einstellen der vorgeschriebenen Blendenöffnung durch Verschieben von Längs- und Querschlitten mit der Schattenkante so zur Deckung gebracht, daß die Strichstärken der Profilzeichnung auf der Revolverstrichplatte durch die Schattenkante des Gewindeprofils halbiert werden (erkennbar in den Unterbrechungen des Linienzuges des Strichprofils). Nunmehr verschiebt man den Querschlitten (senkrecht zur Gewindeachse) nach symmetrischer Verschwenkung des Mikroskopständers so lange, bis auf der anderen Seite des Gewindes wiederum Schattenkante und Strichfigur im Okular in gleicher Weise zur Deckung kommen. Der Betrag dieser achsensenkrechten Verschiebung des Mikroskopes ist gleich dem Flankendurchmesser des Gewindes.

Sind bei Einstellung der Bezugsmarke der Strichplatte auf dem Nullpunkt der seitlichen Hilfsteilung im Okular, Abb. M 26, die Schattenkante und die Strichfigur einander nicht parallel, so ist entweder das Gewinde nicht genau ausgerichtet oder es hat einen Profil-Lagefehler (das Gewinde ist schief geschnitten). Diese Fehler lassen sich, entsprechend der Genauigkeit der Geräte, durch den Meßvorgang getrennt erfassen.

Auch das Messen der Steigung ist mit dem Revolverokular auf den Werkzeugmikroskopen durchführbar. Gegenüber der Bestimmung des Flankendurchmessers erfolgt nach der Einstellung des Schattenbildes auf die Strichfigur die meßbare Verschiebung um z. B. einen Gang hierbei parallel zur Gewindeachse (ohne Verschwenkung des Ständers). Zwecks Verringerung der Einstellfehler kann die Verschiebung auch über mehrere Gänge erfolgen; der Verschiebungsweg ist dann durch die Zahl der Gänge zu dividieren. Eine genaue Blendeneinstellung ist hierbei ebensowenig erforderlich wie die Halbierung der Striche der Normalprofile durch die Schattenkante, jedoch müssen alle Einstellungen einer Messung gleichartig durchgeführt werden.

Statt durch Profilvergleich mit den Strichfiguren des Revolverokulars können sämtliche Messungen im Schattenbild mit dem Strichkreuz des Revolverokulars oder des Winkelmeßokulars, das eine genauere Bestimmung des Flankenwinkels gestattet, durchgeführt werden. Hierbei ist jedoch jede Messung als Doppelmessung an den rechten und linken Flanken mit Mittelwertbildung erforderlich, um von Ausrichtefehlern freie Meßwerte zu erhalten. Die Blenden-Vorschriften sind beim Schattenbildverfahren für die Flankendurchmesser- und Flankenwinkelmessung stets zu beachten und die Korrektur der Winkelmessung nach den Vorschriften in den Gebrauchsanweisungen der Lieferfirmen unerläßlich.

Die genaueste Vermessung von Gewindelehren erfolgt auf dem **Universal-Meßmikroskop**. Dieses Gerät gestattet neben der Vermessung nach dem Schattenbildverfahren, wie es für die Werkzeugmikroskope beschrieben wurde, eine exakte Messung der Bestimmungstücke des Gewindes im Achsenschnittverfahren. Bei diesem Verfahren werden genau in der Achsenebene des Gewindes „Meßschneiden“ an die Gewindeflanken angeschoben. Diese Schneiden tragen auf ihrer Oberseite parallel zur Berührungskante einen feinen Strich, auf den das Mikroskop eingestellt wird;

der Abstand des Striches von der Schneidenkante ist bei allen Schneiden bis auf $0,5\ \mu$ genau derselbe und wird im Gesichtsfeld des Winkelmeßokulars durch genau angebrachte Parallelstriche zum Fadenkreuz für die Messung ausgeschaltet.

Mit diesen Schneiden in Verbindung mit dem Winkelmeßokular kann man so messen, als ob der Achsenschnitt des Gewindes unmittelbar sichtbar wäre. Die Schneiden müssen dazu nicht nur genau hergestellt sein, sondern auch im Gebrauch auf Abnutzung überwacht und gefundene Abweichungen durch Rechnung berücksichtigt werden. Die einwandfreie Anlage der Schneiden ist für genaue Messungen Vorbedingung. Die Bestimmung des Flankendurchmessers durch Benutzung des senkrecht zur Achse beweglichen Querschlittens muß wegen etwaiger Ausrichtefehler des Gewindes nacheinander an zwei benachbarten (entgegengesetzt gerichteten) Flanken durchgeführt und das arithmetische Mittel aus beiden Messungen gebildet werden. Die Steigungsmessung erfolgt wiederum durch Verschiebung des Längsschlittens (um einen oder mehrere Gänge). Auch hier ist zum Vermeiden des Einflusses der Ausrichtefehler eine Doppelmessung erforderlich: Man ermittelt die Steigung einmal mit den Rechts- und einmal mit den Linksflanken und errechnet das Ergebnis als arithmetisches Mittel beider Messungen, wodurch der von Ausrichtefehlern freie Steigungswert erhalten wird. Schneidenfehler können hierbei ausgeschaltet werden, wenn eine und dieselbe Schneide nacheinander an den Gewindeflanken zur Anlage gebracht wird.

Die Bestimmung des Flankenwinkels mit dem Winkelmeßokular und Schneiden gibt unmittelbar den Profilwinkel im Achsenschnitt. Durch beidseitige Messung der Flankenneigung zur Achse kann der Schiefefehler des Gewindeprofils unabhängig vom Ausrichtefehler ermittelt werden.

Die mit diesen hochwertigen Geräten erreichbaren Meßgenauigkeiten findet man in den Druckschriften der Lieferfirmen. Man beachte jedoch, daß das Erreichen dieser Ergebnisse das Vertrautsein mit den Geräten, sorgfältigste Durchführung der Messung und die Ermittlung sämtlicher Korrekturen, aber auch eine ausreichende Oberflächengüte des Prüflings voraussetzt.

Über die Prüfung absichtlich schiefgeschnittener Gewinde, der **Gewinde mit unsymmetrischen Profil** berichtet das Sonderschrifttum. Für die Sägewinde weist Schmidt darauf hin, daß ein Flankendurchmesser im üblichen Sinne nicht vorhanden ist. Es wirken zwei Flanken zusammen, die für das Gewinde von verschiedener Bedeutung sind. Die schräger liegende Flanke stellt gegenüber der steilen Flanke nur eine Hilfsflanke dar. Von Wichtigkeit sind bei diesen Gewinden der Flankenwinkel der Steiflanke, die Steigung und der Außendurchmesser, der die Führung des Gewindes übernimmt. Die Drahtmethode ist bei unsymmetrischen Profilen gegenüber der Vermessung von symmetrischen Gewinden wohl nicht von der gleichen Bedeutung, da sie für die Messung eine Genauigkeit der schrägliegenden Flanke bedingt, die sonst nicht erforderlich ist. Für das Messen derartiger Gewinde sei daher nur auf das diesbezügliche Schrifttum verwiesen (Schmidt [12], Berndt [7]).

Für die **Prüfung von Innengewinden** kommt im allgemeinen nur die Lehrengemäß den Normenvorschlägen in Betracht, bei denen die Innenmessung vermieden und durch Passen nach einem Paßdorn (s. S. 502) ersetzt ist. Eine Einzelprüfung der Bestimmungsstücke des Innengewindes

ist nicht ohne weiteres möglich. Für die Bestimmung des Flankendurchmessers bedient man sich bei guter Genauigkeit eines Vergleichsverfahrens. Unter Verwendung von Kugeln als Meßstücke für die Maßübertragung ermittelt man die Abweichungen im Flankendurchmesser des Prüflings gegenüber einem Gewinde-„Normal“ring oder gegen eine Einstell-Lehre; diese wird aus Endmaßen und sog. Kimmen-Endmaßen zu einem Gewindenormal zusammengesetzt. Ohne Bestimmung des Flankenwinkels kommt man hierbei wieder nur durch Verwendung der günstigsten Kugeldurchmesser zu fehlerfreien Ergebnissen (vgl. Dreidrahtmethode). Zum Messen selbst bedient man sich hier des Optimeters mit waagrechttem Ständer oder des Abbeschen Längenmessers gleicher Ausführung. Die Flankenwinkelmessung, die für genaue Messungen unerlässlich ist, erfolgt am besten an einem Abdruck (Berndt [1]) des Gewindes, während die Steigungsmessung auf mechanischen Meßmaschinen meist gut möglich ist. Die Berücksichtigung der Fehlereinflüsse erfolgt sinngemäß in gleicher Weise wie beim Messen von Lehdornen mit dem Dreidrahtverfahren.

Schrifttum.

1. Berndt, G.: Messung von Innengewinden an Abgüssen. Werkzeugmasch. 1929 S.157.
 2. Berndt, G., u. E. Bock: Ein neues Verfahren zur Messung von Innengewinden. Z. Instrumentenkde. 50 (1930) S. 375—384, 407—416.
 3. Berndt, G.: Die Bestimmung des Flankendurchmessers nach der Dreidrahtmethode. Z. Instrumentenkde. 51 (1931) S. 560—574.
 4. Berndt, G.: Gewinde-Messungen. Grundlagen und Definitionen für zylindrische Gewinde. Arch. techn. Messen 1932—T 52. V. 8321—1.
 5. Berndt, G.: Bestimmung des Flankendurchmessers von Gewinden. Masch.-Bau/ Betrieb XI (1932) S. 133—138.
 6. Berndt, G.: Die Bestimmung des Flankendurchmessers von Gewinden mit symmetrischem Profil nach der Dreidrahtmethode. Z. Instrumentenkde. 59 (1939) S. 439 bis 448.
 7. Berndt, G.: Die Bestimmung des Flankendurchmessers von Gewinden mit unsymmetrischem Profil nach der Dreidrahtmethode. Z. Instrumentenkde. 60 (1940) S. 14 bis 22.
 8. Bochmann, H.: Meßfehler durch Abplattung beim Gewindemessen. Z. Instrumentenkde. 49 (1929) S. 188—203.
 9. Günther, N.: Analytisches Verfahren zur Ermittlung der günstigsten Meßdrähte für die sog. „Dreidrahtmethode“. Z. Instrumentenkde. 53 (1933) S. 373—379.
 10. Günther, N.: Die mikroskopische Abbildung von Zylindern und Gewinden. Z. Instrumentenkde. 59 (1939) S. 315—321.
 11. Günther, N., u. H. Zollner: Die Messung der Flankendurchmesser mehrgängiger Gewinde mit drei Drähten. Feinmech. u. Präz. 1940 S. 129—131.
 12. Schmidt, H.: Die Prüfung von Sägewinde. Techn. Zbl. prakt. Metallbearb. 49 (1939) S. 787—790.
 13. Tomlinson, G. A.: Correction for rake in screw-thread measurement. Proc. Instn. mech. Engrs., Lond. 1927 S. 1031—1036.
- Berndt, G.: Die deutschen Gewindetoleranzen. Berlin: Julius Springer 1929.
 Kress, K.: Messen und Prüfen von Gewinden. Werkstattbuch 65. Berlin: Julius Springer 1938.

E. Gewinde-Tafeln.

Grenzmaße für Whitworth-Gewinde DIN 11 nach Fein-¹⁾ (f), Mittel- (m) und Grob- (g) toleranz.

(DIN 11, Beiblatt 2 u. 4 gekürzt.) Maße in mm.

Schraubenbolzen.

Nenn- durch- messer	Gang- zahl	Außendurchmesser			Kerndurchmesser			Flankendurchmesser			
		Größt- maß	Kleinstmaß		Größt- maß	Kleinstmaß		Größt- maß	Kleinstmaß		
			f m g	f		m g	f m g		f	m	g
$\frac{1}{4}$	20	6,330	6,200	6,000	4,724	4,572	4,422	5,537	5,461	5,424	5,348
$\frac{5}{16}$	18	7,918	7,800	7,600	6,131	5,971	5,813	7,034	6,954	6,915	6,835
$\frac{3}{8}$	16	9,505	9,400	9,100	7,492	7,324	7,154	8,509	8,425	8,382	8,298
$\frac{7}{16}$	14	11,093	10,900	10,700	8,789	8,609	8,430	9,951	9,861	9,816	9,727
$\frac{1}{2}$	12	12,675	12,500	12,200	9,990	8,796	9,600	11,345	11,248	11,199	11,101
$\frac{5}{8}$	11	15,846	15,700	15,400	12,918	12,714	12,510	14,397	14,295	14,244	14,142
$\frac{3}{4}$	10	19,018	18,850	18,500	15,798	15,584	15,371	17,424	17,317	17,264	17,157
$\frac{7}{8}$	9	22,190	21,950	21,600	18,611	18,385	18,161	20,419	20,306	20,250	20,138
I	8	25,361	25,150	24,800	21,335	21,097	20,858	23,368	23,249	23,189	23,070
$\frac{1}{8}$	7	28,529	28,350	27,900	23,929	23,673	23,419	26,253	26,125	26,062	25,934
$\frac{1}{4}$	7	31,704	31,550	31,000	27,104	26,848	26,594	29,428	29,300	29,237	29,109
$\frac{1}{2}$	6	34,873	34,650	34,100	29,505	29,229	28,953	32,215	32,077	32,008	31,870
$\frac{3}{8}$	6	38,048	37,850	37,300	32,680	32,404	32,128	35,391	35,253	35,184	35,046
$\frac{1}{2}$	5	41,214	41,050	40,300	34,771	34,469	34,166	38,024	37,873	37,797	37,646
$\frac{3}{4}$	5	44,389	44,150	43,500	37,946	37,644	37,341	41,199	41,048	40,972	40,821
$\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	47,557	47,350	46,600	40,398	40,080	39,761	44,012	43,853	43,773	43,614
2	$4\frac{1}{2}$	50,732	50,500	49,800	43,573	43,255	42,936	47,187	47,028	46,948	46,789

Mutter.

Nenn- durch- messer	Gang- zahl	Außen- dmmr. Kleinst- maß	Kerndurchmesser				Flankendurchmesser			
			Kleinstmaß		Größtmaß		Kleinst- maß		Größtmaß	
			f	m g	f	m g	f m g	f	m	g
$\frac{1}{4}$	20	6,350	4,820	4,744	5,104	5,224	5,537	5,613	5,650	5,726
$\frac{5}{16}$	18	7,938	6,231	6,151	6,531	6,661	7,034	7,114	7,153	7,233
$\frac{3}{8}$	16	9,525	7,596	7,512	7,912	8,052	8,509	8,593	8,636	8,720
$\frac{7}{16}$	14	11,113	8,899	8,809	9,229	9,379	9,951	10,041	10,086	10,175
$\frac{1}{2}$	12	12,700	10,112	10,015	10,460	10,610	11,345	11,442	11,491	11,589
$\frac{5}{8}$	11	15,876	13,050	12,948	13,428	13,598	14,397	14,499	14,550	14,652
$\frac{3}{4}$	10	19,051	15,938	15,831	16,348	16,538	17,424	17,531	17,584	17,691
$\frac{7}{8}$	9	22,226	18,760	18,647	19,201	19,411	20,419	20,532	20,588	20,700
I	8	25,401	21,494	21,375	21,965	22,185	23,368	23,487	23,547	23,666
$\frac{1}{8}$	7	28,576	24,104	23,976	24,629	24,879	26,253	26,381	26,444	26,572
$\frac{1}{4}$	7	31,751	27,279	27,151	27,804	28,054	29,428	29,556	29,619	29,747
$\frac{1}{2}$	6	34,926	29,696	29,558	30,275	30,555	32,215	32,353	32,422	32,560
$\frac{3}{8}$	6	38,101	32,871	32,733	33,450	33,730	35,391	35,529	35,598	35,736
$\frac{1}{2}$	5	41,227	34,985	34,834	35,611	35,921	38,024	38,175	38,251	38,402
$\frac{3}{4}$	5	44,452	38,160	38,009	38,786	39,096	41,199	41,350	41,426	41,577
$\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	47,627	40,627	40,468	41,308	41,648	44,012	44,171	44,251	44,410
2	$4\frac{1}{2}$	50,802	43,802	43,643	44,483	44,823	47,187	47,346	47,426	47,585

¹⁾ Gütegrad „Fein“ ist erst Vornorm.

Grenzmaße für Metrische Gewinde DIN 13 und 14 nach Fein- (f), Mittel- (m) und Grob- (g) toleranz.

(DIN 13 u. 14, Beiblatt 2 u. 4 gekürzt.)

Schraubenbolzen.

Maße in mm.

Nenn- durchmesser	Steigung	Außendurchmesser			Kerndurchmesser			Flankendurchmesser			
		Größt- maß		Kleinstmaß	Größt- maß		Kleinstmaß	Größt- maß		Kleinstmaß	
		f	m g		f	m g		f	m	g	
1	0,25	1	0,950	—	0,676	0,608	—	0,838	0,804	—	—
1,2	0,25	1,2	1,150	—	0,876	0,808	—	1,038	1,004	—	—
1,4	0,3	1,4	1,350	—	1,010	0,936	—	1,205	1,168	—	—
1,7	0,35	1,7	1,650	—	1,246	1,166	—	1,473	1,433	—	—
2	0,4	2	1,950	1,900	1,480	1,396	1,310	1,740	1,698	1,676	—
2,3	0,4	2,3	2,250	2,200	1,780	1,696	1,610	2,040	1,998	1,976	—
2,6	0,45	2,6	2,550	2,500	2,016	1,926	1,837	2,308	2,263	2,241	—
3	0,5	3	2,950	2,890	2,350	2,256	2,161	2,675	2,628	2,604	—
3,5	0,6	3,5	3,420	3,380	2,720	2,616	2,522	3,110	3,058	3,032	—
4	0,7	4	3,920	3,870	3,090	2,978	2,866	3,545	3,489	3,461	—
4,5	0,75	4,5	4,420	4,360	3,526	3,410	3,294	4,013	3,955	3,926	—
5	0,8	4	4,920	4,700	3,960	3,840	3,720	4,480	4,420	4,390	4,330
5,5	0,9	5,5	5,420	5,150	4,330	4,202	4,076	4,915	4,815	4,820	4,756
6	1	6	5,920	5,650	4,700	4,566	4,431	5,350	5,283	5,249	5,182
7	1	7	6,900	6,650	5,700	5,566	5,431	6,350	6,283	6,249	6,182
8	1,25	8	7,900	7,600	6,376	6,226	6,077	7,188	7,113	7,076	7,001
9	1,25	9	8,900	8,600	7,376	7,226	7,077	8,188	8,113	8,076	8,001
10	1,5	10	9,900	9,600	8,052	7,888	7,724	9,026	8,944	8,903	8,821
11	1,5	11	10,900	10,600	9,052	8,888	8,724	10,026	9,944	9,903	9,821
12	1,75	12	11,900	11,500	9,726	9,550	9,371	10,863	10,775	10,730	10,641
14	2	14	13,900	13,500	11,402	11,212	11,023	12,701	12,606	12,559	12,464
16	2	16	15,900	15,500	13,402	13,212	13,023	14,701	14,606	14,559	14,464
18	2,5	18	17,900	17,500	14,752	14,540	14,328	16,376	16,270	16,217	16,111
20	2,5	20	19,850	19,500	16,752	16,540	16,328	18,376	18,270	18,217	18,111
22	2,5	22	21,850	21,500	18,752	18,540	18,328	20,376	20,270	20,217	20,111
24	3	24	23,850	23,400	20,102	19,870	19,638	22,051	21,935	21,877	21,761
27	3	27	26,850	26,400	23,102	22,870	22,638	25,051	24,935	24,877	24,761
30	3,5	30	29,850	29,300	25,454	25,204	24,953	27,727	27,602	27,539	27,414
33	3,5	33	32,850	32,200	28,454	28,204	27,953	30,727	30,602	30,539	30,414
36	4	36	35,850	35,200	30,804	30,536	30,268	33,402	33,268	33,201	33,067
39	4	39	38,850	38,200	33,804	33,536	33,268	36,402	36,268	36,201	36,067
42	4,5	42	41,850	41,000	36,154	35,870	35,586	39,077	38,935	38,864	38,722
45	4,5	45	44,850	44,000	39,154	38,870	38,586	42,077	41,935	41,864	41,722
48	5	48	47,850	47,000	41,504	41,204	40,904	44,752	44,602	44,527	44,377
52	5	52	51,800	51,000	45,504	45,204	44,904	48,752	48,602	48,527	48,377

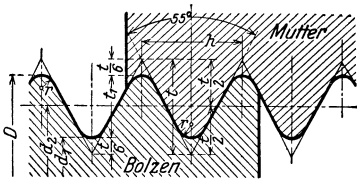
Grenzmaße für Metrische Gewinde DIN 13 und 14 nach Fein- (f), Mittel- (m) und Grob- (g) toleranz.

(DIN 13 u. 14, Beiblatt 2 u. 4 gekürzt.)

Mutter.

Maße in mm.

Nenn- durch- messer	Steig- ung	Außen- durch- messer Kleinst- maß	Kerndurchmesser				Flankendurchmesser			
			Kleinstmaß		Größtmaß		Kleinst- maß		Größtmaß	
			f	m	g	f	m	g	f	m	g
1	0,25	1	0,710	—	0,796	—	0,838	0,872	—	—
1,2	0,25	1,2	0,910	—	0,996	—	1,038	1,072	—	—
1,4	0,3	1,4	1,047	—	1,140	—	1,205	1,242	—	—
1,7	0,35	1,7	1,286	—	1,386	—	1,473	1,513	—	—
2	0,4	2	1,522	1,480	1,630	1,630	1,740	1,782	1,804	—
2,3	0,4	2,3	1,822	1,780	1,930	1,930	2,040	2,082	2,104	—
2,6	0,45	2,6	2,061	2,016	2,186	2,186	2,308	2,353	2,375	—
3	0,5	3	2,397	2,350	2,530	2,530	2,675	2,722	2,746	—
3,5	0,6	3,5	2,772	2,720	2,920	2,920	3,110	3,162	3,188	—
4	0,7	4	3,146	3,090	3,300	3,300	3,545	3,601	3,629	—
4,5	0,75	4,5	3,584	3,526	3,756	3,756	4,013	4,071	4,100	—
5	0,8	5	4,020	3,960	4,200	4,260	4,480	4,540	4,570	4,630
5,5	0,9	5,5	4,394	4,330	4,590	4,660	4,915	4,979	5,010	5,074
6	1	6	4,767	4,700	5,000	5,080	5,350	5,417	5,451	5,518
7	1	7	5,767	5,700	6,000	6,080	6,350	6,417	6,451	6,518
8	1,25	8	6,451	6,376	6,726	6,826	7,188	7,263	7,300	7,375
9	1,25	9	7,451	7,376	7,726	7,826	8,188	8,263	8,300	8,375
10	1,5	10	8,134	8,052	8,432	8,552	9,026	9,108	9,149	9,231
11	1,5	11	9,134	9,052	9,432	9,552	10,026	10,108	10,149	10,231
12	1,75	12	9,814	9,726	10,146	10,276	10,863	10,951	10,996	11,085
14	2	14	11,497	11,402	11,862	12,002	12,701	12,796	12,843	12,938
16	2	16	13,497	13,402	13,862	14,002	14,701	14,796	14,843	14,938
18	2,5	18	14,858	14,752	15,282	15,452	16,376	16,482	16,535	16,641
20	2,5	20	16,858	16,752	17,282	17,452	18,376	18,482	18,535	18,641
22	2,5	22	18,858	18,752	19,282	19,452	20,376	20,482	20,535	20,641
24	3	24	20,218	20,102	20,702	20,902	22,051	22,167	22,225	22,341
27	3	27	23,218	23,102	23,702	23,902	25,051	25,167	25,225	25,341
30	3,5	30	25,579	25,454	26,124	26,354	27,727	27,852	27,915	28,040
33	3,5	33	28,579	28,454	29,124	29,354	30,727	30,852	30,915	31,040
36	4	36	30,938	30,804	31,534	31,804	33,402	33,536	33,603	33,737
39	4	39	33,938	33,804	34,534	34,804	36,402	36,536	36,603	36,737
42	4,5	42	36,296	36,154	36,954	37,254	39,077	39,219	39,290	39,432
45	4,5	45	39,296	39,154	39,954	40,254	42,077	42,219	42,290	42,432
48	5	48	41,654	41,504	42,374	42,704	44,752	44,902	44,977	45,127
52	5	52	45,654	45,504	46,374	46,704	48,752	48,902	48,977	49,127



Whitworth-Gewinde

nach DIN 11.

Dreieckshöhe	t	$0,96049 \cdot h$
Gewindetiefe	t_1	$0,64033 \cdot h$
Steigung ...	h	$\left\{ \begin{array}{l} 25,40095 : \text{Gang-} \\ \text{zahl} \end{array} \right.$
Rundung ...	r	$0,13733 \cdot h$

D		Kern- durchmesser d_1	Gewinde- tiefe t_1	Flanken- durchmesser d_2	Steigung h	Gang auf 1''
''	mm					
1/4''	6,350	4,724	0,813	5,537	1,270	20
5/16''	7,938	6,131	0,904	7,034	1,411	18
3/8''	9,525	7,492	1,017	8,509	1,588	16
(7/16'')	11,113	8,789	1,162	9,951	1,814	14
1/2''	12,700	9,990	1,355	11,345	2,117	12
5/8''	15,876	12,918	1,479	14,397	2,309	11
3/4''	19,051	15,798	1,627	17,424	2,540	10
7/8''	22,226	18,611	1,807	20,419	2,822	9
1''	25,401	21,335	2,033	23,368	3,175	8
1 1/8''	28,576	23,929	2,324	26,253	3,629	7
1 1/4''	31,751	27,104	2,324	29,428	3,629	7
1 3/8''	34,926	29,505	2,711	32,215	4,233	6
1 1/2''	38,101	32,680	2,711	35,391	4,233	6
1 5/8''	41,277	34,771	3,253	38,024	5,080	5
1 3/4''	44,452	37,946	3,253	41,199	5,080	5
(1 7/8'')	47,627	40,398	3,614	44,012	5,645	4 1/2
2''	50,802	43,573	3,614	47,187	5,645	4 1/2
2 1/4''	57,152	49,020	4,066	53,086	6,350	4
2 1/2''	63,502	55,370	4,066	59,436	6,350	4
2 3/4''	69,853	60,558	4,647	65,205	7,257	3 1/2
3''	76,203	66,909	4,647	71,556	7,257	3 1/2
3 1/4''	82,553	72,544	5,005	77,548	7,816	3 1/4
3 1/2''	88,903	78,894	5,005	83,899	7,816	3 1/4
3 3/4''	95,254	84,410	5,422	89,832	8,467	3
4''	101,604	90,760	5,422	96,182	8,467	3
4 1/4''	107,954	96,639	5,657	102,297	8,835	2 7/8
4 1/2''	114,304	102,990	5,657	108,647	8,835	2 7/8
4 3/4''	120,655	108,825	5,915	114,740	9,237	2 3/4
5''	127,005	115,176	5,915	121,090	9,237	2 3/4
5 1/4''	133,355	120,963	6,196	127,159	9,677	2 5/8
5 1/2''	139,705	127,313	6,196	133,509	9,677	2 5/8
5 3/4''	146,055	133,043	6,506	139,549	10,160	2 1/2
6''	152,406	139,394	6,506	145,900	10,160	2 1/2

Nicht genormt, nur für die Übergangzeit:

1/16''	1,588	1,045	0,271	1,317	0,423	60
3/32''	2,381	1,704	0,339	2,042	0,529	48
1/8''	3,175	2,362	0,407	2,768	0,635	40
5/32''	3,969	2,952	0,508	3,461	0,794	32
3/16''	4,763	3,407	0,678	4,085	1,058	24
7/32''	5,556	4,201	0,678	4,878	1,058	24
9/16''	14,288	11,577	1,355	12,933	2,117	12
11/16''	17,463	14,506	1,479	15,985	2,309	11
13/16''	20,638	17,385	1,627	19,012	2,540	10
15/16''	23,813	20,199	1,807	22,006	2,822	9
2 1/16''	53,977	46,748	3,614	50,363	5,645	4 1/2
2 3/8''	60,327	52,195	4,066	56,261	6,350	4
2 5/8''	66,677	58,545	4,066	62,611	6,350	4
2 7/8''	73,028	63,734	4,647	68,381	7,257	3 1/2
3 1/8''	79,378	70,084	4,647	74,731	7,257	3 1/2
3 3/8''	85,728	75,718	5,005	80,723	7,816	3 1/4
3 5/8''	92,078	82,068	5,005	87,073	7,816	3 1/4
3 7/8''	98,429	87,585	5,422	93,007	8,467	3

Die eingeklammerten Gewinde sind möglichst zu vermeiden.

Whitworth-Feingewinde I

nach DIN 239.

Gewindeform nach Abb. S. 517.

Gangzahl für alle Durchmesser 4 (Steigung = 6,3502).

Nenn-durchmesser mm	Bolzen			Mutter		Nenn-durchmesser mm	Bolzen			Mutter	
	d mm	d_1 mm	d_2 mm	D mm	D_1 mm		d mm	d_1 mm	d_2 mm	D mm	D_1 mm
56	55,060	47,868	51,934	56	48,808	224	223,060	215,868	219,934	224	216,808
60	59,060	51,868	55,934	60	52,808	229	228,060	220,868	224,934	229	221,808
64	63,060	55,868	59,934	64	56,808	234	233,060	225,868	229,934	234	226,808
68	67,060	59,868	63,934	68	60,808	239	238,060	230,868	234,934	239	231,808
72	71,060	63,868	67,934	72	64,808	244	243,060	235,868	239,934	244	236,808
76	75,060	67,868	71,934	76	68,808	249	248,060	240,868	244,934	249	241,808
80	79,060	71,868	75,934	80	72,808	254	253,060	245,868	249,934	254	246,808
84	83,060	75,868	79,934	84	76,808	259	258,060	250,868	254,934	259	251,808
89	88,060	80,868	84,934	89	81,808	264	263,060	255,868	259,934	264	256,808
94	93,060	85,868	89,934	94	86,808	269	268,060	260,868	264,934	269	261,808
99	98,060	90,868	94,934	99	91,808	274	273,060	265,868	269,934	274	266,808
104	103,060	95,868	99,934	104	96,808	279	278,060	270,868	274,934	279	271,808
109	108,060	100,868	104,934	109	101,808	284	283,060	275,868	279,934	284	276,808
114	113,060	105,868	109,934	114	106,808	289	288,060	280,868	284,934	289	281,808
119	118,060	110,868	114,934	119	111,808	294	293,060	285,868	289,934	294	286,808
124	123,060	115,868	119,934	124	116,808	299	298,060	290,868	294,934	299	291,808
129	128,060	120,868	124,934	129	121,808	309	308,060	300,868	304,934	309	301,808
134	133,060	125,868	129,934	134	126,808	319	318,060	310,868	314,934	319	311,808
139	138,060	130,868	134,934	139	131,808	329	328,060	320,868	324,934	329	321,808
144	143,060	135,868	139,934	144	136,808	339	338,060	330,868	334,934	339	331,808
149	148,060	140,868	144,934	149	141,808	349	348,060	340,868	344,934	349	341,808
154	153,060	145,868	149,934	154	146,808	359	358,060	350,868	354,934	359	351,808
159	158,060	150,868	154,934	159	151,808	369	368,060	360,868	364,934	369	361,808
164	163,060	155,868	159,934	164	156,808	379	378,060	370,868	374,934	379	371,808
169	168,060	160,868	164,934	169	161,808	389	388,060	380,868	384,934	389	381,808
174	173,060	165,868	169,934	174	166,808	399	398,060	390,868	394,934	399	391,808
179	178,060	170,868	174,934	179	171,808	409	408,060	400,868	404,934	409	401,808
184	183,060	175,868	179,934	184	176,808	419	418,060	410,868	414,934	419	411,808
189	188,060	180,868	184,934	189	181,808	429	428,060	420,868	424,934	429	421,808
194	193,060	185,868	189,934	194	186,808	439	438,060	430,868	434,934	439	431,808
199	198,060	190,868	194,934	199	191,808	449	448,060	440,868	444,934	449	441,808
204	203,060	195,868	199,934	204	196,808	459	458,060	450,868	454,934	459	451,808
209	208,060	200,868	204,934	209	201,808	469	468,060	460,868	464,934	469	461,808
214	213,060	205,868	209,934	214	206,808	479	478,060	470,868	474,934	479	471,808
219	218,060	210,868	214,934	219	211,808	489	488,060	480,868	484,934	489	481,808
						499	498,060	490,868	494,934	499	491,808

Whitworth-Feingewinde 2

nach DIN 240.

Gewindeform nach Abb. S. 517.

Durchmesser mm	20—33	36—52	56—189
Gangzahl	10	8	6
Steigung mm	2,5401	3,1751	4,2335

Nenn-durch-messer mm	Bolzen			Mutter		Nenn-durch-messer mm	Bolzen			Mutter	
	d mm	d_1 mm	d_2 mm	D mm	D_1 mm		d mm	d_1 mm	d_2 mm	D mm	D_1 mm
20	19,624	16,746	18,373	20	17,122	94	93,374	88,580	91,290	94	89,206
22	21,624	18,746	20,373	22	19,122	99	98,374	93,580	96,290	99	94,206
24	23,624	20,746	22,373	24	21,122	104	103,374	98,580	101,290	104	99,206
27	26,624	23,746	25,373	27	24,122	109	108,374	103,580	106,290	109	104,206
30	29,624	26,746	28,373	30	27,122	114	113,374	108,580	111,290	114	109,206
33	32,624	29,746	31,373	33	30,122	119	118,374	113,580	116,290	119	114,206
36	35,530	31,934	33,967	36	32,404	124	123,374	118,580	121,290	124	119,206
39	38,530	34,934	36,967	39	35,404	129	128,374	123,580	126,290	129	124,206
42	41,530	37,934	39,967	42	38,404	134	133,374	128,580	131,290	134	129,206
45	44,530	40,934	42,967	45	41,404	139	138,374	133,580	136,290	139	134,206
48	47,530	43,934	45,967	48	44,404	144	143,374	138,580	141,290	144	139,206
52	51,530	47,934	49,967	52	48,404	149	148,374	143,580	146,290	149	144,206
56	55,374	50,580	53,290	56	51,206	154	153,374	148,580	151,290	154	149,206
60	59,374	54,580	57,290	60	55,206	159	158,374	153,580	156,290	159	154,206
64	63,374	58,580	61,290	64	59,206	164	163,374	158,580	161,290	164	159,206
68	67,374	62,580	65,290	68	63,206	169	168,374	163,580	166,290	169	164,206
72	71,374	66,580	69,290	72	67,206	174	173,374	168,580	171,290	174	169,206
76	75,374	70,580	73,290	76	71,206	179	178,374	173,580	176,290	179	174,206
80	79,374	74,580	77,290	80	75,206	184	183,374	178,580	181,290	184	179,206
84	83,374	78,580	81,290	84	79,206	189	188,374	183,580	186,290	189	184,206
89	88,374	83,580	86,290	89	84,206						

Metrisches Gewinde

nach DIN 13 und 14.

				Dreieckshöhe	t	$0,8660 \cdot h$	
				Spitzenspiel .	a	$0,045 \cdot h$	
				Gewindetiefe	t_1	$0,6945 \cdot h$	
				Tragtiefe ...	t_2	$0,6495 \cdot h$	
				Rundung ...	r	$0,0633 \cdot h$	
				Steigung	h		
Bolzen			Flanken- durch- messer	Steigung	Ge- winde- tiefe	Mutter	
Gewinde- durch- messer	Kern- durch- messer	Kern- quer- schnitt				Gewinde- durch- messer	Kern- durch- messer
d	d_1	cm ²	d_2	h	t_1	D	D_1
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0,652	0,0033	0,838	0,25	0,174	1,024	0,676
1,2	0,852	0,0057	1,038	0,25	0,174	1,224	0,876
1,4	0,984	0,0076	1,205	0,3	0,208	1,426	1,010
1,7	1,214	0,0116	1,473	0,35	0,243	1,732	1,246
2	1,444	0,0164	1,740	0,4	0,278	2,036	1,480
2,3	1,744	0,0239	2,040	0,4	0,278	2,336	1,780
2,6	1,974	0,0306	2,308	0,45	0,313	2,642	2,016
3	2,306	0,0418	2,675	0,5	0,347	3,044	2,350
3,5	2,666	0,0558	3,110	0,6	0,417	3,554	2,720
4	3,028	0,072	3,545	0,7	0,486	4,062	3,090
(4,5)	3,458	0,094	4,013	0,75	0,521	4,568	3,526
5	3,888	0,119	4,480	0,8	0,556	5,072	3,960
(5,5)	4,250	0,142	4,915	0,9	0,625	5,580	4,330
6	4,610	0,167	5,350	1	0,695	6,090	4,700
(7)	5,610	0,247	6,350	1	0,695	7,090	5,700
8	6,264	0,308	7,188	1,25	0,868	8,112	6,376
(9)	7,264	0,414	8,188	1,25	0,868	9,112	7,376
10	7,916	0,492	9,026	1,5	1,042	10,136	8,052
(11)	8,916	0,624	10,026	1,5	1,042	11,136	9,052
12	9,570	0,718	10,863	1,75	1,215	12,156	9,726
14	11,222	0,989	12,701	2	1,389	14,180	11,402
16	13,222	1,373	14,701	2	1,389	16,180	13,402
(18)	14,528	1,657	16,376	2,5	1,736	18,224	14,752
20	16,528	2,145	18,376	2,5	1,736	20,224	16,752
22	18,528	2,696	20,376	2,5	1,736	22,224	18,752
24	19,832	3,089	22,051	3	2,084	24,270	20,102
27	22,832	4,094	25,051	3	2,084	27,270	23,102
30	25,138	4,963	27,727	3,5	2,431	30,316	25,454
33	28,138	6,218	30,727	3,5	2,431	33,316	28,454
36	30,444	7,279	33,402	4	2,778	36,360	30,804
39	33,444	8,785	36,402	4	2,778	39,360	33,804
42	35,750	10,04	39,077	4,5	3,125	42,404	36,154
45	38,750	11,79	42,077	4,5	3,125	45,404	39,154
48	41,054	13,23	44,752	5	3,473	48,450	41,504
52	45,054	15,94	48,752	5	3,473	52,450	45,504
56	48,360	18,37	52,428	5,5	3,820	56,496	48,856
60	52,360	21,53	56,428	5,5	3,820	60,496	52,856
64	55,666	24,34	60,103	6	4,167	64,54	56,206
68	59,666	27,96	64,103	6	4,167	68,54	60,206
72	63,666	31,83	68,103	6	4,167	72,54	64,206

Bolzen			Flanken- durch- messer	Steigung	Ge- winde- tiefe	Mutter	
Gewinde- durch- messer	Kern- durch- messer	Kern- quer- schnitt				Gewinde- durch- messer	Kern- durch- messer
d mm	d_1 mm	cm ²	d_2 mm	h mm	t_1 mm	D mm	D_1 mm
76	67,666	35,96	72,103	6	4,167	76,54	68,206
80	71,666	40,34	76,103	6	4,167	80,54	72,206
84	75,666	44,96	80,103	6	4,167	84,54	76,206
89	80,666	51,10	85,103	6	4,167	89,54	81,206
94	85,666	57,64	90,103	6	4,167	94,54	86,206
99	90,666	64,56	95,103	6	4,167	99,54	91,206
104	95,666	71,88	100,103	6	4,167	104,54	96,206
109	100,666	79,59	105,103	6	4,167	109,54	101,206
114	105,666	87,69	110,103	6	4,167	114,54	106,206
119	110,666	96,18	115,103	6	4,167	119,54	111,206
124	115,666	105,07	120,103	6	4,167	124,54	116,206
129	120,666	114,35	125,103	6	4,167	129,54	121,206
134	125,666	124,04	130,103	6	4,167	134,54	126,206
139	130,666	134,09	135,103	6	4,167	139,54	131,206
144	135,666	144,10	140,103	6	4,167	144,54	136,206
149	140,666	155,40	145,103	6	4,167	149,54	141,206

Die Gewinde unter 6 mm und über 68 mm Durchmesser sind die deutsche Fortsetzung des im Jahre 1898 in Zürich für den Bereich von 6÷80 mm Durchmesser festgelegten internationalen Systems (S. I.).

Die eingeklammerten Gewinde sind möglichst zu vermeiden.

Metrisches Feingewinde 1¹⁾ nach DIN 241.

Steigung für alle Durchmesser 6 mm.

Bolzen			Mutter		Bolzen			Mutter	
d mm	d_1 mm	d_2 mm	D mm	D_1 mm	d mm	d_1 mm	d_2 mm	D mm	D_1 mm
154	145,666	150,103	154,540	146,206	279	270,666	275,103	279,540	271,206
159	150,666	155,103	159,540	151,206	284	275,666	280,103	284,540	276,206
164	155,666	160,103	164,540	156,206	289	280,666	285,103	289,540	281,206
169	160,666	165,103	169,540	161,206	294	285,666	290,103	294,540	286,206
174	165,666	170,103	174,540	166,206	299	290,666	295,103	299,540	291,206
179	170,666	175,103	179,540	171,206	309	300,666	305,103	309,540	301,206
184	175,666	180,103	184,540	176,206	319	310,666	315,103	319,540	311,206
189	180,666	185,103	189,540	181,206	329	320,666	325,103	329,540	321,206
194	185,666	190,103	194,540	186,206	339	330,666	335,103	339,540	331,206
199	190,666	195,103	199,540	191,206	349	340,666	345,103	349,540	341,206
204	195,666	200,103	204,540	196,206	359	350,666	355,103	359,540	351,206
209	200,666	205,103	209,540	201,206	369	360,666	365,103	369,540	361,206
214	205,666	210,103	214,540	206,206	379	370,666	375,103	379,540	371,206
219	210,666	215,103	219,540	211,206	389	380,666	385,103	389,540	381,206
224	215,666	220,103	224,540	216,206	399	390,666	395,103	399,540	391,206
229	220,666	225,103	229,540	221,206	409	400,666	405,103	409,540	401,206
234	225,666	230,103	234,540	226,206	419	410,666	415,103	419,540	411,206
239	230,666	235,103	239,540	231,206	429	420,666	425,103	429,540	421,206
244	235,666	240,103	244,540	236,206	439	430,666	435,103	439,540	431,206
249	240,666	245,103	249,540	241,206	449	440,666	445,103	449,540	441,206
254	245,666	250,103	254,540	246,206	459	450,666	455,103	459,540	451,206
259	250,666	255,103	259,540	251,206	469	460,666	465,103	469,540	461,206
264	255,666	260,103	264,540	256,206	479	470,666	475,103	479,540	471,206
269	260,666	265,103	269,540	261,206	489	480,666	485,103	489,540	481,206
274	265,666	270,103	274,540	266,206	499	490,666	495,103	499,540	491,206

1) Gewindeform wie für DIN 13 und 14 auf S. 520.

Metrisches Feingewinde 2¹⁾ nach DIN 242.

Durchmesser mm	24—33	36—52	56—189
Steigung mm	2	3	4

Bolzen			Mutter		Bolzen			Mutter	
d	d_1	d_2	D	D_1	d	d_1	d_2	D	D_1
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
24	21,222	22,701	24,180	21,402	99	93,444	96,402	99,360	93,804
27	24,222	25,701	27,180	24,402	104	98,444	101,402	104,360	98,804
30	27,222	28,701	30,180	27,402	109	103,444	106,402	109,360	103,804
33	30,222	31,701	33,180	30,402	114	108,444	111,402	114,360	108,804
36	31,832	34,051	36,270	32,102	119	113,444	116,402	119,360	113,804
39	34,832	37,051	39,270	35,102	124	118,444	121,402	124,360	118,804
42	37,832	40,051	42,270	38,102	129	123,444	126,402	129,360	123,804
45	40,832	43,051	45,270	41,102	134	128,444	131,402	134,360	128,804
48	43,832	46,051	48,270	44,102	139	133,444	136,402	139,360	133,804
52	47,832	50,051	52,270	48,102	144	138,444	141,402	144,360	138,804
56	50,444	53,402	56,360	50,804	149	143,444	146,402	149,360	143,804
60	54,444	57,402	60,360	54,804	154	148,444	151,402	154,360	148,804
64	58,444	61,402	64,360	58,804	159	153,444	156,402	159,360	153,804
68	62,444	65,402	68,360	62,804	164	158,444	161,402	164,360	158,804
72	66,444	69,402	72,360	66,804	169	163,444	166,402	169,360	163,804
76	70,444	73,402	76,360	70,804	174	168,444	171,402	174,360	168,804
80	74,444	77,402	80,360	74,804	179	173,444	176,402	179,360	173,804
84	78,444	81,402	84,360	78,804	184	178,444	181,402	184,360	178,804
89	83,444	86,402	89,360	83,804	189	183,444	186,402	189,360	183,804
94	88,444	91,402	94,360	88,804					

Metrisches Feingewinde 3²⁾ nach DIN 243.

Durchmesser mm	1—2	2,3—2,6	3—4	4,5—5,5	6—8
Steigung mm	0,20	0,25	0,35	0,5	0,75
Durchmesser mm	9—11	12—52	53—100	102—190	192—300
Steigung mm	1	1,5	2	3	4

Bolzen			Mutter		Bolzen			Mutter	
d	d_1	d_2	D	D_1	d	d_1	d_2	D	D_1
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	0,722	0,870	1,018	0,740	8	6,958	7,513	8,068	7,026
1,2	0,922	1,070	1,218	0,940	9	7,610	8,350	9,090	7,700
1,4	1,122	1,270	1,418	1,140	10	8,610	9,350	10,090	8,700
1,7	1,422	1,570	1,718	1,440	11	9,610	10,350	11,090	9,700
2	1,722	1,870	2,018	1,740	12	9,916	11,026	12,136	10,052
2,3	1,952	2,138	2,324	1,976	13	10,916	12,026	13,136	11,052
2,6	2,252	2,438	2,624	2,276	14	11,916	13,026	14,136	12,052
3	2,514	2,773	3,032	2,546	15	12,916	14,026	15,136	13,052
3,5	3,014	3,273	3,532	3,046	16	13,916	15,026	16,136	14,052
4	3,514	3,773	4,032	3,546	17	14,916	16,026	17,136	15,052
4,5	3,806	4,175	4,544	3,850	18 ²⁾	15,916	17,026	18,136	16,052
5	4,306	4,675	5,044	4,350	19	16,916	18,026	19,136	17,052
5,5	4,806	5,175	5,544	4,850	20	17,916	19,026	20,136	18,052
6	4,958	5,513	6,068	5,026	21	18,916	20,026	21,136	19,052
7	5,958	6,513	7,068	6,026	22	19,916	21,026	22,136	20,052

¹⁾ Gewindeform wie für DIN 13 und 14 auf S. 520.

²⁾ Zündkerzengewinde; Länge = 12 mm.

Fortsetzung S. 523.

Metrisches Feingewinde 3.

Fortsetzung von S. 522.

Bolzen		d_2 mm	Mutter		Bolzen		d_2 mm	Mutter	
d mm	d_1 mm		D mm	D_1 mm	d mm	d_1 mm		D mm	D_1 mm
23	20,916	22,026	23,136	21,052	68	65,222	66,701	68,180	65,402
24	21,916	23,026	24,136	22,052	69	66,222	67,701	69,180	66,402
25	22,916	24,026	25,136	23,052	70	67,222	68,701	70,180	67,402
26	23,916	25,026	26,136	24,052	71	68,222	69,701	71,180	68,402
27	24,916	26,026	27,136	25,052	72	69,222	70,701	72,180	69,402
28	25,916	27,026	28,136	26,052	73	70,222	71,701	73,180	70,402
29	26,916	28,026	29,136	27,052	74	71,222	72,701	74,180	71,402
30	27,916	29,026	30,136	28,052	75	72,222	73,701	75,180	72,402
31	28,916	30,026	31,136	29,052	76	73,222	74,701	76,180	73,402
32	29,916	31,026	32,136	30,052	77	74,222	75,701	77,180	74,402
33	30,916	32,026	33,136	31,052	78	75,222	76,701	78,180	75,402
34	31,916	33,026	34,136	32,052	79	76,222	77,701	79,180	76,402
35	32,916	34,026	35,136	33,052	80	77,222	78,701	80,180	77,402
36	33,916	35,026	36,136	34,052	81	78,222	79,701	81,180	78,402
37	34,916	36,026	37,136	35,052	82	79,222	80,701	82,180	79,402
38	35,916	37,026	38,136	36,052	83	80,222	81,701	83,180	80,402
39	36,916	38,026	39,136	37,052	84	81,222	82,701	84,180	81,402
40	37,916	39,026	40,136	38,052	85	82,222	83,701	85,180	82,402
41	38,916	40,026	41,136	39,052	86	83,222	84,701	86,180	83,402
42	39,916	41,026	42,136	40,052	87	84,222	85,701	87,180	84,402
43	40,916	42,026	43,136	41,052	88	85,222	86,701	88,180	85,402
44	41,916	43,026	44,136	42,052	89	86,222	87,701	89,180	86,402
45	42,916	44,026	45,136	43,052	90	87,222	88,701	90,180	87,402
46	43,916	45,026	46,136	44,052	91	88,222	89,701	91,180	88,402
47	44,916	46,026	47,136	45,052	92	90,222	90,701	92,180	89,402
48	45,916	47,026	48,136	46,052	93	90,222	91,701	93,180	90,402
49	46,916	48,026	49,136	47,052	94	91,222	92,701	94,180	91,402
50	47,916	49,026	50,136	48,052	95	92,222	93,701	95,180	92,402
51	48,916	50,026	51,136	49,052	96	93,222	94,701	96,180	93,402
52	49,916	51,026	52,136	50,052	97	94,222	95,701	97,180	94,402
53	50,222	51,701	53,180	50,402	98	95,222	96,701	98,180	95,402
54	51,222	52,701	54,180	51,402	99	96,222	97,701	99,180	96,402
55	52,222	53,701	55,180	52,402	100	97,222	98,701	100,180	97,402
56	53,222	54,701	56,180	53,402	102	97,832	100,051	102,270	98,102
57	54,222	55,701	57,180	54,402	105	100,832	103,051	105,270	101,102
58	55,222	56,701	58,180	55,402	108	103,832	106,051	108,270	104,102
59	56,222	57,701	59,180	56,402	110	105,832	108,051	110,270	106,102
60	57,222	58,701	60,180	57,402	112	107,832	110,051	112,270	108,102
61	58,222	59,701	61,180	58,402	115	110,832	113,051	115,270	111,102
62	59,222	60,701	62,180	59,402	118	113,832	116,051	118,270	114,102
63	60,222	61,701	63,180	60,402	120	115,832	118,051	120,270	116,102
64	61,222	62,701	64,180	61,402	122	117,832	120,051	122,270	118,102
65	62,222	63,701	65,180	62,402	125	120,832	123,051	125,270	121,102
66	63,222	64,701	66,180	63,402	128	123,832	126,051	128,270	124,102
67	64,222	65,701	67,180	64,402	130	125,832	128,051	130,270	126,102

Fortsetzung S. 524.

Metrisches Feingewinde 3.

Fortsetzung von S. 523.

Bolzen		d_2 mm	Mutter		Bolzen		d_2 mm	Mutter	
d mm	d_1 mm		D mm	D_1 mm	d mm	d_1 mm		D mm	D_1 mm
132	127,832	130,051	132,270	128,102	218	212,444	215,402	218,360	212,804
135	130,832	133,051	135,270	131,102	220	214,444	217,402	220,360	214,804
138	133,832	136,051	138,270	134,102	222	216,444	219,402	222,360	216,804
140	135,832	138,051	140,270	136,102	225	219,444	222,402	225,360	219,804
142	137,832	140,051	142,270	138,102	228	222,444	225,402	228,360	222,804
145	140,832	143,051	145,270	141,102	230	224,444	227,402	230,360	224,804
148	143,832	146,051	148,270	144,102	232	226,444	229,402	232,360	226,804
150	145,832	148,051	150,270	146,102	235	229,444	232,402	235,360	229,804
152	147,832	150,051	152,270	148,102	238	232,444	235,402	238,360	232,804
155	150,832	153,051	155,270	151,102	240	234,444	237,402	240,360	234,804
158	153,832	156,051	158,270	154,102	242	236,444	239,402	242,360	236,804
160	155,832	158,051	160,270	156,102	245	239,444	242,402	245,360	239,804
162	157,832	160,051	162,270	158,102	248	242,444	245,402	248,360	242,804
165	160,832	163,051	165,270	161,102	250	244,444	247,402	250,360	244,804
168	163,832	166,051	168,270	164,102	252	246,444	249,402	252,360	246,804
170	165,832	168,051	170,270	166,102	255	249,444	252,402	255,360	249,804
172	167,832	170,051	172,270	168,102	258	252,444	255,402	258,360	252,804
175	170,832	173,051	175,270	171,102	260	254,444	257,402	260,360	254,804
178	173,832	176,051	178,270	174,102	262	256,444	259,402	262,360	256,804
180	175,832	178,051	180,270	176,102	265	259,444	262,402	265,360	259,804
182	177,832	180,051	182,270	178,102	268	262,444	265,402	268,360	262,804
185	180,832	183,051	185,270	181,102	270	264,444	267,402	270,360	264,804
188	183,832	186,051	188,270	184,102	272	266,444	269,402	272,360	266,804
190	185,832	188,051	190,270	186,102	275	269,444	272,402	275,360	269,804
192	186,444	189,402	192,360	186,804	278	272,444	275,402	278,360	272,804
195	189,444	192,402	195,360	189,804	280	274,444	277,402	280,360	274,804
198	192,444	195,402	198,360	192,804	282	276,444	279,402	282,360	276,804
200	194,444	197,402	200,360	194,804	285	279,444	282,402	285,360	279,804
202	196,444	199,402	202,360	196,804	288	282,444	285,402	288,360	282,804
205	199,444	202,402	205,360	199,804	290	284,444	287,402	290,360	284,804
208	202,444	205,402	208,360	202,804	292	286,444	289,402	292,360	286,804
210	204,444	207,402	210,360	204,804	295	289,444	292,402	295,360	289,804
212	206,444	209,402	212,360	206,804	298	292,444	295,402	298,360	292,804
215	209,444	212,402	215,360	209,804	300	294,444	297,402	300,360	294,804

Metrische Feingewinde 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Gewindeform wie DIN 13 und 14 S. 520.

Diese Feingewinde werden mit folgenden Bolzendurchmessern (d) und Steigungen (h) ausgeführt:

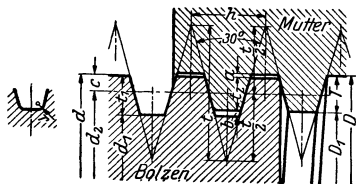
Metrisches Feingew. 4 DIN 516	Metrisches Feingew. 5 DIN 517	Metrisches Feingew. 6 DIN 518	Metrisches Feingew. 7 DIN 519	Metrisches Feingew. 8 DIN 520	Metrisches Feingew. 9 DIN 521
Steigung $h =$					
1,5	1	0,75	0,50	0,35	0,25
Bolzendurchmesser $d =$					
12 12,5 13	9 9,5 10	6 6,5 7	4,5 5 5,5	3 3,5 4	2,3 2,6 3
13,5 14 14,5	10,5 11 11,5	7,5 8 8,5	6 6,5 7	4,5 5 5,5	3,5 4 4,5
15 16 17	12 12,5 13	9 9,5 10	7,5 8 8,5	6 6,5 7	5 5,5 6
18 19 20	13,5 14 14,5	10,5 11 11,5	9 9,5 10	7,5 8 8,5	6,5 7 7,5
21 22 23	15 16 17	12 12,5 13	10,5 11 11,5	9 9,5 10	8 8,5 9
24 25 26	18 19 20	13,5 14 14,5	12 12,5 13	10,5 11 11,5	9,5 10 10,5
27 28 29	21 22 23	15 16 17	13,5 14 14,5	12 12,5 13	11 11,5 12
30 31 32	24 25 26	18 19 20	15 16 17	13,5 14 14,5	12,5 13 13,5
33 34 35	27 28 30	21 22 23	18 19 20	15 16 17	14 14,5 15
36 37 38	32 33 34	24 25 26	21 22 23	18 19 20	16 17 18
39 40 41	35 36 38	27 28 30	24 25 26	21 22 23	19 20 21
42 43 44	40 42 44	32 33 34	27 28 30	24 25 26	22
45 46 47	45 46 48	35 36 38	32 33 34	27 28 30	
48 49 50	50 52 55	40 42 44	35 36 38	32 33 34	
51 52 55	58 60 62	45 46 48	40 42 44	35 36 38	
58 60 62	65 68 70	50 52 55	45 46 48	40 42 44	
65 68 70	72 75 78	58 60 62	50 52 55	45 46 48	
72 75 78	80 82	65 68 70	58 60 62	50	
80 82 85		72 75 78	65 68 70		
88 90 92		80	72 75 78		
95 98 100			80		
105 110 115					
120 125 130					
135 140 145					
150 155 160					
165 170 175					
180 185 190					
195 200 210					
220 230 240					
250					

Berechnung der Gewindedurchmesser.

Feingewinde .....Nr.	4	5	6	7	8	9
Steigung h	1,5	1	0,75	0,50	0,35	0,25
Außendurchm. d. Bolzens d	siehe obige Tafel					
Kerndurchm. d. Bolzens d_1	$d - 2,084$	$d - 1,390$	$d - 1,042$	$d - 0,694$	$d - 0,486$	$d - 0,348$
Außendurchm. d. Mutter D	$d + 0,136$	$d + 0,090$	$d + 0,068$	$d + 0,044$	$d + 0,032$	$d + 0,024$
Kerndurchm. d. Mutter D_1	$d - 1,948$	$d - 1,300$	$d - 0,974$	$d - 0,650$	$d - 0,454$	$d - 0,324$
Flankendurchmesser d_2 ..	$d - 0,974$	$d - 0,650$	$d - 0,487$	$d - 0,325$	$d - 0,227$	$d - 0,162$

Trapezgewinde (nach DIN).

Aufbau des Gewindes.



$$\begin{aligned}
 t &= 1,866 \cdot h; & t_1 &= 0,5 \cdot h + a; \\
 t_2 &= 0,5h + a - b; & T &= 0,5h + 2a - b; \\
 c &= 0,25h.
 \end{aligned}$$

Bolzen-Außendurchmesser = d ;
 Bolzen-Kerndurchmesser = $d_1 = d - 2t_1$;
 Mutter-Außendurchmesser = $D = d + 2a$;
 Mutter-Kerndurchm. = $D_1 = d - 2(T - a)$;
 Flankendurchmesser für Bolzen und Mutter = $d_2 = d - 0,5 \cdot h$.

mm

Für Steigung h	Gewinde-tiefe t_1	Tragtiefe t_2	Spiel		Rundung $r^1)$	Gewinde-tiefe T
			a	b		
2	1,25	0,75	0,25	0,5	0,25	1,00
3	1,75	1,25	0,25	0,5	0,25	1,50
4	2,25	1,75	0,25	0,5	0,25	2,00
5	2,75	2	0,25	0,75	0,25	2,25
6	3,25	2,5	0,25	0,75	0,25	2,75
7	3,75	3	0,25	0,75	0,25	3,25
8	4,25	3,5	0,25	0,75	0,25	3,75
9	4,75	4	0,25	0,75	0,25	4,25
10	5,25	4,5	0,25	0,75	0,25	4,75
12	6,25	5,5	0,25	0,75	0,25	5,75
14	7,5	6	0,5	1,5	0,5	6,5
16	8,5	7	0,5	1,5	0,5	7,5
18	9,5	8	0,5	1,5	0,5	8,5
20	10,5	9	0,5	1,5	0,5	9,5
22	11,5	10	0,5	1,5	0,5	10,5
24	12,5	11	0,5	1,5	0,5	11,5
26	13,5	12	0,5	1,5	0,5	12,5
28	14,5	13	0,5	1,5	0,5	13,5
32	16,5	15	0,5	1,5	0,5	15,5
36	18,5	17	0,5	1,5	0,5	17,5
40	20,5	19	0,5	1,5	0,5	19,5
44	22,5	21	0,5	1,5	0,5	21,5
48	24,5	23	0,5	1,5	0,5	23,5

Das Trapezgewinde wird mit folgenden Bolzen-Außendurchmessern (vgl. S. 527) ausgeführt:

10	12	14	16	18	100	105	110	115	120	125
20	22	24	26	28	130	135	140	145	150	155
30	32	(34)	36	(38)	160	165	170	175	180	185
40	(42)	44	46	48	190	195	200	210	220	230
50	52	55	(58)		240	250	260	270	280	290
60	62	65	(68)		300	320	340	360	380	
70	72	75	(78)		400	420	440	460	480	
80	(82)	85	(88)		500	520	540	560	580	
90	(92)	95	(98)		600	620	640			

¹⁾ Werden Trapezgewinde als Kraftgewinde verwendet, so ist das Gewindeprofil im Kern der Spindel mit dem Halbmesser r auszurunden.

Zwei-, drei- und mehrgängige Gewinde erhalten die zwei-, drei- oder mehrfache Steigung mit dem der einfachen Steigung entsprechenden Gewindeprofil.

Trapezgewinde eingängig

nach DIN 103.

(Gewindeprofil siehe S. 526.)

Bolzen			Flanken- durchmesser	Steigung	Mutter		Bolzen			Flanken- durchmesser	Steigung	Mutter	
Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser	Kern- querschnitt			Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser	Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser	Kern- querschnitt			Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser
d	d_1	cm ²	d_2	h	D	D_1	d	d_1	cm ²	d_2	h	D	D_1
10	6,5	0,33	8,6	3	10,5	7,5	90	77,5	47,17	84	12	90,5	79
12	8,5	0,57	10,5	3	12,5	9,5	(92)	79,5	49,64	86	12	92,5	81
14	9,5	0,71	12	4	14,5	10,5	95	82,5	53,46	89	12	95,5	84
16	11,5	1,04	14	4	16,5	12,5	(98)	85,5	57,41	92	12	98,5	87
18	13,5	1,43	16	4	18,5	14,5	100	87,5	60,18	94	12	100,5	89
20	15,5	1,89	18	4	20,5	16,5	(105)	92,5	67,20	99	12	105,5	94
22	16,5	2,14	19,5	5	22,5	18	110	97,5	74,66	104	12	110,5	99
24	18,5	2,69	21,5	5	24,5	20	(115)	100	78,54	108	14	116	103
26	20,5	3,80	23,5	5	26,5	22	120	105	86,59	113	14	121	108
28	22,5	3,98	25,5	5	28,5	24	(125)	110	95,03	118	14	126	113
30	23,5	4,34	27	6	30,5	25	130	115	103,87	123	14	131	118
32	26,5	5,11	29	6	32,5	27	(135)	120	113,1	128	14	136	123
(34)	27,5	5,94	31	6	34,5	29	140	125	122,72	133	14	141	128
36	29,5	6,83	33	6	36,5	31	(145)	130	132,73	138	14	146	133
(38)	30,6	7,31	34,5	7	38,5	32	150	133	138,93	142	16	151	138
40	32,5	8,30	36,5	7	40,5	34	(155)	138	149,57	147	16	156	141
(42)	34,5	9,35	38,5	7	42,5	36	160	143	160,61	152	16	161	146
44	36,5	10,46	40,6	7	44,5	38	(165)	148	172,03	157	16	166	151
(46)	37,5	11,04	42	8	46,5	39	170	153	183,85	162	16	171	156
48	39,5	12,25	44	8	48,5	41	(175)	158	196,07	167	16	176	161
50	41,5	13,53	46	8	50,5	43	180	161	203,58	171	18	181	164
52	43,5	14,88	48	8	52,5	45	(185)	166	216,42	176	18	188	169
55	46,5	16,26	50,5	9	55,5	47	190	171	229,66	181	18	191	174
(58)	48,5	18,47	53,5	9	58,5	50	(195)	176	248,29	186	18	198	179
60	50,5	20,03	55,5	9	60,5	52	200	181	257,30	191	18	201	184
(62)	52,5	21,65	57,5	9	62,5	54	210	189	280,55	200	20	211	192
66	54,6	23,33	60	10	65,5	56	220	199	311,03	210	20	221	202
(68)	57,5	25,97	63	10	68,5	59	230	209	343,07	220	20	231	212
70	59,5	27,81	65	10	70,5	61	240	217	369,84	229	22	241	220
(72)	61,5	29,71	67	10	72,5	63	250	227	404,71	239	22	251	230
75	64,5	32,67	70	10	75,5	66	260	237	441,15	249	22	261	240
(78)	67,5	35,78	73	10	78,5	69	270	245	471,44	258	24	271	248
80	69,5	37,94	75	10	80,5	71	280	255	510,71	268	24	281	258
(82)	71,5	40,15	77	10	82,5	73	290	265	551,55	278	24	291	268
85	72,5	41,28	79	12	85,5	74	300	273	585,35	287	26	301	276
(88)	75,5	44,77	82	12	88,5	77							

Trapezgewinde fein eingängig

nach DIN 378.

(Gewindeform und Berechnung siehe S. 526.)

Gewindedurchmesser d	mm	10—20	22—62	65—110	115—175
Steigung h	mm	2	3	4	6
Gewindedurchmesser d	mm	180—240	250—400	420—500	520—640
Steigung h	mm	8	12	18	24

Trapezgewinde grob eingängig

nach DIN 379.

(Gewindeform und Berechnung siehe S. 526.)

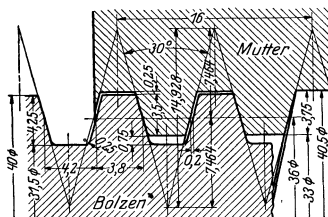
Gewindedurchmesser d	mm	22—28	30—38	40—52	55—62	65—82
Steigung h	mm	8	10	12	14	16
Gewindedurchmesser d	mm	85—98	100—110	115—130	135—155	160—180
Steigung h	mm	18	20	22	24	28
Gewindedurchmesser d	mm	185—200	210—240	250—280	290—340	360—400
Steigung h	mm	32	36	40	44	48

Mehrgängige Trapezgewinde sind genormt in LON 290, zweigängig für Dampfstrahlpumpen; LON 291 dreigängig für Steuerschrauben.

Bremsspindelgewinde für das Eisenbahnwesen¹⁾

nach DIN 263.

Doppelgängiges Trapezgewinde.



Kernquerschnitt: 7,79 cm².

Das Gewindeprofil der Mutter entspricht dem Gewindeprofil eines eingängigen Trapezgewindes von 8 mm Steigung nach DIN 103, erhält aber als doppelgängiges Gewinde eine Steigung von $2 \cdot 8 = 16$ mm.

Das Spindelgewinde erhält in Achsrichtung ein Flankenspiel von 0,2 mm.

Als Flankendurchmesser des zweigängigen Gewindes ist derjenige des eingängigen Gewindes mit gleichem Profil anzunehmen. Unter dieser Voraussetzung ist der

Flankendurchmesser der Mutter 36 mm und der
Flankendurchmesser des Bolzens 32,2536 mm.

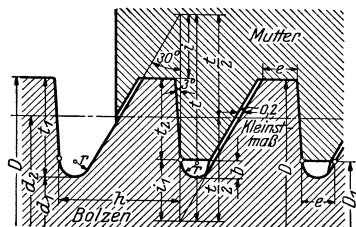
Für das Fräsen der Spindel und des Gewindebohrers kann der gleiche Fräser benutzt werden, wenn die Unterschiede im Flankendurchmesser des Muttergewindes und des Bolzensgewindes beim Fräsen durch tiefere oder höhere Einstellung des Fräasers zum Werkstück berücksichtigt werden.

¹⁾ Anerkannt durch Erlaß des Reichsverkehrsministers vom 9. Juli 1923. — E. VII. 72. D. 12923.

Sägewinde

nach DIN.

Aufbau des Gewindes.



$$i = 1,73205 h; \quad i = 0,52507 h;$$

$$t_1 = t_2 + b; \quad t_1 = 0,45698 h;$$

$$t_2 = 0,75 h; \quad b = 0,11777 h;$$

$$e = 0,26384 h; \quad r = 0,12427 h;$$

Passung der Gewindedurchmesser von

Bolzen und Mutter: sWL ;

Außendurchmesser des Bolzens = D ;

Außendurchmesser der Mutter = D ;

Kerndurchmesser des Bolzens $d_1 = D - 2 t_1$;

Kerndurchmesser der Mutter $D_1 = D - 2 t_2$;

Flankendurchmesser des Bolzens

= Flankendurchmesser der Mutter

$$= d_2 = D + 2 i - t = D - 0,68191 \cdot h.$$

Für Steigung	Ge-	Trag-				Für Steigung	Ge-	Trag-			
h	t_1	t_2	e	b	r	h	t_1	t_2	e	b	r
2	1,736	1,5	0,528	0,236	0,249	18	15,620	13,5	4,749	2,120	2,237
3	2,603	2,25	0,792	0,353	0,373	20	17,355	15	5,277	2,355	2,485
4	3,471	3	1,055	0,471	0,497	22	19,091	15,5	5,804	2,591	2,734
5	4,339	3,75	1,319	0,589	0,621	24	20,826	18	6,332	2,826	2,982
6	5,207	4,5	1,583	0,707	0,746	26	22,562	19,5	6,860	3,062	3,231
7	6,074	5,25	1,847	0,824	0,870	28	24,298	21	7,388	3,298	3,480
8	6,942	6	2,111	0,942	0,994	32	27,769	24	8,443	3,769	3,977
9	7,810	6,75	2,375	1,060	1,118	36	31,240	27	9,498	4,240	4,474
10	8,678	7,5	2,638	1,178	1,243	40	34,711	30	10,554	4,711	4,971
12	10,413	9	3,166	1,413	1,491	44	38,182	33	11,609	5,182	5,468
14	12,149	10,5	3,694	1,649	1,740	48	41,653	36	12,664	5,653	5,965
16	13,884	12	4,221	1,884	1,988						

Das Sägewinde wird mit den gleichen Durchmessern ausgeführt wie das DIN-Trapezgewinde (siehe S. 526 u. f.).

Zwei-, drei- und mehrgängige Gewinde erhalten die zwei-, drei- und mehrfache Steigung mit dem der einfachen Steigung entsprechenden Gewindeprofil.

Sägewinde eingängig nach DIN 513 siehe S. 530.

Sägewinde eingängig fein nach DIN 514 stimmt in den Steigungen und den zugehörigen Durchmesserbereichen mit dem Trapezgewinde eingängig fein überein (siehe S. 530).

Sägewinde eingängig grob nach DIN 515 stimmt in den Steigungen und den zugehörigen Durchmesserbereichen mit dem Trapezgewinde grob überein (siehe S. 526).

Sägewinde eingängig

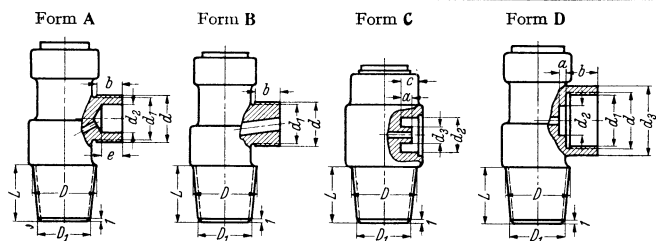
nach DIN 513.

Gewindeform siehe S. 529.

Bolzen			Flanken- durchmesser	Steigung	Mutter		Bolzen			Flanken- durchmesser	Steigung	Mutter	
Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser	Kern- querschnitt			Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser	Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser	Kern- querschnitt			Gewinde- durchmesser	Kern- durchmesser
D	d_1	cm ²	d_2	h	D	D_1	D	d_1	cm ²	d_2	h	D	D_1
22	13,322	1,39	18,590	5	22	14,5	(98)	77,174	46,78	89,817	12	98	80
24	15,322	1,84	20,590	5	24	16,5	100	79,174	49,23	91,817	12	100	82
26	17,322	2,36	22,590	5	26	18,5	(105)	84,174	55,65	96,817	12	105	87
28	19,322	2,93	24,590	5	28	20,5	110	89,174	62,46	101,817	12	110	92
30	19,586	3,01	25,909	6	30	21	(115)	90,702	64,61	105,453	14	115	94
32	21,586	3,70	27,909	6	32	23	120	95,702	71,93	110,453	14	120	99
(34)	23,586	4,37	29,909	6	34	25	(125)	100,702	79,65	115,453	14	125	104
36	25,586	5,14	31,909	6	36	27	130	105,702	87,75	120,453	14	130	109
(38)	25,852	5,25	33,227	7	38	27,5	(135)	110,702	96,25	125,453	14	135	114
40	27,852	6,09	35,227	7	40	29,5	140	115,702	105,14	130,453	14	140	119
(42)	29,852	7,00	37,227	7	42	31,5	(145)	120,702	114,42	135,453	14	145	124
44	31,852	7,97	39,227	7	44	33,5	150	122,232	117,34	139,089	16	150	126
(46)	32,116	8,11	40,545	8	46	34	(155)	127,232	127,14	144,089	16	155	131
48	34,116	9,14	42,545	8	48	36	160	132,232	137,33	149,089	16	160	136
50	36,116	10,24	44,545	8	50	38	(165)	137,232	147,91	154,089	16	165	141
52	38,116	11,41	46,545	8	52	40	170	142,232	158,89	159,089	16	170	146
55	39,380	12,18	48,863	9	55	41,5	(175)	147,232	170,25	164,089	16	175	151
(58)	42,380	14,11	51,863	9	58	44,5	180	148,760	173,81	167,726	18	180	153
60	44,380	15,47	53,863	9	60	46,5	(185)	153,760	185,69	172,726	18	185	158
(62)	46,380	16,89	55,863	9	62	48,5	190	158,760	197,96	177,726	18	190	163
65	47,644	17,09	58,181	10	65	50	(195)	163,760	210,62	182,726	18	195	168
(68)	50,644	20,14	61,181	10	68	53	200	168,760	223,68	187,726	18	200	173
70	52,644	21,77	63,181	10	70	55	210	175,290	241,33	196,362	20	210	180
(72)	54,644	23,45	65,181	10	72	57	260	185,290	269,65	206,362	20	220	190
75	57,644	26,10	68,181	10	75	60	230	195,290	299,54	216,362	20	230	200
(78)	60,644	28,88	71,181	10	78	63	240	201,818	319,90	224,998	22	240	207
80	62,644	30,82	73,181	10	80	65	250	211,818	352,38	234,998	22	250	217
(82)	64,644	32,82	75,181	10	82	67	260	221,818	386,44	244,998	22	260	227
85	64,174	32,35	76,817	12	85	67	270	228,348	409,53	253,634	24	270	234
(88)	67,174	35,44	79,817	12	88	70	280	238,348	446,18	263,634	24	280	244
90	69,174	37,58	81,817	12	90	72	290	248,348	484,41	273,634	24	290	254
(92)	71,174	39,79	83,817	12	92	74	300	254,876	510,21	282,270	26	300	261
95	74,174	43,21	86,817	12	95	77							

Gasflaschen-Ventile (DIN 477).

Abmessungen der Anschlußstutzen.



Gasflaschenanschluß. Kegel 3 : 25; das Gewinde ist senkrecht zum Kegelmantel zu schneiden. Whitworth-Form nach DIN 259.

Maße in mm.

Form	Gasart	Chemisches Zeichen	Seitenanschluß										
			Gewinde				b Kleinst- maß	a ₂	d ₃	e	a Größ- maß		
			Aus- führung	d	d ₁	Gang- zahl auf 1''							
A	Chloräthyl ...	C ₂ H ₅ Cl	Links- gewinde	21,800	19,476	14	11	13	—	10	—	—	
	Wasserstoff ..	H					13						
	Blau- od. Ölgas Kohlenoxyd .	— CO					13						
	Kohlensäure .	CO ₂	Rechts- gewinde	21,800	19,476	—	11	13	—	—	—	—	
	Ammoniak ...	NH ₃	Rechts- gewinde 1''	24,320	21,996	14	11	13	—	—	—	—	
	Stickstoff. ...	N					13	14	—	—	—		
	Schwefl. Säure	SO ₂					R 5/8'' 22,912 ¹⁾	20,588	11	13	—	10	—
Sauerstoff ...	O	R 3/4'' 26,442 ¹⁾					24,119	13	14	—	—	—	
Stickoxydul .	N ₂ O	R 5/8'' 16,663 ¹⁾					14,951	19	11	10	—	—	—
B	Chlor	Cl	Rechts- gewinde 1''	25,401	21,335	8	13	—	—	—	—	—	
Phosgen	COCl ₂												
C	Acetylen	C ₂ H ₂	—	—	—	—	—	15,5	7,5	—	5	10	
D	Preßluft	—	Rechts- gewinde R 5/8''	22,912 ¹⁾	20,857	14	15	13	Kl.- Maß 32	—	4	—	

Gasflaschenanschluß-Rechtsgewinde.

Form	Großes Ventil				Kleines Ventil			
	D	D ₁	L	Gangzahl auf 1''	D	D ₁	L	Gangzahl auf 1''
A, B, D C	28,80 31,30	25,80 28,30	26	14	19,80	17,40	20	14

¹⁾ Diese Gewinde stimmen überein mit dem Whitworth-Rohrgewinde nach DIN 259 (S. 532).

Die fehlenden Maße sind Konstruktionsmaße.

Whitworth-Rohrgewinde

nach DIN 259. (Gewindeform S. 517.)

Dieses vollausgeschliffene Gewinde wird verwendet, wenn Dichthalten gefordert ist.

Steigung $h = 25,40095 \cdot z$, Rundung $r = 0,13733 \cdot h$,
 Dreieckshöhe $t = 0,96049 \cdot h$, Gewindetiefe $t_1 = 0,64033 \cdot h$.

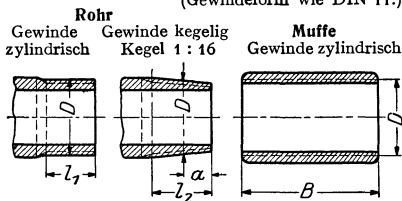
Ge- winde- bezeich- nung	Bolzen und Mutter						
	Gewinde- durch- messer D	Kern- durch- messer d_1	Ge- winde- tiefe t_1	Rundung r	Flanken- durch- messer d_2	Steigung h	Gangzahl auf 1 Zoll z
	Zoll mm	mm	mm		mm	mm	
R 1/8	9,729	8,567	0,581	0,125	9,148	0,907	28
R 1/4	13,158	11,446	0,856	0,184	12,302	1,337	19
R 3/8	16,663	14,951	0,856	0,184	15,807	1,337	19
R 1/2	20,956	18,632	1,162	0,249	19,794	1,814	14
R 5/8	22,912	20,588	1,162	0,249	21,750	1,814	14
R 3/4	26,442	24,119	1,162	0,249	25,281	1,814	14
R 7/8	30,202	27,878	1,162	0,249	29,040	1,814	14
R 1	33,250	30,293	1,479	0,317	31,771	2,309	11
R (1 1/8)	37,898	34,941	1,479	0,317	36,420	2,309	11
R 1 1/4	41,912	38,954	1,479	0,317	40,433	2,309	11
R (1 3/8)	44,325	41,367	1,479	0,317	42,846	2,309	11
R 1 1/2	47,805	44,847	1,479	0,317	46,326	2,309	11
R (1 5/8)	51,990	49,032	1,479	0,317	50,511	2,309	11
R 1 3/4	53,748	50,791	1,479	0,317	52,270	2,309	11
R 2	59,616	56,659	1,479	0,317	58,137	2,309	11
R 2 1/8	65,712	62,755	1,479	0,317	64,234	2,309	11
R (2 3/8)	69,400	66,443	1,479	0,317	67,921	2,309	11
R 2 1/2	75,187	72,230	1,479	0,317	73,708	2,309	11
R 2 3/4	81,537	78,580	1,479	0,317	80,058	2,309	11
R 3	87,887	84,930	1,479	0,317	86,409	2,309	11
R 3 1/4	93,984	91,026	1,479	0,317	92,505	2,309	11
R 3 1/2	100,334	97,376	1,479	0,317	98,855	2,309	11
R 3 3/4	106,684	103,727	1,479	0,317	105,205	2,309	11
R 4	113,034	110,077	1,479	0,317	111,556	2,309	11
R 4 1/2	125,735	122,777	1,479	0,317	124,256	2,309	11
R 5	138,435	135,478	1,479	0,317	136,957	2,309	11
R 5 1/2	151,136	148,178	1,479	0,317	149,657	2,309	11
R 6	163,836	160,879	1,479	0,317	162,357	2,309	11
R 7	189,237	185,984	1,627	0,349	187,611	2,540	10
R 8	214,638	211,385	1,627	0,349	213,012	2,540	10
R 9	240,039	236,786	1,627	0,349	238,412	2,540	10
R 10	265,440	262,187	1,627	0,349	263,813	2,540	10
R 11	290,841	286,775	2,033	0,436	288,808	3,175	8
R 12	316,242	312,176	2,033	0,436	314,209	3,175	8
R 13	347,485	343,419	2,033	0,436	345,452	3,175	8
R 14	372,886	368,820	2,033	0,436	370,853	3,175	8
R 15	398,287	394,221	2,033	0,436	396,254	3,175	8
R 16	423,688	419,622	2,033	0,436	421,655	3,175	8
R 17	449,089	445,023	2,033	0,436	447,056	3,175	8
R 18	474,490	470,424	2,033	0,436	472,457	3,175	8

Die Werte der Zahlentafel entsprechen (ausgenommen 1 5/8" und 2 3/8") der englischen Tafel „Report on British Standard Pipe Threads for Iron or Steel Pipes and Tubes, May 1918“, unter Zugrundelegung eines Umrechnungswertes von 25,40095 mm für 1" bei der deutschen Bezugstemperatur von 20° C.

Die eingeklammerten Werte werden für Kupferrohre mit hohem Druck verwendet und sind sonst möglichst zu vermeiden.

Whitworth-Rohrgewinde für Fittingsanschlüsse. Nach DIN 2999.

(Gewindeform wie DIN 11.) Maße in mm.



Gangzahl		Steigung	Gewinde-tiefe	Rundung
auf 1"	auf 127 mm			
28	140	0,907	0,581	0,125
19	95	1,337	0,856	0,184
14	70	1,814	1,162	0,249
11	55	2,309	1,479	0,317

Handelsübliche Nennweite	Gewinde								Muffe	Nennweite der zugehörigen Armaturen und Formstücke nach DIN2008	
	Gewindedurchmesser	Kerndurchmesser	Flan- gen- durch- messer	Gänge Je 1 Zoll	kegelig						Mindest- länge
					zylindrisch		kegelig				
Zoll	mm ²)	D	d ₁	d ₂	z	Nutz- bare Ge- winde- länge ²⁾ l ₁	Nutz- bare Ge- winde- länge ²⁾ l ₂	Abstand des Gewinde- durchm. D vom Rohrende a	B		
						Größt- maß	Größt- maß	Größt- maß Kleinst- maß			
1/8	5—10	9,729	8,567	9,148	28	8	10	5,5	4	20	6
1/4	8—13	13,158	11,446	12,302	19	9	11	7	5	25	8
3/8	12—17	16,663	14,951	15,807	19	11	13	8	6	30	10
1/2	15—21	20,956	18,632	19,794	14	14	16	9	6	35	13
(5/8)	16—23	22,912	20,588	21,750	14	14	16	9	6	35	16
3/4	20—27	26,442	24,119	25,281	14	16	19	13	10	40	20
(7/8)	24—31	30,202	27,878	29,040	14	16	19	13	10	40	—
1	26—34	33,250	30,293	31,771	11	19	22	14	10	45	25
1 1/4	33—42	41,912	38,954	40,433	11	21	25	17	13	50	32
1 1/2	40—49	47,805	44,847	46,326	11	21	25	17	13	55	40
(1 3/4)	45—55	53,748	50,791	52,270	11	24	28	20	16	60	—
2	50—60	59,616	56,659	58,137	11	24	28	20	16	60	50
2 1/4	60—70	65,712	62,755	64,234	11	27	32	23	18	65	60
2 1/2	66—76	75,187	72,230	73,708	11	27	32	23	18	65	70
(2 3/4)	72—82	81,537	78,580	80,058	11	30	35	26	21	70	—
3	80—90	87,887	84,930	86,409	11	30	35	26	21	70	80
3 1/2	90—102	100,334	97,376	98,855	11	32	38	28	22	80	90
4	102—114	113,034	110,077	111,556	11	36	41	32	25	85	100
4 1/2	115—127	125,735	122,777	124,256	11	36	41	32	25	85	110
5	127—140	138,435	135,478	136,957	11	38	44	35	28	90	125
5 1/2*	—	151,136	148,178	149,657	11	40	48	39	32	100	140
6	152—165	163,836	160,879	162,357	11	42	51	42	35	100	150

Die eingeklammerten Größen sind möglichst zu vermeiden.

Die durch * gekennzeichnete Größe ist in der Fittingsindustrie nicht gebräuchlich.

1) Die Angabe der Nennweite in zwei Millimeterzahlen ist besonders in Frankreich handelsüblich. Die erste Zahl entspricht ungefähr dem inneren, die zweite Zahl ungefähr dem äußeren Rohrdurchmesser, und zwar wird bezeichnet:

Egales Stück nach innerem und äußerem Rohrdurchmesser, z. B. 40—49 entsprechend 1 1/2",

Reduziertes Stück dagegen nur nach innerem Rohrdurchmesser, z. B. 40—15; 26—15 entsprechend 1 1/2" — 1/2"; 1" — 1/2".

Die Werte l₁ und a entsprechen der bisherigen Praxis.

2) Innerhalb der nutzbaren Gewindelänge sind alle Gewindegänge im Grunde und an der Spitze voll ausgeschnitten. Beim kegeligen Gewinde dürfen jedoch die beiden letzten Gewindegänge an den Gewindepitzen unvollkommen sein. Das Gewindeprofil des kegeligen Außengewindes ist senkrecht zum Kegelmantel zu schneiden.

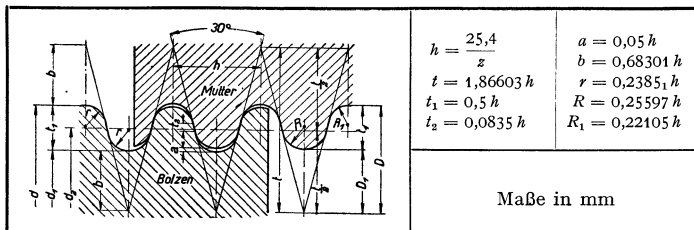
Ganghöhe $h = \frac{25,4}{z} = \approx \frac{127}{z_1}$ { beim zylindr. Gewinde parallel zur Rohrachse gemessen.
 „ kegelig. Gewinde parallel zum Kegelmantel gemessen.

Die Muffe soll ohne merkliches Spiel auf das zylindrische Normal-Bolzensgewinde aufgeschraubt werden können.

Die Gewindelänge an Verbindungsstücken entspricht der Gewindelänge l₂ des kegeligen Rohrgewindes, jedoch ist eine Gewindecürzung bis zu 15% zulässig.

Rundgewinde (DIN 405)

für Zwecke der Feuerwehr und für Armaturen.



Gewinde- durchmesser <i>d</i>	Gang- zahl auf 1 Zoll <i>z</i>	Steigung <i>h</i>	Gewinde- tiefe <i>t₁</i>	Tragtiefe <i>t₂</i>	Rundungen			
					Bolzen		Mutter	
					<i>r</i>	<i>R</i>	<i>R₁</i>	
7—12	10	2,540	1,270	0,212	0,606	0,650	0,561	
14—38	8	3,175	1,588	0,265	0,757	0,813	0,702	
40—100	6	4,233	2,117	0,353	1,010	1,084	0,936	
105—200	4	6,350	3,175	0,530	1,515	1,625	1,404	

Bolzen		Flan- ken- durch- messer <i>d₂</i>	Mutter		Bolzen		Flan- ken- durch- messer <i>d₂</i>	Mutter	
Gewinde- durch- messer <i>d</i>	Kern- durch- messer <i>d₁</i>		Gewinde- durch- messer <i>D</i>	Kern- durch- messer <i>D₁</i>	Gewinde- durch- messer <i>d</i>	Kern- durch- messer <i>d₁</i>		Gewinde- durch- messer <i>D</i>	Kern- durch- messer <i>D₁</i>
7	4,460	5,730	7,254	4,714	(72)	67,767	69,883	72,423	68,190
8	5,460	6,730	8,254	5,714	75	70,767	72,883	75,423	71,190
9	6,460	7,730	9,254	6,714	(78)	73,767	75,883	78,423	74,190
10	7,460	8,730	10,254	7,714	80	75,767	77,883	80,423	76,190
12	9,460	10,730	12,254	9,714	(82)	77,767	79,883	82,423	78,190
14	10,825	12,412	14,318	11,142	85	80,767	82,883	85,423	81,190
16	12,825	14,412	16,318	13,142	(88)	83,767	85,883	88,423	84,190
18	14,825	16,412	18,318	15,142	90	85,767	87,883	90,423	86,190
20	16,825	18,412	20,318	17,142	(92)	87,767	89,883	92,423	88,190
22	18,825	20,412	22,318	19,142	95	90,767	92,883	95,423	91,190
24	20,825	22,412	24,318	21,142	(98)	93,767	95,883	98,423	94,190
26	22,825	24,412	26,318	23,142	100	95,767	97,883	100,423	96,190
28	24,825	26,412	28,318	25,142	(105)	98,650	101,825	105,635	99,285
30	26,825	28,412	30,318	27,142	110	103,650	106,825	110,635	104,285
32	28,825	30,412	32,318	29,142	(115)	108,650	111,825	115,635	109,285
(34)	30,825	32,412	34,318	31,142	120	113,650	116,825	120,635	114,285
36	32,825	34,412	36,318	33,142	(125)	118,650	121,825	125,635	119,285
(38)	34,825	36,412	38,318	35,142	130	123,650	126,825	130,635	124,285
40	35,767	37,883	40,423	36,190	(135)	128,650	131,825	135,635	129,285
(42)	37,767	39,883	42,423	38,190	140	133,650	136,825	140,635	134,285
44	39,767	41,883	44,423	40,190	(145)	138,650	141,825	145,635	139,285
(46)	41,767	43,883	46,423	42,190	150	143,650	146,825	150,635	144,285
48	43,767	45,883	48,423	44,190	(155)	148,650	151,825	155,635	149,285
(50)	45,767	47,883	50,423	46,190	160	153,650	156,825	160,635	154,285
52	47,767	49,883	52,423	48,190	(165)	158,650	161,825	165,635	159,285
55	50,767	52,883	55,423	51,190	170	163,650	166,825	170,635	164,285
(58)	53,767	55,883	58,423	54,190	(175)	168,650	171,825	175,635	169,285
60	55,767	57,883	60,423	56,190	180	173,650	176,825	180,635	174,285
(62)	57,767	59,883	62,423	58,190	(185)	178,650	181,825	185,635	179,285
65	60,767	62,883	65,423	61,190	190	183,650	186,825	190,635	184,285
(68)	63,767	65,883	68,423	64,190	(195)	188,650	191,825	195,635	189,285
70	65,767	67,883	70,423	66,190	200	193,650	196,825	200,635	194,285

Nippelgewinde nach VDE 420.

Maße in mm.

Gewindebezeichnung	Bolzen		Flankendurchmesser d_2	Gangzahl auf 1 Zoll z	Steigung h	Gewindetiefe t_1	Tragtiefe t_2	Rundung r	Mutter	
	Gewindedurchmesser d	Kerndurchmesser d_1							Gewindedurchmesser D	Kerndurchmesser D_1
M 10×1	10	8,610	9,350	25,4	1	0,695	0,650	0,06	10,090	8,700
M 13×1	13	11,610	12,350	25,4	1	0,695	0,650	0,06	13,090	11,700
M 16×1	16	14,610	15,350	25,4	1	0,695	0,650	0,06	16,090	14,700

Das Nippelgewinde entspricht dem Metrischen Feingewinde 5 nach DIN 517.



Edison-Gewinde.

Gewindeform und Grenzmaße.

Nach VDE 400.

Maße in mm.

Gewindeform (Idealgewinde)									
Kurzzeichen	Benennung	Außendurchmesser D_0	Innendurchmesser d_0	Flankendurchmesser D_2	Gangzahl auf 1'' z	Steigung h	Gewindetiefe t_0	Rundung r	Frühere Benennung
E 10	Edison-Gewinde 10	9,60	8,60	9,10	14	1,814	0,50	0,536	Zwerg-Edison
E 14	Edison-Gewinde 14	13,93	12,33	13,13	9	2,822	0,80	0,825	Mignon
E 27	Edison-Gewinde 27	26,60	24,30	25,45	7	3,629	1,15	1,00	Normal-Edison
E 33	Edison-Gewinde 33	33,10	30,50	31,80	6	4,233	1,30	1,19	Großes Edison
E 40	Edison-Gewinde 40	39,55	35,95	37,75	4	6,350	1,80	1,85	Goliath-Edison

Grenzmaße des Bolzen- und Muttergewindes

Kurzzeichen	Bolzen				Mutter			
	Außendurchmesser d		Kerndurchmesser d_1		Außendurchmesser D		Kerndurchmesser D_1	
	Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß
E 10	9,57	9,40	8,57	8,40	9,63	9,80	8,63	8,80
E 14	13,90	13,70	12,30	12,10	13,96	14,16	12,36	12,56
E 27	26,55	26,20	24,25	23,90	26,65	27,00	24,35	24,70
E 33	33,05	32,65	30,45	30,05	33,15	33,55	30,55	30,95
E 40	39,50	39,05	35,90	35,45	39,60	40,05	36,00	36,45

Rundgewinde für Gasschutzgeräte nach DIN 3182.

Kurzzeichen	Theoretische Werte						Gewidegrenzmaße					
	Gewindedurchmesser d	Kerndurchmesser d_1	Steigung h	Gangzahl auf 1''	Rundung r	Gewindetiefe t_1	Bolzen			Mutter		
							Außendurchmesser d		Kerndurchmesser d_1	Außendurchmesser D		Kerndurchmesser D_1
							Größtmaß	Kleinstmaß		Kleinstmaß	Größtmaß		Größtmaß	Kleinstmaß
Rd ...	d	d_1	h	Gangzahl auf 1''	r	t_1	Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß
40×1/2''	40,00	38,40	3,629	7	1,225	0,8	40,000	39,700	38,400	40,160	38,860	38,560
80×1/2''	80,00	75,20	8,467	3	2,467	2,4	80,000	79,500	75,200	80,500	76,200	75,700
110×1/2''	110,00	105,20	8,467	3	2,467	2,4	110,000	109,500	105,200	110,500	106,200	105,700

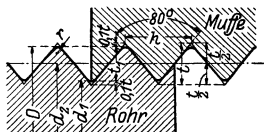
Stahlpanzerrohr-Gewinde

nach DIN VDE 430. Gewindeform.

$$h = \frac{25,4}{z}; \quad r = 0,107 h;$$

$$t = 0,59587 h; \quad t_1 = 0,8 t = 0,4767 h.$$

Maße in mm.



Kurz- zeichen	Benennung	Außen- durch- messer	Kern- durch- messer	Ge- winde- tiefe	Run- dung	Flanken- durch- messer	Steig- ung	Gang- zahl auf 1''
		<i>D</i>	<i>d</i> ₁	<i>t</i> ₁	<i>r</i>	<i>d</i> ₂	<i>h</i>	<i>z</i>
Pg 9	Panzerrohr-Gewinde 9	15,20	13,86	0,67	0,15	14,53	1,411	18
Pg 11	Panzerrohr-Gewinde 11	18,60	17,26	0,67	0,15	17,93	1,411	18
Pg13,5	Panzerrohr-Gewinde 13,5	20,40	19,06	0,67	0,15	19,73	1,411	18
Pg 16	Panzerrohr-Gewinde 16	22,50	21,16	0,67	0,15	21,83	1,411	18
Pg 21	Panzerrohr-Gewinde 21	28,30	26,78	0,76	0,17	27,54	1,588	16
Pg 29	Panzerrohr-Gewinde 29	37,00	35,48	0,76	0,17	36,24	1,588	16
Pg 36	Panzerrohr-Gewinde 36	47,00	45,48	0,76	0,17	46,24	1,588	16
Pg 42	Panzerrohr-Gewinde 42	54,00	52,48	0,76	0,17	53,24	1,588	16

DIN VDE 430 enthält auch Grenzmaße für das Stahlpanzerrohr-Gewinde.

Holzschrauben. Maße in mm.

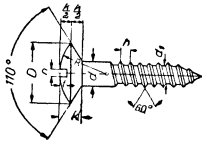
Schaftstärke mm	1,35	1,5	1,65	1,85	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6
Deutsche Lehre, alte Nr.	000	00	0	1	2	3	4	5	6	7
„ „ neue „	13	15	16	18	21	24	27	30	33	36
Englische „ . . . „	000	00	0	1	2	3	4	5	6	7
Französische Lehre . . .	11	12	13	14	15	16	17	18	—	19
Spanische Lehre . . . „	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Österreichische Lehre „	14	16	18	20	22	25	28	31	34	38
Steigung der Gewinde mm	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Schlitzweite „	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
Schaftstärke mm	3,9	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	
Deutsche Lehre, alte Nr.	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
„ „ neue „	39	42	46	50	54	58	62	66	70	
Englische „ „	8	9	10	11	12	13	14	16	17	
Französische Lehre . . .	20	—	21	22	—	23	—	24	25	
Spanische Lehre . . . „	20	—	21	22	—	23	—	24	—	
Österreichische Lehre „	—	42	46	50	55	60	—	65	70	
Steigung der Gewinde mm	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	
Schlitzweite „	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	
Schaftstärke mm	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	
Deutsche Lehre, alte Nr.	17	18	19	20	21	22	23	24	7/16	
„ „ neue „	74	78	82	86	90	95	100	105	110	
Englische „ „	18	20	21	22	23	24	25	—	—	
Französische Lehre . . .	—	26	—	27	—	28	29	—	—	
Spanische Lehre . . . „	25	—	26	27	—	28	29	30	31	
Österreichische Lehre „	76	—	82	88	—	94	100	—	110	
Steigung der Gewinde mm	3,3	3,5	3,7	4,0	4,3	4,5	4,5	4,8	4,8	
Schlitzweite „	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	

Die flachen Schraubenköpfe haben bei der deutschen Lehre einen Durchmesser von $2 \times$ Schaftstärke + 1 mm, bei allen übrigen Lehren sowie bei sämtlichen Rund- und Linsenköpfen $2 \times$ Schaftstärke.

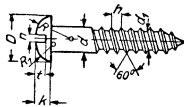
Das Versenk der Flachköpfe bildet einen rechten Winkel.

Gewindetiefe = $\frac{1}{4}$ Schaftstärke. Profilwinkel = 50° .

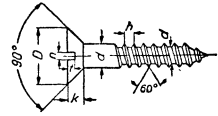
Holzschrauben (DIN 95, 96, 97).



Linsensenkholzschrauben



Halbbrundholzschrauben



Senkholzschrauben

Maße in mm.

Gemeinsame Maße für DIN 95, 96, 97					Linsensenk- holzschrauben DIN 95				Halbbrund- holzschrauben DIN 96				Senkholz- schrauben DIN 97	
d	d_1	h	D	n	k	t	p	R	k	t	R	R_1	k	t
1,3	0,9	0,6	2,6	0,4	0,92	0,5	0,46	2,05	0,9	0,6	2	1	0,65	0,4
1,5	1,1	0,6	3	0,4	1,06	0,5	0,53	2,4	1,1	0,7	2,2	1,1	0,75	0,4
1,8	1,3	0,8	3,6	0,5	1,26	0,6	0,63	2,9	1,3	0,8	2,7	1,4	0,9	0,5
2,1	1,5	1	4,2	0,5	1,48	0,7	0,74	3,35	1,5	0,9	3,2	1,6	1,05	0,5
2,4	1,7	1,1	4,8	0,6	1,68	0,8	0,84	3,85	1,7	1,1	3,6	1,8	1,2	0,6
2,7	1,9	1,2	5,4	0,6	1,9	0,9	0,95	4,32	1,9	1,2	4	2	1,35	0,6
3	2,1	1,35	6	0,8	2,1	1	1,05	4,8	2,1	1,3	4,5	2,3	1,5	0,8
3,5	2,4	1,6	7	0,8	2,46	1,2	1,23	5,6	2,5	1,5	5,2	2,6	1,75	0,8
4	2,8	1,8	8	1	2,8	1,4	1,4	6,4	2,8	1,8	6	3	2	1
4,5	3,1	2	9	1	3,16	1,6	1,58	7,2	3,2	2	6,8	3,4	2,25	1
5	3,5	2,2	10	1,2	3,5	1,7	1,75	8	3,5	2,3	7,5	3,8	2,5	1,2
5,5	3,8	2,4	11	1,2	3,86	1,9	1,93	8,8	3,9	2,5	8,2	4,1	2,75	1,2
6	4,2	2,6	12	1,5	4,2	2,1	2,1	9,6	4,2	2,7	9	4,5	3	1,5
6,5	4,5	2,8	13	1,5	4,56	2,3	2,28	10,4	4,6	2,9	9,8	4,9	3,25	1,5
7	4,9	3,2	14	2	4,9	2,4	2,45	11,2	4,9	3	10,5	5,3	3,5	2
8	5,6	3,5	16	2	5,6	2,8	2,8	12,8	5,6	3,5	12	6	4	2
9	6,3	4	18	2,5	6,3	3,1	3,15	14,4	6,3	4	13,5	6,8	4,5	2,5
10	7	4,5	20	2,5	7	3,5	3,5	16	7	4,5	15	7,5	5	2,5

Von den Holzschrauben sind in den DIN 95, 96, 97 auch die Lagerlängen festgelegt.

Trapezgewinde: a) metrisches.

Durch das genormte Trapezgewinde (S. 226 bis 228) ersetzt.
Flankenwinkel 29°.

	Alle Maße in mm	Spindel		Gewindebohrer	
	Außen-durchmesser	D_a	bei Wanderer beliebig	$D_{a'}$	$D_a + 0,5$
Kern-durchmesser	D_k	$D_a - (S + 0,5)$	$D_{k'}$	$D_a - S$	
Flanken-durchmesser	D_f	$D_a - S/2$	D_f	$D_a - S/2$	
Gewindetiefe	t	$S/2 + 0,25$	t	$S/2 + 0,25$	
Zahnbreite an der Spitze	b	$0,3707 \cdot S$	z_1	$0,3707 \cdot S - 0,129$	
Zahnbreite am Kern	b_1	$0,6293 \cdot S + 0,129$	z	$0,6293 \cdot S$	
Lückenbreite an der Spitze	z	$0,6293 \cdot S$	b_1	$0,6293 \cdot S + 0,129$	
Lückenbreite am Kern	z_1	$0,3707 \cdot S - 0,129$	b	$0,3707 \cdot S$	

1. Trapezgewinde der Wanderer-Werke (Abmessungen 1917).

Durchmesser beliebig.

S	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	25	30
t	1,75	2,25	2,75	3,25	4,25	5,25	6,25	7,25	8,25	9,25	10,25	12,25	15,25
b	1,11	1,48	1,85	2,22	2,97	3,71	4,45	5,19	5,93	6,67	7,41	9,27	11,12
b_1	2,02	2,65	3,28	3,91	5,16	6,42	7,68	8,94	10,20	11,46	12,72	15,86	19,01
z	1,89	2,52	3,15	3,78	5,03	6,29	7,55	8,81	10,07	11,33	12,59	15,73	18,88
z_1	0,98	1,35	1,72	2,09	2,84	3,58	4,32	5,06	5,80	6,54	7,28	9,14	10,99

2. Trapezgewinde der Ludw. Loewe & Co. A.-G.

D_a				12	14	16	18	20	22	24	26		
D_k				8,3	10,3	11,9	13,9	15,5	17,5	19,1	21,1		
$D_{a'}$				12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5	24,5	26,5		
$D_{k'}$				8,8	10,8	12,4	14,4	16	17,6	19,6	21,6		
S	2	2,4	2,8	3,2	3,2	3,6	3,6	4	4	4,4	4,4		
t	1,25	1,45	1,65	1,85	1,85	2,05	2,05	2,25	2,25	2,45	2,45		
b	0,74	0,89	1,04	1,19	1,19	1,33	1,33	1,48	1,48	1,63	1,63		
b_1	1,39	1,64	1,89	2,14	2,14	2,4	2,4	2,65	2,65	2,9	2,9		
z	1,26	1,51	1,76	2,01	2,01	2,27	2,27	2,52	2,52	2,77	2,77		
z_1	0,61	0,76	0,91	1,06	1,06	1,20	1,20	1,35	1,35	1,50	1,50		
D_a	28	30	32	35	38	40							
D_k	22,7	24,7	26,3	28,9	31,5	33,1							
$D_{a'}$	28,5	30,5	32,5	35,5	38,5	40,5							
$D_{k'}$	23,2	25,2	26,8	29,4	32	33,6							
S	4,8	4,8	5,2	5,6	6	6,4	7,2	8	8,8	9,6	12		
t	2,65	2,65	2,85	3,05	3,25	3,45	3,85	4,25	4,65	5,05	6,25		
b	1,78	1,78	1,93	2,08	2,22	2,37	2,67	2,97	3,26	3,56	4,45		
b_1	3,15	3,15	3,4	3,65	3,91	4,16	4,66	5,16	5,67	6,17	7,68		
z	3,02	3,02	3,27	3,52	3,78	4,03	4,53	5,03	5,54	6,04	7,55		
z_1	1,65	1,65	1,80	1,95	2,09	2,24	2,54	2,84	3,13	3,43	4,32		

b) Zollgewinde „Acme Standard“.

Form wie beim metrischen Trapezgewinde. Wird angefertigt entweder mit allen Abmessungen in engl. Zoll oder nur mit Steigung im Zollmaß und Durchmesser in Millimetern. Bezeichnungen wie beim metrischen Trapezgewinde.

D _a , D _k , D _f , t, b, z ₁ in engl. Zoll						
Spindel			Gewindebohrer			
D _a	D _a		D _a '	D _a + 0,02''		
D _k	D _a - 2t		D _k '	D _a + 0,02'' - 2t		
D _f	$D_a - \frac{1}{2 \cdot \text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		D _f '	$D_a - \frac{1}{2 \cdot \text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		
t	$\frac{1}{2 \cdot \text{Gangzahl auf 1 Zoll}} + 0,01''$		t	$\frac{1}{2 \cdot \text{Gangzahl auf 1 Zoll}} + 0,01''$		
b	$\frac{0,3707}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		z ₁	$\frac{0,3707}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}} - 0,0052''$		
z ₁	$\frac{0,3707}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}} - 0,0052''$		b	$\frac{0,3707}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		

D _a , D _k , D _f , t, b, z ₁ in Millimeter						
Spindel			Gewindebohrer			
D _a	D _a		D _a '	D _a + 0,508 mm		
D _k	D - 2t		D _k '	D _a + 0,508 mm - 2t		
D _f	$D_a - \frac{12,7}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		D _f '	$D_a - \frac{12,7}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		
t	$\frac{12,7}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}} + 0,254 \text{ mm}$		t	$\frac{12,7}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}} + 0,254 \text{ mm}$		
b	$\frac{9,416}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		z'	$\frac{9,416}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}} - 0,1321 \text{ mm}$		
z ₁	$\frac{9,416}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}} - 0,1321 \text{ mm}$		b	$\frac{9,416}{\text{Gangzahl auf 1 Zoll}}$		

Gangzahl auf 1'' = $\frac{1''}{S}$	1	1½	2	3	4	5	
t =	{ engl. Zoll mm	0,5100 12,954	0,3850 9,779	0,2600 6,604	0,1767 4,488	0,1350 3,429	0,1100 2,794
b =	{ engl. Zoll mm	0,3707 9,416	0,2780 7,061	0,1853 4,707	0,1235 3,137	0,0927 2,355	0,0741 1,882
b ₁ =	{ engl. Zoll mm	0,6345 16,116	0,4772 12,121	0,3199 8,215	0,2150 5,461	0,1625 4,127	0,1311 3,330
z =	{ engl. Zoll mm	0,6293 15,984	0,4720 11,989	0,3147 7,993	0,2093 5,329	0,1573 3,995	0,1259 3,198
z ₁ =	{ engl. Zoll mm	0,3655 9,284	0,2728 6,929	0,1801 4,575	0,1183 3,005	0,0875 2,222	0,0689 1,750

Gangzahl auf 1'' = $\frac{1''}{S}$	6	7	8	9	10	
t =	{ engl. Zoll mm	0,0933 2,370	0,0814 2,067	0,0725 1,841	0,0655 1,664	0,0600 1,524
b =	{ engl. Zoll mm	0,0618 1,570	0,0529 1,344	0,0463 1,176	0,0413 1,049	0,0371 0,942
b ₁ =	{ engl. Zoll mm	0,1101 2,797	0,0951 2,416	0,0839 2,131	0,0751 1,908	0,0681 1,730
z =	{ engl. Zoll mm	0,1049 2,664	0,0899 2,283	0,0787 1,999	0,0699 1,775	0,0629 1,598
z ₁ =	{ engl. Zoll mm	0,0566 1,438	0,0478 1,214	0,0411 1,044	0,0361 0,916	0,0319 0,810

Außen- und Kerndurchmesser des Mutterbohrers sind um 0,02 engl. Zoll (0,508 mm) größer als an der Spindel. Außerdem die Gewindebohrermaße b, z₁, z, b₁ mit Spindelmaßen z₁, b, b₁, z vertauscht.

Ducommun-Steinlen-Gewinde

für mechanische und optische Instrumente, aufgestellt 1873 von den Ducommunschen Werkstätten (Heilmann, Ducommun & Steinlen) in Mülhausen i. E. Flankenwinkel 60°, Abflachung gleich S/10.

D_a . . . mm	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
S . . . mm	0,5	0,75	0,75	1	1,25	1,25	1,50	1,50	1,75	2
D_k . . . „	2,33	3,00	4,00	4,67	5,33	6,33	7,00	8,00	9,67	12,33
D_a . . . mm	18	20	23	25	28	30	32	35	38	40
S . . . mm	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4	4
D_k . . . „	14,67	16,67	19,00	21,00	24,00	25,33	27,33	29,67	31,67	34,68
D_a . . . mm	45	48	50	55	60	65	70	75	80	
S . . . mm	4,5	5	5	5	6	6	7	7	7	
D_k . . . „	39,00	40,33	43,33	48,33	52,00	57,00	60,67	65,67	70,67	

Karmarsch *)-Gewinde

für mechanische und optische Instrumente. (Form wie Löwenherz.)

G = Gangzahl auf 10 mm Länge.

D_a . . . mm	Grobes Gewinde					Feines Gewinde				
	4	5	6	8	10	4	5	6	8	10
G . . . mm	12	10	9	8	6	24	20	18	16	12
S . . . „	0,834	1,0	1,111	1,25	1,667	0,417	0,50	0,556	0,625	0,834
D_k . . . „	2,749	3,5	4,333	6,13	7,5	3,37	4,25	5,16	7,06	8,75

*) Karmarsch, Prof. der Technologie an der Techn. Hochschule in Hannover, geb. 1803 in Wien, gest. 1879 in Hannover.

Metrisches Gewinde

des Vereins deutscher Ingenieure (nach Delisle¹⁾).

(Form wie Löwenherz-Gewinde.)

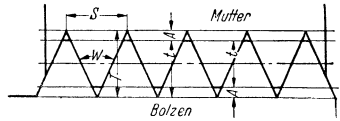
Das von Delisle 1876 vorgeschlagene Gewinde wurde vom VDI 1888 in Breslau angenommen, zugunsten des vom Intern. Kongreß zur Vereinheitlichung der Gewinde, Zürich, 3. und 4. Okt. 1898, festgelegten S.I.-Gewindes fallen gelassen und ist kaum noch in Gebrauch.

Außendurchmesser . . . mm	6	7	8	9	10	12	14	16	18
Steigung mm	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Kerndurchmesser . . . „	4,5	5,35	6,2	7,05	7,9	9,6	11,3	13	14,7
Flankendurchmesser . . . „	5,25	6,1	7,1	7,95	8,95	10,8	12,65	14,5	16,35
Schlüsselweite „	11	14	14	18	18	22	25	28	31
Außendurchmesser . . . mm	20	22	24	26	28	30	32	36	40
Steigung mm	2,4	2,8	2,8	3,2	3,2	3,6	3,6	4,0	4,4
Kerndurchmesser . . . „	16,4	17,8	19,8	21,2	23,2	24,6	26,6	30	33,4
Flankendurchmesser . . . „	18,2	19,9	21,9	23,6	25,6	27,3	29,3	33	36,7
Schlüsselweite „	34	37	40	43	46	49	52	58	64

1) Karl Delisle, Oberingenieur der badischen Staatseisenbahn, gest. 1909.

Hamann¹⁾ = Patronengewinde

für mechanische und optische Instrumente
sehr verbreitet gewesen.



Gew.-Nr.	S mm	Gg. auf 1''	A mm	t mm	T mm	W	Beispiel für die Bezeichnung
1	3,907	6 ¹ / ₂	0,29	3,902	4,192	50°	57,2 × 65 Gew. 1
2	3,092	8 ³ / ₄	0,27	3,045	3,315	50°	53,9 × 60 „ 2
3	2,739	9 ⁹ / ₁₁	0,25	2,687	2,937	50°	52,7 × 58 „ 3
4	1,953	13	0,22	1,873	2,093	50°	35,3 × 39 „ 4
5	1,546	16 ³ / ₇	0,195	1,463	1,658	50°	47,1 × 50 „ 5
6	1,270	20	0,175	1,187	1,362	50°	18,6 × 21 „ 6
7	1,154	22	0,155	1,082	1,237	50°	22 × 24 „ 7
8	0,976	26	0,135	0,911	1,046	50°	27,2 × 29 „ 8
9	0,873	29 ¹ / ₁₃	0,115	0,820	0,935	50°	34,4 × 36 „ 9
10	0,705	36	0,085	0,670	0,755	50°	20,7 × 22 „ 10
11	0,635	40	0,065	0,443	0,508	64°	26,1 × 27 „ 11
12tf.	0,461	55	0,065	0,428	0,493	50°	12,1 × 13 „ 12tf.
12fl.	0,461	55	0,035	0,259	0,294	76°	17,5 × 18 „ 12fl.
13	0,288	88	0,035	0,273	0,308	50°	26 × 26,5 „ 13

¹⁾ Hamann, Maschinenfabrikant (Mechaniker-Drehbänke) in Berlin, in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts.

Uhrschrauben-Gewinde

der Systeme „Thury“¹⁾ und „British Association Standard Screw Threads“ (B. A.)
(gebräuchlich gewesen für Instrumente und Uhren).

					$h = 1,1364 \cdot S; t = 0,6 \cdot S$ Abrundungen				
					äußere (r)		innere (R)		
					B. A.		² / ₁₁ · S		
					Thury		¹ / ₆ · S		
Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
D_a . . mm	6	5,3	4,7	4,1	3,6	3,2	2,8	2,5	2,2
S . . . „	1	0,9	0,81	0,73	0,66	0,59	0,53	0,48	0,43
D_k . . . „	4,8	4,22	3,728	3,224	2,808	2,492	2,164	1,924	1,684
Nr.	9	10	11	12	13	14	15	16	17
D_a . . mm	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1	0,9	0,79	0,7
S . . . „	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17
D_k . . . „	1,432	1,28	1,128	0,964	0,9	0,724	0,648	0,562	0,496
Nr.	18	19	20	21	22	23	24	25	
D_a . . mm	0,62	0,54	0,48	0,42	0,37	0,33	0,29	0,25	
S . . . „	0,15	0,14	0,12	0,11	0,098	0,098	0,08	0,072	
D_k . . . „	0,44	0,372	0,336	0,288	0,252	0,223	0,194	0,164	

¹⁾ Thury, Ingenieur, Universitätsprofessor in Genf, gest. am 17. Januar 1905.

Neues Britisches Normal-Feingewinde.

(B.S.F. = British Standard Fine Screw Thread.)

	Außendurchmesser .	D_a	$D_k + 2t; D_f + t$							
	Kerndurchmesser .	D_k	$D_a - 2t; D_f - t$							
	Flankendurchmesser	D_f	$\frac{1}{2}(D_a + D_k); D_a - t$							
	Steigung	S	25,4: Gangzahl auf 1''							
	Gewindetiefe	t	$\frac{2}{3}h; 0,64033 \cdot S; 16,264 \cdot G$							
	Gangzahl	G								
	Dreieckshöhe	h	$0,96049 \cdot S$							
D_a { engl. Zoll	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	
mm	6,350	7,938	9,525	11,113	12,701	14,288	15,876	17,463	19,051	
D_k mm	5,099	6,457	7,899	9,305	10,668	12,254	13,552	15,139	16,341	
G	26	22	20	18	16	16	14	14	12	
S mm	0,977	1,156	1,270	1,411	1,588	1,588	1,814	1,814	2,117	
D_a { engl. Zoll	$\frac{13}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{5}{8}$	
mm	20,638	22,225	23,813	25,401	28,576	31,751	34,926	38,101	41,277	
D_k mm	17,928	19,267	20,855	22,147	24,962	28,137	30,860	34,035	37,211	
G	12	11	11	10	9	9	8	8	8	
S mm	2,117	2,309	2,309	2,540	2,822	2,822	3,175	3,175	3,175	
D_a { engl. Zoll	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{7}{8}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	$3\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{2}$	
mm	44,452	47,627	50,802	57,152	63,502	69,853	76,203	82,55	88,90	
D_k mm	39,804	42,979	46,154	51,727	58,077	64,427	69,963	76,04	81,67	
G	7	7	7	6	6	6	5	5	$4\frac{1}{2}$	
S mm	3,629	3,629	3,629	4,233	4,233	4,233	5,080	5,080	5,645	
D_a { engl. Zoll	$3\frac{3}{4}$	4	$4\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{2}$	$4\frac{3}{4}$	5	$5\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{2}$	$5\frac{3}{4}$	6
mm	95,25	101,60	107,95	114,30	120,65	127,00	133,35	139,70	146,05	152,40
D_k mm	88,02	94,37	99,83	106,18	112,52	118,87	124,06	130,41	136,76	143,11
G	$4\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	4	4	4	4	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$
S mm	5,645	5,645	6,350	6,350	6,350	6,350	7,257	7,257	7,257	7,257

Amerikanisches Feingewinde.

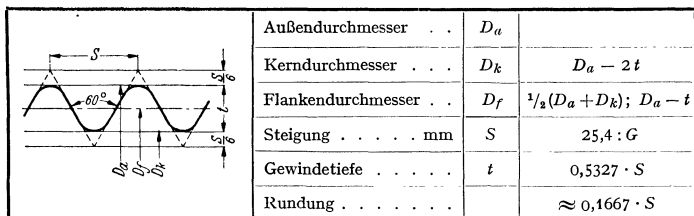
(A.S.M.E., aufgestellt von American Society of Mechanical Engineers 1907.)

Gewindeform wie beim U.S.St.-Gewinde (S. 545).

Außendurchmesser engl. Zoll	0,060	0,073	0,086	0,099	0,112	0,125	0,138
Außendurchmesser . . . mm	1,524	1,854	2,184	2,515	2,845	3,175	3,505
Gänge auf 1 engl. Zoll . . .	80	72	64	56	48	44	40
Kerndurchmesser mm	1,112	1,397	1,669	1,925	2,156	2,426	2,680
Außendurchmesser engl. Zoll	0,151	0,164	0,177	0,190	0,216	0,242	0,268
Außendurchmesser . . . mm	3,835	4,166	4,496	4,826	5,486	6,147	6,807
Gänge auf 1 engl. Zoll . . .	36	36	32	30	28	24	22
Kerndurchmesser mm	2,918	3,249	3,464	3,726	4,308	4,773	5,308
Außendurchmesser engl. Zoll	0,294	0,320	0,346	0,372	0,398	0,424	0,450
Außendurchmesser . . . mm	7,467	8,128	8,788	9,449	10,109	10,769	11,430
Gänge auf 1 engl. Zoll . . .	20	20	18	16	16	14	14
Kerndurchmesser mm	5,816	6,477	6,954	7,386	8,047	8,412	9,073

Engl. „C.E.I.“-Gewinde.

(Cycle Engineer Institution Thread.)



D_a . . .	{ engl. Zoll mm	0,056 1,422	0,064 1,626	0,072 1,829	0,080 2,032	0,092 2,337	0,104 2,642	0,125 3,175
D_k	mm	0,965	1,190	1,393	1,596	1,854	2,028	2,499
D_f	mm	1,194	1,408	1,611	1,814	2,096	2,335	2,837
G		62	62	62	62	56	44	40
S	mm	0,409	0,409	0,409	0,409	0,453	0,577	0,635
D_a . . .	{ engl. Zoll mm	0,154 3,912	0,175 4,445	0,1875 4,762	0,250 6,35	0,266 6,756	0,281 7,137	0,3125 7,937
D_k	mm	3,236	3,600	3,917	5,309	5,715	6,096	6,896
D_f	mm	3,574	4,023	4,340	5,830	6,236	6,617	7,417
G		40	32	32	26	26	26	26
S	mm	0,635	0,794	0,794	0,977	0,977	0,977	0,977
D_a . . .	{ engl. Zoll mm	0,375 9,525	0,5625 14,287	1,000 25,4	1,290 32,766	1,370 34,797	1,4375 36,512	1,5 38,10
D_k	mm	8,484	12,934	24,359	31,639	33,670	35,385	36,973
D_f	mm	9,004	13,611	24,880	32,203	34,233	35,949	37,537
G		26	20	26	24	24	24	24
S	mm	0,977	1,270	0,977	1,058	1,058	1,058	1,058

Französisches Gewinde.

(S.F. = System Français.) Gewindeform wie Sellers.

War in Frankreich vor Einführung des S.I.-Gewindes im Gebrauch; dort auch jetzt noch vielfach angewendet.

Nr.	0	—	1	—	2	—	3	—	4	—		
D_a . . . mm	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
S . . . „	1	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3
D_k . . . „	4,7	6,7	8,05	10,05	11,4	13,4	14,75	16,75	18,75	20,1	22,1	24,1
D_f . . . „	5,35	7,35	9,02	11,02	12,7	14,7	16,37	18,37	20,37	22,05	24,05	26,05
Nr.	5	—	—	6	—	—	7	—	—	8	—	9
D_a . . . mm	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	56
S . . . „	3,5	3,5	3,5	4	4	4	4,5	4,5	4,5	5	5	5,5
D_k . . . „	25,45	27,45	29,45	30,8	32,8	34,8	36,15	38,15	40,15	41,5	43,5	48,85
D_f . . . „	27,72	29,72	31,72	33,4	35,4	37,4	39,07	41,07	43,07	44,75	46,75	52,42
Nr.	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
D_a . . . mm	64	72	80	88	96	106	116	126	136	148		
S . . . „	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5		
D_k . . . „	56,2	63,55	70,9	78,25	85,6	95,95	104,3	113,65	123	134,05		
D_f . . . „	60,1	67,77	75,45	83,12	90,8	100,97	110,15	119,82	129,5	141,02		

Löwenherz¹⁾ - Gewinde.

Feinmechanikergewinde, hauptsächlich in Deutschland und Österreich in Gebrauch gewesen. Ursprünglich Spitzgewinde, in der abgeflachten Form angenommen auf dem Kongreß zur Einführung einheitlicher Gewinde für Befestigungsschrauben in der Feinmechanik in München 1892. Jetzt durch das metrische Gewinde DIN 13 ersetzt. (53°8' = Spitzwinkel des in ein Quadrat eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks.)

	Außendurchmesser	D_a								
	Kerndurchmesser	D_k								
	Flankendurchmesser	D_f								
	Steigung = Dreieckshöhe	$S = h$								
	Gewindetiefe	t								
Außendurchmesser mm	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3	3,5	
Steigung mm	0,25	0,25	0,3	0,35	0,4	0,4	0,45	0,5	0,6	
Kerndurchmesser mm	0,625	0,825	0,95	1,175	1,4	1,7	1,925	2,25	2,6	
Flankendurchmesser mm	0,812	1,012	1,175	1,437	1,700	2,000	2,262	2,625	3,050	
Spiralbohrer	} Nr.	71	66	61	56	53	50	47	42	36
		mm	0,66	0,84	1	1,2	1,5	1,78	2	2,38	2,7
Schlüsselweite mm	3	4	5	5	6	6	7	7	8	
Außendurchmesser mm	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	
Steigung mm	0,7	0,75	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	
Kerndurchmesser mm	2,95	3,375	3,8	4,15	4,5	5,35	6,2	7,05	7,9	
Flankendurchmesser mm	3,475	3,937	4,400	4,825	5,250	6,175	7,100	8,025	8,950	
Spiralbohrer	} Nr.	31	29	23	18	14	—	E	—	P
		mm	3,1	3,5	3,9	4,3	4,6	5,5	6,4	7,25	8,2
Schlüsselweite mm	8	10	10	12	12	14	14	17	17	

¹⁾ Dr. Leop. Löwenherz, geb. 1847 zu Czarnikau in Posen, Abteilungs-Direktor der Phys.-Techn. Reichsanstalt in Charlottenburg, gest. 1892.

Bodmer¹⁾ - Gewinde

früher für mechanische und optische Instrumente.

	Außendurchmesser	D_a										
	Kerndurchmesser	D_k										
	Flankendurchmesser	D_f										
	Steigung	S										
	Gewindetiefe	t										
	Dreieckshöhe	h										
Gangzahl auf 25 mm	G											
D_a . . . mm	3,0	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11
S . . . mm	0,625	0,625	0,715	0,715	0,834	0,834	0,834	1,00	1,00	1,25	1,25	1,25
G . . . mm	40	40	35	35	30	30	30	25	25	20	20	20
D_k . . . mm	2,107	2,607	2,978	3,478	3,808	4,308	4,808	5,57	6,67	7,213	8,213	9,213
D_a . . . mm	12	13	14	15	16	18	20	22	24			
S . . . mm	1,471	1,471	1,724	1,724	2	2	2,5	2,5	2,78			
G . . . mm	17	17	14,5	14,5	12,5	12,5	10	10	9			
D_k . . . mm	9,897	10,897	11,535	12,535	13,141	15,141	16,426	18,426	20,026			
D_a . . . mm	26	28	30	32	34	38	42	46	50			
S . . . mm	2,78	3,125	3,125	3,571	3,571	4,167	4,167	5	5			
G . . . mm	9	8	8	7	7	6	6	5	5			
D_k . . . mm	22,026	23,532	25,532	26,895	28,895	32,043	36,043	38,852	42,852			

¹⁾ Bodmer, zuerst Mechaniker, später Artillerieoffizier, Fabrikleiter usw., geb. 1786 in Zürich, gest. 1864 in Zürich.

U.S.St.-Gewinde (Sellers¹)-Gewinde).

(United-States-Standard-System.)

Amerikanisches Normalgewinde.

Nach dem „Report of the Working Committee of the Sectional Committee on the Standardization and Unification of Screw Threads, organized under the rules of the American Engineering Standards Commission“ vom Mai 1924. Es sind 2 Gewinde (gleichen Profils), ein Grob- und ein Feingewinde aufgestellt, wovon das erste dem Sellers-Gewinde entspricht. Der Bolzen kann im Grunde und die Mutter im Außendurchmesser abgerundet sein; das Spitzenspiel im Außendurchmesser kann wegfallen. In nachfolgenden Tafeln sind nur die Bolzenabmessungen gebracht.

Grobgewinde						Feingewinde						
Bezeichnung	D_a	D_k	D_f	Gang auf 1'	S	t	D_a	D_k	D_f	Gang auf 1'	S	t
Nr. 0	—	—	—	—	—	—	1,524	1,112	1,318	80	0,318	0,206
1	1,854	1,338	1,596	64	0,397	0,258	1,854	1,395	1,625	72	0,353	0,229
2	2,184	1,594	1,889	56	0,454	0,295	2,184	1,668	1,926	64	0,397	0,258
3	2,515	1,827	2,171	48	0,529	0,344	2,515	1,925	2,220	56	0,454	0,295
4	2,845	2,021	2,433	40	0,635	0,412	2,845	2,157	2,501	48	0,529	0,344
5	3,175	2,351	2,763	40	0,635	0,412	3,175	2,425	2,800	44	0,577	0,375
6	3,505	2,473	2,989	32	0,794	0,516	3,505	2,681	3,093	40	0,635	0,412
8	4,166	3,134	3,650	32	0,794	0,516	4,166	3,250	3,708	36	0,706	0,458
10	4,826	3,450	4,138	24	1,058	0,688	4,826	3,794	4,310	32	0,794	0,516
12	5,486	4,110	4,798	24	1,058	0,688	5,486	4,308	4,897	28	0,907	0,589
$\frac{1}{16}$ "	6,350	4,700	5,525	20	1,270	0,825	6,350	5,171	5,762	28	0,907	0,589
$\frac{1}{8}$ "	7,938	6,104	7,021	18	1,411	0,917	7,938	6,562	7,250	24	1,058	0,688
$\frac{3}{16}$ "	9,525	7,463	8,494	16	1,588	1,031	9,525	8,150	8,837	24	1,058	0,688
$\frac{1}{4}$ "	11,113	8,755	9,934	14	1,814	1,179	11,113	9,463	10,288	20	1,270	0,825
$\frac{5}{16}$ "	12,700	10,162	11,431	13	1,954	1,269	12,700	11,050	11,875	20	1,270	0,825
$\frac{3}{8}$ "	14,288	11,538	12,913	12	2,117	1,375	14,288	12,454	13,371	18	1,411	0,917
$\frac{7}{16}$ "	15,875	12,875	14,375	11	2,309	1,500	15,875	14,044	14,958	18	1,411	0,917
$\frac{1}{2}$ "	19,050	15,750	17,400	10	2,540	1,650	19,050	16,988	18,019	16	1,588	1,031
$\frac{5}{8}$ "	22,225	18,559	20,392	9	2,822	1,833	22,225	19,867	21,046	14	1,814	1,179
1	25,400	21,276	23,338	8	3,175	2,062	25,400	23,042	24,221	14	1,814	1,179
$\frac{1}{8}$ "	28,575	23,861	26,218	7	3,629	2,357	28,575	25,825	27,200	12	2,117	1,375
$\frac{1}{4}$ "	31,750	27,036	29,393	7	3,629	2,357	31,750	29,000	30,375	12	2,117	1,375
$\frac{3}{8}$ "	38,100	32,600	35,350	6	4,234	2,750	38,100	35,350	36,725	12	2,117	1,375
$\frac{1}{2}$ "	44,450	37,850	41,450	5	5,080	3,300						
2	50,800	43,468	47,134	$4\frac{1}{2}$	5,645	3,666						
$\frac{1}{4}$ "	57,150	49,818	53,484	$4\frac{1}{2}$	5,645	3,666						
$\frac{3}{8}$ "	63,500	55,250	59,375	4	6,350	4,125						
$\frac{1}{2}$ "	69,850	61,600	65,725	4	6,350	4,125						
3	76,200	67,950	72,075	4	6,350	4,125						

¹) William Sellers, Prof. am Stevens-Institut, Leiter der Kanadischen Niagara-Kraft-Gesellschaft, geb. 1827 in Philadelphia.

Nähmaschinen-Gewinde früher Nähnorm 100.

Gewindeform wie U.S.St.-Gewinde (S. 545).

Außendurchm. in Zoll	Gänge auf 1"	Steigung mm	Bolzen		Bolzen u. Mutter Flankendurchm. mm	Mutter	
			Außendurchm. mm	Kerndurchm. mm		Außendurchm. mm	Kerndurchm. mm
$\frac{5}{64}$	64	0,397	1,984	1,468	1,726	2,013	1,554
$\frac{3}{32}$	100	0,254	2,381	2,051	2,215	2,399	2,106
$\frac{3}{32}$	56	0,4535	2,381	1,791	2,086	2,414	1,889
$\frac{1}{8}$	44	0,577	3,175	2,425	2,800	3,217	2,550
$\frac{9}{64}$	40	0,635	3,572	2,748	3,160	3,618	2,885
$\frac{11}{64}$	40	0,635	4,366	3,542	3,954	3,412	3,679
$\frac{3}{16}$	32	0,7958	4,763	4,731	4,247	4,820	4,903
$\frac{9}{16}$	28	0,907	4,763	3,591	4,177	4,828	3,786
$\frac{15}{64}$	28	0,907	5,953	4,781	5,367	6,018	4,976
$\frac{1}{4}$	40	0,635	6,350	5,526	5,938	6,396	5,663
$\frac{9}{32}$	20	1,270	7,144	5,494	6,319	7,236	5,769
$\frac{9}{32}$	28	0,907	7,144	5,972	6,558	7,209	6,167
$\frac{5}{16}$	18	1,411	7,938	6,104	7,021	8,040	6,410
$\frac{3}{8}$	28	0,907	9,525	8,353	8,939	9,590	8,548
$\frac{7}{16}$	28	0,907	11,113	9,941	10,527	11,178	10,136
$\frac{9}{16}$	20	1,270	14,288	12,638	13,463	14,380	12,913

Fahrrad-Gewinde nach DIN FAFA 4.

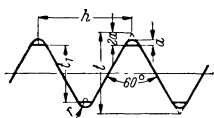
Gewindeform wie das C.E.I.-Gewinde (S. 543).

Die Gewinde mit den Außendurchmessern 2,337, 6,350, 7,938, 9,525, 14,288, 25,400, 32,766, 34,798 stimmen mit den C.E.I.-Gewinden gleichen Durchmessers überein. Abweichend ist folgendes Gewinde:

Außendurchm.	Kerndurchm.	Flankendurchm.	Gangzahl	Steigung
2,032	1,548	1,790	56	0,454

Schlauchventil-Gewinde früher DIN KrG 410.

Theoretische Werte:

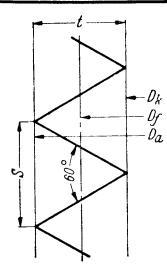


Gewindebezeichnung	$t = 0,866 \cdot h$	$t = 0,703 \cdot h$	$a = r = 0,054 \cdot h$
Vg 8	0,687	0,558	0,043
Vg 10	0,785	0,638	0,049
Vg 12	0,846	0,687	0,053

Gewindebezeichnung	Steigung h	Gangzahl auf 1 Zoll	Bolzen					
			Außendurchm.		Kerndurchm.		Flankendurchm.	
			Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß
Vg 8	0,794	32	7,747	7,620	6,630	6,503	7,232	7,105
Vg 10	0,907	28	10,338	10,211	9,063	8,936	9,749	9,622
Vg 12	0,977	26	12,243	12,091	10,869	10,717	11,608	11,456
Gewindebezeichnung	Steigung h	Gangzahl auf 1 Zoll	Mutter					
			Außendurchm.		Kerndurchm.		Flankendurchm.	
			Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß	Größtmaß	Kleinstmaß
Vg 8	0,794	32	8,062	7,935	6,945	6,818	7,460	7,333
Vg 10	0,907	28	10,665	10,538	9,388	9,261	9,977	9,850
Vg 12	0,977	26	12,601	12,449	11,227	11,075	11,862	11,710

Die Gewichte stimmen überein mit I.A.E. (Institution of Automobile Engineers), London, Data Sheet No. 100 v. Sept. 1923.

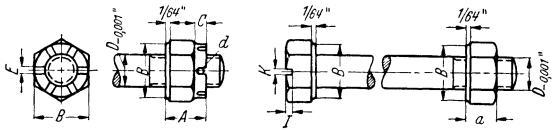
Amerikanisches scharfes „V“-Gewinde.

		Außendurchmesser . . .		D_a		
		Kerndurchmesser . . .		D_k $D_a - 2t$; $D_a - 1,73206 \cdot S$		
		Flankendurchmesser .		D_f $D_a - t$; $D_a - 0,86603 \cdot S$		
		Steigung		S		
		Gewindetiefe		t $S \cdot 0,86603$		
		Gangzahl auf 1 Zoll englisch		G		
Außendurchmesser		Gangzahl auf 1 engl. Zoll	Steigung	Gewindetiefe	Kerndurchmesser	Flankendurchmesser
engl. Zoll	mm					
$\frac{1}{4}$	6,35	20	1,27	1,10	4,15	5,25
$\frac{5}{16}$	7,94	18	1,41	1,22	5,50	6,72
$\frac{3}{8}$	9,52	16	1,59	1,37	6,78	8,15
$\frac{7}{16}$	11,11	14	1,81	1,57	7,97	9,54
$\frac{1}{2}$	12,70	12	2,12	1,83	9,04	10,87
$\frac{9}{16}$	14,29	12	2,12	1,83	10,63	12,46
$\frac{5}{8}$	15,87	11	2,31	2,00	11,87	13,87
$\frac{11}{16}$	17,46	11	2,31	2,00	13,46	15,46
$\frac{3}{4}$	19,05	10	2,54	2,20	14,65	16,85
$\frac{13}{16}$	20,64	10	2,54	2,20	16,24	18,44
$\frac{7}{8}$	22,22	9	2,82	2,44	17,34	19,78
$\frac{15}{16}$	23,81	9	2,82	2,44	18,93	21,37
1	25,40	8	3,17	2,75	19,90	22,65
$1\frac{1}{8}$	28,57	7	3,63	3,14	22,29	25,43
$1\frac{1}{4}$	31,75	7	3,63	3,14	25,47	28,61
$1\frac{3}{8}$	34,92	6	4,23	3,67	27,58	31,25
$1\frac{1}{2}$	38,10	6	4,23	3,67	30,76	34,43
$1\frac{5}{8}$	41,27	5	5,08	4,40	32,47	36,87
$1\frac{3}{4}$	44,45	5	5,08	4,40	35,65	40,50
$1\frac{7}{8}$	47,62	$4\frac{1}{2}$	5,64	4,89	37,84	42,73
2	50,80	$4\frac{1}{2}$	5,64	4,89	41,02	45,91
$2\frac{1}{8}$	53,97	$4\frac{1}{2}$	5,64	4,89	44,19	49,08
$2\frac{1}{4}$	57,15	$4\frac{1}{2}$	5,64	4,89	47,37	52,26
$2\frac{3}{8}$	60,32	$4\frac{1}{2}$	5,64	4,89	50,54	55,43
$2\frac{1}{2}$	63,50	4	6,35	5,50	52,50	58,00
$2\frac{5}{8}$	66,67	4	6,35	5,50	55,67	61,17
$2\frac{3}{4}$	69,85	4	6,35	5,50	58,85	64,35
$2\frac{7}{8}$	73,02	4	6,35	5,50	62,04	67,52
3	76,20	$3\frac{1}{2}$	7,26	6,28	63,64	69,92
$3\frac{1}{8}$	79,37	$3\frac{1}{2}$	7,26	6,28	66,81	73,09
$3\frac{1}{4}$	82,55	$3\frac{1}{2}$	7,26	6,28	69,99	76,27
$3\frac{3}{8}$	85,72	$3\frac{1}{4}$	7,82	6,77	72,18	78,95
$3\frac{1}{2}$	88,90	$3\frac{1}{4}$	7,82	6,77	75,36	82,13
$3\frac{5}{8}$	92,07	$3\frac{1}{4}$	7,82	6,77	78,53	85,30
$3\frac{3}{4}$	95,25	3	8,47	7,33	80,59	87,92
$3\frac{7}{8}$	98,42	3	8,47	7,33	83,76	91,09
4	101,60	3	8,47	7,33	86,94	94,27

Amerikanische Automobil-Schrauben.

(S.A.E.-Gewinde, aufgestellt von The Society of Automobile Engineers, U.S.A., Juni 1911.)

Profil wie
U.S.St.-Gewinde
(S. 545).



Gewindelänge = 1,5fache des Durchmessers.

Abflachung = $\frac{1}{8}$ der Gewindeganghöhe = $\frac{S}{8}$.

D = Durchmesser . . . engl. Zoll	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$
P = Gangzahl . . auf 1 engl. Zoll	28	24	24	20	20	18	18	16
A = Kronmutterhöhe . . „ „	$\frac{9}{32}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{19}{64}$
a = Mutterhöhe „ „	$\frac{7}{32}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{19}{32}$
B = Schlüsselweite „ „	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	1
C = Kronhöhe „ „	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
E = Kronschlitzbreite . „ „	$\frac{5}{64}$	$\frac{5}{64}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{32}$
H = Kopfhöhe „ „	$\frac{3}{16}$	$\frac{15}{64}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{15}{32}$	$\frac{33}{64}$
I = Schlitztiefe i. Kopf . „ „	$\frac{3}{32}$	$\frac{7}{64}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$
K = Schlitzbreite „ „	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$
d = Splintstärke „ „	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$
D = Durchmesser . . . engl. Zoll	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$	
P = Gangzahl . . auf 1 engl. Zoll	16	14	14	12	12	12	12	
A = Kronmutterhöhe . . „ „	$\frac{13}{16}$	$\frac{29}{32}$	1	$\frac{15}{32}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{113}{32}$	$1\frac{1}{2}$	
a = Mutterhöhe „ „	$\frac{21}{32}$	$\frac{49}{64}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{63}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{113}{64}$	$\frac{15}{16}$	
B = Schlüsselweite „ „	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{16}$	$1\frac{5}{8}$	$\frac{113}{16}$	2	$2\frac{2}{16}$	
C = Kronhöhe „ „	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	
E = Kronschlitzbreite . . „ „	$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	
H = Kopfhöhe „ „	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{32}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{27}{32}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{113}{32}$	$1\frac{1}{8}$	
I = Schlitztiefe i. Kopf . „ „	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	
K = Schlitzbreite „ „	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	
= Splintstärke „ „	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{13}{64}$	

Alle Köpfe und Muttern blank.

Für Schrauben und Muttern ist Stahl von mindestens 80 kg Bruchfestigkeit und einer zulässigen Beanspruchung auf Zug mit 50 kg zu verwenden.

Schaft, Kopf und Mutter bleiben weich, nur Kronmuttern werden gehärtet.

In Gußeisen, Bronze und Aluminium wird das U.S.-Gewinde verwendet.

Eisengewindeschrauben.

(Gewindeform wie Whitworth nach Karl Bauer G. m. b. H., Cronenberg.)

Nr.	Außen-Dmr.	Kern-Dmr.	Flank-Dmr.	Steigung	Gangz. auf 1"	Nr.	Außen-Dmr.	Kern-Dmr.	Flank-Dmr.	Steigung	Gangz. auf 1"
3	2,65	1,836	2,243	0,635	40	14	6,30	4,632	5,466	1,303	19,5
4	2,90	2,086	2,493	0,635	40	15	6,70	5,032	5,866	1,303	19,5
5	3,15	2,336	2,743	0,635	40	16	7,05	5,192	6,121	1,451	17,5
6	3,45	2,310	2,880	0,891	28,5	17	7,50	5,642	6,571	1,451	17,5
7	3,85	2,710	3,280	0,891	28,5	18	7,90	6,042	6,971	1,451	17,5
8	4,20	3,060	3,630	0,891	28,5	19	8,30	6,442	7,371	1,451	17,5
9	4,60	3,366	3,983	0,963	26,354	20	8,70	6,666	7,683	1,588	16
10	4,90	3,666	4,283	0,963	26,354	21	9,00	6,966	7,983	1,588	16
11	5,20	3,966	4,583	0,963	26,354	22	9,50	7,466	8,483	1,588	16
12	5,60	4,366	4,983	0,963	26,354	23	10,00	7,966	8,983	1,588	16
13	5,90	4,232	5,066	1,303	19,5						

Eisengewindeschrauben.

Die unterstrichenen Gangzahlen sind die gebräuchlichsten.

Nr. der Eisengewinde-Schraubenlehre	1	1 ¹ / ₂	2	3	4	5	6	7	8	9
Durchm. { etwa engl. Zoll	1,70	1,97	2,14	2,47	2,81	3,14	3,52	3,81	4,14	4,48
Gänge auf 1 engl. Zoll . {	<u>56</u> 60	<u>56</u>	48 <u>56</u>	40 <u>44</u>	32 <u>36</u>	32 <u>36</u>	<u>30</u> <u>32</u>	<u>30</u> <u>32</u>	<u>30</u> <u>32</u>	<u>24</u> <u>27</u>
	64 72		64	48 56	<u>40</u> <u>42</u>	<u>40</u>	36 <u>38</u>	<u>40</u>	36 <u>44</u>	<u>28</u> <u>30</u>
					48		40 48			32
Nr. der Eisengewinde-Schraubenlehre	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Durchm. { etwa engl. Zoll	4,81	5,15	5,48	5,81	6,15	6,48	6,82	7,15	7,48	7,82
Gänge auf 1 engl. Zoll . {	<u>24</u> <u>28</u>	<u>24</u> <u>28</u>	20 <u>24</u>	20 <u>22</u>	18 <u>20</u>	18 <u>20</u>	<u>16</u> <u>18</u>	<u>16</u> <u>18</u>	<u>16</u> <u>18</u>	<u>16</u> <u>18</u>
	30 <u>32</u>	<u>30</u>	32	<u>24</u> <u>32</u>	24	<u>24</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>
	36									
Nr. der Eisengewinde-Schraubenlehre	20	21	22	23	24	25	26	28	30	
Durchm. { etwa engl. Zoll	8,15	8,50	8,82	9,15	9,49	9,80	10,16	10,83	11,5	
Gänge auf 1 engl. Zoll . {	<u>16</u> <u>18</u>	<u>18</u>	<u>16</u> <u>18</u>	<u>16</u>	14 <u>16</u>	16	<u>16</u> <u>14</u>	<u>14</u> <u>16</u>	<u>14</u> <u>16</u>	
					18					

Gewinde nach der Birmingham-Drahtlehre.

Nr. der Birmingham-Drahtlehre .	17	16	15	14	13	12
Durchmesser mm	1,47	1,65	1,83	2,11	2,41	2,77
Gänge auf 1 engl. Zoll {	56 72	50 60	54 56	56 60	48 54	40 42
		64	60 64	64	56	48 50
						56
Nr. der Birmingham-Drahtlehre .	11	10	9	8	7	
Durchmesser mm	3,5	3,40	3,76	4,19	4,57	
Gänge auf 1 engl. Zoll {	38 40	38 40	38	38 40	38	
	42 50	42				
	56					

Deutsche Röhrengewinde.

Angenommen im Jahre 1903 vom Verein Deutscher Ingenieure, vom Verein deutscher Gas- und Wasserfachmänner, vom Verein deutscher Zentralheizungsindustrieller, vom Verband deutscher Röhrenwerke.

Durch DIN 259 (S. 532) ersetzt.

[Whitworth-Gewindeform.]

Lichter Rohrdurchmesser engl. Zoll	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$
" " mm	6,35	9,525	12,7	15,875	19,05
Anzahl der Gänge auf 1 engl. Zoll	19	19	14	14	14
Äuß. Rohr- u. Gewindedurchm. mm	13	16,5	20,5	23	26,5
Kerndurchmesser "	11,29	14,79	18,18	20,68	24,18
Flankenmaß "	12,145	15,645	19,34	21,84	25,34
Lichter Rohrdurchmesser engl. Zoll	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2
" " mm	25,4	31,749	38,099	44,449	50,799
Anzahl der Gänge auf 1 engl. Zoll	11	11	11	11	11
Äuß. Rohr- u. Gewindedurchm. mm	33	42	48	52	59
Kerndurchmesser "	30,04	39,04	45,04	49,04	56,04
Flankenmaß "	31,52	40,52	46,52	50,52	57,52
Lichter Rohrdurchmesser engl. Zoll	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4
" " mm	57,149	63,499	76,199	88,898	101,6
Anzahl der Gänge auf 1 engl. Zoll	11	11	11	11	11
Äuß. Rohr- u. Gewindedurchm. mm	70	76	89	101,5	114
Kerndurchmesser "	67,04	73,04	86,04	98,54	11,04
Flankenmaß "	68,52	74,52	87,52	100,02	112,52

Anmerkung: Das unabänderliche Maß des Rohres ist sein äußerer Durchmesser. Verschiedenheiten der Wandstärken werden durch Änderungen des inneren Durchmessers herbeigeführt. Die Bezeichnung nach der lichten Weite in engl. Zoll ist nur Handelsbezeichnung einer Rohrsorte. Das äußere Maß des Gewindes ist gleich dem äußeren Rohrdurchmesser.

Röhrengewinde nach Sellers.

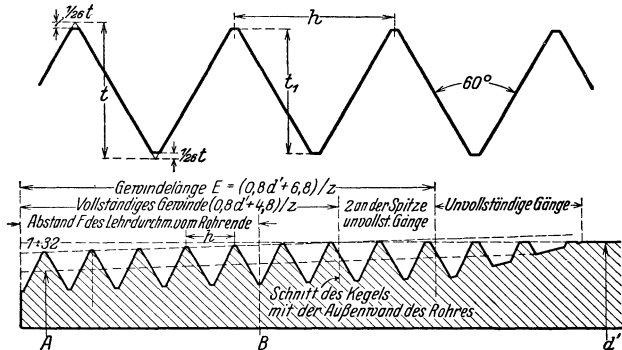
Flankenwinkel = 60°.

Diese Sellers-Tafel wird sehr häufig mit der Whitworth-Tafel verschmolzen, indem man die Außendurchmesser nach Sellers, die Gewindeform nach Whitworth ausführt.

Lichte Rohrweite . engl. Zoll	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$
" " . . . mm	3,18	6,35	9,53	12,7	15,88	19,05	22,23
Gangzahl auf 1 engl. Zoll . .	26	19	19	14	14	14	14
Außendurchmesser . . . mm	10,32	13,49	15,87	20,64	23,02	26,20	30,16
Kerndurchmesser "	9,14	11,76	14,14	18,29	20,67	23,84	27,81
Lichte Rohrweite . engl. Zoll	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{5}{8}$	$1\frac{3}{4}$
" " . . . mm	25,4	28,58	31,75	34,93	38,1	41,28	44,45
Gangzahl auf 1 engl. Zoll . .	11	11	11	11	11	11	11
Außendurchmesser . . . mm	33,34	37,27	41,27	44,45	47,62	50,80	53,97
Kerndurchmesser "	30,34	34,27	38,27	41,45	44,62	47,80	50,97
Lichte Rohrweite . engl. Zoll	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	$3\frac{1}{2}$	4
" " . . . mm	50,8	57,15	63,5	69,85	76,2	88,9	101,6
Gangzahl auf 1 engl. Zoll . .	11	11	11	11	11	11	11
Außendurchmesser . . . mm	60,32	66,67	76,20	79,37	88,90	100,01	112,71
Kerndurchmesser "	57,32	63,67	73,20	76,37	85,90	97,00	109,71

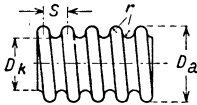
Amerikanisches Rohrgewinde. American Standard Taper Pipe (ASTP).

Das ASTP-Gewinde ist das erweiterte **Briggs-Gewinde** und wurde 1919 genormt und von einer großen Reihe technischer Gesellschaften anerkannt. Flankenwinkel 60°, Abflachung $\frac{1}{26}$ Dreieckshöhe, Kegel 1:16 (halber Kegelwinkel $1^\circ 47' 22''$), Gänge senkrecht zur Achse geschnitten.



Nenn- durch- messer	Gangzahl auf		Steig- ung <i>h</i>	Außen- durch- messer <i>d'</i>	Flanken- durch- messer <i>B</i> im Ab- stand <i>F</i>	Flanken- durch- messer <i>A</i> am Rohr- ende	Ge- winde- länge <i>E</i>	Ein- schraub- länge <i>F</i>	
	"	mm							1"	254 mm
1/8	3	27	270	0,9408	10,287	9,519	9,233	6,700	4,572
1/4	6	18	180	1,4112	13,716	12,443	12,126	10,206	5,080
3/8	10	18	180	1,4112	17,145	15,926	15,545	10,358	6,096
1/2	13	14	140	1,8144	21,336	19,772	19,264	13,556	8,128
3/4	19	14	140	1,8144	26,670	25,117	24,579	13,861	8,611
1	25	11 1/2	115	2,2088	33,401	31,461	30,826	17,343	10,160
1 1/4	32	11 1/2	115	2,2088	42,164	40,218	39,551	17,953	10,668
1 1/2	38	11 1/2	115	2,2088	48,260	46,287	45,621	18,377	10,668
2	50	11 1/2	115	2,2088	60,325	58,325	57,633	19,215	11,075
2 1/2	64	8	80	3,1751	73,025	70,159	69,076	28,892	17,323
3	76	8	80	3,1751	88,900	86,068	84,852	30,480	19,456
3 1/4	90	8	80	3,1751	101,600	98,776	97,473	31,750	20,853
4	100	8	80	3,1751	114,300	111,433	110,093	33,020	21,438
4 1/2	113	8	80	3,1751	127,000	124,103	122,714	34,290	22,225
5	125	8	80	3,1751	141,300	138,412	136,925	35,720	23,800
6	150	8	80	3,1751	168,275	165,252	163,731	38,417	24,333
7	175	8	80	3,1751	193,675	190,560	188,972	40,957	25,400
8	200	8	80	3,1751	219,075	215,901	214,214	43,497	27,000
9	225	8	80	3,1751	244,475	241,249	239,455	46,037	28,702
10	250	8	80	3,1751	273,050	269,772	267,815	48,895	30,734
11	275	8	80	3,1751	298,450	295,133	293,093	51,435	32,639
12	300	8	80	3,1751	323,851	320,493	318,334	53,975	34,544
14	350	8	80	3,1751	355,600	352,365	349,886	57,150	39,675
15	375	8	80	3,1751	381,001	377,805	375,127	59,690	42,850
16	400	8	80	3,1751	406,401	403,245	400,368	62,230	46,025
17	425	8	80	3,1751	431,801	428,626	425,609	64,770	48,260
18	450	8	80	3,1751	457,201	454,026	450,851	67,310	50,800
20	500	8	80	3,1751	508,001	504,707	501,333	72,390	53,975
22	550	8	80	3,1751	558,810	555,388	551,816	77,470	57,150
24	600	8	80	3,1751	609,601	606,069	602,299	82,550	60,325
26	650	8	80	3,1751	660,401	656,750	652,781	87,630	63,500
28	700	8	80	3,1751	711,201	707,431	703,264	92,710	66,675
30	750	8	80	3,1751	762,001	758,112	753,764	97,790	69,850

Kordelgewinde.



$r =$ Halbmesser der Abrundung;
 $S =$ Steigung;
 $r = \frac{S}{4}$.

Außendurchmesser mm	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Steigung mm	2	2,5	3	3,5	4	4	4,5	4,5	5	5	5,5
Kerndurchmesser . mm	8	9,5	11	12,5	13,5	15,5	17	19	20	22	23,5
Außendurchmesser mm	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	
Steigung mm	5,5	6	6	6,5	6,5	7	7	7,5	7,5	8	
Kerndurchmesser . mm	25,5	26,5	28,5	30	32	33	35	38,5	36,5	40	

Rohrgewinde für die Rohre der Feinmechanik.

Aufgestellt vom XVI. Deutschen Mechanikertag 1905.

Wandstärke mm	Ganghöhe mm	Gangtiefe mm	Wandstärke mm	Ganghöhe mm	Gangtiefe mm
0,50	0,4	0,300	1,00	0,7	0,525
0,75	0,5	0,375	1,25	0,8	0,600

Als Ganghöhe des auf ein Rohr zu schneidenden Gewindes ist diejenige Ganghöhe gewählt worden, welche in der Tafel über die Befestigungsschrauben (Löwenherz-Gewinde, S. 544) für denjenigen Durchmesser vorgeschrieben ist, der das Vierfache der Wandstärke des betreffenden Rohres beträgt.

Messingrohrgewinde.

Messingrohre von $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$ und $\frac{3}{4}$ engl. Zoll lichter Weite werden mit Gewinde, das 26 Umgänge auf 1 engl. Zoll besitzt, geschnitten; die Steigung beträgt demnach 0,98 mm. Der Flankenwinkel beträgt bei spitzem Gewinde $62\frac{1}{2}^\circ$ und die Gewindetiefe 0,8 mm. Meistens werden die Gewinde mit 60° Flankenwinkel geschnitten.

Dampfarmaturen und Stehbolzen erhalten gewöhnlich ein Gewinde von 10 Gängen auf 1 Zoll, wenn der Gewindedurchmesser ≥ 20 mm.

Gewinde.

Abgekürzte Bezeichnungen nach DIN 202.

A. Für eingängige Rechtsgewinde.					
Art des eingängigen Rechtsgewindes	Zeichen vor der Maßzahl	Maßangabe	Beispiel	Für Gewinde nach DIN	
Whitworth-Gewinde	—	Außengewindedurchmesser in Zoll mit zugefügtem Zollzeichen	2"	11	
Whitworth-Feingewinde	W	Außengewindedurchmesser in Millimetern mal Steigung in Zoll	W 84 × 1/8"	239 und 240	
Whitworth-Rohrgewinde	R	Nennweite des Rohres in Zoll mit zugefügtem Zollzeichen	R 4"	259	
Metrisches Gewinde	M	Außengewindedurchmesser in Millimetern	M 80	13 und 14	
Metrisches Feingewinde	M	Außengewindedurchmesser in Millimetern mal Steigung in Millimetern	M 104 × 4	241, 242, 243, 516, 517, 518, 519, 520 u. 521	
Trapezgewinde	Tr	Außengewindedurchmesser in Millimetern mal Steigung in Millimetern	Tr 48 × 8	103, 378 und 379	
Rundgewinde	Rd	Außengewindedurchmesser in Millimetern mal Steigung in Zoll	Rd 40 × 1/8"	405	
Sägewinde	S	Außengewindedurchmesser in Millimetern mal Steigung in Millimetern	S 70 × 10	513, 514 und 515	
B. Für Links- und mehrgängige Gewinde.					
Bezeichnung des Zusatzes für	Abkürzung	Zeichenort	Beispiel	Für Gewinde	Gültig für
Gas- und dampfdicht	dicht		M 20 dicht 2" dicht R 4" dicht	—	Metrisches Whitworth- und Whitworth-Rohrgewinde
Links-gewinde ¹⁾	links	hinter der Gewindebezeichnung	W 104 × 1/8" links	W	alle Gewinde unter A
			M 80 links	M	
			R 4" links	R	
			Tr 48 × 8 links	Tr	
Mehrgängiges Gewinde rechts	(*) gäng		2" (2gäng)	—	
			Tr 48 × 16 (2gäng)	Tr	
Mehrgängiges Gewinde links	(*) links gäng		2" links (2gäng)	—	
			Tr 48 × 16 links (2gäng)	Tr	

*) Die Gangzahl ist von Fall zu Fall einzusetzen.

¹⁾ Bei Teilen, die mit Rechts- und mit Linksgewinde versehen sind, z. B. Stangenschlüssern, Eisenbahn-Kupplungsspindeln, ist auch hinter die Gewindebezeichnung des Rechtsgewindes das Wort „rechts“ zu setzen.

Innensechskant-Schrauben.

Zylinderschrauben mit Innensechskant.

Nach DIN 912. Maße in mm.

Dmr.	Metrisch	M 6	M 8	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24				
	Whitworth	(1/4'')	(5/16'')	(3/8'')	1/2''	5/8''	3/4''	7/8''	1''						
Kopfdurchm.		10	11	13	16	18	19	22	24	27	30	30	33	36	38
Sechskant Eckenmaß ≈		5,8	5,8	7	9,4	11,7	11,7	14	16,3	16,3	19,8	19,8	19,8	22	22
Sechskant Schlüsselmaß		5	5	6	8	10	10	12	14	14	17	17	17	19	19
Kopfhöhe		6	6,5	8	10	12	12,5	14	16	18	19	20	22	24	25
Gewindelänge		18	18	22	25	28	30	32	36	40	42	45	48	52	55
		12	12	15	20	25	25	30	35	40	50	50	60	70	70
		15	15	20	25	30	30	35	40	50	60	60	70	80	80
		20	20	25	30	35	35	40	50	60	70	70	80	90	90
		25	25	30	35	40	40	50	60	70	80	80	90	100	100
		30	30	35	40	50	50	60	70	80	90	90	100	110	110
Bolzenlänge (ohne Kopf)				40	50	60	60	70	80	90	100	100	110	120	120

Gewindestifte, Schaftschrauben mit Innensechskant und Kegelansatz

Nach DIN 913. Maße in mm.

Dmr.	Metrisch	M 6	M 8	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20	M 22	M 24
	Whitworth	(1/4'')	(5/16'')	(3/8'')	1/2''	5/8''	3/4''	7/8''	1''		
Sechskant Eckenmaß ≈		3,5	4,7	5,8	7	7	9,4	11,7	11,7	14	14
Schlüssel- f maß } Kleinmaß		3,02	4,02	5,02	6,02	6,02	8,04	10,04	10,04	12,04	12,04
		3,05	4,05	5,05	6,05	6,05	8,1	10,1	10,1	12,1	12,1
Gewindelänge bei Schaftschrauben		18	22	25	28	32	36	40	45	48	52
		8	10	12	15	20	25	25	30	35	40
Gesamtlänge		10	12	15	20	25	30	30	35	40	45
		12	15	20	25	30	35	35	40	45	50
		15	20	25	30	35	40	40	45	50	55
		20	25	30	35	40	45	45	50	55	60
		25	30	35	40	45	50	50	55	60	70
		30	35	35	45	50	55	55	60	70	80
		35	35	40	45	55	60	60	70	80	90
		40	45	50	60	70	70	80	90	100	
				50	55	70		80	90		
					50						

Gewindestifte, Schaftschrauben mit Innensechskant und Spitze DIN 914.

Gewindestifte, Schaftschrauben mit Innensechskant und Zapfen DIN 915.

Sechskantstiftschlüssel DIN 911.

Berechnung der Schrauben.

	Beanspruchung nur auf Zug	Beanspruchung auf Zug u. Drehung
Tragfähigkeit P in kg =	$\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot k$	$\frac{3}{4} \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot k$
Notw. Kernquerschnitt $\cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \text{ cm}^2 =$ [$d_1 = \text{Kerndurchmesser}$]	$\frac{P}{k}$	$\frac{4}{3} \cdot \frac{P}{k}$
Zulässige Beanspruchung k in kg/cm ² =	{ Kohlenstoff-Stahl 500 bis 700 Legierter Stahl . 700 „ 1000	

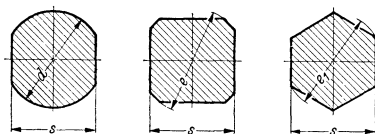
Zulässige Schraubenbelastungen in kg.

Whitworth-Gewinde					Metrisches Gewinde						
Nenn-durchmesser engl. Zoll	Kern-querschnitt cm ²	Bei Beanspruchung auf Zug kg/cm ²				Nenn-durchmesser mm	Kern-querschnitt cm ²	Bei Beanspruchung auf Zug kg/cm ²			
		500	600	700	800			500	600	700	800
1/4	0,18	90	105	125	140	5	0,12	60	70	85	95
3/8	0,44	220	265	310	355	10	0,49	245	295	345	395
1/2	0,78	390	470	550	630	12	0,72	360	430	500	575
5/8	1,31	655	785	920	1050	16	1,37	690	825	960	1100
3/4	1,96	980	1175	1370	1570	20	2,15	1075	1290	1500	1715
7/8	2,72	1360	1630	1905	2170	22	2,70	1350	1620	1890	2160
1	3,58	1790	2145	2500	2860	24	3,09	1550	1850	2160	2470
1 1/4	5,77	2890	3460	4040	4620	30	4,96	2480	2980	3470	3970
1 1/2	8,39	4190	5030	5870	6710	36	7,28	3640	4370	5100	5820
1 3/4	11,31	5660	6790	7920	9050	45	11,79	5900	7070	8250	9430
2	14,91	7460	8950	10440	11930	52	15,94	7970	9560	11160	12750
2 1/2	24,08	10040	14490	16860	19270	64	24,34	12170	14600	17040	19470
3	35,16	17580	21100	24610	28130	76	35,96	17980	21580	25170	28770
4	64,70	32350	38820	45290	51760	99	57,64	32280	38740	45190	51650

Sinnbilder für Schrauben nach DIN 407.

Gewinde-durchmesser	1/4'' M 6	5/16'' M 8	3/8'' M 10	1/2''	5/8''	3/4''	7/8''	1''	1 1/8''	1 1/4''	1 3/8''	1 1/2''	1 5/8''	1 3/4''
Sinnbilder für Schrauben mit normalem Durchgangsloch für Eisenbau mm									Kreis mit Maßangabe z. B.					
Für alle übrigen Durchgangslöcher				Kreis mit Maßangabe z. B.										
Sinnbilder für Gewindelöcher	Doppelkreis mit Maßangabe z. B.													

Schlüsselweiten nach DIN 475.



Schlüsselweite <i>s</i> mm	Zweikant <i>d</i> mm	Vierkant <i>e</i> mm	Sechskant $\approx e_1$ mm	Zugehörige Gewindedurchmesser		Schlüsselweite <i>s</i> mm	Sechskant $\approx e_1$ mm	Zugehörige Gewindedurchmesser	
				Zoll	mm			Zoll	mm
3	3,5	4	3,5	—	1	155	179	4 ¹ / ₄	109
3,5	4	4,5	4,0	—	1,2 1,4	165	191	4 ¹ / ₂	114
4	4,5	5	4,6	—	1,7	175	202	4 ³ / ₄	119
4,5	5	6	5,2	—	2	180	208	5	124
5	6	6,5	5,8	—	2,3	185	214	—	129
5,5	7	7	6,4	—	2,6	190	219	5 ¹ / ₄	134
6	7	8	6,9	—	3	200	231	5 ¹ / ₂	139
7	8	9	8,1	—	3,5	210	242	5 ³ / ₄	144 149
8	9	10	9,2	—	4	220	254	6	154
9	10	12	10,4	—	4,5 5	230	266	—	159
10	12	13	11,5	—	5,5	235	271	—	164
11	13	14	12,7	1 ¹ / ₄	6 7	245	283	—	169 174
12 ¹⁾	14	16	13,8	—	—	255	294	—	179
14	16	18	16,2	5 ¹ / ₁₆	8	265	306	—	184
17	19	22	19,6	3 ¹ / ₈	9 10	270	312	—	189
19	22	25	21,9	7 ¹ / ₁₆	11	280	323	—	194 199
22	25	28	25,4	1 ¹ / ₂	12 14	290	335	—	204
24 ¹⁾	28	32	27,7	—	—	300	346	—	209
27	32	36	31,2	5 ¹ / ₈	16	310	358	—	214 219
30 ¹⁾	35	40	34,6	—	—	320	370	—	224
32	38	42	36,9	3 ¹ / ₄	18 20	330	381	—	229
36	42	48	41,6	7 ¹ / ₈	22 24	340	393	—	234 239
41	48	52	47,3	1	27	350	404	—	244 249
46	52	60	53,1	1 ¹ / ₈	30	365	421	—	254 259
50	58	65	57,7	1 ¹ / ₄	33	380	439	—	264 269
55	65	72	63,5	1 ³ / ₈	36	395	456	—	274 279
60	70	80	69,3	1 ¹ / ₂	39	410	473	—	284 289
65	75	85	75,0	1 ⁵ / ₈	42	425	491	—	294 299
70	82	92	80,8	1 ³ / ₄	45	440	508	—	309
75	88	98	86,5	1 ⁷ / ₈	48	455	525	—	319
80	92	105	92,4	2	52	470	543	—	329
85	98	112	98	2 ¹ / ₄	56	480	554	—	339
90	105	118	104	—	60	495	572	—	349
95	110	125	110	2 ¹ / ₂	64	510	589	—	359
100	115	132	116	—	68	525	606	—	369
105	122	138	121	2 ³ / ₄	72				
110	128	145	127	3	76				
115	132	152	133	—	80				
120	140	160	139	3 ¹ / ₄	84				
130	150	170	150	3 ¹ / ₂	89				
135	158	178	156	3 ³ / ₄	94				
145	168	190	167	4	99				
150	175	200	173	—	104				

¹⁾ Die Schlüsselweiten 12, 24 und 30 gelten für Verschraubungen, Armaturen usw.

Wird für Schrauben oder Muttern zwecks leichter Bauart oder geringsten Platzbedarfs Werkstoff von hoher Festigkeit, z. B. Bronze, Stahl od. dgl., verwendet, so

können für die angegebenen Gewinde auch kleinere Schlüsselweiten gewählt werden. Vierkante für Werkzeuge nach DIN 10 (S. 558).

Durchgangslöcher für Schrauben.

Nach DIN 69. Maße in mm.

Für Gewinde- durchmesser		Durchgangsloch				Für Gewinde- durchmesser		Durchgangsloch			
Whit- worth	Me- trisch	gebohrt				Whit- worth	Me- trisch	gebohrt			
		fein 1	fein 2	mittel	grob 2			fein	mittel	grob 1	grob 2
	1	1,1	1,2	1,3		1"		26	28	30	31
	1,2	1,3	1,4	1,5			27	28	30	32	33
	1,4	1,5	1,5	1,8		1 ¹ / ₈ "		30	32	34	35
	1,7	1,8	2	2,1			30	31	33	35	36
	2	2,2	2,3	2,4		1 ¹ / ₄ "		33	35	37	38
	2,3	2,5	2,6	2,8			33	34	36	38	40
	2,6	2,8	3	3,1		1 ³ / ₈ "		36	38	40	41
	3	3,2	3,5	3,6			36	37	39	40	42
	3,5	3,7	4	4,2		1 ¹ / ₂ "		40	42	44	45
	4	4,3	4,5	4,8			39	40	42	44	45
	(4,5)	4,8	5	5,3		1 ⁵ / ₈ "	42	43	45	48	49
	5	5,3	5,5	5,8		1 ³ / ₄ "	45	46	48	50	52
	(5,5)	5,8	6	6,4		(1 ⁷ / ₈ ")	48	50	52	54	56
	6	6,4	6,6	7		2"		53	55	58	60
(¹ / ₄ ")		6,7		7,4			52	54	56	60	62
	(7)	7,4	7,8	8			56	58	62	65	68
	8	8,4	9	9,5	10,5	2 ¹ / ₄ "		60	62	64	68
(⁵ / ₁₆ ")	(9)	9,5	10	10,5	11,5		60	62	65	70	72
			mittel	←		2 ¹ / ₂ "		66	68	72	75
(³ / ₈ ")		10	11,5		12,5		64	66	70	74	76
	10	10,5	11,5		13		68	70	74	78	82
(⁷ / ₁₆ ")	11	12	13		14	2 ³ / ₄ "		72	74	78	82
	12	13	14		15		72	74	78	82	85
		13,5	15		16	3"	76	78	82	85	90
¹ / ₂ "	14	15	16	grob 1	18		80	82	86	90	95
	16	17	18	19	20	3 ¹ / ₄ "		85	88		98
⁵ / ₈ "	18	19	20	21	22		84	88	90		100
		20	22	23	24	3 ¹ / ₂ "		92	95		105
³ / ₄ "		20	22	23	24		89	93	95		105
	20	21	23	24	25	3 ³ / ₄ "			102		110
⁷ / ₈ "	22	23	25	26	27		94	103	108		115
	24	25	27	28	30	4"	99	105	108		115

fein 1: Feinmechanik und Fein-Werkzeugmaschinenbau.
 fein 2: Feinmechanik (für Preßstoffe, Porzellan usw.).
 mittel: allgemeiner Maschinenbau.
 grob 1: Rohrleitungsbau.
 grob 2: gegossene Löcher.

Vierkante für Werkzeuge

nach DIN 10.

Maße in mm.














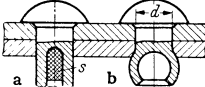
Halsdurchmesser		Vierkant		Halsdurchmesser		Vierkant	
von	bis	Nenn- maß	Länge	von	bis	Nenn- maß	Länge
2,48	2,83	2,1	5	17,34	19,33	14,5	17
2,84	3,20	2,4	5	19,34	21,33	16	19
3,21	3,60	2,7	6	21,34	24,00	18	21
3,61	4,01	3	6	24,01	26,67	20	23
4,02	4,53	3,4	6	26,68	29,33	22	25
4,54	5,08	3,8	7	29,34	32,00	24	27
5,09	5,79	4,3	7	32,01	34,67	26	29
5,80	6,53	4,9	8	34,68	38,67	29	32
6,54	7,33	5,5	8	38,68	42,67	32	35
7,34	8,27	6,2	9	42,68	46,67	35	38
8,28	9,46	7	10	46,68	52,06	39	42
9,47	10,67	8	11	52,07	58,67	44	47
10,68	12,00	9	12	58,68	65,33	49	52
12,01	13,33	10	13	65,34	73,33	55	58
13,34	14,67	11	14	73,34	81,33	61	64
14,68	16,00	12	15	81,34	90,66	68	71
16,01	17,33	13	16	90,67	101,33	76	79

Liegt der Halsdurchmesser nicht durch die Art des Werkzeuges (Gewindebohrer, Reib-
ahle usw.) fest, so ist er in die Nähe des Größtwertes der Halsdurchmesserstufe zu legen.

Mindestspiel zwischen Vierkant und Windeisenloch.

Vierkant	Unteres Grenzmaß für das Windeisenloch	Oberes Grenzmaß für den Vierkant
2,1—3	Nennmaß + 0,03	ist das Nennmaß des Vierkants
3,4—5,5	„ + 0,04	
6,2—10	„ + 0,05	
11—18	„ + 0,06	
20—29	„ + 0,07	
32—49	„ + 0,08	
55—76	„ + 0,1	

Niete (Übersicht).

Halbrundniete		Halb- versenk- niete	Senkniete	Linsen- senkniete
für Kesselbau DIN 123	für Eisenbau DIN 124	DIN 301	DIN 302	DIN 303
				
Rohnietdurchmesser d : 10 13 16 19 22 25 28 31 34 37 40 43				
Halbrundniete DIN 660	Halbrundniete mit großem Kopf DIN 663	Senkniete DIN 661	Senkniete mit großem Kopf DIN 664	
				
Rohnietdurchmesser d : 1 1,2 1,4 1,7 2 2,3 2,6 3 3,5 4 5 6 7 8 9				
Linsenniete DIN 662	Linsenniete mit großem Kopf DIN 673	Flachrundniete mit großem Kopf DIN 674		
				
Rohnietdurchmesser d : 1,6 1,8 2 2,2 2,5 2,7 3 3,3 3,6 3,9 4,2 4,5 4,9 5,3 5,8 6,2 6,5 6,9 7,2 7,6 8 8,4				
Riemenniete DIN 675	Sprengniete	Ernst Heinkel Flugzeugwerke, Seestadt Rostock Zeitschr. „Aluminium“ 1939, S. 655; Zeitschr. „Werkstatt und Betrieb“ 1940, S. 21.		
		a Sprengniet vor der Sprengung, b Sprengniet nach der Sprengung, s Sprengladung,		} Rund- oder Senkniet
Rohniet- durchmesser d	Nietdurchmesser d			
2,5 2,8 3 3,2	2,6 mm für Blechstärken		2 bis 4 mm	
3,5 3,8 4 4,2	3 mm		2 „ 6 mm	
4,5 4,8 5 5,2	4 mm		2 „ 8 mm	
5,5 6 6,2 6,5	5 mm		3 „ 8 mm	
	6 mm		4 „ 10 mm	

Sinnbilder für Niete bei Eisenkonstruktionen

(nach DIN 407).

Durchmesser des fertig geschlagenen Nietes		11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	
Sinnbilder für beiderseits Halbrundköpfe														
Sinnbilder für	Senkköpfe	oberer Kopf versenkt												
		unterer Kopf versenkt												
		beide Köpfe versenkt												
	Linsensenköpfe	oberer Kopf versenkt												
		unterer Kopf versenkt												
		beide Köpfe versenkt												
	auf Montage zu schlagende Niete													
	auf Montage zu bohrende Nietlöcher													

Für geschlagene Niete unter 29 mm Durchmesser bis 14 mm Durchmesser einschließlich kann an Stelle der Sinnbilder ebenfalls die Kennzeichnung durch einen Kreis mit Maßangabe treten.

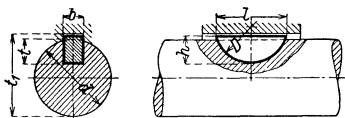
Für geschlagene Niete unter 11 mm wird zur Kennzeichnung das + Zeichen wie für den 11 mm Niet verwendet und das Maß des geschlagenen Nietdurchmessers beigefügt, z. B. für den 9,5 mm geschlagenen Niet + 9,5.

In Konstruktionszeichnungen bis zum Maßstab 1 : 5 genügt für die Sinnbilder die Größe des Schaftdurchmessers; bei kleineren Maßstäben kann der Deutlichkeit halber die Größe des Kopfdurchmessers gewählt werden.

Keile.

Scheibenfedern

nach DIN 304 u. 122.



Die Scheibenfeder wird in die halbkreisförmige, mit dem entsprechenden Fräser hergestellte Nut leicht eingetrieben; Keil und Nutenfräser sind nach Normallehren hergestellt; daher leichte Auswechselbarkeit ohne Nacharbeit. Das zeitraubende Einpassen in die Nuten fällt weg.

Bei längeren Naben können zwei oder mehrere Keile hintereinander angewendet werden.

Die Feder soll nur bis zur Hälfte ihrer Breite aus der Welle hervorragen.

Die Vorteile gegenüber dem gewöhnlichen Federkeil sind:

1. Billige, genaue Keilverbindung, die keiner Nacharbeit bedarf und von angelegerten Hilfsarbeitern leicht hergestellt werden kann.
2. Große Sicherheit, da die Scheibenfeder tiefer in die Welle hineinreicht und nicht herausgerissen werden kann; eine Schwächung der Welle konnte bei eingesetztem Keile bisher noch nie bemerkt werden. Wellenbrüche in der Keilnute sind noch nie vorgekommen.

$b \times h$	l	D	d	t	t_1	$b \times h$	l	D	d	t	t_1
1 × 1,4	3,82	4	3-4	0,9	$d+0,6$	8 × 11	27,35	28	28-38	9,5	$d+1,7$
1,5 × 1,4	3,82	4	4-5	0,9	$d+0,6$	6 × 13	31,43	32	22-28	11,4	$d+1,8$
1,5 × 2,6	6,76	7	4-5	2,1	$d+0,6$	7 × 13	31,43	32	—	—	—
2 × 2,6	6,76	7	5-7	1,8	$d+0,9$	8 × 13	31,43	32	28-38	11,5	$d+1,7$
2 × 3,7	9,66	10	5-7	2,9	$d+0,9$	7 × 15	37,15	38	—	—	—
2,5 × 3,7	9,66	10	7-9	2,9	$d+0,9$	8 × 15	37,15	38	28-38	13,5	$d+1,7$
3 × 3,7	9,66	10	9-13	2,5	$d+1,3$	9 × 15	37,15	38	—	—	—
2 × 5	12,65	13	5-7	4,2	$d+0,9$	7 × 16	43,08	45	—	—	—
3 × 5	12,65	13	9-13	3,8	$d+1,3$	8 × 16	43,08	45	28-38	14,5	$d+1,7$
4 × 5	12,65	13	13-17	3,8	$d+1,4$	9 × 16	43,08	45	—	—	—
3 × 6,5	15,72	16	9-13	5,3	$d+1,3$	10 × 16	43,08	45	38-48	14	$d+2,2$
4 × 6,5	15,72	16	13-17	5,3	$d+1,4$	8 × 17	50,83	55	28-38	15,5	$d+1,7$
5 × 6,5	15,72	16	17-22	4,9	$d+1,8$	9 × 17	50,83	55	—	—	—
3 × 7,5	18,57	19	9-13	6,3	$d+1,3$	10 × 17	50,83	55	38-48	15	$d+2,2$
4 × 7,5	18,57	19	13-17	6,3	$d+1,4$	11 × 17	50,83	55	—	—	—
5 × 7,5	18,57	19	17-22	5,9	$d+1,8$	9 × 19	59,13	65	—	—	—
4 × 9	21,63	22	13-17	7,8	$d+1,4$	10 × 19	59,13	65	38-48	17	$d+2,2$
5 × 9	21,63	22	17-22	7,4	$d+1,8$	11 × 19	59,13	65	—	—	—
6 × 9	21,63	22	22-28	7,4	$d+1,8$	12 × 19	59,13	65	48-58	16,5	$d+2,7$
5 × 10	24,49	25	17-22	8,4	$d+1,8$	9 × 24	73,32	80	—	—	—
6 × 10	24,49	25	22-28	8,4	$d+1,8$	10 × 24	73,32	80	38-48	22	$d+2,2$
7 × 10	24,49	25	—	—	—	11 × 24	73,32	80	—	—	—
6 × 11	27,35	28	22-28	9,4	$d+1,8$	12 × 24	73,32	80	48-58	21,5	$d+2,7$
7 × 11	27,35	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Keilquerschnitte

nach den Festlegungen des Deutschen Normenausschusses.

Treib- u. Einlegekeile (DIN 490), Nasenkeile (DIN 493)			Hohlkeile (DIN 492) Nasenhohlkeile (DIN 495)		Flachkeile (DIN 491) Nasenflachkeile (DIN 494)		Für Wellen- durch- messer		Paßfedern und Gleitfedern für Werkzeug- maschinen und Werkzeuge, DIN 496, An- wendung DIN 138 und 144. Keilstahl zul. Abweichung: fein (bis 36 × 23) DIN 497, grob DIN 498					
									Quer- schnitt mm	Keilstahl-Abmaße (fein)		für Wellen- durch- messer		
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
								2 × 2*						8
								3 × 3	0	-0,18	+0,10	+0,05		10 ... 13
4 × 4					10 — 12			4 × 4						über 13 ... 17
5 × 5					uber 12 — 17			5 × 5						„ 17 ... 22
6 × 6					„ 17 — 22			6 × 6*	0	-0,025	+0,15	+0,08		22
								6 × 6						über 22 ... 28
8 × 7	8 × 3	8 × 4			„ 22 — 30			7 × 7*						27
10 × 8	10 × 3,5	10 × 5			„ 30 — 38			8 × 7	0	-0,030	+0,20	+0,10		über 28 ... 38
12 × 8	12 × 3,5	12 × 5			„ 38 — 44			10 × 8						„ 38 ... 48
14 × 9	14 × 4	14 × 5			„ 44 — 50			12 × 8						„ 48 ... 58
16 × 10	16 × 5	16 × 6			„ 50 — 58			14 × 9						„ 58 ... 68
18 × 11	18 × 5	18 × 7			„ 58 — 68			16 × 10	0	-0,035	+0,20	+0,10		„ 68 ... 78
20 × 12	20 × 6	20 × 8			„ 68 — 78			18 × 11						„ 78 ... 88
24 × 14	24 × 7	24 × 9			„ 78 — 92			20 × 12						„ 88 ... 98
28 × 16	28 × 8	28 × 10			„ 92 — 110			24 × 14	0	-0,045	+0,25	+0,10		„ 98 ... 120
32 × 18	32 × 9	32 × 11			„ 110 — 130			28 × 17						„ 120 ... 150
36 × 20	36 × 10	36 × 13			„ 130 — 150			32 × 20						„ 150 ... 180
40 × 22		40 × 14			„ 150 — 170			36 × 23	0	-0,050	+0,30	+0,15		„ 180 ... 240
45 × 25		45 × 16			„ 170 — 200			40 × 26			+0,35			„ 240 ... 300
50 × 28		50 × 18			„ 200 — 230			45 × 28	+0,35	+0,15	+0,30	+0,15		„ 300 ... 360
55 × 30					„ 230 — 260			50 × 32			+0,35			„ 360 ... 420
60 × 32					„ 260 — 290			60 × 38	+0,40	+0,20	+0,35	+0,15		„ 420 ... 500
70 × 36					„ 290 — 330									
80 × 40					„ 330 — 380									
90 × 45					„ 380 — 440									
100 × 50					„ 440 — 500									
* Nur für Werkzeuge														

Die Keile (DIN 490 bis 495) erhalten einen Anzug 1 : 100; die angegebenen Maße gelten für den Querschnitt des eingepaßten Keiles beim Eintritt in die Nabe. Für das Einpassen erhalten die Keile bei der Herstellung eine Zugabe auf dem Rücken. Bei den Hohlkeilen ist die Höhe vom Scheitelpunkt der Welle ab gemessen.

Riemen und Rientriebe.

A. Arten und Fertigung der Riemen.

I. Lederriemen im allgemeinen.

Zu verwenden ist Rindleder von jungen Tieren, insbesondere von Ochsen, nicht etwa Stier- und Büffelleder. Außen ist die Narben- oder Haarseite, innen die Innen- oder Fleischseite. Die Lederschicht besteht aus verfilzten an der Haarseite etwas enger liegenden Faserbüscheln, die durch eine eiweißartige Kittmasse verbunden sind. Nach einer Vorbehandlung zum Entfernen von Haaren, Hornschicht, Leimfleisch usw. wird das Leder zur Haltbarmachung gegerbt, wodurch die Kittmasse entfernt wird.

Die einfachste Gerbung: durch Einhängen der Haut in eine Glycerin-Wasserlösung und Trocknen in gespanntem Zustand erhält man die etwas durchscheinende sogenannte Rohhaut, die zu Nähriemen verwendet wird.

Am verbreitetsten ist die Grubengerbung, die aber sehr lange dauert. Daneben bestehen noch die Faßgerbung, die kürzere Zeit erfordert, und als kürzestes Verfahren die hydrodynamische Gerbung. Als Gerbstoffe (Lohe) dienen dabei verschiedene Rinden- und Holzarten, die dem Leder eine hellbraune Farbe verleihen.

Die Chromgerbung liefert ein elastisches, hochwertiges Leder von blaugrüner Farbe.

Auf das Gerben folgt die Fertigbehandlung, bei der der sogenannte Croupon gewaschen, gestreckt, gepreßt und geschmiert wird. Die Narbenseite wird mit hellem Tran und Leinöl, bei Chromleder mit Vaselineöl angestrichen. Die Fleischseite wird bei besseren Sorten kalt geschmiert und darf dann nicht mehr als 7 vH Fett enthalten. Warm gefettetes, im Faß geschmiertes Leder darf bis 17 vH Fett enthalten, eingebranntes 15 bis 25 vH. Letzteres ist dunkel und wird in der Regel gebleicht. Höherer Fettgehalt ist für Treibriemenleder nicht zulässig. Zum Schluß werden die Kernstücke gebügelt, angefeuchtet und auf der Streckmaschine gestreckt, um die in den einzelnen Bahnen verschiedenen Dehnungseigenschaften auszugleichen.

Das beste Leder ist das Kernleder aus dem Rückenstück beiderseits der Rückenlinie. Die Flankenteile sind dicker, aber weniger fest und geben Riemen, die zum Krümmen neigen. Die Dicke schwankt zwischen 4 und 6 mm, bei Ochsenhäuten manchmal mehr. Hydrodynamisch gegerbtes Leder ist dünner. Das spez. Gewicht ist 0,8 bis 1,05. Lohgares Leder wird über 50° brüchig, während Chromleder bis 90° erwärmt werden darf.

Die Vorschriften für Lieferung und Bezeichnung von pflanzlich gegerbtem Treibriemenleder und daraus hergestellten Ledertreibriemen sind in RAL 066 A2 niedergelegt. Darin ist auch ein Musterfragebogen für die Bestellung eines Treibriemens enthalten.

Einfache Riemen können bis zu 500 und 600 mm, ausnahmsweise bis 1000 mm breit hergestellt werden. Bei Breiten über 600 mm werden besser Doppelriemen verwendet. Diese bestehen aus zwei mit den Fleischseiten aufeinander geleimten Lagen. Sie können beliebige Breiten erhalten; ausgeführt sind sie bis 1800 mm. Die üblichen Breiten nach DIN 111. Sodann gibt es noch Dreifach- und Vierfachriemen bis zu einer Dicke von 20 mm. Zum Zusammensetzen werden die Enden der Bahnen zugeschrärf

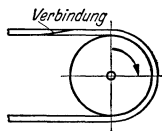


Abb. R 1. Richtige Richtung der Riemenstöße.

und aufeinandergeleimt oder gekittet, für feuchte Betriebe mit wasserfestem Kitt. Letztere werden außerdem imprägniert. Die Richtung der Stöße ist nach Abb. R 1 zu nehmen. Die Riemen können auch mit Pechdraht, Stahl- oder Kupferdraht oder Nähriemen genäht werden. Am gebräuchlichsten ist das Nähen mit Nähriemen, die auf der Laufseite in der Laufrichtung liegen müssen und nicht über die Riemenoberfläche hinausragen dürfen. Die fertigen Riemen werden auf einer Streck- und Einlaufmaschine behandelt.

Die Riemen sollen im Betrieb keinesfalls mit Kolophonium oder klebenden Haftmitteln behandelt werden, da der Schlupf auf der Scheibe für den Lauf wichtig ist. Sie sind sauber zu halten und nur mit Fett oder gutem Riemenwachs zu bestreichen.

II. Sonder-Lederrriemen.

Gliederriemen werden aus kurzen, hochkant gestellten Laschen zusammengesetzt und sind geeignet für kleine Scheiben, hohe Kräfte und kurze Achsabstände bei Geschwindigkeiten unter 10 m/s. Sie werden in Deutschland selten verwendet.

Rundriemen (für Nähmaschinen usw.) werden in Streifen geschnitten und zur Rundung durch eine Lochpfeife gezogen. Dickere Rundriemen werden meist aus Chromlederstreifen gerollt. Die Verbindung der Enden geschieht durch Klammern oder Pesenschlößchen.

Keilriemen aus Leder sind aus mehreren Lagen Chromleder zusammengesetzt und vernietet oder genäht. Heute werden meist Gummi-Keilriemen verwendet.

Bei Hochkantriemen werden einzelne Lederstreifen aus lohgarem oder Chromleder bis zu 20 mm Breite zu mehreren hochkant gestellt und verleimt und diese Bündel zu Riemen miteinander vernietet. Sie können bis 3 m Breite ausgeführt werden.

Tafel 1 über Hochkantriemen.

Riemendicke mm	Zulässige Belastung für 1 cm Riemenbreite kg	Kleinster zulässiger Scheibendurchmesser	
		lohgar mm	chromgar mm
12	14	300	200
15	16	600	400
18	20	800	600
20	22	1000	800

Die Festigkeit des Leders schwankt je nach der Lage des Stückes in der Haut und der Vorbehandlung in den Grenzen von 148 bis 460 kg/cm², die Dehnungsziffer $\alpha = 1/E$ von 1/700 bis 1/3500. Auch die Biegesteifigkeit ändert sich entsprechend α , was bei der Auswahl des Riemens zu beachten ist. Die Streckgrenze schwankt in weiten Grenzen von etwa 65 bis 85 kg/cm², bei Faßgerbung bis zu 210, bei hydrodynamischer Gerbung bis 245 kg/cm².

III. Geweberriemen (s. Betriebsblatt AWF 21).

Zu den Geweberriemen (Textilriemen) im engeren Sinne gehören gewebte Haarriemen, gewebte Baumwollriemen, Baumwolltuchriemen, geflochtene Baumwoll- und Hanfriemen, Seidenriemen aus Wild- oder Kunstseide, ge-

webte Hanfriemen und Hanfgurte. Im weiteren Sinne gehören noch Balata- und Gummiriemen dazu.

Bei Haarriemen besteht die Kette aus Kamelhaar oder Ziegenhaar und der Schuß aus Baumwolle; Festigkeit an der Streckgrenze 130 bis 180 kg/cm², zulässige Spannung 22 bis 50 kg/cm², meist nicht über 25 kg/cm². Sie haben geringe Empfindlichkeit gegen äußere Einflüsse wie Staub, Säuren, Dämpfe, Hitze usw. Bei Baumwollriemen bestehen Kette und Schuß aus Baumwolle; Festigkeit an der Streckgrenze bis 180 kg/cm². Im übrigen haben sie ähnliche Eigenschaften wie die Haarriemen. Seidenriemen haben eine Kette aus Wild- oder Kunstseide und einen Schuß aus Baumwolle; hohe Festigkeit. Zulässige Spannung 60 bis 100 kg/cm². Sie sind besonders geeignet für kleine Scheibendurchmesser und hohe Geschwindigkeit. Alle Geweberiemen können endlos hergestellt werden.

Balatariemen sind Baumwolltuchriemen, die mit Balata getränkt werden, das dabei auch als Klebmittel für die einzelnen Lagen und als Deckschicht dient. Zulässige Spannung 35 bis 70 kg/cm². Balata ist wärmeempfindlich. Auch Gummiriemen können ähnlich hergestellt werden. Gewöhnlich bestehen sie aus einer Textileinlage, die von der Gummischicht wie von einer Appretur durchzogen wird, auf die dann noch eine Deckschicht aufvulkanisiert werden kann. Gummi wird bei 0° hart und über 60° weich, ist gegen Wasser, Säure und Dämpfe unempfindlich, wird aber von Öl angegriffen. Zulässige Spannung 30 bis 60 kg/cm².

Schließlich können für kleine und kleinste Kräfte noch gedrehte Balatariemen, Guttaperchaschnüre und Darmsaiten verwendet werden. Bei letzteren macht die Schlußverbindung Schwierigkeiten; meist werden sie gespleißt.

Auch Geweberiemen dürfen nicht mit klebrigen Haftmitteln behandelt werden, sondern sind nur sauber zu halten und gegebenenfalls nachzutränken.

Besteht die Gefahr von Staub- oder Gaszündungen, so sind die Riemen durch Tränken mit Glyzerin oder Anbringen von Metallbürsten gegen Funkenbildung zu schützen.

Eine Besonderheit sind der Wemax-Trieb von A. Schütz und der Siegling-Adhäsionsbelag-Riemen der Fa. E. Siegling, bei denen auf der Laufseite eines Gewebe- bzw. Balatariemens ein Adhäsionsbelag, bei Siegling z. B. aus Chromleder, in Streifen aufgenietet ist und mit seiner höheren Reibung bei geringerer Vorspannung eine bessere Ausnutzung der Riemenfestigkeit gestattet.

IV. Keilriemen

haben trapezförmigen Querschnitt mit einem Keilwinkel von 25 bis 40°, am günstigsten von 34°. Sie werden meistens endlos auf den Markt gebracht.

Gummikeilriemen¹⁾ bestehen aus einer sogenannten Leistungslage aus einigen Lagen längsgestreckter Kordfäden in der Nähe der neutralen Faser. Der untere Teil, der beim Krümmen gestaucht und beim Strecken gedehnt wird, ist aus Gummi. Das Ganze wird von einer äußeren Schutzhülle aus Kordgewebe mit diagonal liegenden Fäden umgeben, Abb. R 2 und R 3. Die Herstellung geschieht auf Trommeln, deren Durchmesser der Riemenlänge entspricht. Sie haben eine große Biegewilligkeit um kleinste Scheiben, als

¹⁾ Werkst. u. Betr. 1938 Heft 17/18 u. 21/22.

deren kleinster Laufdurchmesser etwa die zehnfache Riemenhöhe üblich ist. Sie bleiben aber nicht winkeltreu, da der Keilwinkel beim Strecken größer und beim Biegen kleiner wird. Deshalb muß der Winkel der Rillen in den Scheiben bei kleineren Durchmessern bis zu etwa 2° vermindert werden. Bei einem neueren Herstellungsverfahren wird die Winkelveränderung vermieden.

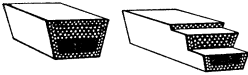


Abb. R 2.

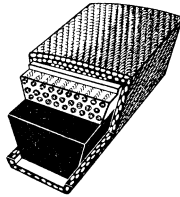


Abb. R 3.

Abb. R 2 und R 3. Querschnitte von Gummi-Keilriemen.

Abmessungen nach DIN 2215 (das Blatt wird neu bearbeitet) bewegen sich für das Verhältnis von oberer Breite zur Höhe in den Grenzen von $6,5 \times 3,5$ bis 38×25 mm. Der Keilwinkel beträgt 38° . Beim Roderwald-Zahnkeilriemen, Abb. R 4, ist der innen laufende Teil ausgefräst, um die Krümmung zu ermöglichen.

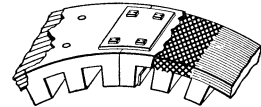


Abb. R 4. Roderwald-Zahnkeilriemen.

V. Schlußverbindung

geschieht bei Lederriemen am besten durch Leimen oder Kitten, wodurch der Riemen



Abb. R 5. Verkitten von Balata- und Gummiriemen.

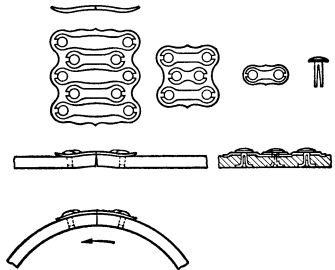


Abb. R 6.

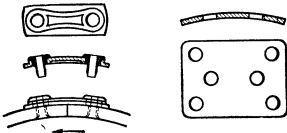


Abb. R 7.

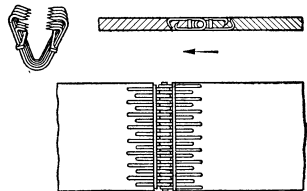


Abb. R 8.

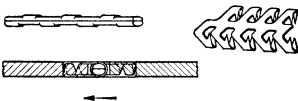


Abb. R 9.

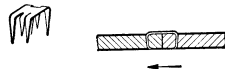


Abb. R 10.

Abb. R 6 bis R 10. Riemenverbinder.

endlos wird, Abb. R 1. Balata- und Gummiriemen werden dadurch endlos gemacht, daß die Enden lagenweise schräg abgeschnitten und bei ersteren erwärmt und aufeinander gepreßt, bei letzteren aufeinander vulkanisiert werden, Abb. R 5. Eine weitere Verbindungsmöglichkeit ist das bereits erwähnte Nähen. Außerdem sind eine Reihe Verbinder auf dem Markt, die teils lösbar als Schlösser, teils nicht lösbar als Verbinder sind, Abb. R 6 bis R 10. Die zulässige Nutzsprungung sinkt bei ihrer Verwendung im Mittel auf 80 bis 90 vH der normalen Nutzsprungung. Keilriemen werden fast durchweg endlos ausgeführt; nur beim Roderwald-Riemen, Abb. R 4, läßt sich das Schloß günstig anbringen.

B. Spannungs- und Kraftverhältnisse im Riementrieb.

I. Riemenbeanspruchung und Leistung.

Entsprechend der Erzeugung der Vorsprungung unterscheidet man:

1. Den Eigengewichtstrieb, bei dem die Vorsprungung durch das Eigengewicht des Riemens erzeugt wird (große Triebe).

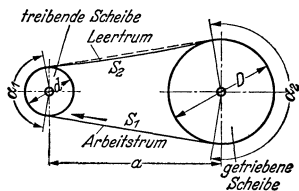


Abb. R 11.

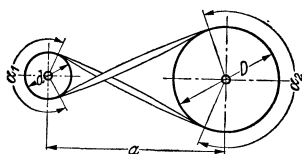


Abb. R 13.

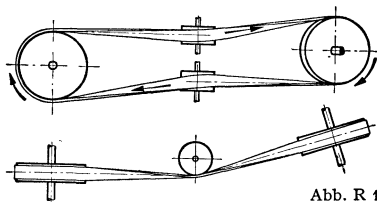


Abb. R 14.

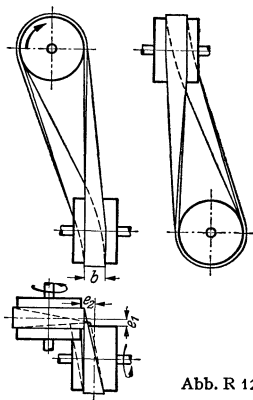


Abb. R 12.

Abb. R 11 bis R 14.
Offener, halbgeschränkter,
gekreuzter Winkel- oder
Leitrollen-Trieb.

2. Den Dehnungstrieb, bei dem die Vorsprungung durch Wahl einer entsprechend kleineren Riemenlänge, durch Verstellen einer Welle oder auch durch selbsttätiges Spannen der einen Welle (Wippe) erzeugt wird (kleinere Triebe).

3. Den Spannrollentrieb mit selbsttätiger Spannrolle.

Andererseits ergibt sich nach der allgemeinen Anordnung folgende Einteilung:

1. Offener Trieb, Abb. R 11.

2. Halbgeschränkter Trieb, Abb. R 12.

3. Gekreuzter Trieb, Abb. R 13.

4. Winkeltrieb oder Leitrollenrieb, Abb. R 14.

Die Umfangskraft wird von der treibenden auf die getriebene Scheibe durch das Arbeitstrum übertragen. Der leer zurücklaufende Bandteil heißt Leertrum. Das Arbeitstrum soll möglichst unten und das Leertrum oben liegen, Abb. R 11, um durch den Durchhang des Leertrums den umschlungenen Winkel auf den Scheiben zu vergrößern. Die auf den Scheiben aufliegenden Bandteile umschlingen diese auf dem Umschließungswinkel α .

Der Riemen wird beim Auflaufen auf die Scheibe gekrümmt und beim Abflauen wieder gestreckt. Er wird also schwellend auf Biegung beansprucht. Die daraus entstehende Spannung läßt sich wegen des uneinheitlichen Gefüges des Riemens nicht genau berechnen. Sie ist ungefähr

$$\sigma_b = E \cdot \frac{s}{D} \text{ kg/cm}^2,$$

wobei E = Elastizitätsmodul in kg/cm^2 ,

s = Riemendicke in mm,

D = Scheibendurchmesser in mm,

und zwar handelt es sich um eine Dauerbeanspruchung. Die Zahl der Biegungswechsel kann z. B. bei einer Holzhobelmaschine 40000 Wechsel je Stunde, bei einem Walzwerksantrieb dagegen nur 5700 Wechsel je Stunde betragen. Im ersteren Fall wird man einen biegsameren Riemen wählen müssen.

Beim Lauf um die Scheiben und im durchhängenden Trum des Eigengewichtstriebes erzeugt die Fliehkraft eine Fliehspannung σ_f , die folgendermaßen berechnet wird.

v = Umfangsgeschwindigkeit m/s,

n = Drehzahl U/min,

γ = spez. Gewicht des Riemens (im Mittel $\gamma = 1,0$),

g = Erdbeschleunigung ($g \approx 10$),

$v = \frac{\pi D n}{60}$ m/s (s. Linientafel Abb. R 15) ¹⁾.

$$\sigma_f = \frac{\gamma}{10g} \cdot v^2 = \frac{1,0}{10 \cdot 10} \cdot v^2 = \frac{v^2}{100} \text{ kg/cm}^2.$$

Ist f der Riemenquerschnitt in cm^2 , so ist die gesamte Fliehkraft im Riemen

$$S_f = f \cdot \sigma_f \text{ kg.}$$

Ist S die volle Riemenkraft, so ist die nutzbare Riemenkraft

$$S' = S - S_f.$$

Es seien, Abb. R 11,

S_1 und S'_1 die Kräfte im Arbeitstrum,

S_2 „ S'_2 „ „ „ Leertrum.

Dann ist nach Eytelwein

$$\frac{S'_1}{S'_2} = e^{\mu \alpha} = m \quad (\text{Linientafel für } e^{\mu \alpha} \text{ s. Abb. R 16}).$$

Der Unterschied beider Kräfte ist die übertragene Umfangskraft (Nutzkraft)

$$S'_1 - S'_2 = S_n \text{ kg.}$$

¹⁾ Die Drehzahlen und Scheibendurchmesser sind nach DIN 109, 111 und 112 genormt

Die zugehörige Nutzspannung ist

$$\sigma_n = \frac{S_n}{f} \text{ kg/cm}^2.$$

Die Summe der Kräfte ist der Achsdruck

$$S'_1 + S'_2 = S_a \text{ kg}.$$

Das Verhältnis der Nutzkraft S_n zum Achsdruck S_a ist der Durchzugsgrad φ

$$\varphi = \frac{S_n}{S_a},$$

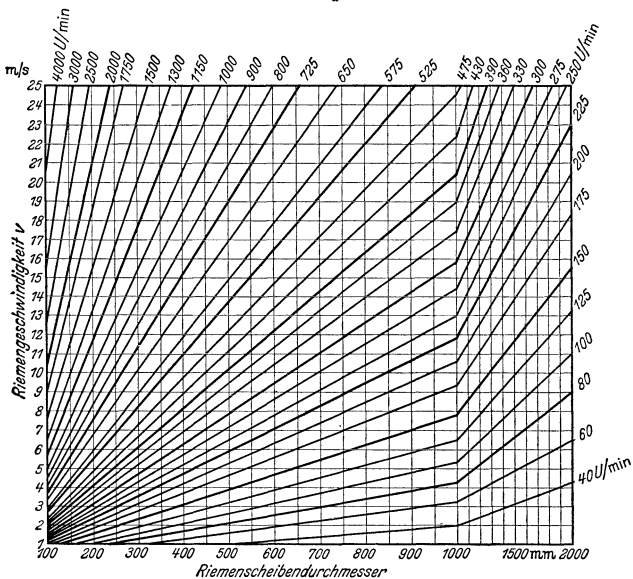


Abb. R 15. Linientafel für $v = \pi \cdot D \cdot n/60$.

der ein kennzeichnender Wert für die Belastungsfähigkeit des Riementriebs ist. Bei Anwendung der Eytelweinschen Formel ist

$$\varphi = \frac{m - 1}{m + 1}$$

und nähert sich asymptotisch dem Wert 1. Bei guten Anlagen wird $\varphi = 0,5$ bis $0,7$ erreicht, sonst rechnet man mit $\varphi = 0,33$ bzw. mit $S_a = 3 S_n$.

Die zulässige Nutzspannung k_n in kg/cm^2 Riemenquerschnitt ist abhängig von der zulässigen Höchstspannung, der Biegungsspannung und damit vom Riemenwerkstoff und dem Verhältnis der Riemendicke zum Scheibendurchmesser, dem Umschlingungswinkel α auf der kleinen Scheibe, der Reibungsziffer μ und der Riemengeschwindigkeit v . Außerdem ist zu berücksichtigen, ob es sich um einen offenen, halbgekreuzten, gekreuzten

oder Leitrollentrieb, Abb. R 11 bis R 14, handelt. Entsprechend der Beziehung

$$N = \frac{P \cdot v}{75} \text{ PS} \quad \text{bzw.} \quad N_n = \frac{k_n \cdot v}{75} \text{ PS/cm}^2$$

läßt sich auch die zulässige Nutzleistung in PS/cm² Riemenquerschnitt angeben.

Die größten zulässigen Nutzspannungen sind bei $v = 25$ bis 30 m/s und die größten zulässigen Nutzleistungen bei $v = 35$ bis 40 m/s erreichbar.

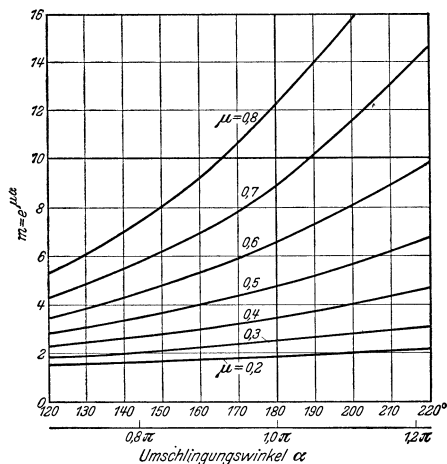


Abb. R 16. Linientafel für $e^{\mu \alpha}$.

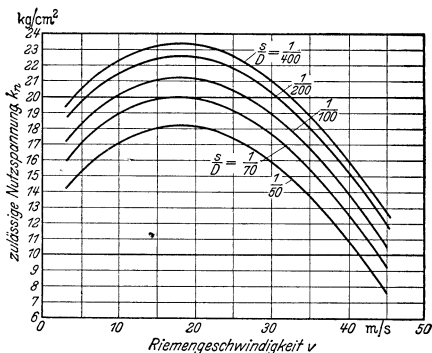


Abb. R 17. Zulässige Nutzspannung $\alpha = 180^\circ$.

Die Nutzspannungen bzw. Nutzleistungen können nach den Kurven auf Abb. R 17 und R 18 gewählt werden, die für den waagerechten offenen Trieb mit einem Umschlingungswinkel von 180° und für beste Riemenorte (Kernleder-

Sonderriemen, kaltgeschmiert) aufgestellt sind. Für je 10° weniger als 180° ist der gefundene Wert um 3 vH zu vermindern, für die Riemenarten von geringerer Güte sind 8 bis 32 vH für schräge und senkrechte Anordnung 10 bis 20 vH abzuziehen. In ähnlicher Weise sind halbgeschränkte und gekreuzte Triebe zu berücksichtigen.

Die Trumspannungen sind

$$\sigma'_1 = \frac{S'_1}{f} \text{ kg/cm}^2$$

im Arbeitstrum,

$$\sigma'_2 = \frac{S'_2}{f} \text{ kg/cm}^2$$

im Leertrum,

die größte Spannung σ_{\max} tritt an der Stelle auf, an der das Arbeitstrum die kleine Scheibe trifft. Sie ist $\sigma_{\max} = \sigma_b + \sigma_f + \sigma'_1 \text{ kg/cm}^2$.

Sie kann je nach dem Riemenwerkstoff in den

Grenzen von 33 und 60 kg/cm^2 liegen. In AWF 150 ist sie einheitlich $= 33 \text{ kg/cm}^2$ festgesetzt worden, was die Annahme erfordert, daß der Elastizitätsmodul durchweg $E = 300 \text{ kg/cm}^2$ beträgt.

Damit der Riemen im Betrieb richtig durchzieht, muß er mit einer entsprechenden Vorspannung aufgelegt werden. Nur dann gilt die Berechnung. Dabei ist zu beachten, daß schräg oder senkrecht angeordnete Triebe eine höhere Vorspannung erfordern. Im übrigen ist die Art der Erzeugung der Vorspannung zu berücksichtigen.

Beim Eigengewichtstrieb und beim Trieb mit federnder Spannrolle ist sie gleich der mittleren Spannung

$$\sigma_v = \sigma_m = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2}{2}$$

$$= \frac{\sigma_n}{2} \cdot \frac{m+1}{m-1} \text{ kg/cm}^2.$$

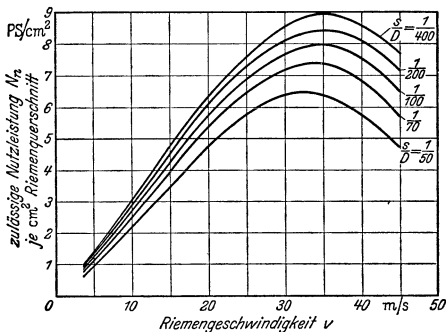


Abb. R 18. Zulässige Nutzleistung $\alpha = 180^\circ$.

Beim Spannwellentrieb mit fester Spannrolle gilt, da die Vorspannung durch die Fliehspannung vermindert wird:

$$\sigma_v = \sigma_m + \sigma_f = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \text{ kg/cm}^2.$$

Beim Spannrollentrieb ergibt sich die Vorspannung zwangsläufig aus der Spannrolleneinstellung. Schräge und senkrechte Anordnung erfordert eine Erhöhung der Vorspannung um 10 bis 20 vH.

II. Schlupf.

Der Riemen hat im Arbeitstrum eine hohe Spannung und eine entsprechend große Dehnung, im Leertrum dagegen bei wesentlich geringerer Spannung eine kleine Dehnung. Beim Übergang über die getriebene Scheibe dehnt er sich also und beim Übergang über die treibende Scheibe zieht er sich zusammen. Durch diesen Vorgang kommt auf den Scheiben ein Schlupf, der sogenannte Dehnungsschlupf, zustande. Um diesen möglichst zu machen, müssen die Scheiben möglichst glatt sein, sonst leidet der Riemen. Bei Überlastung beginnt der Riemen im ganzen auf der Scheibe zu gleiten, um schließlich abzufallen; dieser Schlupf heißt Gleitschlupf. Mit Rücksicht auf die Lebensdauer des Riemens soll der Schlupf nicht über 2 vH betragen. Eine Erhöhung des Achsdrucks bewirkt eine Verminderung des Schlupfs. Nach AWF wird er im Mittel zu 1,2 vH der Riemengeschwindigkeit angenommen.

III. Die Reibungsziffer

ist im wesentlichen vom Schlupf abhängig und wird damit zu einer Funktion der Riemengeschwindigkeit. Sie ist nach AWF 150 für Lederriemen auf Eisenscheiben

$$\mu = 0,22 + 0,012 v.$$

Diese Formel liefert erfahrungsgemäß einen guten Wert.

Der sogenannte „Schütz-Kraftring“¹⁾ ist eine Bewehrung der kleineren Scheibe, bei Übersetzungen nahe 1 : 1 beider Scheiben, mit Lederringen, wodurch die Reibungsziffer und damit die übertragene Leistung erhöht ist.

IV. Der Wirkungsgrad

des Riemen allein ist von den Schlupfverlusten, Kraftverlusten und Luftreibungverlusten abhängig. Die Schlupfverluste betragen bis 2 vH. Die Kraftverluste entstehen durch die Biegearbeit und bleiben im allgemeinen unter 1/3 vH. Die Luftreibungsverluste spielen erst bei $v > 30$ m/s eine Rolle. Der Riemenwirkungsgrad beträgt demnach meist mehr als 98 vH.

Beim gesamten Trieb sind die Luftreibungsverluste der Riemenscheiben und die Lagerreibungsverluste zu beachten. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt demnach 96 bis 98 vH.

V. Die Übersetzung

soll möglichst nicht über 5 bzw. 1 : 5 betragen. Darüber hinaus ist der Einbau einer Spannrolle erforderlich. Bei Kraftringen sind ohne Spannrolle größere Übersetzungen möglich.

VI. Der Achsabstand

ist beim offenen Trieb mindestens $a = 2D$ bis $4D$; bei $a \geq 20$ m ist eine Spannrolle nötig. Beim halbgeschränkten Trieb ist die Riemenbreite maßgebend. $a_{\min} \geq 20b$ nach Gehrken's bzw. $a_{\min} = 10\sqrt{b \cdot D}$ nach Völkers. Beim gekreuzten Trieb ist $a_{\min} = 20b$.

Beim halbgeschränkten Trieb, Abb. R 12, ist außerdem die Stellung der Scheiben zueinander zu beachten. Die Scheiben müssen genau zylindrisch sein und die treibende Scheibe ist um etwa $e_1 = 0,1$ bis $0,2b$, die getriebene um $e_2 = 0,5$ bis $0,6b$ gegen das Mittelkreuz zu verschieben.

VII. Die Riemenlänge

setzt sich aus den Teilen auf den beiden Scheiben und den Trumlängen zusammen. Nach Abb. R 19 und R 20 sind die Bandlängen auf den Scheiben

$$l_1 = \pi d \frac{\alpha_1}{360} \quad \text{und} \quad l_2 = \pi D \frac{\alpha_2}{360}.$$

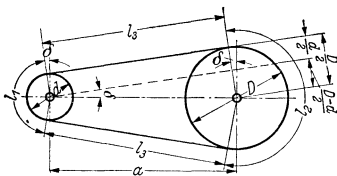


Abb. R 19.

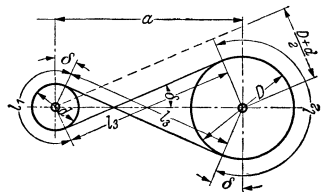


Abb. R 20.

Beim offenen Trieb ist

$$\alpha_1 = 180 - 2\delta \quad \text{und} \quad \alpha_2 = 180 + 2\delta,$$

δ erhält man aus $\sin \delta = \frac{D - d}{2 \cdot a}$.

¹⁾ Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1935 Heft 13 S. 259.

Damit wird

$$l_1 = \pi d \frac{180 - 2\delta}{360} \quad \text{und} \quad l_2 = \pi D \frac{180 + 2\delta}{360},$$

während beim gekreuzten Trieb

$$\alpha_1 = 180 + 2\delta \quad \text{und} \quad \alpha_2 = 180 - 2\delta$$

mit δ aus $\sin \delta = \frac{D-d}{2 \cdot a}$, also

$$l_1 = \pi d \frac{180 + 2\delta}{360} \quad \text{und} \quad l_2 = \pi D \frac{180 - 2\delta}{360}.$$

Die Trumlängen sind beim offenen und beim gekreuzten Trieb

$$2l_3 = 2a \cos \delta.$$

Die gesamte Riemenlänge ist dann

1. beim offenen Trieb

$$L = l_1 + l_2 + 2l_3 = \pi d \frac{180 - 2\delta}{360} + \pi D \frac{180 + 2\delta}{360} + 2a \cos \delta$$

mit δ aus $\sin \delta = \frac{D-d}{2a}$;

2. beim gekreuzten Trieb

$$L = \pi(d+D) \frac{180 + 2\delta}{360} + 2a \cos \delta \quad \text{mit } \delta \text{ aus } \sin \delta = \frac{D+d}{2a}.$$

3. beim halbgeschränkten Trieb ist die rechnerische Ermittlung der Riemenlänge nicht möglich. Sie muß deshalb zeichnerisch vorgenommen werden.

C. Der Spannrollentrieb.

Bei großen Übersetzungen oder sehr kleinem Achsabstand wird der Umschlingungswinkel unter Umständen für die Kraftübertragung zu klein. In diesen Fällen kann er durch den Einbau einer Spannrolle vergrößert werden, wodurch das Spannungsverhältnis $e^{\mu \alpha}$ günstiger wird. Bei sehr großen

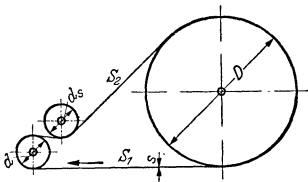


Abb. R 21. Anordnung von Spannrollen.

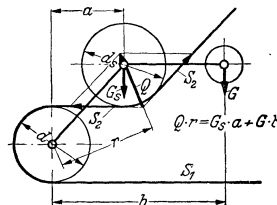


Abb. R 22. Zeichnerische Ermittlung der Belastung einer Spannrolle.

Achsabständen und stark wechselnden Belastungsverhältnissen tritt leicht ein Flattern des Riemens auf, das ebenfalls durch eine Spannrolle verhindert werden kann. Bei senkrechten oder stark schrägen Trieben löst sich der Riemen leicht von der unteren Scheibe ab. Um dies zu verhindern, muß der Achsdruck erhöht werden, was durch den Einbau einer Spannrolle vermieden werden kann. Der Betrieb wird sicherer und der Riemen wird geschont.

Spannrollen werden grundsätzlich im Leertrum nahe an der kleinen Scheibe angebracht, Abb. R 21, und können durch ihr Eigengewicht wirken oder auch durch Gewichte oder Federn belastet werden (z. B. Sawa-Feder-spannrolle). Der Drehzapfen des Spannrollenhebels ist so anzuordnen, daß die Spannrolle bis auf das Arbeitstrum durchschwingen kann, das jedoch nicht berührt werden darf. Außerdem soll der Riemen möglichst nicht gegen den Drehzapfen laufen. Bei starken Stößen sind Schwingungs-dämpfer einzubauen. Im übrigen sei auf das Betriebsblatt AWF 32 ver-wiesen.

Die Belastung der Spannrolle ergibt sich aus der Kraft im Leertrum. Sie wird am zweckmäßigsten zeichnerisch berechnet, Abb. R 22.

Beispiel I. Offener Antrieb einer Fräsmaschine. Gegeben sind

$$N = 7,6 \text{ PS}; \quad n_m = 1500 \text{ U/min}; \quad \text{Achsabstand } a \approx 600 \text{ mm}.$$

Es berechnen sich: Durchmesser der Motorscheibe $d = 160 \text{ mm}$,
Durchmesser der Antriebscheibe $D = 360 \text{ mm}$.

$$n_1 = n_m \frac{d}{D} = 1500 \frac{0,16}{0,36} = 667 \text{ U/min}.$$

Übersetzung $i = 2,25$.

$$\text{Riemenlänge } L = \pi \cdot D \frac{180 + 2\delta}{360} + \pi \cdot d \frac{180 - 2\delta}{360} + 2a \cdot \cos \delta,$$

$$\sin \delta = \frac{D - d}{2a} = \frac{360 - 160}{2 \cdot 600} = 0,167,$$

$$\delta = 9^\circ 36' = 9,6^\circ; \quad \cos \delta = 0,9861,$$

$$L = \pi 360 \frac{180 + 2 \cdot 9,6}{360} + \pi 160 \frac{180 - 2 \cdot 9,6}{360} + 2 \cdot 600 \cdot 0,986$$

$$= 625 + 224 + 1180 \approx 2030 \text{ mm}.$$

$$\text{Riemengeschwindigkeit } v = \frac{d \pi n_m}{60} = \frac{0,16 \cdot \pi \cdot 1500}{60} = 12,6 \text{ m/s}.$$

Umschlingungswinkel

$$\text{geometrisch } \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{2a} = 0,167, \quad \frac{\alpha}{2} = 80^\circ 24',$$

$$\alpha = 160^\circ 48', \quad \alpha = \frac{160,8}{180} \pi = 0,894 \pi.$$

$$\text{Reibungsziffer } \mu = 0,22 + 0,012v = 0,22 + 0,012 \cdot 12,6 = 0,371.$$

$$\text{Spannungsverhältnis } m = e^{\mu \alpha} = 2,72^{0,371 \cdot 0,894 \pi} = 3,6.$$

$$\text{Nutzkraft } S_n = \frac{75 N}{v \cdot \eta} = \frac{75 \cdot 7,6}{12,6 \cdot 0,95} = 47,6 \text{ kg}.$$

Freie Trumkraft im Arbeitstrum

$$S'_1 = S_n \frac{m}{m - 1} = 47,6 \frac{3,6}{2,6} = 66 \text{ kg}.$$

Freie Trumkraft im Leertrum

$$S'_2 = \frac{S'_1}{m} = \frac{66}{3,6} = 18,5 \text{ kg}.$$

Riemen: Leder mit $E = 300 \text{ kg/cm}^2$; Riemenstärke $s = 4 \text{ mm}$.

Spannungen:

$$\text{Biegungsspannung } \sigma_b = E \frac{s}{d} = 300 \frac{0,4}{16} = 7,5 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Fliehspannung } \sigma_f = \frac{v^2}{100} = \frac{12,6^2}{100} = 1,6 \text{ kg/cm}^2.$$

Nutzspannung aus Abb. R 17 bei $s/d = 4/160 = 1/40$, $v = 12,6 \text{ m/s}$ und $\alpha = 160^\circ$

$$k_n = 17 - 2 \cdot 0,03 \cdot 17 = 16 \text{ kg/cm}^2.$$

Riemenquerschnitt $b \cdot s \cdot k_n = S_n$,

$$b = \frac{S_n}{s \cdot k_n} = \frac{47,6}{0,4 \cdot 16} \approx 7,5 \text{ cm, gewählt } 7 \text{ cm.}$$

Freie Trumspannungen

$$\sigma'_1 = \frac{S'_1}{b \cdot s} = \frac{66}{7 \cdot 0,4} = 23,6 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma'_2 = \frac{S'_2}{b \cdot s} = \frac{18,6}{7 \cdot 0,4} = 6,6 \text{ kg/cm}^2.$$

Größte Gesamtspannung

$$\sigma_{\max} = \sigma_b + \sigma_f + \sigma'_1 = 7,5 + 1,6 + 23,6 = 32,7 \text{ kg/cm}^2.$$

Volle Trumkräfte

$$S_1 = S'_1 + S_f = 66 + 0,4 \cdot 7 \cdot 1,6 = 70,5 \text{ kg,}$$

$$S_2 = S'_2 + S_f = 18,5 + 4,5 = 23,0 \text{ kg.}$$

Achsdruck $S_a = S'_1 + S'_2 = 66 + 18,5 = 84,5 \text{ kg.}$

Vorspannung

$$\sigma_v = \sigma_m + \sigma_f = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2}{2} + \sigma_f = \frac{23,6 + 6,6}{2} + 1,6 = 16,7 \text{ kg/cm}^2.$$

Durchzugsgrad

$$\varphi = \frac{S_n}{S_a} = \frac{47,6}{84,5} = 0,565.$$

Beispiel 2. Berechnung eines Spannrollentriebes. Für den Spannrollen-Antrieb einer Rundschleifmaschine, Abb. R 21, sind gegeben:

$$N_m = 15 \text{ kW,}$$

$$n_m = 1500 \text{ U/min.}$$

Durchmesser der Motorriemenscheibe $d = 200 \text{ mm,}$

Durchmesser der Spannrolle $d_s = 225 \text{ mm,}$

Drehzahl der Maschinenscheibe $n_2 = 300 \text{ U/min.}$

Riemendicke $s \approx 4 \text{ mm,}$

Achsabstand $a = 1300 \text{ mm.}$

Es berechnen sich:

Übersetzung $i = 5$ $D = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ mm.}$

Riemengeschwindigkeit $v = \frac{n \cdot d \cdot \pi}{60} = \frac{1500 \cdot 0,2 \pi}{60} = 15,7 \text{ m/s.}$

Ergibt aus Abb. R 18 für die Nutzleistungen für

$$s/d = 4/200 = 1/50 \text{ bei } \alpha_1 = 180^\circ$$

$$3,8 \text{ PS/cm}^2.$$

Riemenlänge $L = 3450 \text{ mm.}$

Die Riemenbreite $b = \frac{15 \cdot 1,36}{3,8 \cdot 0,4} = 13,4 \text{ cm} \approx 140 \text{ mm,}$

Umschlingungswinkel $\alpha = 225^\circ.$

Reibungsziffer $\mu = 0,22 + 0,012 \cdot v = 0,22 + 0,188 = 0,41.$

Aus Abb. R 16 ergibt sich ein Spannungsverhältnis

$$m = e^{\mu \alpha} = 5,0.$$

Nutzkraft $S_n = \frac{75 \cdot N}{v \cdot \eta} = \frac{75 \cdot 1,36 \cdot 15}{15,7 \cdot 0,94} = 104 \text{ kg.}$

Freie Trumkraft im Arbeitstrum $S'_1 = S_n \frac{m}{m-1} = 104 \cdot \frac{5}{4} = 130 \text{ kg.}$

Freie Trumkraft im Leertrum $S'_2 = \frac{S'_1}{m} = \frac{130}{5} = 26 \text{ kg.}$

Achsdruck $S_a = S'_1 + S'_2 = 130 + 26 = 156 \text{ kg}$

Spannungen:

a) Nutzzspannung k_n aus Abb. R 17

$$k_n = 18,2 \text{ kg/cm}^2.$$

b) Biegungsspannung

$$\sigma_b = E \cdot \frac{s}{d} = 300 \cdot \frac{0,4}{20} = 6,0 \text{ kg/cm}^2;$$

c) Fliehspannung

$$\sigma_f = \frac{v^2}{100} = \frac{15,7^2}{100} = 2,465 \text{ kg/cm}^2 \approx 2,5.$$

Riemenquerschnitt (s. auch früher)

$$b \cdot s \cdot k_n = S_n,$$

$$b = \frac{104}{0,4 \cdot 18,2} = 14,3 \approx 140 \text{ mm.}$$

Freie Trumspannung im Arbeitstrum

$$\sigma'_1 = \frac{S'_1}{b \cdot s} = \frac{130}{14 \cdot 0,4} = 23,2 \text{ kg/cm}^2.$$

Gesamtspannung

$$\sigma_{\max} = \sigma_b + \sigma_f + \sigma'_1 = 6,0 + 2,5 + 23,2 = 31,7 \text{ kg/cm}^2.$$

Biegungswechsel

$$F_b = \frac{v}{L} \cdot 3600 \cdot 3 = \frac{15,7 \cdot 3600 \cdot 3}{3,45} = 4920 \text{ Wechsel/h.}$$

Durchzugsgrad

$$\varphi = \frac{m-1}{m+1} = \frac{5-1}{5+1} = 0,67.$$

Bestimmung des Belastungsgewichtes G (Bezeichnung s. Abb. R 22)

$$S_g = 26 \text{ kg.}$$

Aus dem Kraftdreieck ergibt sich $Q_r = 20 \text{ kg.}$

Die Hebelarme aus der Zeichnung: $a = 19 \text{ cm,}$

$$b = 40 \text{ cm,}$$

$$c = 26,0 \text{ cm.}$$

Das Eigengewicht der Spannrolle einschließlich des Anteils der Bügel

$$G_s = 15 \text{ kg.}$$

Belastungsgewicht

$$G = \frac{Q_r - G_s \cdot a}{b} = \frac{20 \cdot 26,0 - 15 \cdot 19}{40} = 6,0 \text{ kg.}$$

D. Ausrückbare Riementriebe, Wende- und Wechseltriebe.

I. Ein- und Ausrücken, Wendetriebe.

Das Ein- und Ausrücken kann bei mittleren und kleineren Trieben mit Hilfe von Fest- und Losscheibe geschehen. Sitzen die Losscheiben auf der getriebenen Scheibe, so läuft der Riemen im Leerlauf mit, andernfalls steht er im ausgerückten Zustand still. Dann muß beim Einschalten die Losscheibe an die Festscheibe gedrückt und von dieser mitgenommen werden, damit der Riemen vorgeschoben werden kann.

Eine Umkehr der Drehrichtung wird durch eine Umkehrkupplung oder mit Hilfe eines offenen und eines gekreuzten Triebes bewerkstelligt.

II. Wechseltriebe.

Zur Erzeugung eines Wechsels in der Übersetzung von Riementrieben kann man Kegelscheibenpaare und Stufenscheibenpaare benutzen.

a) **Kegelscheiben** gestatten eine stufenlose Übersetzungsänderung, jedoch nur in engen Grenzen, da der Kegelwinkel nur klein sein kann.

Grundsätzlich anders arbeiten die stufenlos regelbaren Triebe mit je zwei axial gegeneinander verstellbaren Kegelscheibenpaaren, die im Abschnitt „Stufenlos regelbare Getriebe“ besonders behandelt sind.

b) Für Stufenscheiben, die meistens mit zwei bis fünf Stufen ausgeführt werden, gelten folgende Bedingungen:

1. Für alle Stufen soll die gleiche Riemenlänge passen. Das trifft bei gekreuzten Riemen mathematisch genau, bei offenen Riemen und Achsabständen $a \geq 10(d_{\max} - d_{\min})$ praktisch genau zu, wenn die Summe der Durchmesser $\sum (d + D)$ zueinander gehöriger Scheibenglieder auf allen Stufen die gleiche bleibt. Bei Achsabständen $a < 10(d_{\max} - d_{\min})$ ist ein Ausgleich der Durchmesser oder des Riemens (Spannrolle) notwendig.

2. Bei der Verwendung von Stufenscheibenpaaren auf Vorgelege und Hauptantrieb der Maschine macht man meistens des gleichen Modelles wegen die Durchmesser auf der einen Scheibe gleich den Durchmessern auf der anderen Scheibe, Abb. R 23a und b. Im Werkzeugmaschinenbau weicht man besonders bei Antrieben innerhalb der Maschine (z. B. Antrieb des Vorschubes) häufig von dieser Regel ab.

3. Das Verhältnis des kleinsten zum größten Stufendurchmesser einer Scheibe soll nicht größer sein als 1 : 2, damit der Unterschied in der vom Riemen übertragenen Leistung entsprechend der veränderten Riemengeschwindigkeit nicht zu groß wird. Der Regelbereich ist dann für den Fall gleicher Durchmesser auf treibender und getriebener Scheibe $1 : 2^2 = 1 : 4$.

4. Die Stufung der Drehzahlen der getriebenen Welle geschieht zweckmäßig nach einer geometrischen Reihe, und zwar am besten nach den Richtwerten des VDW oder des ISA (s. Abschnitt „Normdrehzahlen“). Der Sprung φ der Drehzahlen ist nach diesen Richtwerten genormt zu $\varphi = 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58$ und 2,00. Von diesen Werten abweichende Sprünge errechnen sich nach den Angaben im Abschnitt „Drehzahl-Stufung“. Die Lastdrehzahlen für Transmissionen nach DIN 112 haben entsprechend dem Vordringen des Einzelantriebes an Bedeutung verloren.

Der Rechnungsgang für die Durchmesser der Stufen bei gegebener Drehzahlreihe n_1 bis n_x der getriebenen Scheibe und der Drehzahl n_0 der treibenden Scheibe ist folgender:

Bei gleichen Durchmessern der Stufen auf beiden Scheiben

1 a. Man nimmt die Durchmesser $d_0 = D_0$ der mittleren Stufe für $i = 1$ nach praktischen Erwägungen an, Abb. R 23a und b.

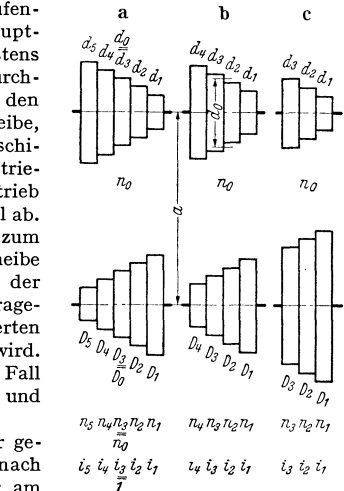


Abb. R 23 a bis c. Übersetzungen an Stufenscheibenpaaren.

Bei ungleichen Durchmessern der Stufen auf beiden Scheiben

1 b. Man nimmt den kleinsten im Getriebe auftretenden Durchmesser nach praktischen Erwägungen (Platzverhältnisse, Riemenstärke, Biegewechselzahl) an, z. B. d_1 in Abb. R 23c.

2a. Man bildet den Wert

$$\sum(d + D) = d_0 + D_0.$$

2a. Man errechnet nach der Übersetzung i in der Stufe des gewählten kleinsten Durchmessers den dazugehörigen Durchmesser auf der anderen Scheibe, z. B. in Abb. R 23 c.

$$D_1 = d_1 \cdot i$$

und bildet den Wert $\sum(d + D)$, z. B. in Abb. R 23 c $\sum(d + D) = d_1(1 + i)$.

3. Man errechnet die Durchmesser der übrigen Stufen. Es ist

$$D_x = d_x \cdot i,$$

außerdem

$$d_x + D_x = \sum(d + D).$$

Aus diesen beiden Gleichungen errechnet sich

$$d_x = \sum(d + D) \cdot \frac{1}{1 + i_x},$$

$$D_x = \sum(d + D) \cdot \frac{i_x}{1 + i_x}$$

oder bequemer

$$D_x = \sum(d + D) - d_x.$$

Beispiel 3. Gegeben $n_0 = 355$ U/min.

ISA-Reihe 20/3 ... 2800

$$n_1 = 180 \text{ U/min}; \quad i_1 = 2;$$

Abb. R 23 a.

$$n_2 = 250 \text{ U/min}; \quad i_2 = 1,41,$$

$$n_3 = n_0 = 355 \text{ U/min}; \quad i_3 = 1,$$

$$n_4 = 500 \text{ U/min}; \quad i_4 = 1,41^{-1},$$

$$n_5 = 710 \text{ U/min}; \quad i_5 = 2^{-1}.$$

(1a) Gewählt nach praktischen Erwägungen

$$d_0 = D_0 = d_3 = D_3 = 300 \text{ mm},$$

$$\sum(d + D) = 600 \text{ mm.} \quad (2a)$$

$$d_1 = 600 \cdot \frac{1}{1 + 2} = 200 \text{ mm} = D_5, \quad (3)$$

$$D_1 = 600 - 200 = 400 \text{ mm} = d_5,$$

$$d_2 = 600 \cdot \frac{1}{1 + 1,41} = 248 \text{ mm} = D_4,$$

$$D_2 = 600 - 248 = 352 \text{ mm} = d_4.$$

Beispiel 4. Gegeben $n_0 = 355$ U/min;

ISA-Reihe R 20/4 ... 2800

$$n_1 = 180 \text{ U/min}; \quad i_1 = 2,$$

Abb. R 23 b.

$$n_2 = 280 \text{ U/min}; \quad i_2 = 1,26,$$

$$n_3 = 450 \text{ U/min}; \quad i_3 = 1,26^{-1},$$

$$n_4 = 710 \text{ U/min}; \quad i_4 = 2^{-1}.$$

(1b) Kleinsten Durchmesser im Getriebe gewählt nach praktischen Erwägungen

$$d_1 = D_4 = 175 \text{ mm.}$$

(2b) Zugehöriger Stufendurchmesser

$$D_1 = 175 \cdot 2 = 350 \text{ mm} = d_4,$$

$$\sum(d + D) = 175 + 350 = 525 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 525 \cdot \frac{1}{1 + 1,26} = 232 \text{ mm} = D_3, \quad (3)$$

$$D_2 = 525 - 232 = 293 \text{ mm} = d_2.$$

Beispiel 5. Gegeben $n_0 = 1120$ U/min.
 ISA-Reihe R 20/2 $n_1 = 280$ U/min; $i_1 = 4$,
 Abb. R 23 c. $n_2 = 355$ U/min; $i_2 = 3,16$,
 $n_3 = 450$ U/min; $i_3 = 2,5$.

(1b) Kleinster Durchmesser im ganzen Getriebe gewählt nach praktischen Erwägungen

$$d_1 = 70 \text{ mm.}$$

(2b) Zugehöriger Stufendurchmesser

$$\begin{aligned} D_1 &= 70 \cdot 4 = 280 \text{ mm,} \\ \Sigma(d + D) &= 70 + 280 = 350 \text{ mm.} \\ d_2 &= 350 \frac{1}{1 + 3,16} = 84 \text{ mm,} \\ D_2 &= 350 - 84 = 266 \text{ mm,} \\ d_3 &= 350 \frac{1}{1 + 2,5} = 100 \text{ mm,} \\ D_3 &= 350 - 100 = 250 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (3)$$

Es sind Bestrebungen im Gang, auch die Durchmesser der Stufenscheiben, soweit sie für Normdrehzahlen in Frage kommen, zu normen. Siehe Buch Gernar: Die Getriebe für Normdrehzahlen. Tafel 2. Berlin: Julius Springer 1932.

E. Der Gruppenantrieb.

Gruppen von Arbeitsmaschinen werden zusammengefaßt und von einem Triebwerksstrang angetrieben. Umlaufzahl je nach der Durchschnittsdrehzahl der anzutreibenden Maschinen $n_1 = 150$ bis 500 U/min. Antrieb des Strangs vom Motor über Riementrieb oder mit Getriebemotor. Motor-drehzahlen $n_m = 750$ bis 1500 U/min. Abtrieb vom Strang zur Arbeitsmaschine mit einfachem Riementrieb (z. B. bei Einscheibenwerkzeugmaschinen) oder über Vorgelege, gegebenenfalls mit Stufenscheibe. Motor hat gleichbleibende Drehzahl und braucht nicht regelbar zu sein.

Da nicht alle Maschinen gleichzeitig mit Höchstleistung laufen, genügt meist ein Motor für die halbe Gesamtleistung; Über- und Unterbelastung gleichen sich aus. Übertragungs- und Leerlaufsverluste sind zu beachten. Sie pflegen 15 bis 20 vH der Motorleistung zu betragen und können bis zu 40 vH ansteigen. Sie sind abhängig von der Ausführung der Lager, der Leerlaufscheiben und der Riemen und der Wartung der Anlage. Bei höheren Dauerleistungen ist eine besondere Nachrechnung erforderlich. Kurzzeitige Überlastungen des Motors sind zulässig. Wegen des Leistungsfaktors und Wirkungsgrades des Motors ist eine gute Durchschnittsbelastung des Triebwerksstranges erforderlich.

Die Zusammenstellung allzu vieler und ungleichartiger Maschinen ist zu vermeiden. Der Antriebsmotor ist möglichst in der Mitte des Wellenstranges anzubringen. Dadurch wird die Welle schwächer und die Anlage billiger. Gegebenenfalls lassen sich auch Kupplungen einbauen, die das Abschalten einer Seite möglich machen.

F. Der Stahlbandantrieb.

Der Stahlbandantrieb wird selten angewendet. Er ist nur für große Leistungen und hohe Geschwindigkeiten bei großen Achsabständen (bis 100 m) geeignet. Das Band besteht aus englischem, gehärtetem, kaltgewalztem Holzkohlenstahl von 130 bis 150 kg/mm² Festigkeit mit einer Dicke von 0,03 bis 1,1 mm und einer Breite von 80 bis 250 mm. Die

Scheiben erhalten einen Korkbelag auf einer Papierunterlage, müssen genau zylindrisch sein, rund laufen und parallel liegen. Die Enden können genietet sein nach einer besonderen Nietart, werden aber meistens durch ein Schloß besonderer Bauart miteinander verbunden. Die Achsentfernung muß gut eingehalten werden. Der Schlupf ist gering und der Wirkungsgrad hoch (99 vH). Der zulässige Scheibendurchmesser steigt mit der Bandbreite, $D_{\min} = 500$ mm. Wirtschaftliche Mindestgeschwindigkeit $v_{\min} = 25$ m/s. Geschwindigkeit üblich bis 45 m/s. Bandlänge $L \geq 0,75 \cdot v$, v in m/s. Zulässige Nutzspannung $k_n = 600$ bis 750 kg/cm². Achsdruck $a = 3$ bis $4 S_n$. Geringste Nutzkraft $S_{n\min} = 144$ kg. Untere Leistungsgrenze $N_{\min} = 50$ PS. Die geringste Bandlänge $L_{\min} = 19$ m gibt einen kleinsten Achsabstand $a_{\min} \approx 7$ bis 8 m. Die Verwendung von Spannrollen ist nicht möglich.

Reicht ein Band zur Übertragung nicht aus, so können mehrere nebeneinander gelegt werden. Dann ist die zulässige Nutzspannung um 20 bis 25 vH zu vermindern.

Gegen Feuchtigkeit, Öl und Schmutz ist ein Anstrich mit Rostschutzlack, Abdecken oder Einschalen erforderlich.

Beispiel. Überschlägige Rechnung

$$N = 410 \text{ PS}, \quad v = 35 \text{ m/s}, \quad s = 0,05 \text{ cm}, \quad P = \frac{75 \cdot N}{v} = \frac{75 \cdot 410}{35} = 875 \text{ kg},$$

$$k_n = 700 \text{ kg/cm}^2, \quad P = b \cdot s \cdot k_n = 875 \text{ kg}, \quad b = \frac{P}{s \cdot k_n} = \frac{875}{0,05 \cdot 700} = 25 \text{ cm}.$$

Mit $\sigma_b = 1300$ kg/cm² wird

$$D = \frac{E \cdot s}{\sigma_b} = \frac{2200000 \cdot 0,05}{1300} = 85 \text{ cm}, \text{ gewählt } 900 \text{ mm}.$$

Bandlänge $L = 0,75 \cdot v = 0,75 \cdot 35 = 26$ m.

Mit $d = D = 900$ mm wird der Achsabstand

$$a = \frac{L - \pi \cdot D}{2} = \frac{26000 - \pi \cdot 900}{2} = 14413 \text{ mm}.$$

G. Ausführung der Riemenscheiben.

Riemenscheiben bestehen aus Gußeisen, Stahl, Stahlblech, Leichtmetall oder Holz. Am gebräuchlichsten sind die Scheiben aus Gußeisen, sodann die aus Stahlblech und Holz.

I. Gußeiserne Scheiben bestehen aus dem Kranz, den Armen und der Nabe. Kleine Scheiben unter 200 mm Durchmesser haben einen vollen Boden. Die äußeren Abmessungen (Durchmesser und Breite) sind in DIN 111 festgelegt.

Die Armzahl beträgt

$$i = \frac{1}{6} \text{ bis } \frac{1}{7} \sqrt{D} \quad (D \text{ in mm})$$

und ist immer eine ganze Zahl.

Die Nabenstärke ist

$$D_n = 1,6 \text{ bis } 2d. \quad (d = \text{Bohrung})$$

Die Nabenlänge ist

$$L = \frac{1}{2} B \geq 1,5d.$$

Die Scheibenbreite muß sein

$$B = 1,4b + 1 \text{ cm}. \quad (b = \text{Riemenbreite})$$

bei halbgeschränkten Riemen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ mehr, bei gekreuzten Riemen

$$B = 2b.$$

Die Scheiben sind ungeteilt oder geteilt; die Teilfuge geht stets durch die Arme. Scheiben über 400 mm Breite erhalten zwei Armsysteme.

In der normalen Ausführung ist die zulässige Umfangsgeschwindigkeit 20 bis 25 m/s. Darüber hinaus ist Sonderausführung erforderlich. Ungeteilte Scheiben werden mit Schiebesitz ausgeführt und mit Hohl-, Flach- oder Treibkeil befestigt. Geteilte Scheiben werden aufgeklemt und ohne Keil oder mit Flach- oder Treibkeil aufgesetzt (DIN 110).

II. Stahlblechscheiben werden aus dünnem Stahlblech gepreßt. Sie sind weniger fest als die Gußscheiben und haben infolgedessen auch nur eine geringere Übertragungsfähigkeit. Sie sind aber leicht und billig.

III. Holzriemenscheiben sind aus einzelnen Segmenten zusammengeleimt. Die Armkreuze sind eingesetzt. Eine Sonderausführung besteht ganz aus Sperrholz. Für feuchte Betriebe müssen sie mit Kaltleim geleimt sein und erhalten noch einen wasserfesten Anstrich. Ihre Güte ist nach den Lieferungsbedingungen DIN-RAL 423A verbürgt.

Die Bruchgrenze liegt bei guten Ausführungen über 90 m/s Umfangsgeschwindigkeit, so daß sie unbedenklich bis $v = 30$ m/s benutzt werden können. Tafel 2 gibt die übertragbaren Leistungen.

Holzriemenscheiben werden ohne Keil auf die Welle aufgesetzt; notfalls erhalten sie zum Ausgleich der Bohrung Einlagen. Zur Erhöhung der Reibung auf der Welle kann Schmirgelleinen untergelegt werden.

Zur Führung des Riemens, der das Bestreben hat, nach dem größeren Durchmesser hin zu wandern, können die Scheiben mit gewölbter Lauffläche versehen werden. Die Wölbung ist in DIN 111 genormt. Gewölbt

Tafel 2. Mit Holzriemenscheiben übertragbare Leistung.

Scheiben- durchmesser mm	Scheiben- breite mm	Umfangs- geschwindigkeit m/s	Leistung	
			PS	
150	100	10	4,0	
		20	11	
500	150	10	15	
		20	33	
		30	52	
	250	10	19	
		20	55	
		30	86	
800	200	10	22	
		20	40	
		30	76	
	300	10	33	
		20	60	
		30	114	
		400	10	44
			20	80
			30	152
1200	200	10	25	
		20	55	
		30	87	
	300	10	37,5	
		20	82,5	
		30	130	
		400	10	50
			20	110
			30	174

Tafel 3. Zusammenstellung der Formeln für Flachriementrieb.

Benennung	Bezeichnung	Berechnung																																									
Übertragbare Leistung PS	N	$\frac{S_n \cdot v \cdot \eta}{75}$; $\frac{k_n \cdot b \cdot s \cdot v \cdot \eta}{75}$																																									
Umfangskraft (Nutzkraft) kg	S_n	$\frac{75 \cdot N}{v \cdot \eta}$; $k_n \cdot b \cdot s$																																									
Durchmesser der kl. Scheibe m	d	$\frac{60 \cdot v}{\pi \cdot n}$; möglichst > 50 s	} s. Tafel Abb. R 15																																								
Drehzahl der kl. Scheibe min	n	$\frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d}$																																									
Umfangsgeschwindigk. m/s	v	$\frac{\pi d n}{60}$																																									
Riemenbreite cm	b	$\frac{S_n}{s \cdot k_n}$																																									
Riemendicke mm	s	einfacher Riemen 4 bis 6 mm } doppelter „ 8 „ 10 mm } Lederriemen dreifacher „ 12 „ 15 mm } vierfacher „ 16 „ 20 mm } 4 bis 20 mm Haar-, Baumwoll-, Balata- und Gummiflockriemen 2,5 „ 7 mm Seidenriemen																																									
Zulässige Gesamtspannung kg/cm ²	σ_{\max}	durchschnittlich 33 (Erfahrungswert für Lederriemen, nach AWF 150)																																									
Achsabstand	a	$\geq 2D$ beim offenen Trieb $\geq 20b$ bzw. $\geq 10\sqrt{b \cdot D}$ beim halbgeschränkten Trieb $\geq 20b$ beim gekreuzten Trieb																																									
Scheibenbreite mm	B	Nach DIN 111 entsprechend Riemenbreite b : <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>b</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>85</td><td>100</td><td>120</td><td>140</td></tr> <tr> <td>B</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>85</td><td>100</td><td>120</td><td>140</td><td>170</td></tr> </table> <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>b</td><td>170</td><td>200</td><td>230</td><td>260</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td><td>450</td><td>550</td></tr> <tr> <td>B</td><td>200</td><td>230</td><td>260</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td><td>450</td><td>500</td><td>600</td></tr> </table>		b	30	40	50	60	70	85	100	120	140	B	40	50	60	70	85	100	120	140	170	b	170	200	230	260	300	350	400	450	550	B	200	230	260	300	350	400	450	500	600
b	30	40	50	60	70	85	100	120	140																																		
B	40	50	60	70	85	100	120	140	170																																		
b	170	200	230	260	300	350	400	450	550																																		
B	200	230	260	300	350	400	450	500	600																																		
Durchmesser für Triebwerkswellen mm	d	Nach DIN 114: 25 30 35 40 45 50 55 60 70 80 90 100 110 125 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480 500																																									

wird die getriebene Scheibe, bei hohen Riemengeschwindigkeiten unter Umständen auch die treibende Scheibe.

IV. Losscheiben laufen auf einer Leerlaufbüchse, die auf die Welle aufgeklemmt und mit Fett oder Öl geschmiert wird oder mit Kugellagern ausgerüstet ist.

V. Stufenscheiben werden in der Regel in einem Stück gegossen.

VI. Spannrollen¹⁾ können einseitig und doppelseitig gelagert werden und sitzen in der Regel auf einem festen Zapfen. Größere Spannrollen können auch mit umlaufender Achse ausgeführt werden. Bei Ausführung mit Gleitlager ist eine gut arbeitende Umlaufschmierung notwendig.

VII. Riemenleitrollen werden als Deckenriemenleiter und Wandriemenleiter ausgeführt, und zwar so, daß die Rollen nach allen Richtungen verstellbar sind.

VIII. Riemenschalter dienen zur Verschiebung des Riemens auf Los- und Festscheibe. Der Riemen wird von einer Gabel erfaßt, die seitlich verschoben wird. Für das Umlegen der Riemen auf Stufenscheiben gibt es besondere Riemenumleger.

H. Der Keilriementrieb.

I. Berechnung der Keilriementriebe.

Für den Keilriemen gelten die gleichen Gesetze der Bandtriebe wie beim Riementrieb. Es ist wieder

$$S_1 = S_2 \cdot e^{\mu \alpha}.$$

An Stelle der Reibungsziffer μ wird jedoch zur Berücksichtigung der Keilwirkung die ideelle Reibungsziffer μ' eingeführt, die etwa

$$\mu' = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}}$$

ist, wenn γ der Keilwinkel ist. Sie ist festgestellt zu $\mu' = 1,0$ bis $2,0$ für Leder- und Gliederkeilriemen und $\mu' = 2,5$ bis $3,5$ für Gummikeilriemen. Der übliche Keilwinkel ist $\gamma = 38^\circ$. Wegen der Keilwirkung ist ein kleinerer Umschlingungswinkel möglich als beim Flachriemen. Im Normblatt DIN E 2216 (Entwurf 1) ist als kleinster zulässiger Winkel 70° festgelegt. Dadurch ist ein sehr kurzer Achsabstand möglich, normal ist $a \approx D$. Damit lassen sich Übersetzungen bis $1/15$ leicht herstellen. Über $1/10$ werden sie allerdings meist zu teuer.

Die Riemengeschwindigkeit ist möglichst hoch zu wählen, doch nicht über 25 m/s. Mit wachsender Geschwindigkeit wird die übertragene Umfangskraft geringer und die Biegewechselzahl w steigt. Diese soll nicht mehr als 40 Wechsel je Sekunde betragen.

$$w = \frac{2v}{L_m} \leq 40/s,$$

wobei L_m = mittlere Riemenlänge ist. Wird die Biegewechselzahl zu hoch, muß man im Interesse der Lebensdauer des Riemens die Riemengeschwindigkeit verringern.

¹⁾ AWF-Betriebsblatt „Die Spannrolle“.

II. Profile der Keilriemen.

Die nach der bestehenden DIN 2215 genormten Profile sind in Tafel 4 angegeben.

Die Profile der Scheiben (Abb. R 24) sind so festgelegt, daß der Riemen mit der oberen Scheibenkante abschneidet. Entsprechend der Winkeländerung des Riemens beim Umlegen um kleinere Scheiben ist der Kantenwinkel nach der Scheibengröße mit den Größen 38°, 36°, 34°, 32° abgestuft. Vorschläge für verstellbare Keilriemenscheiben zur leichteren Anpassung an die Keilriemenlängen sind bereits gemacht,

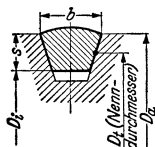


Abb. R 24.
Keilriemen.

aber noch nicht ausgeführt.

Die Abstufung der mittleren Längen für die endlosen Keilriemen sind in DIN 2215 (Neuentwurf) ebenfalls festgelegt. Sie sind abhängig vom Querschnitt. Gemessen wird die Innenlänge L_i ; die mittlere Länge L_m ist um $\pi \cdot s$ größer.

Die zulässige übertragbare Leistung ist von der Riemengeschwindigkeit abhängig; sie ist in Abb. R 25 für einen Umschlingungswinkel von $\alpha = 180^\circ$ aufgetragen. Ist der Winkel kleiner, so ist mit einem entsprechenden Minderungsfaktor f zu multiplizieren. Außerdem ist die Betriebsart zu berücksich-

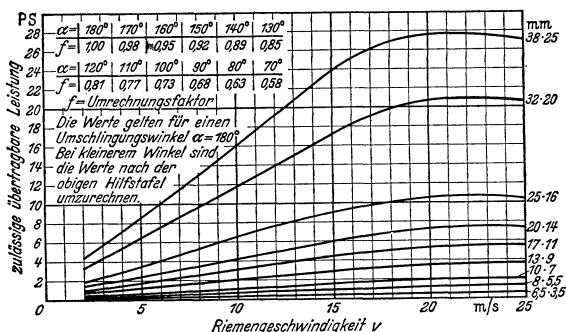


Abb. R 25. Übertragbare Leistung von Gummi-Keilriemen.

tigen. Es sind folgende Sicherheitszuschläge bzw. Sicherheitsfaktoren q erforderlich:

- Klasse I: Stoßfreier Betrieb, leichter Anlauf $q = 1,15$ bis $1,20$
- „ II: Mäßige Stöße, mäßiges Anzugsmoment ... $q = 1,30$ „ $1,50$
- „ III: Größeres Anzugsmoment, größere Stöße ... $q = 1,50$ „ $1,75$
- „ IV: Starke Stöße, große Anzugsmomente, große Massenbeschleunigung, häufiger Drehrichtungswechsel $q = 1,75$ „ $2,0$

Als kleinster zulässiger Scheibendurchmesser kann die zehnfache Riemenhöhe angenommen werden. Nach den Firmenangaben stimmt dieser Wert nur für das Profil 22×16 . Bei den kleineren Profilen wird er bis zu 50 vH unterschritten und bei den größeren bis zu 100 vH überschritten. Es ist

zweckmäßig, ihn, entsprechend dem Vorgehen der Fa. Flender, von der Betriebsdauer abhängig zu machen und im Normalfall nicht so klein zu wählen (s. Keilriementafel). Bei größerem Durchmesser ist die Lebensdauer höher.

Da die Gummikeilriemen in Ausführung und Länge sehr genau ausfallen, können auch mehrere Riemen gut auf einer Scheibe laufen. Die hohe Elastizität bewirkt außerdem einen Ausgleich.

Tafel 4. Profil der Keilriemen nach DIN 2215.

Alte Normprofile $b \times s$ in mm, Abb. R 25									
6,5 × 3,5	8 × 5,5	10 × 7	13 × 9	17 × 11	20 × 14	22 × 16	25 × 16	32 × 20	38 × 25
Bisher gelieferte Innenlängen L_i in mm									
250 bis 600	400	400	500	600	800	1000	1000	1900	5000
	1100	2500	3200	12000	12000	15000	15000	15000	
Zulässige $\frac{\text{normale}}{\text{kleinste}}$ Scheibendurchmesser in mm nach Sawa und Breitbach									
30	45	68	86	114	150	199	274	300	455
16	30	53	66	89	120	159	184	230	375

Tafel 5. Genormte Scheibendurchmesser D_T , Abb. R 25.

(Nenndurchmesser)										
30	40	50	63	71	80	90	100	112	125	140
160	180	200	225	250	280	320	360	400	450	500
560	630	710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800

Die Scheiben werden mit bis zu 12 bis 15 Rillen geliefert.

Der Wirkungsgrad beträgt 93 bis 98 vH, ist aber stark vom Biegewert s/D abhängig.

III. Berechnungsbeispiele.

Beispiel 1. Antrieb einer Drehbank.

Leistung $N = 5,45$ PS.

Motordrehzahl $n_0 = 1430$ U/min.

Maschinendrehzahl $n_1 = 400$ U/min.

Große Scheibe, außen, vorläufig geschätzt $D_a \approx 500$ mm,

Achsabstand „ „ $a \approx 500$ mm.

Ungefäher Außendurchmesser der Motorscheibe

$$d_0 = D_a \frac{n_1}{n_0} = 500 \cdot \frac{400}{1430} = 139 \text{ mm.}$$

Riemengeschwindigkeit

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{0,139 \cdot \pi \cdot 1430}{60} = 10,45 \text{ m/s.}$$

Umschlingungswinkel

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{2a} = \frac{500 - 139}{2 \cdot 500} = 0,361,$$

$$\alpha = 136^\circ.$$

Minderungsfaktor für 140° ist $f = 0,89$.

Sicherheitsfaktor für Klasse II $q = 1,3$.

Wirkungsgrad des Keilriemens $\eta_r = 0,95$.

Tatsächliche Riemenleistung $N_r = N \cdot \frac{q}{f \cdot \eta_r} = \frac{5,45 \cdot 1,3}{0,89 \cdot 0,95} = 8,5$ PS.

Gewähltes Riemenprofil 17×11 mm.

Zulässige übertragbare Leistung je Riemen $N_n = 3$ PS (nach Tafel Abb. R 24).

$$\text{Anzahl der Riemen } Z = \frac{N_r}{N_n} = \frac{8,5}{3} = 3.$$

Nennendurchmesser der großen Scheibe $D_T = D - s = 500 - 11 = 489$ mm.

$$\text{„ der Motorscheibe } d_T = D_T \cdot \frac{n_1}{n_0} = 489 \cdot \frac{400}{1430} = 137 \text{ mm.}$$

Ausgeführt werden die beiden Normdurchmesser $D_T = 500$ und $d_T = 140$ mm.

$$\text{Riemenlänge } L_m = \pi D_T \frac{180 + 2\delta}{360} + \pi d_T \frac{180 - 2\delta}{360} + 2a \cos \delta,$$

$$\sin \delta = \frac{D_T - d_T}{2a} = \frac{500 - 140}{2 \cdot 500} = 0,360, \quad \delta = 21,2^\circ, \quad \cos \delta = 0,953.$$

$$L_m = \pi \cdot 500 \frac{180 + 2 \cdot 21,2}{360} + \pi \cdot 140 \frac{180 - 2 \cdot 21,2}{360} + 2 \cdot 500 \cdot 0,953.$$

$$L_m = 970 + 170 + 933 = 2073 \text{ mm.}$$

Innenlänge $L_i = L_m - \pi \cdot s = 2073 - \pi \cdot 11 = 2073 - 35 \approx 2040$ mm.

$$\text{Biegewechsel } w = \frac{2v}{L_m} = \frac{2 \cdot 10,45}{20,50} \approx 1 \text{ je Sekunde, also durchaus zulässig.}$$

Beispiel 2. Antrieb einer Kurbelwellendrehbank.

$$N = 50 \text{ PS, } n_0 = 1430 \text{ U/min, } n = 1250 \text{ U/min.}$$

Großer Scheibendurchmesser ≈ 300 mm.

Achsabstand ≈ 450 mm.

$$\text{Außendurchmesser der Motorscheibe } d = 300 \cdot \frac{1250}{1430} = 260 \text{ mm.}$$

$$\text{Riemengeschwindigkeit } v = \frac{0,260 \cdot \pi \cdot 1430}{60} = 19,5 \text{ m/s.}$$

Gewähltes Profil 25×16 mm.

Nennendurchmesser $D_T = 300 - 16 = 284$ mm ≈ 280 mm Normdurchmesser,

$$d_T = 260 - 16 = 244 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm} \quad \text{„}$$

$$\text{Umschlingungswinkel } \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{280 - 250}{2 \cdot 300} = \frac{30}{600} = 0,05 \quad \alpha \approx 170^\circ.$$

$$\text{Wahre Riemengeschwindigkeit } v = \frac{0,250 \cdot \pi \cdot 1430}{60} = 19 \text{ m/s.}$$

Minderungsfaktor $f = 0,98$.

Sicherheitszuschlag gemäß Klasse II $q = 1,3$.

Wirkungsgrad $\eta_r = 0,95$.

$$\text{Riemenleistung } N_r = \frac{50 \cdot 1,3}{0,95 \cdot 0,98} = 70 \text{ PS.}$$

Zulässige übertragbare Leistung je Riemen $N_n = 10,5$ PS (nach Tafel Abb. R 24).

$$\text{Anzahl der Riemen } Z = \frac{70}{10,5} = 7.$$

$$\text{Riemenlänge } L_m \approx 2 \frac{\pi \cdot 265}{2} + 2 \cdot 450 \approx 1730 \text{ mm.}$$

$$\text{Innenlänge } L_i \approx 1730 - \pi \cdot 16 = 1730 - 50 \approx 1680 \text{ mm.}$$

Stufenlos regelbare Getriebe.

Stufenlose Regelung von Drehzahlen, Vorschüben und Vorschubgeschwindigkeiten gestattet in allen Fällen innerhalb des Gesamtbereiches der Maschine das Einstellen der günstigsten Arbeitsgeschwindigkeit. Die mögliche Verstellung während des Arbeitens ohne Stillsetzen der Maschine erlaubt besonders bei sich änderndem Durchmesser, z. B. beim Plandrehen, das Gleichhalten der Bedingungen und damit Schonung der Werkzeuge. Die nachstehenden Ausführungen gelten vorwiegend für die stufenlose Regelung von Werkzeugmaschinen.

A. Stufenlos regelbare mechanische Getriebe

formen kreisende wieder in kreisende Bewegung um. Unter der Zahl der verschiedenen Bauarten sind zur Zeit am bekanntesten die Getriebe mit je einem Paar kegeligen Scheiben auf der treibenden und auf der getriebenen Welle und einem Übertragungsmittel zwischen beiden; außerdem das PK-Getriebe mit einem treibenden Voll- und einem getriebenen Hohlkegel.

Die Getriebe werden als anbaufertige, in sich geschlossene Getriebeboxen und auch als Einbauteile zu organischen Einbau in Werkzeugmaschinen usw. geliefert.

I. Stufenlos regelbare Getriebe mit Kegelscheibenpaaren.

Die wirksamen Durchmesser der Kegelscheibenpaare werden dadurch geändert, daß die Scheiben des einen Paares einander genähert (Vergrößern des wirksamen Durchmessers) und gleichzeitig die des anderen Paares voneinander entfernt werden (Verkleinern des wirksamen Durchmessers). Die Übersetzungen liegen meistens von $i = 1$ aus gleich viel ins Langsame und ins Schnelle. Das Verstellen des Getriebes kann vielfach nur während des Leer- oder Lastlaufes, nicht aber während des Stillstandes geschehen.

Der Regelbereich ist je nach Bauart und Größe 1:5 bis 1:12 und mehr. Durch Anbau von Planetengetrieben ist eine Erweiterung des Regelbereiches in manchen Fällen möglich. Besonders bei größeren Regelbereichen ist die übertragbare Leistung nicht immer gleichbleibend.

Die nachstehend genannten Getriebe unterscheiden sich durch die Art des Übertragungsmittels zwischen den Kegelscheibenpaaren:

a) **Wüfel-Getriebe**¹⁾. Übertragungsmittel zwei auf zwei Paar Kegelscheiben hintereinander geschaltete Gummikeilriemen üblicher Abmessungen.

b) **Flender-Variator**²⁾. Übertragungsmittel mit keilförmig an den Enden abgeschrägten Leisten auf Innenseite bewehrter Flachriemen.

c) **PIV-Trieb A**³⁾. Übertragungsmittel Sonder-Gliederkette mit querbeweglichen Lamellen. Kegelscheiben mit radial verlaufenden Zähnen, Formschluß zwischen Kette und Scheiben sich selbst bildend. (PIV = Positive infinity variable).

d) **PIV-Trieb R** (Bauart Maurer)³⁾. Übertragungsmittel Gliederkette mit längsachsig eingebauten Stahlrollenpaaren. Reibungsschluß zwischen Kette

1) Firmenschrift „Wüfel-Regelgetriebe“.

2) Firmenschrift „Variator DRP“.

3) Preger: Stufenlos regelbare Kettengeräte an Werkzeugmaschinen, *Werkst.-Techn. u. Werksl.* 1936 Heft 4 S. 68. — Preger: Stufenlos regelbare Kettengeräte in Werkzeugmaschinen. *Werkst. u. Betrieb* 1938 Heft 9/10 S. 117; Heft 11/12 S. 154; Heft 13/14 S. 182.

und Scheiben; auch für senkrecht stehende Wellen brauchbar; Verstellung auch im Stillstand möglich.

e) **Heynau-Trieb**¹⁾. Übertragungsmittel kräftiger Stahlring; auch für senkrechte Wellen möglich.

II. Stufenlos regelbare Getriebe mit Voll- und Hohlkegel.

Der Prym-Köhl-Trieb, abgekürzt **PK-Trieb**²⁾, arbeitet mit einem treibenden, längs verschiebbaren kleineren Vollkegel unmittelbar in einen getriebenen, quer auf einer Schwinge ausweichenden größeren Hohlkegel. Kräftige Unterersetzung im Getriebe selbst. Auch für senkrechte Wellen möglich. Verstellung auch im Stillstand, Umsteuern auf Rechts- und Linkslauf möglich.

B. Stufenlos regelbare Flüssigkeitsgetriebe³⁾

formen kreisende in kreisende, selten bogenförmige, hin- und hergehende Bewegung um. An Werkzeugmaschinen findet man nur die statischen Flüssigkeitsgetriebe (Kolben- und Kapselwerke), nicht aber die dynamischen Flüssigkeitsgetriebe (Kreiselmaschinen).

Die Flüssigkeitsgetriebe bestehen aus einer Ölpumpe und einem Ölmotor mit dazwischen geschalteten Ölleitungen, Steuerorganen, Sicherheitseinrichtungen, Entlüftungen usw. Die Pumpe läuft mit gleichbleibender Drehzahl und Drehrichtung, der Ölmotor mit bis auf Null herunter stufenlos regelbaren Dreh- bzw. Hubzahlen und erforderlichenfalles mit umkehrbarer Drehrichtung.

Die Regelung kann geschehen:

Durch Änderung der dem Ölmotor zugeführten Druckölmenge (Pumpenregelung, Drosselregelung, Primärregelung, Regelung mit gleichbleibendem Drehmoment bzw. gleichbleibender Durchzugskraft) oder

durch Änderung der Schluckmenge, d. i. Druckölmenge je Umdrehung des Ölmotors (Motorregelung, Sekundärregelung, Regelung mit gleichbleibender Leistung). Häufig wird in den niederen Drehzahlbereichen bzw. Hubbereichen die Pumpenregelung, daran anschließend die Motorregelung angewendet.

Als Pumpen dienen für unveränderliche Fördermengen Zahnradpumpen. Regelung durch Drosseln zwischen Pumpe und Flüssigkeitsmotor; für kleine Leistungen, z. B. Vorschub an Schleifmaschinen.

Als Pumpen dienen für veränderliche Fördermengen Enor-Triebe, Kapselwerk mit äußerer Beaufschlagung, Böhringer-Sturm-Getriebe. Kapselwerk mit innerer Beaufschlagung.

Lauf-Thoma-Getriebe, Jahns-Getriebe, Pittler-Getriebe. Kolbenwerk mit radialen Zylindern und innerer Beaufschlagung.

Oil-Gear-Getriebe. Kolbenwerk mit innerer Beaufschlagung.

Thoma-Getriebe, Jahns-Getriebe, Pittler-Getriebe, mit achsparallelen Kolben in drehbarem Zylindergehäuse.

Wüfel-Getriebe, außen beaufschlagte radiale Kolben.

¹⁾ Firmenschrift Hans Heynau, Leipzig C 1: „Der H-Trieb“ ZVDI 1935. 23. 2. Werkzeugmaschine 1935. 28. 2.

²⁾ Werkst. u. Betrieb 1939 Heft 3/4 S. 34.

³⁾ Preger: Flüssigkeitsgetriebe an spangebenden Werkzeugmaschinen. VDI-Verlag 1932.

Die Regelung geschieht bei Enor, Böhlinger-Sturm, Lauf-Thoma (Jahns, Pittler) durch Verstellen der Exzentrizität des Gehäuses, bei Oil-Gear durch Verstellen der Exzentrizität des Zylinderkörpers, bei Thoma (Jahns, Pittler) durch Neigen des Zylinderkörpers, bei Wülfel durch Verstellen des fünfseitigen Prismas in der Mitte der Kolben. In allen Fällen ist die Regelung von Plus nach Minus (Umkehr der Förderrichtung ohne Änderung der Drehrichtung der Pumpe) durch Null hindurch (Exzentrizität bzw. Neigung = Null) möglich.

Als Flüssigkeitsmotoren dienen bei der Umsetzung von kreisender in kreisende Bewegung die genannten Pumpen mit regelbarer Fördermenge, in diesem Falle mit regelbarer Schluckmenge. Meistens ist das Modell des Flüssigkeitsmotors größer als das der Pumpe. Regelung der Schluckmenge in gleicher Weise durch Änderung der Exzentrizität bzw. Neigung des Gehäuses.

Flüssigkeitsgetriebe können Antriebs-Elektromotor, Ölpumpe und Öl-motor als Vorbaugetriebe in einem Aggregat vereinigt haben oder es können die verschiedenen Bestandteile an verschiedenen Stellen der Werkzeugmaschine räumlich voneinander getrennt eingebaut sein.

Als Flüssigkeits-Motor beim Umsetzen kreisender in geradlinig hin- und hergehende Bewegung dienen Zylinder und Kolben mit einseitiger oder mit durchgehender Kolbenstange.

Vorteile der Flüssigkeitsgetriebe ist neben der bequemen Regelbarkeit in großem Regelbereich die Möglichkeit des bequemen Anschlusses anderer druckölbetätigter Einrichtungen, z. B. für Einspannen der Werkstücke, für Schaltungen, Ein- und Ausrücken, Schnellverstellungen, selbsttätige Steuerungen usw.

C. Stufenlos regelbare elektrische Getriebe,

Gleichstrom-Regelmotoren und Leonard-Trieb sind im Abschnitt „Aus dem Gebiet der Elektrotechnik, Absatz G, Elektrischer Antrieb für Werkzeugmaschinen“, S. 141 bis 144, behandelt.

Wellenkupplungen¹⁾).

Schrifttum ¹⁾ bis ³⁵⁾ auf S. 410.

A. Feste Kupplungen^{11) 12) 16) 22)}.

Schalen- oder Scheiben-Kupplungen, deren Teile meist durch Schrauben verbunden werden, zur festen Verbindung von zwei aneinanderstoßenden Wellenenden. Das Drehmoment soll schon durch die Reibung allein aufgenommen werden, so daß die Gesamtanpresskraft = Umfangskraft geteilt durch Reibwert sein muß. Normen: DIN 115, 116, 758, 759, 760.

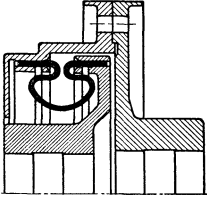


Abb. K 1. Nachgiebige Voith - Maurer - Kupplung mit Drahtfedern.

B. Nachgiebige Kupplungen, Ausgleichkupplungen^{2) 11) 12) 18-23) 35)},

dienen zur Aufnahme von Unterschieden in der Höhenlage, Längslage und Neigung der Wellen oder zur drehfedernden Aufnahme und Dämpfung von Drehstößen und zur Verlagerung der kritischen Drehzahl. Notwendig ist Berechnung der Zwischenglieder auf Flächenpressung, aufzunehmende Federarbeit und Biegebeanspruchung.

Ausführung meist als Scheibenkupplungen mit federnden Zwischengliedern, z. B. Abb. K 1, auch Kreuzgelenke und Zahnkupplungen.

C. Schaltkupplungen^{1) 10)}.

I. Schaltung im Stillstand.

Zur Verbindung und Trennung zweier Wellen im Stillstand sind Klauenkupplungen, Stift-, Zahn-, Springkeil- und Ziehkeil-Kupplungen geeignet. Berechnung auf Flächenpressung und Verschleiß an den Schiebflächen.

II. Schaltung in Bewegung.

Bei langsamer, überholender oder umkehrender Bewegung sind noch Kupplungen nach I verwendbar; sonst Reibungs-Kupplungen^{11-17) 22-26) 30-34)}. Sie können als Schalt- (Abb. K 2 und K 3), Wende-, Richtungs-, Rutsch- (Abb. K 4) und Anlauf-Kupplungen (Abb. K 5) gebaut sein.

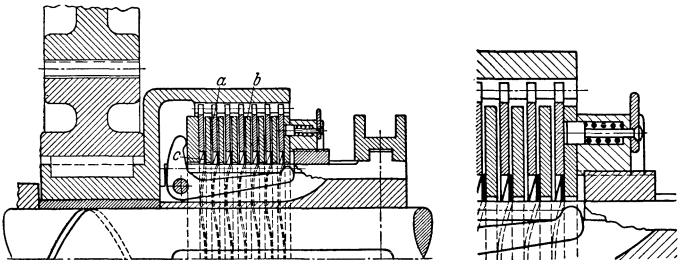


Abb. K 2. Lamellen-Schaltkupplung²⁸⁾ Stromag.

a Außen verzahnte Lamellen, b innen verzahnte Lamellen, c zwischen a und b gelegte gewellte Abdruck-Federringe.

a) Bauart nach Tafel 1 als Backen-, Band-, Kegel-, Scheiben- oder Füllstoff-Kupplung; Reibwerte usw. nach Tafel 2.

Die Kupplungen Nr. 1 bis 4 erfordern theoretisch bei gleichem Reibmoment, Reibdurchmesser, Reibwert und Lüftweg an der Reibfläche die gleiche Schaltarbeit, obwohl die Schaltkraft H verschieden ist. Erst durch

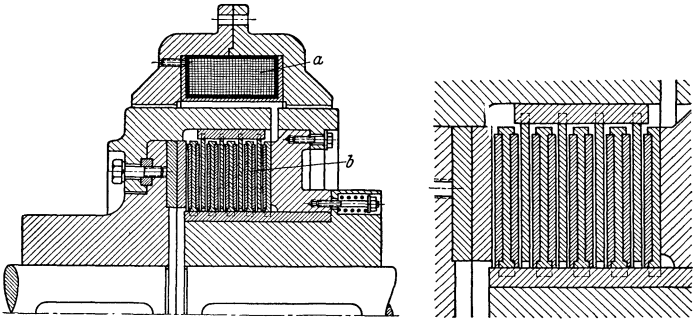


Abb. K 3. Magnet-Schaltkupplung, Bamag.
 a Magnetspule, b außen und innen verzahnte Lamellen mit Reibbelag.

Mithilfe der Reibkraft selbst zum Anziehen der Kupplung (Servo-Wirkung), wie bei der Kupplung Nr. 5 (Schlingband- oder Spreizring-Kupplung) wird

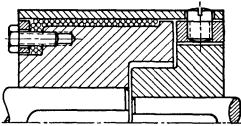


Abb. K 4. Niemann-Rutschkupplung⁹⁾ mit Stahlkugel-Schmierstoff-Füllung.

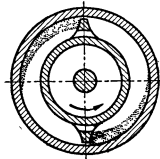


Abb. K 5. Pulvis-Anlaufkupplung^{10 a)} mit Füllung aus graphitertem Stahlsand.

auch die notwendige Schaltarbeit geringer. Bei der Kegelpkupplung Nr. 2 ist die notwendige Schaltkraft H fast unabhängig vom Reibwert μ (abgesehen vom Schwanken des Reibwertes beim Lauf), wenn man zur Vermeidung der Selbsthemmung im Kegel den Neigungswinkel $\alpha \geq \varrho_{\max}$ hält. Die Füllstoffkupplung, Nr. 4 und Abb. K 4, mit Fett-Kugelfüllung ist für lange Rutschzeiten bei geringem Verschleiß geeignet.

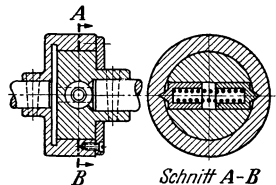
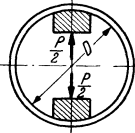
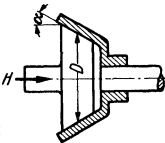
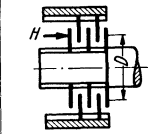
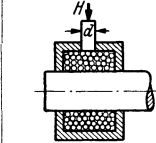


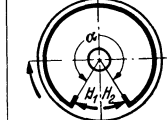


Abb. K 6. Einfache Rutschkupplung¹⁰⁾ mit federbelasteten Schrägflächen.

b) Geringe Schaltarbeit durch größeren Reibdurchmesser D , größeren Reibwert μ , größere Servo-Wirkung (auch Vorkupplung zum Anziehen der Hauptkupplung) und Verringerung des Schaltweges l durch gleichmäßiges Lüften der ganzen Reibfläche, durch Vermeidung von Totgang im Gestänge (starre Glieder, spielfreie Gelenke oder Vorspannfeder) und durch Verringerung des Verschleißes.

Tafel 1. Reibungs-

Nr.	Kupplungsart	Umfangs-Reibkraft U in kg	Schaltarbeit $Sch = H \cdot h \cdot \eta$ bei 1 mm Lüftweg
1	Backen-K. 	$\mu \cdot P_N$ [= 0,35 · P_N]	$U \cdot l/\mu$ [= 0,286 · U]
2	Kegel-K. $H = P_N \cdot \sin \alpha$ 	$\mu \cdot H/\sin \alpha$ [$\approx 1,0 \cdot H$ für $\alpha = \varrho$]	"
3	Scheiben-K. Lamellen-K. $H = P/i$ 	$\mu \cdot H \cdot i$ [= 0,35 · $H \cdot i$]	"
4	Füllstoff-K. $H = P/i$ (s. Abb. K 4) 	$\mu \cdot H \cdot i$ [= 0,35 · $H \cdot i$]	"
5	Band-K. in Drehrichtung angezogen 	$(e^{\mu \cdot \alpha} - 1) \cdot H$ [$\approx 4 \cdot H$]	$\frac{U \cdot l \cdot \alpha}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}$ [= 0,118 · U]
6	Band-K. gegen Drehrichtung angezogen 	$\frac{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}{e^{\mu \cdot \alpha}} \cdot H$ [$\approx 0,8 \cdot H$]	$\frac{U \cdot e^{\mu \cdot \alpha}}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1} \cdot l \cdot \alpha$ [= 0,59 · U]
7	Summen-Band-K. 	$\frac{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}{e^{\mu \cdot \alpha} + 1} \cdot H$ [$\approx 0,67 \cdot H$]	$\frac{U \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + 1}{2(e^{\mu \cdot \alpha} - 1)} \cdot l \cdot \alpha$ [= 0,35 · U]

kupplungen.

Flächenpressung p_{max}	Verschleißbare Reibstoff- menge Q	Erläuterungen
$\frac{U}{f_N \cdot \mu}$ $[\approx 2 \cdot U/D \cdot B]$ für 90°-Backen	$f_N \cdot s$ $[\approx 1,4 \cdot D \cdot B \cdot s]$	P_N Anpreßkraft senkrecht zum Belag in kg l Lüftweg " " " in cm H Schaltkraft " " " in kg h Weg der Schaltkraft " " " in cm η Wirkungsgrad der Kraftübertragung f_N wirksame Belagfläche in cm ² senkrecht zu P_N
$\frac{U}{\pi \cdot D \cdot B \cdot \mu}$ $[\approx 0,91 \cdot U/D \cdot B]$	$\pi \cdot D \cdot B \cdot s$	p Flächenpressung { Eingeklammerte Werte μ Reibwert n.Taf.2 } gelten für $\mu = 0,35$ D mittlerer Durchm. der Reibfläche in cm $M_R = U \cdot D/2$ übertrag. Reibmoment in cmkg B wirksame Breite der Reibflächen in cm i Anzahl der Reibflächen s zulässige Abnutzung in der Dicke in cm $tgQ = \mu$
$\frac{U}{\pi \cdot D \cdot B \cdot \mu \cdot i}$ $[\approx 0,91 \cdot U/D \cdot B \cdot i]$	$\pi \cdot D \cdot B \cdot s \cdot i$	
$\frac{U}{\pi \cdot D \cdot B \cdot \mu}$ $[\approx 0,91 \cdot U/D \cdot B]$	$\pi \cdot D \cdot B \cdot s$	H Schaltkraft in Richtung d. Stößels in kg d Durchmesser des Stößels in cm $i = 4 \cdot D \cdot B/d^2$
$\frac{2 \cdot U \cdot e^{\mu \cdot \alpha}}{(e^{\mu \cdot \alpha} - 1) D \cdot B}$ $[\approx 2,5 \cdot U/D \cdot B]$	$\frac{\alpha (e^{\mu \cdot \alpha} + 1) D \cdot B \cdot s}{4 \cdot e^{\mu \cdot \alpha}}$ $[\approx 1,4 \cdot D \cdot B \cdot s]$	$e^{\mu \cdot \alpha}$ siehe Abschnitt „Riemen und Riemen- triebe“ Abb. R 16, S. 570.
"	"	Eingeklammerte Werte gelten für $\alpha = 270^\circ$ $= 1,5 \pi$ und für $\mu = 0,35$
"	"	$h = h_1 = h_2$ $H = H_1 + H_2$

c) **Gleichmäßiges Reibmoment:** Hierfür entweder den Reibwert und die Anpreßkraft stetig halten durch üppige Abmessungen, geringe Wärmeschwankungen, gleichmäßige Schmierung, geeignete Belag- und Kupplungsart oder bei schwankendem Reibwert durch die steigende Reibkraft die Anpreßkraft entsprechend verringern (Dynamometer). Selbsthemmung an den Reibflächen vermeiden!

d) **Kleinste Baumaße** sind für die Kupplungen Nr. 2, 3, 4 erreichbar, wenn die Erwärmung unbedeutend ist.

e) **Einfluß des Reibwertes.** Bei schwankendem Reibwert schwankt das Reibmoment bei Nr. 1 bis 4 gleichmäßig mit, bei Nr. 5 mehr und bei Nr. 6 weniger als μ .

f) **Einfluß der Drehrichtung.** In jeder Drehrichtung gleich stark wirken Nr. 1 bis 4 und 7, nicht aber Nr. 5 und 6 (Richtwirkung).

g) **Wärmeabfuhr** durch Außenluft ist bei Nr. 3 schlechter als bei den übrigen.

h) **Lebensdauer des Reibbelags** erhöhen durch Schmieren der Reibflächen (Verschleiß sinkt mehr als $\mu!$), durch Glatthalten der Reibflächen und Wahl verschleißfesteren Werkstoffes, durch Herabsetzen der Temperatur mittels besserer Wärmeabfuhr, größerer Kühlfläche, Kühlrippen und künstlicher Kühlung (Luft, Öl, Wasser), durch Verkürzung des Reibwegs und größere Verschleißfläche.

Lebensdauer des Belags⁸⁾: $L = Q/N_R \cdot q$ in Betriebsstunden; die verschleißbare Belagmenge $Q = s \cdot f_N$ in cm^3 , s. Tafel 1; der spezifische Verschleiß q in cm^3/PSh nach Anmerkung der Tafel 2; die Reibleistung N_R in PS siehe Absatz o.

Tafel 2. Reibwerte für verschiedene Reibstoffe.

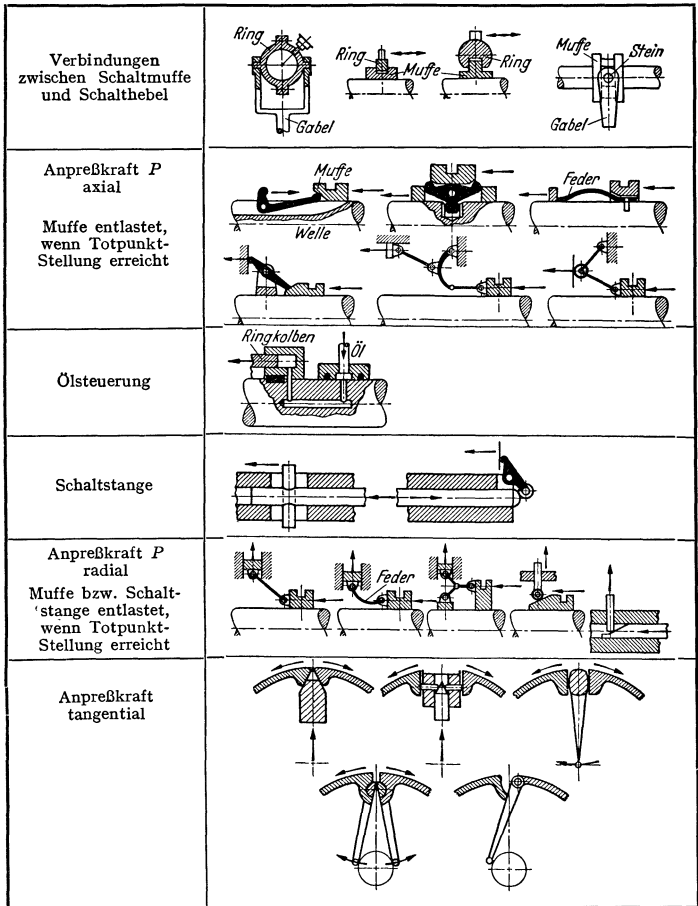
Reibstoffe	Reibwert μ			Zul. Temp.		Zul. Flächen- pressung p in kg/cm^2
	trocken	gefettet	geölt	kurz	Dauer	
Gruppe a:						
Baumwollgewebe m. Kunst- harz auf St, Stg und Ge	0,65-0,4		0,2-0,1	150°	100°	0,5-12
Asbestgewebe mit Kunst- harz	0,5 -0,3		0,2-0,1	300°	200°	0,5-20
Asbest mit Kunstharz hy- draulisch gepreßt	0,4 -0,2		0,15-0,1	500°	250°	0,5-100
Gruppe b:						
Pappelholz auf Ge	0,35-0,2	0,2	0,1	160°	100°	je nach v
„ „ St	0,55-0,25	0,25-0,15		160°	100°	
Leder auf Metall	0,6 -0,3	0,25	0,15			
Kork auf Metall	0,35	0,3				
Gruppe c:						
Bronze auf Bronze oder Ge	0,2	0,15				7-30
Ge auf Ge	0,15-0,25	0,1-0,05	0,1-0,02			
Stahlband auf Ge	0,15-0,18	0,1				
Gehärteter Stahl auf ge- härteten Stahl	0,1		0,03-0,1			

Die Reibwerte sind noch von Temperatur, Geschwindigkeit und Schmierung abhängig^{10 b)}. Für den Verschleiß kann bei den α -Reibstoffen bei Trockenlauf etwa $q \approx 0,25 \text{ cm}^3/\text{PSh}$ und bei Ölschmierung ungefähr $1/6$ davon gerechnet werden^{8) 9)}. Der Verschleiß nimmt oberhalb der Grenztemperatur und bei etwas angerauhter Gegenfläche stark zu.

i) Wartung erleichtern durch leicht zugängliche und eindeutige Nachstellung von Anpreßkraft und Lüftweg, durch Federglied in der Kraftübertragung (Verschleißausgleich) und durch lange Lebensdauer und leichten Ersatz des Reibstoffs.

k) Bedienung der Kupplung (Belastung, Entlastung) kann einseitig durch Federkraft und im übrigen durch Hand oder Fuß und bei großen Kräften durch Magnet, Preßluft, Drucköl und in Sonderfällen durch die Drehrichtung (Überholkupplung) oder durch Fliehkraft (Anlaufkupplung)

Tafel 3. Schaltzeug und Kraftübertragung.



erfolgen. Für die eingeschaltete Kupplung soll das Stellzeug entlastet sein (Selbsthemmung). Selbsthemmung erhöht die Schaltarbeit.

l) Schaltzeug (Tafel 3) zur Übertragung der Schaltbewegung auf die umlaufende Kupplung dient bei Hebelschaltung die Schaltmuffe mit Schaltgabel oder bei Hohlwelle die Schaltstange. Diese pressen über Winkelhebel, Kniehebel, Schraubhebel, Spreizhebel oder Schrägflächen als Kraftübersetzung die Reibflächen zusammen. Bei Preßluft¹⁷⁾ und Drucköl^{21) 35)} erfolgt die Kraftzuführung über Gleitdichtungen durch die Welle und bei Magnetbedienung^{15) 33)} über Schleifringe.

m) Gang der Berechnung. Gegeben sind:

1. Beharrungsmoment M_H in mkg, notfalls aus der im Beharrungszustand zu übertragenden Leistung N (in PS) zu errechnen: $M_H = 716 \frac{N}{n}$.

2. Beschleunigungsmoment M_B in mkg, zu berechnen nach der in der Beschleunigungszeit t_B (in Sekund.) aufzuwendenden kinetischen Energie KE für das zu beschleunigende Massenträgheitsmoment J . Es ist für einen Vollzylinder vom Durchmesser D , der Länge l (in m) und dem spez. Gew. γ :

$$J = 10 \cdot D^4 \cdot l \cdot \gamma,$$

$$KE = J \cdot n^2 / 182,$$

$$M_B = 19,1 \cdot KE / n \cdot t_B.$$

Daraus sind zu errechnen:

3. Das zu übertragende Reib-Moment $M_R = M_H + M_B$.

4. Umfangskraft $U = M_R \cdot 2/D$.

5. Anpreßdruck P_N bzw. Schaltkraft H nach Tafel 1.

6. Schaltarbeit $Sch = P_N \cdot l = H \cdot h \cdot \eta$, wobei der Lüftweg l senkrecht zur Reibfläche einschließlich totem Gang zu rechnen ist. $l = 0,2$ bis $2,0$ mm.

Bedienungskraft oder Schaltkraft:

$$H \leq 12 \text{ kg bei Handbedienung, } H \leq 50 \text{ kg bei Fußbedienung.}$$

Bedienungs- oder Schaltweg:

$$h \leq 0,80 \text{ m bei Handbedienung, } h \leq 0,18 \text{ m bei Fußbedienung.}$$

n) Belastungswerte. Flächenpressung $p = P_N / f_N = 0,8$ bis 10 kg/cm^2 je nach Erwärmung und Verschleiß; $p \cdot \mu \cdot v = 10$ bis 30 je nach Schaltzahl und Erwärmung; Umfangsgeschwindigkeit v in m/s während des Beharrungszustandes am Durchmesser D .

o) Erwärmung. 1. Bei Luftkühlung^{10b)}: Übertemp. $t^\circ = 632 N_R / F \cdot \alpha$ in $^\circ \text{Cels.}$; wobei die Reibleistung über die Betriebsstunde $N_R = A \cdot Z / 270000$ in PS; die Reibarbeit je Schaltung $A = M_R \cdot n \cdot t_B / 19,1$ in mkg; $Z =$ Schaltzahl je Std.; $F =$ gesamte für die Kühlung vollwirksame Oberfläche in m^2 ; die Wärmeübergangszahl α in $\text{kcal/m}^2 \text{std}^\circ$ abhängig von der Umfangsgeschwindigkeit u der Scheibe (Luftgeschwindigkeit). Nach Versuchen mit Trommelbremsen⁷⁾.

$\alpha =$	4,5	23,6	39	51	62	72
$u =$	0	5	10	15	20	25 m/s

Die zulässige Grenztemperatur s. Tafel 2.

2. Bei künstlicher Kühlung ist die abzuführende Kühlmenge

$$K = \frac{632 \cdot N_R}{t_a - t_e} C \text{ in kg/h;}$$

spezif. Wärme des Öls $C \approx 0,4$; $t_a, t_e =$ Ausgangs-, Eingangstemperatur in $^{\circ}\text{C}$.

p) Lebensdauer (siehe Absatz h).

D. Sicherheitskupplungen.

Zur Begrenzung des Drehmomentes eignen sich Brechbolzen, federbelastete Schrägflächen, die bei Überlastung ausklinken, Abb. K 6, und Reibkupplungen, z. B. Abb. K 4. Bei diesen schwankt das Rutschmoment mit dem Reibwert μ (Temperatur). Die Rutschbewegung kann auch zur Signalgebung, zum Entlasten der Kupplung oder zur Stillsetzung des Antriebs herangezogen werden. Auch die Anlaufkupplungen F sind meist als Rutschkupplungen geeignet.

E. Überholkupplung (Richtungskupplung)^{16) 34)},

Klinkengesperre (Uhlhorn-Kupplung), Reibgesperre (Freilauf), Schraubendandkupplungen oder sonstige Reibkupplungen mit Gewindeanzug durch die Umfangskraft bei der Richtungs-umkehr oder Überholbewegung.

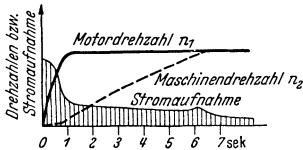
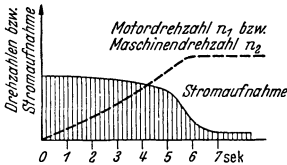


Abb. K 7. Anlauf-Schaubild für Kurzschlußmotor ohne und mit Pulvis-Kupplung.

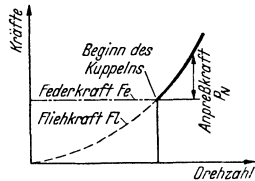


Abb. K 8. Anpreßkraft an Fliehkraft-Kupplungen, z. B. Abb. K 9, in Abhängigkeit von der Drehzahl.

F. Anlaufkupplung^{27) 28) 29) 32)}

für den unbelasteten Anlauf von Kurzschlußmotoren und allmähliche Mitnahme der Arbeitsmaschine sind Fliehkraftkupplungen (Pulvis, Abb. K 5, K 7 und K 6, Metalluk, Albo-Knorr, AEG.). Die Anpreßkraft P_N steigt nach Überwindung der Federkraft F_e durch die Fliehkraft F_l steil mit der Drehzahl an, Abb. K 8.

Berechnung nach Abb. K 9. Die Umfangsreibkraft $U = P_N \cdot \mu = \frac{F_l \cdot a - F_e \cdot b}{C} \mu$. Die Fliehkraft $F_l = m \cdot r \cdot \omega^2 = m v^2 / r$; $F_e =$ jeweilige Federkraft.

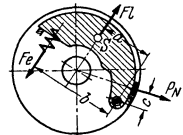


Abb. K 9. Schema Fliehkraft-Kupplung.

G. Augenblickskupplungen

sind meist gesteuerte Gesperre, Drehkeil- oder Springkeil- oder Vielzahnkupplungen.

Schrifttum.

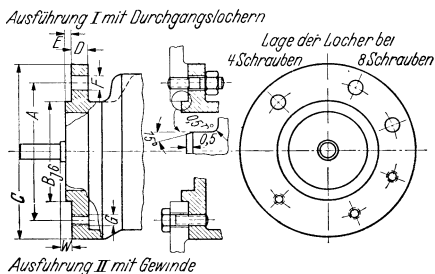
1. v. Ende, E.: Wellenkupplungen und Wellenschalter. Berlin: Julius Springer 1931.
2. Altmann, Fr. G.: Drehfedernde Kupplungen. Z. VDI 1936 S. 245.
3. Ehrhardt, A.: Verschleiß von Reibscheiben in Mehrscheibenkupplungen. Z. VDI 1936 S. 1231 — Diss. Stuttgart 1934.
4. Gehle, H.: Schraubenbandreibungskupplung. Werkst.-Techn. 1934 S. 308.
5. Gehle, H.: Schraubenbandkupplungen. Z. Masch.-Bau 1927 S. 407.
6. DRP. 646573 und 664235.
7. Niemann, G.: Die Erwärmung von Brems scheiben. Fördertechn. 1938 S. 361.
8. Niemann, G.: Über Reibungsbremsen. Berichtsheft Fachtagung f. Maschinenelemente. VDI-Verlag 1936.
9. Preger, E.: Neuere Getriebe an Werkzeugmaschinen. Z. VDI 1933 S. 125.
10. Preger, E.: Einfache Rutschkupplung. Werkzeugmasch. 1936 S. 174.
- 10a. Pulvis-Anlaufkupplung. Werkst. u. Betr. 1935 Heft 7/8 S. 113.
- 10b. Kutzbach K.: Die Prüfung von mech. Bremsen und Bremsbelägen. Z. VDI 1933 S. 443.

Firmenschriften.

11. H. Desch, Hüsten-Ruhr.
12. Eisenwerk Wülfel, Hannover-Wülfel.
13. Lohmann & Stolterfort AG., Witten-Ruhr.
14. Fr. G. Niebuhr, Breslau-Deutsch Lissa.
15. Vogel & Schlegel, Dresden 27.
16. Bamag-Meguín AG., Berlin.
17. Jordan-Bremsen Ges., Berlin-Neukölln.
18. A. Breitbach, Wuppertal-Barmen.
19. Malmedy & Co., Düsseldorf.
20. Kohler & Bovenkamp, Wuppertal-Barmen.
21. Zahnradfabrik Augsburg, vorm. I. Renk, Augsburg.
22. A. Fr. Flender & Co., Bocholt.
23. I. M. Voith, Heidenheim.
24. O. Ortlinghaus Söhne, Remscheid.
25. Benn, Radebeul-Oberlößnitz.
26. Stromag, Schlotmann & Co., Dortmund.
27. Metalluk, Bamberg.
28. Knorr Bremse, Berlin-Lichtenberg.
29. A. Schütz, Wien.
30. PIV-Antrieb-Werner Reimers KG., Bad Homburg v. d. Höhe.
31. Vulkan GmbH., Dortmund.
32. AEG, Berlin.
33. Magnetwerk, Eisenach.
34. Peniger Maschinenfabrik, Penig.
35. Demag AG., Duisburg.

Befestigungsflansche von elektrischen Maschinen.

(Endgültige ISA-Empfehlung 1938.)



A Bezeich- nungsmaß	B ISA-Lehre j 6 ¹⁾	C ≈	D	E	F a)	G		Anzahl der Schrauben	W	Aus- führung	
						Metr.	Whitw. a)			I	II
55	40	70	7	2,5	5,8	M 5	—	4	0	I	II
65	50	80	7	2,5	5,8	M 5	—	4	0	I	II
75	60	90	8	2,5	5,8	M 5	—	4	0	I	II
85	70	105	8	2,5	7,4	M 6	—	4	0	I	II
100	80	120	8	3	7,4	M 6	—	4	5	I	II
115	95	140	10	3	9,5	M 8	5/16"	4	5	I	II
130	110	160	10	3,5	9,5	M 8	5/16"	4	8	I	II
165	130	200	12	3,5	11,5	M 10	3/8"	4	8	I	II
215	180	250	16	4	14	M 12	1/2"	4	8	I	II
265	230	300	20	4	14	M 12	1/2"	4	8	I	—
300	250	350	20	5	18	M 16	5/8"	4	8	I	—
400	350	450	22	5	18	M 16	5/8"	8	8	I	—
500	450	550	22	5	18	M 16	5/8"	8	8	I	—
600	550	660	25	6	22	M 20	3/4"	8	10	I	—
740	680	800	25	6	22	M 20	3/4"	8	10	I	—
940	880	1000	30	6	25	M 22	7/8"	8	10	I	—
1080	1000	1150	32	6	28	M 24	1"	8	10	I	—

Diese Tafel gilt nicht nur für Elektromotoren zum Antrieb von Werkzeugmaschinen, sondern auch für alle anderen Anwendungsgebiete, ausgenommen die Automobilindustrie.

¹⁾ Für die Gegenflanschbohrung wird die ISA-Lehre H7 empfohlen.

²⁾ Gemäß Sonderreihe nach ISA-Komitee 2b.

³⁾ Für den Werkzeugmaschinenbau ist in den metrischen Ländern nur metrisches Gewinde zulässig.

Zahnräder.

A. Grundlagen.

Die Verzahnung auf den sich berührenden Grundkörpern ermöglicht eine zwangsläufige und schlupffreie Bewegungs- und Kraftübertragung zwischen zwei Wellen. Hierbei bleibt die Übersetzung $i = \text{Drehzahl } n_1 / \text{Drehzahl } n_2$ gleich (Kreisräder) oder wechselt gesetzmäßig (Ellipsenräder). Wir verbinden parallele Wellen durch Stirntriebe,

sich schneidende Wellen durch Kegeltriebe,

sich kreuzende Wellen durch Schraubentriebe, Schneckentriebe oder Hyperbeltriebe.

Stirn- und Kegeltriebe wälzen sich im Teilkreis (Wälzkreis) ohne Gleiten aufeinander ab, während bei Schrauben- und Schneckenrieben die Zähne noch längs aufeinander gleiten. Verschleiß und Wirkungsgrad werden dadurch beeinflusst.

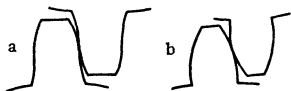


Abb. Z 1a und b. Profile für Zykloiden- und Evolventen-Verzahnung.

I. Normale Zahnform.

a) Die Zahnform ist festgesetzt:

1. durch die Flankenlinie, Abb. Z 3,
2. durch das Zahnprofil, Abb. Z 1.

1. Flankenlinie. Je nach ihrem Verlauf, Abb. Z 2 a bis l, liegt Gerad-, Schräg-, Pfeil-, Kreisbogen- oder Spiralverzahnung usw. vor.

2. Das Zahnprofil ist festgelegt

durch das Flankenprofil (Zykloide oder Evolvente, Abb. Z 1),

durch die Teilung auf dem Teilkreis (Wälzkreis) $t = m \cdot \pi = \pi \cdot d/z$, durch die Zahndicke $e = t/2$, durch die Kopfhöhe $h_k = m$ und die Fußhöhe $h_f \approx 1,16 \cdot m$, Abb. Z 3.

3. Flankenprofil. Zu jeder beliebigen Zahnflanke läßt sich eine Gegenflanke erzeugen, indem man durch die erste als Werkzeug die Gegenflanke beim Abwälzen ausarbeiten läßt. Es fragt sich nur, ob sie vorteilhaft herzustellen und zu verwenden ist.

b) Das Zykloidenprofil entsteht als Radlinie durch Abrollen eines außerhalb des Teilkreises liegenden Rollkreises auf dem Teilkreis (Zahnkopf) und durch Abrollen eines zweiten, innerhalb des Teilkreises liegenden Rollkreises auf dem Teilkreis (Zahnfuß). Der erhabene gewölbte Zahnkopf arbeitet mit dem hohl gewölbten Zahnfuß des Gegenzahnes zusammen, Abb. Z 1 a. Das Fußprofil wird eine Gerade, wenn der Rollkreisdurchmesser gleich $0,5 \times$ Teilkreisdurchmesser ist. Das Zykloidenprofil ermöglicht kleine Zähnezahlen ohne Unterschnitt für das Ritzel. Es ergibt günstige Walzenpressung und günstige Gleitverhältnisse, aber die hohlen Fußflächen sind nicht mit geraden Schneidflanken herstellbar. Der Achsabstand muß genau eingehalten werden, um periodische Fehler zu vermeiden. Es wird daher nur in der Uhrenindustrie, bei Zahnstangenwinden und Triebstockverzahnung (Punktverzahnung) angewendet.

c) Das Evolventenprofil wird durch den Endpunkt einer Geraden (Erzeugende) erzeugt, die sich auf einem Grundkreis abwälzt, der kleiner als der Teilkreis gewählt wird, Abb. Z 4 bis 6. Die entstehenden Zahnflanken sind ballig gegeneinander gewölbt, Abb. Z 1 b und Z 4, so daß die Walzenpressung größer als bei der Zykloidenverzahnung wird. Die Evolventen-Zahnstange, Abb. Z 5, zeigt gerade, schräg liegende Zahnflanken und wird

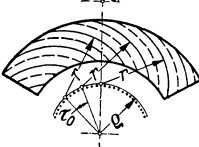
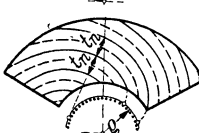
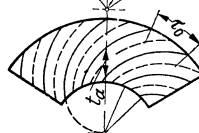
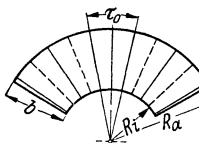
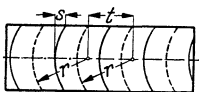
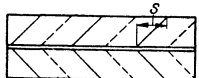
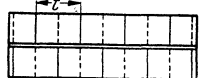
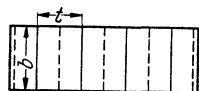


Abb. Z 2 a bis l. Form der Flankenlinien.

a

b

c

d

e

f

g

h

i

k

Zu Abb. Z 2 a bis l

a Geradzähne

b Stufenzähne

c Schrägzähne

β -Schrägungswinkel

γ -Steigungswinkel

(rechtssteigend)

d Pfeilzähne

e Kreisbogenzähne

f Geradzähne

g Schrägzähne

(rechtssteigend)

h Spiralzähne

(rechtssteigend)

i Evolventenzähne

(linkssteigend)

k Kreisbogenzähne

(linkssteigend)

l Böttgerverzahnung

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

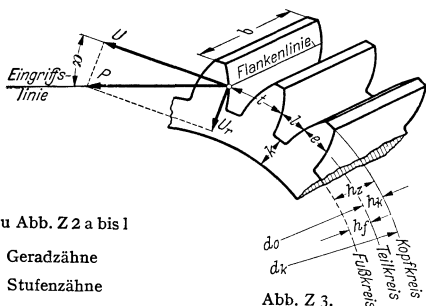


Abb. Z 3.

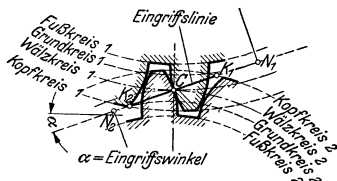


Abb. Z 4. Außenverzahnung.

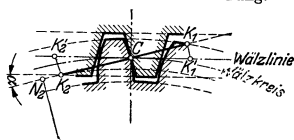


Abb. Z 5. Zahnstange. Eingriffsstrecke. Überdeckungsgrad.

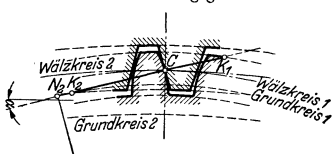


Abb. Z 6. Innenverzahnung.

mit Vorteil als Werkzeug verwendet. Ein Fehler im Achsenabstand ist ohne Einfluß auf den genauen Zahneingriff. Die Bedingung der Allgemeinverzahnung (Eingriffslinie liegt symmetrisch zum Wälzpunkt) ist erfüllt, so daß die mit derselben Zahnstange als Werkzeug 1 hergestellten Räder verschiedener Größe zusammenlaufen können (Satzräder). Für geringe

Zähnezahl ist Schrägverzahnung oder Sonderverzahnung notwendig, um Unterschnitt zu vermeiden.

d) Eingriffswinkel. Mit größerem Eingriffswinkel α , Abb. Z 3 und Z 4, vergrößert sich der Zahndruck, der Achs- und Lagerdruck und verringert sich die Mindestzähnezahl, der Überdeckungsgrad, die relative Gleitgeschwindigkeit und die Biegebeanspruchung des Zahnes. Genormt ist in Deutschland $\alpha = 20^\circ$ (DIN 867), aber auch 15° (Werkzeugmaschinenbau) und $14\frac{1}{2}^\circ$ (England und USA.) sind in Gebrauch.

e) Der Wälzpunkt, Abb. Z 4, ist der gemeinsame Berührungspunkt der Wälzkreise.

f) Eingriffslinie. Auf dieser wandert beim Abwälzen der gemeinsame Berührungspunkt der Zahnflanken, und zwar bei der Zykloidverzahnung auf dem Rollkreis und bei der Evolventenverzahnung auf der gemeinsamen Tangente an die Grundkreise durch den Wälzpunkt, Abb. Z 4.

g) Die Eingriffstrecke, Abb. Z 4, ist das wirklich für den Eingriff ausgenutzte Stück der Eingriffslinie. Die Eingriffslänge γ ist der auf dem Teilkreis gemessene Drehweg, wenn ein Zahn die Eingriffstrecke durchläuft.

h) Der Überdeckungsgrad oder die Eingriffsdauer $\varepsilon = \text{Eingriffslänge } \gamma / \text{Teilung } t$ muß größer als 1 sein. Je größer ε , desto ruhiger der Lauf. Für Geradverzahnung ist $\varepsilon_g = \text{Eingriffstrecke} / \cos \alpha \cdot t$, für Schrägverzahnung ist $\varepsilon_s = \varepsilon_g + b \cdot \sin \beta / m_n \cdot \pi$.

i) Unterschnitt entsteht bei kleinen Zähnezahlen durch die Kopfflanke des Gegenrades (des Werkzeuges), wenn K_2 , Abb. Z 4, außerhalb von $N_1 - N_2$ liegt. Abhilfe durch größere Zähnezahl, also kleinere Teilung, Schrägverzahnung, Profilverschiebung oder größeren Eingriffswinkel. Die Grenzzähnezahl oder Mindestzähnezahl, für die noch kein Unterschnitt eintritt, ist $z_g = 2 / \sin^2 \alpha = 17$ (30) für normale 20° (15°) Geradverzahnung.

k) Zahngleiten. Teilt man den Zahnkopf in gleiche Teilstrecken, so arbeitet mit jeder Teilstrecke eine bestimmte Strecke des Gegenzahnes (Zahnfuß) zusammen. Der Unterschied zwischen Teilstrecke und Gegenstrecke ist die Gleitstrecke, und das Verhältnis Gleitstrecke zu Teilstrecke das spezifische Gleiten. Ein Gleiten, also eine Abnutzung, tritt nur außerhalb und innerhalb des Teilkreises auf, am Teilkreis selbst nur Druck und dadurch Grübchenbildung.

l) Innenverzahnung. Hohlräder, Abb. Z 6, ergeben gegenüber der Außenverzahnung (Vollräder) einen besseren Überdeckungsgrad, geräuschärmeren Lauf, günstigere Walzenpressung und geringeren Platzbedarf. Herstellung und Lagerung des Hohlrades beachten!

m) Wirkungsgrad $\eta = \text{abgeführte Leistung} / \text{zugeführte Leistung}$. Bei bester Ausführung mit Wälzlagern (Gleitlagern) und günstiger Schmierung ist bei Stirn- oder Kegelrädern für ein Räderpaar $\eta = 0,98$ bis $0,99$, bei Kegelrädern $0,97$ erreichbar. Bei abgenutzter Verzahnung bis 15 vH weniger¹⁾ ²⁾ ³⁾.

n) Übersetzung (größer als 1) $i = d_2/d_1 = z_2/z_1 = n_1/n_2$ mit d_1, z_1 und n_1 als Teilkreisdurchmesser, Zähnezahl und Drehzahl des Ritzels und d_2, z_2, n_2 als Teilkreisdurchmesser, Zähnezahl und Drehzahl des Rades.

o) Abmessungen. Modul $m = t/\pi$; $t = \text{Teilung}$; Kopfkreisdurchmesser $d_k = d + 2 \cdot h_k$; Fußkreisdurchmesser $d_f = d - 2 \cdot h_f$; Kopfhöhe $h_k = m$;

¹⁾ Rikli: Über die Messung von Zahnradverlusten. Z. VDI 1911 S. 1435.

²⁾ Kutzbach: Reibung und Abnutzung von Zahnradern. Z. VDI 1926 S. 999.

³⁾ Cranz u. Kammerer: Versuche mit Zahnradern von Straßenbahnwagen. München-Berlin 1923, Verl. Oldenbourg.

Fußhöhe $h_f \approx 1,16 \cdot m$; Kopfspiel $h_f - h_k \approx 0,166 \cdot m$; Achsabstand oder Mittenabstand $a = 0,5(d + D) = 0,5(z + Z)m$. Der Teilkreisdurchmesser $d_0 = m \cdot z$ wird in Berechnungen meist einfach mit d bezeichnet.

Tafel 1. Diametral- und Circular-pitch.

In Ländern des englischen Maßsystems werden Zahnräder nach Diametral- oder nach Circular-pitch berechnet.

Mit Diametral-pitch Dp bezeichnet man die Anzahl Zahnteilungen auf 1 Zoll Länge des Teilkreisdurchmessers, mit Circular-pitch dagegen die Länge einer Zahnteilung in Zoll auf dem Teilkreis gemessen.

$$\text{Diametral-pitch } Dp = \frac{3,14}{Cp} = \frac{25,4}{m}; \quad \text{Circular-pitch } Cp = \frac{3,14}{Dp} = \frac{m}{8,09};$$

$$\text{Modul } m = \frac{25,4}{Dp} = 8,09 \cdot Cp.$$

Diametral-pitch ...	1	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₂	1 ³ / ₄	2	2 ¹ / ₄	2 ¹ / ₂
Modul	25,4	20,32	16,93	14,51	12,7	11,29	10,16
Teilung	79,8	63,84	53,19	45,58	39,9	35,47	31,92
Diametral-pitch ...	2 ³ / ₄	3	3 ¹ / ₈	4	5	6	7
Modul	9,23	8,47	7,26	6,35	5,08	4,23	3,63
Teilung	29	26,61	22,81	19,95	15,96	13,29	11,40
Diametral-pitch ...	8	9	10	11	12	14	16
Modul	3,17	2,82	2,54	2,31	2,12	1,81	1,59
Teilung	9,96	8,86	7,98	7,26	6,66	5,69	5
Diametral-pitch ...	18	20	22	24	26	28	
Modul	1,41	1,27	1,15	1,06	0,98	0,91	
Teilung	4,43	3,99	3,61	3,33	3,08	2,86	

Circular-pitch	1 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₈	9 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₄	5 ¹ / ₁₆	3 ¹ / ₈	7 ¹ / ₁₆
Modul	0,505	1,01	1,51	2,02	2,52	3,03	3,53
Teilung	1,586	3,17	4,74	6,35	7,92	9,52	11,09
Circular-pitch	1 ¹ / ₈	9 ¹ / ₁₆	5 ¹ / ₈	11 ¹ / ₁₆	3 ¹ / ₄	13 ¹ / ₁₆	7 ¹ / ₈
Modul	4,04	4,54	5,05	5,56	6,06	6,57	7,08
Teilung	12,69	14,26	15,87	17,47	19,04	20,63	22,24
Circular-pitch	15 ¹ / ₁₆	1	1 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₈	13 ¹ / ₁₆	1 ¹ / ₄	15 ¹ / ₁₆
Modul	7,58	8,09	8,59	9,10	9,60	10,11	10,62
Teilung	23,81	25,42	26,99	28,59	30,16	31,76	33,36
Circular-pitch	13 ¹ / ₈	17 ¹ / ₁₆	11 ¹ / ₈	15 ¹ / ₈	13 ¹ / ₄	17 ¹ / ₈	2
Modul	11,12	11,62	12,13	13,14	14,15	15,17	16,18
Teilung	34,93	36,49	38,11	41,28	44,45	47,66	50,83

Beispiel für Diametral- und Circular-pitch. Ein Rad hat 30 Zähne und 5" Teilkreisdurchmesser
 $D_p = \frac{30}{5} = 6''$; $C_p = \frac{3,14}{6} = 0,523''$; $d_k = \frac{30 + 2}{6} = 5,333''$.

p) Kräfte. Umfangskraft im Teilkreis $U = 2M/d$ mit $M = 71620 N/m$ = Drehmoment in cmkg und Leistung N in PS; Zahnkraft (senkrecht zur Zahnfläche) $P = U/\cos \alpha$ bei gerader Evolventenverzahnung.

q) Normen. DIN 867 (Zahnform); 868 (Begriffe); 869 (Bestellung); 870 (Profilverschiebung); 780 (Modulreihe).

Modulreihe nach Din 780:

0,3 (0,35), 0,4 (0,45), 0,5 (0,55), 0,6 (0,65), 0,7, 0,8, 0,9,

1, 1,25, 1,5, 1,75, 2, 2,25, 2,5, 2,75, 3, 3,25, 3,5, 3,75, 4, 4,5, 5, 5,5, 6,

6,5, 7, 8, 9,

10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 50,

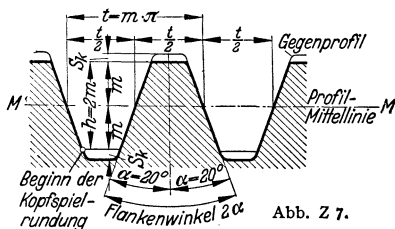
55, 60, 65, 70, 75.

Tafel 2. Pitch-Formeln. (Alle Maße in engl. Zoll.)

Gesucht	Bezeichnung	Gleichung
Diametral-pitch	D_p	$D_p = \frac{z}{d_o} = \frac{z+2}{d_k} = \frac{3,1416}{C_p}$
Circular-pitch (in engl. Zoll im Bogen gemessen)	C_p	$C_p = \frac{3,1416 \cdot d_o}{z} = \frac{3,1416 \cdot d_k}{z+2} = \frac{3,1416}{D_p}$
Kopfkreisdurchmesser des Rades	d_k	$d_k = \frac{z+2}{D_p} = \frac{(z+2) C_p}{3,1416} = d_o + 2 \cdot h_k$
Teilkreisdurchmesser	d_o	$d_o = \frac{z}{D_p} = \frac{z \cdot C_p}{3,1416}$
Zähnezahl	z	$Z = d_k \cdot D_p - 2 = d_o \cdot D_p$
Zahn­lücke (im Bogen gemessen)	l	$l = \frac{1,5708}{D_p} = \frac{C_p}{2}$
Zahn­dicke (im Bogen gemessen)	e	$e = \frac{1,5708}{D_p} = \frac{C_p}{2}$
Zahn­höhe	h_z	$h_z = \frac{2,1571}{D_p} = 0,6897 \cdot C_p$
Zahn­kopfhöhe	h_k	$h_k = \frac{d_k}{z+2} = \frac{d_o}{z} = \frac{1}{D_p} = 0,3183 \cdot C_p$
Zahn­fuß­höhe	h_f	$h_f = \frac{1,1571}{D_p} = 0,3714 \cdot C_p$
Achsen­ab­stand zweier Räder mit Zähnezahlen z_1 und z_2	a	$a = \frac{z_1 + z_2}{2 \cdot D_p} = \frac{(z_1 + z_2) \cdot C_p}{6,2832}$

Zahnform nach DIN 867

Zahnstangenprofil als Bezugsprofil (mit Gegenprofil).



Im Profil sind die Flanken Geraden (Evolventenverzahnung), im Raume Ebenen.

Eingriffswinkel $\alpha = 20^\circ$ (= halber Flankenwinkel).

Gemeinsame Zahn­höhe $h = 2 \cdot m$ (m = Modul = Durchmesser­teilung).

In der Profilmittellinie MM (bei Flankenspiel 0)

Zahn­dicke = Zahn­lücke = $t/2$ (t = Um­fang­steilung).

Die Kopf­spiel­rundung beginnt dort, wo das Gegen­profil auf­hört (Form der Rundung ab­hän­gig vom Her­stel­lungs­ver­fahren).

Kopf­spiel $S_k = 0,1 \cdot m$ bis $0,3 \cdot m$ (ab­hän­gig vom Her­stel­lungs­ver­fahren und von Sonder­be­dürf­nis­sen).

Für Flankenspiel und Flankeneintrittspiel ist Normung bzw. Angabe der Passung vorbehalten.

II. Sonder-Verzahnung

zum Vermeiden von Unterschnitt bei kleiner Zähnezahl.^{1) 2) 3)}

a) Profilverziehung^{3) 4) 5) 6) 7)}. Die Profilmittelle (Zahndicke = Zahnweite) liegt nicht mehr auf dem Wälzkreis. Die Zahnstange als Bezugsprofil wird bei der Zahnradherstellung vom Wälzkreis um $k = x \cdot m$ abgerückt, Abb. Z 8 und Z 9, wobei meistens $x = 0,25$ oder $0,5$ oder $0,75$ ist. Die notwendige Abrückung zur Vermeidung von Unterschnitt beträgt für die 20° -Verzahnung $k = (14 - z)m/17$; für 15° -Verzahnung $k = (25 - z)m/30$.

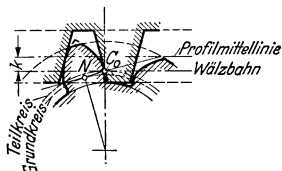


Abb. Z 8. Profilverziehung k für $z_2:z_1 = \infty$ (Zahnstange). $k = x \cdot m$ (gezeichnet $x = 0,65$).

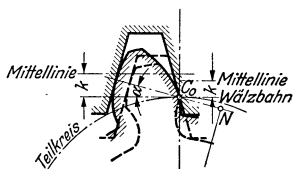


Abb. Z 9. Profilverziehung k , rechts für $z_2:z_1 = 1$, links für $z_2:z_1 = 8$; gestrichelt eingezeichnet, unterschrittene Zahnform ohne Profilverziehung.

V-Null-Getriebe: Die Profilverziehung ist für Ritzel und Rad gleich groß, aber entgegengesetzt, so daß der Achsabstand sich nicht ändert.

V-Getriebe: Die Profilverziehung für Ritzel und Rad hebt sich nicht auf; der Achsabstand und der Eingriffswinkel ändern sich.

b) Profilverziehung und Änderung des Eingriffswinkels.

Hierbei ist V-Null-Getriebe und V-Getriebe möglich⁸⁾.

c) Änderung des Eingriffswinkels allein⁹⁾.

Vergrößerte Eingriffswinkel ergeben günstigere Unterschnitts-Verhältnisse.

III. Schrägverzahnung, Abb. Z 2 c und d.

Die Zähne stehen um den Winkel β schräg zur Achse ($\beta \approx 10^\circ \dots 20^\circ$). Maßgebend für die Herstellung und Berechnung ist der Modul im Normalchnitt $m_n = d \cos \beta / z$ und die rechnerische Zähnezahl $z_n = z / \cos^3 \beta$; maßgebend für den Durchmesser und die wirkliche Zähnezahl z ist der Modul im Stirnschnitt $m_s = d / z = m_n / \cos \beta$, der meist unrund ausfällt. Im Gegensatz zur Geradverzahnung wandert der Zahngriff über die Zahnbreite; der Überdeckungsgrad wird größer: $\varepsilon_s = \varepsilon_g + b \sin \beta / m_n \cdot \pi$, der Lauf ruhiger, der Zahn biegeunfallfester, die zulässige Belastung größer, die Mindestzähnezahl $z_{\min} = z_g \cdot \cos^3 \beta$ kleiner, so daß durch Vergrößerung des Schrägungswinkels auch bei sehr kleiner Zähnezahl noch Unterschnitt vermieden werden kann. Man beachte aber den entstehenden Achsschub $A = U \cdot \tan \beta$ und die be-

¹⁾ Schiebel: Zahnräder. I. Teil. Berlin: Julius Springer 1930.

²⁾ Buckingham-Olah: Stirnräder mit geraden Zähnen. Berlin: Julius Springer 1932.

³⁾ Kutzbach: DIN 870.

⁴⁾ Lasche: Elektrischer Antrieb mittels Zahnradübersetzung. Z. VDI 1899 S. 1492.

⁵⁾ Jung: Betrieb 1919 S. 104.

⁶⁾ Kutzbach: Grundlagen und Fortschritte der Zahnradherzeugung. Berlin: VDI-Verlag 1925.

⁷⁾ Trier: Die Zahnformen der Zahnräder. Werkstattbuch 47. Berlin: Julius Springer 1939.

⁸⁾ Plessing: Verzahnung mit belieb. Eingriffswinkel. Z. VDI 1910 S. 1682.

⁹⁾ Die Maagzahnäder usw. Schweizerische Bauzeitung 1917 Nr. 12.

sonderen Anforderungen an Herstellung, Lagerung und Genauigkeit. Bei Pfeil- und Bogenverzahnung, Abb. Z 2d und e, ergeben sich ähnliche Vor-
teile ohne Achsschub.

IV. Kegel- und Schraubentriebe.

a) **Kegeltriebe** sind ihrer besonderen Bedeutung wegen in Abschnitt C
in sich abgeschlossen behandelt.

b) **Schraubentriebe.** Läßt man Stirnräder mit Schrägverzahnung und
mit gleicher Normalteilung, aber verschiedenen Schrägungswinkeln β mit-
einander laufen, Abb. Z 10 und Z 11, so müssen die Achsen im Winkel
 $\delta = \beta_1 + \beta_2$ zueinanderstehen. Die Zähne gleiten aufeinander und berühren
sich nur in einem Punkte. Ihre Übersetzung wird $i = n_1/n_2 = z_2/z_1$

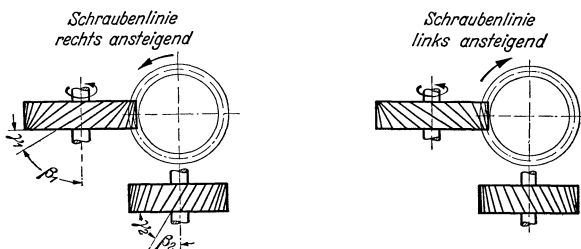


Abb. Z 10. Schraubelinie rechts ansteigend. Abb. Z 11. Schraubelinie links ansteigend.

$= d_2 \cdot \cos \beta_2 / d_1 \cdot \cos \beta_1$ und ist also nicht nur von den Durchmessern, sondern
auch von den Schrägungswinkeln abhängig. Für gleiche Durchmesser und
für $\delta = 90^\circ$ Kreuzungswinkel der Achsen ergeben sich folgende Über-
setzungen und Schrägungswinkel:

Tafel 3. Übersetzung und Schrägungswinkel an Schraubentrieben.

Übersetzung $i = \frac{n_1}{n_2} = \operatorname{tg} \beta_1$	Schrägungswinkel	
	des treibenden Rades β_1	des getriebenen Rades β_2
1	45°	45°
1 1/2	56° 19'	33° 41'
2	63° 26'	26° 34'
2 1/2	68° 12'	21° 48'
3	71° 34'	18° 26'
3 1/2	74° 3'	15° 57'
4	75° 58'	14° 2'
4 1/2	77° 28'	12° 32'
5	78° 41'	11° 19'
6	80° 32'	9° 28'

Der Wirkungsgrad der Verzahnung $\eta_s = \frac{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \beta_2}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta_1}$ ist vom Reibwert
 $\mu = \operatorname{tg} \varrho$ und vom Schrägungswinkel β abhängig; daher möglichst β_1
(treibendes Rad) größer als β_2 (getriebenes Rad) wählen. Bei gegebenem

Achsenwinkel wird η_s am größten für $\beta_1 = \frac{\nu + \eta}{2}$. Der Verschleiß begrenzt die übertragbare Leistung. Beachte auch den Achsialschub. Berechnung und Beziehungen Tafel 12.

B. Berechnung und Bemessung der Verzahnung.

I. Stirnräder mit geraden Zähnen, Abb. Z 2a, sollen heute vor allem auf Walzenpressung und Lebensdauer neben der bisher allein üblichen Berechnung auf Biegebeanspruchung (bisherige c-Formel) berechnet werden.

a) Die „Walzenpressung“¹⁾ zwischen den Zahnflanken $k = P/b \cdot \delta$ bestimmt die Ritzelabmessungen. Hierbei ist $\delta = \delta_1 \cdot \delta_2 / (\delta_1 \pm \delta_2)$ mit δ_1 und δ_2 als Krümmungsdurchmesser der sich berührenden Zahnflanken, mit b als Zahnbreite in cm und P als Zahnkraft in kg.

Für die Evolventenverzahnung werden nach der Walzenpressung im Teilkreis die erforderlichen Abmessungen des Ritzels:

$$b \cdot d_1^2 = \frac{M_1}{k} \cdot \frac{i \pm 1}{i} \cdot \frac{2}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad \text{oder} \quad k = \frac{U}{b \cdot d_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{i \pm 1}{i},$$

für die 15°-Verzahnung:

$$b \cdot d_1^2 = 8 \frac{M_1}{k} \cdot \frac{i \pm 1}{i} = 572000 \frac{N}{k \cdot n_1} \cdot \frac{i \pm 1}{i} \quad \text{oder} \quad k = \frac{4,0 \cdot U}{b \cdot d_1} \cdot \frac{i \pm 1}{i},$$

für die 20°-Verzahnung:

$$b \cdot d_1^2 = 6,25 \frac{M_1}{k} \cdot \frac{i \pm 1}{i} = 447500 \frac{N}{k \cdot n_1} \cdot \frac{i \pm 1}{i} \quad \text{oder} \quad k = \frac{3,12 \cdot U}{b \cdot d_1} \cdot \frac{i \pm 1}{i}.$$

Das Pluszeichen gilt für Außenverzahnung, das Minuszeichen für Innenverzahnung.

Hierbei ist in cm, kg und PS am Ritzel: b die nutzbare Breite, d_1 der Teilkreisdurchmesser, M_1 das Drehmoment, U die Umfangskraft im Teilkreis, n die Drehzahl, N die Leistung, i die Übersetzung = n_1/n_2 und k die zulässige Walzenpressung nach Tafel 4 und 5.

Für das Gegenrad ist der notwendige Werkstoff für den gleichen k -Wert, aber für die Drehzahl des Rades aus der Tafel 4 bzw. 5 zu entnehmen.

Die Wahl der rechnerischen Lebensdauer h in Betriebsstunden bei Nennlast ist abhängig von der Häufigkeit und Zeitdauer der Nennlast oder Überlast. Sie ist so anzusetzen, daß das Getriebe die wirkliche Lebensdauer der sonstigen Maschine erreicht.

Für ausgeführte vollbelastete Dauergetriebe, wie z. B. Turbinengetriebe, beträgt die auf Walzenpressung nachträglich ermittelte rechnerische Lebensdauer etwa $h = 40000$ bis 150000 Betriebsstunden.

Für ausgeführte, nur zeitweise eingeschaltete oder nur zeitweise voll belastete Getriebe beträgt $h = 50$ bis 5000 Betriebsstunden. Hierunter fallen Schaltgetriebe von Werkzeugmaschinen und Kraftwagen, Flugzeuggetriebe, Krangetriebe usw. Für mehrfachen Flankeneingriff je Umdrehung ist h oder n entsprechend mehrfach einzusetzen; für betriebsmäßig auftretende Überlastungen durch Stöße, Teilfehler, Schwingungen oder durch ungleiche Kraftverteilung auf die Zahnbreite (schlechte Lagerung) ist die

¹⁾ Walzenpressung und Grübchenbildung bei Zahnrädern im Berichtsheft der Fachtagung für Maschinenelemente 1938, VDI-Verlag; ferner „Zahnräder auf Walzenpressung und Lebensdauer berechnet.“ Werkstatt und Betrieb 1938 Heft 3/4 Seite 29, und Heft 21/22., Seite 294. Die Walzenpressung k läßt sich auf die Hertzsche Pressung p zurückführen: $k = 2,86 p^2/E$, wobei E der Elastizitätsmodul in kg/cm² ist.

Tafel 4. k_{5000} -Werte in kg/cm^2 .

Der angegebene k_{5000} -Wert gilt für Stahl oder Stahlguß als Gegenwerkstoff für eine rechnerische Lebensdauer $h = 5000$ Betriebsstunden bei voller Belastung bis zum Eintritt der Grübchenbildung unter einwandfreien Betriebsumständen. Bei Gußeisen als Gegenwerkstoff ist der 1,5fache Wert zu nehmen. Die Tafel beruht auf der Beziehung $k = \frac{0,68 \cdot H^2}{E \cdot W^{1/3}}$ in kg/mm^2 mit der Brinell-Härte H in kg/mm^2 und dem Elastizitätsmodul $E = 21000 \text{ kg/mm}^2$ für Stahl; $W = \frac{n \cdot h \cdot 60}{1000000}$ als Zahl der Überrollungen in Millionen ($n = U/\text{min}$).

Werkstoff der Verzahnung	Brinell-härte H kg/mm^2	Drehzahlen in U/min										
		10	25	50	100	250	500	750	1000	1500	2500	5000
St 42; Stg 52	125	35	26	20	16	12	9,5	8,3	7,5	6,6	5,6	
St 50	153	52	38	31	24	18	14	12	11	9,8	8,3	6,6
St 60	180	73	53	42	34	25	20	17	16	14	11	9,1
St 70	208	97	71	57	45	33	26	23	21	18	15	12
Si-Mn-St 75-80	230		87	69	55	41	32	28	26	22	19	15
Si-Mn-St 85-90	260			89	70	52	41	36	33	28	24	19
Legierter Einsatzstahl gehärtet	600				374	276	219	190	174	152	128	100

Tafel 5. φ -Werte zum Umrechnen der k_{5000} -Werte aus Tafel 4 für eine andere Lebensdauer. $k = k_{5000} \cdot \varphi$.

h in Betriebsst.	150	312	625	1200	2500	5000	10000	40000	80000	150000	300000
φ	3,2	2,5	2	1,6	1,25	1	0,8	0,5	0,4	0,32	0,256

Nennlast entsprechend höher einzusetzen. Ebenso bei Änderung der Zahnform durch starken Reibverschleiß (schlechte Schmierung! s. Absatz f und Abschnitt „Schmiermittel“).

b) Der Modul m ¹⁾ ist möglichst klein zu wählen. Er ist nach unten durch die Biegebeanspruchung des Zahnes (s. Punkt c) und ferner durch die Güte der Lagerung (Zahneck-Bruchgefahr) nach Tafel 8 begrenzt, nach oben durch die Mindestzähnezahl z_{\min} nach Tafel 7 auf

$$m \geq \frac{U \cdot q}{b \cdot \sigma} = m_{\min} \leq \frac{d_1}{z_{1\min}}$$

c) Die Biegebeanspruchung¹⁾ im Zahnfuß ist nachzuprüfen. Für die

Tafel 6. Kleinster Modul für verschiedene Verhältnisse.

	Lagerung	Mindest- m (m_{\min})
Stirnräder mit geschnittenen Zähnen	Wälzlager oder vorzügliche Gleitlager auf starrem Unterbau bei steifen Wellen	$b/30$
	Gute Lagerung in Getriebekästen u. ähnl. Fälle	$b/25$
	Lagerung auf Eisenkonstruktionen, Trägern und dergleichen	$b/15$
Stirnräder mit sauber gegossenen Zähnen		$b/10$

¹⁾ K. Wißmann: Berechnung und Konstruktion von Zahnrädern usw. Diss. T. H. Berlin, 1930. In der Rechnung ist der Modul m in Zentimeter einzusetzen, um die Dimensionen der Gleichung zu wahren.

übliche Evolventenverzahnung ist $\sigma = \frac{U \cdot q}{b \cdot m}$ mit U als Umfangskraft, b als Breite, m als Modul und q nach Tafel 8; Maße in kg und cm. Die zulässigen Werte für Betriebsbelastung σ gibt Tafel 9. Für selten auftretende Höchstbelastung z. B. Zahnstangenwinden, muß σ unterhalb der Fließgrenze des Werkstoffs liegen.

Tafel 7. Kleinste Zähnezahl des Ritzels $Z_{1 \min}$ für 20°-Verzahnung.

Betriebsart	Mindestzähnezahl des Ritzels
Räder mit großen Geschwindigkeiten bei erheblichen Kräften (Motorvorgelege)	16 ($\epsilon > 1,5$)
Räder mit mittleren Geschwindigkeiten	12
Räder mit geringen Geschwindigkeiten oder geringen Kräften (möglichst nur für ungeord. Zwecke)	10
Mindestzähnesumme bei Außenverzahnungen	$Z_{1 \min} + Z_{2 \min}$ $= 24$ ($\epsilon < 1$)
Mindestzähnezahl des Rades bei Innenverzahnungen....	$Z_{2 \min} = \text{Zähnezahl des Ritzels} + 10$

Tafel 8. q -Werte zur Berechnung der Biegebeanspruchung (Modul m in cm).

Zähnez. z	Außenverzahnung																	
	12	13	14	15	16	17	18	21	24	28	34	40	50	65	80	100	∞	
q für 20°	4,6	4,35	4,1	3,9	3,75	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	
q für 15°		5,38	5,22	5,07	4,93	4,8	4,68	4,37	4,13	3,9	3,7	3,5	3,4	3,27	3,18	3,1	2,8	
Zähnez. z	Innenverzahnung										24	30	38	50	70	100	200	∞
											1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
											1,77	1,86	1,94	2,1	2,22	2,32	2,5	2,8

Tafel 9. σ -Werte für die zulässige Biegebeanspruchung im Zahnfuß.

Werkstoffe	σ in kg/cm ²
Ge 18	bis 450
St 42, Stg 52	950
St 50	1100
St 60	1250
St 70	1400
Si-Mn St 75-80	1600

Werkstoffe	σ in kg/cm ²
Si-Mn St 85-90	bis 1800
leg. Einsatzst. geh.	3600
Rotguß	600
Ph Bronze	800
Deltametall geg.	1000
Weißbuche	200
Resitex	320
l lignofol Z	460

Tafel 10. c -Werte für verschiedene Kunststoffe bei $v=10$ m/s¹).

Werkstoff	Hersteller	C-Wert kg/cm ²
Turbax	Jarowslaw	13,3
Aclait	Acla	14
Ferrozell	Deutsche Ferrozell	11,5
Durcoton	Meirowsky	9
Harex	Römmeler	12,5

Werkstoff	Hersteller	C-Wert kg/cm ²
Novotext	AEG	9,5
Resitex	Bosch	9
Unitex	Hochvolt-Isolation	11
Lignofol Z	Dynamit	14,4

¹) H. O p i t z, im Berichtsheft der Fachtagung für Maschinenelemente 1938. VDI-Verlag.

Tafel 11. Beziehungen für Stirnräder genormter Verzahnung.

Benennung	Ritzel		Rad	
	Kurzzeichen	gleich	Kurzzeichen	gleich
Drehzahl je Minute	n_1	$i n_2 = n_2 \cdot \frac{z_2}{z_1}$	n_2	$\frac{n_1}{i} = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2}$
Zähnezahl	z_1	$\frac{z_2}{i} = z_2 \cdot \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_{01}}{m}$	z_2	$i z_1 = z_1 \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{02}}{m}$
Übersetzungsverhältnis	i	$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{02}}{d_{01}}$		
Teilung in mm	t	$m \cdot \pi = \hat{s} + \hat{l}$		
Zahndicke „ „	\hat{s}	$\left\{ \begin{array}{l} \hat{s} = \hat{l} = \frac{t}{2}, \text{ wenn kein Flankenspiel vor-} \\ \text{handen, also bei genau bearbeiteten Rädern;} \\ \text{bei unbearbeiteten Radern } \hat{l} > \hat{s} \end{array} \right.$		
Zahlücke „ „	\hat{l}			
Modul „ „	m	$\frac{t}{\pi} = \frac{d_{01}}{z_1} = \frac{d_{02}}{z_2}$		
Zahnhöhe „ „	h_z	$2\frac{1}{8}m = h_k + h_f$		
Kopfhöhe „ „	h_k	m		
Fußhöhe „ „	h_f	$h_k + S_k = 1,16m$		
Kopfspiel „ „	S_k	$0,16m$		
Gemeinsame Zahnhöhe. „ „	h	$2m$; siehe DIN 867		
Eingriffswinkel „ °	α	20° , bisher 15°		
Teilkreisdurchmesser mm	d_{01}	$m \cdot z_1$	d_{02}	$m \cdot z_2$
Kopfkreisdurchmesser „ „	d_{k1}	$d_{01} + 2m = m(z_1 + 2)$	d_{k2}	$d_{02} + 2m = m(z_2 + 2)$
Achsenabstand „ „	a	$\frac{d_{01} + d_{02}}{2} = m \frac{z_1 + z_2}{2}$		
Zahnbreite „ „	b			
Kranzstärke „ „	k	mindestens $1,6 \cdot m$		
Umfangsgeschwindigkeit im Teilkreise „ m/s	v	$\frac{d_{01} \cdot \pi \cdot n_1}{60000} = \frac{d_{02} \cdot \pi \cdot n_2}{60000}$		
Umfangskraft „ „ kg	U	$\frac{75 N_1}{v} = c \cdot b \cdot t$; b und t in cm		
Leistung „ „ PS	N_1	$\frac{U \cdot v}{75} = \frac{N_2}{\eta}$	N_2	ηN_1
Wirkungsgrad des Getriebes .	η	$\frac{N_2}{N_1} = \eta_l \cdot \eta_w = 0,92$ bis $0,98$ f. unbearbeitete bis bearb. u. gut geschmierte R.		
„ der Lagerung .	η_l			
„ „ Wälzung .	η_w			
Walzenpressung	k	$\frac{3,12 \cdot U}{b \cdot d_1} \cdot \frac{i \pm 1}{i}$ für 20° -Verz.		
Biegebeanspruchung	σ	$U \cdot q / b \cdot m$		
c-Wert	c	$U / b \cdot t$		

Zahlentafel 11 (Fortsetzung).

Benennung	Kurzzeichen	
Eingriffstrecke	g	ausgenützte Strecke der Eingriffslinie
Eingriffslänge	γ	Drehweg auf Teilkreis für einen Zahneingriff. Für Gerad-Verzahnung $\gamma = g/\cos \alpha$
Überdeckungsgrad	ε	$\varepsilon = \frac{\gamma}{t}$

Die alte Berechnungsart (c-Formel) mit Umfangskraft $U = c \cdot b \cdot t$ ist nur hilfswise zu verwenden, wenn k_{zul} nicht bekannt ist, wie z. Z. für Kunststoffe. Hierbei ist etwa $c = 0,7 \cdot \sigma_{zul}/(v + 11)$.

Für Resitex wird z. B. angegeben: $c = (20 - 12,5 \lg v)a$, mit $v =$ Umfangsgeschwindigkeit im m/s, wobei

$z =$	12	18	30	80	200
$a =$	1	1,2	1,5	1,8	2,26

d) Die übertragbare Leistung N ist bei Drehzahlen über 1000 U/min durch die Erwärmung begrenzt. $N_{max} = 5 \cdot d_1 \cdot b$; Maße in PS und cm^3 .

e) Sonstige Abmessungen. $d_1 = m \cdot z_1$; $d_2 = i \cdot d_1$; die Zahnkopfhöhe bei Außenverzahnung $h_k = m$ und bei Innenverzahnung wie folgt:

Zähnezahl	20—22	23—26	27—31	32—39	40—51	52—74	75—130	üb. 130
Kopfhöhe	0,60 m	0,65 m	0,70 m	0,75 m	0,80 m	0,85 m	0,90 m	0,95 m

¹⁾ H. Hofer: Die zuläss. Zahnradbeanspr. usw. Werkst.-Techn. 1931 S. 128.

Anweisung zu Abb. 12.

1. Ritzel. Schnittpunkt n -Ordinate mit Werkstoffkennlinie gibt waagrecht nach rechts projiziert Beiwert k_{5000} .

Fluchtlinie $M - k_{5000}$ gibt Schnittpunkt auf Hilfslinie A,

Fluchtlinie $i - h$ gibt Schnittpunkt auf Hilfslinie B,

Fluchtlinie $A - B$ gibt Wert $b d^2$.

Teilkreisdurchmesser d_1 nach praktischen Erwägungen (Wellendurchmesser) zu wählen; daraus und aus $b d^2$ ist b zu berechnen.

Kleinster Modul m_{min} . . . nach Tafel 6 } S. 608 und 609.
 Kleinste Zähnezahl z_{min} . . . nach Tafel 7 }

Größter Modul $m_{max} = \frac{d_1}{z_{min}}$.

Endgültiger Modul zwischen m_{min} und m_{max} zu wählen.

Endgültige Zähnezahl $z = \frac{d_1}{m}$.

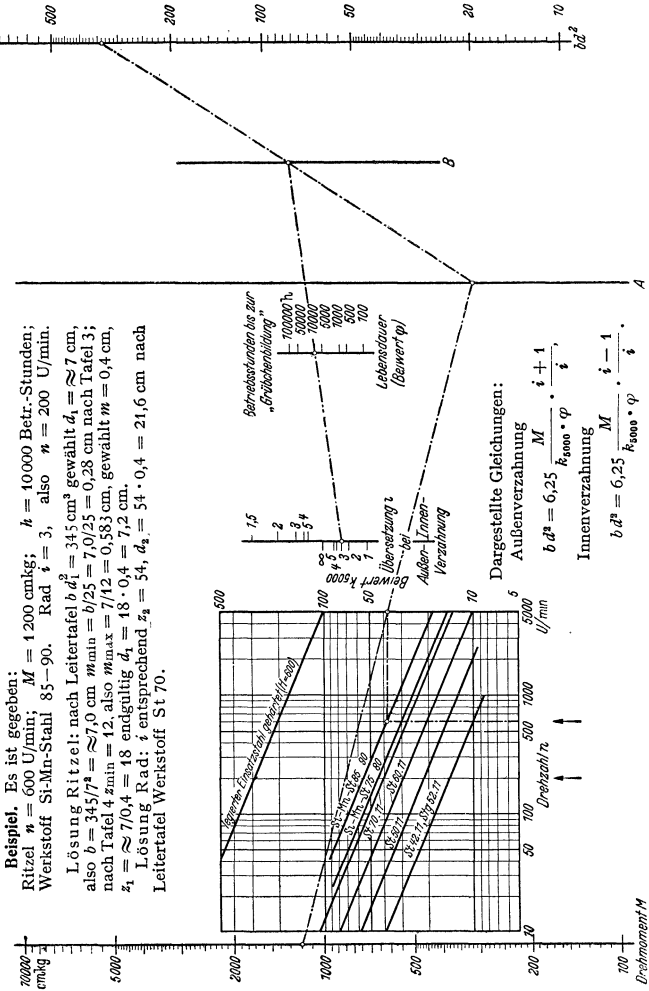
2. Rad. m und z nach Ritzel und Übersetzung i . k_{5000} des Ritzels waagrecht nach links auf Ordinate Rad-Drehzahl projiziert gibt Werkstoff nach nächsthöherer Schräge.

Abb. 12. Leitertafel zur Berechnung von Stirnrädern mit 20°-Evolventen-Verzahnung auf Walzenpressung und Lebensdauer.

Umrechnung auf andere Winkel nach folgender Hilfstafel

Für andere Eingriffswinkel sind die Werte bd^3 mit dem Faktor α malzunehmen.

Eingriffswinkel	12,5°	15°	17,5°	20°	25°	30°
Faktor α	1,52	1,29	1,12	1	0,84	0,74



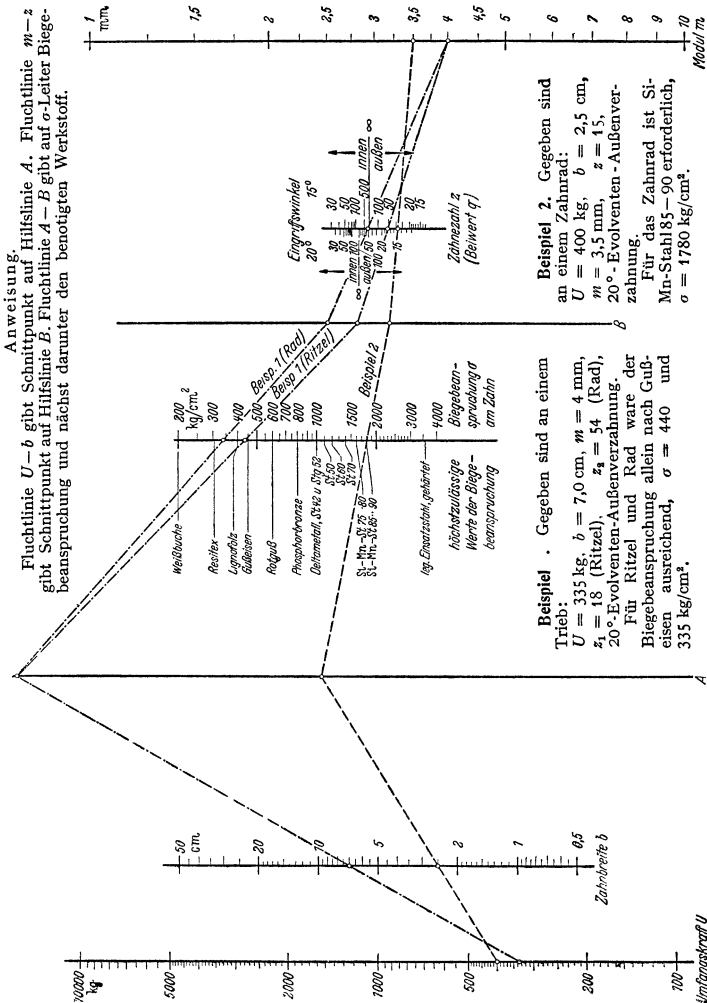
Beispiel. Es ist gegeben: Ritzel $n = 600$ U/min; $M = 1200$ cmkg; $h = 10000$ Betr.-Stunden; Werkstoff St-Mn-Stahl 85-90. Rad $i = 3$, also $n = 200$ U/min.

Lösung Ritzel: nach Leitertafel $bd^3 = 345$ cm³ gewählt $d_1 = \approx 7$ cm, also $b = 345/7^3 = \approx 7,0$ cm $m_{\min} = b/25 = 7,0/25 = 0,28$ cm nach Tafel 3; nach Tafel 4 $m_{\max} = 7/12 = 0,583$ cm, gewählt $m = 0,4$ cm, $z_1 = \approx 7/0,4 = 18$ endgültig $d_1 = 18 \cdot 0,4 = 7,2$ cm.

Lösung Rad: i entsprechend $z_2 = 54$, $d_2 = 54 \cdot 0,4 = 21,6$ cm nach Leitertafel Werkstoff St 70.

Abb. 13. Leitertafel zur Nachahmung der Biegebeanspruchung im Zahn bei 15°- und 20°-Evolventenverzahnung.

$$\text{Dargestellte Gleichung: } \sigma = \frac{U}{b \cdot m} \cdot q.$$



f) Die Schmierung¹⁾ ist abhängig von der Umfangsgeschwindigkeit. Einen Anhalt hierfür gibt die nachstehende Übersicht.

v in m/s	bis 0,8	0,8–4	4–12	über 12
Schmierung	Stauferfett	Stauferfett, Tauschschmierung (U/min groß)	Tauschschmierung	Spritzschmierung

g) Beispiel.

Stirnradgetriebe mit 20° -Verzahnung, in Getriebekasten, mit Wälzlagerung für Dauerleistung und eine Lebensdauer von $h = 40000$ Betriebsstunden; $N = 25$ PS; $i = n_1/n_2 = 960/160 = 6$; $M_1 = 1865$ cm/kg; Werkstoff für Ritzel Si-Mn-Stahl 85 bis 90 kg/mm Festigkeit.

1. Berechnung auf Walzenpressung und Lebensdauer.

Ritzel $k = \varphi \cdot k_{5000} = 0,5 \cdot 33 = 16,5$ (Tafel 5 und 4),

$$b \cdot d_1^2 = 6,25 \frac{M}{k} \frac{i+1}{i} = 6,25 \frac{1865}{16,5} \frac{6+1}{6} = \approx 825 \text{ cm}^2 \text{ (B Ia).}$$

Entsprechend dem Wellendurchmesser gewählt $d_1 = 9$ cm, also

$$b = \frac{b \cdot d_1^2}{d_1^2} = \frac{825}{81} = 10,5 \text{ cm.}$$

(Für Innenverzahnung würde sein $b \cdot d_1^2 = 6,25 \cdot \frac{1865}{16,5} \cdot \frac{6-1}{6} = 590$ cm und $b = 590/81 = 7,5$ cm anstatt 10,5 cm.)

Kleinsten Modul $m_{\min} = b/30 = 10,5/30 = \approx 0,35$ cm (Tafel 6).

Kleinste Zähnezah $z = 16$ (Tafel 4).

Größter Modul $m_{\max} = d_1/z_{\min} = 9/16 = 0,56$ cm (B Ib).

Gewählt zur Ausführung $m = 0,45$ cm = 4,5 mm (DIN 780).

Daraus $z_1 = d_1/m = 9/0,45 = 20$.

Rad $n_2 = 160$ U/min; wie oben $k_{5000} = 33$. Dafür reicht nach Tafel 4 St 60 aus.

$$d_2 = d_1 \cdot i = 9 \cdot 6 = 54 \text{ cm,}$$

$$z_2 = z_1 \cdot i = 20 \cdot 6 = 120.$$

2. Nachrechnung auf Bieungsbeanspruchung.

$$U = \frac{M}{d/2} = \frac{1865}{4,5} = 414 \text{ kg.}$$

Ritzel $z = 20$, Außenverzahnung 20° , nach Tafel 8. Beiwert $q = 3,3$

$$\sigma = \frac{U \cdot q}{b \cdot m} = \frac{414 \cdot 3,3}{10,5 \cdot 0,45} = 290,$$

nach Tafel 9 für Si-Mn-Stahl nur etwa $1/8$ des zulässigen Wertes.

Rad $z = 120$, Außenverzahnung 20° , nach Tafel 8. Beiwert $q = 2,5$

$$= \frac{U \cdot q}{b \cdot m} = \frac{414 \cdot 2,5}{10,5 \cdot 0,45} = 220,$$

nach Tafel 9 für St 60 nur etwa $1/5,5$ des zulässigen Wertes.

h) Zeichnerische Lösung. Die Formeln des Abschnittes B I sind in den Leitertafeln, Abb. Z 12 und Z 13, ausgewertet²⁾.

¹⁾ K. Wißmann: Diss. H. T. Berlin 1930. Berechnung und Konstruktion von Zahnradern usw. S. auch Abschnitt „Schmiermittel“.

²⁾ Die Tafeln sind in Größe DIN A 3 als Lichtpauze vom Herausgeber zu beziehen.

Tafel 12. Beziehungen für Schraubenräder genormter Verzahnung.

Benennung	Treibendes Rad		Getriebenes Rad	
	Kurzzeichen	gleich	Kurzzeichen	gleich
Drehzahl je Minute	n_1	$i \cdot n_2 = n_2 \cdot \frac{z_2}{z_1}$	n_2	$\frac{n_1}{i} = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2}$
Zähnezahl	z_1	$\frac{z_2}{i} = z_2 \cdot \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_{01}}{m_{s1}}$	z_2	$i \cdot z_1 = z_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{02}}{m_{s2}}$
Übersetzungsverhältnis	i	$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{02} \cdot \cos \beta_2}{d_{01} \cdot \cos \beta_1}$; für $\delta = 90^\circ$ und $d_{01} = d_{02}$ ist $i = \operatorname{tg} \beta_1$		
Normalteilung in mm	t_n	$m_n \cdot \pi = t_{s1} \cdot \cos \beta_1 = t_{s2} \cdot \cos \beta_2$		
Modul der Normalteilung „ „	m_n	$\frac{t_n}{\pi} = \frac{d_{01}}{z_1} \cdot \cos \beta_1 = \frac{d_{02}}{z_2} \cdot \cos \beta_2 = m_{s1} \cdot \cos \beta_1$; $= m_{s2} \cdot \cos \beta_2 = m$ (DIN 780)		
Zahnhöhe „ „	h_z	$2 \frac{1}{2} \cdot m_n = h_k + h_f$		
Kopfhöhe „ „	h_k	m_n		
Fußhöhe „ „	h_f	$1 \frac{1}{8} \cdot m_n = h_k + S_k$		
Kopfspiel „ „	S_k	$\frac{1}{8} m_n$		
Gemeinsame Zahnhöhe „ „	h	$2 m_n$; siehe DIN 867		
Teilkreisdurchmesser	d_{01}	$m_{s1} \cdot z_1$	d_{02}	$m_{s2} \cdot z_2$
Kopfkreisdurchmesser	d_{k1}	$d_{01} + 2 m_n$	d_{k2}	$d_{02} + 2 m_n$
Achsenabstand „ „	a	$0.5 (d_{01} + d_{02})$		
Radbreite „ „	b	gewöhnlich $10 \cdot m$		
Eingriffswinkel „ °	α	20° nach DIN 867		
Achsenwinkel „ °	δ	$\beta_1 + \beta_2$		
Schrägungswinkel „ °	β_1	$\beta_1 \geq \beta_2$	β_2	$\cos \beta_1 = \frac{m_n \cdot z_1}{d_{01}} = \frac{m_n}{m_{s1}}$
Steigungswinkel „ °	γ_1	$90 - \beta_1$	γ_2	$90 - \beta_2$
Umfangsgeschwindigkeit im Teilkreis „ m/s	v_1	$\frac{d_{01} \cdot \pi \cdot n_1}{60\,000}$	v_2	$\frac{d_{02} \cdot \pi \cdot n_2}{60\,000}$
Gleitgeschwindigkeit	v_g	$\frac{v_1}{\cos \beta_2} \cdot \sin \delta = \frac{v_2}{\cos \beta_1} \cdot \sin \delta$		
Stirnteilung „ mm	t_{s1}	$\frac{t_n}{\cos \beta_1} = m_{s1} \cdot \pi$	t_{s2}	$\frac{t_n}{\cos \beta_2} = m_{s2} \cdot \pi$
Modul der Stirnteilung	m_{s1}	$\frac{t_{s1}}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \beta_1}$	m_{s2}	$\frac{t_{s2}}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \beta_2}$
Umfangskraft „ kg	U_1	$\eta_1 \frac{75 N_1}{v_1} \approx \frac{75 N_1}{v_1}$; $c \cdot b \cdot t_n$ (b und t_n in cm)	U_2	$\frac{75 N_2}{\eta_1 \cdot v_2} \approx \frac{75 N_2}{v_2}$
Leistung „ PS	N_1	$\approx \frac{U_1 \cdot v_1}{75}$; $\frac{N_2}{\eta}$	N_2	$\eta \cdot N_1$
Axialschub „ kg	A_1	$U_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1$ für $\delta = 0^\circ$, sonst $U_1 \cdot \operatorname{tg}(\beta_1 - \varrho)$	A_2	$U_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2$ für $\delta = 0^\circ$, sonst $U_2 \cdot \operatorname{tg}(\beta_2 + \varrho)$
Reibungszahl	μ	$\operatorname{tg} \varrho$; bei guter Schmierung ist $\mu \approx 0,1$ und		
Reibungswinkel in °	ϱ	$\varrho = 5^\circ 45'$		

Benennung	Kurzzeichen	Formeln
Wirkungsgrad der Schraubung	η_s	$\frac{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \beta_2}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta_1} = \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos(\beta_2 + \varrho)}{\cos \beta_2 \cdot \cos(\beta_1 - \varrho)}$
Gesamtwirkungsgrad	η	$\eta_l \cdot \eta_w \cdot \eta_s = 0,92 \div 0,96 \cdot \eta_s$
Wertziffer für die Werkstoffbeanspruchung in kg/cm ²	c	

II. Zahnräder mit Schräg-, Pfeil- oder Bogenverzahnung.

Die Abmessungen bd_1^2 werden für Geradverzahnung errechnet und mit 0,75—0,85 (je nach Schrägungswinkel) malgenommen, da die auftretende Walzenpressung durch die Schrägung auf etwa 75—85 vH der Geradverzahnung gleicher Abmessung sinkt.

Die für die Geradverzahnung gleicher Abmessung errechnete Biegebeanspruchung mit m_n als Modul ist für die Schrägverzahnung mit 0,65—0,5 (je nach β) malzunehmen, da auch die Biegebeanspruchung bei Schrägverzahnung soviel geringer ausfällt. Der Modul m_n wird nach Tafel 3 und $z_{\min} = z_{1n} = z_1 \cdot \cos^3 \beta$ nach Tafel 4 nachgeprüft.

Mit m_n und β wird dann der Stirnmodul m_s , die Zähnezah z_1 und der endgültige Durchmesser d_1 nach $m_s = m_n / \cos \beta = d_1 / z_1$ festgelegt.

So würde das Getriebe nach 1g mit Schrägverzahnung etwa 25/0,8 = 31,5 PS statt 25 PS bei gleicher Lebensdauer übertragen können.

III. Kegelhäder mit geraden Zähnen und Schraubenräder.

a) Kegelhäder sind im Abschnitt e in sich abgeschlossen behandelt

b) Schraubenräder. Bemessung nach Flächenpressung. Die Umfangskraft U_1 ist $= c \cdot b \cdot t_n = 75 N_1 / v_1$; die Breite $b \approx 10 \cdot m_n$ und damit der

Modul im Normalschnitt $m_n = \sqrt{\frac{U_1}{10 \cdot \pi \cdot c}}$. Für Stahl auf Bronze ist c in

Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit $v_g = v_1 / \cos \beta_2$, wobei $v_1 = d_1 \cdot n_1 / 30$ die Umfangsgeschwindigkeit von Rad 1 ist.

$c =$	22	17	14	12	10	9	8	7	kg/cm ²
$v_g =$	1	2	3	4	5	6	7	8	m/s

Beispiel. Leistung $N_1 = 3$ PS; $n_1 = 350$, Achsenwinkel $\delta = 90^\circ$; $i = 2$. Triebrichtung wechselnd, daher $\beta_1 = \delta/2 = 45^\circ$ gewählt.

$d_1 = 200$ mm gewählt, $v_1 = 0,2 \cdot 350/30 = 3,66$ m/s. $U_1 = 75 \cdot 3/3,66 = 61,5$ kg; $v_g = 3,66/0,707 = 5,15$ m/s; $c = 10$ kg/cm² für Stahl auf Bronze und $v_g = 5$ m/s;

danach $m_n = \sqrt{\frac{61,5}{10 \cdot \pi \cdot 10}} = 0,442$ cm = 4,42 mm; gewählt $m_n = 4,5$ mm;

$m_s = m_n / \cos \beta = 4,5/0,707 = 6,28$ mm; $z_1 = d_1/m_s = 200/6,28 = 31,8$; gewählt $z_1 = 32$; d_1 genau = $m_s \cdot z_1 = 201$ mm; $b = 10 \cdot 4,5 = 45$ mm; $d_2 = i \cdot d_1 \cdot \cos \beta_1 / \cos \beta_2 = 2 \cdot 201 = 402$ mm;

$$\eta_s = \frac{1 - 0,1 \cdot 1}{1 + 0,1 \cdot 1} = 0,817 \text{ mit } \mu = 0,1.$$

C. Kegelräder.

I. Grundlagen.

Kegelräder übertragen Drehmomente zwischen sich schneidenden Achsen. Der Winkel zwischen den Achsen heißt δ . Er kann in üblichen Ausführungen alle Werte zwischen 0 und 180° annehmen; negative Werte treten bei Innen-Kegeltrieben auf, Abb. Z 20 bis Z 23. Als Grenzfall erhält man bei $\delta = 180^\circ$ das Planrad, das der Zahnstange bei Stirnrädern entspricht und als Erzeugende der Verzahnung aufgefaßt werden kann. Man kann sich nach Abb. Z 14 vorstellen, daß die Verzahnung des Planrades nach oben in das Ritzel, nach unten in das Rad eingewalzt wird. Das Planrad ist also maßgebend für die Ausbildung der Verzahnung an Kegelrädern.

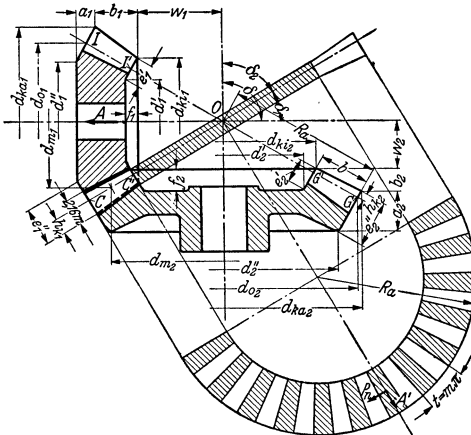


Abb. Z 14. Gerad verzahntes Kegelradpaar mit eingezeichnetem Planrad.

Nach dem Verlauf der Flankenlinien über die Breite des Planrades unterscheidet man nach Abb. Z 2f bis l einerseits Geradzähne, andererseits Schräg-, Spiral-, Evolventen-, Kreisbogen- und Hypozykloidenzähne. Beide Gruppen verhalten sich zueinander wie Stirnräder mit geraden Zähnen zu solchen mit schrägen Zähnen. Abb. Z 14 und Z 16 zeigen die zwei verschiedenen Ausführungen für den Längsverlauf der Zahnflanken.

In Richtung der Zahnhöhe, d. h. senkrecht zur Planradebene vom Zahnfuß zum Zahnkopf, wird die Verzahnung näherungsweise als diejenige eines Stirnrades betrachtet, dessen Teilkreisdurchmesser von der Mantellinie OC , Abb. Z 15, des „Ergänzungskegels“ mit der Spitze in O_1 gebildet wird. Bei einem Teilkreisdurchmesser d_{o1} des Kegelrades ergibt sich für den Teilkreis-

halbmesser ρ_1 des zu betrachtenden Stirnrades $\rho_1 = \frac{d_{o1}}{2 \cdot \cos \delta_1} \cdot \text{Zähnezahl}$ (wird meistens eine unrunde Zahl sein), Teilung und damit auch die Flankenform sowie die Eingriffsdauer dieses gedachten Stirnrades gilt auch für das zu ihm gehörige Kegelrad.

II. Kegelräder mit Geradzähnen

finden sich weit verbreitet als die älteste Form, Abb. Z 14 und Z 15. Die Linien auf den Flanken laufen nach der Kegelspitze O im Schnittpunkt der Achsen. Dadurch ergibt sich ein nach innen keilförmig schmaler und niedriger werdender Zahn.

a) Berechnung. Beim Entwurf eines Kegelradpaares mit Geradzahnung sind unter Einhaltung der geforderten Übersetzung i die Zähnezahlen z_1 und z_2 so hoch zu wählen, als es der vorhandene Platz zuläßt. Die Mindestzähnezahl z_{\min} (s. Tafel 7) ist auch hier einzuhalten. Ebenso wird der Zahn-

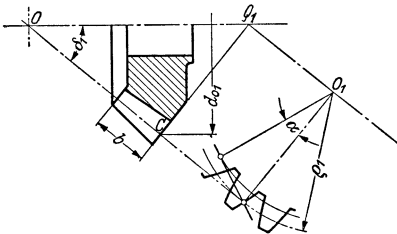


Abb. Z 15. Geradzahnung des Kegelrad und Verzahnung des Ergänzungskegels.

modul zuerst vorläufig angenommen und nach Festlegen des mittleren Durchmessers d_{m1} auf Walzenpressung, Lebensdauer und Festigkeit (s. Abschnitt B) nachgeprüft.

Die gesamte Zahnhöhe ist außen $2,166 \cdot m$. Die Zahnkopfhöhe nimmt man allgemein zu $1,0 \cdot m$, die Zahnfußhöhe $1,166 \cdot m$. Erfolgt jedoch die Herstellung

der Verzahnung im Abwälzverfahren, so treten bei kleinen Zähnezahlen die Profilverschiebungen wie bei Stirnrädern (s. Abschnitt A II a) ein. Für die Größe der Verschiebung ist jedoch die Zähnezahl auf dem Ergänzungskegel $z_{n1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1}$ und $z_{n2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2}$ zu beachten.

Die Zahnkopfhöhe am Rad wird nach der allein üblichen Ausführung als V-Null-Getriebe (s. Abschnitt A II a) stets um den Wert gekürzt, um den die Zahnkopfhöhe des Ritzels die Größe m überschreitet, so daß die Bedingung $h_{k1} + h_{k2} = 2m$ erfüllt ist.

Sämtliche Abmessungen der Kegelräder sind aus Tafel 13 zu entnehmen. Die Breite b der Verzahnung soll nur halb so groß sein wie an Stirnrädern gleicher Lagerung. Die Nabe des Rades ist im Durchmesser etwa doppelt so groß wie die Bohrung auszuführen. Die Nabe auf dem fliegend angeordneten Kegelrad, meistens also auf dem Ritzel, soll kurz gehalten sein.

b) Das Aufzeichnen des Kegelradpaares nach Abb. Z 14 geschieht in nachstehender Reihenfolge:

Radachsen im gegebenen Achswinkel zeichnen.

Teilkegel IOC und COG mit den errechneten Teilkreisdurchmessern d_{o1} und d_{o2} zeichnen.

Von I , C und G die Zahnbreite b auf den Mantellinien der Teilkegel nach innen zu abgetragen, ergibt die Punkte I' , C' und G' .

In I und I' , C und C' , G und G' Senkrechte auf Mantellinien OI , OC und OG errichten.

Auf den Senkrechten in I , C und G Zahnkopfhöhe und Zahnfußhöhe von I , C und G aus abtragen und Zahnkopf- bzw. Zahnfuß-Begrenzungslinien zwischen den Senkrechten in Richtung O zeichnen.

c) Herstellung. Eine richtige Zahnform für die Geradverzahnung kann nur durch Hobeln erzeugt werden, indem das Werkzeug an der Zahnflanke entlang in Richtung auf die Kegelspitze geführt wird.

Im Form-Hobelverfahren auf Formhobelmaschinen sorgen Zahn-schablonen, die in entsprechender Vergrößerung die Zahnform nach der Ergänzungszähnezahl des zu schneidenden Rades erhalten, für die richtige Führung des spitz ausgebildeten Hobelstahles.

Im Wälzverfahren nach Bilgram (Maschine von Reinecker, Chemnitz) arbeitet nach dem Durchhobeln einer vorläufigen Lücke je Zahn ein geradflankiger rechter und darauf ein geradflankiger linker Hobelstahl, während durch Abrollen von Stahlbändern auf einem Rollbogen das Werkstück sich auf dem Planrad abwälzt; beim Rücklauf des Hobelstahles wird von Zahn zu Zahn geteilt. Bei der Herstellung auf den selbsttätigen Kegelrad-Hobelmaschinen, Bauart Heidenreich & Harbeck, arbeiten gleichzeitig ein rechter und ein linker geradflankiger Hobelstahl ins Volle, wobei die Abrollung lediglich durch Wechselräder erreicht wird.

Mit Formfräsern ist die Herstellung von geradverzahnten Kegelrädern nur behelfsmäßig möglich. Die Fräserform entspricht der Flankenform an der Außenseite; nach innen zu wird die Flanke jedoch fehlerhaft, da der Fräser sich ja nicht der Verjüngung des Zahnprofils anpassen kann. Der Fräser muß außerdem schmaler sein als Modulfräser für Stirnräder, da er durch die schmalere Lücke an der Innenseite hindurchtreten muß. Die Rechts- und Linksflanken der Zähne müssen daher einzeln bearbeitet werden. Bei Einzelfertigung und für langsam laufende Räder wird das Formfräsverfahren auch heute noch angewendet, da es auf jeder Universalfräsmaschine mit Teilkopf ausführbar ist. Auch hier ist derjenige Modulfräser zu wählen, der durch die Ergänzungszähnezahl bestimmt ist. Die größtzulässige Fräserbreite im Teilkegel bestimmt sich zu

$$x_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \frac{Ra - b}{Ra}.$$

Also im Zahlenbeispiel der Tafel 13 ist für das Ritzel ein Fräser passend zu 16,5 Zähnen, für das Rad entsprechend $z_{n_2} = 254$ ein Zahnstangenfräser zu wählen. Der Fräserzahn darf im Teilkreis höchstens $x = \frac{5\pi}{2} \cdot \frac{165 - 55}{165} = 5,24$ mm breit sein.

d) Eigenschaften der Kegelräder. Die Kegelräder mit Geradverzahnung sind in der Herstellung sowohl hinsichtlich der Genauigkeit als auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit den Stirnrädern unterlegen. Durch die Keilform der Zähne in der Längsrichtung neigen die Räder zum Klemmen. Dies ist besonders nachteilig, weil durch die notwendige fliegende Lagerung des Ritzels die Verbiegungen der Welle größer sind als bei Stirnrädern. Die Kegelradgetriebe mit dieser Verzahnung erfordern daher sehr sorgfältigen Einbau. Sie erreichen jedoch auch dann nicht die Leistungen und die Geräuschlosigkeit der Stirnräder.

III. Kegelräder mit Schrägzähnen.

Bei Schrägzähnen, Abb. Z 2 g, berühren die Flanken einen Kreis, der kleiner als der Innenkreis ist. Die Lücke bleibt jedoch keilförmig. Schrägzähne ergeben — wie solche bei Stirnrädern — einen allmählich über die Zahnbreite erfolgenden Aus- und Eintritt des Zahnes beim Eingriff, der sich auf die Laufruhe günstig auswirkt. Die Verzahnung kann durch eine

Tafel 13. Formeln, Rechnungsgang und Zahlenbeispiel für das Berechnen geradzahnter Kegelräder.

Benennung	Bezeichnungen siehe Abb. Z 14, Ritzel-Index 1 Rad-Index 2	Formel	Zahlenbeispiel für $N = 4$ PS; $z = n_1/n_2 = 1000/250$ U/min $m = 4$; $\delta = 90^\circ$; Eingriffswinkel $\alpha = 15^\circ$. Gewählt $z_1/z_2 = 16/64$; $m = 5$	Rad
Teilkegelwinkel	$\delta_1; \delta_2$ allgemein $\delta_1 + \delta_2 = \delta$	Achswinkel $\delta = 90^\circ$ $\operatorname{tg} \delta_1 = z_1/z_2$ Achswinkel $\delta > 90^\circ$ $\operatorname{ctg} \delta_1 = \frac{z_2}{z_1 \cdot \sin(180 - \delta)} - \operatorname{ctg}(180 - \delta)$ Achswinkel $\delta < 90^\circ$ $\operatorname{ctg} \delta_1 = \frac{z_2}{z_1 \cdot \sin \delta} + \operatorname{ctg} \delta$	$\delta_1 = 90 - 14^\circ 2' = 75^\circ 58'$	—
Teilkreisdurchmesser	$d_{01}; d_{02}$	$d_{01} = m \cdot z_1$	$d_{01} = 5 \cdot 16 = 80$ mm	$d_{02} = 5 \cdot 64 = 320$ mm
Ergänz.-Zähnezahl	$z_{n1}; z_{n2}$	$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1}$	$z_{n1} = \frac{16}{\cos 14^\circ 2'} \approx 16,5$	$z_{n2} = \frac{64}{\cos 75^\circ 58'} = 254$
Zahnkopfhöhe	$h_{k1}; h_{k2}$ (Abb. Z 8 u. Z 9, S. 605)	$h_{k1} = m + k$; $h_{k2} = 2m - h_{k1}$	$h_{k1} = 5 + \frac{25 - 16,5}{30} \cdot 5 = 6,4$ mm	$h_{k2} = 2 \cdot 5 - 6,4 = 3,6$ mm
Planradhalbmesser	R_a	$R_a = \frac{d_{01}}{2 \cdot \sin \delta_1}$	$R_a = \frac{80}{2 \cdot \sin 14^\circ 2'} = 165$ mm	—
Teilmantelbreite	b	$b \leq \frac{1}{3} R_a$	$b = \frac{165}{3} = 55$ mm	—

Mittl. Durchmesser Jetzt Modul nachprüfen!	d_{m1}	$d_{m1} = d_{01} - b \cdot \sin \delta_1$	$d_{m1} = 80 - 55 \cdot \sin 14^\circ 2' = 66,68 \text{ mm}$	
Kopfkegelwinkel	δ_{k1}	$\delta_{k1} = \delta_1 + k_1$, wobei	$\text{tg } k_1 = \frac{6,4}{165}$ $k_1 = 2^\circ 13'$	$\text{tg } k_2 = \frac{3,6}{165}$ $k_2 = 1^\circ 15'$
	d_{k2}	$\text{tg } k_1 = \frac{h_{k1}}{R_a}$	$\delta_{k1} = 14^\circ 2' + 2^\circ 13' = 16^\circ 15'$	$\delta_{k1} = 75^\circ 58' + 1^\circ 15' = 77^\circ 13'$
Kopfaußendurchmesser	$d_{ka1}; d_{ka2}$	$d_{ka1} = d_{01} + 2 h_{k1} \cdot \cos \delta_1$	$d_{ka1} = 80 + 2 \cdot 6,4 \cdot 0,970 = 92,4 \text{ mm}$	$d_{ka2} = 320 + 2 \cdot 3,6 \cdot 0,242 = 321,7 \text{ mm}$
Kopfinnendurchmesser	$d_{ki1}; d_{ki2}$	$d_{ki1} \approx d_{ka1} - 2 b \cdot \sin \delta_{k1}$	$d_{ki1} = 92,4 - 2 \cdot 55 \cdot 0,2728 = 61,80 \text{ mm}$	$d_{ki2} = 321,7 - 2 \cdot 55 \cdot 0,975 = 212,9 \text{ mm}$
Kranzstärke außen " innen	$e'_1 e'_2$ $e_1 e_2$	wählbar	15 mm 12 mm	18 mm 12 mm
Kranz-Außendurchmesser	$d'_1; d'_2$	$d'_1 = d_{ka1} - 2 e'_1 \cdot \cos \delta_1$	$d'_1 = 92,4 - 2 \cdot 15 \cdot 0,97 = 63,3 \text{ mm}$	$d'_2 = 321,7 - 218 \cdot 0,242 = 312,99 \text{ mm}$
Kranz-Innendurchmesser	$d'_1; d'_2$	$d'_1 = d_{ki1} - 2 e_1 \cdot \cos \delta_1$	$d'_1 = 61,60 - 2 \cdot 12 \cdot 0,97 = 38,3 \text{ mm}$	$d'_2 = 212,9 - 2 \cdot 12 \cdot 0,242 = 207,09 \text{ mm}$
Breitenprojektion	$b_1; b_2$	$b_1 = b \cdot \cos \delta_{k1}$	$b_1 = 55 \cdot 0,975 = 53,6 \text{ mm}$	$b_2 = 55 \cdot 0,2798 = 15,38 \text{ mm}$
Außenkranzprojektion	$a_1; a_2$	$a_1 = e'_1 \cdot \sin \delta_1$	$a_1 = 15 \cdot 0,242 = 3,63 \text{ mm}$	$a_2 = 18 \cdot 0,97 = 17,48 \text{ mm}$
Innenkranzprojektion	$f_1; f_2$	$f_1 = e_1 \cdot \sin \delta_1$	$f_1 = 12 \cdot 0,242 = 2,91 \text{ mm}$	$f_2 = 12 \cdot 0,97 = 11,63 \text{ mm}$
Kopfkegelhöhe	$w_1; w_2$	$w_1 = \frac{d_{ki1}}{2} \cdot \text{ctg } \delta_{k1}$	$w_1 = \frac{61,6}{2} \cdot 3,431 = 105,5 \text{ mm}$	$w_2 = \frac{212,9}{2} \cdot 0,2268 = 24,2 \text{ mm}$

drehende Zusatzbewegung des Werkstückes beim Hobeln auf den Maschinen nach Bilgram wie geradzahnte Kegelräder hergestellt werden.

IV. Kegelräder mit gekrümmten Flankenlinien (Spiralkegelräder).

a) **Allgemeines.** Die den geradzahnten Kegelrädern anhaftenden Mängel haben zur Entwicklung von Kegelrädern mit gekrümmten Flankenlinien geführt. Bei ihnen läuft stets die hohle Flanke des einen Rades mit der erhabenen Flanke des anderen zusammen. Die Bogenform bietet größere Bruchfestigkeit, verlängerte Eingriffsdauer bei einem Eingriff, der allmählich über die Zahnbreite erfolgt, und damit wesentlich geräuschärmeren Lauf.

b) **Mathematische Kurvenform der Flanken¹⁾.** Welchem mathematischen Gesetz die Flanken in ihrem Verlauf über die Zahnbreite gehorchen, ist durch die Art der Herstellung bedingt. Es sind u. a. mathematisch be-

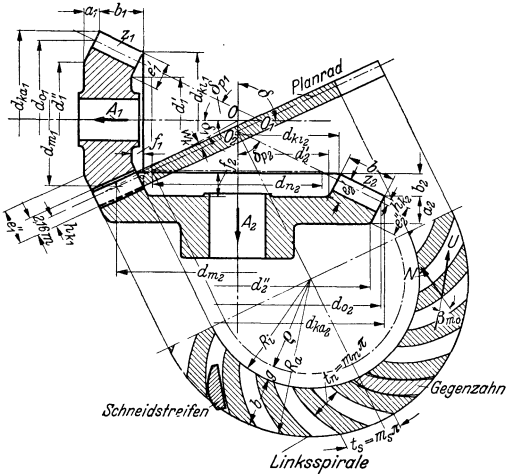


Abb. Z 16. Kegelradpaar mit Evolventenzähnen (Palloid) und eingezeichnetem Planrad.

kannte Spiralen (Abb. Z 2h), z. B. archimedische oder logarithmische, ferner Evolventenzähne nach Abb. Z 21, die den Vorteil eines gleichbleibenden Abstandes t_n über die ganze Breite hin haben, Kreisbogenzähne, Abb. Z 2k (nach Böttcher, Maschine von Gleason), sowie Hypozykloidenzähne, Abb. Z 2l (nach Böttcher, Maschine von Reinecker), die nach Art einer Pfeilverzahnung keinen wesentlichen Achsdruck ergeben, und andere versucht worden.

In größerem Umfang durchgesetzt haben sich bisher jedoch nur zwei Verfahren, und zwar die Kreisbogenzähne nach Böttcher (Gleason-Maschine) und die Palloidzähne nach der Erfindung von Schiödt und Preis, ausgeführt von der Firma W. Ferd. Klingelberg Söhne, Hückeswagen, die von einer Evolventenform hergeleitet werden können. Diesen beiden Verfahren ist eine verschiedene Krümmung der Flanken gemeinsam,

¹⁾ Werkstattstechnik und Werksleiter 1935 Heft 9 S. 173.

und zwar sind an Rad und Ritzel die erhabenen Flankenseiten flacher als die hohlen (Abb. Z 16). Bei der Kreisbogenverzahnung ergibt sich die verschiedene Krümmung der Flanken einfach dadurch, daß der trapezförmige schneidende Stahl sich in einem Messerkopf auf einem Kreisbogen bewegt, der von sich aus der inneren Flanke einen kleineren, der äußeren einen größeren Krümmungshalbmesser gibt.

c) Die Palloidverzahnung.

1. Eigenschaften der Palloidverzahnung. Zur Erleichterung der Vorstellung kann man bei der Palloidverzahnung von der Evolventenkurve ausgehen. Wie bei den letzteren, benutzt man dann als Rechenunterlage einen Grundkreis $d_n = m \cdot z$. Der innere Begrenzungskreis erhält einen um $2g$ größeren Durchmesser. Während die Evolventenzähne jedoch überall gleich stark sind, werden bei der Palloidverzahnung die Zähne in der Mitte des Kranzes stärker gehalten als an den beiden Enden. Die Flanken tragen daher nicht auf der vollen Zahnbreite. Infolgedessen erhalten die Zähne die Möglichkeit, bei den unvermeidlichen elastischen Verformungen der Welle und der Lagerung nachzugeben. Das Klemmen der Zähne wird auf diese Weise wirksam verhindert. Die Räder mit dieser Verzahnung sind leicht einzubauen und nutzen sich nicht mehr ab als Stirnräder. Die Zahnhöhe ist über die ganze Breite hin gleichbleibend.

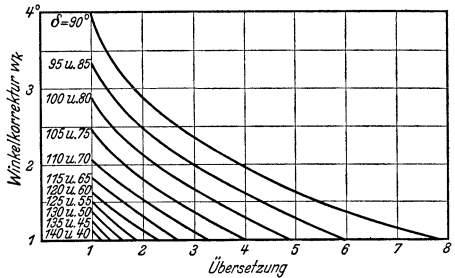


Abb. Z 17. Winkelkorrektur w_k für verschiedene Achswinkel δ .

Die Räder mit dieser Verzahnung sind leicht einzubauen und nutzen sich nicht mehr ab als Stirnräder. Die Zahnhöhe ist über die ganze Breite hin gleichbleibend.

Eigentümlich ist der Palloidverzahnung ferner die „Winkelkorrektur“. Das heißt, durch eine geringe Verkleinerung des Ritzelwinkels δ_1 um den Winkel w_k , Abb. Z 17, fallen die Kegelspitzen von Rad und Ritzel nicht mehr zusammen. Die korrigierte Kegelspitze O_1 des Ritzels liegt über den Achsen-schnittpunkt O weiter hinaus und die korrigierte Kegelspitze O_2 des Rades näher am Rad.

Wie bei allen Schrägverzahnungen, ist auch hier zwischen Normalmodul m_n und Normalteilung t_n senkrecht zu der Längsrichtung der Zahnflanken und Stirnmodul m_s und Stirnteilung t_s in Richtung des Umfanges zu unter-

Tafel 14. Werte g für den Abstand des inneren Randes der Verzahnung vom Grundkreis auf dem Planrad.

Normalmodul m_n mm	1	1,25*	1,5	1,75*	2	2,25*	2,5	2,75*	3	3,25*
Abstand g mm	4	4	4,5	4,5	5	5	5,5	5,5	6	6
Normalmodul m_n mm	3,5	3,75*	4	4,25*	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Abstand g mm	6,5	6,5	7	7	7,5	8	8,5	9	10	11

Die mit * gekennzeichneten Module sind nur ausnahmsweise zu verwenden.

Tafel 15. Formeln, Rechnungsgang und Zahlenbeispiel für das Berechnen palloid-verzahrter Kegelräder.

Benennung	Bezeichnungen siehe Abb. Z 16 Ritzel-Index 1 Rad-Index 2	Formel	Zahlenbeispiel für $N = 25$ PS; $i = n_1/n_2 = 1000/250$ U/min = 4, $\delta = 90^\circ$, Eingriffswinkel $\alpha = 20^\circ$. Gewählt $z_1/z_2 = 8/32$; $m_n = 5$
Teilkegelwinkel (nur Hilfsgröße) siehe auch Abb. Z 20	$\delta_{n1} \delta_{n2}$	Für $\delta = 90^\circ$ $\text{ctg } \delta_{n1} = \frac{z_2}{z_1}$. für $\delta > 90^\circ$ $\text{ctg } \delta_{n1} = \frac{z_2}{z_1 \cdot \sin(180^\circ - \delta)} - \text{ctg}(180^\circ - \delta)$	Ritzel Rad
siehe auch Abb. Z 21		für $\delta < 90^\circ$ $\text{ctg } \delta_{n1} = \frac{z_2}{z_1 \cdot \sin \delta} + \text{ctg } \delta$	$\text{ctg } \delta_{n1} = \frac{32}{8} = 4$; $\delta_{n1} = 14^\circ 02'$
Korrigierte Kegelwinkel	$\delta_{p1} \delta_{p2}$	$\delta_{p1} = \delta_{n1} - w_k$, wobei w_k nach Abb. Z 17 auf halbe oder ganze Grade zu runden $\delta_{p2} = \delta - \delta_{p1}$	$\delta_{p1} = 14^\circ 02' - 2^\circ = \approx 12^\circ$ $\delta_{p2} = 90^\circ - 12^\circ = 78^\circ$
Zähnezahl des Planrades	z_p	$z_p = \frac{z_2}{\sin \delta_{p2}}$	$z_p = \frac{32}{0,97815} = 32,7148$
Grundkreishalbmesser des Planrades	ϱ	$\varrho = \frac{1}{2} z_p \cdot m_n$	$\varrho = \frac{32,7148 \cdot 5}{2} = 81,79$ mm
Innenhalbmesser des Planrades	R_i	$R_i = \varrho + g$, wobei g nach Tafel 14	$R_i = 81,79 + 8 = 89,79$ mm
Breite der Verzahnung	b	$b = \frac{R_i}{2,5}$, aber $< 10 m_n$	$b = \frac{89,787}{2,5} = \approx 35$ mm
Außenhalbmesser des Planrades	R_a	$R_a = R_i + b$	$R_a = 89,79 + 35 = 124,79$ mm

Teilkreisdurchmesser und Stirnmodul außen	$d_{03}; d_{03}$ m_s	$d_{03} = 2 R_a \cdot \sin \delta_{p2}$ $m_s = \frac{d_{03}}{z_3}$ $d_{01} = m_s \cdot z_2$	$d_{03} = 249,574 \cdot \sin 78^\circ$ $= 249,574 \cdot 0,97815$ $= \approx 244 \text{ mm}$ $m_s = \frac{244}{32} = 7,625 \text{ mm}$
Mittlerer Ritzeldurchmesser	d_{m1}	$d_{m1} = d_{01} - b \cdot \sin \delta_{p1}$	$d_{01} = 7,625 \cdot 8 = 61 \text{ mm}$ $d_{m1} = 61 - 35 \cdot 0,20791 = \approx 54 \text{ mm}$
Nach Festlegung dieser Hauptmaße erfolgt die Nachprüfung des gewählten Normalmoduls m_n auf Festigkeit nach Absatz B I c			
Zahnkopfhöhe	h_{k1} h_{k2}	$h_{k1} = h_1 m_n - f$, wobei h_1 und f nach Tafel 16 u. 17 $h_{k2} = 2 m - h_{k1}$	$h_{k2} = 2 \cdot 5 - 5,2 = 4,8 \text{ mm}$
Kopfaußendurchmesser	$d_{ka1}; d_{ka2}$	$d_{ka} = d_0 + 2 h_k \cdot \cos \delta_p$	$d_{ka2} = 244 + 2 \cdot 4,8 \cdot 0,2079 = 246 \text{ mm}$
Kopfinnendurchmesser	$d_{ki1}; d_{ki2}$	$d_{ki} = d_{ka} - 2 b \cdot \sin \delta_p$	$d_{ki2} = 246 - 2 \cdot 35 \cdot 0,978 = 177,52 \text{ mm}$
Kranzstärke außen " innen	$e'_1; e'_2$ $e''_1; e''_2$	wählbar	18 mm 12 mm
Kranz-Außendurchmesser	$d'_1; d'_2$	$d'' = d_{ka1} - 2 e' \cdot \cos \delta_p$	$d'_2 = 248 - 2 \cdot 18 \cdot 0,2079 = 240,52 \text{ mm}$
Kranz-Innendurchmesser	$d'_1; d'_2$	$d' = d_{ki} - 2 e' \cdot \cos \delta_p$	$d'_2 = 177,52 - 2 \cdot 12 \cdot 0,2079 = 172,54 \text{ mm}$
Breitenprojektion	$b_1; b_2$	$b_1 = b \cdot \cos \delta_p$	$b_2 = 35 \cdot 0,2079 = 7,27 \text{ mm}$
Außenkranzprojektion	$a_1; a_2$	$a = e'' \cdot \sin \delta_p$	$a_2 = 18 \cdot 0,978 = 17,6 \text{ mm}$
Innenkranzprojektion	$f_1; f_2$	$f = e' \cdot \sin \delta_p$	$f_2 = 12 \cdot 0,978 = 11,74 \text{ mm}$

scheiden. Auf den Grundkreisen mit den Durchmessern d_{n1} bzw. d_{n2} würden Stirn- und Normalteilung übereinstimmen.

2. Entwurf und Berechnung eines Palloid-Kegelradpaares geht genau so vor sich wie bei Geradzähnen. Unter Einhaltung der geforderten Übersetzung $i = z_2/z_1$ sind die Zähnezahlen wählbar. Entsprechend dem Charakter als Getriebe mit schrägen Zähnen sind wesentlich niedrigere Zähnezahlen (im allgemeinen bis zu 6, nach Sonderberechnung¹⁾ bis herab zu 4 Zähnen) möglich. Für höchste Ansprüche an Geräuschlosigkeit sind Zähnezahlen zu wählen, die ineinander nicht aufgehen, um auf diese Weise periodische Schwingungen zu vermeiden, für etwa $i = 4$ z. B. $z_1/z_2 = 8/33$ statt $8/32$.

Der Normalmodul m_n ist aus der Tafel 14 obere Zeile zunächst anzunehmen und nach Bestimmung der Hauptabmessungen nachzuprüfen. Die Berechnung der letzteren erfolgt nach Tafel 15, oberer Teil, die Drehmaße nach Tafel 15, unterer Teil. Die Korrekturtafeln, Abb. Z 17, gelten für den Eingriffswinkel $\alpha = 20^\circ$, weil die Palloidverzahnung im Maschinenbau überwiegend mit diesem Winkel ausgeführt wird. Es sind jedoch auch Eingriffswinkel von $17\frac{1}{2}^\circ$ und 15° nach Sonderberechnungen ausführbar. Die beigelegten Unterlagen gelten für Zähnezahlen des Planrades von 25 an, nur nach Sonderberechnung sind solche bis herab zu 15 ausführbar.

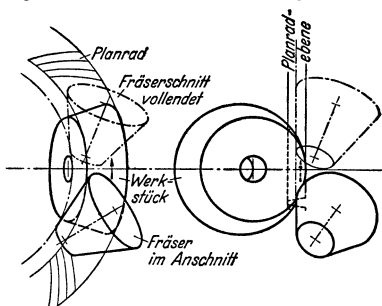


Abb. Z 18. Herstellung der Palloidverzahnung.

3. Die Herstellung²⁾ der Palloidverzahnung erfolgt in einem Abwälzfräsverfahren, das mit dem Tangentialfräsverfahren für Schneckenräder auf den Maschinen von Pfauter vergleichbar ist. Der Fräser verschraubt sich mit dem zu verzahnenden Rohling, wobei seine Zähne die theoretisch richtigen Zahnflanken ausschneiden. Während der Fräser bei Schneckenrädern geradlinig im Sinne der Erzeugungszahnstange über den Rohling geführt wird, um dabei die Zahnflanken in Breite und Tiefe unter Bildung der Flanken zu zerspanen, erfolgt zu demselben Zweck bei dem Verfahren nach Klingelberg für Kegelräder eine Schwenkung des Fräasers auf dem Planrad um dessen Mitte (nach dem Pfeil Abb. Z 18).

Der Rohling wird so eingestellt, daß ihn der Fräser mit seiner Mantellinie berührt; dann wird die Drehung der Planscheibe eingeschaltet, und diese senkt nun den Fräser in den Rohling, in Länge und Tiefe die Zahnflanke bildend.

Beim Schneiden von Evolventen wird ein kegelförmiger Fräser verwendet, dessen Durchmesser also von einem zum anderen Ende linear wächst. Nach Abb. Z 16 ergibt jeder Fräserzahn einen unsymmetrischen Schnittstreifen³⁾, der für die hohle und erhabene Flanke geeignet ist. Bei dem Palloidfräser nimmt der Durchmesser erst langsamer und dann schneller

¹⁾ Zu beziehen von W. Ferd. Klingelberg Söhne, Remscheid-Berghausen.

²⁾ Werkstatttechnik und Werksleiter 1938 S. 213.

³⁾ Werkstatttechnik und Werksleiter 1936, S. 361.

Tafel 16. Werte h_1 für Eingriffswinkel $\alpha = 20^\circ$ ¹⁾ zum Errechnen der Zahnkopfhöhe am Ritzel an Palloidverzahnungen nach der Formel $h_{k_1} = h_1 m - f$.

	$z_1 = 6$	7	8	9	10	11	12	13
$s_2 = 15$	$h_1 = 1,45$	1,38	1,31	1,23	1,15	1,07	1,00	1,00
16	1,45	1,38	1,31	1,23	1,15	1,08	1,00	1,00
17	1,46	1,39	1,32	1,24	1,16	1,09	1,00	1,00
18	1,46	1,39	1,32	1,24	1,17	1,10	1,01	1,00
19	1,46	1,39	1,32	1,25	1,18	1,10	1,02	1,00
20	1,46	1,39	1,32	1,25	1,18	1,11	1,03	1,00
21	1,46	1,39	1,33	1,26	1,18	1,11	1,04	1,00
22	1,46	1,40	1,33	1,26	1,19	1,12	1,04	1,00
23	1,46	1,40	1,33	1,26	1,19	1,12	1,05	1,00
24	1,46	1,40	1,33	1,26	1,20	1,13	1,06	1,00
25	1,46	1,40	1,33	1,27	1,20	1,13	1,06	1,00
26	1,46	1,40	1,34	1,27	1,20	1,14	1,06	1,00
27	1,46	1,40	1,34	1,27	1,21	1,14	1,07	1,00
28	1,46	1,40	1,34	1,27	1,21	1,14	1,07	1,00
29	1,46	1,40	1,34	1,27	1,21	1,14	1,07	1,00
30	1,47	1,40	1,34	1,28	1,21	1,15	1,08	1,01
35	1,47	1,40	1,34	1,28	1,22	1,15	1,09	1,02
40	1,47	1,41	1,34	1,28	1,22	1,16	1,09	1,03
45	1,47	1,41	1,35	1,28	1,22	1,16	1,10	1,04
50	1,47	1,41	1,35	1,29	1,23	1,16	1,10	1,04
55	1,47	1,41	1,35	1,29	1,23	1,17	1,10	1,04
60	1,47	1,41	1,35	1,29	1,23	1,17	1,11	1,05
65	1,47	1,41	1,35	1,29	1,23	1,17	1,11	1,05
75	1,47	1,41	1,36	1,29	1,23	1,17	1,11	1,05
100	1,48	1,42	1,36	1,30	1,24	1,18	1,12	1,06

Tafel 17. Differenzwerte in Millimeter. „f“ in obiger Formel für h_{k_1} .

Zahnbreite + Abstand	Kegelwinkel δ_{p_1}											
	$b + g$ in mm	5°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	25°
6	0,08	0,10	0,14	0,18	0,21	0,23	0,25	0,27	0,28	0,29	0,33	0,33
8	0,10	0,13	0,19	0,24	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,39	0,45	0,45
10	0,13	0,16	0,23	0,29	0,34	0,38	0,41	0,45	0,47	0,48	0,55	0,55
12	0,16	0,20	0,28	0,35	0,41	0,46	0,50	0,53	0,56	0,59	0,66	0,66
14	0,19	0,23	0,33	0,41	0,48	0,54	0,58	0,62	0,66	0,69	0,78	0,78
16	0,21	0,26	0,38	0,47	0,55	0,62	0,66	0,71	0,75	0,79	0,89	0,89
18	0,24	0,30	0,42	0,53	0,62	0,69	0,75	0,80	0,85	0,89	1,01	1,01
20	0,27	0,33	0,47	0,59	0,69	0,77	0,83	0,89	0,94	0,98	1,11	1,11
25	0,34	0,41	0,59	0,74	0,87	0,96	1,04	1,12	1,18	1,23	1,39	1,39
30	0,40	0,49	0,71	0,89	1,04	1,15	1,24	1,34	1,41	1,48	1,67	1,67
35	0,47	0,58	0,83	1,03	1,21	1,35	1,45	1,56	1,65	1,73	1,96	1,96
40	0,53	0,66	0,94	1,18	1,38	1,54	1,66	1,78	1,88	1,97	2,22	2,22
45	0,60	0,74	1,06	1,33	1,65	1,73	1,87	2,00	2,11	2,22	2,50	2,50
50	0,67	0,82	1,18	1,47	1,72	1,92	2,07	2,22	2,34	2,46	2,78	2,78
55	0,74	0,91	1,30	1,62	1,90	2,11	2,28	2,45	2,58	2,71	3,06	3,06
60	0,80	0,99	1,41	1,77	2,07	2,30	2,48	2,67	2,81	2,95	3,33	3,33
65	0,87	1,07	1,53	1,92	2,25	2,50	2,69	2,89	3,05	3,20	3,61	3,61
70	0,93	1,15	1,64	2,07	2,42	2,70	2,90	3,11	3,28	3,44	3,88	3,88
75	1,00	1,24	1,76	2,20	2,58	2,88	3,11	3,34	3,52	3,68	4,17	4,17

¹⁾ Für Eingriffswinkel 15° und $17\frac{1}{2}^\circ$ zu beziehen von der Firma W. Ferd. Klingelberg Söhne, Remscheid.

zu; seine Form kann daher als kegelig-hyperbolisch bezeichnet werden. Bei ihm sind die Fräserzähne in der Mitte dünner als an den Enden, damit die geschnittenen Radzähne, wie erwähnt, in der Mitte dicker werden. In dem ganzen Verfahren sind nur Kreisbewegungen vorhanden, die technisch leicht ausführbar sind und daher auch ein genaues Erzeugnis sichern und die Herstellung wirtschaftlich machen. Für höchste Ansprüche werden die Räder nach dem Fräsen und Härten noch auf Läppautomaten behandelt, indem die miteinander im Laufe kämmenden Räder bei gleichzeitiger Ausführung von Zusatzbewegungen unter Belastung zusammenlaufen. Soweit eine Wärmebehandlung erforderlich ist, erfolgt das Abschrecken beim Härten am besten auf Härtemaschinen, die zu großen Härteverzug durch entsprechende Einspannung verhindern.

V. Prüfen von Kegelrädern.

Die Prüfung von Kegelrädern erfolgt zweckmäßig auf Zweiflankenprüfgeräten, wie sie auch für Stirnräder verwendet werden (s. Abschnitt „Messen der Zahnräder“). Nach allen praktischen Erfahrungen ergeben Räder mit guten Diagrammen auch ruhigen Lauf. Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel zur Prüfung sind die Tragbilder, Abb. Z 19, wo richtige Tragbilder z. B. für die Palloidverzahnung schraffiert eingezeichnet sind. Die tragende Zone soll beim unbelasteten Trieb nach außen, dem größeren Durchmesser zu liegen, am Ritzel (treibende Flanke ist hohl) mit der Spitze nach dem Zahnkopf zu, am Rad (getriebene Flanke ist erhaben) nach dem

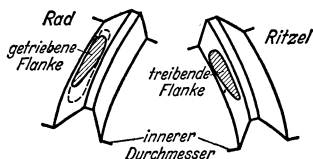


Abb. Z 19. Tragbilder an Kegelrädern bei Palloidverzahnung.

Zahnfuß zu. Können sich, wie bei bergab fahrenden Kraftwagen, treibendes und getriebenes Rad vertauschen, so muß auf der jetzt schiebenden Flanke des Rades die Spitze des Tragbildes dem Kopf zu, auf der Flanke des jetzt geschobenen Ritzels nach dem Fuß zu gerichtet sein.

Richtig gefräste Räder vorausgesetzt, muß sich beim Einbau durch Verschieben des Ritzels das richtige Tragbild einstellen lassen. Es ist bei der Palloidverzahnung eine Eigenschaft von grundlegender Wichtigkeit, daß sich die Tragbilder unter Belastung verbreitern, dessen Umriss in Abb. Z 19 gestrichelt sind. Dadurch erreichen die Räder mit Palloidverzahnung ihre hohe Lebensdauer. Ein nur an den Enden liegendes Tragbild führt bei allen Verzahnungen zu Brüchen.

VI. Ausführungen von Kegeltrieben.

An Ausführungen sind neben den Getrieben mit rechtwinkligen Achsen auch solche mit stumpfem, Abb. Z 20, und spitzem Achswinkel, Abb. Z 21, sowohl mit Gerad- wie auch mit Palloidverzahnung (letztere gezeichnet) ausführbar. Eine Sonderform ist der Planradantrieb, Abb. Z 22, bei dem das Tellerrad eine ebene Scheibe bildet. Innenkegelradgetriebe, Abb. Z 23, sind unter Beschränkung auf kleine Achswinkel des Tellerrades in Palloidverzahnung ausführbar.

Durch die Palloidverzahnung ist auch die Herstellung von Getrieben mit versetzten Achsen nach Sonderberechnung wirtschaftlich möglich geworden. Die zugehörigen Räder können auf den Abwälzautomaten ohne

weiteres gleich wirtschaftlich geschnitten werden wie gewöhnliche Kegelräder. Die Möglichkeit der Achsversetzung erhöht die Freiheit in der räumlichen Anordnung ganz erheblich. Da außerdem die Achsen um den Abstand v , Abb. Z 24 und Z 25, aneinander vorbeigeführt sind, kann man das Ritzel beiderseits lagern und Durchfederungen fast ganz vermeiden.

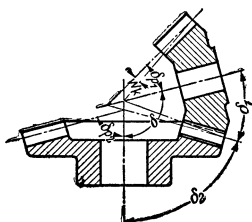


Abb. Z 20. Kegelradpaar mit stumpfem Achswinkel δ . Berechnung nach Tafel 13 bzw. 15.

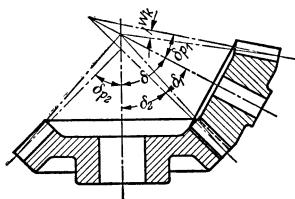


Abb. Z 21. Kegelradpaar mit spitzem Achswinkel δ . Berechnung nach Tafel 13 bzw. 15.

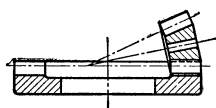


Abb. Z 22. Planradtrieb nach Sonderberechnung (Klingenberg).

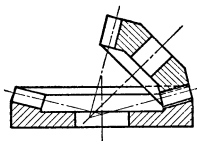


Abb. Z 23. Innenkegeltrieb nach Sonderberechnung (Klingenberg).

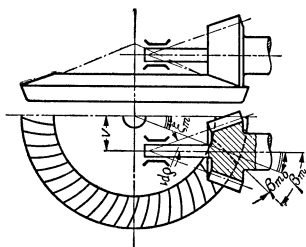


Abb. Z 24. Kegelschraubtrieb mit versetzten Achsen nach Sonderberechnung (Klingenberg).

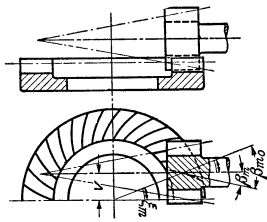


Abb. Z 25. Plan-Schraubtrieb mit versetzten Achsen nach Sonderberechnung (Klingenberg).

Abb. Z 20 bis 25. Sonderausführungen von Kegelrädern (gezeichnet für Palloidverzahnung).

In den Verzahnungseigenschaften sind die Kegelradgetriebe mit versetzten Achsen als Übergang vom Kegelrad zur Schnecke aufzufassen. Wie bei den letzteren tritt auch hier zu dem Gleiten in Richtung der Zahnhöhe ein Gleiten in Längsrichtung der Flanken. Die aus der Überlagerung von Höhen- und Längsgleitung entstehende resultierende Gleitung ändert sich nach Größe und Richtung sehr viel weniger. Die Bewegungen im Lagerspiel wechseln bedeutend weniger, und deswegen laufen diese Triebe wesentlich

geräuschloser. Es muß aber ein Sonderschmieröl verwendet werden, das die Wirkung des erhöhten Gleitens ausgleicht.

Abb. Z 26 zeigt einen Doppelkegeltrieb in Palloidverzahnung, dessen Ausführung durch die Winkelkorrektur (Abb. Z 17) möglich ist. Auf einem Kegelrad c laufen die Räder a und b mit untereinander verschiedenen Zähnezahlen. Das erste Getriebe zwischen Rad a und c ist ohne Winkelkorrektur ausgeführt, an Rad b ist der Kegelwinkel durch Winkelkorrektur so verkleinert, daß er zu Rad c paßt. Dieser doppelte Kegelradtrieb hat also schon bis zu einem gewissen Grade die Eigenschaft von Satzrädern.

Erfolgt die Achsversetzung in der Spiralrichtung, so erhält man ein Kegelschraubgetriebe, Abb. Z 24, im älteren Schrifttum als Hyperboloidgetriebe bezeichnet. Am Ritzel vergrößert sich, wie ersichtlich, der Spiralwinkel β_{m_0} in der Kranzmitte um den Winkel ξ_m (also ist $\beta_m = \beta_{m_0} + \xi_m$), der zwischen der Achse des Ritzels und dem Fahrstrahl der Längskurve gebildet wird, auf den Winkelwert β_m . Diese größere Zahnschräge bewirkt zwar eine Erhöhung des Achsdruckes, aber auch eine günstige Verlängerung der Eingriffdauer. Außerdem erhält man im Sinne der allgemeinen Beziehung für Schrägzahn-

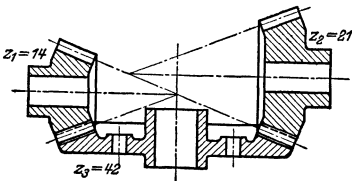


Abb. Z 26. Doppelter Kegelradtrieb.

räder $d_o = m_n \cdot z / \cos \beta$ (s. Abb. 2 c und d) eine Vergrößerung des Ritzel-durchmessers, die namentlich bei kleinen Ritzelzähnezahlen für große Übersetzungen noch eine kräftige Ritzelwelle zuläßt. Auch der Kegelwinkel wird größer. In der Form dieser Kegelschraubgetriebe haben die achsversetzten Getriebe gerade für höchste Ansprüche, z. B. im Hinterachsenantrieb von Kraftwagen, Eingang gefunden.

Bei einer Achsversetzung entgegen der Spiralrichtung ergibt sich ein Plan-Schraubgetriebe, Abb. Z 25. Hier verkleinert sich der wirksame Spiralwinkel auf $\beta_m = \beta_{m_0} - \xi_m$. Eingriffdauer, Durchmesser und Kegelwinkel werden kleiner. In Verbindung mit einer entsprechend gewählten Winkelkorrektur kann infolgedessen bei großem Übersetzungsverhältnis das Ritzel zylindrische Form erhalten, während das Tellerrad als Planscheibe ausgeführt werden kann. Diese Getriebe zeichnen sich in der Herstellung der Rohlinge somit durch ganz besondere Einfachheit aus.

VII. Nachrechnung der Kegelräder auf Grund ihrer Belastung.

Die Kegelräder sind in ihren Hauptabmessungen vorwiegend geometrisch bestimmt, Tafel 13 und 15, und müssen noch auf Walzenpressung, Lebensdauer und Biegungsbeanspruchung nachgeprüft werden; ferner ist der Achsdruck zu ermitteln.

a) Geradverzahnte Räder.

1. Walzenpressung und Lebensdauer. Es ist die Umfangskraft

$$U = \frac{N \cdot 75}{v} \text{ in kg,}$$

$$\text{wobei } v = \frac{d_m \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ in m/s.}$$

Setzt man in der Gleichung für die Walzenpressung der Stirnräder (s. Absatz B I a) den mittleren Ritzeldurchmesser d_{m1} und das Drehmoment am Ritzel $M_1 = \frac{1}{2} d_{m1} \cdot U$ ein, so ergibt sich:

$$k = 4,0 \frac{U}{b \cdot d_{m1}} \cdot \frac{i^2 + 1}{i^2} \text{ für } 15^\circ\text{-Verzahnung,}$$

$$k = 3,125 \frac{U}{b \cdot d_{m1}} \cdot \frac{i^2 + 1}{i^2} \text{ für } 20^\circ\text{-Verzahnung.}$$

Diese Werte müssen unter denen der Tafeln 4 und 5 bleiben.

2. Biegungsbeanspruchung. Der mittlere Modul auf der Kranzbreite b ist

$$m_m = \frac{R_a - b/2}{R_a} \cdot m.$$

Man kann meistens durchschnittlich setzen

$$b = 1/3 \cdot R_a.$$

Dann ist

$$m_m = \approx 0,8 \cdot m,$$

also ist die Biegebeanspruchung

$$\sigma = \frac{U \cdot q}{0,8 \cdot m \cdot b} \text{ in kg/cm}^2,$$

wobei für q in Tafel 8 die Ergänzungszähnezahl (s. Abb. Z 15) z_{n1} bzw. z_{n2} und für U der größte, manchmal beim Anfahren infolge der Beschleunigungskräfte auftretende Wert zu nehmen ist. Die für σ errechneten Werte müssen unter denen in Tafel 9 angegebenen zulässigen bleiben.

3. Achsdruck ist bei Geradverzahnung stets so gerichtet, daß die Räder von der Kegelspitze fortgedrückt werden. Er ist

$$A_1 = U \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta_1 \text{ für das Ritzel,}$$

$$A_2 = U \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta_2 \text{ für das Rad.}$$

Beispiel nach Tafel 13, dazu Werkstoffe Ritzel St 42, Rad Gußeisen, Lebensdauer $h = 25000$ Betriebsstunden.

$$v = \frac{0,06668 \cdot \pi \cdot 1000}{60} = 3,49 \text{ m/s,}$$

$$U = \frac{4 \cdot 75}{3,49} = 86 \text{ kg,}$$

$$k = 4 \cdot \frac{86}{5,5 \cdot 6,668} \cdot \frac{4 + 1}{4} = 11,6 \text{ kg/cm}^2.$$

Nach Tafel 4 und 5 wäre für das Ritzel $k = 0,65 \cdot 24 = 15,60 \text{ kg/cm}^2$ zulässig.

$$\sigma = \frac{86}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 5,5} = 39 \text{ kg/cm}^2.$$

Nach Tafel 9 wäre $\sigma = 1250 \text{ kg/cm}^2$ zulässig.

Für das Rad aus Gußeisen mit 250 U/min ist $k = 0,65 \cdot 18 = 11,7$ und $\sigma = 950 \text{ kg/cm}^2$ zulässig.

$$A_1 = 86 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ \cdot \sin 14^\circ 02' = 6 \text{ kg,}$$

$$A_2 = 86 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ \cdot \sin 75^\circ 58' = 23 \text{ kg.}$$

b) Palloid-Räder.

1. Walzenpressung und Lebensdauer. Die auftretenden k -Werte werden wie bei geradverzahnten Kegelrädern berechnet. Zulässig sind bei kleinen Zähnezahlen und Zahnbreiten dieselben Werte wie in den Tafeln 4

und 5. In den meisten Fällen ist jedoch ein höherer k -Wert zulässig, weil die Verzahnung die Eingriffsdauer $\varepsilon = 2$ überschreitet. Für verschiedene Übersetzungsverhältnisse und Zähnezahlen des Ritzels ist aus Abb. Z 27 ersichtlich, bei welcher Mindestbreite b_m dies der Fall ist. Wird b_m erreicht oder überschritten, können k -Werte zugelassen werden, die 25% höher sind als die in Tafel 4 und 5 für Stirnräder angegebenen.

2. Biegungsbeanspruchung. In die bei geradzahnten Rädern genannten Formeln ist der Normalmodul m_n einzusetzen, also ist

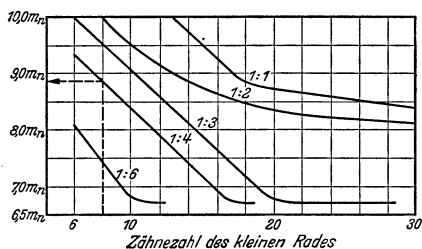


Abb. Z 27. Mindestbreite b_m für eine Eingriffsdauer $\varepsilon = 2$ an Palloidverzahnung.

$$\sigma = \frac{U \cdot q}{m_n \cdot b} \text{ in kg/cm}^2.$$

Für die q -Werte ist auch hier die Ergänzungszähnezahl einzusetzen (Spiralwinkel β_m nach Abb. Z 28)

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta_m \cdot \cos \delta_{p1}},$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta_m \cdot \cos \delta_{p2}}.$$

Bei Erreichen der Mindestbreite nach Tafel 14 können die σ -Werte das 1,8fache der nach Tafel 9 für Stirnräder zulässigen Werte betragen.

3. Achsdruck hängt neben dem Flankenwinkel α und dem Kegelwinkel δ_p auch noch von dem Spiralwinkel β_{m0} in der Kranzmitte, Abb. Z 28,

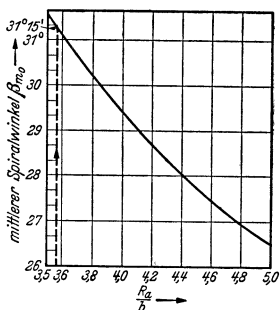


Abb. Z 28. Werte für mittleren Spiralwinkel β_{m0} an Palloidverzahnung.

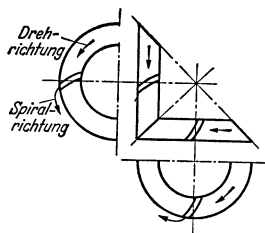


Abb. Z 29. Drehrichtung und Spiralrichtung gleich.

ab. Je nach der Drehrichtung des Rades, bezogen auf die Spiralrichtung der Zähne, sind zwei Fälle möglich:

Dreh- und Spiralrichtung gleich nach Abb. Z 29:

$$A_1 = U \left(\operatorname{tg} \alpha \frac{\sin \delta_{p1}}{\cos \beta_{m0}} + \operatorname{tg} \beta_{m0} \cdot \cos \delta_{p1} \right) \text{ für Ritzel,}$$

$$A_2 = U \left(\operatorname{tg} \alpha \frac{\sin \delta_{p2}}{\cos \beta_{m0}} - \operatorname{tg} \beta_{m0} \cdot \cos \delta_{p2} \right) \text{ für Rad.}$$

Dreh- und Spiralrichtung einander entgegengesetzt:

$$A_1 = U \left(\operatorname{tg} \alpha \frac{\sin \delta_{p1}}{\cos \beta_{m0}} - \operatorname{tg} \beta_{m0} \cdot \cos \delta_{p1} \right) \text{ für Ritzel,}$$

$$A_2 = U \left(\operatorname{tg} \alpha \frac{\sin \delta_{p2}}{\cos \beta_{m0}} + \operatorname{tg} \beta_{m0} \cdot \cos \delta_{p2} \right) \text{ für Rad.}$$

Positives Endergebnis bedeutet einen Achsdruck von der Kegelspitze weg, negative Endergebnisse auf die Kegelspitze zu.

4. Beispiel nach Tafel 15, dazu Werkstoff für Ritzel und Rad Einsatzstahl, Lebensdauer $k = 10000$ Betriebsstunden.

$$v = \frac{0,054 \cdot \pi \cdot 1000}{60} = 2,83 \text{ m/s,}$$

$$U = \frac{25 \cdot 75}{2,83} = 663 \text{ kg,}$$

$$k = 3,125 \frac{663}{3,5 \cdot 5,4} \sqrt{\frac{4^4 + 1}{4^2}} = 113.$$

Nach Tafel 4 und 5 wäre $k = 0,8 \cdot 174 = 139 \text{ kg/cm}^2$ zulässig.

Eine Erhöhung des k -Wertes aus der Tafel ist nicht zulässig, da die Verzahnungsbreite $b = 35 \text{ mm} = 7 \cdot m_n$ beträgt, während sie nach Abb. Z 27 $b_m = 8,9 m_n$ betragen müßte.

Auch die Biegungsspannung beim Anlaufen darf nur den Wert nach Tafel 9, also $\sigma_{m0} = 3600 \text{ kg/cm}^2$ betragen. Dem würde bei $q = 4,35$ für $z_{n1} = \frac{8}{\cos^3 31^\circ 15' \cdot \cos 12^\circ} = \approx 13$ entsprechen, wenn

$$Ra/b = 125/35 = 3,57 \text{ und}$$

$$\beta_{m0} = 31^\circ 15' \text{ (in Abb. Z 28 eingezeichnet),}$$

$$U = \frac{3600 \cdot 0,5 \cdot 3,5}{4,35} = 1460 \text{ kg,}$$

s ist also mehr als das Doppelte der Umfangskraft im Beharrungszustand möglich.

$$\begin{aligned} A_1 &= U \left(\operatorname{tg} 20^\circ \frac{\sin 12^\circ}{\cos 31^\circ 15'} + \operatorname{tg} 31^\circ 15' \cdot \cos 12^\circ \right) \\ &= 663 \cdot 0,683 = + 454 \text{ kg,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= U \left(\operatorname{tg} 20^\circ \frac{\sin 78^\circ}{\cos 31^\circ 15'} - \operatorname{tg} 31^\circ 15' \cdot \cos 78^\circ \right) \\ &= 663 \cdot 0,29 = + 192 \text{ kg.} \end{aligned}$$

D. Messen der Zahnräder.

Das Prüfen der Zahnräder ist grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten möglich:

I. Durch Einzelfehlermessungen.

II. Durch Gesamtfehlerprüfungen (Abrollprüfungen).

Das Messen einzelner Bestimmungsgrößen der Zahnräder ist besonders bei ihrer Herstellung zur Überwachung der Einstellung und des richtigen Arbeitens der Verzahnungsmaschinen erforderlich. Gesamtfehlerprüfungen sind notwendig für die Abnahme bei großen Stückzahlen, wo Einzelfehlermessungen zu zeitraubend wären.

I. Einzelfehler, Begriffe, Messungen und Meßgeräte.

a) Allgemeines.

Das normale Evolventenstirnrad mit geraden oder schrägen Zähnen (Schraubenrad) ist hinsichtlich seiner Verzahnung bestimmt durch folgende fünf Angaben:

1. Zähnezahl z .
 2. Modul m (bei Schrägzahnrädern Stirnmodul m_s bzw. Normalmodul m_n).
 3. Eingriffswinkel α (bei Schrägzahnrädern Stirneingriffswinkel α_s bzw. Normaleingriffswinkel α_n).
 4. Zahndicke \hat{s} bzw. vorgeschriebenes Flankenspiel S_f bei der Paarung zweier Räder.
 5. Schrägungswinkel β ($\beta = 0$ beim Geradzahn-Stirnrad).
- Dazu kommt bei profilverschobenen Rädern noch der Profilverschiebungsfaktor x (s. DIN 870).

Aus Modul und Zähnezahl ergibt sich der Teilkreis des Rades als durch das Verzahnungssystem bestimmte fehlerfreie, reine Rechnungsgröße: Der Teilkreis eines Zahnrades ist — eine für alle Messungen grundsätzlich wichtige Festlegung — der Kreis mit dem Durchmesser $\hat{d}_0 = m \cdot z$ (bei Schrägzahnrädern: $\hat{d}_0 = m_s \cdot z = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z$), dessen Mittelpunkt auf der Radachse liegt (Radachse = Führungssachse des Rades, Achse der Radbohrung).

Der Teilkreis kann also keine Fehler haben und nicht gemessen werden.

Die Verzahnung eines Evolventenstirnrades kann folgende Einzelfehler haben¹⁾:

1. Zahnformfehler einschließlich Eingriffswinkelfehler,
2. Teilungsfehler,
3. Zahndickenfehler,
4. Rundlauffehler,
5. Zahnrichtungsfehler.

b) Zahnformfehler und seine Messung.

Der gesamte Zahnformfehler F_f ist die volle innerhalb des Flankenprüfbereiches²⁾ vorhandene Abweichung der Zahnflanke von der Evolvente des (zur Radachse mittigen) Soll-Grundkreises.

Der Zahnformfehler kann entstehen:

1. durch unregelmäßigen und von der reinen Evolvente abweichenden Verlauf der Zahnflanke;
2. durch zu großen, zu kleinen oder außermittigen Grundkreis der Verzahnung, wobei die Zahnflanke eine Evolvente dieses falschen Grundkreises ist.

Praktisch sind in der Regel beide Anteile zugleich vorhanden. Oft wird unter dem Zahnformfehler nur die Abweichung von der reinen Evolvente (1) verstanden, und der vom Größenfehler des Grundkreises herrührende Fehleranteil (2) als Eingriffswinkelfehler auf-

¹⁾ Die im folgenden verwendeten Fehlerbegriffe und -bezeichnungen entsprechen denen des Merkblattes „Stirnradfehler“, herausgegeben von der Fachgruppe Werkzeugmaschinen, zu beziehen durch den Beuth-Vertrieb G. m. b. H.

²⁾ Bereich der Flanken, innerhalb dessen die Zahnform toleriert wird.

gefaßt. Gemäß der Beziehung: $d_g = d_0 \cdot \cos \alpha$, Abb. Z 30, ergibt sich der Ist-Eingriffswinkel aus: $\cos \alpha_{\text{ist}} = \frac{d_{g \text{ ist}}}{d_0}$.

Der Unterschied $\alpha_{\text{ist}} - \alpha_{\text{soll}} =$ Eingriffswinkelfehler f_α wird in Winkelminuten angegeben.

c) Prüfung der Zahnform.

1. Grundgedanke der Prüfgeräte. Ein an die zu prüfende Zahnflanke gelegter Taster wird auf einer genauen Evolvente des Soll-Grundkreises des Rades geführt und die von ihm aufgenommene Abweichung der Zahnflanke von dieser Soll-Evolvente über ein Hebelwerk vergrößert aufgezeichnet.

2. Geräte mit festen Grundkreisscheiben.

Bei den einfacheren Geräten (Klingenberg, Maagu. a.) wird die Evolventenbewegung des Tasters zum Rad durch Abwälzen eines geraden Lineals an einer mit dem Rad fest verbundenen Scheibe mit dem Durchmesser des Soll-Grundkreises des Rades bewirkt, Abb. Z 31. Die genau über der Linealkante liegende Tastkuppe des Tasthebels (diese Lage muß von Zeit zu Zeit nachgeprüft werden) beschreibt dabei eine Evolvente des Soll-Grundkreises in bezug auf das Rad. Die Abweichungen der Zahnflanke von dieser Soll-Evolvente werden vergrößert auf dem Diagrammpapier über dem abgewälzten Grundkreisbogen als Abszisse aufgeschrieben. Beim Klingenberg-Gerät ist noch eine

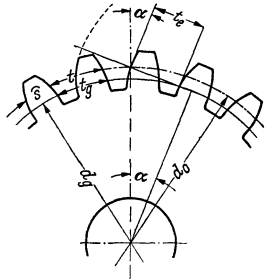


Abb. Z 30. Meßgrößen am Zahnrad.

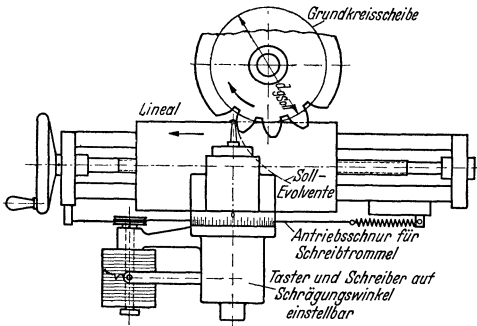


Abb. Z 31. Schema eines Evolventen-Prüfgerätes mit Grundkreisscheibe (Bauart Klingenberg).

Übersetzung zwischen Wälzweg und Schreibpapierweg vorhanden, so daß die Diagrammlänge = $2 \times$ Wälzweg (günstig besonders bei kleinen Teilmungen) ist.

Wenn die Zahnflanke eine genaue Evolvente des Soll-Grundkreises ist, dann ist die aufgezeichnete Prüfkurve eine gerade Linie in Richtung

der Schlittenverschiebung, da kein Schreibhebelausschlag erfolgt, Abb. Z 32a.

Wenn die Zahnflanke eine Evolvente eines zu kleinen oder zu großen Grundkreises ist (d. h. Eingriffswinkel zu groß oder zu klein), dann ist das Prüfbild praktisch ebenfalls eine gerade, aber zur Schlittenverschiebung mehr oder weniger geneigte Linie, Abb. Z 32b und c. Bei Abweichung der Prüfkurve und damit der Zahnflanke zum Zahninneren hin (aus Richtung des Schreibhebelausschlages beim Überfahren der Kopfkante leicht feststellbar) ist der Grundkreis zu klein, umgekehrt zu groß.

Außermittigkeit des Grundkreises und damit der Verzahnung zur Radachse bewirkt ebenfalls Schräglage der Prüfkurve. Bei unregelmäßigen und rauen Zahnflanken erhält man zackige Prüfkurven, Abb. Z 32d; Schräglage der ausgleichenden Geraden durch die Prüfkurve zeigt auch hier, daß Grundkreis (Eingriffswinkel) nicht stimmt, bzw. Schlag vorhanden ist.

Berechnung des Grundkreis-Scheibendurchmessers:

Für Stirnräder mit geraden Zähnen ist:

$$d_g = d_0 \cdot \cos \alpha = m \cdot z \cdot \cos \alpha.$$

Für Stirnräder mit schrägen Zähnen ist:

$$d_g = d_0 \cdot \cos \alpha_s = m_s \cdot z \cdot \cos \alpha_s = \frac{m_n \cdot z}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_n + \cos^2 \beta}}.$$

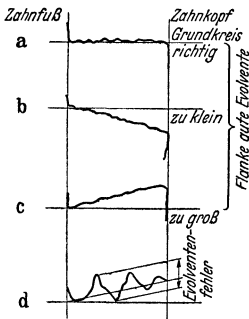


Abb. Z 32 a bis d.

Die Abweichung des Ist-Grundkreisdurchmessers vom Sollwert ist aus der Schräglage der Prüfkurve bzw. der ausgleichenden Geraden berechenbar. Es ist (Abb. Z 33)

$$f_g = d_{g \text{ ist}} - d_{g \text{ soll}} = d_{g \text{ soll}} \cdot \frac{a \cdot v_b}{b \cdot v_a} \cdot 1000 \mu.$$

Hierin ist: $d_{g \text{ soll}}$ = Soll-Grundkreisdurchmesser = Durchmesser der Grundkreisscheibe

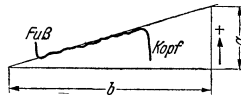


Abb. Z 33.

in mm; a aus den Prüfbildern zu einem beliebig zu wählenden b in mm abzugreifen (Abb. Z 33; mit Rücksicht auf Schlag Mittel aus den Prüfbildern mehrerer am Radumfang gleichmäßig verteilter Flanken nehmen):

$$v_a = \text{Vergrößerungs-Maßstab für den Fehler,} \\ v_b = \text{„ „ „ „ „ Wälzweg.}$$

Bei z. B. einer Strecke $b = 50$ mm:

$$\text{für das Klingelberg-Gerät mit } v_a = 250, v_b = 2 \text{ wird } f_g = d_{g \text{ soll}} \cdot \frac{a}{6,25} \mu$$

$$\text{für das Maag-Gerät mit } v_a = 350, v_b = 1 \text{ wird } f_g = d_{g \text{ soll}} \cdot \frac{a}{17,5} \mu.$$

Die Formeln gelten für Räder mit geraden und schrägen Zähnen, wenn die Abweichungen in einer zur Achse senkrechten Ebene (Stirnebene)

gemessen werden. Wird aber bei Schrägzahnrädern die Abweichung in der Ebene senkrecht zur Flanke (Normalebene) gemessen (durch Einstellung des Meßtasters auf den Schrägungswinkel β), dann ist an Stelle von a in die Formel für f_g der Wert $a/\cos\beta$ einzusetzen.

Der Eingriffswinkelfehler f_α ist in Winkelminuten aus f_g nach folgenden Näherungsgleichungen (hinreichend genau für Abweichungen bis zu 30 Minuten) errechenbar:

$$\text{Für } \alpha = 20^\circ \text{ wird: } f_\alpha \approx -10 \cdot \frac{f_g}{d_0} \text{ } \nlessdot \text{ min,}$$

$$\text{für } \alpha = 15^\circ \text{ wird: } f_\alpha \approx -13,3 \cdot \frac{f_g}{d_0} \text{ } \nlessdot \text{ min (} f_g \text{ in } \mu, d_0 \text{ in mm einsetzen).}$$

Durch Einsetzen des Wertes von f_g aus der Flankenprüfung in diese Näherungsformeln erhält man unter Berücksichtigung von $\frac{d_{g \text{ soll}}}{d_0} = \cos \alpha$ unmittelbar den Eingriffswinkelfehler aus den dort ermittelten Werten a und b .

$$\text{Für } \alpha = 20^\circ \text{ wird } f_\alpha \approx -9500 \cdot \frac{a \cdot v_b}{b \cdot v_a} \text{ } \nlessdot \text{ min,}$$

$$\text{für } \alpha = 15^\circ \text{ wird } f_\alpha \approx -12900 \cdot \frac{a \cdot v_b}{b \cdot v_a} \text{ } \nlessdot \text{ min.}$$

Bei $b = 50$ mm beim Klingelberg-Gerät (s. oben):

$$\text{und für } \alpha = 20^\circ \text{ wird } f_\alpha \approx -1,5 \cdot a \text{ } \nlessdot \text{ min,}$$

$$\text{für } \alpha = 15^\circ \text{ wird } f_\alpha \approx -2 \cdot a \text{ } \nlessdot \text{ min}$$

und beim Maag-Gerät (s. oben):

$$\text{für } \alpha = 20^\circ \text{ wird } f_\alpha \approx -0,54 \cdot a \text{ } \nlessdot \text{ min,}$$

$$\text{für } \alpha = 15^\circ \text{ wird } f_\alpha \approx -0,73 \cdot a \text{ } \nlessdot \text{ min.}$$

Für Schrägzahnräder beachte hinsichtlich a das oben zu f_g Gesagte. f_α bezieht sich bei ihnen auf den Stirneingriffswinkel α_s .

Diese Auswertung des Evolventendiagrammes ist natürlich nur zulässig, wenn die Grundkreisscheibe den richtigen Durchmesser hat und das Gerät einwandfrei arbeitet (richtige Lage und Form des Tasters, kein Schlupf zwischen Lineal und Scheibe).

Beispiel. Prüfung eines Stirnrades mit geraden Zähnen mit $z = 40$, $m = 3$, $\alpha = 20^\circ$. Klingelberg-Gerät.

Grundkreis-Scheibendurchmesser $d_{g \text{ soll}} = 3 \cdot 40 \cdot 0,93969 = 112,764$ mm.

Aus den Prüfbildern von vier um je 90° versetzten Rechtsflanken sei im Mittel entnommen zu $b = 50$ mm, $a = +8$ mm

$$f_{gR} = +112,8 \cdot \frac{8}{6,25} = +144 \mu,$$

$$f_{\alpha R} = -1,5 \cdot 8 = -12 \text{ } \nlessdot \text{ min.}$$

Für die Linksflanken sei gefunden: $a = -3$ mm

$$f_{gL} = -112,8 \cdot \frac{3}{6,25} = -54 \mu,$$

$$f_{\alpha L} = +1,5 \cdot 3 = +4,5 \text{ } \nlessdot \text{ min.}$$

3. Geräte mit einstellbarem Grundkreis. Bei den Zahnflankenprüfgeräten der Firmen Zeiss, Abb. Z 34, und Mahr sind keine Grundkreisscheiben erforderlich, da diese Geräte eine stufenlose Einstellung des Grundkreises ermöglichen. Beim Zeiss-Gerät erteilt ein im Geräteunterteil ein-

gebauter Schlitten über zwei Wälzbänder einem Grundkreissegment mit dem Halbmesser R_g eine seiner Verschiebung entsprechende Drehung um den Mittelpunkt M . Eine Bewegungsübertragung durch Steuerlineale be-

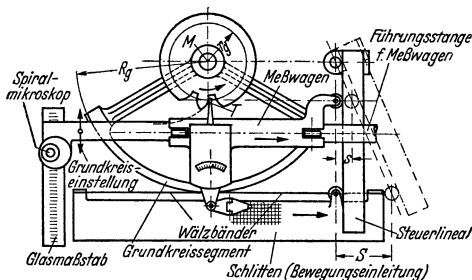


Abb. Z 34. Schema des Evolventen-Prüfgerätes von Zeiss.

wirkt, daß zwischen dem Weg s des Fühlhebeltasters T auf dem Meßwagen und dem Weg S des Antriebschlittens bei jeder Einstellung des Meßschlittens die Beziehung besteht:

$$\frac{s}{S} = \frac{r_g}{R_g}$$

Der Fühlhebeltaster T beschreibt daher in bezug auf ein mit der Grundkreisachse gekuppeltes Rad eine Evolvente des jeweils eingestellten Grundkreises mit dem Halbmesser r_g und zeigt, an die Zahnflanke des Rades angestellt, unmittelbar in 500facher Vergrößerung die Abweichung der Zahnflanke von dieser Evolvente an. Die Grundkreiseinstellung ist an eingebautem Glasmaßstab mittels Spiralmikroskop auf 1μ ablesbar. Durch mit Folgezeiger gekuppelten Schreibstift kann die Abweichung der Zahnform über dem abgewickelten Grundkreisbogen aufgezeichnet werden. Bei der neuesten Ausführung ist ein elektrischer Fühlhebel mit gekuppeltem Schreibgerät vorgesehen, das die Fehler unmittelbar 1000fach vergrößert aufzeichnet. Für die Prüfung des Gerätes wird ein Prüfgrundzylinder mit Wälzbändern benutzt, der die genaue Justierung ermöglicht.

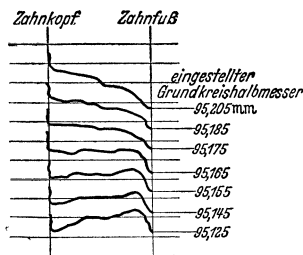


Abb. Z 35. Flankenprüfbilder mit verschiedenen Grundkreiseinstellungen auf Zeiss-Evolventen-Prüfgerät.

Das Gerät von Mahr ist im Aufbau grundsätzlich ähnlich.

Die Geräte mit einstellbarem Grundkreis ermöglichen dessen unmittelbare Bestimmung. Man sucht durch allmähliches Verstellen den Grundkreishalbmesser, bei dem die ausgleichende Gerade durch die aufgezeichnete Prüfkurve waagrecht liegt. Der dann eingestellte Grundkreis ist der wirkliche Grundkreis des Rades und seine Durchmesser-Abweichung vom Sollwert der Grundkreisfehler f_g der betreffenden Flanke (s. oben). Durch Bildung des Mittels aus den Messungen von mehreren am Rad gleichmäßig

verteilten Flanken ist auch hier der Einfluß des Schlages auszugleichen. Abb. Z 35 zeigt Prüfbilder der gleichen Zahnflanke, aufgenommen mit dem Zahnflankenprüfgerät von Zeiss bei verschiedenen Grundkreiseinstellungen. Je nach der Oberflächengüte der Flanken kann der Grundkreishalbmesser mit dem Zeiss-Gerät mit einer Genauigkeit bis zu $\pm 5 \mu$ ermittelt werden.

d) Teilungsfehler.

Die Teilungsfehler eines Zahnrades sind die Abweichungen seiner Teilungen von ihrem Sollwert. Praktisch werden dagegen meist die Abweichungen der aufeinanderfolgenden Teilungen voneinander als Teilungsfehler bezeichnet. Diese für die Teilgenauigkeit des Zahnrades sehr kennzeichnende und wesentlich einfacher als der eigentliche Teilungsfehler zu messende Größe sollte aber zur Vermeidung von Irrtümern entsprechend der Festlegung des oben erwähnten Merkblattes stets als Teilungssprung oder Ungleichmäßigkeit der Teilung bezeichnet werden.

Bei Evolventenzahnrädern sind zu unterscheiden:

1. Teilkreis-Teilungsfehler.

α) Der **Einzel-Teilfehler** f_t der Teilkreisteilung ist der Unterschied zwischen dem Istwert einer einzelnen auf dem zur Radachse mittigen Teilkreis gemessenen Teilung und ihrem

$$\text{Sollwert } t = \frac{d_0 \cdot \pi}{z}.$$

β) Der **Summen-Teilfehler** F_t der Teilkreisteilung ist der Unterschied der Summe von n aufeinanderfolgenden Teilkreisteilungen von ihrem Sollwert $n \cdot t$.

Die Auftragung des Summenteilfehleres eines Zahnrades wird mitunter als Fehlerbewegungs schaubild und die Ausschlagweite dieses Schaubildes, der größte zwischen irgend zwei Zähnen des Rades vorhandene Summenteilfehler, als Gesamteilfehler des Rades bezeichnet, Abb. Z 36. Außermittigkeit (Schlag) der Verzahnung zur Radachse wirkt sich als periodischer Fehler der Teilkreisteilung aus. Einzel- und Summenteilfehler verlaufen nach sinoiden Kurven. Der durch eine Außermittigkeit e verursachte größte Summenteilfehler zwischen zwei am Rad sich gegenüberliegenden Zähnen hat die Größe $2e$, der größte Einzelteilfehler die Größe $\frac{2\pi \cdot e}{z}$.

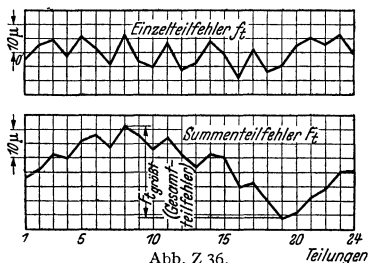


Abb. Z 36.

2. Eingriffs-Teilungsfehler.

Die Eingriffsteilung t_e ist die Entfernung paralleler Tangenten bzw. Tangentialebenen, die an zwei aufeinanderfolgende gleichgerichtete Flanken des Zahnrades angelegt sind, Abb. Z 30. Der Eingriffs-Teilungsfehler f_e einer einzelnen Teilung ist der Unterschied zwischen ihrem Istwert und ihrem Sollwert. Der mittlere Eingriffs-Teilungsfehler f_{em} ist der Unterschied zwischen dem Mittelwert der Eingriffsteilungen aller Rechts- bzw. Linksflanken des Rades und dem Sollwert.

Der Sollwert der Eingriffsteilung beim Stirnrad mit geraden Zähnen ist $t_e = m \cdot \pi \cdot \cos \alpha$. Beim Schrägzahnrad wird die Normal-Eingriffs-

teilung mit dem Sollwert $t_{en} = m_n \cdot \pi \cdot \cos \alpha_n$ gemessen. Bei genau evolventischen Zahnflanken ist die Eingriffsteilung t_e auf allen Eingriffslinien gleichbleibend (Grundeigenschaft der Evolventenverzahnung) und gleich der Grundkreisteilung t_g (Grundkreisbogen zwischen den Anfangspunkten der die Zahnflanken bildenden Evolventen, Abb. Z 30).

Bei guter Evolvente kann aus der gemessenen mittleren Eingriffsteilung t_{em} der Grundkreisfehler f_g und der Eingriffswinkelfehler f_α errechnet werden, da in diesem Falle

$$z \cdot t_{em} = z \cdot t_g = \pi \cdot d_g \quad \text{und} \quad \cos \alpha_{\text{ist}} = \frac{t_{em}}{m \cdot \pi}$$

ist. Beim Geradzahnrad gilt für den Grundkreisfehler mit $f_{em} =$ mittlerem Eingriffs-Teilungsfehler:

$$f_g = \frac{z \cdot f_{em}}{\pi};$$

für den Eingriffs-Winkelfehler gelten die Näherungsformeln:

$$\text{bei } \alpha = 20^\circ \dots f_\alpha \approx -\frac{3,2 \cdot f_{em}}{m} \text{ } \times \text{ min}$$

und bei $\alpha = 15^\circ \dots f_\alpha \approx -\frac{4,2 \cdot f_{em}}{m} \text{ } \times \text{ min}$ (f_{em} ist in μ einzusetzen).

Diese Formeln sind bis zu Abweichungen von $30'$ auf etwa $1'$ genau.

Mittels dieser Beziehung kann notwendigenfalls eine Zahnformprüfung durch die Absolutmessung der Eingriffsteilung nachgeprüft werden und umgekehrt.

Beim Schrägzahnrad ist unter der gleichen Voraussetzung die Grundkreisteilung t_g gleich der Eingriffsteilung im Stirnschnitt $t_{es} = \frac{t_{en}}{\cos \beta_g}$

($\beta_g =$ Schrägungswinkel am Grundzylinder und zu errechnen aus: $\text{tg } \beta_g = \text{tg } \beta \cdot \cos \alpha_s$ oder $\sin \beta_g = \sin \beta \cdot \cos \alpha_n$).

Es gilt also für die Mittelwerte:

$$t_g = \frac{\pi \cdot d_g}{z} = \frac{t_{en}}{\cos \beta_g}.$$

Wenn zwei von den drei Größen d_g , t_{en} oder β_g bekannt oder gemessen sind, dann ist nach dieser Beziehung die dritte erchenbar, also z. B. der Schrägungswinkel nach einer Messung von Zahnform und Eingriffsteilung.

Abweichungen der Zahnflanken von der Evolvente an den vom Meßgerät berührten Stellen gehen in die gemessene Eingriffsteilung ein; bei sehr unregelmäßigen Flanken verliert ihre Messung daher ihren Sinn. Eine Außermittigkeit (Schlag) der Verzahnung dagegen beeinflusst die Eingriffsteilung weder in ihrer Größe noch in der Gleichmäßigkeit, da sie bezugsfrei gemessen wird. Die Teilungssprünge zeigen sich — aber nur bei gut evolventischer Zahnform — in der Eingriffsteilung etwa in gleicher Größe wie in der Grundkreisteilung, da sich die beiden Teilungen größenmäßig nur durch den Cosinus des Eingriffswinkels (0,94 bei $\alpha = 20^\circ$) unterscheiden. Eine große Gleichmäßigkeit der Eingriffsteilung ist eine im Herstellverfahren begründete besondere Eigenschaft von mit mehrschneidigen Werkzeugen im Wälzverfahren erzeugten Zahnradern. Fehler der Teilgetriebe der Maschinen und zum Teil auch Teilfehler der Werkzeuge gehen

in die Gleichmäßigkeit der Eingriffsteilung in dieser Weise hergestellter Zahnräder meßbar kaum ein, sondern nur in deren Teilkreisteilung und Zahnform. Die Eingriffs-Teilungsmessung hat für die Beurteilung der Teilungsgleichmäßigkeit solcher Räder keinen Sinn und ist dafür in erster Linie bei geschliffenen Zahnrädern geeignet.

Die Absolutmessung der Eingriffsteilung zur Beurteilung des Eingriffswinkels kann aber selbstverständlich für alle Räder mit guter Zahnform herangezogen werden.

e) Messung der Teilung.

Bei der Teilkreisteilung wird praktisch meist nur die Ungleichmäßigkeit gemessen. In Sonderfällen, wie bei Werkzeugen (Schneidräder), Rädern für genaue Winkelübertragungen bei Meß- und Richtgeräten, Teilrädern von Maschinen usw. muß auch der Summenteilfehler gemessen werden.

1. Die Messung der Ungleichmäßigkeit der Teilkreis-Teilung erfolgt mit Geräten nach Art der Abb. Z 37. Der Meßbalken mit den auf die beiden Fühlhebel wirkenden, an die Zahnflanken anzustellenden Winkeltastern sitzt auf einem ausschwenkbaren Meßtisch, der in Meßstellung an einem festen Anschlag unter Gewichtszug anliegt (s. auch Abb. Z 53).

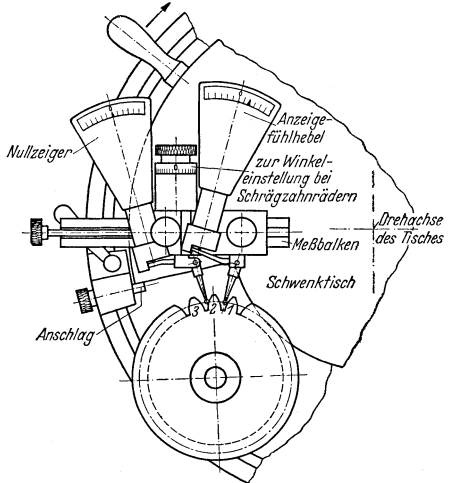


Abb. Z 37. Teilungs-Ungleichmäßigkeitsmessung mit Klingelnberg-Gerät.

Bei Einstellung an einer beliebigen ersten Teilung des Rades werden beide Fühlhebel auf Null gestellt. Dann wird der Tisch mit dem Meßbalken herausgeschwenkt, das Rad um eine Teilung weiter geteilt und der Meßbalken wieder herangebracht. Nach Verdrehen des Rades, bis der Nullzeige-Fühlhebel wieder Null zeigt, wird die Abweichung der zweiten Teilung von der ersten am anderen Fühlhebel abgelesen und so fort. Die Taster sollen ungefähr am Teilkreis anliegen und der Ausschlag des Winkelhebels zum Ablesefühlhebel etwa tangential zum Teilkreis erfolgen. Eine Auftragung der Meßwerte ergibt ein gutes Bild über den Teilungsverlauf. Nach dem Schema des Beispiels Tafel 18 kann auch der Summenteilfehler errechnet und aufgetragen werden (Abb. Z 36), jedoch ist bei nicht sehr glatten Flanken Vorsicht geboten, da die Fehler der vielen Einzelmessungen sich ungünstig addieren können. Andere nach gleichem Verfahren arbeitende Geräte stützen sich auf den Zahnköpfen bzw. im Zahngrund (Abb. Z 38) ab. Nullzeige-fühlhebel sind dabei oft durch einen festen Anschlag ersetzt. Nachteil: Etwaiger Schlag des mit der Verzahnung oft nicht laufenden Kopf- und Fußkreises geht in die Messung ein, Fälschung der Messung durch ungleiche Meßkraft beim Ansetzen des Gerätes.

2. Die Messung des Summen-Teilungsfehlers erfolgt am sichersten als Winkelmessung mit Theodolit und Kollimator (Abb. Z 39, Anordnung von Zeiss).

Das zu messende Zahnrad wird auf einem Drehtisch aufgenommen und der Theodolit daraufgesetzt. Eine Flanke des Rades wird an einen ausschwenkbaren Fühlhebelanschlag

angelegt und der Fühlhebel durch entsprechendes Drehen des Tisches auf Null gestellt. Das Fernrohr des Theodoliten wird auf eine optisch ins Unendliche verlegte Zielmarke (Kollimator) ausgerichtet. Nach Weiterdrehen des Drehtisches mit dem Rad und dem Theodoliten um genau eine oder mehrere Teilungen (durch Fühlhebelanschlag überwacht) wird das Fernrohr zurückgeschwenkt und die Zielmarke wieder eingefangen. Der Drehwinkel wird am nicht mit zurückgedrehten Teilkreis des Theodoliten abgelesen. Auf diese Art sind sämtliche Winkelteilungen (auch an Teilscheiben usw.) sowohl in bezug auf den Einzelteilfehler als auch auf den Summenteilfehler mit gleicher Genauigkeit meßbar. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa ± 2 Winkelsekunden = $\pm 2,5 \mu$ bei einem Rad mit 500 mm Dmr. Die Messung ist auch an auf der Verzahmaschine aufgespannten Rädern ausführbar.

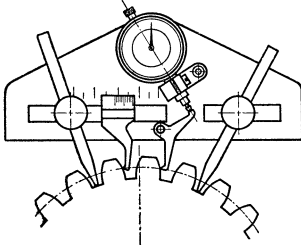


Abb. Z 38. Teilungsprüfgerät von Mahr.

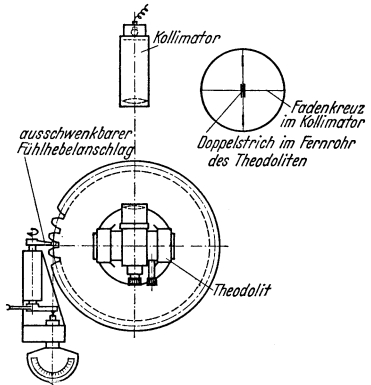


Abb. Z 39. Teilungsmessung mit Theodolit und Kollimator (Zeiss).

Tafel 18. Beispiel für das Errechnen der Summenteilfehler aus der Ungleichmäßigkeitsmessung.

Teilung Nr.	Meßwert μ	Einzelteilfehler = Meßwert - Mittelwert		Summen- teilfehler μ
		μ		
1	0	-2		- 2
2	+5	+3		+ 1
3	+7	+5		+ 6
4	+1	-1		+ 5
5	+8	+6		+11
....				
20	+4	+2		-14
21	+7	+5		- 9
22	+5	+3		- 6
23	+8	+6		0
24	+2	0		0
Summe: +48		Mittelwert: $\frac{+48}{24} = +2$		

3. Die Messung der Ungleichmäßigkeit der Eingriffsteilung erfolgt auf dem Standgerät von Zeiss mittels paralleler Schneiden, Abb. Z 40.

Die Schneide S_1 legt sich unter dem Gewichtszug an eine Flanke des durch die Kugelrast festgehaltenen Rades. Die an der leicht längsverschieblichen Meßstange befestigte Schneide S_2 wird durch die Feder an die benachbarte Flanke gedrückt. Der Fühlhebel zeigt jeweils die Abweichungen der einzelnen Teilungen gegenüber einer beliebig gewählten Anfangsteilung in μ an. Zum Weiterteilen des Rades wird der Meßwagen nach vorn herausgezogen, der durch eine Feder selbsttätig wieder an den Anschlag zurückläuft.

Messung mit Handmeßgeräten von Krupp, Abb. Z 41, Maag, Mahr.

Wirkungsweise: Durch den Stützfinger *S* gehalten, legt sich beim Aufsetzen des Gerätes auf einen Zahn die ebene Anlagefläche *A* gegen dessen eine Flanke. Beim Durchschwenken des Gerätes zeigt der Fühlhebel *F* einen Umkehrpunkt, der dem kürzesten Abstand der Flanken 1 und 2 auf der Eingriffslinie (= Eingriffsteilung) entspricht. Durch Verstellen von Finger *S* ist die Messung auf verschiedenen Eingriffslinien möglich. Gleichbleiben der Meßwerte ist dabei Zeichen einer guten Evolvente.

Die Geräte sind nach Einstellblockmassen, Abb. Z 42, auf die Soll-Eingriffsteilung einstellbar, so daß unmittelbar der Eingriffsteilungsfehler f_e meßbar ist, aus dessen mittlerem Wert nach den oben gegebenen Formeln leicht der Eingriffswinkelfehler errechnet werden kann.

Die Meßgenauigkeit in bezug auf die Gleichmäßigkeit von Zahn zu Zahn ist bei gut evolventischen Flanken mit etwa $\pm 1\mu$, in bezug auf das Absolutmaß mit etwa $\pm 2\mu$ anzusetzen.

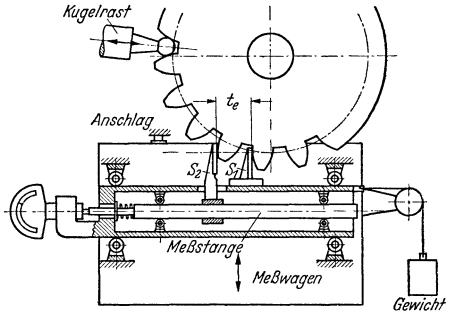


Abb. Z 40. Eingriffsteilungsmessung mit Zeiss-Zahnradprüfgerät.

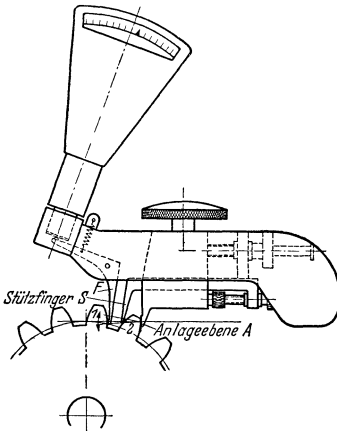


Abb. Z 41. Hand-Eingriffsteilungsprüfgerät von Krupp.

f) Zahndicke und ihre Messung.

I. Allgemeines. Die Zahndicke \hat{s} ist bei Geradzahnradern der Bogen des Teilkreises zwischen den beiden Flanken des Zahnes, Abb. Z 30, bei Schrägzahnradern der Bogen der zum Zahnverlauf senkrechten Schraubenlinie auf dem Teilzylinder zwischen den beiden Flanken des Zahnes (Normalzahndicke \hat{s}_n).

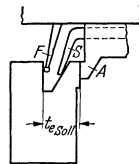


Abb. Z 42. Einstellblockmaß für Eingriffsteilungsprüfgeräte.

Das Nennmaß der Zahndicke ist bei der Normverzahnung:

$$\text{an Geradzahnradern: } \frac{t}{2} \pm (2x \cdot m \cdot \operatorname{tg} \alpha),$$

$$\text{an Schrägzahnradern: } \frac{t_n}{2} \pm (2x \cdot m_n \cdot \operatorname{tg} \alpha_n),$$

wobei das eingeklammerte Glied für korrigierte Zahnräder gilt; x = Profilverschiebungsfaktor. Soll bei Paarung der Räder ein Flankenspiel S_f (kleinster Abstand der unbelasteten Flanken des Räderpaares im Betrieb) eingehalten werden, dann müssen die Zähne beider Räder bei normalem

Betriebsachsenabstand um je $\delta\hat{s} = \frac{S_f}{2 \cos \alpha}$ bzw. $\delta\hat{s}_n = \frac{S_f}{2 \cos \alpha_n}$ dünner geschnitten werden als für spielfreien Gang¹⁾ bzw. es muß die Summe der

$\delta\hat{s}$ beider Räder gleich $S_f/\cos \alpha_{(n)}$ sein. Daher werden für die Zahndicke in der Regel zwei negative Abmaße gegeben, damit das vorgeschriebene Flankenspiel bei dem üblicherweise nur plus-tolerierten Achsenabstand eingehalten wird.

Die Zahndicke und Zahnlückenweite der einzelnen Zähne werden ebenso wie die Teilkreisteilung durch eine Außermittigkeit der Verzahnung (Schlag) beeinflusst; d. h. die auf dem Teilkreis gemessene (sog. wirksame) Zahndicke verläuft bei schlagender Verzahnung periodisch. Außerdem sind unregelmäßige bzw. ebenfalls periodische Schwankungen der Zahndicke infolge der Teilungsfehler der Rechts- und Linksflanken vorhanden.

Von der Zahndicke der einzelnen Zähne ist die mittlere Zahndicke

bzw. das mittlere Zahndickenabmaß als Mittelwert aller Zähne am Rad zu unterscheiden. Die Zahndicke der einzelnen Zähne muß mit Bezug auf die Radachse bzw. einen mit ihr laufenden Kreis gemessen werden. Sie muß am stärksten und schwächsten Zahn innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen liegen. Für die mittlere Zahndicke, die besonders für Maschineneinstellung gebraucht wird, sind einfachere bezugsfreie Meßverfahren möglich.

2. Meßverfahren und Geräte zum Messen der Zahndicke.

α) Zahnmeß-Schiebelehre, Abb. Z 43. Messung der Zahndickensehne \bar{s} vom Zahnkopf aus.

Für Geradzahnräder ist:

$$\bar{s} = d_0 \cdot \sin \frac{\sigma}{2} \quad \text{und} \quad q = m + \frac{d_0}{2} \left(1 - \cos \frac{\sigma}{2} \right) \pm (m \cdot x),$$

worin

$$\frac{\sigma}{2} = \frac{\pi}{2z} \pm \left(\frac{2x \operatorname{tg} \alpha}{z} \right) \quad (\text{in Bogenmaß}).$$

Für nicht profilverschobene Räder ($x = 0$) wird:

$$\sigma/2 = \pi/2z = 90^\circ/z.$$

Für Schrägzahnräder ist an Stelle von z und d_0 mit der ideellen Zähnezahl $z_i = \frac{z}{\cos^3 \beta}$ und dem ideellen Durchmesser $d_i = m_n \cdot z_i$ des Normalschnittes zu rechnen. Für sie gilt also:

Normalzahndickensehne $\bar{s}_n = d_i \cdot \sin \sigma_i/2$ und $q = m_n + \frac{d_i}{2} \left(1 - \frac{\cos \sigma_i}{2} \right) \pm (m_n \cdot x)$,

worin

$$\frac{\sigma_i}{2} = \frac{\pi}{2z_i} \pm \left(\frac{2x \operatorname{tg} \alpha_n}{z_i} \right).$$

¹⁾ Für Null-Getriebe; für V-Getriebe (siehe Abschnitt „Zahnräder“ A II a) ist fallweise besondere Berechnung erforderlich.

Nach Einstellung des Modulschiebers auf das errechnete q wird das Maß der Zahndickensehne bei Berührung der Flanken durch die Meßkanten abgelesen. Der Unterschied gegen die errechnete Zahndickensehne ist genügend genau = Zahndickenabmaß $\delta \hat{s}$ bzw. $\delta \hat{s}_n$.

Beispiel für Schragzahnrad:

$$z = 12, \quad m_n = 5, \quad \beta = 25^\circ, \quad \text{keine Profilverschiebung } (x = 0).$$

$$z_i = \frac{12}{\cos^2 25^\circ} = 16,119,$$

$$d_i = 5 \cdot 16,119 = 80,595 \text{ mm},$$

$$\sigma_i/2 = \frac{90^\circ}{16,119} = 5^\circ 35',$$

$$\bar{s}_n = 80,595 \cdot \sin 5^\circ 35' = 7,84 \text{ mm},$$

$$q = 5 + \frac{80,595}{2} (1 - \cos 5^\circ 35') = 5,19 \text{ mm}.$$

Gemessen: $\bar{s}_n = 7,73 \text{ mm}$, daher Zahndickenabmaß:

$$\delta \bar{s}_n = 7,73 - 7,84 = -0,11 \text{ mm}.$$

Nach dem gleichen Verfahren mißt die Zahnmeß-Schraublehre mit optischer Ablesung von Zeiss. Die Ablesung dieser Geräte von 0,02 mm ist für genaue Räder nicht mehr ausreichend; die Messung wird durch falsches Maß und Schlag des Kopfkreises gefälscht. Desgleichen können abgenutzte Meßkanten das Ergebnis stark fälschen.

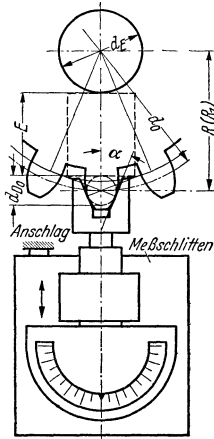


Abb. Z 44. Zahndickenmessung mit Kimmmeßvorrichtung.

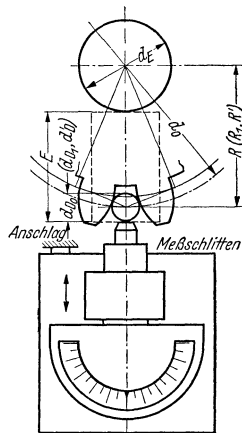


Abb. Z 45. Zahndickenmessung mit Meßdornen.

β) Die Gleichmäßigkeit der Zahndicke wird auf dem Standmeßgerät von Zeiss, Abb. Z 40, durch zwei am Teilkreis anliegende kleine Kugeln an Stelle der Schneiden gemessen, wozu der Gewichtszug umgekehrt wird. Über Ausbildung dieses Meßverfahrens für die Absolutmessung der Zahndicke s. Schrifttum Nr. 3 und 17. Andere einfache Meßgeräte für die Gleichmäßigkeit der Zahndicken stützen sich auf dem Kopf- bzw. Fußkreis des Rades ab.

γ) Kimmförmiges Meßstück zur mittelbaren Messung der Zahndicke, Abb. Z 44. (Der Fühlhebel kann hier und bei Abb. Z 45 bei geringeren

Genauigkeitsansprüchen durch eine Meßuhr ersetzt werden.) Die verwendete Kimme entspricht der Lücke der Bezug Zahnstange mit dem halben Flankenwinkel = Eingriffswinkel des zu messenden Rades (α bzw. α_n).

Die Ausgangs-Einstellung der Kimme in bezug auf die Radachse erfolgt durch Einstellorn und Endmaße zweckmäßig so, daß ihre Lückenweite im Abstand des Teilkreis-Halbmessers von der Radachse gleich dem Nennmaß der Zahndicke des Rades ist. Der zweckmäßigste Durchmesser des Einstellornes für die Kimme ist:

$$d_{D_0} = \frac{m \cdot \pi \cdot \cos \alpha}{2} \left(= \frac{t_e}{2} \right) \text{ für Geradzahnräder (siehe Tafel 19)}$$

bzw.

$$d_{D_0} = \frac{m_n \cdot \pi \cdot \cos \alpha_n}{2} \left(= \frac{t_{en}}{2} \right) \text{ für Schrägzahnräder,}$$

da dann das Einstellmaß der Dornmitte $R = d_0/2 \pm (x \cdot m$ bzw. $x \cdot m_n$ bei profilverschobenen Rädern) = Teilkreishalbmesser (\pm Profilverschiebung) wird. Bei anderem Dorndurchmesser wird umständlichere Berechnung nötig. Der Meßschlitten mit Fühlhebel und Kimme wird durch Endmaße: $E = \frac{d_0 - (d_E + d_{D_0})}{2} \pm (x \cdot m_n)$ so eingestellt, daß der Fühlhebel einen bestimmten zu merkenden Ausschlag zeigt. Dann wird das Rad zwischen die Spitzen gesetzt und die Fühlhebelausschläge beim Aufsetzen der Kimme auf die einzelnen Zähne abgelesen. (Bei Schrägzahnrädern muß die Kimme drehbar sein.) Ist δR die Abweichung des Ausschlages am Zahn gegen den Ausschlag bei der Einstellung, dann errechnet sich das Zahndickenabmaß zu:

$$\delta \hat{s}_{(n)} = 2 \cdot \delta R \cdot \operatorname{tg} \alpha_{(n)}.$$

Für $\alpha_{(n)} = 15^\circ$ wird $\delta \hat{s}_{(n)} = 0,54 \cdot \delta R$,

für $\alpha_{(n)} = 20^\circ$ wird $\delta \hat{s}_{(n)} = 0,73 \cdot \delta R$.

Muß an Stelle des Dornes mit dem Durchmesser d_{D_0} ein vorhandener Dorn mit dem abweichenden Durchmesser d_{D_1} verwendet werden, dann wird das Einstellmaß:

Tafel 19.

$$R_1 = \frac{d_0}{2} + \frac{d_{D_0} - d_{D_1}}{2 \cdot \sin \alpha_{(n)}} \pm (x \cdot m_{(n)})$$

und das Endmaß:

$$E = R_1 - \frac{d_E + d_{D_1}}{2}.$$

Modul	Günstigster Meßdorndurchmesser	
	$d_{D_0} = \frac{m \pi \cos \alpha}{2} \left(= \frac{t_e}{2} \right)$	
	für $\alpha = 15^\circ$ mm	für $\alpha = 20^\circ$ mm
1	1,517	1,476
1,25	1,897	1,845
1,5	2,276	2,214
1,75	2,655	2,583
2	3,035	2,952
2,25	3,414	3,321
2,5	3,793	3,690
2,75	4,173	4,059
3	4,552	4,428
3,25	4,931	4,797
3,5	5,310	5,166
3,75	5,690	5,535
4	6,069	5,904
4,5	6,828	6,642
5	7,586	7,380
6	9,104	8,856
7	10,621	10,332
8	12,138	11,809
9	13,655	13,285
10	15,173	14,761

δ) Eingelegter Dorn oder Kugel zur mittelbaren Messung der Lückenweite, Abb. Z 45. Anstatt der Zahndicke kann auch die Lückenweite gemessen werden, da (mittleres) Zahndickenabmaß = (mittlerem) Zahnückenabmaß mit entgegengesetztem Vorzeichen ist. Der verwendete Meßdorn soll die Flanken in Teilkreisnähe berühren, damit Fehler des Eingriffswinkels das Meßergebnis möglichst wenig beeinflussen.

Der zweckmäßigste Dorndurchmesser ist der, bei dem der Dornmittelpunkt beim Nennmaß der Zahndicke auf dem Teilkreis liegt, Abb. Z 45. Der Durchmesser dieses Dornes, der etwas unterhalb des Teilkreises berührt, entspricht dem des Einstellornes bei der Messung mit Kimme (Tafel 19).

Vorteile dieses Dornes: Einfaches Einstellmaß für die Dornmitte $R = d_0/2$; für alle Zähnezahlen eines Moduls ist nur ein Dorn nötig, während genau im Teilkreis berührende Dorne für jede Zähnezahl einen anderen Durchmesser haben müssen; bequeme Umrechnung der Fühlhebelablesung auf Zahndickenabmaß.

Die Ausgangseinstellung des Fühlhebels erfolgt bei normalen (nicht profilverschobenen) Rädern durch Endmaß: $E = \frac{d_0 + d_{D_0} - d_E}{2}$ und die Umrechnung des Unterschiedes seiner Anzeige am Rad gegen die Ausgangseinstellung auf Zahnlückenabmaß gemäß Formel:

$$\delta \hat{l}_{(n)} = -2 \cdot \delta R \cdot \operatorname{tg} \alpha_{(n)} \quad (\text{siehe auch } \gamma).$$

Für Schrägzahnräder wird an Stelle des Dornes besser eine Kugel verwendet.

Wenn kein Dorn bzw. Kugel mit Durchmesser d_{D_0} zur Verfügung steht und ein vorhandener Dorn mit Durchmesser d_{D_1} verwendet werden muß, dann Errechnung der Einstellmaße wie folgt:

Für das Geradzahnräder:

$$R_1 = \frac{d_0 \cdot \cos \alpha}{2 \cos \alpha_1},$$

wofür α_1 zu bestimmen aus:

$$ev \alpha_1 = ev \alpha + \frac{d_{D_1}}{d_0 \cdot \cos \alpha} - \frac{\pi}{2z} \pm \left(\frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} \right),$$

$ev \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha = \text{Evolventenfunktion (s. Schrifttum 2. und 5.)}$.

Einstellmaß E_1 :

$$E_1 = R_1 + \frac{d_{D_1} - d_E}{2}.$$

Umrechnung der Fühlhebelanzeige:

$$\delta \hat{l} = -2 \cdot \delta R_1 \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha}.$$

Für das Schrägzahnräder:

$$R_1 = \frac{d_0 \cdot \cos \alpha_s}{2 \cos \alpha_{s1}},$$

Tafel 20. Zahnweiten für $\alpha = 15^\circ$, Modul 1.

Für spielfreie Geradzahnräder ($\hat{s} = t/2$).

Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1	Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1	Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1	Zähnezahl der Räder	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1
12	2	4,6231	35	3	7,7943	57	5	13,9940	79	7	20,1938
13	2	4,6290	36	3	7,8002	58	5	14,0000	80	7	20,1998
14	2	4,6350				59	5	14,0059	81	7	20,2057
15	2	4,6409	37	4	10,8407	60	5	14,0119	82	7	20,2116
16	2	4,6469	38	4	10,8466				83	7	20,2176
17	2	4,6528	39	4	10,8526	61	6	17,0523	84	7	20,2235
18	2	4,6587	40	4	10,8585	62	6	17,0583			
19	2	4,6647	41	4	10,8645	63	6	17,0642	85	8	23,2640
20	2	4,6706	42	4	10,8704	64	6	17,0702	86	8	23,2699
21	2	4,6766	43	4	10,8763	65	6	17,0761	87	8	23,2759
22	2	4,6825	44	4	10,8823	66	6	17,0820	88	8	23,2818
23	2	4,6884	45	4	10,8882	67	6	17,0880	89	8	23,2878
24	2	4,6944	46	4	10,8942	68	6	17,0939	90	8	23,2937
			47	4	10,9001	69	6	17,0999	91	8	23,2996
25	3	7,7349	48	4	10,9060	70	6	17,1058	92	8	23,3056
26	3	7,7408				71	6	17,1117	93	8	23,3115
27	3	7,7467	49	5	13,9465	72	6	17,1177	94	8	23,3175
28	3	7,7527	50	5	13,9525				95	8	23,3234
29	3	7,7586	51	5	13,9584	73	7	20,1582	96	8	23,3293
30	3	7,7646	52	5	13,9643	74	7	20,1641			
31	3	7,7705	53	5	13,9703	75	7	20,1701	97	9	26,3698
32	3	7,7764	54	5	13,9762	76	7	20,1760	98	9	26,3758
33	3	7,7824	55	5	13,9822	77	7	20,1819	99	9	26,3817
34	3	7,7883	56	5	13,9881	78	7	20,1879	100	9	26,3876

Tafel 21. Zahnweiten für $\alpha = 20^\circ$, Modul 1.

Für spielfreie Gerad-Zahnräder ($\hat{s} = t/2$).

Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1	Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1	Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1	Zähnezahl des Rades	Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen	Zahnweite w_1 für Modul 1
9	2	4,5542	32	4	10,7806	55	7	19,9591	78	9	26,1855
10	2	4,5683	33	4	10,7946	56	7	19,9732	79	9	26,1995
11	2	4,5823	34	4	10,8086	57	7	19,9872	80	9	26,2135
12	2	4,5963	35	4	10,8226	58	7	20,0012	81	9	26,2275
13	2	4,6103	36	4	10,8367	59	7	20,0152			
14	2	4,6243				60	7	20,0292	82	10	29,1937
15	2	4,6383	37	5	13,8028	61	7	20,0432	83	10	29,2077
16	2	4,6523	38	5	13,8168	62	7	20,0572	84	10	29,2217
17	2	4,6663	39	5	13,8308	63	7	20,0712	85	10	29,2357
18	2	4,6803	40	5	13,8448				86	10	29,2497
			41	5	13,8588	64	8	23,0373	87	10	29,2637
19	3	7,6464	42	5	13,8728	65	8	23,0513	88	10	29,2777
20	3	7,6604	43	5	13,8868	66	8	23,0653	89	10	29,2917
21	3	7,6744	44	5	13,9008	67	8	23,0793	90	10	29,3057
22	3	7,6884	45	5	13,9148	68	8	23,0933	91	11	32,2719
23	3	7,7025				69	8	23,1074	92	11	32,2859
24	3	7,7165	46	6	16,8810	70	8	23,1214	93	11	32,2999
25	3	7,7305	47	6	16,8950	71	8	23,1354	94	11	32,3139
26	3	7,7445	48	6	16,9090	72	8	23,1494	95	11	32,3279
27	3	7,7585	49	6	16,9230				96	11	32,3419
			50	6	16,9370	73	9	26,1155	97	11	32,3559
28	4	10,7246	51	6	16,9510	74	9	26,1295	98	11	32,3699
29	4	10,7386	52	6	16,9650	75	9	26,1435	99	11	32,3839
30	4	10,7526	53	6	16,9790	76	9	26,1575			
31	4	10,7666	54	6	16,9930	77	9	26,1715	100	12	35,3500

wofür zu bestimmen Stirneingriffswinkel α_s aus: $\operatorname{tg} \alpha_s = \operatorname{tg} \alpha_n / \cos \beta$ und α_{s_1} aus:

$$e v \alpha_{s_1} = e v \alpha_s + \frac{d_{D_1}}{m_n \cdot z \cdot \cos \alpha_n} - \frac{\pi}{2z} \pm \left(\frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{z} \right).$$

Umrechnung des Fühlhebelausschlages:

$$\delta \hat{l}_n = -2 \delta R_1 \cdot \frac{\sin \alpha_{s_1}}{\cos \alpha_s} \cdot \cos \beta.$$

Beispiel für Schrägzahnrad: $z = 12$, $m_n = 5$, $\alpha_n = 20^\circ$, $\beta = 25^\circ$.

Keine Profilverschiebung ($x = 0$).

Vorhandene Meßkugel habe Durchmesser $d_{D_1} = 7,500$ mm,
vorhandener Einstellhorn habe Durchmesser $d_E = 30,020$ mm.

$$d_0 = \frac{m_n \cdot z}{\cos \beta} = \frac{5 \cdot 12}{\cos 25^\circ} = 66,202 \text{ mm},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 25^\circ}, \quad \alpha_s = 21^\circ 52,8', \quad e v \alpha_s = 0,019714,$$

$$e v \alpha_{s_1} = 0,019714 + \frac{7,500}{5 \cdot 12 \cdot \cos 20^\circ} - \frac{\pi}{2 \cdot 12} = 0,021835, \quad \alpha_{s_1} = 22^\circ 36,4'.$$

$$R_1 = \frac{66,202 \cdot \cos 21^\circ 52,8'}{2 \cdot \cos 22^\circ 36,4'} = 33,273 \text{ mm}.$$

Einstellendmaß: $E = 33,273 + \frac{7,500 - 30,020}{2} = 22,013$ mm. Gemessen: $\delta R = -155 \mu$.

Zahnlückenabmaß: $\delta \hat{l}_n = - \left(-2 \cdot 155 \cdot \frac{\sin 22^\circ 36,4'}{\cos 21^\circ 52,8'} \cdot \cos 25^\circ \right) = 310 \cdot 0,375 = 116 \mu$.
($= -\delta s_n$)

Bei Verwendung des Dornes mit Durchmesser d_{D_0} (s. oben) gilt für profilverschobene Gerad- und Schrägzahnräder:

$$e v \alpha_{1(s)} = e v \alpha_{(s)} \pm \frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha_{(n)}}{z}$$

R_1 , E_1 und $\delta \hat{l}$ sind damit aus den vorstehenden Gleichungen zu errechnen.

Der Durchmesser des Dornes, der beim Nennmaß der Zahndicke die Flanken genau am Teilkreis berührt, ist:

Für das Geradzahnrad:

$$d'_D = d_0 \cdot \frac{\sin \psi}{\cos \alpha'}, \quad \text{worin} \quad \psi = \frac{\pi}{2z} - \left(\pm \frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} \right) \quad \text{und} \quad \alpha' = \alpha + \psi.$$

Für das Schrägzahnrad:

$$d'_D = d_0 \cdot \frac{\sin \psi}{\cos \alpha'_s} \cdot \cos \beta_g, \quad \text{worin} \quad \psi = \frac{\pi}{2z} - \left(\pm \frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{z} \right), \quad \alpha'_s = \alpha_s + \psi,$$

$$\beta_g \text{ aus } \sin \beta_g = \sin \beta \cdot \cos \alpha_n.$$

Zur Berechnung der Einstellmaße R' und E' sowie zur Umrechnung auf $\delta \hat{l}$ sind d'_D und $\alpha'_{(s)}$ in die vorangehenden Formeln an Stelle von d_{D_1} und $\alpha_{(s)}$ einzusetzen.

Meßverfahren β) bis δ) gehen sämtlich von der Radachse aus, sind also geeignet zur Bestimmung des Zahndicken- bzw. -lückenabmaßes einzelner Zähne.

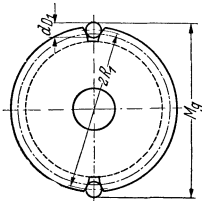


Abb. Z 46.

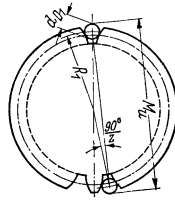


Abb. Z 47.

ϵ) In gegenüberliegende Lücken eingelegte Meßdorne, Abb. Z 46 und 47, ergeben ein bezugsfreies Maß, in das die Abmaße zweier Zahn-lücken eingehen.

Der Meßwert M berechnet sich für das Geradzahnrad bei Verwendung eines Meßdornes mit Durchmesser d_{D_0} bzw. d_{D_1} (Abb. Z 46/47):

bei Rad mit gerader Zähnezahl zu: $M_g = d_0 + d_{D_0}$ bzw. $2R_1 + d_{D_1}$,

bei Rad mit ungerader Zähnezahl zu: $M_u = d_0 \cdot \cos(90^\circ/z) + d_{D_0}$ bzw. $2R_1 \cdot \cos(90^\circ/z) + d_{D_1}$. R_1 ist gemäß δ) zu berechnen.

Für die Umrechnung der Meßwerte auf das Zahnlückenabmaß gelten die Beziehungen:

$$\delta \hat{l}_g = -\delta M_g \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \text{bzw.} \quad -\delta M_g \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha} \quad \text{bei gerader Zähnezahl}$$

$$\text{und} \quad \delta \hat{l}_u = -\delta M_u \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(90^\circ/z)} \quad \text{bzw.} \quad -\delta M_u \cdot \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha \cdot \cos(90^\circ/z)}$$

bei ungerader Zähnezahl für die Dorne d_{D_0} bzw. d_{D_1} .

Diese Messung läßt sich auch auf der Verzahnmaschine durchführen. Um das mittlere Abmaß zu bekommen, nimmt man das Mittel aus mehreren Messungen über verschiedene Durchmesser. Für Schrägzahnräder ist sie unsicher, da Dorne in der Lücke wackeln und Kugeln schlecht zu halten sind.

ζ) Messen der Zahnweite über mehrere Zähne, Abb. Z 48 und 49, ist ein bequemes werkstattmäßiges Meßverfahren für das auf der Maschine aufgespannte Rad; es gibt ebenfalls ein bezugsfreies Maß der Zahndicke.

Das Maß W , Abb. Z 48, ist für Stirnräder mit geraden Zähnen mit dem Nennmaß der Zahndicke:

$$W = m \cdot \cos \alpha \cdot [(z' - 0,5) \pi + z \cdot \epsilon v \alpha] \pm (2x \cdot m \cdot \sin \alpha),$$

worin z' = Zahl der Zähne zwischen den Meßflächen und $\epsilon v \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$ (s. Schrifttum 2. u. 5.).

Damit die Meßflächen die Flanken in Teilkreisnähe berühren, ist z' zu bestimmen aus:

$$z' = z \cdot \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} + 0,5,$$

d. i. für $\alpha = 15^\circ$: $z' = z/12 + 0,5$
für $\alpha = 20^\circ$: $z' = z/9 + 0,5$ } Es ist die nächstliegende ganze Zahl zu nehmen.

Ist δW der Unterschied zwischen dem Meßwert und dem errechneten W , dann ist das Zahndickenabmaß $\delta \hat{s} = \frac{\delta W}{\cos \alpha}$. Das Flankenspiel zweier Räder, die beide das Abmaß $\frac{\delta W}{\cos \alpha}$ haben, ist unmittelbar $S_f = 2 \cdot \delta W$. Da in die gemessene Zahnweite außer der Zahndicke auch mehrere Teilungen mit ihren Fehlern eingehen, ist an mehreren am Radumfang verteilten Stellen zu messen und das Mittel zu nehmen.

Für normale (nicht profilverschobene) Geradzahnräder sind in den Tafeln 20 und 21 die Zahnweiten für Modul 1 und die Zähnezahlen bis 100 für $\alpha = 20^\circ$ und 15° gegeben. Für andere Teilungen ist mit dem Modul zu multiplizieren. Bei profilverschobenen Rädern ist $\pm 2x \cdot m \cdot \sin \alpha$ zu den Tafelwerten hinzuzufügen. Die Tafelwerte enthalten kein Zahndickenabmaß.

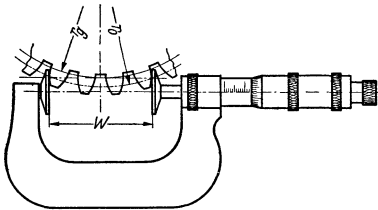


Abb. Z 48. Zahnweiten-Schraublehre.

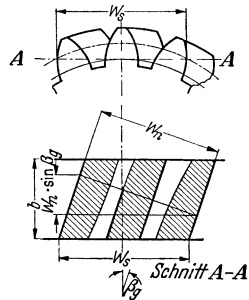


Abb. Z 49. Zahnweiten-Messung am Schrägzahnrad.

Für Schrägzahnräder ist die Messung ebenfalls ausführbar, aber senkrecht zum Zahnverlauf, Abb. Z 49. Es ist beim Schrägzahnrad:

$$W_n = m_n \cdot \cos \alpha_n \cdot [(z' - 0,5) \pi + z \cdot \epsilon v \alpha_s] \pm (2x \cdot m_n \cdot \sin \alpha_n),$$

$$\epsilon v \alpha_s = \operatorname{tg} \alpha_s - \alpha_s.$$

α_s aus: $\operatorname{tg} \alpha_s = \operatorname{tg} \alpha_n / \cos \beta$. Die Meßzahnzahl z' ist mit α_s zu berechnen.

Die Messung ist nur möglich, wenn die Radbreite $b > W_n \cdot \sin \beta_g$, d. h. ungefähr $b > W_n \cdot \sin \beta$. Das (Normal-) Zahndickenabmaß ist aus der Meßwertabweichung δW_n nach Formel: $\delta \hat{s}_n = \delta W_n / \cos \alpha_n$ zu errechnen. Das Flankenspiel zweier Räder mit diesem Abmaß ist auch hier unmittelbar $S_f = 2 \delta W_n$.

Beispiel für Schrägzahnrad: $Z = 12$, $m_n = 5$, $\alpha_n = 20^\circ$, $\beta = 25^\circ$.

Keine Profilverschiebung ($x = 0$).

Es ist: $\alpha_s = 21^\circ 52,8'$
 $\epsilon v \alpha_s = 0,019714$ } (s. Beispiel S. 648).

Meßzahnzahl: $z' = 12 \cdot \frac{21}{180} + 0,5 = 2$.

$$W_n = 5 \cdot \cos 20^\circ [(2 - 0,5) \pi + 12 \cdot 0,019714] = 23,253 \text{ mm.}$$

Gemessen: $W_{ng} = 23,150 \text{ mm}$; $\delta \hat{s}_n = \frac{23,150 - 23,253}{\cos 20^\circ} = -110 \mu$.

Die Messung wird mit Feinmeßschraublehren, Abb. Z 48, ausgeführt, die mit Tellern zum Einführen in die Zahnlücken versehen sind; sie kann bei entsprechenden Stückzahlen auch mit Grenzrachenlehren erfolgen.

g) Rundlauffehler.

Der Rundlauffehler eines Zahnrades ist der Umfangsschlag seiner Verzahnung, gemessen in den Zahnlücken in Teilkreisnähe. Die Festlegung schließt neben dem reinen Achsfehler (Außermittigkeit) auch einen durch die Ungleichmäßigkeit der Lückenweiten verursachten Anteil ein.

Die Prüfung des Rundlaufes erfolgt wie die unter e δ) beschriebene Messung der Zahnlückenweite. Es wird die radiale Verschiebung in die Zahnlücken eingeführter Meßrollen, Kugeln oder auch kegelförmiger Meßstücke gemessen, nur ist bei reiner Rundlaufprüfung keine bestimmte Einstellung des Meßstückes zur Radachse erforderlich. Zur Vermeidung von Meßdifferenzen sollen auch die bei der Rundlaufmessung verwendeten Meßkörper die Flanken immer in Teilkreisnähe berühren. Über Rundlaufmessung durch Abrollgeräte s. weiter unten.

h) Zahnrichtungsfehler f_{β} .

Der Zahnrichtungsfehler f_{β} ist die Abweichung des Zahn längsverlaufes von seiner Sollrichtung auf dem Teilzylinder. Die Sollrichtung des Zahnverlaufes ist bei Geradzahnrädern gegeben durch die Mantellinie des Teilzylinders, bei Schrägzahnrädern durch die unter dem Schrägungswinkel β gegen die Mantellinie geneigte Tangente des Teilzylinders. Als Zahnrichtungsfehler wirken sich aus: kegelig sich verjüngende, schräge oder windschiefe (taumelnde) Zähne bei Geradzahnrädern, falsche Zahnschräge bei Schrägzahnrädern usw.

Die Prüfung des Zahnrichtungsfehlers ist bei Geradzahnrädern einfach möglich durch Abfahren der Flanke längs der Achse mit einem Fühlhebel (z. B. auf einer guten Drehbank, zwischen deren Spitzen das Rad auf Dorn aufgenommen ist; Spitzenlinie vorher prüfen). Bei Schrägzahnrädern verschiedene Möglichkeiten: 1. Abfahren der Flankenlinie durch einen Fühlhebel, der mit Bezug auf das Rad auf einer Schraubenlinie der Sollsteigung geführt wird. Geräte dieser Art befinden sich in der Entwicklung. 2. Abfahren der geradlinigen Erzeugenden der Zahnflanken (Tangente an den Grundzylinder unter dem Schrägungswinkel β_{ρ}). Ein Gerät nach diesem Verfahren ist von der Zahnradfabrik Friedrichshafen entwickelt worden. Im Meßergebnis dieses Gerätes wirkt sich auch ein etwaiger Grundkreisfehler aus (s. auch unter c 2). Die einfachste praktische Prüfung ist bis heute das Antuschieren der Flanken und die Beurteilung des Flanken-tragens beim Abrollen der Räder gegeneinander oder gegen ein Meisterrad, sie ergibt aber natürlich keine Zahlenwerte.

II. Gesamtfehler, Messungen und Meßgeräte.

Die Gesamtfehler-Messung eines Zahnrades ist nur möglich durch einen den betriebsmäßigen Verhältnissen möglichst weitgehend entsprechenden Abrollvorgang mit einem genauen Lehr- oder Meisterrad bzw. einer Meisterzahnstange. Es können auch die beiden Räder eines zusammengehörigen Paares miteinander abgerollt werden; doch gibt die Prüfung dann keinen Aufschluß über die Fehler des einzelnen Rades. Für den Austauschbau kommt nur eine Prüfung mit Meisterrädern in Frage. Die verwendeten Prüfgeräte sind:

Einflanken-Abrollprüfgeräte und
Zweiflanken-Abrollprüfgeräte.

a) Einflanken-Abrollprüfgeräte

messen die Drehwinkelübertragungsfehler des Zahnrades. Bei der einfachen Bauart von Saurer (Abb. Z 50) wird durch ein Paar Reibscheiben R_1 und R_2 vom Teilkreisdurchmesser des Meisterrades und des Prüflings, die reibungsschlüssig aneinander abwälzen, ein fehlerfreies Vergleichsgetriebe zum Räderpaar Meisterrad – Prüfling gebildet. Das Meisterrad ist mit der Reibscheibe R_1 fest verbunden und gemeinsam auf der auf einem Zapfen a drehbaren Büchse b befestigt. Der Prüfling sitzt auf einem zweiten Zapfen c , der in der unabhängig von ihm gelagerten Büchse d läuft, die die Reibscheibe R_2 trägt. Stahlband e überträgt auf das Schreibgerät die Drehung der Reibscheibe R_2 , während Stahlband f die mehr oder weniger ungleichmäßige Drehung des Prüflings überträgt. Der Schreiber h schreibt die Vor- oder Nacheilung des Prüflings gegenüber dem durch die Reibscheiben ver-

mittelten Drehung des Meisterrades.

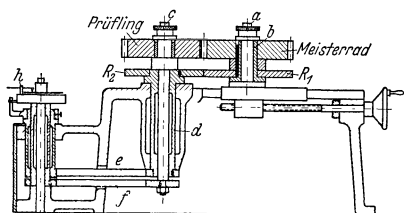


Abb. Z 50. Schema des Einflanken-Abrollprüfgerätes von Saurer.

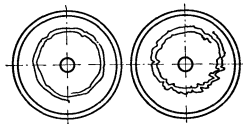


Abb. Z 51a und b.

körpertem Idealgetriebe auf. Zu jedem anderen Teilkreisdurchmesser des Prüflings bzw. des Meisterrades sind andere Reibscheiben erforderlich. In das Meßergebnis geht die Summe aller Fehler des Rades in ihrer vollen betriebsmäßigen Auswirkung ein, da die Räder einerseits beim Soll-Achsenabstand $\left(\frac{\text{Summe der Teilkreisdurchmesser}}{2} \right)$ wälzen und andererseits entsprechend dem betriebsmäßigen Zustand jeweils nur mit einer Flanke der Zähne aneinanderliegen. Die Prüfung ist also theoretisch einwandfrei. Es werden beide Flanken getrennt geprüft.

Im Diagramm Abb. Z 51 a und b zeigen sich Teilungsfehler durch Zacken und unregelmäßige Sprünge; regelmäßige Zacken von ähnlicher Form deuten in der Regel auf Eingriffswinkelfehler bzw. gleichartige Zahnformfehler an allen Flanken. Rundlauffehler sowie periodische Teilungsfehler ergeben außermittige Diagramme. Schließt sich das Diagramm nicht, dann stimmen die Rollscheibendurchmesser nicht genau; es wird eine Spirale geschrieben, die alle Einzelfehler gut zeigt, die periodischen aber nicht so gut erkennen läßt.

Neuere zum Teil noch in der Entwicklung befindliche Einflanken-Prüfgeräte ermöglichen durch entsprechend ausgebildete Reibungsgetriebe die stufenlose Einstellung des Übersetzungsverhältnisses zwischen Meisterrad und Prüfling (großes Saurer-Gerät, Omega-Gerät der ZF. Friedrichshafen), so daß bei ihnen keine Reibscheiben gebraucht werden. Einflanken-Abrollgeräte sind bisher nur wenig im Gebrauch, da sie gegenüber den einfacheren Zweiflanken-Geräten (s. unten) zu empfindlich sind.

b) Zweiflanken-Abrollprüfgeräte

messen die Schwankungen des Achsabstandes bei spielfreiem Gang der Räder. Bei der einen Bauart (Parkson, Mahr, Maag, Fellows), Abb. Z 52, sitzt der Prüfling ortsfest aber drehbar auf einem Zapfen (bzw. zwischen Spitzen), während das Meisterrad ebenfalls drehbar auf einem in Wälzlagerung leicht beweglichen schwimmenden Schlitten sitzt. Durch eine Feder wird dieser Schlitten mit dem Meisterrad so gegen den Prüfling ge-

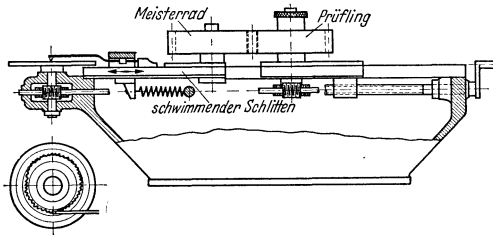


Abb. Z 52. Schema des Zweiflanken-Abrollprüfgerätes von Mahr.

drückt, daß die Zähne spielfrei ineinandergreifen. Es liegen somit bei der Prüfung beide Flanken des Prüflings an denen des Meisterrades an. Der Prüfling wird gedreht und nimmt das Meisterrad mit; entsprechend den Fehlern der Verzahnung des Prüflings führt der schwimmende Schlitten kleine Verschiebungen aus, die die Änderungen des Achsabstandes bei spielfreiem Gang von Prüfling und Meisterrad darstellen. Diese Änderungen

können entweder unmittelbar an einer gegen den schwimmenden Schlitten angestellten Meßuhr abgelesen werden, oder sie werden auf einem mit der Drehung des Prüflings irgendwie gekuppelten runden oder streifenförmigen Diagrammpapier (100 bis 250fach vergrößert) aufgeschrieben. Bei der anderen Bauart (Klingelnberg), Abb. Z 53, sitzt der Prüfling auf einem pendelnden Tisch, dem durch Gewichtszug ein Drehmoment erteilt wird, das den Prüfling in das Meisterrad drückt. Hier werden die der Achsabstandsschwankung entsprechenden Pendelwege des Tisches von einer Meßuhr angezeigt bzw. auf einem Diagrammpapier aufgeschrieben.

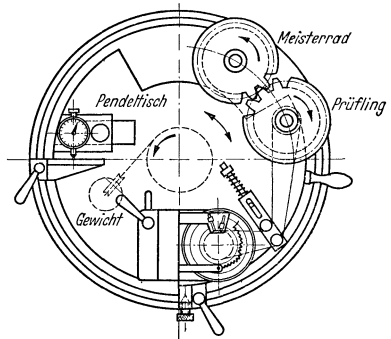


Abb. Z 53. Schema des Zweiflanken-Abrollprüfgerätes von Klingelnberg.

In das Meßergebnis gehen bei dieser Art der Prüfung ebenfalls anteilig alle Fehler des Zahnrades ein (Abb. Z 54a bis c). In voller Größe zeigt sich die Außermittigkeit der Verzahnung (\approx Rundlauffehler) in der außermittigen Lage des Kreisdiagrammes bzw. im sinoiden Verlauf des Längs-

diagrammes. Der Zahnformfehler äußert sich in einem mehr oder weniger unruhigen zackigen oder welligen Verlauf des Diagrammes; besonders kennzeichnend zeigt sich der Eingriffswinkelfehler mit scharfen, bei jedem Zahneingriff wiederkehrenden Zacken¹⁾. Teilungsfehler, soweit sie sich in einer Ungleichmäßigkeit der Zahndicken bzw. Zahn-lücken auswirken, ergeben unregelmäßige vom durchschnittlichen Verlauf sich abhebende Zacken in der Kurve.

Über die wahre Größe der einzelnen Fehler kann mit Ausnahme der Außermittigkeit auf Grund des Diagrammes wenig Genaueres ausgesagt werden; die Zweiflanken-Abrollprüfung wird daher zahlenmäßig zumeist nur für die Ermittlung des Rundlauffehlers benutzt und das Diagramm im übrigen mehr oder weniger subjektiv beurteilt; in Fällen, wo größere Unregelmäßigkeiten im Diagramm das Vor-

handensein von groben Einzelfehlern anzeigen, wird durch die Prüfung durch entsprechende Einzelfehlermessungen ergänzt. Bei bekannter Zahndicke des Meisterrades kann, wenn vor Beginn der Abrollprüfung der Soll-Achsenabstand $a = \frac{m_{(s)}(z_1 + z_2)}{2}$

(bei profilverschobenen Getrieben nach besonderer Berechnung) am besten mit Hilfe

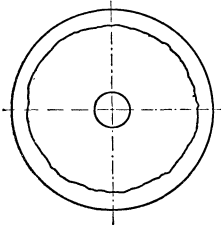


Abb. Z 54 a.

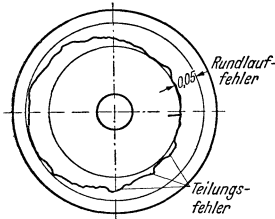


Abb. Z 54 b.

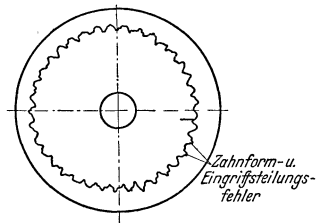


Abb. Z 54 c.

Abb. Z 54 a bis c.

von Endmaßen eingestellt wird, aus der Achsabstandsänderung gegenüber dem Soll-Achsenabstand beim Abrollen des Prüflings dessen Zahn-dickenabmaß $\delta \hat{s}$ errechnet werden. Es ist in diesem Falle:

$$\delta \hat{s}_{(n)} = 2 \cdot \delta a \cdot \operatorname{tg} \alpha_{(n)} - \delta s_M,$$

wobei

δa die Achsabstandsänderung (Ist-Achsenabstand — Soll-Achsenabstand),
 $\delta \hat{s}_M$ das Zahndickenabmaß des Meisterrades,
 $\alpha_{(n)}$ der (Normal-) Eingriffswinkel.

¹⁾ Ähnliche scharfe Zacken treten in der Abrollkurve dann auf, wenn infolge zu großer (z. B. nicht vollständig ausgeschliffener) Fußrundung bzw. zu geringer Zahndicke von Prüfling und Meisterrad die Zähne des Meisterrades in der Fußrundung bzw. im Zahngrund des Prüflings aufsetzen.

Das Flankenspiel beim Soll-Achsenabstand eines Räderpaares, das gegenüber diesem beim Abrollen eine Achsabstandsänderung δa aufweist, ist:

$$S_f = 2 \delta a \cdot \sin \alpha_{(m)} .$$

An Stelle eines Meisterrades mit Evolventenzähnen wird auch ein Kugel-, bei Rädern mit geraden Zähnen besser ein Zylinderkranz verwendet¹⁾. Die Messung ist in diesem Falle eine reine Rundlaufmessung; sie kann nach Anfangseinstellung des Gerätes auf einen bestimmten Ausgangs-Achsenabstand, der unter Berücksichtigung der verwendeten Meßrollen zu errechnen ist (Formeln s. unter e 2 δ), auch zugleich zur Bestimmung des Zahndickenabmaßes benutzt werden. Das Abrolldiagramm ist in diesem Falle eine Kurve mit soviel Ausschlägen, wie das Rad Zähne hat. Die außermittige Lage des durch die Höchstausschläge gelegten Kreises gibt den Rundlauffehler; unregelmäßige, verschieden große Ausschläge deuten auf Teilfehler.

Die Zweiflanken-Abrollprüfung mit Meisterrädern entspricht nicht vollkommen der Forderung einer betriebsmäßigen Prüfung, da beim betriebsmäßigen Lauf der Räder stets nur eine Flanke des Zahnes an der Gegenflanke des anderen Rades anliegt. Es gehen bei ihr in das Meßergebnis stets zugleich die Fehler beider Flanken ein, die im Betriebe nicht zusammenwirken. Sie ermöglicht infolgedessen keine Aussage darüber, welche Flanken des geprüften Rades, die Rechts-, die Linksflanken oder beide fehlerbehaftet sind. In Fällen, bei denen es nur auf die Güte der einen Flanke ankommt, wird sie unter Umständen an sich gut verwendbare Räder ausschließen. Dagegen ist sie, soweit es sich nicht um Räder höchster Genauigkeit handelt, für die Abnahme in der Werkstatt die einfachste und schnellste Art der Prüfung von Zahnrädern. Wenn das Zweiflanken-Abrolldiagramm in Ordnung ist, dann darf daraus mit ziemlicher Sicherheit auf eine geometrisch einwandfreie Verzahnung geschlossen werden.

Schwierigkeiten bietet z. Z. für die Abrollprüfungen noch die Beschaffung der erforderlichen Meisterräder, deren Genauigkeit an sich die der mit ihnen zu prüfenden Räder um ein Mehrfaches übertreffen müßte. Dieser Forderung kann entsprochen werden, solange es sich bei den zu prüfenden Rädern nicht um solche ebenfalls höchster Genauigkeit handelt. Bei letzteren muß man sich damit begnügen, daß das Meisterrad äußerstens etwa doppelt so genau ist wie der Prüfling. Über ein Gerät, das an Stelle eines Meisterrades eine aus zwei Hälften zusammengesetzte Zahnstange benutzt, deren gegenseitige Verschiebung beim Durchwälzen gemessen wird, siehe Schrifttum Nr. 14.

c) Abhör- und Laufprüfung.

Eine weitere Art der Gesamtfehler-Prüfung der Zahnräder besteht darin, daß die betriebsmäßig miteinander laufenden Räderpaare in einen Laufprüfstand eingebaut werden, in dem man sie im Leerlauf und unter Last laufen läßt und das Geräusch entweder (meist) durch einfaches Abhören oder auch durch Schallmeßeinrichtungen prüft, sowie das Tragbild der Flanken beurteilt.

III. Messung der Kegelräder.

Die Gleichmäßigkeit sowie der Summenfehler der Kreisteilung, die Gleichmäßigkeit der Zahndicken und -Lückenweiten und der Rundlauf

¹⁾ Hierfür auch besondere Abrollgeräte entwickelt: Zarameter der Fa. Reicherter Eßlingen.

können bei Kegelrädern mit den gleichen oder ähnlichen Geräten gemessen werden wie bei Stirnrädern. Für die Prüfung der Zahnform der Kegelräder sind bisher keine einwandfreien Geräte am Markt.

Von größter Wichtigkeit ist bei Kegelrädern auch die Kontrolle der Flankenrichtung. Alle Flankenlinien eines geradzahnten Kegelrades müssen sich in ihrer Verlängerung in der Teilkegelspitze des Rades schneiden. Dies wird geprüft durch Anlegen eines Haarlineals an die Flanken, das an seinem Ende auf einer Kugel in der Teilkegelspitze angelenkt ist, oder durch Einlegen schwach kegeliger oder zylindrischer Nadeln in die Zahn-lücken, die sich mit ihren Spitzen in einem Punkt treffen müssen. Diese Prüfverfahren ergeben natürlich keine Zahlenwerte und sind, zum mindestens das zweite, mehr oder weniger unzuverlässig.

Auch die Ein- und Zweiflanken-Abrollprüfung wird bei Kegelrädern ausgeführt. Für die Einflanken-Geräte ist bisher nur eine Bauart vorhanden, die stufenlose Einstellbarkeit des Übersetzungsverhältnisses hat (Saurer). Die mit schwimmendem Schlitten arbeitenden Stirnrad-Zweiflanken-Geräte haben für Kegelräder als Zusatzaufnahme meist nur

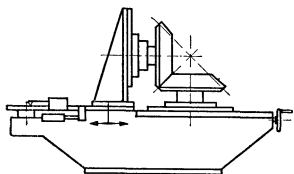


Abb. Z 55. Kegelrad-Zweiflanken-Abrollprüfung mit Mahr-Gerät.

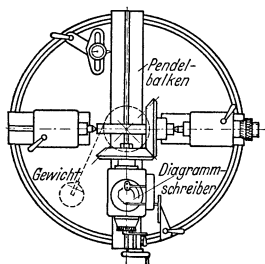


Abb. Z 56. Kegelrad-Zweiflanken-Abrollprüfgerät von Klingenberg.

einen Winkelbock, Abb. Z 55, während das nach dem Pendelprüfverfahren arbeitende Gerät, Abb. Z 56, das für Kegelräder besonders durchgebildet wurde, das eine Rad um die gemeinsame Teilkegelspitze pendeln läßt. Diese Anordnung ist mit der Natur der Kegelradverzahnung, da bei der Pendelung um die Teilkegelspitze die volle Flankenanlage erhalten bleibt, besser verträglich und der Anordnung mit dem schwimmenden Schlitten vorzuziehen, bei der sich bei spielfreiem Lauf die Teilkegelspitzen niemals decken und die Flanken nie voll tragen können. Mehr noch als bei Stirnrädern bereitet bei Kegelrädern die Beschaffung genauer Meisterräder Schwierigkeiten; dazu kommt, daß bei einem Kegelrad infolge der unvermeidlichen Verlagerung der Räder beim Lauf die Abrollprüfung im nicht-belasteten Zustande ohnehin unsicher ist.

Als sicherstes Prüfverfahren für Kegelräder hat sich bisher noch die Beurteilung des Tragbildes der antuschierten Flanken nach paarweisem Lauf unter Belastung, s. Abb. Z 19, erwiesen, wobei zugleich die günstigste gegenseitige Einbaustellung ermittelt und durch geeignete Maßnahmen für den betriebsmäßigen Einbau festgelegt werden kann.

IV. Prüfung feinmechanischer Zahnräder.

Zahnräder für feinmechanische Geräte, Uhren usw., an die wegen ihrer Kleinheit mit mechanischen Meßmitteln nicht mehr heranzukommen ist, sind nur noch mit optischen Mitteln, am besten durch Projektion und Vergleich der projizierten Zahnform mit einer Zeichnung in entsprechendem Maßstab prüfbar.

Schrifttum.

I. Bücher und Normen.

1. Berndt, Prof. Dr. G.: Zahnradmessungen. Erfurt: Gebr. Richter 1925.
2. Buckingham-Olah: Stirnräder mit geraden Zähnen¹⁾. Berlin: Julius Springer 1932.
3. Bürger, K.: Beiträge zur Messung von Stirnrädern mit geraden Evolventenzähnen. Diss. Techn. Hochsch. Dresden 1935.
4. Berndt, Prof. Dr. G.: Grundlagen für die Messung von Stirnrädern mit gerader Evolventenverzahnung. Berlin: Julius Springer 1938.
5. Peters, Prof. Dr. J.: Sechstellige Werte der Kreis- und Evolventenfunktionen¹⁾. Berlin u. Bonn: Ferd. Dümmler 1937.
6. DINorm-Blätter 868 bis 870.
7. Merkblatt „Stirnradfehler“. Herausgegeben von der Fachgruppe Werkzeugmaschinen (Ausschuß für Verzahnmaschinen). Jan. 1939. Berlin: Beuth-Vertrieb.

II. Aufsätze.

8. Wildhaber, E.: Measuring tooth thickness of involute gears. Amer. Mach. Bd. 59 (1923/24) S. 551 u. 587.
9. Steinle, A.: Neue Zahnradprüfgeräte. Werkst.-Techn. Bd. 21 (1927) S. 153.
10. Olah, G.: Die Grundgesetze des Abwälzfräasers und ein neues Gerät zu seiner Prüfung. Werkst.-Techn. Bd. 28 (1934) S. 361.
11. Berndt, Prof. Dr. G.: Beiträge zur Messung von Stirnrädern mit Evolventenzähnen. Werkst.-Techn. u. Werksl. Bd. 29 (1935) S. 373 (Auszug aus 3).
12. Fieseler, A.: Ein neues Meßgerät für Wälzfräser. Werkst.-Techn. u. Werksl. Bd. 29 (1935) S. 276.
13. Bock, R.: Fehlerprüfung bei Zahnrädern. Z. VDI Bd. 81 (1937) S. 267.
14. Nieberding, Dr. O.: Das Prüfen von Zahnrädern mit zahnstangenartigen Meßkörpern. Masch.-Bau/Betr. Bd. 16 (1937) S. 465.
15. Vogel, Dr. W.: Neuartige kopfkreisfreie Zahndickenmessungen für Schrägzahnräder und Evolventenschnecken. Werkzeugmasch. Bd. 31 (1937) S. 253.
16. Bürger, Dr. K.: Zur Messung des Summenteilfehlers an Zahnrädern und Teilscheiben. Werkst.-Techn. u. Werksl. Bd. 31 (1937) S. 406.
17. Bürger, Dr. K.: Zur Praxis der Zahndicken- und Lückenweite-Meßverfahren für Evolventen-Stirnräder. Werkst.-Techn. u. Werksl. Bd. 32 (1938) S. 169.
18. Krumme, W.: Wie prüft man Zahnräder wirtschaftlich? Werkstatt und Betrieb 1938. Heft 9/10. S. 125.
19. Bagh, P.: Die ideale Zahnzahl eines Schrägzahnrades und ihre Anwendung bei der Zahndickenmessung an Schrägzahnrädern. Feinmech. u. Präz. H. 24 (1939) S. 311.

III. Druckschriften von Firmen.

W. Ferd. Klingelberg Söhne, Remscheid.; Friedrich Krupp A.-G., Essen; Ernst Leitz, Wetzlar; Max Maag A.-G., Zürich; Carl Mahr, Eßlingen; Adolph Saurer A.-G., Arbon; Carl Zeiss, Jena.

E. Die Herstellung der Zahnräder.

Zahnräder können hergestellt werden:

1. Durch spanlose Formung: Gießen, Spritzen, Ziehen und Stanzen,
2. Durch spanabhebende Bearbeitung:
 - a) Verzahnen der Radkörper durch Fräsen, Hobeln, Stoßen,
 - b) Fertigbearbeiten der Zahnflanken durch Schaben, Schleifen, Läppen usw.

Zu 1. Durch Sandformguß hergestellte Zahnräder sind ihrer geringen Genauigkeit wegen nur für langsam laufende Antriebe geeignet, an die

¹⁾ Die Evolventenfunktion $\operatorname{tg} \alpha - \alpha$ wird hier als *inv* α bezeichnet.

keine großen Ansprüche gestellt werden, deren Preis aber niedrig sein muß, wie z. B. bei landwirtschaftlichen Maschinen, billigen Hebezeugen usw.

Im Spritzgußverfahren hergestellte, sowie gezogene und gestanzte Zahnräder kleiner Abmessungen werden in feinmechanischen Geräten verwendet, wo die Genauigkeitsansprüche und Stückzahlen die Herstellung der Formen und Schnitte rechtfertigen.

Zu 2. Das Fräsen von Zahnrädern im Teilverfahren mit scheibenförmigen Zahnformfräsern ergibt Zahnräder, die zwar nicht für hochwertige Getriebe, wohl aber für durchschnittliche Ansprüche bei mäßigen Umfangsgeschwindigkeiten brauchbar sind. Da der Fräser der Form der Zahnücke entsprechen muß, die bei jeder Zähnezahl und jeder Teilung eine andere ist, müssen bei Beschränkung auf die üblichen 8- bzw. 15-teiligen Fräsersätze die Profilunterschiede innerhalb eines gewissen Bereiches von Zähnezahlen jeder Teilung in Kauf genommen werden. Der Fräser entspricht jeweils der Lückenform der kleinsten Zähnezahl seines Bereiches. Der Satz von 8 Fräsern wird für Räder mit kleinem Modul, ein 15-teiliger Satz für solche mit größerem Modul geliefert. Lagermäßig erhältliche Zahnformfräser haben meist den Eingriffswinkel $14^{\circ} 30'$.

Einteilung des Satzes von 15 Fräsern.

Nr.	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½
Zähnezahl	12	13	14	15–16	17–18	19–20	21–22	23–25
Nr.	5	5½	6	6½	7	7½	8	
Zähnezahl	26–29	30–34	35–41	42–54	55–79	80–134	135 bis Zahnstange	

Einteilung des Satzes von 8 Fräsern.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Zähnezahl	12–13	14–16	17–20	21–25	26–34	35–54	55–134	{ 135 bis Zahnst.

Auch Schrägzahnräder (Schraubenräder) können mit den handelsüblichen Zahnformfräsern auf der Universalfräsmaschine gefräst werden, wenn ihre Normalteilung t_n eine genormte Modul- oder Pitch-Teilung ist. Der Fräser ist aber nicht zu der wirklichen Zähnezahl des Schraubenrades, sondern zu der ideellen Zähnezahl seines Normalschnittes zu wählen. Ist β der Schrägungswinkel der Zähne des Schraubenrades zur Achse und z seine Zähnezahl, dann ist die ideelle Zähnezahl z_i zu errechnen aus:

$$z_i = \frac{z}{\cos^3 \beta}.$$

Beispiel: Zu verzahnen ist ein Schraubenrad von 20 Zähnen, der Modul der Normalteilung sei 4, der Schrägungswinkel $\beta = 30^{\circ}$. Welcher Modulfräser kommt beim Fräsen des Rades in Betracht?

$$z_i = \frac{z}{\cos^3 \beta} = \frac{20}{0,866^3} \approx 31 \text{ Zähne};$$

zu wählen ist also ein Fräser des achteiligen Satzes Nr. 5 für 26 bis 34 Zähne, Modul 4.

In der Feinmechanik werden die kleinen Triebe mit Zykloidenverzahnung für Uhren fast ausschließlich im Teilverfahren mit Formfräsern hergestellt.

Ferner fräst man vielfach große Verzahnungen in der Einzelfertigung zur Ersparnis von Werkzeugkosten mit Fingerfräsern.

Das Fräsen, Stoßen und Schleifen im Wälzverfahren ist notwendig für sämtliche Genauigkeitszahnräder in schnellaufenden Getrieben des allgemeinen Maschinen-, des Werkzeugmaschinen- und Fahrzeugbaues. Die mehrschneidigen Werkzeuge der nach dem Wälzverfahren arbeitenden Maschinen verkörpern mit ihren Schneidkanten ein Rad, das durch den Zwanglauf des Maschinengetriebes mit dem zu erzeugenden Rade zusammen wälzt. Die Zahnflanken des Werkrades (Werkstückes) werden bei diesem Wälzvorgang allmählich durch eng aufeinanderfolgende Hüllschnitte der Werkzeug-Schneidkanten eingehüllt. Ein Werkzeug erzeugt im Wälzverfahren jeweils alle Zähnezahlen seiner Teilung.

Maschinenarten: Wälzfräsmaschine, Werkzeug der bekannte schneckenförmige Wälzfräser (Pfauder, Reinecker u. a.); Wälzstoßmaschine (Fellows, Lorenz u. a.), Werkzeug Schneidrad mit geraden oder schrägen Zähnen (Schraubenschneidrad für Schrägzahnräder); Wälzhobelmaschine, Werkzeug Kammstahl (Maag).

Der Anwendungsbereich des Wälzverfahrens ist nicht auf Zahnräder beschränkt; vielmehr sind alle sich regelmäßig wiederholenden Profile, deren Form sich auswälzen läßt, mit entsprechenden Wälzwerkzeugen herstellbar wie z. B. Kerbverzahnungen, Mehrkeilwellen, regelmäßige Vielkante usw., wovon besonders bei der Wälzfräsmaschine Gebrauch gemacht wird.

Auf Wälzfräs- bzw. -stoßmaschinen mit einer gewissen Zugabe vorgeschruppte Zahnräder werden neuerdings im weichen und z. T. auch vergüteten Zustande auf Zahnrad-Schabemaschinen wirtschaftlich mit einem hohen Grade der Genauigkeit und Flankengüte geschabt. Die zu schabenden Zahnräder werden im Eingriff mit kreuzenden Achsen auf den Zahnstangen- oder Zahnradwerkzeugen abgerollt, an deren einzelnen Zähnen durch hineingearbeitete Schlitze zahlreiche Schneidkanten gebildet sind. Durch das bei diesem Schraubenradeingriff vorhandene Längsgleiten der Flanken von Werkzeug und Werkrad aneinander werden die Radflanken von den Werkzeugschneidkanten schabend geglättet.

Gehärtete Zahnräder für hochbelastete schnellaufende Getriebe müssen nach dem Härten wegen des unvermeidlichen Verziehs in den Flanken geschliffen werden. Die meisten Zahnradschleifmaschinen arbeiten nach dem Wälzverfahren. Die Schleifscheiben dieser Maschinen verkörpern mit ihren geradlinig begrenzten Schleifflächen eine oder beide Flanken des Zahnes oder der Lücke einer Zahnstange. Das zu schleifende Zahnrad wälzt sich an dieser gedachten Zahnstange ab. Nach dem Fertigschleifen eines Flankenpaares wird das Rad um eine Teilung weiter geteilt usw., bis alle Flanken geschliffen sind. Je nach der Form der Schleifscheibe und dem Verhältnis von Vorschubgeschwindigkeit und Wälzungsgeschwindigkeit entstehen beim Schleifen verschiedene Flankenoberflächen. So erzeugt die mit schmalem Rande schleifende Tellerscheibe bei langsamem Durchgang durch die Lücke und schneller Wälzung einen Kreuzschliff (Maag), die Kegel- oder Doppelkegelscheibe unter schnellem Durchgang und langsamer Wälzung eine Art von Strichschliff (Niles, Kolb). Zahnrad-Formschleifmaschinen arbeiten mit entsprechend der Zahnluke profilierten Schleifscheiben, die durch nach Schablonen gesteuerte Abritzdiamanten abgezogen werden. Sie bieten die Möglichkeit, auch Innenverzahnungen zu schleifen.

Das Läppen der Zahnäder ist ein überwachter Einlaufvorgang mit bestimmten Zusatzbewegungen der zu läppenden Räder, die der Profilzerstörung durch das einfache Einlaufen entgegenwirken. Die Wirkung des Läppens besteht vorwiegend in einer Glättung der Flanken und damit Geräuschverminderung. Infolge der geringen Werkstoffabnahme ist eine Beseitigung von groben Formfehlern der Zahnflanken durch das Läppen nicht zu erreichen.

Schrifttum.

Bücher.

- Kutzbach, K.: Grundlagen und neuere Fortschritte der Zahnradherzeugung. Berlin 1925.
Buckingham-Olah: Stirnräder mit geraden Zähnen. Berlin 1932.
Schiebel, A.: Zahnäder, 3. Aufl. I. Teil. Berlin 1930; II. und III. Teil bearbeitet von R. Königer. Berlin 1934.
Pfauter: Wälzfräsen. Berlin 1933.
Hofmann, F.: Gleason-Spiralkegeläder. Berlin 1939.
Trier, H.: Die Zahnformen der Zahnäder. Werkstattbücher 47. Berlin 1939.

Aufsätze.

- Kutzbach, K.: Vom Wesen und Werden des Pfauter-Verfahrens. Z. VDI Bd. 71 (1927) S. 73.
Maag, M.: Die Herstellung und Prüfung der Maag-Zahnäder. Z. VDI Bd. 71 (1927) S. 509.
Glaeser, K.: Das Fräsen von Verzahnungen an zylindrischen Körpern. Masch.-Bau/Betr. Bd. 9 (1930) S. 533. — Die Instandhaltung der Walzfräser zum Schneiden von Verzahnungen. Masch.-Bau/Betr. Bd. 10 (1931) S. 321.
Jackowski, H.: Kann man die Laufeigenschaften der Zahnäder durch das Scharfschleifen der Abwälzfräser beeinflussen? Werkst.-Techn. Bd. 27 (1933) S. 351 u. 374.
Pohl, F.: Verfahren und Maschinen zum Läppen der Zahnäder. Werkst.-Techn. u. Werksleiter Bd. 29 (1935) S. 333. — Zahnradschabmaschinen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter Bd. 29 (1935) S. 436.
Wommelsdorf, F.: Das Läppen der Zahnäder. Werkst.-Techn. u. Werksleiter Bd. 31 (1937) S. 25.
Bock, R.: Zahnradbearbeitungs-Maschinen. Z. VDI Bd. 81 (1937) S. 341.
Umfangreiche Schrifttumsübersicht: Aus dem Schrifttum über Zahnradherstellung J. Wawretzko u. R. Bock, Masch.-Bau/Betr. Bd. 13 (1934) S. 161 und Bd. 14 (1935) S. 391.

Schneckengetriebe.

Schneckengetriebe sind Schraubgetriebe und dienen zur Bewegungsübertragung zwischen sich kreuzenden Achsen. Sie werden zwar, fast nur für rechtwinklige Achsenkreuzungen ausgeführt, sind aber auch für andere Kreuzungswinkel möglich. Sie gestatten große Übersetzungen in einer einzigen Getriebeeinheit unterzubringen.

Die Flanken der Schnecken sind durch Verschraubung einer Geraden um die Schneckenachse erzeugte Schraubenflächen. Je nach Lage der erzeugenden Geraden zur Schneckenachse ergeben sich verschiedene Schneckenformen.

Schneidet die Gerade die Schneckenachse unter einem Winkel $90^\circ - \alpha$, dann hat der Achsschnitt der Schnecke geradflankiges Zahnstangenprofil mit dem Flankenwinkel 2α (Abb. 1). Der Schnitt der Flanken senkrecht zur Schneckenachse ist eine archimedische Spirale (daher Bezeichnung dieser Schneckenform als archimedische oder Spiralschnecke). Das zu dieser Schnecke gehörige Schneckenrad hat nur in der die Schneckenachse enthaltenden Mittelebene Evolventenprofile (mit dem Eingriffswinkel α), während die Profile in seitlichen Parallelebenen von der Evolvente abweichen.

Geht die erzeugende Gerade nicht durch die Schneckenachse, sondern kreuzt sie diese im Abstände a unter einem Winkel φ , verschraubt sie sich also an einem Kehlzylinder mit dem Durchmesser $2a$, dann entstehen Schnecken, deren Flanken im Achsschnitt gewölbt sind, während die Erzeugende gerade sind. In dem Sonderfall, wo die erzeugende Gerade zugleich Tangente an die Schraubenlinie auf dem Kehlzylinder ist (d. h. $a = \frac{h \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2\pi}$, wobei h = Steigung der

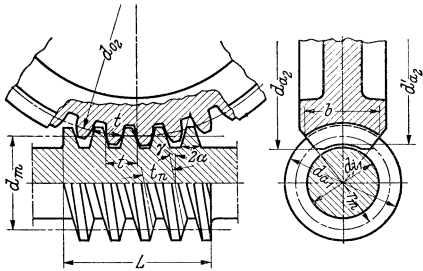


Abb. Schn 1 und Schn 2. Abmessungen und Bezeichnungen am Schneckengetriebe.

enthaltende Tangentialschnitte zum Kehlzylinder gerade sind. In dem Sonderfall, wo die erzeugende Gerade zugleich Tangente an die Schraubenlinie auf dem Kehlzylinder ist (d. h. $a = \frac{h \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2\pi}$, wobei h = Steigung der Schnecke), ist die entstehende Schnecke eine sogenannte Evolventenschnecke (Brownsche Schnecke). Der Schnitt ihrer Flanken senkrecht zur Schneckenachse ergibt gewöhnliche Evolventen des Grundkreises mit dem Halbmesser $r_g = a$; die Evolventenschnecke ist also ihrer geometrischen Form nach ein Evolventen-Schräg Zahnrad mit kleiner Zahnzahl und großem Schrägungswinkel und als solches zu berechnen. Das Profil des zugehörigen Schneckenrades in der Radmittelebene ist schwach hohl gewölbt.

Ist die Erzeugende nicht Tangente der Kehlzylinder-Schraubenlinie (d. h. $a \neq \frac{h \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2\pi}$), dann sind die Schneckenflanken offene Schraubenflächen, deren Stirnschnitte verlängerte oder verkürzte Evolventen sind. Es entstehen dann verlängerte oder verkürzte Evolventenschnecken.

Sonderformen sind die sowohl mit geradflankigem als auch mit gewölbtem Achsschnitt ausgeführten, den Radkörper im Längsschnitt umfassenden Globoid-Schnecken.

Schneckengetriebe eignen sich für die Übertragung größerer Leistungen zwischen gekreuzten Achsen besser als Schraubenräder, da sie zwischen den Flanken von Schnecke und Rad Linienberührung an Stelle der Punktberührung bei Schraubenrädern haben. Sie können daher größere Kräfte mit geringeren Flächenpressungen und entsprechend verminderter Abnutzung übertragen. Wegen des großen Anteiles an gleitender Reibung haben Schneckengetriebe insbesondere bei großen Übersetzungen ungünstigere Wirkungsgrade als Rädergetriebe mit parallelen Achsen. Der Wirkungsgrad wächst mit zunehmendem Steigungswinkel der Schnecke

und erreicht etwa bei 45° seinen Größtwert. Mehrgängige Schnecken mit großer Steigung und kleinem Durchmesser haben daher bessere Wirkungsgrade (ausgeführt bis zu 30° Steigungswinkel bei archimedischen Schnecken, bis zu 45° bei Evolventenschnecken, wobei Wirkungsgrade bis zu 97 vH erreichbar). Getriebe mit kleinen Steigungswinkeln sind bei Umkehrung des Antriebes (Rad auf Schnecke treibend) selbsthemmend.

Bei stark belasteten Getrieben ist für die Abführung der entstehenden Reibungswärme Sorge zu tragen (Kühlrippen am Gehäuse, Gebläse auf Schneckenwelle u. ä.). Das verwendete Öl muß bei der Betriebstemperatur zähe genug sein. Die Lager von Schnecke und Rad müssen zur Vermeidung gegenseitiger Verlagerungen durch elastische Formänderungen und Abnutzung kräftig bemessen werden, da sich der Eingriff bei der Verlagerung außerordentlich verschlechtert. Wälzlagerungen sind zweckmäßig. Seitliche Einstellbarkeit des Schneckenrades ermöglicht das Erreichen der richtigen Eingriffs-lage; bei Globoidschnecken muß auch die Schnecke axial eingestellt werden können. Eine radiale Zustellung der Schnecke zum Rad zwecks Ausgleichs eines Spieles verschlechtert sehr den Eingriff und sollte vermieden werden.

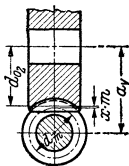


Abb. Schn 3.
Schneckenradform
bei kleiner Zähne-
zahl.

Der halbe Flankenwinkel α im geradflankigen Achs- bzw. Normalschnitt wird meist zu 15° (seltener, aber für größere Steigungswinkel vorzuziehen $\alpha = 20^\circ$) gewählt. Bei kleinen Zähnezahlen des Schneckenrades tritt eine Unterschneidung der Radzähne ein, die eine ungünstige Verkleinerung des Eingriffsfeldes nach sich zieht. Zur

Vermeidung der Unterschneidung ist eine Profilabrückung erforderlich, deren Größe sich nach der Zähnezahl des Rades richtet.

Für durchschnittliche Verhältnisse können die Abmessungen der zylindrischen Schneckengetriebe mit geradem Achs- bzw. Normalschnitt etwa gemäß den Berechnungstafeln auf S. 663 u. 664 (vgl. auch Abb. 1 bis 3) errechnet werden, wenn sie nicht durch vorhandene Werkzeuge von vornherein festgelegt sind (s. u.). Für Grenzfälle (große Steigungswinkel, sehr kleine Radzähnezahlen) sind genaue Untersuchungen der Eingriffsverhältnisse notwendig.

Die Schnecke wird mit Rücksicht auf die hohe Verschleißbeanspruchung meist aus Stahl hergestellt und bei genauen hoch belasteten Getrieben gehärtet und geschliffen. Das Rad bzw. der Radkranz wird je nach der Beanspruchung aus hochwertigem Gußeisen, Phosphorbronze oder für höchste besonders stoßweise Belastungen aus Aluminiumbronze hergestellt. Neuerdings werden mit gutem Erfolg auch Leichtmetalllegierungen verwendet. Damit sie ein möglichst dichtes Gefüge erhalten, werden die Radkränze vielfach im Schleudergußverfahren hergestellt.

Die Herstellung der Schnecken erfolgt entweder durch Ausdrehen auf der Drehbank, bei schweren Schnecken nach vorherigem Vorfräsen der Gänge mit Finger- oder Scheibenfräsern oder nur durch Vordrehen bzw. Fräsen mit anschließendem Härten und Schleifen. Bei Verwendung eines Stahles mit geraden Schneidkanten entstehen je nach seiner Anstellung die verschiedenen oben beschriebenen Schneckenformen. Für die Erzeugung einer Schnecke mit geradem Achsschnitt gelten dieselben Bedingungen wie beim Schneiden eines Trapezgewindes (siehe Abschnitt „Herstellen von Gewinde“). Die Evolventenschnecke kann auch als Schrägzahn-Stirnrاد durch Wälzfräsen oder -stoßen hergestellt werden. Sie hat

Berechnung des Schneckengetriebes, Abb. Schn 1 bis 3.

I. Schnecke.

Berechnungsgröße	Kurzzeichen	Formel
Gangzahl	z_1	
Axialteilung mm	t	$t = m \cdot \pi = h/z_1$
Modul (im Achsschnitt) mm	m	$m = t/\pi$
Flankenwinkel	2α	meist $\alpha = 15^\circ$, für größere Steigungswinkel besser $\alpha = 20^\circ$
Steigung mm	h	$h = z_1 \cdot t = z_1 \cdot m \cdot \pi$
Mittlerer Schneckenhalbmesser mm	r_m	Zu wählen für volle Schnecken: $r_m \approx m \cdot (1,4 + 2\sqrt{z_1})$ für aufgesetzte Schnecken: $r_m \approx m \cdot (5,3 + z_1/10)$ für $z_1 \leq 5$
Steigungswinkel (am mittl. Halbmesser r_m)	γ	$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h}{2\pi \cdot r_m} = \frac{z_1 \cdot m}{2r_m}$ (bis zu 30°)
Normalteilung mm	t_n	$t_n = t \cdot \cos \gamma$
Normalmodul mm	m_n	$m_n = t_n/\pi = (t/\pi) \cdot \cos \gamma = m \cdot \cos \gamma$
Außendurchmesser mm	d_{a1}	Für $\gamma = 20^\circ \dots d_{a1} = 2(r_m + m)$ „ $\gamma > 20^\circ \dots d_{a1} = 2(r_m + m_n)$
Grunddurchmesser mm	d_{i1}	Für $\gamma = 20^\circ \dots d_{i1} = 2(r_m - 1,17 \cdot m)$ „ $\gamma > 20^\circ \dots d_{i1} = 2(r_m - 1,17 \cdot m_n)$
Schneckenlänge mm	L	Zu wählen $L \approx 2(1 + \sqrt{z_1}) \cdot m$
Umfangsgeschwindigkeit m/s	v_1	$v_1 = \frac{r_m \cdot n_1}{9550}$
Gleitgeschwindigkeit m/s	v_g	$v_g = v_1/\cos \gamma$. Bei Guß-Schneckenrädern nicht über 3 m/s, bei Bronzerädern bis zu 10 m/s und darüber

II. Schneckenrad.

Berechnungsgröße	Kurzzeichen	Formel
Übersetzung	i	$i = n_1/n_2$
Zähnezahl	z_2	$z_2 = i \cdot z_1$
Teilung mm	t	$t = m \cdot \pi$
Modul mm	m	$m = t/\pi = d_{02}/z_2$
Teilkreisdurchmesser mm	d_{02}	$d_{02} = z_2 \cdot t/\pi = m \cdot z_2$
Außendurchmesser in Radmittelebene mm	d'_{a2}	Für $\gamma \leq 20^\circ \dots d'_{a2} = d_{02} + 2m + (2x \cdot m)$ „ $\gamma > 20^\circ \dots d'_{a2} = d_{02} + 2m_n + (2x \cdot m)$
Profilabrückung mm	$x \cdot m$	Bei $\alpha = 15^\circ$ für $z_2 < 30$: $x \cdot m = (1 - z_2/30) m$ „ $\alpha = 20^\circ$ „ $z_2 < 17$: $x \cdot m = (1 - z_2/17) m$
Größter Radaußendurchmesser mm	d_{a2}	$d_{a2} \approx d'_{a2} + 3m$ bzw. für $\gamma > 20^\circ$ $d_{a2} \approx d_{02} + 3m_n$
Breite im Zahngrund mm	b	$b = 6m$ bis $8m$ (kleinere Werte bei kleinem r_m)
Umfangsgeschwindigkeit m/s	v_2	$v_2 = \frac{d_{02} \cdot n_2}{19000} = \frac{h \cdot n_1}{60000}$

III. Leistungs- und Festigkeitsrechnung.

Berechnungsgröße	Kurzzeichen	Formel
Leistung an der Radwelle PS	N_2	$N_2 = \frac{P_2 \cdot v_2}{75} = \frac{M_{d2} \cdot n_2}{71\,620}$
Drehmoment an der Radwelle kgcm	M_{d2}	$M_{d2} = \frac{71\,620 \cdot N_2}{n_2} = \frac{P_2 \cdot d_{02}}{2}$
Umfangskraft des Rades \approx Zahnkraft kg	P_2	$P_2 = \frac{75 \cdot N_2}{v_2} = \frac{2 M_{d2}}{d_{02}} = c \cdot b \cdot t$
Kennzahl für Zahnbelastung	c	<p>Zulässig für kurzzeitig laufende Getriebe mit Rad aus Gußeisen $c \approx 20$ bis 30 kg/cm^2 „ „ Phosphorbronze .. $c \approx 30$ „ 40 kg/cm^2 „ „ Aluminiumbronze . $c \approx 40$ „ 50 kg/cm^2</p> <p>Für Dauerbetrieb kann etwa gesetzt werden:</p> <p style="margin-left: 40px;">bei Rädern aus Gußeisen ... $c \approx \frac{40}{1 + v_g/2}$</p> <p style="margin-left: 40px;">„ „ „ Bronze $c \approx \frac{60}{1 + v_g/2}$</p>
Reibungszahl	μ	$\mu = 0,02$ bis $0,15$ und darüber; kleinster Wert nur für Stahl auf Bronze bei bester Ausführung u. Schmierung
Reibungswinkel	ϱ	$\text{tg } \varrho = \mu$
Wirkungsgrad	η	$\eta = \frac{\text{tg } \gamma}{\text{tg } (\gamma + \varrho)}$ <p>(ohne Lagerreibung)</p> <p>Selbsthemmung ist vorhanden, wenn $\eta \leq 50 \text{ vH}$, d. h. $\gamma \leq \varrho$ (z. B. bei $\mu = 0,1$ für $\gamma \leq 5^\circ 45'$). Bei Getrieben in Fahrstühlen und Hebezeugen ist wegen der Erschütterungen $\text{tg } \gamma < 1/12$, d. h. $\gamma < 3^\circ 40'$ zu nehmen, wobei $\eta \leq 0,4$ wird</p>
Antriebsdrehmoment an der Schneckenwelle kgcm	M_{d1}	$M_{d1} = P_2 \cdot r_m \frac{h + 2\pi \cdot r_m \cdot \mu}{2\pi \cdot r_m - \mu \cdot h} (1 + \varphi)$ <p>Zuschlag für Lagerreibung $\varphi = 0,02$ bis $0,1$; kleinster Wert nur für Wälzlager und beste Schmierungsverhältnisse</p>
Modul mm	m	<p>Für überschlägliche Berechnung setzt man $b \approx 2,5 \cdot t$, dann wird:</p> $m \approx 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{d2}}{c \cdot z_2}}$

den Vorzug, daß sie mit geradlinig profilierten (ebenen oder kegelförmigen) Schleifscheiben einwandfrei schleifbar ist, während beim Schleifen im Achsschnitt geradflankiger Schnecken mit finger- oder kegelförmigen Schleifscheiben Profilverzerrungen entstehen, die um so größer sind, je größer der Schleifscheibendurchmesser und der Steigungswinkel der Schnecke sind. Mit im Normalschnitt angestelltem geradflankigem Stahl geschnittene Schnecken sind meist verlängerte Evolventenschnecken (herstellungsmäßig bequemste Form).

Die Schneckenräder werden durch Wälzfräsen mit einem jeweils der Form der Schnecke entsprechenden Wälzfräser (oder bei Einzelfertigung auch mit einem Schlagzahn) verzahnt. Der Fräser unterscheidet sich von der Schnecke nur durch die etwas größere Zahnhöhe zur Erzeugung des erforderlichen Kopfspiels. Nur, wenn Schnecke und Fräser einander genau

entsprechen, und wenn die Schnecke nachher im Getriebe genau in der Stellung eingebaut wird, die der Fräser gegenüber dem Rad bei der Bearbeitung einnahm, ist ein einwandfreier Eingriff von Schnecke und Rad möglich. Aus dieser Bedingung folgt einerseits, daß der Achsabstand und die Lage der Schnecke zur Radmittelebene beim Einbau genau eingehalten werden müssen, und andererseits daß Schneckengetriebe mit richtigem Eingriff überhaupt nur dann zu erhalten sind, wenn die Form der Schnecke dem jeweiligen Anschliffzustand des das zugehörige Rad erzeugenden Wälzfräasers angepaßt wird. Zu diesem Zwecke ist die Schnecken Schleifmaschine von Klingelnberg mit Meßeinrichtungen versehen, die es ermöglichen, den gewissermaßen als Lehre vor dem Schleifen der Schnecke in die Maschine aufgenommenen Fräser abzutasten und seine Maße auf die zu schleifende Schnecke zu übertragen.

Austauschbarkeit ist nur innerhalb der Reihe der im gleichen Scharfschliffzustand des Fräasers erzeugten Schneckenräder vorhanden. Es ist daher zweckmäßig, einen besonderen Schichtfräser zu verwenden, der, da er nur einen kleinen Span zu nehmen hat, selten nachgeschliffen zu werden braucht.

Berechnungsbeispiel.

Es sei ein Schneckengetriebe zu entwerfen für eine Dauerleistung von $N_2 = 10$ PS an der Radwelle und eine Übersetzung $i = n_1/n_2 = 750/60 = 12,5$.

Mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad werde eine dreigängige Schnecke gewählt, also: $z_1 = 3$ und demnach $z_2 = 3 \cdot 12,5 = 37,5 \approx 38$. Das Drehmoment an der Radwelle ist:

$$M_{d2} = \frac{71\,620 \cdot 10}{60} \approx 11\,900 \text{ kgcm.}$$

Es werde zunächst ein zulässiger c -Wert von 20 kg/cm^2 und eine Zahnbreite von $2,5 \cdot t$ zugrunde gelegt. Damit wird überschläglich:

$$m \approx 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{11\,900}{20 \cdot 38}} = 10,8 \text{ mm; gewählt: } m = 11 \text{ mm.}$$

Mit diesem m wird der Schneckenhalbmesser:

$$r_m = 11 (1,4 + 2 \sqrt{3}) = 53,5 \text{ mm, gewählt: } r_m = 54 \text{ mm.}$$

Der Steigungswinkel wird aus:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{3 \cdot 11}{2 \cdot 54} = 0,306, \quad \gamma = 17^\circ.$$

Die Umfangsgeschwindigkeit der Schnecke ist:

$$v_1 = \frac{54 \cdot 750}{9550} = 4,24 \text{ m/s.}$$

Die Gleitgeschwindigkeit:

$$v_g = \frac{4,24}{\cos 17^\circ} = \frac{4,24}{0,95630} = 4,434 \text{ m/s.}$$

Für dieses v_g ist für Dauerbetrieb bei einem Rad aus Bronze ein c -Wert von etwa: $\frac{40}{1 + 4,29/2} \approx 19 \text{ kg/cm}^2$ zulässig. Der unter Zugrundelegung des c -Wertes von 20 kg/cm^2 er-

mittelte Modul $m = 11$ reicht somit aus, wenn der Radkranz aus Bronze gemacht werden kann.

(Soll das Rad aus Gußeisen hergestellt werden, dann wäre bei $v_g = 4,29 \text{ m/s}$ nur ein c -Wert von etwa $\frac{40}{1 + 4,3/2} = 12,7 \text{ kg/cm}^2$ zulässig. Mit diesem c -Wert ergäbe sich:

$m = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{11\,900}{12,7 \cdot 38}} = 12,5$. Es wäre also für das gußeiserne Schneckenrad ein Modul von $m = 13 \text{ mm}$ auszuführen.)

Der Wirkungsgrad (ohne Lagerreibung) ergibt sich mit $\varrho = 3^\circ$ ($\mu = 0,05$) zu:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} 17^\circ}{\operatorname{tg} (17^\circ + 3^\circ)} \approx 84 \text{ vH.}$$

Die weiteren Abmessungen von Schnecke und Rad können mit Hilfe der angegebenen Formeln leicht gefunden werden. Nach Festlegung aller Abmessungen ist nochmals die Beanspruchung nachzuprüfen.

Schrifttum über Schneckengetriebe.

Ernst: Eingriffsverhältnisse der Schneckengetriebe. Berlin: Julius Springer 1901 — Z. VDI 1900 S. 1229 u.f. — Lindner: Globoidschnecken. Z. VDI 1902 S. 644. — Wolff: Über die Erzielung günstiger Eingriffsverhältnisse an Schneckenrieben. Diss. Techn. Hochsch. Aachen 1923. — Gruson, R.: Untersuchung von Schneckengetrieben. Diss. Techn. Hochsch. Berlin 1926. — Maschmeier: Untersuchungen an Zylinder- und Globoidschneckenrieben. Diss. Techn. Hochsch. Berlin 1930. — Altman: Schraubengetriebe. Berlin: VDI-Verlag 1932. — Pfauter: Wälzfräsen. Berlin: Julius Springer 1933. — Vogel: Eingriffsgesetze und analytische Berechnungsgrundlagen des zylindrischen Schneckenriebes mit geradflankigem Achsschnitt. Berlin: VDI-Verlag 1933. — Kutzbach: Abschnitt „Schraubgetriebe“ in Die Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch. — Schiebel: Zahnräder. Dritter Teil. Berlin: Julius Springer 1934 (hier zahlreiche weitere Schrifttumsangaben). — König: Das Werkzeug zum Schneiden beliebiger Schraubengeflächchen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter Bd. 32 (1938) S. 485.

Kettengetriebe.

Kettengetriebe finden im Maschinenbau Verwendung, wenn die Wellenentfernungen für Zahnradgetriebe zu groß sind. Kettengetriebe sind unempfindlich gegen Feuchtigkeit und Wärme, müssen jedoch für die zu übertragenden Kräfte reichlich bemessen werden, um Längungen der Kette und damit unruhigen Gang zu vermeiden. Bei sachgemäßer Durchbildung, sorgfältigem Zusammenbau und gewissenhafter Wartung der Triebe sind Wirkungsgrade bis 95 vH und mehr zu erreichen.

Die Ketten werden ausgebildet als Gelenk- oder Zahnketten.

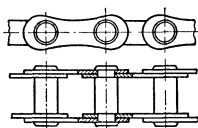


Abb. K 1. Gallsche Kette.

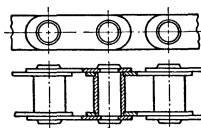


Abb. K 2. Treibkette.

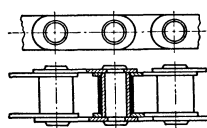


Abb. K 3. Rollenkette.

Gelenkketten, Abb. K 1 bis K 3, bestehen aus Laschen, die durch außen vernietete oder versplintete Bolzen zusammengehalten werden. Die Gallschen Ketten, Abb. K 1, eignen sich nur zur Übertragung geringer Kräfte, da in den Laschenbohrungen erhebliche Flächenpressungen und damit starke Abnutzungen auftreten; sie werden vor allem als Lastketten im Kranbau benutzt.

Für Kettengetriebe zweckmäßiger sind sogenannte Treibketten, Abb. K 2, bei denen die Laschen abwechselnd mit den Bolzen und besonderen Büchsen vernietet sind, wodurch die Flächenpressung auf eine größere Auflagefläche verteilt und dadurch herabgesetzt wird. Bei den Rollenketten, Abb. K 3, sind über die Büchsen noch gehärtete Rollen gezogen; hierdurch wird die Lebensdauer der Ketten weiter erhöht. Derartige Ketten werden bei Motorantrieben von Werkzeugmaschinen, bei Kraftmaschinen zum Antrieb der Steuerwellen und in der Fördertechnik verwandt. Zur Übertragung höherer Leistungen (z. B. bei Gruppenantrieben von Werkzeugmaschinen) werden häufig auch Mehrfach-Rollenketten, die gute Laufeigenschaften haben, herangezogen.

Für die ausgedehnten Verwendungszwecke des Förderwesens ist eine Reihe von Sonderbauarten, wie Blockketten, Stahlbolzenketten, zerlegbare Gelenkketten usw. im Gebrauch. Sie werden von den Kettenfabriken in

zahlreichen Formen und Größen hergestellt und gestatten mittels besonderer Ansätze das Anbringen von Tragblechen, Kratzern, Bechern usw.

Zahnketten, Abb. K 4, haben gezahnte Laschen, die sich in die entsprechend geformten Zahnlücken der Kettenräder einlegen. Sie lassen sich in verschiedenen Breiten herstellen und zeichnen sich infolge ihrer guten Auflageverhältnisse auch bei hohen Geschwindigkeiten durch geräuschlosen Lauf aus. Die Führung erfolgt durch besondere Führungslaschen, die sich entweder an den Außenseiten der Kette (Seitenführung) oder in Kettenmitte (Mittenführung) befinden. Infolge ihrer günstigen Laufeigenschaften, die auch bei Abnutzung der Bolzen erhalten bleiben, finden Zahnketten häufig Verwendung, so z. B. im Kraftwagenbau, bei Transmissionsantrieben und Gruppenantrieben von Arbeitsmaschinen.

Gut laufende Kettengetriebe bedingen einwandfreie Kettenräder. Ihre Zahnformen sind daher unter Zugrundelegung der Kettenabmessungen sorgfältig zu ermitteln. Ebenso sorgfältig ist die Bearbeitung vorzunehmen, da Teilungsfehler ruckweisen Lauf und vorzeitigen Verschleiß zur Folge haben. Grundsätzlich sollen nach Abb. K 5 die Bolzen der Gelenkketten auf dem Grund der Zahnlücken aufruhen, die Laschen hingegen dürfen am Radkörper keine Auflage finden.

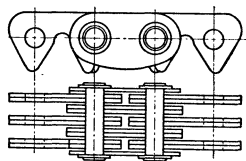


Abb. K 4. Zahnkette.

Die Zahnflanken sind, wie aus den Eingriffsverhältnissen, Abb. K 5, folgt, als Kreisbogen mit dem Radius $r_1 = t - \frac{b}{2}$ und die Zahnköpfe mit $r_2 = 2t - \frac{b}{2}$ auszubilden. Zur Sicherung eines guten Eingriffs werden letztere meist stärker gekrümmt; aus dem gleichen Grunde werden auch die Zähne seitlich zugespitzt.

Zahnkettenräder, Abb. K 7, erhalten zweckmäßig Flankenwinkel von $\alpha = 75^\circ$ bei Ketten kleinerer und von $\alpha = 60^\circ$ bei solchen größerer Teilung.

Bei dem Entwurf von Kettengetrieben ist zu beachten:

Gallsche Ketten sind bis etwa 0,3 m/s und Treibketten bis etwa 3 m/s Laufgeschwindigkeit verwendbar.

Rollenketten eignen sich für Übersetzungen bis 1 : 7 bei Geschwindigkeiten von 3 bis 5 m/s. Die Zähnezahlnzahl der Kettenräder soll möglichst groß gewählt werden und nicht kleiner als 12 sein, da mit abnehmendem Rad-durchmesser der Drehwinkel der Kette beim Auf- und Ablaufen größer wird und ihr Verschleiß durch innere Reibung steigt. Der Wellenabstand des Getriebes soll mindestens das $1\frac{1}{2}$ -fache vom Durchmesser des großen Rades betragen, jedoch nicht mehr als 3 bis 4 m. Bei Mehrfach-Rollenketten sind Geschwindigkeiten von 5 m/s und mehr zulässig.

Die im Förderwesen verwendeten Sonderketten laufen mit kleinen Geschwindigkeiten von 0,15 bis 0,6 (bis 1,0) m/s.

Zahnketten sind für Übersetzungen bis 1 : 6,5, ausnahmsweise bis 1 : 8, bei Geschwindigkeiten von 4 bis 7 m/s anwendbar. Die Zähnezahlnzahl der Kettenräder soll 17 nicht unterschreiten. Der Wellenabstand des Getriebes sei nicht kleiner als das $1\frac{1}{2}$ -fache vom Durchmesser des großen Rades und nicht größer als 4 bis 6 m.

Waagerechte oder flach geneigte Anordnung der Kettentriebe ist anzustreben, wobei die Lager stets in unmittelbare Nähe der Kettenräder zu

setzen sind. Lotrechte Antriebe soll man tunlichst vermeiden, da sich Längenänderungen der Kette hierbei stärker bemerkbar machen. Zur Regelung des Kettendurchhanges sind die Wellenentfernungen um 1 bis 2 Teilungen nachstellbar einzurichten, anderenfalls müssen besondere einstellbare Spannräder angebracht werden. Um eine gleichmäßige Kettenabnutzung zu erreichen, erhält das kleine Rad eine ungerade, das große eine gerade Zähnezahl. Mit zunehmendem Wellenabstand wächst die Lebensdauer der Kette, da jedes Glied in längeren Zeitabständen zum Eingriff kommt; kurze Triebe verlangen daher stärkere Ketten. Sind Kraftstöße zu erwarten, so ist der Zahnkranz des treibenden Rades mit der Nabe federnd zu verbinden; auch Schwungmassen werden zum Ausgleich von Stößen herangezogen.

Die Getriebe sind möglichst gegen Staub zu schützen und zur Erhöhung der Lebensdauer mit einwandfreien Schmiervorrichtungen zu versehen (Tropföler oder besser Ölbad). In staubigen Betrieben oder im Freien empfiehlt sich Einkapseln der Getriebe, was außerdem einen sparsamen Schmiermittelverbrauch zur Folge hat, da das abgeschleuderte Öl der Kette wieder zugeführt wird. Stark verschmutzte Ketten müssen von Zeit zu Zeit mit Petroleum oder Benzin gereinigt und dann im heißen Ölbad neu eingefettet werden.

Bei der Bemessung der Kettengetriebe sind die Betriebsbedingungen sorgfältig zu berücksichtigen. Plötzliches Einschalten und Kraftstöße, staubereifüllte Luft, ungenauer Einbau, Unvollkommenheiten der Kette und mangelhafte Schmierung setzen die höchstzulässige Beanspruchung ganz bedeutend herab. Maßgebend für die Wahl der Ketten ist grundsätzlich die Flächenpressung in den Bolzen, die deshalb stets nachgeprüft werden muß. Die Betriebsbelastung der Kette soll höchstens $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ der Bruchbelastung betragen. Die Berechnung der Radabmessungen ist aus den nachstehenden Angaben abzuleiten.

Die Kettenlänge wird, wenn die Durchmesser der Räder und der Achsenabstand gegeben sind, wie die Riemenlänge beim offenen Riementrieb berechnet, wobei zu beachten ist, daß statt der Riemenscheibendurchmesser die Teilkreisdurchmesser der Räder zu setzen sind. Der halbe Teilkreisdurchmesser ist gleich dem Abstände von Mitte Kettenbolzen bis Radmitte. Die Kettenlänge selbst muß immer ein ganzzahliges Vielfaches der Ketten- teilung sein. Die Teilung t ist eine Sehnenteilung.

Hinweise für die Wahl der Werkstoffe:

für Ketten	.....	Laschen: St 50.11, St 60.11, St C 25.61;
		Sonder-Kettenglieder: Temperguß;
		Bolzen: St 60.11, St C 16.61;
		Büchsen: St 60.11, St C 16.61;
für Kettenräder	....	Ge 14.91, Stg 45.81, St 60.11.

Anhaltswerte für zulässige Beanspruchungen:

Flächenpressung	.....	150 bis 350 (bis 450) kg/cm ² ;
Zug	.....	400 „ 600 kg/cm ² ;
Biegung	.....	600 „ 900 kg/cm ² .

Bei Dauerbetrieb und schnellem Lauf sind diese Werte herabzusetzen.

Beim Zusammenbau ist sorgfältig zu beachten, daß die Wellen genau waagrecht und zueinander parallel liegen, und daß ferner die Kettenräder genau fluchten. Ungenauer Einbau führt unvermeidlich zu Betriebsstörungen und schnellem Verschleiß. Die Kette darf nicht zu stark gespannt werden, da sie selbst und die Lager hierdurch übermäßig beansprucht werden.

Sie darf andererseits auch nicht schlagen. Ihr Durchgang soll etwa das 0,8fache der Teilung betragen. Seitliche Führung der Kette nach Abb. K 8.

Genormt sind:

Stahlbolzenketten.....	DIN 654
Zerlegbare Gelenkketten.....	DIN 686
Rollenketten und Kettenräder.....	DIN Kr 3231
Zahnketten.....	DIN KrW 504
Schopfbecher-Doppelglieder.....	DIN Berg 2201
Entwasserungsbecher-Doppelglieder.....	DIN Berg 2202
Vollbecher-Doppelglieder.....	DIN Berg 2203
Leseband-Doppelglieder.....	DIN Berg 2204
Stuckkohlenband-Doppelglieder.....	DIN Berg 2205
Kratzband-Doppelglieder.....	DIN Berg 2206
Kastenband-Doppelglieder.....	DIN Berg 2207
Einzelteile.....	DIN Berg 2210
Laschenketten für Kettenbahnen.....	DIN Berg 2251

Die Druckschriften der Kettenfabriken enthalten Angaben über die auf dem Markt erhältlichen Ketten- und Kettenräder-Bauarten.

Rollenkettenrad mit Abwälzfräser

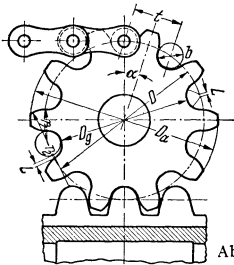


Abb. K 5.

Außendurchmesser $D_a = D + b$
 Grundkreisdurchmesser $D_g = D - b$
 Teilkreisdurchmesser $D = t : \sin \alpha$
 Zähnezahl des Rades z
 $\alpha = 180^\circ : z$
 Lückenspiel $L = 0,1$ bis $0,2 b$

Blockkettenrad mit Formfräser

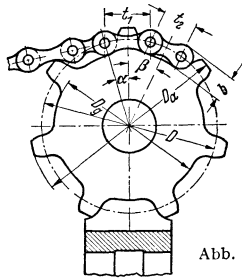


Abb. K 6.

Außendurchmesser $D_a = D + b$
 Grundkreisdurchmesser $D_g = D - b$
 Teilkreisdurchmesser $D = t_1 : \sin \alpha$
 Zähnezahl des Rades z
 $\beta = 180^\circ : z$
 $\text{tg } \alpha = \sin \beta : \left(\frac{t_2}{t_1} + \cos \beta \right)$

Zahnkettenrad mit Formfräser

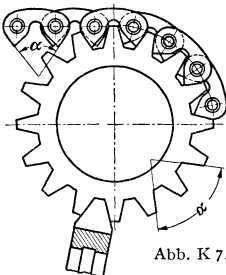
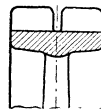


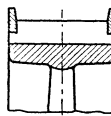
Abb. K 7.

Flankenwinkel $\alpha = 60^\circ$ oder 75°

Führung der Zahnkette



Mittlenführung



Seitenführung

Abb. K 8.

Stufung von Drehzahlen und Vorschüben.

Mit ganz wenig Ausnahmen (z. B. Klinkengesperren für Vorschübe an Hobel- und Stoßmaschinen) stuft man Drehzahlen und Vorschübe an Werkzeugmaschinen nach geometrischen Reihen. Das sind solche, in denen jedes folgende Glied durch Multiplikation des vorhergehenden mit dem innerhalb der vorliegenden Reihe stets gleich bleibenden Faktor „Stufensprung“ φ entsteht. Es ist dann:

$$\begin{aligned}n_1 &= &= n_1 \cdot \varphi^0, \\n_2 &= n_1 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^1, \\n_3 &= n_2 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^2, \\n_4 &= n_3 \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^3, \\n_x &= n_{x-1} \cdot \varphi = n_1 \cdot \varphi^{x-1}.\end{aligned}$$

allgemein

Logarithmisch ausgedrückt lautet dieselbe Gleichung:

$$\log n_x = \log n_1 + (x - 1) \log \varphi,$$

woraus
$$\log \varphi = \frac{\log n_x - \log n_1}{x - 1} \quad \text{oder} \quad = \frac{\log n_x/n_1}{x - 1}.$$

Geometrische Reihen geben in logarithmischer Teilung (Rechenschieber oder logarithmisches Koordinatenpapier) gleiche Abstände, nämlich φ bzw. $\log \varphi$.

Die in der Praxis zu lösende Aufgabe besteht meistens darin, zu einem Anfangsglied n_1 und einem Endglied n_x die dazwischen liegenden Glieder n_2 bis n_{x-1} , sowie den Stufensprung φ zu finden. Das kann rechnerisch oder bequemer zeichnerisch geschehen. Es kommt im Grunde genommen darauf hinaus, den Zwischenraum zwischen den Logarithmen der Glieder n_1 und n_x in $x - 1$ gleiche Teile zu teilen.

Rechnerisches Bestimmen der Zwischenglieder.

Der Gang der Rechnung ist aus nachstehendem durchgeführtem Beispiel zu erkennen.

Beispiel: Gegeben $n_1 = 120 \text{ U/min},$

$$n_9 = 1600 \text{ U/min},$$

Gesucht n_2 bis n_8 .

Lösung:
$$\log \varphi = \frac{\log 1600 - \log 120}{9 - 1},$$

$$\log 1600 = 3,2041$$

$$- \log 120 = \underline{2,0792}$$

$$\log \varphi = 1,1249 : 8 = 0,1406$$

$$\varphi = 1,382.$$

Die Errechnung der Zwischenwerte n_2 bis n_{x-1} soll nicht auf dem Rechenschieber durch mehrfach hintereinander erfolgendes Multiplizieren geschehen, weil die unvermeidlichen wiederholten Rundungen gegen Schluß der Reihe zu große Fehler entstehen lassen könnte. Man rechnet zweckmäßig log-

arithmisch weiter, nachdem man doch schon die Logarithmentafel zur Hand nehmen mußte.

$$\begin{aligned}
 & \log n_1 = 2,0792 = \log 120 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_2 = 2,2198 = \log 165,9 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_3 = 2,3604 = \log 229,3 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_4 = 2,5010 = \log 317,0 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_5 = 2,6416 = \log 438,1 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_6 = 2,7822 = \log 605,6 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_7 = 2,9228 = \log 837,1 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_8 = 3,0634 = \log 1157 \\
 & + \log \varphi = \underline{0,1406} \\
 & = \log n_9 = 3,2040 = \log 1600 \text{ (Kontrolle)}.
 \end{aligned}$$

Zeichnerisches Bestimmen der Zwischenglieder.

Man trägt auf logarithmischem Papier (Carl Schleicher & Schüll, Düren) die beiden gegebenen Endglieder der geometrischen Reihe ein oder überträgt von der logarithmischen Teilung des Rechenschiebers die beiden gegebenen Endglieder auf einen Streifen Papier. Dann teilt man die Strecke zwischen den Endgliedern in $x - 1$ gleiche Teile. Die Teilpunkte entsprechen den gesuchten Zwischengliedern.

Beispiel: Gegeben $n_1 = 120$ U/min,
 $n_9 = 1600$ U/min.
 Gesucht n_2 bis n_8 .

Lösung auf logarithmischem Papier: Abb. St 1 a und b:

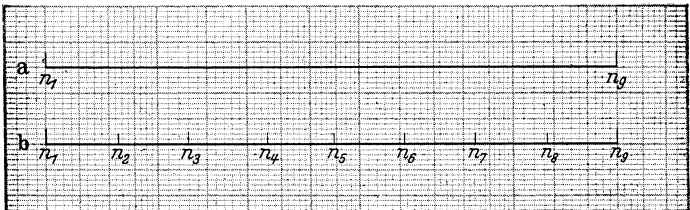


Abb. St 1 a und b. Bestimmen geometrisch gestufter Drehzahlen.

a. Auftragen von n_1 und n_9 . Abstand auf Logarithmenpapier Nr. 376^{1/2} von Carl Schleicher & Schüll in Naturgröße mit dem Maßstab gemessen $\log n_9/n_1 = 112,5$ mm.

b. Auf dem Rechenschieber errechnet:

$$\begin{array}{ll} \frac{1}{8} 112,5 = 14,1 \text{ mm}, & \frac{5}{8} 112,5 = 70,3 \text{ mm}, \\ \frac{2}{8} 112,5 = 28,1 \text{ mm}, & \frac{6}{8} 112,5 = 84,4 \text{ mm}, \\ \frac{3}{8} 112,5 = 42,2 \text{ mm}, & \frac{7}{8} 112,5 = 98,5 \text{ mm}, \\ \frac{4}{8} 112,5 = 56,3 \text{ mm}, & \frac{8}{8} 112,5 = 112,5 \text{ mm (Kontrolle)}. \end{array}$$

Diese Teilpunkte auftragen und an ihnen ablesen:

$$\begin{array}{lll} n_1 = 120 \text{ U/min}, & n_4 = 317 \text{ U/min}, & n_7 = 840 \text{ U/min}, \\ n_2 = 166 \text{ U/min}, & n_5 = 438 \text{ U/min}, & n_8 = 1160 \text{ U/min}, \\ n_3 = 230 \text{ U/min}, & n_6 = 606 \text{ U/min}, & n_9 = 1600 \text{ U/min. —} \end{array}$$

Lösung mit dem Rechenschieber allein kann in Ermanglung von logarithmischem Papier, indem man die Teilung auf der aus dem Schieber herausgezogenen Zunge auf einen Streifen Papier überträgt und dann wie oben verfährt. Es ist Ansichtssache, ob man die obere oder die untere Teilung der Zunge verwendet.

Normungszahlen DIN 323.

Die Normungszahlen nach DIN 323 sind geometrisch gestufte, jedoch der Bequemlichkeit wegen gerundete und in der Stufung wieder ausgeglichene Zahlenreihen, die sich den Ziffern nach in jedem Dezimalbereiche wiederholen. Es sind vier Reihen genormt, die den Bereich von 10^x zu 10^{x+1} in 40, 20, 10 oder 5 Stufensprüngen φ überbrücken. Demnach sind die Stufensprünge bei der

$$\begin{array}{l} 40\text{er Reihe } \varphi = \sqrt[40]{10} = 1,0593 = \approx 1,06, \\ 20\text{er Reihe } \varphi = \sqrt[20]{10} = 1,1220 = \approx 1,12, \\ 10\text{er Reihe } \varphi = \sqrt[10]{10} = 1,2589 = \approx 1,26, \\ 5\text{er Reihe } \varphi = \sqrt[5]{10} = 1,5849 = \approx 1,58. \end{array}$$

Die Normungszahlen sollen für die Aufstellung von Reihen konstruktiver Abmessungen, wie Anschlußmaße, Durchmesser oder Längen von Erzeugnissen gleicher Art, aber steigender Größe verwendet werden.

Die 20er, 10er und 5er Reihe entstehen aus der jeweils vorhergehenden Reihe durch Überspringen eines Gliedes. Für Normungszwecke sollen möglichst keine anderen Auswahlen aus der 40er Reihe vorgenommen werden, als in DIN 323 getroffen sind. Es ist jedoch statthaft, von einer Reihe der Normungszahlen zu einer benachbarten überzugehen. Für Drehzahlen sind andere Auswahlen getroffen; für Vorschübe an Werkzeugmaschinen sind solche noch geplant. Die Normungszahlen DIN 323 sind wegen ihres zwingend logischen Aufbaues international anerkannt.

Die Mantissen des Briggschen Logarithmus steigen in der 40er Reihe um je $0,025 = \frac{1}{40}$, in den anderen Reihen um je $0,050 = \frac{1}{20}$; $0,100 = \frac{1}{10}$ und $0,200 = \frac{1}{5}$. Die genauen Ziffern der Normungszahlen sind in der vorletzten Spalte angegeben.

Jedes Glied ist das geometrische Mittel zwischen zwei Gliedern, die in der gleichen Reihe gleich weit nach vor- und nach rückwärts liegen, z. B. $3,55^2 = 2,8 \cdot 4,5$ (20er Reihe).

Normungszahlen DIN 323.

40 er Reihe	20 er Reihe	10 er Reihe	5 er Reihe	40 er Reihe	20 er Reihe	10 er Reihe	5 er Reihe	40 er Reihe	20 er Reihe	10 er Reihe	5 er Reihe	Genauere Werte	Man-tisse
1	1	1	1	10	10	10	10	100	100	100	100	10000	000
1,06				10,6				106				10593	025
1,12	1,12			11,2	11,2			112	112			11220	050
1,18				11,8				118				11885	075
1,25	1,25	1,25		12,5	12,5	12,5		125	125	125		12589	100
1,32				13,2				132				13335	125
1,4	1,4			14	14			140	140			14125	150
1,5				15				150				14962	175
1,6	1,6	1,6	1,6	16	16	16	16	160	160	160	160	15849	200
1,7				17				170				16788	225
1,8	1,8			18	18			180	180			17783	250
1,9				19				190				18836	275
2	2	2		20	20	20		200	200	200		19953	300
2,12				21,2				212				21135	325
2,24	2,24			22,4	22,4			224	224			22387	350
2,36				23,6				236				23714	375
2,5	2,5	2,5	2,5	25	25	25	25	250	250	250	250	25119	400
2,65				26,5				265				26607	425
2,8	2,8			28	28			280	280			28184	450
3				30				300				29854	475
3,15	3,15	3,15		31,5	31,5	31,5		315	315	315		31623	500
3,35				33,5				335				33497	525
3,55	3,55			35,5	35,5			355	355			35481	550
3,75				37,5				375				37584	575
4	4	4	4	40	40	40	40	400	400	400	400	39811	600
4,25				42,5				425				42170	625
4,5	4,5			45	45			450	450			44668	650
4,75				47,5				475				47315	675
5	5	5		50	50	50		500	500	500		50119	700
5,3				53				530				53088	725
5,6	5,6			56	56			560	560			56234	750
6				60				600				59566	775
6,3	6,3	6,3	6,3	63	63	63	63	630	630	630	630	63096	800
6,7				67				670				66834	825
7,1	7,1			71	71			710	710			70795	850
7,5				75				750				74989	875
8	8	8		80	80	80		800	800	800		79433	900
8,5				85				850				84140	925
9	9			90	90			900	900			89125	950
9,5				95				950				94406	975

Normungszahlen über 1000 sind durch Vervielfachen der Zahlen zwischen 100 und 1000 mit 10, 100 usw. zu bilden, Normungszahlen unter 1 entsprechend durch Teilen der Zahlen zwischen 1 und 10 durch 10, 100 usw.

Leerlauf-Drehzahlen nach VDW¹⁾.

Die Richtwerte für Leerlaufdrehzahlen an Werkzeugmaschinen und Getrieben nach VDW sind nicht endgültig als Dinorm herausgekommen; sie waren vor etwa 10 Jahren aufgestellt und aus der 40er Reihe der Normungszahlen DIN 323, ebenfalls in geometrischer Stufung, so ausgewählt, daß die synchronen Drehzahlen der Drehstrommotoren in möglichst vielen

¹⁾ RKW/AWF-Schrift 66/239 „Wesen und Auswirkung der Drehzahlnormung“. Leipzig: Verlag B. G. Teubner. Bestellnummer 12051, 3,00 RM.

Nenn-drehzahl-Reihen für Vollast

DIN 323 R 20 (R 40)	R 20 Grundreihe	R 20/2 (... 2800) Hauptreihe	R 20/4 (... 1400)	R 20/4 (... 2800)	R 20/3 (... 2800)	R 20/6 (... 2800)	R 20 Grundreihe	R 20/2 (... 2800) Hauptreihe
	1,12	1,26	1,58	1,58	1,41	2,0	1,12	1,26
10 (10,6)	10						100	
11,2 (11,8)	11,2	11,2		11,2	11,2	11,2	112	112
12,5 (13,2)	12,5						125	
14 (15)	14	14	14				140	140
16 (17)	16				16		160	
18 (19)	18	18		18			180	180
20 (21,2)	20						200	
22,4 (23,6)	22,4	22,4	22,4		22,4	22,4	224	224
25 (26,5)	25						250	
28 (30)	28	28		28			280	280
31,5 (33,5)	31,5				31,5		315	
35,5 (37,5)	35,5	35,5	35,5				355	355
40 (42,5)	40						400	
45 (47,5)	45	45		45	45	45	450	450
50 (53)	50						500	
56 (60)	56	56	56				560	560
63 (67)	63				63		630	
71 (75)	71	71		71			710	710
80 (85)	80						800	
90 (95)	90	90	90		90	90	900	900

Fettgedruckte Zahlen sind die annähernden Vollast-

der so gebildeten Reihen enthalten sind, um den Verhältnissen bei der unmittelbaren Kupplung mit Elektromotoren gerecht zu werden.

Bis zum Erscheinen der ISA-Empfehlungen für Nenn-Drehzahlreihen haben die Leerlaufdrehzahlen nach VDW den Werkzeugmaschinenbau maßgebend beeinflusst. Als Nachteil wurde immer wieder empfunden, daß der Drehzahlabfall bis zu den Drehzahlen bei mittlerer und bei voller Belastung je nach den vorhandenen Übertragungsmitteln (Schlupf oder Motoren, Schlupf einfacher oder mehrfacher Riementriebe) immer nur mit ziemlich großer Toleranz erfaßbar sind. Man half sich dadurch, daß man

nach ISA-Empfehlung 1938.

R 20/4 (... 1400)	R 20/4 (... 2800)	R 20/3 (... 2800)	R 20/6 (... 2800)	R 20 Grundreihe	R 20/2 (... 2800) Hauptreihe	R 20/4 (... 1400)	R 20/4 (... 2800)	R 20/3 (... 2800)	R 20/6 (... 2800)
1,58	1,58	1,41	2,0	1,12	1,26	1,58	1,58	1,41	2,0
	112	125		1000			1120	1000	
140				1120	1120				
				1250					
				1400	1400	1400		1400	1400
				1600					
	180	180	180	1800	1800		1800		
				2000				2000	
224				2240	2240				
		250		2500					
	280			2800	2800		2800	2800	2800
355		355	355						
	450								
		500							
560									
	710	710	710						
900									

Drehzahlen der Drehstrom-Elektromotoren.

Schnell-Drehzahlen und Schnell-Frequenzen

nach Prof. Dr.-Ing. O. Kienzle, Berlin.

DIN 323	2800 R 20/6	4250 R 40/12	Schnell- frequenz Hz	Polzahl ¹⁾ Frequenz- wandler bei $n =$		2800 R 20/6	4250 R 40/12	Schnell- frequenz Hz	Polzahl ¹⁾ Frequenz- wandler bei $n =$	
				1500	3000				1500	3000
				U/min	U/min				U/min	U/min
2800	2800		50							
3000										
3150										
3350							33 500	600		22
3550										
3750										
4000										
4250		4250	75	2						
4500						45 000		800		30
4750										
5000										
5300										
5600	5600		100	4	2					
6000										
6300										
6700										
7100										
7500										
8000										
8500		8 500	150	8	4					
9000										
9500										
10000										
10600										
11200	11 200		200	12	6					
11800										
12500										
13200										
14000										
15000										
16000										
17000		17 000	300	20	10					
18000										
19000										
20000										
21200										
22400	22 400		400		14					
23600										
25000										
26500										

¹⁾ Polzahlen gelten für Gegenfeld-Frequenzwandler.

einen Durchschnittswert von 6% Abfall annahm, so daß die Lastdrehzahlen als die jeweils nächst niedrigere Zahl in der Reihe 1,06 angesehen werden konnte. Für die Vorkalkulation blieb die erhoffte Vereinfachung in der Berechnung der Maschinenzeiten aus.

Nennzahl-Reihen für Vollast nach ISA (s. S. 674 und 675).

Die Vollastdrehzahlen nach ISA sind auf der Internationalen Normentagung Berlin, Juni 1938, festgelegt worden; sie stimmen mit den Normungszahlen DIN 323 überein. Die Beziehung zu den Synchrondrehzahlen der Drehstrommotoren (3000, 1500 usw.) ist dadurch hergestellt, daß die entsprechenden Normdrehzahlen (2800, 1400 usw.) um rd. 6 vH unter jenen liegen, so daß die höchsten praktisch vorkommenden Drehzahlabfälle berücksichtigt sind.

Als Grundreihe ist die Reihe R 20 mit dem Stufensprung $\sqrt[20]{10} = 1,12$ gewählt. Aus ihr entstehen durch Auswahl jedes 2., 3., 4. und 6. Gliedes die Reihen mit den Stufensprüngen 1,26; 1,41; 1,58 und 2,0.

Die Bezeichnung bezieht sich auf das jeweils aus der Grundreihe R 20 ausgeählte Glied; z. B. bedeutet R 20/4, daß jeweils das vierte Glied der Grundreihe für diese Reihe R 20/4 gewählt wurde. End- oder Anfangsglied der Reihen sollen genannt werden (... 2800), weil auch andere Auswahlen mit gleichem Stufensprung möglich wären und für die zwei Reihen mit dem Stufensprung $\varphi = 1,58$ eine Unterscheidung notwendig ist.

Die Nennzahl-Reihen verstehen sich mit einer elektrischen Toleranz von $\pm 2,5$ vH und einer mechanischen Toleranz (Abweichungen der ausgeführten Zahnradübersetzung vom Sollwert, Riemenschlupf usw.) von ± 2 vH, also einer Gesamttoleranz von $\pm 4,5$ bis -2 vH. Diese Toleranz ist auf den Genauwert der Nennzahl (s. vorletzte Spalte der Normungszahlen DIN 323 S. 673) zu beziehen, nicht auf den gerundeten Wert der Zahlentafel. In den meisten Fällen wird die Spindel etwas schneller laufen als das Maschinenschild angibt, auf dem in Zukunft die Nennwerte angegeben werden sollen. Diese Tatsache wird sich bei der Vorgabezeit für Maschinenarbeiten günstig für den bedienenden Arbeiter auswirken.

Vorschübe sind nach den Reihen R 20, R 10 und R 5 zu stufen. Kurvenvorschübe sollten ebenfalls genormt werden.

Schnelldrehzahlen und Schnellfrequenzen.

Einen Anschluß an die Nennzahl-Reihen nach ISA bilden die Schnelldrehzahlen bzw. Schnellfrequenzen nach dem Vorschlag von Prof. Kienzle. Diese Lastdrehzahlen schließen sich an den Wert 2800 mit dem Stufensprung $\varphi = 2$ und an den Wert $4250 = (1 + 2/3) \cdot 2800$ gleichfalls mit dem Stufensprung $\varphi = 2$ an. Der Ausgangswert 2800 ist in der Reihe R 20, der Ausgangswert 4250 nur in der 40er Reihe DIN 323 enthalten. Deswegen sind die Reihen mit 2800 R/6 und 4250 R 40/12 benannt.

Schrifttum.

- Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1937 Heft 10.
Kienzle: Internationale Vereinheitlichung der Normungszahlen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1938 Heft 19.
Melcher: Internationale Normvorschlage fur die Drehzahlen der Arbeitsspindeln. Maschinenbau-DIN-Mitt. 1938 Heft 15/16 S. 435. Bericht des ISA-Komitees 39, Werkzeugmaschinen.
Irtenkauf: Die Vorschubnormung bei den spanabhebenden Werkzeugmaschinen. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1939 S. 25.
Irtenkauf: Die Normungszahlen und ihre Anwendung bei der Gestaltung von Dreh- und Revolverdrehbanken. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1940 S. 1.
Kienzle: Geometrische Vorschubstufung bei Werkzeugmaschinen mit hin- und hergehender Hauptbewegung. Werkst.-Techn. u. Werksleiter 1940 S. 265.

Logarithmische Drehzahlbilder.

Das Netz der Drehzahlbilder ist einfach logarithmisch. Die Wellen eines Getriebes zeichnet man als waagerechte Linien in beliebigem Abstand in der Reihenfolge des Kraftflusses; auf ihnen erscheinen in logarithmischem Maßstab eingetragene Drehzahlen der betreffenden Welle. Bei geometrisch gestuften Drehzahlen ergeben sich, wie im Abschnitt „Stufung von Drehzahlen und Vorschüben“ gesagt, gleiche Abstände, und es genügt zum Zeichnen des Drehzahlbildes einfaches kariertes Papier.

Wenn die Art der Stufung noch nicht festliegt oder noch nicht erkannt ist, z. B. beim Untersuchen fertig vorliegender Getriebe, verwendet man einfach-logarithmisches Papier (Nr. 376½ von Carl Schleicher & Schüll) und trägt auf jeder Waagerechten die errechneten Drehzahlen ein, die die durch diese Gerade dargestellte Welle oder Spindel machen kann, z. B. Abb. Db 8.

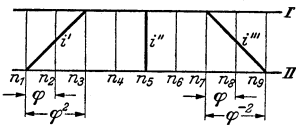


Abb. Db 1. Logarithmisches Drehzahlbild für verschiedene Übersetzungen: $i' = \varphi^3$ Übersetzung ins Langsame; $i'' = \varphi^0 = 1$ Übersetzung gleich auf gleich; $i''' = \varphi^{-2}$ Übersetzung ins Schnelle.

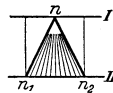


Abb. Db 2. Logarithmisches Drehzahlbild eines stufenlos regelbaren Getriebes.

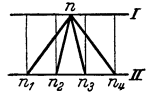


Abb. Db 3. Logarithmisches Drehzahlbild eines symmetrisch gestuften Getriebes, z. B. Stufenscheibenpaar (s. Abschnitt „Riemen und Riementriebe“).

Die Verbindungslinien zwischen den Drehzahlen zweier Wellen, Abb. Db 1 bis 3, stellen dann jeweils eine zwischen diesen Wellen bestehende Übersetzung dar, die durch Zahnräder, Schneckentriebe, Ketten, Riemen, Reibungsräder usw. gebildet sein kann. Eine Feldbreite bedeutet jeweils eine Übersetzung $i = \varphi$. Falls man, was sehr zu empfehlen ist, auch für die Zwischenwellen nur genormte Drehzahlen zulässt, sind die Übersetzungen stets Potenzen der genormten Stufensprünge, die man aus der ein für allemal aufgestellten nachstehenden Zahlentafel ablesen kann¹⁾.

Potenzen genormter Stufensprünge.

φ	φ^2	φ^3	φ^4	φ^5	φ^6	φ^7	φ^8
1,12	1,26	1,41	1,59	1,78	2,00	2,24	2,51
1,26	1,59	2,00	2,51	3,16	3,98	5,01	6,31
1,58	2,51	3,98	6,31	10,0			
1,41	2,0	2,83	4,0	5,66	8,0		
2,0	4,0	8,0					

Zum Entwurf neuer Getriebe geben die logarithmischen Drehzahlbilder das denkbar beste und schnellste Mittel, alle möglichen verschiedenen Lösungen in wenigen Minuten aufzuzeichnen und gegeneinander abzu-

¹⁾ In dem Buch Dr.-Ing. Ruthard Gernar: Die Getriebe für Normdrehzahlen (Berlin: Julius Springer 1932) sind u. a. für diese „Normübersetzungen“ eine Auswahl von Zähnräderpaaren mit den Abweichungen vom mathematisch richtigen Wert in Tafelform gegeben. — Sonstiges Schrifttum über logarithmische Drehzahlbilder: Die Werkzeugmaschine 1932, Heft 16, S. 295 und Heft 17, S. 319. — Werkstatt und Betrieb 1938, Heft 21/22, S. 281.

wägen, Abb. Db 4 bis 6. Bei der Untersuchung vorhandener Getriebe sind auf einen Blick die sämtlichen Übersetzungen zu übersehen und kritisch zu durchleuchten, Abb. Db 7 und 8.

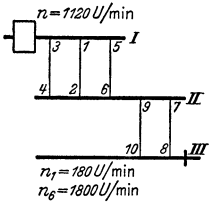


Abb. Db 4. Vereinfachte Darstellung eines Räderkastens mit 3×2 Drehzahlen der Hauptspindel. I, II, III Wellen bzw. Spindel. 1, 3, 5, 8, 10 nicht verschiebbare Zahnräder. 4-2-6 und 7-9 Schieberäderblöcke.

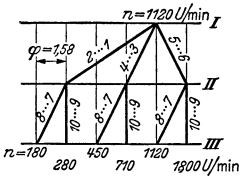


Abb. Db 5: $i_{1-2} = 1,58^3$; $i_{3-4} = 1,58$; $i_{5-6} = 1,58^{-1}$; $i_{7-8} = 1,58$; $i_{9-10} = 1$.

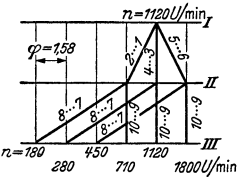


Abb. Db 6: $i_{1-2} = 1,58$; $i_{3-4} = 1$; $i_{5-6} = 1,58^{-1}$; $i_{7-8} = 1,58^3$; $i_{9-10} = 1$.

Abb. Db 5 und 6. Zwei verschiedene Lösungen zum Räderkasten, Abb. Db 4, in log. Drehzahlbildern.

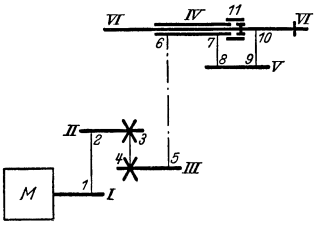


Abb. Db 7. Vereinfachte Darstellung eines Drehbank-Hauptantriebes (Heyligenstaedt & Comp) mit stufenloser Regelung.

I Motorwelle, $n = 1450$ U/min, Wendegetriebe zwischen I und II nicht gezeichnet. II und III Zwischenwellen. IV Hülse gesondert um VI gelagert. V Vorgelege, seitlich ausrückbar. VI Drehspindel. 1-2 Zahnräder $i = 1,2$. 3-4 PIV-Getriebe, Regelbereich etwa 1:7. 5-6 fünffacher Keilriementrieb $i = 2,7$. 7-8 Zahnräder $i = 2$. 9-10 Zahnräder $i = 4$. 11 Vielzahnkupplung zu IV und VI mit Ausrückung 8-9 verbunden.

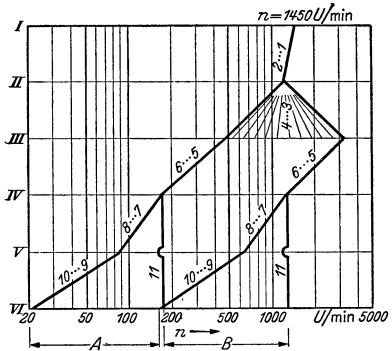


Abb. Db 8. Logarithmisches Drehzahlbild zu Abb. Db 7. Drehzahlbereich A ... $n = 21$ bis 148 U/min; Drehzahlbereich B ... $n = 169$ bis 1184 U/min.

Bei Antrieb durch polumschaltbare Motoren, z. B. Abb. Db 9 und 10, teilt man sich die Drehzahlen der Hauptspindel in Gruppen ein (in Wirklichkeit mit verschiedenen Farben, in Abb. Db 10 mit Kreuzen und Kreisen), die sich wie die Drehzahlen des polumschaltbaren Motors verhalten, z. B. in Abb. Db 10:

$$(140, 180, 224) : (280, 355, 450) = 1:2,$$

$$(280, 355, 450) : (560, 710, 900) = 1:2,$$

$$(560, 710, 900) : (1120, 1400, 1800) = 1:2.$$

Es ergeben sich dann zwei gleiche Teil-Drehzahlbilder (in Wirklichkeit in verschiedenen Farben, in Abb. Db 10 ausgezogen und gestrichelt), die parallel zueinander um den Sprung der Motordrehzahlen versetzt sind.

Schraubenfedern, 1 bis 15 mm Drahtdurchmesser, 10 bis 150 mm Außendurchmesser.

Außen- durch- messer D_a mm	Drahtdurchmesser d in mm															
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	12	15
10	1,75 1,4	6,24 0,81	15,7 0,54	32,8 0,38	61 0,27											
12	1,43 2,0	5,05 1,2	12,6 0,84	25,9 0,61	47,1 0,45	79 0,35										
15	1,12 3,3	3,93 2,0	9,67 1,4	19,7 1,1	35,4 0,80	59 0,63	91 0,51	136 0,41								
20	0,85 6,0	2,87 3,8	6,98 2,7	14,0 2,1	25,0 1,6	40,8 1,3	63 1,1	92 0,89	131 0,75	242 0,55						
25	0,65 9,7	2,26 6,2	5,47 4,4	10,9 3,4	19,3 2,7	31,3 2,2	47,9 1,8	70 1,6	98 1,3	179 1,0	299 0,78					
30	0,54 14,1	1,86 9,1	4,49 6,6	8,93 5,1	15,7 4,1	25,4 3,6	38,3 2,8	56 2,4	79 2,1	141 1,6	234 1,3	366 1,0				
35	0,46 19,4	1,58 11,5	3,81 9,1	7,58 7,1	13,3 5,7	21,4 4,8	32,4 4,0	47,0 3,5	65 3,0	117 2,3	193 1,8	298 1,5	441 1,3			
40	0,40 26	1,38 16,6	3,31 12,1	6,55 9,4	11,5 7,6	18,5 6,4	27,9 5,4	40,3 4,7	56 4,1	100 3,2	163 2,6	251 2,1	370 1,8	524 1,5	970 1,1	1768 1,0
45	0,36 33	1,22 21	2,92 15,5	5,78 12,1	10,1 9,9	16,6 8,3	24,5 7,0	35,4 6,1	49,1 5,4	87 4,3	142 3,5	217 2,9	318 2,4	449 2,1	823 1,5	1515 1,0
50	0,32 40	1,09 26	2,62 19,3	5,17 15,2	9,03 12,4	14,5 10,4	21,9 8,9	31,5 7,7	43,6 6,8	77 5,4	125 4,4	192 3,7	279 3,1	393 2,7	714 2,0	1515 1,4
60	0,27 57	0,91 38	2,17 28	4,27 22	7,44 18,2	11,9 15,3	18,0 13,1	25,8 11,4	35,7 10,2	63 8,1	102 6,7	153 5,7	225 4,8	314 4,2	566 3,2	1178 2,3
70	0,23 80	0,77 52	1,85 39	3,64 31	6,33 25	10,1 21	15,2 18,2	21,9 16,0	30,2 14,2	53 11,4	86 9,5	130 8,0	188 6,9	262 6,0	468 4,7	964 3,4

80	0,20	0,68	4,61	3,17	5,51	8,81	13,2	19,0	26,2	45,9	74	112	161	224	399	816
	105	69	51	40	33	28	24	21	18,8	15,3	12,8	10,8	9,4	8,2	6,5	4,7
90	0,18	0,60	4,43	2,81	4,88	7,79	11,7	16,8	23,1	40,4	65	98	141	196	348	707
	133	88	65	51	42	36	31	27	24	19,7	16,5	14,0	12,2	10,7	8,5	6,3
100	—	0,54	4,28	2,52	4,37	6,98	10,5	15,0	20,7	36,1	58	87	126	175	309	624
	—	108	81	64	53	45	39	34	30	25	21	17,7	15,4	13,6	10,8	8,1
120	—	0,45	4,07	2,09	3,63	5,78	8,67	12,4	17,1	29,8	47,7	72	103	143	251	505
	—	157	117	93	77	65	56	50	44	36	31	26	23	20	16,3	12,4
150	—	0,36	0,85	1,67	2,89	4,60	6,89	9,86	13,6	23,6	37,7	57	81	112	197	393
	—	246	184	146	121	103	89	79	70	58	49	42	37	33	27	20

Obere Zahl: größte zulässige Belastung der Feder in kg

$$P_{\max} = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot k_d}{16 \cdot r}$$

für zulässige Verdrehbeanspruchung $k_d = 4000 \text{ kg/cm}^2$.

Untere Zahl: Federung, d. h. Verlängerung bzw. Verkürzung einer Windung in mm ab Null unter der Belastung P_{\max}

$$F_1 = \frac{64 \cdot r^3 \cdot P}{d^4 \cdot G} = \frac{4 \cdot r^3 \cdot \pi \cdot k_d}{d \cdot G}$$

für zulässige Verdrehbeanspruchung $k_d = 4000 \text{ kg/cm}^2$ und Gleitmodul $G = 750000 \text{ kg/cm}^2$.

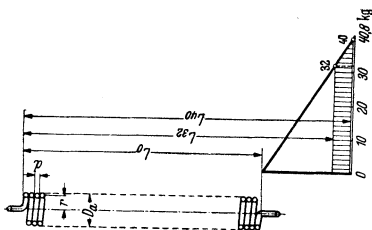
Bei sehr häufigem Belastungswechsel gehe man bis auf $k_d = 2000 \text{ kg/cm}^2$ herunter.

Beispiel 1. Für eine Zugfeder wenig wechselnder Beanspruchung sind gegeben:

$P_{\max} = 40 \text{ kg}$	Windungen liegen	gesucht: d
$P_{\min} \approx 32 \text{ kg}$	in ungespanntem	n
$L_{10} - L_{32} = 10 \text{ mm}$	Zustand gerade	L_{10}
$D_a = 20 \text{ mm}$	dicht aneinander	L_{32}
		L_{40}

Lösung: Aus der Zahlentafel ergibt sich für $D_a = 20 \text{ mm}$ und $P_{\max} = 40,8 \text{ kg}$ ein Drahtdurchmesser $d = 3,5 \text{ mm}$ und eine Federung $F_1 = 1,3 \text{ mm}$.

Die Federungen für die Belastungen 40 und 32 kg, sowie für den Belastungsunterschied $40 - 32 = 8 \text{ kg}$ errechnen sich bei

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 40 \text{ kg} \dots F_1 = 1,3 \frac{40}{40,8} = 1,274 \text{ mm}, \\ P = 32 \text{ kg} \dots F_2 = 1,3 \frac{32}{40,8} = 1,019 \text{ mm}, \\ P = 8 \text{ kg} \dots F_3 = 1,3 \frac{8}{40,8} = 0,255 \text{ mm}. \end{array} \right.$$


Verlangt wird für 8 kg Belastungsunterschied ein Federweg $F = 10 \text{ mm}$, also ist $n = 0,255 = 10$ oder $n = 10/0,255 = 39,22 \approx 40$ wirksame Windungen. Daraus ergeben sich folgende Federlängen:

$$\begin{aligned} L_0 &= 40 \cdot 3,5 + 1 \cdot 3,5 = 143,50 \text{ mm}, \\ L_{32} &= 143,5 + 40 \cdot 1,019 = 143,5 + 40,76 = 184,26 \text{ mm}, \\ L_{40} &= 143,5 + 40 \cdot 1,274 = 143,5 + 50,96 = 194,46 \text{ mm}. \end{aligned}$$

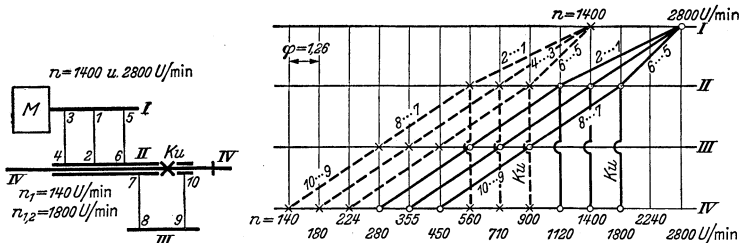


Abb. Db 9. Vereinfachte Darstellung eines Räderkastens mit Antrieb durch polumschaltbaren Motor.

Abb. Db 10. Logarithmisches Drehzahlbild zu Abb. Db 9.
 $i_{1-2} = 1,26^4 = 2,51$; $i_{3-4} = 1,26^2 = 2,0$;
 $i_{5-6} = 1,26^3 = 1,58$; $i_{7-8} = 1,26^3 = 2,0$;
 $i_{9-10} = 1,26^3 = 2,0$.

Schraubenfedern¹⁾.

Schraubenfedern (s. Zahlentafel S. 680 und 681) sind auf Verdrehung, nicht auf Biegung, beansprucht. Die zulässige Belastung P_{\max} ist unabhängig von der Anzahl n der wirksamen Windungen.

Die Berechnung der Zug- und der Druckfedern ist die gleiche. Die Windungen der Zugfedern berühren sich meistens in unbelastetem Zustand oder liegen sogar mit einer gewissen Vorspannung aneinander. Druckfedern müssen mit so großer Steigung gewickelt sein, daß die gewünschte Belastung ohne gegenseitige Berührung der Windungen erreicht werden kann.

Beispiel 2. Für eine Druckfeder mit wenig wechselnder Beanspruchung sind

- | | |
|---------------------------------------|--------------|
| gegeben: $P_{\max} = 60 \text{ kg}$ | gesucht: d |
| $P_{\min} = 55 \text{ kg}$ | n |
| $L_{60} - L_{55} = 3 \text{ mm}$ | L_0 |
| $D_a = 35 \text{ bis } 40 \text{ mm}$ | L_{55} |
| | L_{60} |

Lösung: Aus der Zahlentafel, S. 680 und 681, ergibt sich bei $D_a = 38 \text{ mm}$ durch Interpolation zwischen $D_a = 35$ und 40 mm für $P_{\max} = 60 \text{ kg}$ als interpoliert zwischen 65 und 56 kg ein Drahtdurchmesser von $d = 5 \text{ mm}$ und eine Federung $F_1 = 3,66 \text{ mm}$. Die Federungen für die Belastungen 60 und 55 sowie für den Belastungsunterschied $60 - 55 = 5 \text{ kg}$ errechnen sich bei

$$\begin{aligned}
 P = 60 \text{ kg} & \dots \dots \dots F_1 = & 3,660 \text{ mm}, \\
 P = 55 \text{ kg} & \dots \dots \dots F_1 = 3,66 \frac{55}{60} = 3,355 \text{ mm}, \\
 P = 5 \text{ kg} & \dots \dots \dots F_1 = 3,66 \frac{5}{60} = 0,305 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

Verlangt wird für 5 kg Belastungsunterschied ein Federweg $F = 3 \text{ mm}$, also ist $n \cdot 0,305 = 3$ oder $n = 3/0,305 = 9,84 \approx 10$ wirksame Windungen.

Bei Vollbelastung sollen die Windungen noch einen kleinen Sicherheitszwischenraum von $0,5 \text{ mm}$ haben, also ist die Steigung $h_{60} = 5,5 \text{ mm}$ zu wählen. Es ergeben sich dann die Steigungen bei

$$\begin{aligned}
 P = 60 \text{ kg} & \dots \dots \dots h_{60} & = 5,500 \text{ mm}, \\
 P = 55 \text{ kg} & \dots \dots \dots h_{55} = 5,5 + 0,305 & = 5,805 \text{ mm}, \\
 P = 0 \text{ kg} & \dots \dots \dots h_0 & = 5,5 + 3,660 = 9,160 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

Die Federlängen sind

$$\begin{aligned}
 L_0 & = (10 + 1) \cdot 9,16 & = 100,76 \text{ mm}, \\
 L_{55} & = 100,76 - 10 \cdot 3,355 & = 67,21 \text{ mm}, \\
 L_{60} & = 100,76 - 10 \cdot 3,660 & = 64,16 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

¹⁾ Normenentwurf DIN E 2075, DIN-Mitteilungen 1933, Heft 3. Werkstättblatt 63. 65 und 70, Carl Hanser Verlag, München 27: Schraubenfedern aus Rundstahl und Quadratstahl und Drehfedern aus Rundstahl.

Arbeitsvorbereitung.

In des Wortes weitester Bedeutung gehören zur Arbeitsvorbereitung sämtliche auf einen Arbeitsauftrag Bezug nehmenden Maßnahmen bis zu dessen Inangriffnahme durch den ausführenden Arbeiter. Häufig wird jedoch die Tätigkeit des Konstrukteurs nicht mit in den Begriff der Arbeitsvorbereitung aufgenommen, weil das Konstruktionsbüro nicht immer auf bestimmte Arbeitsaufträge hinarbeitet. In Betrieben der Einzelfertigung wird das Konstruktionsbüro meistens jeden einzelnen Auftrag besonders zu bearbeiten haben, in Betrieben der Reihenfertigung und Massenfertigung ist die Tätigkeit des Konstruktionsbüros einmal abgeschlossen und wiederholt sich nicht bei jedem erneuten Auftrag. Der nachstehende Überblick beschränkt sich auf diejenigen Maßnahmen, die nach beendeten Entwurfsarbeiten den vielleicht erst viel später auslaufenden Arbeitsauftrag „werkstattreif“ machen sollen.

Um einen Arbeitsauftrag als werkstattreif bezeichnen zu können, müssen zu Beginn seiner Ausführung bereit liegen:

Ausgeschriebener Arbeitsauftrag.

Gebrauchsfertige Werkstattzeichnungen (Lichtpausen).

Stückliste.

Werkstoff bzw. zu bearbeitende oder einzubauende Werkstücke.

Betriebsmittel, Arbeitsplatz (Belegungsplan, Terminplan).

Bearbeitungs-, Spann- und Meßgeräte, Vorrichtungen.

Hilfswerkzeuge und Hilfsstoffe.

Arbeitsunterweisung (soweit erforderlich).

Lohn- und Akkordscheine.

Das rechtzeitige Bereitstellen der notwendigen Belege, Stoffe und Betriebsmittel geschieht vielfach in vom eigentlichen Betriebsbüro abgetrennten Arbeitsvorbereitungsbüros oder kurz Arbeitsbüros. Lohn- und Akkordscheine werden ihrer besonderen Bedeutung wegen häufig in einem gesonderten Vorkalkulationsbüro ausgestellt. Trotz beachtlicher Aufwendungen lohnt sich ein vernünftig aufgezogener Arbeits- und Vorkalkulationsbüro stets durch das Einsparen und Verstopfen zahlreicher Verlustquellen, die sonst unbeachtet bleiben würden.

Schrifttum.

AWF-Schrift 209, Arbeitsvorbereitung, Zeichnung und Stückliste. B. G. Teubner, Leipzig.
AWF-Schrift 224, Arbeitsvorbereitung, Richtlinien für Auftragsvorbereitung. B. G. Teubner, Leipzig.

AWF-Schrift 225, Arbeitsvorbereitung, Zeitstudien. B. G. Teubner, Leipzig.

AWF-Schrift 225 T, Verluste in der Fertigung. B. G. Teubner, Leipzig.

AWF-Schrift 238, Termine, Festsetzung und Überwachung. B. G. Teubner, Leipzig.

AWF-Schrift 247, Fertigungsvorbereitung. Julius Springer Berlin W 9.

AWF-Vordrucke für Arbeitsunterweisungen. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68.

Zeitschrift Maschinenbau/Betrieb. VDI-Verlag, Berlin NW 7.

Zeitschrift Werkst.-Techn. u. Werkseiter. Julius Springer, Berlin W 9.

Werkstattvorkalkulation.

A. Zweck und Ziel.

In der Metallindustrie wendet man fast ausschließlich, soweit nicht in besonderen Fällen im Zeitlohn (Stundenlohn) gearbeitet wird, den Stücklohn, d. h. die Vorgabe der für einen bestimmten Arbeitsauftrag zu vergebende Zeit nach den Richtlinien des Refa (Reichsausschuß für Arbeitsstudien, gegründet 1923) an. Das Refa-Verfahren ist keineswegs nur für die Metallindustrie benutzbar, sondern wird in steigendem Maße auf die verschiedensten anderen Fertigungszeige übertragen.

Das Refa-Verfahren hat folgende Ziele:

1. Messung von Arbeitszeiten unter gerechter Berücksichtigung des Einflusses aller Begleitumstände bezüglich des schaffenden Menschen, des benutzten Betriebsmittels (Werkplatz, Maschine, Werkzeug) und des verbzw. bearbeiteten Werkstoffes in engster Zusammenarbeit und Fühlung mit der ausführenden Werkstatt (Arbeitsstudien als notwendige und wichtigste Grundlage aller Refa-Arbeit).

2. Schaffung von Unterlagen auf Grund kritisch gesichteter, gegeneinander ausgewogener Bearbeitungs-, Förder- und Liege-Zeiten für eine möglichst einfach zu handhabende, gerechte und leicht verständliche Werkstatt-Vorkalkulation zum Zweck der Entlohnung, des Belegungsplanes für die verschiedenen Arbeitsplätze, des Terminplanes usw. (Refa-Unterlagen, Zahlen- und Linientafeln, Berechnungsformeln).

3. Benutzen der bei den Arbeitsstudien anfallenden Beobachtungsergebnisse über Zeiten, Unvollkommenheiten, Möglichkeiten zur Besserung der Arbeitsbedingungen und Steigerung der Wirtschaftlichkeit (Rationalisierung mechanisch und organisatorisch).

Heute bedeutet das Refa-Verfahren wesentlich mehr als nur das Abstoppen von Zeiten oder vielleicht das einseitige scharfe Herunterdrücken von Vorgabezeiten. Das Refa-Verfahren durchleuchtet den ganzen Betrieb an Hand der vorgenommenen Arbeitsstudien und schafft richtig angewendet nach allen Richtungen hin gesunde Verhältnisse im Arbeitsverfahren, in der Arbeit und ihrer Entlohnung.

B. Zeitbegriffe.

Für die in der Metallindustrie weitaus am meisten vorkommenden Arbeitsaufträge zur Fertigung einer bestimmten Anzahl von Werkstücken ist die Unterteilung nach folgenden Zeitbegriffen vom Refa aufgestellt worden:

Arbeitszeit T_z (früher Gesamtzeit der Fertigung), planmäßig notwendige Zeit für die Erledigung eines Arbeitsauftrages.

Rüstzeit t_r (früher Einrichtezeit t_e), planmäßig notwendige Zeit für die Vorbereitung von Arbeitsvorgang, Arbeiter, Arbeitsplatz, Betriebsmittel, Werkstücken und für die Rückversetzung in den normalen früheren Zustand (Aufrüsten und Abrüsten); tritt je Arbeitsauftrag unabhängig von dessen Umfang nur einmal auf.

Stückzeit t_{st} , planmäßig notwendige Zeit für die Bearbeitung bzw. Fertigstellung eines Werkstückes; tritt je Arbeitsauftrag so oft auf, als Werkstücke verarbeitet werden.

Stückfolgezeit t_{stf} , planmäßig verfließende Zeit vom Beginn einer bis zur nächsten Stückzeit.

Fall a: Stückzeiten folgen sich ohne Pausen und ohne Überschneiden (in der Metallindustrie der am häufigsten auftretende Fall).

Fall b: Zwischen den Stückzeiten planmäßige Zwischenzeiten t_z (z. B. Anwärmen beim Schmieden).

Fall c: Stückzeiten überschneiden sich; Zwischenzeit gleichsam negativ (z. B. Spannen eines Werkstückes während der Bearbeitung des vorhergehenden, Mehrspindel-Automat).

Rüstgrundzeit $t_{r,g}$ und Grundzeit t_g , Anteile an Rüst- und Stückzeiten, die in einem gesetzmäßigen Zusammenhang mit Art und Umfang des Arbeitsauftrages stehen und auf Grund von Schätzungen, gesammelten Erfahrungswerten oder Formeln ermittelt oder aus Gebrauchstafeln abgelesen werden.

Verlustzeiten t_v , Anteile an Rüstzeit und an Stückzeit, die in keinem oder keinem genügend einfachen Zusammenhang mit Art und Umfang des Arbeitsauftrages stehen, unregelmäßig über Tage und Wochen verteilt auftreten und in Form eines Prozentzuschlages zur Rüstgrundzeit und Grundzeit verrechnet werden. Höhe des Verlustzeit-Prozentzuschlages ist individuell jedem Betrieb, jeder Betriebsabteilung, u. U. sogar jedem einzelnen Arbeitsplatz entsprechend verschieden.

Verlustzeiten sind

1. grundsätzlich abzugelten, wenn sie immer wieder auftreten und in absehbarer Zeit nicht abgestellt werden können, eine Behinderung der Arbeit mit sich bringen und dem Arbeiter gerechterweise vergütet werden müssen;

2. von Fall zu Fall abzugelten, wenn sie nur vereinzelt unvorhergesehen auftreten, eine Behinderung der Arbeit mit sich bringen und dem Arbeiter gerechterweise vergütet werden müssen;

3. grundsätzlich nicht abzugelten, wenn sie keine Behinderung der Arbeit mit sich bringen oder gerechterweise dem Arbeiter nicht zu vergüten sind.

Hauptzeiten t_h (je nach Art der Arbeit Maschinen- oder Handzeiten), während derer ein Fortschritt im Sinne des Arbeitsauftrages (Formveränderung, Lageänderung, Zustandsänderung) am Werkstück entsteht. Bei jedem Werkstück regelmäßig wiederkehrend.

Nebenzeiten t_n (fast stets nur Handzeiten), regelmäßig wiederkehrende Zeiten für Hilfsverrichtungen (Auf- und Abspannen, Anstellen und Messen, Maschine bedienen, Leerwege, Be- und Entladen von Fördermitteln usw.).

Maschinenzeiten sind nur solche, die an Arbeitsmaschinen mit nicht vom Arbeiter beeinflussbaren (vom Schalten auf andere Drehzahlen, Vorschübe, Tischgeschwindigkeiten und Vorschubgeschwindigkeiten abgesehen) Drehzahlen, Hubzahlen und Vorschüben auftreten. In diesen Fällen bestimmt die Maschine allein die Arbeitsgeschwindigkeit bzw. die gebrauchte Zeit.

Handzeiten treten bei allen reinen Handarbeiten auf, aber auch an solchen Arbeitsmaschinen, deren Arbeitsgeschwindigkeiten vom Arbeiter weitgehend beeinflusst werden können (z. B. Bohren mit Handvorschub, stufenlose Regelung von Dreh- und Hubzahlen und Vorschüben).

C. Ermittlung von Zeiten.

Maschinenzeiten lassen sich vielfach auf Grund mathematischer Formeln berechnen, deren einzelne Werte (Drehzahlen, Hubzahlen, Vorschübe und Vorschubgeschwindigkeiten) auf Grund eigener Feststellungen einzusetzen sind. In einer Reihe von Fällen rechnet man auch nach Durchschnittswerten für die Größen, AWF-Rechentafel 701 A, und erhält Zeitwerte, die

vom wahren Wert abweichen, deren Abweichungen sich aber vielfach gegeneinander aufheben.

Handzeiten, Nebenzeiten und Rüstzeiten lassen sich nicht nach Formeln berechnen. Sie sind durch eigene Arbeitsstudien zu ermitteln. Es muß davor gewarnt werden, fremde Werte ungeprüft zu übernehmen, weil die Arbeitsverhältnisse in jedem Betriebe andere sind.

Die aus Arbeitsstudien ermittelten Werte sind nicht unmittelbar für den Betrieb verwendbar, sondern müssen erst noch nach den verschiedenen Bezugsgrößen (Längen, Breiten, Dicken, Durchmesser, sonstige Abmessungen, Gewichte, Anlieferungszustände, Ablieferungszustände, Genauigkeiten, Werkstoffen, Schwierigkeitsgraden usw.) geordnet, in Kurven oder Kurvenscharen zusammengestellt und gegeneinander ausgewogen werden. Diese berichtigten Linientafeln kann man den Stückzeitrechnern (Vorkalkulatoren) unmittelbar zum Gebrauch übergeben; besser ist aber vielleicht wegen des sichereren Ablesens, nach den Linientafeln Zahlentafeln zum täglichen Gebrauch aufstellen.

Verlustzeiten sollen, so schwer es auch fallen mag, nach selbst ermittelten Prozentsätzen zugeschlagen werden. Es ist unsinnig, auf an sich richtige, vielleicht nach kniffligen Verfahren auf Bruchteilen von Minuten ermittelte Grundzeiten frei geschätzte oder von anderen Betrieben ungeprüft übernommene Verlustzeitzuschläge zu machen.

D. Aufbau der Stückkalkulation.

Die Art des Aufbaues der Stückzeit-Vorrechnung ist aus den beiden nachstehenden Beispielen erkennbar.

Beispiel 1. Aufbau einer Arbeitszeitermittlung für $z = 28$ Stück, Fall a.

Rüstzeit:	Rüstgrundzeit nach Gebrauchstafel	$t_{rg} = 14,0$ min
	Rüstverlustzeit für den betreffenden Betrieb nach eigenen Ermittlungen 12 vH	$t_{rv} = 1,7$ „
	Rüstzeit	$t_r = 15,7$ min
	gerundet	$t_r = 16$ min
Stückzeit:	Summe der Hauptzeiten nach Rechnung oder nach Gebrauchstafeln	$t_h = 5,2$ min
	Summe der Nebenzeiten nach Gebrauchstafeln	$t_n = 2,9$ „
	Grundzeit	$t_g = 8,1$ min
	Verlustzeit für den betreffenden Betrieb wie oben 12 vH	$t_v = 1,0$ „
	Stückzeit	$t_{st} = 9,1$ min
Arbeitszeit:	$1 \cdot t_r = 1 \cdot 16 = 16,0$ min	
	$+ z \cdot t_{st} = 28 \cdot 9,1 = 254,8$ „	
	Arbeitszeit $T_z = 270,8$ min	
	gerundet $T_z = 271$ min.	

Beispiel 2. Aufbau einer Arbeitszeitermittlung für $z = 2000$ Stück, Fall c. Bohren von Lochern unter Benutzung eines Schwenktisches.

Rüstzeit:	Wie in Beispiel 1, jedoch einschließlich 18 vH Verlustzeitzuschlag	gerundet $t_r = 28$ min
Stückfolgezeit:	Aufnehmen und Einspannen des Werkstückes .	0,28 min
	Lösen, Schwenken, Festspannen des Schwenktisches	0,06 min
	Vorschub einrücken, Bohren, Wiederhochziehen der Spindel	0,65 min
	Lösen, Schwenken, Festspannen des Schwenktisches	0,06 min
	Ausspannen und Ablegen des Werkstückes ...	0,14 min
	Stückfolgegrundzeit	$t_{stfg} = 0,71$ min
	Verlustzeit wie oben 18 vH	$t_v = 0,13$ „
	Stückfolgezeit	$t_{stf} = 0,84$ min
	Nicht in Rechnung zu ziehende Zeit	$t_z = 0,48$ min.

$$\begin{aligned}
\text{Arbeitszeit: } 1 \cdot t_r &= 1 \cdot 28 = 28,00 \text{ min} \\
+ z \cdot t_{s,tf} &= 2000 \cdot 0,84 = 1680,00 \text{ ,,} \\
+ 1 \cdot t_z &= 1 \cdot 0,48 = 0,48 \text{ ,,} \\
\text{Arbeitszeit } \dots\dots\dots T_z &= 1708,48 \text{ min} \\
\text{gerundet } T_z &= 1710 \text{ min.}
\end{aligned}$$

E. Zeitmeßgeräte.

Als Meßgeräte für die bei Arbeitsstudien aufzunehmenden Zeiten stehen zur Verfügung:

Stoppuhren, empfohlen nach den Richtlinien des AWF, mit einem oder mit zwei Zeigern und Einteilung des Zifferblattes in 100 Zentiminuten anstatt in 60 Sekunden. Die Uhren unterscheiden sich von den beim Sport gebräuchlichen dadurch, daß der Zeiger beim Druck auf die Krone anhält und beim nächsten Druck weiterläuft, anstatt zurückzuspringen. Das Zurückspringen auf Null wird durch eine zweite Druckstelle (seitlich angebrachten Stift oder Hebel) ausgelöst. Anwesenheit des Zeitnehmers zum Betätigen der Uhr (Stoppen) und zum Aufschreiben der genommenen Zeiten notwendig.

Poppelreuter Arbeits-Schauuhr schreibt Linienzüge auf durch Uhrwerk gleichmäßig bewegten Papierstreifen. Zeitnehmer hat nurmehr das Gerät zu bedienen, schriftliche Arbeiten sind ihm abgenommen. Der Zeitnehmer kann sich der Beobachtung des Arbeitsvorganges mehr widmen.

Peiseler-Diagnostiker schreibt völlig selbstständig Linienzüge auf durch Uhrwerk gleichmäßig bewegten Papierstreifen, wenn er durch Schnurzug oder Hebelwerk an die Werkzeugmaschine angeschlossen ist. Anwesenheit des Zeitnehmers dann also nur gelegentlich zur Ingangsetzung und vorübergehenden Beobachtung notwendig. Für Daueraufnahmen über lange Zeiträume geeignet. Nebenbei ist auch Handbetätigung für solche Fälle, in denen ein Anschluß an eine Arbeitsmaschine nicht in Frage kommt, möglich.

F. Vorbereitung und Durchführung der Arbeitsstudie.

Zeitaufnahmen sollen sich auf möglichst viele Werkstücke erstrecken. Wenn möglich, sollte man Zeitaufnahmen an verschiedenen Tageszeiten wiederholen, um verschiedene körperliche und seelische Verfassungen des ausführenden Arbeiters berücksichtigen zu können.

Arbeitsunterteilung und sonstige Angaben sollen in der Regel schon vor Beginn der Zeitaufnahme fertig vorliegen. Fühlungnahme mit der Werkstatt über anzuwendende Arbeitsfolge, Werkzeuge, Drehzahlen, Vorschübe, Bearbeitungslängen, Spanneinrichtungen usw., notfalls Vorversuche sind ratsam, damit die vorbereiteten Angaben mit der praktischen Ausführung während der Zeitaufnahme übereinstimmen; anderenfalls ist die Zeitaufnahme, besonders bei kurzen Teilzeiten, nicht durchführbar. Nur bei Einzelfertigung mit langen Einzelzeiten, allenfalls auch bei längeren, nicht im Voraus in allen Einzelheiten festlegbaren Rüstzeiten, ist ein Festlegen der Unterteilungen, also ein Eintrag in den Beobachtungsbogen während der Zeitaufnahme selbst zulässig.

Zeitaufnahmen an nicht genügend eingearbeiteten Leuten sollen nicht für Arbeitszeitermittlungen zur Herausgabe von Akkorden verwendet werden.

Zeitaufnahmen mit der Stoppuhr in der Tasche sind grundsätzlich unzulässig.

Während der Zeitaufnahme sind zu prüfen und zu beurteilen:

Arbeitsgeschwindigkeiten (Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe, Geschwindigkeiten beim Ausüben von Handarbeiten und Griffen, Überlegungen, Fleiß, Willigkeit, Geschicklichkeit usw.).

Anstrengung (Muskeln, Sinnesorgane, Geist).

Arbeitsbedingungen (unbequeme Körperhaltung, unzweckmäßige Lagen der Werkstücke und Betriebsmittel, Hitze, Kälte, Staub, Nässe, behindernde Kleidung usw.).

Ermüdung vor und während der Zeitaufnahme.

Erholungspausen (Dauer, Zahl, Grund).

Sonstige Unterbrechungen (Art, Dauer, Grund).

Für Stoppuhr-Aufnahmen sind die AWF-Beobachtungsbögen zu empfehlen. Der Eintrag kann in Fortschrittszeiten bei durchlaufender Uhr oder bei genügender Übung des Zeitnehmers sofort in Einzelzeiten bei jedesmaligem Anhalten und Neuanspringenlassen der Stoppuhr geschehen.

G. Auswerten der Zeitaufnahmen.

Für das Auswerten sind knifflige, dem Arbeiter unverständliche Verfahren abzulehnen. In Deutschland sind nur mehr in Gebrauch die Mittelwert- und die Zentralwert-Methode. Die verschiedenen Minima-Methoden können heute vom Refa nicht mehr empfohlen werden.

Man ermittelt zu jeder Arbeitsunterteilung den Mittel- oder den Zentralwert (letzteren erst von mindestens 10 Einzelwerten ab) und addiert die Mittelwerte zu einer Gesamtzeit. Reine Maschinenzeiten sind unabhängig von der Bewertung der Arbeitsgeschwindigkeit unverändert zu belassen; Handzeiten sind der Bewertung entsprechend umzuwerten (Leistungsausgleich). Einzelabweichung = $\frac{\text{Einzelmittelwert}}{\text{Einzelkleinstwert}}$ sollen in der Metallindustrie nicht über 1,3 sein, ebenso soll der Schwankungsfaktor = $\frac{\text{Summe Mittelwerte Handzeiten}}{\text{Summe Kleinstwerte Handzeiten}}$ diesen Betrag nicht überschreiten. Höhere Einzelabweichungen und Schwankungsfaktoren lassen auf ein unrythmisches noch unausgeglichenes Arbeiten schließen und deuten auf Verbesserungsmöglichkeiten hin. Bei sehr kleinen Zeiten kann die Einzelabweichung höhere Werte annehmen. Die Auswerteverfahren sind für mit der Stoppuhr und auch für mit Zeitschreibern gemachten Zeitaufnahmen gleich gut verwendbar.

Wichtig ist es, die umgewerteten Zeiten für Arbeitsunterteilungen sinn gemäß zu sammeln, um aus ihnen ohne neue Zeitaufnahmen Arbeitszeiten für andere Arbeiten zusammenzusetzen.

Die gemessenen Zeiten und die auch ohne Zeitaufnahme vom Arbeiter gebrauchten Zeiten sind mit früheren Zeiten für die gleiche Arbeit durch eine Art Statistik immer wieder zu vergleichen, um ihre Richtigkeit zu bestätigen oder auf die Notwendigkeit ihrer Richtigstellung hingewiesen zu werden.

H. Allgemeine Bemerkungen.

Im Laufe der Zeit muß man dazu kommen, für häufiger wiederkehrende Werkstücke gleicher Art, aber verschiedener Größe Tafeln zu schaffen, aus denen man die gesamte Stückzeit für einen Arbeitsgang in einer einzigen Zahl ablesen kann.

Vielfach ist noch als Überbleibsel aus Tarifverträgen früherer Zeit ein Unterschied zwischen Zeitminuten und Akkordminuten üblich (z. B. Rede-

weise „Der Arbeiter verdient 75 Minuten in der Stunde“). Diese Verwässerung scharf erfaßter Zeiten ist unlogisch und abzulehnen. Es steht zu erwarten, daß dieser Unterschied mehr und mehr außer Gebrauch kommt.

Schrifttum.

Refa-Buch. Beuth-Verlag GmbH, Berlin SW 68.
Refa-Mappen und Refa-Schriften über einzelne Teilgebiete. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68.
Bramesfeld u. Graf: Leitfaden für das Arbeitsstudium. VDI-Verlag, Berlin NW 7.
AWF-Betriebsblatt „Stoppuhren“.
AWF-Rechentafel 701 A, für die Bestimmung von Maschinenzeiten.
AWF-Beobachtungsbögen und sonstige Vordrucke.
AWF 225, Grundlagen der Arbeitsvorbereitung, Zeitstudien. B. G. Teubner, Leipzig.
Peiseler: Richtige Akkorde. Julius Springer, Berlin W 9.
Preger: Gebrauchstafeln in der Vorkalkulation. Werkst. u. Betr. 1937 Heft 5/6 u. 7/8.
Peiseler: Praktische und billige Zeit- und Arbeitsstudien mit Hilfe des Diagnostikers. Werkst. u. Betr. 1937 Heft 1/2.
AWF-Schrifttum zu beziehen vom Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin SW 68.
Zahlreiche Aufsätze in den Zeitschriften „Maschinenbau/Betrieb“ und „Werkstattstechnik und Werksleiter“.

Industrielle Selbstkostenrechnung.

A. Gliederung und Grundbegriffe des Rechnungswesens.

Die Verordnung über Buchhaltungs-Richtlinien vom 11. 9. 1937 sieht folgende Gliederung des Rechnungswesens vor: Buchhaltung, Kalkulation, Statistik und Wirtschaftsplan; also einerseits Buchhaltung und Wirtschaftsplan als Zeit- oder Periodenrechnung der Vergangenheit bzw. der Zukunft, und andererseits Kalkulation, d. h. Stück- oder Objektsrechnung entweder als Vor- oder als Nachrechnung und Statistik als nachträgliche Vergleichsrechnung.

Die Grundbegriffe seien an Hand der Gegenüberstellung Zeit- und Stückrechnung erläutert nach der Weise der Kölner Schule, deren Begriffssystem sich auch in der Praxis durchgesetzt hat.

I. Verbrauch ist jede Art betrieblichen Güterverkehrs ohne Rücksicht darauf, ob dieser bezahlt wurde, später oder nie bezahlt wird.

a) Aufwand ist der Verbrauch in der Zeiteinheit, also je Jahr, Monat usw. und somit ein Ausdruck der Buchhaltung, sofern er im nachhinein erfaßt wird, und ein solcher des Wirtschaftsplanes als Verbrauchsvorschau.

b) Kosten stellen den Verbrauch je Leistungseinheit dar, sind also ein Ausdruck der Kalkulation. In diesem Sinne haben wir zu unterscheiden zwischen:

1. direkten, besser direkt verrechenbaren Kosten oder Maß- oder Einzelkosten, früher auch produktive Kosten genannt, wie z. B. Einzel- oder Fertigungslohn und -Material und

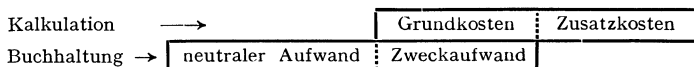
2. indirekten, besser indirekt verrechenbaren Kosten, auch Gemein-, Zuschlags- oder Unkosten, wie z. B. Gehälter, Hilfslöhne, Raumkosten usw.

Es ist klar, daß ein großer Teil dieses Güterverzehr sowohl in der Buchhaltung als auch in der Kalkulation verrechnet wird, wie z. B. Fertigungslöhne und Gehälter; insofern sprechen wir von Grundkosten bzw. Zweckaufwand. Darüber hinaus gibt es aber auch einen Güterverzehr, der ausschließlich in der Kalkulation und ausschließlich in Buchhaltung verrechnet wird. Diesen nennen wir

c) neutralen Aufwand, d. h. Verzehr, der nur in der Buchhaltung, nicht aber in der Kalkulation erscheint, z. B. Stiftungen, besondere Werbungskosten, Ausgaben für Ehrentitel usw. und

d) Zusatzkosten, soweit dieser Verzehr nur in der Kalkulation erscheint, z. B. Unternehmerlohn, Zinsen für Eigenkapital (nur bei nicht öffentlichen Aufträgen, denn nach der Verordnung vom 15. 11. 1938 sollen diese bei öffentlichen Aufträgen aus dem Gewinn gedeckt werden) u. dgl.

Es entsteht dadurch das Bild der sich teilweise überdeckenden Balken:



II. Leistung ist das Ergebnis betrieblicher Tätigkeit oder sind durch betriebliche Arbeit erzeugte Güter (= Bedürfnis-Befriedigungsmittel).

III. Erlös ist Entgelt für abgegebene Leistungen:

a) leistungsbedingter Erlös ist Entgelt für betriebliche Leistung (Erzeugnisse, Dienstleistungen usw.),

b) neutraler Erlös ist Entgelt für nicht aus dem Betrieb hervorbrachte Leistung, z. B. Erlös aus Verkauf von Effekten bei einer Maschinenfabrik.

IV. Ertrag ist derjenige Produktionswert des Betriebes, dem von seiten des Marktes der Erlös entspricht. Wir haben folgende vier Fälle zu unterscheiden:

a) Erlös = 0; d. h. es wurde nichts abgesetzt, weshalb Ertrag = Leistung.

b) Erlös = Leistung; d. h. es wurde alles abgesetzt; Ertrag = Erlös.

c) Erlös < Leistung; Ertrag = Erlös zuzüglich nicht verkaufte Leistung.

d) Erlös > Leistung; Ertrag = Erlös abzüglich Leistungen aus dem Vormonat.

V. Erfolg ist der Unterschied zwischen Aufwand und Ertrag, also buchhaltungsmäßig aus dem Verlust- und Gewinnkonto gesehen, wobei noch zu unterscheiden ist zwischen Betriebs- und Unternehmungserfolg. Letzterer ist gleich dem Betriebserfolg zuzüglich neutralem Ertrag und normalem Aufwand. In der Kalkulation sprechen wir in dieser Hinsicht von dem Stückerfolg.

Auch hinsichtlich der Bewertung unterscheiden sich die beiden Hauptzweige des Rechnungswesens grundsätzlich. Die Buchhaltung bewertet zum Anschaffungswert (Grundsatz der nominellen Kapitalerhaltung), um Rentabilitätsvergleiche (d. h. Vergleich von Gewinn zu Kapital) von Jahr zu Jahr vornehmen zu können, während die Kalkulation beherrscht wird von dem Grundsatz der realen Kapitalerhaltung, und deshalb zum Zeitwert bewerten muß. Auf diese Weise soll verhindert werden, den Betrieb, wie das in der Inflation infolge falscher Bewertung geschah, durch die Umsatztätigkeit langsam auszuverkaufen.

VI. Sonstige Einteilung der Kosten. a) Nach der Abhängigkeit der Gesamtkosten vom Beschäftigungsgrad sind zu unterscheiden¹⁾:

1. feste (fixe) Kosten, ganz oder fast unabhängig vom Beschäftigungsgrad, z. B. Zinsen, Abschreibungen, Beamtengehälter;

2. bewegliche Kosten, abhängig vom Beschäftigungsgrad, und zwar proportionale Kosten, ganz oder fast verhältnismäßig mit Beschäftigungsgrad fallend oder steigend, z. B. Fertigungs- und Hilfslohne, Antriebsstromkosten,

¹⁾ Schmalenbach: Selbstkostenrechnung und Preispolitik, 6. Aufl. Leipzig 1934.

überproportionale (progressive) Kosten, stärker ansteigend als der Beschäftigungsgrad, z. B. Überstunden, erhöhte Werbung,
unterproportionale (degressive) Kosten, weniger stark ansteigend als der Beschäftigungsgrad, z. B. Ausgaben für den Beamtenstab, Beleuchtung der Werkstatt usw. kommen am meisten vor.

Feste Kosten sind meistens Kosten der Betriebsbereitschaft und auch Stillstandskosten. Bei Unterbeschäftigung tritt meistens Unterproportionalität, bei Überbeschäftigung Überproportionalität ein. Durch Mechanisierung treten z. B. an Stelle proportionaler Kosten, wie Fertigungslöhne, feste Kosten, wie Zinsen, Abschreibungen usw., die auch bei Stillstand des Betriebes anfallen.

b) Im Grundplan der Selbstkostenrechnung unterscheidet das Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit (RKW):

1. Kostenarten = was wird aufgewendet? (Löhne, Werkstoffe).

2. Kostenstellen = wo wird dieser Aufwand gemacht? (Dreherei, Fräseerei).

3. Kostenträger = wer trägt die Kosten? (Welcher Auftrag, welches Erzeugnis).

c) Der Ausschuß für industrielles Rechnungswesen (Afir) beim VDI unterscheidet:

individuelle Kosten, die im Betrieb tatsächlich entstandenen Kosten;
objektive Kosten gleich individuelle Kosten + Unternehmerlohn bei Personalgesellschaften + Risikoprämie + Zins für Eigenkapital.

d) Zeit- und Mengenkosten, die nach dem Gesichtspunkt zu trennen sind, ob die betreffende Kostenart unabhängig (Zeitkosten, wie Zinsen, Abschreibungen, also nur von der Zeit abhängig) oder abhängig (Mengenkosten) vom Beschäftigungsgrad, d. h. der erzeugten Menge, ist.

B. Grundzüge der Kalkulation.

I. Zwecke der Kalkulation.

a) Preisstellung, d. h. also Ermittlung des Angebotspreises auf Grund der voraussichtlich entstehenden Kosten (Vorkalkulation), die wiederum durch die tatsächlich entstandenen Kosten (Nachkalkulation) kontrolliert werden müssen.

b) Kontrolle der Betriebsgebarung im Hinblick auf den Einfluß des Beschäftigungsgrades, der Fertigungsarten, des Standortes usw. innerbetrieblich, d. h. von Monat zu Monat, meist aber auch zwischenbetrieblich, um die Lage gegenüber anderen Betrieben und die eigene Wirtschaftlichkeit besser beurteilen zu können.

c) Liefervon Unterlagen für die Wertansätze der Halb- und Fertigerzeugnisse in der Buchhaltung, z. B. beim Jahresabschluß oder für die Bewertung des Eigenverbrauchs, ferner auch die Grundlagen der Bemessung zwischenbetrieblicher Werksverrechnungspreise bei Konzernen usw.

II. Kalkulationsverfahren.

a) Divisionskalkulation.

Vorausgesetzt ist, daß in einem Betrieb nur ein Erzeugnis hergestellt wird oder zum mindesten innerlich verwandte Erzeugnisse, oder daß man den Betrieb in so viel Einzelzellen (Kostenstellen) auflösen kann, daß in diesen wiederum nur je ein Erzeugnis hergestellt wird. Z. B. stellt Günther

Wagner, Hannover, außerordentlich zahlreiche verschiedene Bürobedarfsartikel her, doch läßt sich die Fertigung kalkulatorisch so trennen, daß auf einer Kostenstelle immer nur gleichartige Erzeugnisse hergestellt und auch abgerechnet werden können.

1. Reine Divisionskalkulation. Bei der reinen Divisionskalkulation als Vorkalkulation werden die voraussichtlichen Aufwendungen eines Monats durch die voraussichtliche Erzeugungsmenge dividiert. Diese Sollkosten zuzüglich Gewinnzuschlag geben den Angebotspreis.

Für die Zwecke der Betriebskontrolle in Form der Nachkalkulation werden dann gewöhnlich die während eines Monats entstandenen Kosten (Aufwendungen) dividiert durch die tatsächliche Leistungsmenge.

Ein Vergleich dieser Istkosten mit denjenigen vergangener Monate ist natürlich nur dann stichhaltig, wenn der Betrieb keine besonders hohen festen Gesamtkosten hat oder wenn der Beschäftigungsgrad sich selbst bei hohen festen Kosten von Monat zu Monat nicht bedeutend geändert hat.

2. Kapazitäts-Kostenrechnung. Sind die soeben genannten Voraussetzungen nicht erfüllt, so muß man Aufwendungen und Leistungen trennen in

vom Beschäftigungsgrad abhängigen Aufwand (Mengenkosten) und diesen durch die tatsächliche Erzeugungsmenge dividieren und in

vom Beschäftigungsgrad unabhängige Aufwendungen (Zeitkosten) und diese durch die kapazitive Leistungsmenge dividieren; denn die Zeitkosten sind im großen und ganzen bedingt durch das Leistungsvermögen (Kapazität), mit dem der Betrieb erstellt ist; es müssen also auch hier Ursache und Wirkung immer richtig gekoppelt werden, wenn die Kontrolle zu richtigen Urteilen kommen soll. Dies gilt vor allem auch bei der richtigen Bemessung der Leistung. So wäre es völlig falsch, Förderkosten nach den verfahrenen Kilometern zu überwachen, wenn dauernd verschiedene Gewichte befördert werden müssen; der Divisor muß dann t/km lauten.

3. Divisionskalkulation mit Kostenfaktor¹⁾. Werden in einem Betriebe verschiedene, aber doch innerlich verwandte Erzeugnisse hergestellt, z. B. Bleche verschiedener Art, so wendet man am zweckmäßigsten die Divisionskalkulation mit Kostenfaktoren an.

Vereinfachtes Beispiel. Eine Maschinenfabrik stellt drei verschiedene Erzeugnisse her, deren Kosten sich nach den angestellten Berechnungen verhalten wie 1:1,5:2. Die Erzeugungsmengen in einem bestimmten Monat betragen 5, 15 und 10 Stück bei einem Gesamtaufwand von 47 500 RM. So kostet das Stück:

Erzeugnis	Kostenfaktor	Erzeugte Menge	Verrechnete Menge	Gesamtkosten	Stückkosten
I	1	5	$1 \times 5 = 5$	$5 \times 1000 = 5000$	$5000 : 5 = 1000$
II	1,5	15	$1,5 \times 15 = 22,5$	$22,5 \times 1000 = 22500$	$22500 : 15 = 1500$
III	2,0	10	$2 \times 10 = 20$	$20 \times 1000 = 20000$	$20000 : 10 = 2000$
			47,5	47 500.	

$47\,500 : 47,5 = 1000$ RM. je Rechnungseinheit.

Die Kostenfaktoren müssen entweder auf Grund technischer Unterlagen oder Versuche oder aus der Erfahrung, nicht aber auf Grund der Marktpreise festgestellt werden.

Auf diese Art können auch Kuppelerzeugnisse kalkuliert werden, d. h. also Erzeugnisse, die bei der Erzeugung eines anderen Erzeugnisses zwangsläufig anfallen, wie z. B. in der chemischen Industrie, oder man wendet

¹⁾ Vgl. Geldmacher: Wirtschaftskunde. Leipzig: Teubner 1927; und Grundplan der Selbstkostenrechnung des RKW.

das sog. Subtraktionsverfahren an, welches z. B. bei Gaswerken allgemein üblich ist, d. h. man zieht den Erlös für Koks von den Gesamtenstehungskosten ab und dividiert den Rest durch die Leistungsmenge.

b) Zuschlagskalkulation.

1. Allgemeines. Werden in einem Betrieb mehrere und unter sich ganz verschiedenartige Erzeugnisse gefertigt, so muß man die Zuschlagskalkulation anwenden, d. h. die Kosten müssen getrennt werden in Einzelkosten, d. h. solche, die unmittelbar auf den Kostenträger (Betriebsauftrag) verrechnet werden können, und in Gemeinkosten, d. h. solche, die sich nur mittelbar, also zuschlagsmäßig, verrechnen lassen.

In der Vorkalkulation (Soll-Verbrauchsrechnung) ist der Gang dann so, daß

1. das Fertigungsmaterial, d. h. der in jedem Erzeugnis steckende Materialwert auf Grund der Zeichnungen bestimmt und bewertet wird;
2. die Fertigungszeit und damit der Fertigungslohn (zweckmäßig nach Refa, s. Abschnitt „Werkstatt-Vorkalkulation“) errechnet wird;
3. alle übrigen, die sog. Gemeinkosten als Zuschläge nach Hundertteilen des Fertigungslohnes oder als von der Zeit abhängige Zuschläge verrechnet werden.

In der Nachkalkulation wird der Istverbrauch durch die betriebsauftragsnummernweise gesammelten Belege in sinngemäß gleicher Weise festgestellt.

Es ist klar, daß die Kalkulation um so genauer wird, je verzweigter die Grundlagen und je proportionaler Kostenanfall und Grundlagen¹⁾ sind. Die Richtigkeit des Vornhundertatzes muß die Nachkalkulation beweisen, indem von Monat zu Monat die entstandenen Aufwendungen der Grundlagen (Material und Lohn) und entstandene Gemeinkosten einander gegenübergestellt werden; m. a. W. die Vorkalkulation arbeitet bei allen Methoden im laufenden Monat immer mit den Zuschlagsätzen des Vormonats. Entscheidend für die Wahl der Methode sind jedoch Überlegungen über Wirtschaftlichkeit, d. h. die Kalkulationsgenauigkeit muß im Einklang stehen mit dem Aufwand für das gewählte Verfahren.

2. Summarische vereinfachte Zuschlagskalkulation. Die Gemeinkosten werden als ein einziger Prozentsatz zugeschlagen, und zwar entweder zum Fertigungsmaterial oder zum Fertigungslohn oder zu beiden.

Daß sich trotz verschiedener Grundlagen, aber bei entsprechendem, richtigem Hundertzuschlag immer die gleichen Selbstkosten errechnen, zeigt folgende Zusammenstellung:

	I.	II.	III.
Fertigungs-Material	100,00 RM.	100,00 RM.	100,00 RM.
Fertigungs-Löhne	66,50 „	66,50 „	66,50 „
Gemeinkosten: 33,3 vH auf Material	33,50 „		
50 vH auf Löhne		33,50 „	
20 vH auf Material + Löhne			33,50 „
Selbstkosten	200,00 RM.	200,00 RM.	200,00 RM.

Verfahren I bei material-intensiven Betrieben richtig, z. B. Ziegeleien, Gießereien.

Verfahren II bei lohn-intensiven Betrieben richtig, z. B. Maschinenfabriken, feinmechanische Fertigung.

Verfahren III bei material- und lohn-intensiven Betrieben richtig, z. B. optische Industrie.

¹⁾ Vgl. hierzu Rummel: Grundlagen der Selbstkostenrechnung. Düsseldorf 1934.

Aus der Höhe des Hundertsatzes für den Gemeinkostenzuschlag kann man auf den Grad der Mechanisierung des betreffenden Betriebes schließen, wie die nachstehende Auswahl¹⁾ zeigt:

	Fertigungs- Material	Fertigungs- Lohn	Gemein- kosten	vH	Gemein- kost./Lohn
Eisenblechwaren	25 vH	25 vH	50 vH	100	200 vH
Elektr. Meßinstrumente	20	18	62	100	345
Elektr. Installationsbedarf	50	10	40	100	400
Baumwollgewebe	50—60	10—15	40—25	100	400—165
Naturseide	54	30	16	100	53
Graphisches Gewerbe	20	35	45	100	128
Kraftwagen	68	10	22	100	220
Wurstkonserven	60	5	35	100	700
Margarine	61,5	2,0	36,5	100	1820

3. Verfeinerte Kalkulation. Der Gang der weiteren Verfeinerung soll an der Kalkulation einer Schlosserei dargestellt werden. Im Monat Januar sei der Verbrauch im ganzen gewesen:

für Material	200,00 RM.
„ Löhne	400,00 „
„ Gemeinkosten	390,00 „ also 98 vH des Lohnes
	<u>990,00 RM.</u>

Die Vorkalkulation im laufenden Monat Februar lautet dann:

	für ein Schweiß- stück	für ein Schmiede- stück mit Lufthammer
Fertigungsmaterial laut Zeichnung	10,00 RM.	25,00 RM.
Fertigungslohn nach Refa	30,00 „	10,00 „
98 vH Gemeinkostenzuschlag auf Fe.-Lohn	28,00 „	9,80 „
Selbstkosten	<u>68,00 RM.</u>	<u>44,80 RM.</u>

Diese errechneten Selbstkosten können nicht richtig sein, weil das Schweißstück im Fertigungsgang nicht über den Lufthammer läuft und umgekehrt. Deswegen muß das Kalkulationsverfahren bei so stark verschiedenen Fertigungsverfahren verfeinert werden.

Erste Verfeinerung: Verfahrenszuschlag. Zum mindesten muß unterschieden werden zwischen Zuschlägen für Handwerkstätten und Zuschlägen für Maschinenwerkstätten²⁾, denn beide haben einen ganz verschiedenen Gemeinkostenanteil zu tragen, was folgende Zusammenstellung in Fortführung der obigen beweisen möge:

Monat Januar:	Material-Verbrauch	200,00 RM.
	Handarbeitslöhne	300,00 „
	Maschinenarbeitslöhne	100,00 „
Gemeinkosten für Maschinenwerk- statt (Lufthammer)	150,00 RM.	150,00:100,00 = 150 vH
Gemeinkosten für Handwerkstatt (Werkzeuge, Schweißeinrichtung) ..	30,00 „	30,00:300,00 = 10 vH
Sonstige Gemeinkosten	210,00 „	390,00 „ 210,00:(300+100) = 52,5 vH
Zusammen	<u>990,00 RM.</u>	

Im Monat **Februar** wird kalkuliert:

	Schweißstück	Schmiedestück
Fertigungs-Material	10,00 RM.	25,00 RM.
Fertigungs-Löhne nach Refa	30,00 „	10,00 „
Verfahrensgemeinkosten	10 vH 3,00 „	150 vH 15,00 „
Sonstige Gemeinkosten	52,5 vH auf 30,00 RM.	52,5 vH auf 10,00 RM.
	<u>15,75 „</u>	<u>5,25 „</u>
	58,75 RM.	55,25 RM.

¹⁾ Nach Weigmann: Grundlagen des Betriebsvergleiches. Stuttgart 1932.

²⁾ Vgl. Verordnung über die Preisermittlung auf Grund der Selbstkosten bei Leistungen für öffentliche Auftraggeber vom 15. 11. 1938, Absatz Nr. 20/1.

Kostenumlegung für Monat Februar (mit den Zahlen des Januar).

Kostenstellen →	Letzte Kostenstellen					3. Schritt			2. Schritt		1. Schritt			Summe
	Lager	Dreherei	Montage	Vertrieb	Reparaturwerkstatt	Werkzeugmacherei	Betriebsleitung	Lohnbüro	Vorstand	Buchhaltung	Hausverwaltung	Summe		
Hilfsmaterial	20	200	5	—	100	20	10	—	—	—	5	360		
Hilfslöhne	30	100	50	50	20	10	10	10	—	—	10	290		
Gehälter, Zinsen, Abschreibungen usw.	50	80	80	200	5	10	150	50	200	75	10	910		
Summe	100	380	135	250	125	40	170	60	200	75	25	1560		
Vorstand	20	—	—	100	—	—	70	10	—	—	—	—		
Buchführung	20	—	—	40	—	—	—	15	—	—	—	—		
Hausverwaltung	5	5	2	5	1	3	3	1	—	—	—	—		
Summe	145	385	137	395	126	43	243	86	—	—	—	—		
Betriebsleitung	3	100	80	—	20	40	—	—	—	—	—	—		
Lohnbüro	3	25	35	—	10	13	—	—	—	—	—	—		
Summe	151	510	252	395	156	96	—	—	—	—	—	—		
Reparaturwerkstatt	16	100	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Werkzeugmacherei	—	60	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Summe	167	670	328	395	—	—	—	—	—	—	—	—		
Ausgegeben { Einzelmaterial insgesamt	1670	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
{ Einzellöhne	—	335	328	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Also Gemeinkosten-Zuschlag	10 vH	200 vH	100 vH	10 vH	—	—	—	—	—	—	—	—		

$\sum = 1560 \leftarrow$
 $\frac{395}{1560 + 1670 + 335 + 328} = \frac{\text{Vertriebsgemeinkosten}}{\sum \text{ der Herstellkosten}}$
 $\approx 10 \text{ vH Vertriebszuschlag}$

Weiterer sog. letzte Kostenstellen, wie z. B.
Hobelei, Fräserei, Schmiede, Lackiererei.

Zweite Verfeinerung: Verfahrens- und Materialzuschlag. Haben die verschiedenen zu kalkulierenden Erzeugnisse verschieden hohen Materialanteil, so müssen die im Vormonat entstandenen Aufwendungen wie folgt getrennt werden:

Material-Verbrauch	200,00 RM.		
Material-Gemeinkosten für Lagerung, Verschnitt, Zurichtung, Verzinsung	75,00	„ =	75,00:200,00 = 37,5 vH
Handarbeitslöhne	300,00	„	
Maschinenarbeitslöhne	100,00	„	
Gemeinkosten für Maschinen	150,00 RM.		150,00:100,00 = 150 vH
„ „ Handwerkstatt	30,00	„	30,00:300,00 = 10 vH
Sonstige Gemeinkosten	135,00	„	135,00:400,00 = 33,7 vH
	<u>315,00 RM.</u>	<u>315,00</u>	„
Zusammen			990,00 RM.

Die Vorkalkulation ergibt dann:

	Schweißstück	Schmiedestück
Fertigungsmaterial	10,00 RM.	25,00 RM.
Materialgemeinkosten	37,5 vH 3,75 „	37,5 vH 9,40 „
Fertigungslohn	30,00 „	10,00 „
Verfahrensgemeinkosten	10,0 vH 3,00 „	150 vH 15,00 „
Sonstige Gemeinkosten	33,7 vH 10,00 „	33,7 vH 3,40 „
	<u>56,75 RM.</u>	<u>62,80 RM.</u>

Dritte Verfeinerung: Kostenstellen-Rechnung. Laufen die einzelnen Kostenträger (Erzeugnisse) nicht einheitlich durch den gesamten Betrieb, sondern bedingt ihre Verschiedenartigkeit, daß sie nur einzelne und zum Teil ganz verschiedene Werkstätten (Kostenstellen) durchlaufen, so müssen für diese Stellen verschiedener Arbeitsverfahren getrennte Zuschläge errechnet werden. Dies geschieht durch die sog. Kostenumlegung, bei welcher wiederum die Aufwendungen des Vormonats für die Zwecke der Vorkalkulation des laufenden Monats aufgeteilt werden (nach der eingangs angeführten Verordnung Betriebsabrechnungsbogen genannt).

Die Angebotskalkulation im Monat Februar sieht dann folgendermaßen aus:

Einzel- oder Fertigungsmaterial des Betriebsauftrages (B.A.) Nr. X ...	
+ 10 vH Materialzuschlag	
+ Einzel-Lohn der Dreherei des B. A. Nr. X	
+ 200 vH Gemeinkostenzuschlag für Dreharbeit	
+ Weitere Einzellöhne und Gemeinkosten, sog. letzter Kostenstellen für B. A. X	
+ Einzellöhne der Montage des B. A. Nr. X	
+ 100 vH Gemeinkostenzuschlag der Montage	
	<u>Herstellkosten des B. A. Nr. X</u>
+ Vertriebsgemeinkosten-Zuschlag 10 vH auf die Herstellkosten des B. A. Nr. X	
	<u>Selbstkosten des B. A. Nr. X</u>
+ Sonderkosten der Fertigung des B. A. Nr. X	
+ Sonderkosten des Vertriebs des B. A. Nr. X	
+ vH Gewinnzuschlag auf die Selbstkosten	
	<u>Angebotspreis des B. A. Nr. X</u>

Allgemeingültige Werte für die Zuschlagsätze der einzelnen Kostenstellen lassen sich nicht angeben, da diese abhängig sind:

1. von der Fertigungsart;
2. von der Zusammensetzung, Bewertung und Alter des betreffenden Maschinenparks und
3. von der ganz individuellen Abgrenzung der einzelnen Kostenstellen eines Betriebes unter sich.

So gibt z. B. Jos. Nertinger¹⁾ an, daß diese Gemeinkostenzuschläge auf den Einzellohn betragen in:

Schmiede	113 vH	Montage	54 vH
Dreherei	213 vH	Schreinerei	65 vH
Schlosserei	77 vH	Malerei	31 vH

Laut RKW-Veröffentlichung Nr. 9 betragen diese Zuschläge für eine Maschinenfabrik mit Einzelfertigung:

Sägerei und Abstecherei.....	135,48 vH	Bohrerei	259,03 vH
Schmiede	176,23 vH	Härterei	107,33 vH
Glüherei	153,72 vH	Schleiferei.....	157,06 vH
Dreherei	230,62 vH	Teilschlosserei	247,50 vH
Fräserei und Hobelei	268,15 vH	Zusammenbau	138,68 vH
		Prüfstelle	99,68 vH

Es bleibt also dem einzelnen Betrieb nichts anderes übrig, als für die Zwecke der Kalkulation und Betriebskontrolle die entstandenen Gemeinkosten von Monat zu Monat umzulegen und danach die Betriebspolitik zu betreiben.

Vierte Verfeinerung: Platzkostenrechnung. Sind die Werkstätten wie Dreherei, Fräserei, Hobelei usw. so unorganisch aufgebaut, daß selbst diese Teilbetriebe nicht als Einheit angesehen werden können, dann muß eine solche Kostenstelle und unter Umständen der ganze Betrieb kalkulatorisch in einzelne Arbeitsplätze aufgelöst werden; d. h. es werden soweit irgend möglich alle Gemeinkosten, so z. B. Zinsen, Abschreibung, Raum-, Instandhaltungs- und Antriebskosten usw. auf jeden einzelnen Arbeitsplatz umgelegt. Die Endsumme wird dann dividiert durch die Normalausnutzungszeit der Maschine (nicht wirkliche Nutzungszeit, wie viele meinen), wodurch man die sog. Stundenziffer erhält. Das Verfahren wurde aus der Papierindustrie, wo es schon Jahre zuvor angewendet wurde, auf die Maschinenindustrie übertragen und allgemeingültig dargestellt²⁾.

Um Anreiz zu geben, möglichst viel Arbeit auf teure Arbeitsplätze hinzulenken, muß man unbedingt mit der Normalausnutzungszeit rechnen, denn sonst bleiben die großen teuren Werkzeugmaschinen ungenützt. Nachstehendes Beispiel soll zeigen, daß der Stundensatz für die Normalnutzungszeit günstiger ist als für die wirkliche Nutzungszeit.

Beispiel. Eine Werkzeugmaschine von 30000 RM. Anschaffungswert sei zur Zeit auf 10000 RM. Restwert abgeschrieben.

Die Gemeinkosten für diesen Arbeitsplatz ergeben sich für das laufende Jahr wie folgt:

Abschreibung 10 vH vom Restwert	1000,00 RM.	
Verzinsung 5 vH vom Anschaffungswert	1500,00 „	
Gebäudesteuern	100,00 „	
	<u>2600,00 RM.</u>	2600,00 RM.
Raumkosten (Licht, Heizung)	250,00 „	
Unterhaltung	850,00 „	1100,00 „
Strom für Antrieb	650,00 „	
Werkzeuge	<u>250,00 „</u>	900,00 „
Anteilige allgemeine Gemeinkosten (Meister, Arbeitsvorbereitung)		500,00 „
		<u>5100,00 RM.</u>
Normal-Betriebsstunden seien 1500 Std. im Jahr Gemeinkostensatz		
5100:1500		= 3,90 RM./Std.
Wirkliche Nutzungszeit war 1000 Std. im Jahr, also Gemeinkostensatz		
5100:1000		= 5,10 RM./Std.

¹⁾ Die Berechnung der Selbstkosten an ausgewählten Beispielen der Praxis. Stuttgart 1937 S 22.

²⁾ Kritzler: Platzkostenrechnung im Dienste der Betriebskontrolle und Preiskalkulation. Berlin 1928.

Rummel¹⁾ zeigte am nachstehendem Beispiel aus der Praxis, wie durch das Lohnzuschlagsverfahren für ein und denselben Auftrag 15 vH zu niedrige Selbstkosten errechnet werden gegenüber der Rechnung auf Zeitgrundlage:

I. Lohnzuschlagsverfahren.

Arbeitsgang	Vorgabezeit Min	Lohnzeit h	Tariflohn für Akkordarbeiter Pfg/Min	Lohnsumme	Unkostenzuschlag in		Σ RM	
					vH	RM		
Schweißen	1520	—	1,43	21,74	164	35,65	57,39	
Horizontalbohren ...	675	—	1,38	9,32	98	9,13	18,45	
Hobeln	600	—	1,35	8,10	98	7,94	16,04	
Drehen	170	—	1,38	2,35	98	2,30	4,65	
Schlossern	—	4 $\frac{1}{2}$	82,50 Std.lohn	3,71	47	1,74	5,45	
Selbstkosten							101,98	

II. Auf Zeitgrundlage.

Kostenstelle	Vorgabezeit		Platzkosten RM/h	Gesamtkosten RM
	Min	h		
Schweißerei	1520	25,3	2,81	71,09
Bohrmaschinen	675	11,2	1,51	16,91
Mittl. Hobelbänke	600	10,0	1,69	16,90
Große Drehbänke	170	2,8	2,31	6,47
Schlosserei	4 $\frac{1}{2}$ Lohnstunden		1,31	5,90
Selbstkosten				117,27

Es ist ohne weiteres klar, daß die Platzkostenrechnung das genaueste Verfahren darstellt; leider ist es aber auch das teuerste. Wie schon erwähnt, darf in einem Betrieb nur immer das Kalkulationsverfahren angewandt werden, welches für eine gegebene Betriebsgröße zugleich auch das wirtschaftlichste ist.

Damit nun die Betriebe aber doch nicht im Dunkeln tappen, denn selbst bei einem Vergleich der eigenen Kostenumlegungsergebnisse von Monat zu Monat ist dies dadurch möglich, daß Schlendrian mit Schlendrian verglichen wird, ist es notwendig, daß zwischenbetriebliche Vergleiche durchgeführt werden. Um diese hat sich ganz besonders der Verein Deutscher Maschinenbauanstalten (VDMA) jetzt Wirtschaftsgruppe Maschinenbau²⁾ unter Schulz-Mehrin seit einem Jahrzehnt verdient gemacht. Trotz dieser langjährigen Erfahrungen stecken im Betriebsvergleich noch so viel ungelöste Fragen, daß hier nur auf das einschlägige Schrifttum verwiesen werden kann³⁾.

III. Kalkulation und Preispolitik.

Die Preispolitik hat den Zweck, nach Möglichkeit die Vollbeschäftigung des Betriebes zu sichern. Deshalb muß der Betrieb bei verminderter Kaufkraft der Verbraucher unter seinen Gestehungskosten und bei übernormaler

¹⁾ Grundlagen der Selbstkostenrechnung. Düsseldorf 1934 S. 92.

²⁾ Betriebswissenschaftliche Schriften des VDMA.

³⁾ Vgl. hierzu die Arbeiten von: Weigmann, Mund, Schnettler, Hauck und Thoms.

Kaufkraft zu stark überhöhten Preisen anbieten, denn beides, Unter- wie Überbeschäftigung ist dem Betrieb gleich unerwünscht. Auf alle Fälle ist es falsch, einfach nur zu den Preisen der Wettbewerber anzubieten, sondern es ist heute notwendiger denn je, selber planvolle Preispolitik zu betreiben. Diese kann in folgenden Arten des Vorgehens bestehen:

1. Unabhängig von der tatsächlichen Beschäftigung bietet man stets zu dem Preis an, der der Vollbeschäftigung entspricht (Vorgehen der Wirtschaftsgruppe Maschinenbau). Es werden dadurch natürlich Preisschwankungen weitgehend vermieden, die Wirkung der Regelung des Beschäftigungsgrades ist aber im Vergleich zu den beiden nachfolgenden Arten ziemlich schwach.

2. Man bietet zum „Proportionalen Satz“ oder zu den Grenzkosten an, weil diese bei Unterbeschäftigung unter und bei Überbeschäftigung über den tatsächlichen Gesteungskosten liegen¹⁾.

3. Man verrechnet auf die Leistungen so viel Prozent der tatsächlich entstandenen Kosten, als der Beschäftigungsgrad, ausgedrückt in vH, ausmacht, was die gleiche Wirkung des Vorgehens unter Punkt 2 hat (sog. Nordamerikanische Methode).

Bezüglich der rechnerischen Durchführung dieser drei Verfahren und den Zusammenhang zwischen Kalkulation und Buchhaltung sei auf das Schrifttum verwiesen²⁾.

¹⁾ Vgl. Schmalenbach: Selbstkostenrechnung und Preispolitik, 6. Aufl. Leipzig 1934.

²⁾ W. Weigmann: Moderne Fabrikbuchhaltung unter Berücksichtigung der kalkulatorischen (Betriebs-) Buchhaltung und der Aktienrechtsreform. 2. Aufl. Leipzig 1937. — W. Weigmann: Buchführung und Bilanz unter besonderer Berücksichtigung der Verordnungen zur Ordnung der Wirtschaft. Leipzig 1938.

Alphabete.

Normschrift (s. DIN 16, 17, 1451).

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Russisch.	Griechisch.	Morse.
А а <i>a a</i>	Α α <i>a Alpha</i>	a . —
Б б <i>b bje</i>	Β β <i>b Beta</i>	ä —
В в <i>w wje</i>	Γ γ <i>g Gamma</i>	b
Г г <i>g (auch h) gje</i>	Δ δ <i>d Delta</i>	c
Д д <i>d dje</i>	Ε ε (kurz) <i>e Epsilon</i>	d — . .
Е е <i>je je</i>	Ζ ζ <i>ds (z) Zeta</i>	e .
Ж ж <i>sch Schiwete</i>	Η η (lang) <i>e Eta</i>	f
З з (weich) <i>s sje</i>	Θ θ <i>th Theta</i>	g — . . .
И и <i>i i</i>	Ι ι <i>i Iota</i>	h
Й й <i>i i</i>	Κ κ <i>k Kappa</i>	ch — — — — —
К к <i>k ka</i>	Λ λ <i>l Lambda</i>	i . .
Л л <i>l el</i>	Μ μ <i>m Mü</i>	j — — — — —
М м <i>m em</i>	Ν ν <i>n Nü</i>	k —
Н н <i>n en</i>	Ξ ξ <i>ks (x) Ksi</i>	l
О о <i>o o</i>	Ο ο (kurz) <i>o Omikron</i>	m — —
П п <i>p pje</i>	Π π <i>p Pi</i>	n — . .
Р р <i>r er</i>	Ρ ρ <i>r Rho</i>	o — — — — —
С с (scharf) <i>ss ess</i>	Σ σ ς <i>s Sigma</i>	ö — — — — .
Т т <i>t tje</i>	Τ τ <i>t Tau</i>	p
У у <i>u u</i>	Υ υ <i>ü Ypsilon</i>	q —
Ф ф <i>f ef</i>	Φ φ <i>f (ph) Phi</i>	r
Х х <i>ch cha</i>	Χ χ <i>ch Chi</i>	s
Ц ц <i>z ze</i>	Ψ ψ <i>ps Psi</i>	t —
Ч ч <i>tsch tsche</i>	Ω ω (lang) <i>o Omega</i>	u
Ш ш <i>sch scha</i>		ü
Щ щ <i>schtsch schtscha</i>		v
Ъ ъ <i>stumm jerr</i> (hartes Zeichen)		w — — — — —
Ы ы (kurz) <i>ü jerrüj</i>		x —
Ь ь <i>stumm jerj</i> (weiches Zeichen)		y —
Э э <i>e e</i>		z —
Ю ю <i>ju ju</i>		1 — — — — —
Я я <i>ja ja</i>		2 — — — — —
		3 — — — — —
		4 — — — — —
		5 — — — — —
		6 — — — — —
		7 — — — — — —
		8 — — — — — —
		9 — — — — — —
		0 — — — — — —
	
		, — — — — — —
		; — — — — — —
		: — — — — — —
		? — — — — — —
		! — — — — — —

Papierformate nach DIN 476.

	Format- klasse	Reihe A Vorzugsreihe mm	Reihe B mm	Reihe C mm	Reihe D mm
<p>Bezeichnungsbeispiel.</p> <p>Das Format 210 × 297, Klasse 4 der Vorzugsreihe A, heißt</p> <p style="text-align: center;">Format A 4.</p> <p>Die Abmessungen gelten als Größtmaße; Toleranzen sind nach unten zu legen und auf das Äußerste zu beschränken.</p> <p>Als Fertigformate für alle unabhängigen Papiergrößen, wie Zeichnungen, Akten, Geschäftspapiere, Betriebsvordrucke, Karteikarten, Werbsachen, Zeitschriften, Zeitungen, Bücher, gelten die</p> <p style="text-align: center;">Formate der A-Reihe.</p> <p>Einzelheiten sind folgenden Normblättern zu entnehmen:</p> <p>DIN 198 Papierformate — Anwendungen der A-Reihe.</p> <p>DIN 676 Geschäftsbrief — Format A 4.</p> <p>DIN 682 Rahmen für Bilder und Tafeln.</p> <p>DIN 820 Normblatt — Abmessungen und Ausgestaltung.</p> <p>DIN 823 Zeichnungen — Formate, Maßstäbe.</p> <p>DIN 824 Zeichnungen — Falten auf A 4 für Ordner.</p> <p>DIN 825 Schildformate.</p> <p>DIN 826 Zeitschriften — Format A 4, Satzspiegel, Druckstockbreite.</p> <p>DIN 827 Papier (Normalpapier) — Stoff, Festigkeit, Verwendung.</p> <p>DIN 829 Buchformate.</p> <p>Für abhängige Papiergrößen, wie Briefhüllen, Ordner, Mappen, gelten die</p> <p style="text-align: center;">Formate der Zusatzreihen B, C, D.</p> <p>Einzelheiten sind folgenden Normblättern zu entnehmen:</p> <p>DIN 678 Briefhüllenformate.</p> <p>DIN 680 Fensterbriefhüllen.</p> <p>DIN 828 Mikrophotographische Bilder.</p> <p>DIN 829 Buchformate.</p>	0	841 × 1189	1000 × 1414	917 × 1297	771 × 1090
	1	594 × 841	707 × 1000	648 × 917	545 × 771
	2	420 × 594	500 × 707	458 × 648	385 × 545
	3	297 × 420	353 × 500	324 × 458	272 × 385
	4	210 × 297	250 × 353	229 × 324	192 × 272
	5	148 × 210	176 × 250	162 × 229	136 × 192
	6	105 × 148	125 × 176	114 × 162	96 × 136
	7	74 × 105	88 × 125	81 × 114	68 × 96
	8	52 × 74	62 × 88	57 × 81	48 × 68
	9	37 × 52	44 × 62		
	10	26 × 37	31 × 44		
	11	18 × 26	22 × 31		
	12	13 × 18	15 × 22		

Sachverzeichnis.

A

Abbescher Längenmesser 455.
Abhör- und Laufprüfung 655.
Abkürzungen der Gewindezeichnungen 553
 der metr. Maße 69.
Ableseunsicherheit 439.
Abmaß, Definition 439.
 Nennabmaß DIN und ISA 464 ff.
Abnahmelehren 477.
Abnutzung und Härte 262.
 von Lehren 474, 475.
Abrauchen von Schnellstählen 227.
Abschmelzschweißung 291.
Abschrecken 235.
Absolutes Maßsystem 72.
Abwälzverfahren 659.
AEG-Kupplung 597.
A-Harze 199.
Alautal 182.
Albo-Knorr-Kupplung 597.
Albondur 182.
Aldrey 181.
Aloxier-Verfahren 192.
Alphabete, DIN, griechisch, russisch, Morse 700.
Altern 236.
Altgrad und Neugrad 79.
Aluminium 179.
 -bleche, Gewichte 103.
 Draht und Rohr, Gewichte. 107.
 -legierungen 179.
Alva 181.
Alzak-Verfahren 192.
Aminoplaste 199.
Ampere 137.
Anlassen 236.
 - von Schnellstahl 237.
Anlaßfarben 241.
Anlaßofen 235.
Anlaßtemperatur, Kontrolle 237.
Anlauffarben 237.
Anlaufkupplung 597.
Anschieben 444.
Anschlüsse, an Gasflaschen, Kennfarben 286.
Anschnitt, Reibahlen 333.
Ansprechwert 440.
Ansprengen 444.
Anstriche 274.
Anstrichstoffe, bituminöse 275.
Antikorodal 185.
Antriebe, elektrische, Werkzeugmaschinen 141.
Anzeigebereich 439.
Anziehungskraft 81.
Arbeit
 Definition 72.
 Bezeichnungen 75.

Arbeitslehren 474.
Arbeitsschauuhr, Poppelreuter 687.
Arbeitsstudien 686, 687.
Arbeitsvorbereitung 683.
Arbeitszeit 684.
Arcatomschweißung (Schutzgasschweißung) 290.
Archimedische Schnecke 661.
Asphalt, Natur- 198.
Atmosphäre 81.
Atomgewichte 86.
Atrament-Verfahren 272.
Ätzen 294.
Aufbauschneide 304.
Aufdampfen von Metallen 271.
Aufsteckdorne für Fräser 358.
Aufsteckreibahle 336.
Aufstecksenker 331.
Aufwand 689.
Augenblickskupplung 598.
Ausdehnung durch die Wärme 160, 161.
Ausgießen des Innengewindes 504.
Ausgleich-Gewinde 357.
Aushärten von Aluminiumlegierungen 181.
Außenräumen 405.
Ausspitzen, Spiralbohrer 321.
Austausch-Reaktion 272.
Austenit 223, 224.
Auswuchten 384.
Autogenhartung 176.
Autogenschneiden, Brennschneiden 287.
Autogenschweißung, Gasschmelzschweißung 285.
Automaten, Meißel 313.
Automatenlegierungen (Leichtmetalle) 182.
Azetylen-Entwickler 286.

B

Balatarriemen 564.
Bamag-Kupplung 591.
Bar 81, 82.
Barometer 82.
BAU = British Assoc. Unit 137.
Baumann-Steinrück, Schlaghärteprüfer 257.
Baumwollriemen 564.
Baustähle 175.
Baustahl
 Einsatzstahl 242.
 Nitrierhärten 244.
 Vergüten 244.
 Warmbehandlung 232, 241, 245.
 s. a. Werkzeugstahl.
Bauwerke, zulässige Belastungen 125.
Beanspruchung, wechselnde 126.
Bearbeitbarkeit und Härte 262.
Bearbeiten mit Hartmetall 250.
Bearbeitung von Leichtmetallen 302.
Befestigungsflansche 599.
Beilegeringe 355.

Beizen
 Aluminium 190.
 Leichtmetalle 190.
 Belastungen
 Bauwerke 125.
 von Schrauben 555.
 Beleuchtung 151.
 Beleuchtungsstärke 148.
 Benennung technisch wichtiger Stoffe 83.
 Berichtigung 440.
 Beschäftigungsgrad 690.
 Beschleunigung 51, 72, 81.
 Beschriftung
 der DIN-Lehren 461.
 der ISA-Lehren 477.
 der Gewindelehren 500.
 Betriebstemperatur 71.
 Bezeichnungen 73 ff.
 Bezugstemperatur 71, 438.
 B-Harze, Resitole 199.
 Bichromatbeize 274.
 Bildwerfer 455.
 Bilgram 619.
 Bimsstein 398.
 Bindung, Schleifscheiben 379, 380.
 Blattfedern 132.
 Blechlehren 110, 111, 456.
 Blei 177.
 -legierungen 177.
 -Spritzußlegierungen 177.
 Blockketten 669.
 Böhlerit 247, 301.
 Böhlinger-Sturm-Getriebe 588.
 Böttcher 622.
 Bogenhöhen für Halbmesser 1, 40.
 Bogenlängen für Halbmesser 1, 40.
 Bogenlampen 150.
 Bogenspanndicke 295.
 Bogenverzahnung 616.
 Bohren 318 ff.
 mit Hartmetall 251.
 Bohren, Schnittgeschwindigkeiten u. Vor-
 schübe 329.
 Bohrer
 Spiral- 400.
 Spitz- 318.
 Bohrköpfe 337.
 Bohrstangen 337.
 Bohrwerkzeuge 327.
 Bolometer 240.
 Bonder-Verfahren 272.
 Bondur 186.
 Bondurplat 182.
 Borron 209, 212.
 Breitflachstahl, Maßabweichungen 106.
 Brenner 287.
 Brenngase 172.
 Brennschneiden (Autogenschneiden) 287.
 Brennstoffe 167, 170, 172.
 Heizwert 168.
 Brinell 255.
 Brinellmeter 259.
 Bronze 176.
 Bronzelack 275.
 Brown & Sharpe-Kegel 494.
 Brownsche Schnecke 661.
 Bruchfestigkeit 112.

Brünieren 272.
 Bruttotonnengehalt 59.
 Buna 214.

C

C-Harze, Resite 199.
 C-Werte für Kunststoffe 609.
 Celsius 154.
 CGS-System 72.
 Chemische Benennung techn. wichtiger
 Stoffe 83.
 Chromguß HSB 175.
 Chromoxyd 398.
 Chromstähle 176.
 Circular-Pitch 603.
 CN 175.
 Compar 448.
 Cosinus 30.
 Cotangens 32.
 Coulomb 138.
 Cyclohexanon 211.

D

Dächer, Belastung 125.
 Dampfrohre 114.
 Dämpfe 91.
 Dauerfestigkeit 126, 128.
 Dehnung 115.
 Diagnostiker von Peiseler 678.
 Diamant
 Drehen 316.
 Schneidenwinkel 396.
 -werkzeuge 395.
 Diamanten 301.
 Diamantine 398.
 Diametral-Pitch 603.
 Dichte 72.
 Didymglas 153.
 Differentialgewinde 357.
 Differentialteilen 366.
 DIN-Passungssystem 457.
 DIN-ISA-Gesamtübersicht 464 ff.
 Dissousgas, Flaschengas 286.
 Division, abgekürzte 54.
 Divisionskalkulation 691, 692.
 Dorne für Fräser 354.
 Dosenlibelle 447.
 Draht
 Gewichte 106, 107.
 und Blechlehren 110, 111.
 -Lehren 456.
 -seile, Gewichte und Bruchfestigkeit 112.
 Drall, Spiralbohrer 400.
 Drehbank 303, 307.
 Drehbarkeitsziffern, Leichtmetallsorten
 306.
 Drehen 295 ff.
 Diamant 316.
 Kühlen und Schmieren 304.
 mit Hartmetall 248.
 Leistung 309.
 Normen 317.
 Schnittgeschwindigkeit 297, 301, 305.
 Schnittwinkel 248, 310.
 Spannerschnitt 295.
 Standzeit 297.
 Werkzeugverschleiß 302.
 Drehkeil-Kupplung 598.

Drehmeißel 310, 311.
 Form 313.
 Schnittwinkel 248, 310.
 Drehmoment 72.
 Drehstrom, Motore 142.
 Drehwerkzeuge, Verschiedenes 317.
 Drehzahlbilder, logarithmische 679.
 Drehzahlen
 Leerlauf- 674.
 Stufung 699.
 Dreidrahtmethode 506.
 Dreiecksberechnung 37.
 Druck 72, 81.
 Bezeichnungen 74.
 Druckminder-Ventile (Reduzierventile) 287.
 Dürmes 182.
 Düsen, Messung 450.
 Duralplat 182.
 Duraluminium 186.
 Durchgangslöcher, Schrauben 557.
 Duroskop 257.
 Dyn 72.

E

$e =$ Basis der nat. Logarithmen 51.
 $e^{\mu} \propto$ 570.
 Ebenheit 441.
 Edelgußeisen 174.
 Edel-Passung 478.
 Einflanken-Abrollprüfgerät 652.
 Eingriffsteilung 639.
 Eingriffsteilungsmessung 643.
 Eingriffswinkel, -Linie, -Strecke 602.
 Einheiten, Kurzzeichen 79.
 Einheitsbohrung 457 ff., 464.
 Einheitswelle 457 ff., 468.
 Einsatz- und Vergütungsstähle 176.
 Einsatzhärten 241.
 Ausführung 242.
 Nachbehandlung 243.
 Einsatzmittel 242.
 Einsatzstahl 242.
 Einstellwinkel zum Fräserfräsen 373 ff.
 Einzahnreibahle 336.
 Eisenkarbid 223.
 Elastizitätsmaß 72.
 Elastizitätsgrenze 115.
 Elastizitätsmodul 115.
 Elastizitätszahlen 124.
 Elektrotechnik 137 ff.
 Bezeichnungen 77.
 Elektrische Freileitungen 186.
 Elektrizitätsmenge, elektrostatische 72.
 Elektro-Compar 449.
 Elektroden 289.
 Elektromotore 141 ff.
 Elektron 186.
 Elomag-Verfahren 192, 274.
 Eloxal-Verfahren 191, 273.
 Eltas-Lehre 449.
 Elytalverfahren 191.
 Emaillelack 275.
 Empfindlichkeit 440.
 Energie
 Bezeichnungen 75.
 Maßeinheiten 79, 80.
 Endmaße 435, 444.
 Endmaßhalter 445.

Engler-Viskosimeter 281.
 Enor-Trieb 588.
 Entfetten 269.
 Entrosten 269.
 Entwickler-Azetylen 286.
 Entzundern 269.
 Erdbeschleunigung 51, 81.
 Erfolg 690.
 Erg 72.
 Erlos 690.
 Ertrag 690.
 Eulersche Formeln 117.
 Evolventenprofil 600.
 Evolventen-Prüfgerät
 Klingelnberg 635.
 Zeiss 638.
 Evolventenschncke 662.
 Eytelwein 568.

F

Faden 58.
 Fahrenheit 154.
 Faktoren und Primzahlen 22.
 Fallhärteprüfung 259.
 Farad 138.
 Fase, Bohrer 320.
 Farbkennzeichen
 Rohrleitungen 136.
 Passungslehren 461, 477.
 Federn
 Scheiben- 561.
 Schrauben- 680.
 Fehler 440.
 Fehlergrenzen
 Endmaße 435.
 Platten 437.
 Schieblehren 436.
 Schraublehren 436.
 Stahllineale 437.
 Strichmaßstäbe 435.
 Tuschiehlineale 437.
 Feinbleche 108.
 Gewichtstafeln 107.
 Feinblech- und Drahtlehren 110.
 Feinbohren 393.
 Feindrehen 393.
 Feingewinde
 metr. 520 ff.
 Whitw. 518.
 Feinmechanische Zahnräder, Prüfung 657.
 Feinmeßprojektoren 455.
 Feinpassung 478.
 Feinstbearbeitung 393.
 Leichtmetalle 305.
 Werkzeugmaschinen 393.
 Werkzeugschneiden 394.
 Feintaster 451.
 Feld
 elektr., Bezeichnungen 78.
 magnetisches, Bezeichnungen 76.
 Feldstärke, magnetische 72.
 Fellows
 Zahnräder-Bearbeitung 659.
 Zweiflanken-Abrollprüfgerät 653.
 Feran 182.
 Ferrit 223.
 Festigkeitslehre 115.

Festigkeitszahlen 124.
 der Hölzer 126.
 Festmaßlehren 456, 463.
 Festsitz 478.
 Fette 280.
 Feuerungen, Luftüberschuß 169.
 Flachgewinde, Gewindestahl 418.
 Flachlehren 463.
 Flachstahl, Gewicht 99—104.
 Fläche, Bezeichnungen 73.
 Flächenberechnung 46.
 Flächeninhalte 119.
 Flächenmaße 69.
 Flammpunkt 281.
 Flankendurchmesser 497.
 Flankenschraublehre 505.
 Flankenwinkel 497.
 Flansche, Befestigungs- 599.
 Flaschengas (Dissousgas) 286.
 Flender-Variator 587.
 Fliehkraftkupplung 597.
 Fließgrenze 115.
 Flüssigkeitsgetriebe 588.
 Flußmittel 287.
 Flußstahlrohre 114.
 Formate, Papier 701.
 Formelzeichen 55.
 Formgebung (Kerbwirkung) 129.
 Formstahl 314.
 Fräsdorn 354.
 Zwischenringe 355.
 Fräsdornkegel 359.
 Fräsen 338 ff.
 von Drallwindungen 367.
 Einstellwinkel 373 ff.
 Fräskräfte 341.
 Fräsvorgang 338.
 Gewinde- 423.
 Gleichlauf- 345.
 mit Hartmetall 248.
 Schnittgeschwindigkeiten 344.
 Schruppen und Schlichten 342.
 Spanmenge 341.
 von spiraligen Kurvenscheiben 369.
 von Zähnen 658.
Fräser
 Auswahl 343.
 Aufsteckdorne 358.
 Befestigung 354 ff.
 — durch Mitnehmer 356.
 Bohrung 346, 356.
 Drehsinn 348.
 Gestaltung 343.
 Herstellung 352.
 hinterdrehte Fräser 351.
 Hinterschliff, Einstellmaße 364.
 Kräfte 341.
 Kreissägen 378.
 Messerköpfe 350.
 Nuten 356.
 Richtlinien für Auswahl 346.
 Satzfräser 350.
 Schärfen 360.
 Schafffräser 349.
 Scheibenfräser 350.
 Schneidenwinkel 346.
 Schnittbedingungen 342.
 Spiralsteigung 353.

Fräser
 Stirnfräser 349.
 Verzahnung 353.
 Walzenfräser 348.
 Zähnezahlen 346.
 Fräsmaschine, Antriebsleistung 340.
 Frässpindelnasen 359.
 Freihub 441.
 Freileitungen, elektrische 186.
 Fühlhebelschraublehre 454.
 Fühllehren 456.
 Fühluhr, kleine 448.
 Funkenprobe 265.
 Fuß 56, 58.
 und Zoll = Millimeter 65.

G

g = Beschleunigung durch die Schwere
 51, 72, 81.
 Gallsche Kette 666.
 Galvanische Überzüge 270.
 Gase, Litergewicht 91.
 Gasflaschen, Anschlußstutzen 531.
 Gasflaschenventilgewinde 531.
 Gasgewinde, s. Gewindearten, Rohrgew.
 Gaskonstante 79, 80.
 Gasrohre 114.
 Gasschmelzschweißung 285, 287.
 Gefrierpunkte s. Schmelzpunkte.
Gefüge
 Schleifscheiben 381.
 Werkzeugstahl 222, 224.
 Genauigkeitsangabe 439.
 Gerbung 563.
 Gesamtfehler, Zahnräder 651.
 Geschwindigkeit 72.
 Getriebe, stufenlos regelbare 587.
 Geweberiemens 564.
 Gewehrhalbbohrer 328.
Gewichte
 Aluminium (Draht, Rohr) 107.
 Atom- 86.
 Berechnung eines Gußstückes nach
 seinem Modell 92.
 Bleche 107, 108.
 Draht 106.
 Drahtseile 112.
 Stahl (Flach-, Quadrat-, Sechskant-,
 Rund-) 94 ff., 99 ff.
 geschichteter Stoffe 92.
 Hanfseile 112.
 Kupferdraht 112.
 Ladegewicht von Güterwagen 93.
 Litergewicht von Gasen 91.
 Messingrohre 113.
 Metallplatten 105.
 Rohre 107, 114.
 Seile 112.
 Schnellstahl 97, 98.
 Spezifisches Gewicht 87, 88.
 Umrechnung englisch (amerikanisch)
 in kg 67.
 und Maße verschiedener Länder 56 ff.
 Gewichtsgesetz 70, 71.
 Gewinde 496 ff.
 Bezeichnungen 553.
 Bohrer 409.
 Durchmesser-Berechnung 525.

Gewinde

- Fräsen 423.
- von Kurzgewinde 424.
- — Langgewinde 423.
- Kernloch 411.
- Kernlochbohrer 412.
- messen 496 ff.
- passungen 496.
- rollen 426.
- schleifen 432.
- schneiden auf der Drehbank 415.
- Schneideisen 422.
- Schneidkopf 422.
- Schneiden von Flachgewinde 415.
- — Spitzgewinde 415.
- — steilgängigem Gewinde 417.
- schneiden, Wechselräder 428.
- stahl 418.
- walzen 424.

Gewindearten

- Amerikanisches Feingewinde ASME 542.
- Rohrgewinde ASTP 551.
- scharfes V-Gewinde 547.
- Birmingham-Drahtlehre 549.
- Bremsspindelgewinde DIN 263 528.
- Britisches Normal-Feingewinde BSF 542.
- Bodmer-Gewinde 544.
- Ducommun-Steinlen-Gewinde 540.
- Edison-Gewinde VDE 420 535.
- Englisches C.E.I.-Gewinde 543.
- Fahrrad-Gewinde 546.
- Französisches Gewinde S.F. 543.
- Hamann-Patronen-Gewinde 541.
- Karmarsch-Gewinde 540.
- Kordelgewinde 552.
- Löwenherz-Gewinde 544.
- Messingrohrgewinde 552.
- Metrisch VDI (S.I.) 540.
- Metrisches DIN 13, 14 520 ff.
- Metrisches-Fein 521 ff.
- Nähmaschinengewinde 546.
- Nippelgewinde 535.
- Rohrgewinde 550.
- nach Sellers 550.
- Rohrgewinde 552.
- Rundgewinde für Gasschutzgeräte
DIN 3182 535.
- Sägengewinde DIN 513 529.
- eingängig DIN 513 530.
- Schlauchventilgewinde 546.
- Stahlpanzerrohr-Gewinde VDE 430
536.
- Trapezgewinde DIN 103 526 ff.
- eingängig DIN 103 527.
- fein DIN 378 528.
- grob DIN 379 528.
- Acme, Loewe, Wanderer 538, 539.
- Uhrschraubengewinde 541.
- U.S.St. (Sellers) Gewinde 545.
- Whitworth DIN 11 517.
- -Fein 1 518.
- -Fein 2 519.
- Rohrgewinde DIN 259 532.
- — für Fittings DIN 2999 533.

Glas

- künstliches 212.
- Strichmaßstäbe 444.

- Gleason 622.
- Gleichdick 452.
- Gleichlaufräsen 345.
- Gleiten, spez. 602.
- Gleitsitz 479.
- Gliederrriemen 564.
- Globoid-Schnecken 661.
- Glühen 232. v
- Glühfarben 241.
- Glühlampen 149.
- Graustein 398.
- Graphitschmierung 282.
- Grenzlehren 463, 500.
- Grenzspielzahl 127.
- Grenzwerte der Schnittgeschwindigkeit
306.
- Griechisches Alphabet 700.
- Grobpassung 480.
- Grundtoleranzen 458, 463, 474.
- Grundzeit 685.
- Gruppenantrieb 579.
- Gütegrade 457, 461.
- Gewinde 499.
- Güterwagen 93.
- Guldinsche Regel 50.
- Gummikeilriemen 565.
- Gußstück, Modellgewicht 92.

H

- Haarlineale 456.
- Haarriemen 565.
- Härtbarkeit, Kunstharze 199.
- Härte 254 ff.
- Schleifscheiben 381.
- und Abnutzung 262.
- und Bearbeitbarkeit 262.
- Härten 233 ff.
- Fehler 238.
- Öfen 234.
- Öle 284.
- Temperaturen 225.
- Temperaturmessung 239.
- Härteprüfung 254 ff.
- Anfeilverfahren 254.
- Brinell 255.
- Fallhärteprüfung 259.
- Pendelhärteprüfer 254.
- Ritz- 254.
- Rockwell 256.
- Rückprall (Skleroskop) 257.
- Schlaghärteprüfung 257.
- Vergleichstafel 260.
- Vickers 256.
- Vickers-Härtezahlen 258.
- Härteprüfverfahren 254, 255.
- Härteskala von Mohs 255.
- Härtung, gestufte, gebrochene 236.
- Warmbad- 236.
- Termal- 236.
- Haftbeiwerte 485 ff.
- Haftsitz 478.
- Haltepunktschreiber 241.
- Handelsbezeichnungen, Leichtmetalle 193.
- Kunststoffe 245.
- Handreibahnen 335.
- Handzeit 685.
- Hanfriemen 564.

Hanfseile 112.
 Hartbleirohre 177.
 Hartgewebe 205.
 Hartmetall 176, 246, 300.
 Auflöten von Plättchen 248.
 Bohren 251.
 Drehen 248.
 Drehmeißel-Schnittwinkel 248.
 Eigenschaften 246.
 Fräsen 248.
 Hobeln 248.
 Plättchen 247.
 Reiben 251.
 Reiben, Arbeitsgeschwindigkeiten 252.
 Verwendungsbereich 247.
 Werkzeuge 247, 248, 394.
 Werkzeugschäfte 247.
 -werkzeuge, Schneidwinkel 394.
 -werkzeuge, Störungen beim Arbeiten 253.
 Hartpapier 205.
 Hartverchromung 277.
 Harz, Natur- 198.
 Hauptzeit 685.
 Heizwert 167.
 Henry 138.
 Herbert 254.
 Heynau-Trieb 588.
 Hinterschleifwinkel, Bohrer 320.
 Hobeln, mit Hartmetall 248.
 Hochkantriemen 564.
 Hölzer, Festigkeitszahlen 126.
 Hohlkehlen 133.
 Holzschrauben 537.
 Honen 400.
 Hüttenhartblei 177.
 Hydronalium 181, 186.
 Hypozykloidenzähne 622.

I

Igelite 211.
 Innengewinde-Schneiden 413.
 Innenmeßgeräte 453.
 Innenmessungen 449.
 Innenräumen 404.
 Innensechskantschrauben 600.
 Interferenz-Komparator 443, 476.
 Interferenz-Methode 441.
 Interferenz-Streifen 441.
 Irotka-Verfahren 191.
 ISA-Passungen 458.
 ISA-DIN, Übersicht, Nennmaße 464.
 Isolier-Preßstoffe 201.
 Isolierstoffe 139.
 Istmaß 71.
 IZ-Flußeisen 175.

J

Jahns-Getriebe 588.
 Joule 79, 137, 156.

K

Kalkulation 686, 691.
 Kalkulationsverfahren 691.
 Kalorie 79, 156.
 Kanalbohrer 324.
 Kanonenbohrer 327.

Kapazität, elektrische 72.
 Kapazitäts-Kostenrechnung 692.
 Karat 58, 69.
 Karbamidharze 199.
 Kasein 198.
 Kautschuk 214.
 Kegel 489ff.
 Berechnung 491.
 Brown & Sharpe 494.
 Fräsdorne 359.
 Metrische 493.
 Morse 492.
 Verjüngungen 489, 490.
 Werkzeug- 489.
 Kegelräder, Belastung 630.
 Beziehungen 620, 621.
 Messung 655.
 Prüfung 628.
 Kegelreibbahnen 337.
 Kegelscheiben 576.
 Kegelsitze 134.
 Kegeltriebe 628.
 Kegelwinkel 490.
 Kehl nähte 292.
 Keile 561.
 Keilquerschnitte 562.
 Keilriemen 564, 565, 583ff.
 Kelvin 155.
 Kennfarben für Rohrleitungen 136.
 Kennzeichnung der Lehren 461, 477.
 Keramische Bindung 380.
 Kerbwirkung 129.
 Kernloch, Gewinde 411.
 Kernlochbohrer 412.
 Kerze 149.
 Kesselbaustoffe 175.
 Kettengeräte 666.
 Kettenglieder 132.
 Kilogramm 71.
 Kilogrammometer 80.
 Kilopond 71.
 Kilowatt 137.
 Kilowattstunde 156.
 Kitte, Kunstharz 207.
 Klingelberg-Gerät (Zahnform): 636.
 Zweiflanken-Abrollprüfgerät 653.
 Knickbelastung, Euler 117.
 Knickspannung, Tetmajer 118.
 Knoten 58.
 Körner 453.
 Körnung 380.
 Körperberechnung 47.
 Körper-Thermometer 438.
 Kösters 70.
 Kohlenstoffstahl 223.
 Kolb, Zahnräder 659.
 Kolorimetrie 222.
 Konstantan 139.
 Konstruktionsstahl s. Baustahl.
 Koordinaten-Meßgerät 455.
 Kopfrechnen 52.
 Korrosion 129, 267.
 Korrosions-Schutz 267, 268.
 Korund 379.
 Kosten 689, 690.
 Kostenfaktor 692.
 Kostenstellen-Rechnung 696.
 Kostenumlegung 695.

Kraft 72.
 Bezeichnungen 74.
 elektromotorische 72, 137.
 Kraftmoment 117.
 Krangleisträger 123.
 Kreis, $\frac{1}{2}$ -Abschnitt 40, 44, 46.
 -ausschnitt 44, 46.
 -berechnung 44.
 -funktionen 30.
 -inhalte 2ff.
 -umfänge 2ff.
 -Umfangsteilung 43.
 Kreisbogenzähne 622.
 Kreissägen 351, 378.
 Kubikfuß-Kubikmeter 68.
 Kühlen und Schmieren, Drehen 304.
 Kühlmittelfette 284.
 Kühlmittelöle 284.
 Kugeldruckhärteprüfung 255.
 Kugelendmaße 445, 463.
 Kugelinhalte 45.
 Kugeloberfläche 45.
 Kugellagersitze 134.
 Kunstharz 207.
 Kunstharze, Härbarkeit 199.
 Kunstharzlack 275.
 Kunstkorund 379.
 Kunststoffe 198.
 c-Werte 609.
 elektrische Werte 140.
 Übersichtstafel 215ff.
 Kupfer 176.
 Kupferbleche, Gewichte 108.
 Kupferdrähte, Gewicht- und Leitungswiderstand 112.
 Kupferlegierungen 176.
 Kupferspinndrähte 109.
 Kupplungen 134.
 Kupplungen für Wellen 590.
 Kuprodukt 177.
 Kurbelwellen 134.
 Kurzgewinde, Fräsen 424.
 Kurzprüfverfahren, Drehen 307.
 Kurzzeichen für Einheiten 79.

L

Lack 275.
 Lack- und Farbanstriche 190.
 Lacke, Kunstharz 207.
 Ladegewicht der Güterwagen 93.
 Ladung, elektr., Bezeichnungen 78.
 Lager, Preßstoff 205.
 Länge
 Ausdehnungszahl 160.
 Bezeichnungen 73.
 Längenmaße 69.
 Läppdorn 398.
 Läppen 397.
 der Zahnräder 660.
 Läppwerkzeuge 399.
 Lagerweißmetalle 177.
 Lamellen-Kupplung 590.
 Lampe 70.
 Lampen
 Glüh- 149.
 Metaldampf- 149.

Lampen
 Bogen- 150.
 Gasglühlicht- 150.
 Langgewinde 423.
 Laufbohrer 328.
 Laufsitz 479.
 Lauf-Thoma-Getriebe 588.
 Lautal 186.
 Lebensdauer von Zahnradern 607.
 Ledeburit-Stahl 226.
 Lederriemen 563.
 Leerlauf-Drehzahlen 674.
 Leesen (Rückprallhärteprüfer) 257.
 Lehrdorne 463.
 Lehren 457, 500.
 Leichter Laufsitz 479.
 Leichtmetalle 179.
 Bearbeitung 302.
 Feinstbearbeitung 305.
 Oberflächenbehandlung 190.
 Legierungen, Übersichtstafel 193ff.
 Leichtmetallsorten, Drehbarkeitsziffern 306.
 Leime, Kunstharz 207.
 Leinölfarben 275.
 Leistung 72, 690.
 Leistungsmessung, elektrische 144.
 Leitfähigkeit 138.
 Leitrolle 583.
 Leitungen, Kupferquerschnitt 144.
 Leitungsmetalle 138.
 Leitungswiderstand von Kupferdrähten 112.
 Leonard-Schaltung 143.
 Leuchtdichte 148.
 Leuchtfarben 153.
 Leuchten 150.
 Libellen, Wasserwaagen 447.
 Licht, Einheiten 148.
 Lichtbogenschweißung (Slavianoff) 288.
 Lichtquellen 149.
 Lichtschnittverfahren 456.
 Lichttechnik 148.
 Bezeichnungen 76.
 Lichtwellenlängen 70.
 Lignofol 207.
 Lineale 437.
 Linksschweißung 285.
 Linters 230.
 Liter 71.
 Litergewicht 91.
 Löten, Aluminium 188.
 Logarithmen
 Basis der natürlichen 51.
 Briggsche 27.
 Natürliche 27.
 Logarithmische Drehzahlbilder 679.
 Lorenz, Zahnradbearbeitung 659.
 Losscheibe 583.
 Ludolphsche Zahl 51.
 Lufthebel 451.
 Lüftmutter 451.
 Luftdruck 81.
 Luftschutz 153.
 Luftvorwärmung 171.
 Luftüberschuß 169.
 Luvican 209.
 Lux 76, 148.

M

μ = Mikron 69. 70.
Maag-Gerät, Zahnform 636.
Maag, Zahnräder-Bearbeitung 659.
Zweiflanken-Abrollprüfgerät 653.
Mackensen-Lager 393.
Magnesium 183.
-legierungen 183.
Magnet
Platten 390.
Schaltkupplung, Bamag 591.
Magnewine 183.
Mahr, Zweiflanken-Abrollprüfgerät 653.
Mahr-Siemens-Gerat 449.
Mandura 177.
Martens 254.
Martensit 223.
Maschinenmesser 407.
Schärfen 408.
Maschinenreibahnen 335.
Maschinenzeit 685.
Masse 71.
Bezeichnungen 73.
Massen (Gewichte) 69.
Maß- und Gewichts-Gesetz 70.
Maßabweichungen für Stab- und Breit-
flachstahl 106.
Maße und Gewichte verschiedener Länder
56 ff.
metrische 69.
Maßeinheiten, CGS-System 72.
Maßstäbe 435.
Maßsystem, metrisches 70.
Mathematische Zeichen 55.
Materialzuschlag 696.
Maurer 587.
MBV-Verfahren 191, 273.
Mechau 456.
Meile 56, 58.
Meisträder 655.
Meißel
Automaten 313.
-halter 315.
Revolverdrehbänke 313.
Menge, Bezeichnungen 73.
Meßgenauigkeit 439.
Meßgeräte
für Zeit 687.
Innen- 453.
Meßhütchen 451.
Meßkraft 440.
Meßmaschinen 455.
Meßmikroskop, Werkzeug- 454.
Meßraum 438.
Meßscheiben 476.
Meßschnäbel 445.
Meßtemperatur 71.
Meßuhren 449.
Meßunsicherheit 439.
Messen 438 ff.
Grundlagen 438.
Gewinde 496.
Kegelräder 655.
beim Schleifen 387.
Zahnräder 633.
Messer 407.
-köpfe 350.

Messerlineale 456.
Messing 176.
-bleche, Gewichte 108.
-rohre 113.
Metallkreissägen 378.
Schärfen 378.
Metall-Lack 275.
Metallplatten, Gewicht 105.
Metallplastik 209.
Metalluk-Kupplung 597.
Metallspritzen 271.
Meteranschluß 70.
Meterkonvention 70.
Meterdefinition 70.
Methylenchlorid 212.
Metrische Kegel 493.
Michelson 70.
Mikrolux 449.
Mikrotast 448.
Millibar 81, 82.
Millimeter-Zoll 63.
Mineralische Bindung 381.
Minimeter 448.
Mipolam 209, 211.
Miramant 247, 301.
Mittelbleche 108.
Modul 602, 608.
Moment 117.
magnetisches 72.
Monelgußeisen 174.
Molybdän 175.
Morse-Alphabet 700.
Morse-Kegel 492.
Motore, elektrische 141 ff.
Multiplikation, abgekürzte 53.

N

Naben 134.
Nabensitze 134.
Nachkalkulation 693.
Nachstellbare Reibahnen 336.
Nahtschweißung 290.
Natürliche Logarithmen 2ff.
Nebenzeit 685.
Nendrehzahlen, Vollast 675, 676.
Nennmaß 71.
Nettotonnengehalt 59.
Neugrad und Altgrad 79.
Nickel 178.
-legierungen 178.
Niemann-Rutsch-Kupplung 591.
Niete 559.
Sinnbilder 560.
Nietverbindungen 131.
für Leichtmetalle 185.
Niles, Zahnräder 659.
Nitrierhärten 244.
Normalelement 137.
Normalmodul 623.
Normalteilung 623.
Normaltemperatur 71.
Normschrift 700.
Normungszahlen 673 ff.
Norton-Skale 381.

O

OCE-Baustähle 176.
Oberflächenbearbeitung 129.

Oberflächenbehandlung von Leichtmetallen 190.
 Oberflächengüte 304.
 Oberflächenprüfungen 456.
 Oberflächenschutz 267 ff.
 Anstriche 274.
 bei Leichtmetallen 273.
 metallische Überzüge 269.
 nichtmetallische Schutzschichten 272.
 Oxydschichten 272.
 Phosphatschichten 272.
 Reinigen 269.
 Öfen, Anlaß- 234.
 Härte- 234.
 Öle 279.
 Anlaßöle 284.
 Einteilung 281.
 Erhaltung 284.
 gefettete 280.
 Härteöle 284.
 Herkunft 279.
 Kühlmittelöle 284.
 mineralische 279.
 Pflege 284.
 Schneidöle 283.
 Untersuchung 281.
 Ölhärter 239.
 Ohmsches Gesetz 137.
 Oil-Gear-Getriebe 588.
 Optik, Bezeichnungen 76.
 Optimeter 449.
 Optischer Rundtisch 447.
 Teilkopf 370, 447.
 Orthotest 448.
 Oxydieren 272.

P

π 51.
 Palloldräder, Belastung 631.
 Palloidverzahnung 623.
 Beziehungen 624, 626.
 Herstellung 626.
 Pantal 185.
 Panzerrohrgewinde 536.
 Papierformate 701.
 Parallaxe 440.
 Parallel-Endmaße 435, 444.
 Parker-Verfahren 272.
 Parkson, Zweiflanken-Abrollprüfgerät 653.
 Passameter 449.
 Passimeter 449.
 Passungen
 Anwendungsbeispiele 478.
 Rund- 457 ff.
 DIN- 457.
 Gewinde 496.
 ISA- 458.
 Passungslehre HK 449, 454.
 Peka-Glas 212.
 Perbunan 214.
 Pergut-Lack 275.
 Peiseler-Diagnostiker 687.
 Perlit 223.
 Pendelprüfverfahren 656.
 Pendelreibahnen 335.
 Pfauter-, Zahnradbearbeitung 659.
 Pfeilverzahnung 616.
 Pferdestärke-Kilowatt 79, 141.

Phenoplaste 198.
 Photometer 222.
 Pitch 603/604.
 Pittler-Getriebe 588.
 PIV-Trieb 587.
 PK-Trieb 588.
 Plättchenmeißel 315.
 Planglasplatten 441.
 Platten 437.
 Platzkostenrechnung 697.
 Plattierte Werkstoffe 182.
 Plexi-Glas 212.
 Plexigum 212.
 Poldi-Hammer 259.
 Polieren 190.
 Polstärke, magnetische 72.
 Poppelreuter Arbeits-Schauuhr 687.
 Potential, elektrostatisches 72.
 Preis (Kegelräder) 622.
 Preispolitik 698.
 Pressen, für Preßstoffe 204.
 Preßguß 187.
 Preßpolieren 397.
 Preßsitze 478, 484.
 Preßstoffe 198 ff.
 geschichtete 204, 206.
 Preßstoff-Lager 205.
 Primzahlen 22.
 Profil, Eisenbahn 93.
 Profildwerfer 455.
 Profilverschiebung 605.
 Profilverzerrung 314.
 Projektoren, Feinmeß- 455.
 Proportionalitätsgrenze 115.
 Prüflehren 476, 477.
 Prüftemperatur 71.
 Prüfung, Meßgeräte 440.
 auf Ebenheit 441.
 feinmechanischer Zahnräder 657.
 PTR. = Phys.-Techn. Reichsanstalt 70.
 Pulvis-
 Anlaufkupplung 591.
 Kupplung 597.
 Punktschweißung 291.
 Puppitast 448.
 Pyroduer 175.
 Pyrometer 158, 240.

Q

Quadratstahl, Gewichtstafel 94.
 Quadratzoll-Quadratmillimeter 66.
 Qualitäten, Sitz- 458.
 Quarzale 181.
 Quecksilbersäule 81, 82.
 Querbohrungen 134.
 Querschneide 321.
 Quetschgrenze 115.

R

Rachenlehren 463, 476, 503.
 Raummaße 69, 71.
 Raumwinkel 72.
 Räumen 396, 400.
 Anwendungsbereich 400.
 Außenräumen 405.
 Innenräumen 404.
 Räummaschinen 405.

Räumen
 Räumvorrichtungen 404.
 Räumwerkzeug 402.
 Schmier- und Kühlmittel 404.
 Schnittgeschwindigkeit 404.
 Wirtschaftlichkeit 401.
 Zahnfolge 403.

Räumwerkzeug, Gestaltung 402.
 Pflege und Handhabung 406.

Rechenhilfen 52.
 Rechtsschweißung 285.
 Reduzierventile, (Druckminder-Ventile) 287.

Refa 684.

Reg. Tonnen 59.

Reibahlen 333ff.
 Befestigung 357.
 Hand- 335.
 Kegel- 337.
 Maschinen- 335.
 Nachstellbare 336.
 Schärfen 360.
 Schnittgeschwindigkeiten 337.
 mit Hartmetall 252.
 Vorschübe 337.

Reiben 318, 333.
 mit Hartmetall 251.
 mit Hartmetall, Arbeitsgeschwindigkeiten 252.
 Spülen 252.

Reibungskupplungen 590, 592.
 Reibungsziffer (Riemen) 571.
 Reibwerte 594.
 Reinecker, Zahnräderbearbeitung 659.
 Reiterlehren 453.
 Resite, C-Harze 199.
 Resitole, B-Harze 199.
 Resole, A-Harze 199.
 Restbruchzone 126.
 Restquerschnitt 295.
 Revolverbänke, Meißel 313.
 Reziproke Werte 2ff.
 Rheinit 247, 301.
 RH-Stähle 175.
 Riemen 563.
 Riemenscheiben, Ausführung 580.
 Riementriebe 563, 567.
 Riemenverbindung 566.
 Riffelstahl 228.
 Ritzhärteprüfung 254.
 Röhrenlibelle 447.
 Rohre, Gewichte 107.
 Rohrleitungen, Kennfarben 136.
 Rollenkette 666.
 Rollennahtschweißung 291.
 Rollieren 397.
 Rockwell 256.
 Rostschutz s. Oberflächenschutz.
 Rotguß 176.
 Rückprallhärteprüfung 257.
 Rüstgrundzeit 684.
 Rüstzeit 684.
 Rundkerben 134.
 Rundlauffehler 452, 651.
 Rundriemen 564.
 Rundstahl, Gewichtstafel 94.
 Rundteiltisch (Lindner) 447.

Rundtisch, optischer 447.
 Rutschkupplung 591.
 Niemann 591.

S

Sägediagramm 303.
 Salzbad 235.
 Sauerstoff 286.
 Säurer, Einflanken-Abrollprüfgerät 652.
 Schaben 396.
 Schärfen, Maschinenmesser 408.
 Schalter, elektrische 145.
 Schaltzeug 595, 596.
 Scheibenfedern 561.
 Schicht (Kegelräder) 622.
 Schiebesitz 479.
 Schieblehren 436, 445, 644.
 Schiefermehl 398.
 Schlaghärteprüfung 257.
 Schleifen 379ff.
 Aufspannen 390.
 Einspannen 387.
 Einstechschleifen 388.
 Fehler 391.
 Fein- 396.
 Flächenschleifen 388, 396.
 Form- 396.
 von Gewinde 396, 432.
 Innenschleifen 388.
 von Leichtmetall 190.
 — Maschinenmesser 408.
 Rund- 396.
 Schnittgeschwindigkeiten 385.
 Spantiefe 386.
 spitzenloses 390.
 — Einstechschleifen 391.
 mit Stirnschleifkopf 389.
 Trennschleifen 391.
 Trocken- und Naß- 384.
 mit Umfangschleifrad 389.
 Vorschub 386.
 Schleiffunkenprobe 265.
 Schleifmaschinen, Spiralbohrer- 321.
 Schleifmittel 379.
 Schleifscheiben 379ff.
 Abrichten 387.
 Auswahl 382.
 Auswuchten 384.
 Befestigung 383.
 Schlichtgleitsitz 480.
 Schlichtlaufsitz 480.
 Schlichtpassung 480.
 Schlichtstahl 312.
 Schlüsselweiten 556.
 Schlupf 571.
 Schlußverbindung, Riemenschluß 566.
 Schmelzpunkte 161.
 Schmelzwärme 165.
 Schmiergeräte 283.
 Schmiermittel 279.
 Auswahl 281.
 Einteilung 280.
 Fette 280.
 Graphitschmierung 282.
 Herkunft 279.
 Öle 279.
 Schneidöle 283.
 Untersuchung 281.

- Schmiernuten 282.
 Schmiersysteme 283.
 Schmierung
 Gleitlager 281.
 Preßstofflager 282.
 Wälzlager 282.
 Schneckengetriebe 661.
 Schneckenschleifmaschine 665.
 Schneideisen 422.
 Schneidenflächen, Drehmeißel 311.
 Schneidenwinkel, Drehmeißel 311, 312.
 Schneidkopf 422.
 Schneidmetalle s. Hartmetalle.
 Schneid-Öle 283.
 Schneidstoffe 300.
 Schnelldrehzahlen 677.
 Schnellfrequenzen 677.
 Schnellstahl 226, 300.
 Anlassen 237.
 Gewicht 97, 98.
 Härten 233.
 Schnittgeschwindigkeit 297, 301, 305.
 Schnittgeschwindigkeiten
 Gewindeschneiden 414.
 für Hartmetall 250.
 — Preßstoffe 208.
 Schnittkräfte 296.
 Schoop-Verfahren 271.
 Schrägungswinkel 606.
 Schrägverzahnung 605, 616.
 Schrauben 130.
 Eisengewinde- 549.
 für Holz 537.
 Sinnbilder 555.
 -belastungen, 555.
 Berechnung 555.
 Dauerfestigkeit 130.
 Durchgangslöcher 557.
 -federn 132, 680.
 -räder 616.
 — Beziehungen 615.
 -triebe 606.
 Schraublehren 436, 446.
 Fühlhebel- 454.
 Innen- 446.
 Zahnweiten 650.
 Schraubverbindungen für Leichtmetalle
 185.
 Schrumpfsitze 484.
 Schruppmeißel 312.
 Schubspannung 116.
 Schutzgasschweißung, Arcatomschweißung
 290.
 Schwarz, Härteprüfung 259.
 Schwarzherz-Guß (Temperguß) 175.
 Schweißen, Leichtmetalle 189.
 Schweißnähte, Zeichnungsnorm für 292,
 293.
 Schweißverbindungen 131.
 Schwellenwert 440.
 Schwere, Beschleunigung 72.
 Schwerpunktsabstände 119.
 Schwindmaße 161.
 Schwitzkorrosion 267.
 Sechskantstahl, Gewichtstafel 94.
 Seelenelektroden 289.
 Seemeile 58.
 Segerkegel 159.
 Sehnenlängen für Halbmesser 1, 40.
 Seile, Gewichte und Bruchfestigkeit 112.
 Seidenriemen 564.
 Selbsttätige Meßgeräte 453.
 Selbstkostenrechnung, industrielle 689.
 Senken 318, 331.
 Senker
 Befestigung 357.
 Formen 331.
 Seo-Photoverfahren 192.
 Sheradisier-Verfahren 271.
 Sicherheitskupplungen 597.
 Sicherungen 144, 145.
 Sicufal 177.
 Sicudur 177.
 Siedepunkte 161.
 Siegling-Riemen 565.
 Silberschläuche 212.
 Siliziumbaustähle 175.
 Siliziumkarbid 379.
 Silumin 181.
 Simpsonsche Regel 50.
 Sinnbilder
 für Niete 560.
 — Schrauben 555.
 Sitzfamilie 463.
 Skalenteilgröße 439.
 Skalenwert 439.
 Skleroskophärte 257.
 Slavianoff, Lichtbogenschweißung 288.
 Solex-Verfahren 450.
 Sollmaß 71.
 Sondermeßmittel 453.
 Sorbit 223.
 Spanmenge, Fräsen 341.
 Spannrollen 573, 583.
 Spannungsbeseitigung 236.
 Spanquerschnitt 295.
 Spantiefe für Hartmetall 250.
 Sparbronzen 177.
 Sparweißmetalle 177.
 Sperrfilter 153.
 Spektrograph 222.
 Sperrholzplatten 207.
 Spez. Gewichte 88.
 Bestimmung 87.
 Spiegelguß 175.
 Spione 456.
 Spiralbohrer 319.
 Ausspitzen 321.
 Behandlung 324.
 für Blechpakete 323.
 Drall 319.
 Drehmoment 326.
 mit Hartmetallschneiden 323.
 Fase 320.
 Hinterschleifwinkel 320.
 Instandhaltung 324.
 Kupfer 322.
 Kunststoffe 323.
 Leichtmetalle 322.
 Marmor 323.
 Messing 323.
 Nettoleistung 326.
 Prüfen 322.
 Schiefer 323.
 Schleifen 321.
 Schnittgeschwindigkeiten 329.

Spiralbohrer
 Schnittleistung 325.
 Sonderausführungen 322.
 Spitzenwinkel 320, 322.
 Vorschübe 329.
 Spiralkegelräder 622.
 Spiralmikrometer 455.
 Spiralschnecke 661.
 Spiralsenker 331.
 Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe 332.
 Spitzbohrer 399.
 Spitzenloses Schleifen 390.
 Spitzenspiel 497.
 Spitzenwinkel, Bohrer 320.
 Spitzkerben 134.
 Spitzsenker 332.
 Springkeil-Kupplung 598.
 Spritzen von Metall 271.
 Spritzgußlegierungen 178, 179, 186, 187.
 Spritzgußverfahren, Zahnräder 658.
 Stabköpfe 132.
 Stabstahl, Maßabweichungen 106.
 Ständer, Feintaster 452.
 Stahl 176, 222.
 abgestandener 232.
 Aluminium 186.
 eutektoider 224.
 gekupfert 175.
 Innengewindeschneiden 413.
 für Kaltarbeits-Werkzeuge 229.
 Reinigung 238.
 für Warmarbeits-Werkzeuge 230.
 verbrannter 232.
 verglühter 232.
 s. a. Baustahl.
 s. Drehmeißel.
 s. Werkzeugstahl.
 Stahlbandantrieb 579.
 Stahldraht, Stubs 109.
 Stahlguß 175.
 Stahllineale 437.
 Standzeit, Drehmeißel 297.
 Steigung 497.
 Steigungsprüfung 511.
 Stichmaße 446.
 Stiftlochreibahnen 337.
 Stirnmodul 623.
 Stirnräder, Beziehungen 610.
 Stirnteilung 623.
 Stockpunkt 281.
 Störungen, Elektromotor 146.
 Stoppuhr 687.
 Strahler, Innengewindeschneiden 413.
 Streckgrenze 115.
 Streichlack 275.
 Streuung 440.
 Strichmaßstäbe 435.
 Glas 444.
 Stromag-Kupplung 590.
 Stromstärke
 elektrische 137.
 elektromagnetische 72.
 Stromverbrauch, Elektromotor 144.
 Stubs-Stahldraht 109.
 Stückkalkulation 686.
 Stückfolgezeit 684.

Stückzeit 684.
 Stufenscheiben 577.
 Stufensprünge 678.
 Stumpfnähte 290.
 Stumpfschweißung 291.
 Sturm-Getriebe 588.

T

Tangens 32.
 Tangentialmeißel 313.
 Taster 456.
 Tauchen 270.
 Taylor-Grundsatz 502.
 Taylor-Schneiden 312.
 Tego-Film 207.
 Tegowirofilm 207.
 Teilfehler, Einzel- 639.
 Summen- 639.
 Teilkopf
 Arbeiten 365.
 Einstellung 371.
 Einstellwinkel 373 ff.
 optischer 370, 447.
 Teilungsfehler 639.
 Eingriffs- 639.
 Teilkreis- 639.
 Teilungsmessung 641.
 Zeiss 642.
 Teilungsprüfgerät von Mahr 642.
 Teilverfahren 365.
 Differential 366.
 Temperatur 71, 438.
 -ausgleich 438.
 Bezeichnungen 75.
 Flamm- 170.
 Grenz- 170.
 -meßgeräte 240.
 -messung 154.
 Tempergußsorten 175.
 Termalhärtung 176.
 Tetmajer, Knickspannung 118.
 Thermisilid 175.
 Thermitschweißung 285.
 Thermoelement 240.
 Thermometer 155, 156, 438.
 Thoma-Getriebe 588.
 Tiefenschieblehren 445.
 Tieflochbohrer 327.
 Schnittgeschwindigkeiten-Vorschübe 331.
 Titanit 247, 301.
 Toleranzeinheit 458.
 Tonerde 398.
 Tordal 182.
 Torr 81.
 Träger 112, 123.
 Trägheitsmomente 72, 117, 119.
 Trapezgewinde, Gewindestahl 419.
 Treibkette 666.
 Treibsitz 478.
 Trenn-Schleifen 391.
 Trisal-Schering-Verfahren 191.
 Trivalith 182.
 Trolit 209.
 Trolitul 209, 211.
 Troostit 223.
 Tropfpunkt 281.
 Tuschieren 396.

Tuschierlineale 437.
T-v-Kurve 297.

U

Überdeckungsgrad 602.
Überholkupplung 597.
Übersetzung 440.
Uhlhorn-Kupplung 597.
Ultra-Optimeter 449.
Umgrenzung, Haupt- und Nebenbahnen 93.
Umkehrpunkt 453.
Umkehrspanne 450, 452.
Umrechnung Zoll — Millimeter 60ff.
Ungleichteilung der Reibbahnen 334.
Universal-Meßmikroskop 455, 511.
Untermaße für Senker 332.
Unterschnitt 602.
Urkilogramm 71.
Urmaße 476.
Urmeter 70.

V

Vegetabilische Bindung 380.
Ventilgewinde für Gasflaschen 531.
Verbrauch 689.
Verbrennung, Formelzeichen 166 ff.
Verchromung 277.
 Maschinenteile 277.
 Meßwerkzeuge 277.
 Schneidwerkzeuge 278.
Verdampfungswärme 165.
Verfahrenszuschlag 694, 696.
Vergüten 237, 244.
Vergütungs-Stähle 176.
Verlustzeit 685.
Verschleißmarkenbreite 302.
Versticken 244.
Verzähnen 236.
Verziehen 290.
Vickers 256.
 Härtezahlen 258.
Vieleck-Berechnung 42.
Vielzahn-Kupplung 598.
Vierkante 554.
Vinylverbindungen 211.
Viskosität 280.
Vogels Sparbeize 269.
Voith-Maurer-Kupplung 590.
Vollast-Nenn Drehzahlen 675, 676.
Volt 137.
Volumen, Bezeichnungen 73.
Vorkalkulation 684, 693.
Vorlasthärteprüfung 256.
Vorschub
 Bohren 329.
 Drehen 298, 301.
 Fräsen 344.
 Hartmetalle 250.
 Schleifen 385, 386.
 Stufung 699.

W

Wälzlagerpassungen 482.
Wälzpunkt 602.
Wärme 72, 154.
Wärmeausdehnung 438.

Wärmemenge, Bezeichnungen 75.
Wärmeleitfähigkeit 163.
Wärme, Schmelz- 156, 165.
 spez. 156, 165.
 Verdampfungs- 156, 165.
Warmbarter 226.
 Austenitische Stähle 226.
 Doppelkarbid-Stähle 226.
 Ledeburit-Stähle 226.
 Luft- 226.
 naturharte Stähle 226.
 Martensitische Stähle 226.
 Öl- 226.
 Perlitische Stähle 226.
 Schnellstähle 226.
 Selbstarter 226.
Walzenpressung 607.
Warmbehandlung, von Stahl 232.
Wassergasschweißung 285.
Wassersäule 81, 82.
Wasservorlage 287.
Wasserwaagen (Libellen) 447.
Wate 407.
Watt 137.
Wattsekunde 79, 137.
Wattstunde 137.
Wechselräder 431.
 Gewindeschneiden 428.
Wechselstrom 138.
Weiter Lausitz 480.
 Schlichtlaufsitze 480.
Wellen 132.
Wellenkupplungen 590.
Wemax-Trieb 565.
Werkzeugkegel 489.
Werkzeugmeßmikroskop 454, 509.
Werkzeugstahl 176, 222 ff.
 Abschrecken 335.
 Altern 236.
 Anlassen 236.
 Anlaßtemperatur, Kontrolle 237.
 Auswahl 227, 229.
 Auswahl für Schneidwerkzeuge 227.
 Chem. Zusammensetzung 222.
 Entspannen 236.
 für federnde Werkzeuge 231.
 Gefüge 222, 224.
 Härten 233.
 Härten, Fehler 238.
 Härtetemperaturen 225, 233.
 Herkunft 223.
 für Kaltarbeits-Werkzeuge 229.
 Kohlenstoffstahl 223.
 Legierter 225.
 mech. Eigenschaften 222.
 für Meß-Werkzeuge 231.
 Nachlassen 236.
 Phys. Beschaffenheit 222.
 praktische Erprobung 222.
 Prüfung 222.
 Schnellstahl 226.
 Sonderstahl 228.
 Vergüten 237, 244.
 Verzähnen 236.
 für Warmarbeits-Werkzeuge 230.
 Warmbehandlung 232, 245.
 Warmbehandlung, Reinigen 238.
Werner, Schlaghärteprüfer 257.

Weston Normalelement 137.
Wichte 71, 73.
Widerstände, Werkstoffe 138.
Widerstand, Durchschlags- 141.
 elektr. 137.
 elektrischer, Bezeichnungen 78.
 elektromagnetischer 72.
 von Flüssigkeiten 139.
 Leitungs- 138.
Widerstandslegierungen 175.
Widerstandsmomente 117, 119.
Widerstandsschweißung 291.
Widia 247, 301.
Winkelfunktionen 34.
Winkelkorrektur 623.
Winkel, Lineale, Richtplatten 456.
Winkelmessung 447.
Winkel, Stahl- 456.
Wohlerkurven 127.
Wülfel-Getriebe 587, 588.
Wüst-Bardenheuer Härteprüfung 259.

Y

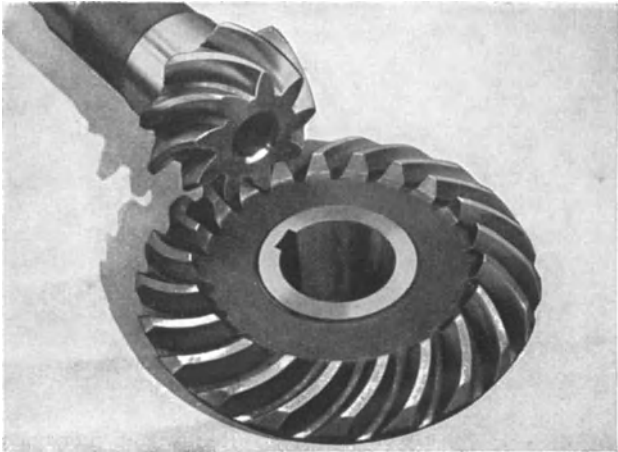
Yard 56, 58, 60.

Z

Zähflüssigkeit 281.
Zahndicke, Messung 644.
Zahnformfehler 634.
Zahnformräser 658.
Zahnkette 661.
ZF, Einflanken-Abrollprüfgerät 652.
Zahnradpumpen 588.
Zahnradler 600, 659.
 Bearbeitung 659.
 Berechnung 607.
 Biegebeanspruchung 608, 609, 613.
 Gesamtfehler 651.

Zahnräder
 gestanzte 658.
 gezogene 658.
 Kegelrader 617 ff.
 Messen 633.
 Schraubenrader, Beziehungen 615.
 Stirnrader, Berechnung 612.
 Stirnräder, Beziehungen 610.
 Teilverfahren 658.
Zahnrichtungsfehler 651.
Zahnweite 647, 648.
Zahnweiten-Schraublehre 650.
Zapfensenker 332.
Zapon-Lack 275.
Zeichen, mathematische 55.
Zeichnungsnormen für Schweißnähte 292.
 293.
Zeit, Bezeichnungen 74.
Zeitaufnahme 259, 688.
 Auswerten 688.
Zeitbegriffe 684.
Zeitermittlung 685.
Zeitmeßgeräte 687.
Zellulose 198, 210.
Zement 210.
Zementieren 241.
Zementit 223.
Zink 177.
Zinkblechlehren 109.
Zinkdrahtlehre, engl. 109.
Zinklegierungen 177.
Zinn 177.
Zinnlegierungen 177.
Zoll, amerikanischer 60.
 englischer 60.
 -Millimeter 60, 64.
Zuschlagkalkulation 693.
Zweiflanken-Abrollprüfgerät 653.
Zykloldenprofil 600.

Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.



Klingelberg-Werkzeugmaschinen

1. Kegelarad-Verzahnmaschinen, Zahnrad-Läpp- und Härtemaschinen, Schneckenschleifmaschinen.
2. Maschinen zum Scharfschleifen von Wälzfräsern.
3. Maschinen und Geräte zum Prüfen und Messen von Zahnrädern und Kugellagern.

Vor mehr als 15 Jahren ist es den deutschen Ingenieuren Schicht und Preis gelungen, die vielfach vergeblich in Angriff genommene Aufgabe, Kegelaräder im Wälzfräsverfahren mittels schneckenförmigem Wälzfräser zu erzeugen, auf herstellungstechnisch überraschend einfache Weise zu lösen. Von dieser Erfindung führte die Entwicklung zu den in den Bildern 1 und 2 dargestellten Wälzfräsmaschinen für Palloid-Spiralkegelräder.

Durch ein eingebautes stufenloses Getriebe wird bei diesen Maschinen mit dem Fortschreiten des Bearbeitungsvorganges, wenn allmählich die Zähne am dünneren Ende des kegel-förmigen Fräasers vorwiegend zum Arbeiten kommen, selbst-tätig die Fräserdrehzahl gesteigert. Dadurch wird die Schnitt-geschwindigkeit während des ganzen Bearbeitungsvorganges auf der günstigsten wirtschaftlichen Höhe gehalten.



Bild 1. Verzahnen eines Kegelrad-Ritzels auf einer Klingelnberg-Walzfrasmachine.

Die Bedienung der Maschine erfordert nach dem Aufbringen des Werkstückes nur das Heranbringen des Fräasers an das Werkstück; nach dem Einschalten durch einen Druckknopf vollziehen sich dann alle weiteren Vorgänge selbsttätig, einschließlich des Schnellrücklaufes des Werkstückes in die Ausgangsstellung und des Ausschaltens nach Beendigung der Bearbeitung.

Palloid-Spiralkegelräder finden heute sowohl im Kraftwagenbau als auch im Maschinenbau vielseitige Verwendung. Rennwagen, Personewagen und Lastwagen, Werkzeugmaschinen, Textilmaschinen und landwirtschaftliche Maschinen, schwere Schiffswendetribe und schnelllaufende Rotationspressen sind mit Palloid-Spiralkegelrädern ausgerüstet.

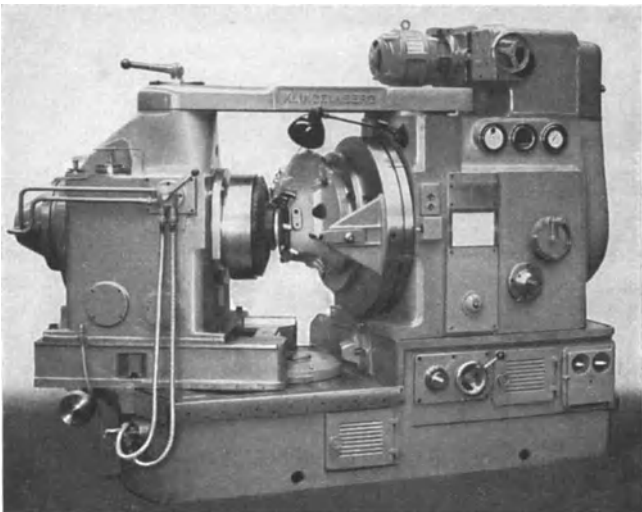


Bild 2. Selbsttätige Walzfrasmachine für Klingelnberg-Palloid-Spiralkegelräder.

Im Zuge dieser Entwicklung entstanden ferner die Maschinen zum Härten und Lappen von Kegelrädern, sowie Stirn- und Schraubenrädern, mit denen ebenfalls grundsätzlich neue Wege beschritten wurden.

In der Härtemaschine, Bild 3, wird das zu härtende Werkstück während des Abkühlens durch einen Preßölstrom

zwischen seiner Form entsprechenden Matrizen gemittet und durch Festspannen zwischen Masken am Verziehen gehindert.

Der Härtevorgang ist in zwei Arbeitsstufen unterteilt:

In der ersten Stufe wird das glühende, noch nicht festgespannte Rad durch Überfluten mit gekühltem Öl bis zu einem erfahrungsgemäß bestimmten Grad vorgekühlt. In der zweiten Stufe wird es durch den Druckstempel hydraulisch zwischen den Matrizen festgespannt und durch weiteres Umspülen mit Öl vollständig abgekühlt.

Der Ablauf der Arbeitsvorgänge vollzieht sich selbsttätig. Nach dem Auflegen des Härtegutes ist lediglich durch Umliegen eines Hebels der Arbeitsgang einzuleiten.

Die Klingelberg-Zahnrad-Läppmaschinen, Bild 4 und 5, arbeiten nach dem Schwingungsläpp-Verfahren, um die geläppten Räder verlagerungsunempfindlich zu machen. Durch bestimmte Zusatzbewegungen zur Abrollbewegung der Räder werden — abgesehen von der

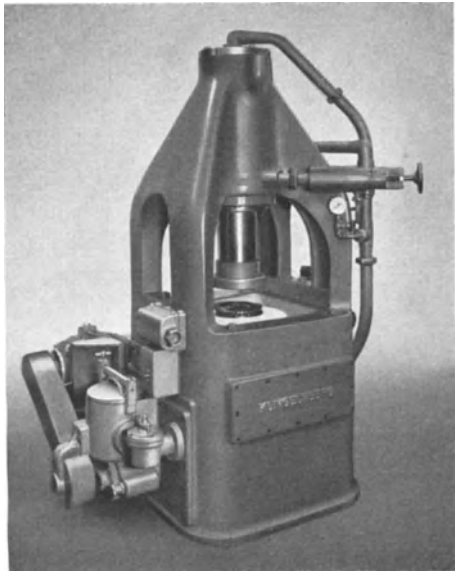


Bild 3. Hydraulische Hartemaschine mit Vorkühlung nach dem Preßstrom-Verfahren.

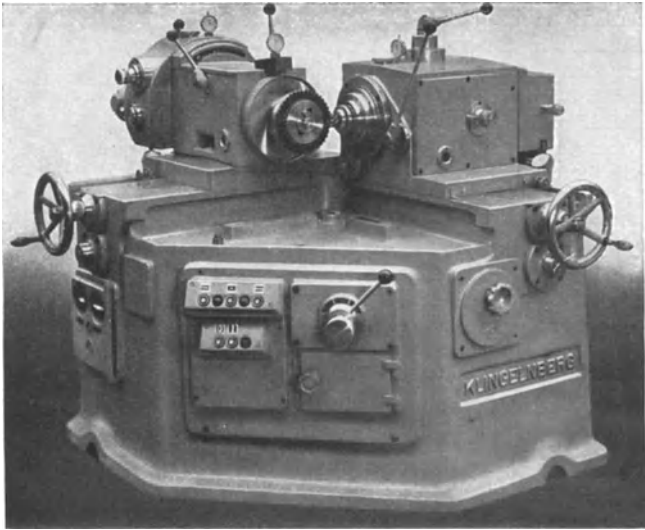


Bild 4. Zahnrad-Läppmaschine nach dem Schwingungslapp-Verfahren.

durch das Läppen erreichten großen Verbesserung der Oberflächengüte — diejenigen Flankenteile von vornherein fortgeläppt, die beim unstarren Einbau der Räder am Verwendungsort Anlaß zu Störungen und übermäßigem Geräusch geben würden.

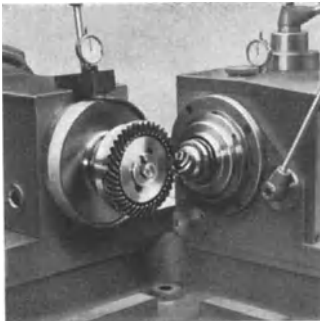


Bild 5. Läppen eines Kegelradpaares auf der Maschine, Bild 4.

Sowohl die Läppmaschine, wie auch die Härtemaschine, eignen sich für Zahnräder aller Art.

Die Schnecken-schleifmaschine, Bild 6 und 7, arbeitet nach dem Vergleichsschleif-Verfahren. Die Schnecken werden entsprechend dem Verwendungszustand des Schneckenradfräasers, der mit Hilfe von auf der Maschine selbst angebrachten Meßinstru-

menten festgestellt wird, geschliffen.

Auf der Maschine sind folgende Bearbeitungen möglich:

1. Schleifen einer Flanke im Hingang, Leerlauf im Rückgang.
2. Schleifen einer Flanke im Hingang, darauf Schleifen der gleichen Flanke im Rückgang.
3. Schleifen einer Flanke im Hingang und Schleifen der Gegenflanke im Rückgang.
4. Gleichzeitiges Schleifen beider Flanken im Hin- und Rückgang.

Durch diese vielseitige Einstellmöglichkeit kann die Schleifarbeit den unterschiedlichsten Anforderungen an-

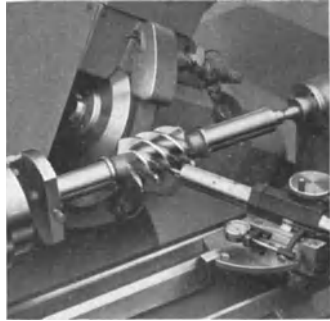


Bild 6 Vergleichsmessen einer mehrgangigen Schnecke auf der Klingelberg-Schneckenschleifmaschine, Bild 7.

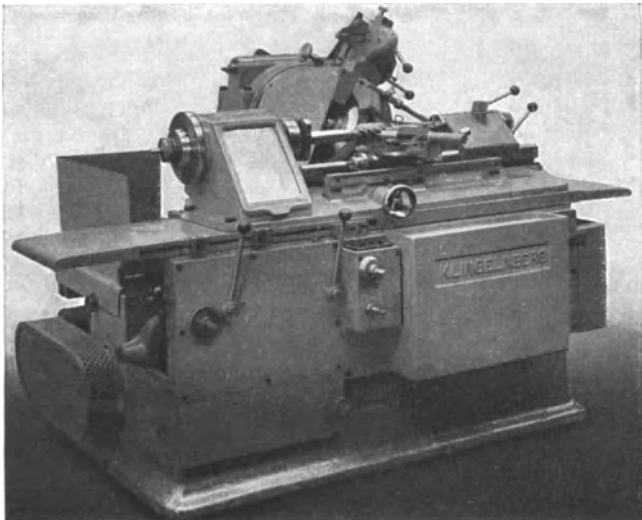


Bild 7. Selbsttätige Schneckenschleifmaschine nach dem Vergleichsschleif-Verfahren.



Bild 8. Selbsttätige Werkzeug-Scharfschleifmaschine.

gepaßt werden. Die Möglichkeit, beide Flanken gleichzeitig zu bearbeiten, ergibt außerordentlich günstige Bearbeitungszeiten.

Anlaß zum Bau der selbsttätigen Werkzeug-Scharfschleifmaschine, Bild 8 und 9, war die Beobachtung, daß vielfach mit den besten Wälzfräsern nur unbefriedigende Ergebnisse erzielt werden, wenn sie ungenau scharfgeschliffen sind. Durch besonders ausgebildete Schalt- und Spannvorrichtungen ist der Fräser beim Schleifen von Spiralnuten auch während seiner Drallbewegung fest mit der Teilscheibe verbunden. Dadurch wird eine hohe Schleifleistung und eine große Teilgenauigkeit erzielt.

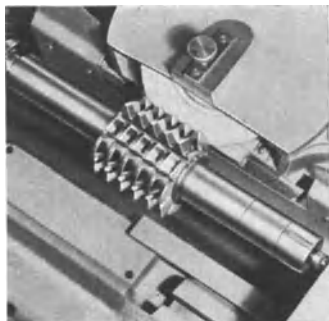


Bild 9. Scharfschleifen eines Wälzfrasers auf der Maschine, Bild 8.

Die Klingelnberg-Universal-Zahnrad-Prüfmaschinen, Bild 10 bis 12, werden in getrennten Modellen für die



Bild 10. Universal-Zahnrad-Prufmaschine nach dem Pendelsystem für Stirnräder.

Prüfung von Stirn- und Schraubenrädern, Schnecken, Fräsern usw. und für die Kegelradprüfung gebaut. Beide Modelle bestehen aus einem Grundgerät für die Abrollprüfung und aus Zusatzgeräten, die in Verbindung mit dem Grundgerät zur Ermittlung von Einzel Fehlern, wie Teilungsfehler, Zahnformfehler usw. dienen.

Die Abrollprüfung erfolgt nach dem Pendelprinzip. Der eine Prüfling ruht auf einem feststehenden Tisch, während der andere Prüfling von einem leicht pendelnden Tisch gehalten wird und bei auftretenden Fehlern seinen Achsabstand

zum Gegenrad verändert. Diese Veränderungen werden in entsprechender Vergrößerung selbsttätig im Prüfdiagramm verzeichnet.

Ausführliche Druckschriften über die Klingelberg-Werkzeugmaschinen werden von den umseitig angegebenen Verkaufshäusern gern zur Verfügung gestellt.

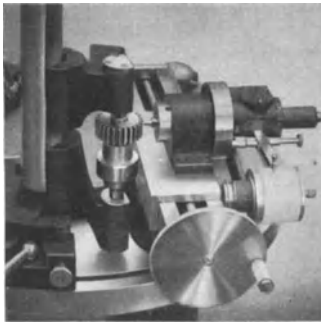


Bild 11. Evolventen-Prüfgerät, Zusatz zur Prufmaschine, Bild 10.

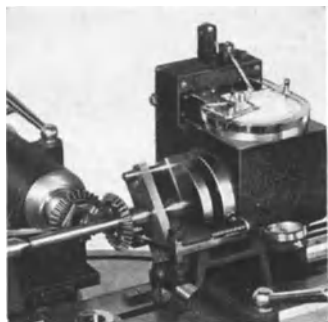


Bild 12. Abrollprüfgerät für Kegelräder.

FABRIKATIONS-PROGRAMM

Stahl auf Eisen:	Remscheid-Preyersmühle.
Schmiedestücke:	Remscheid-Preyersmühle.
Maschinenmesser: für alle gewerbliche Zwecke, von den kleinsten Rundmessern bis zu den größten Langmessern.	Remscheid- Berghausen u. Preyersmühle.
Genauigkeitswerkzeuge: Fräs-, Reib-, Bohr-, Gewindeschneid-, Meß-, Lehr-, Spannwerkzeuge u. s. f.	Hückeswagen. Rotterdam.
Zahnrad-Herstellungsmaschinen: Wälzfräsmaschinen für Klingelberg-Palloid- Spiralkegelräder, Hydraulische Härtemaschinen nach dem Preß- strom-Verfahren, Zahnrad-Läppmaschinen für Kegel-, Stirn- und Schraubenräder, nach dem Schwingungsläpp- Verfahren, Schneckenschleifmaschinen nach dem Vergleichs- schleif-Verfahren, Hydraulische Profilschleifmaschinen für Wälz- fräser und Schnecken, Selbsttätige Werkzeug-Scharfschleifmaschinen, Zahnrad-Geräuschprüfmaschinen, Universal-Zahnrad-Prüf- und Meßgeräte, Prüfgeräte für Kugellager.	Hückeswagen.
Schneckengetriebe:	Hückeswagen.
Spiralkegelräder:	Hückeswagen.

VERKAUFS - ORGANISATION

INLAND:

W. Ferd. Klingelberg Söhne

Berlin, Berlin-Ostabteilung (für Rußland, General-Gouvernement,
Wartheland und Ost-Oberschlesien), Breslau, Chemnitz, Düsseldorf,
Frankfurt a. M., Hagen i. W., Hamburg mit angegliederten Abtei-
lungen für Südamerika und Ostasien, Hannover, Leipzig, Mannheim,
Remscheid, Stuttgart, Wien, Prag.

AUSLAND:

W. Ferd. Klingelberg Söhne

Barcelona, Mailand, Zürich.

S. A. Fynwerk Fynwerk Ltd.
Brüssel. London E. C. I.
Fijnwerk S. A. R. L.
Paris 9 (e).



Klingelberg-Fijnwerk N. V.
Rotterdam.
Klingelberg & Wieda
Shanghai.

KLINGELBERG

W. FERD. KLINGELBERG SÖHNE, REMSCHEID