

WERKSTATTBÜCHER

HERAUSGEBER EVGEN SIMON

HEFT 2

MAX KURREIN

MESSTECHNIK



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

Zur Einführung.

Die Werkstattbücher behandeln das Gesamtgebiet der Werkstatttechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen.

Die Werkstattbücher stehen wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe, sind dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich, so daß alle im Betrieb und auch im Büro Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können.

Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

Bisher sind erschienen:

- Heft 1: Gewindeschneiden. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Von Oberingenieur O. M. Müller.
- Heft 2: Meßtechnik. Dritte, verbesserte Auflage. (15.—21. Tausend.) Von Professor Dr. techn. M. Kurrein.
- Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. (13.—18. Tausend.) Von Ing. Fr. Klautke.
- Heft 4: Wechselräderberechnung für Drehbänke. (7.—12. Tausend.) Von Betriebsdirektor G. Knappe.
- Heft 5: Das Schleifen der Metalle. Zweite, verbesserte Auflage. Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.
- Heft 6: Teilkopfarbeiten. (7.—12. Tausend.) Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.
- Heft 7: Härten und Vergüten.
1. Teil: Stahl und sein Verhalten. Dritte, verbess. u. vermehrte Aufl. (18.—24. Tsd.) Von Dr.-Ing. Eugen Simon.
- Heft 8: Härten und Vergüten.
2. Teil: Praxis der Warmbehandlung. Dritte, verbess. u. vermehrte Aufl. (18.—24. Tsd.) Von Dr.-Ing. Eugen Simon.
- Heft 9: Rezepte für die Werkstatt. 2. verbess. Aufl. (11.—16. Tsd.) Von Dr. Fritz Spitzer.
- Heft 10: Kupolofenbetrieb. 2. verbess. Aufl. Von Gießereidirektor C. Irresberger.
- Heft 11: Freiformschmiede.
1. Teil: Technologie des Schmiedens. — Rohstoffe der Schmiede. Von Direktor P. H. Schweißguth.
- Heft 12: Freiformschmiede.
2. Teil: Einrichtungen und Werkzeuge der Schmiede. Von Direktor P. H. Schweißguth.
- Heft 13: Die neueren Schweißverfahren. Zweite, verbesserte u. vermehrte Auflage. Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.
- Heft 14: Modelltischlerei.
1. Teil: Allgemeines. Einfachere Modelle. Von R. Löwer.
- Heft 15: Bohren. Von Ing. J. Dinnebier.
- Heft 16: Reiben und Senken. Von Ing. J. Dinnebier.
- Heft 17: Modelltischlerei.
2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen. Von R. Löwer.
- Heft 18: Technische Winkelmessungen. Von Prof. Dr. G. Berndt. Zweite, verbesserte Aufl. (5.—9. Tausend.)
- Heft 19: Das Gußeisen. Von Ing. Joh. Mehrstens.
- Heft 20: Festigkeit und Formänderung. Von Studienrat Dipl.-Ing. H. Winkel.
- Heft 21: Einrichten von Automaten.
1. Teil: Die Systeme Spencer und Brown & Sharpe. Von Ing. Karl Sachse.
- Heft 22: Die Fräser. Von Ing. Paul Zieting.
- Heft 23: Einrichten von Automaten.
2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) u. Cleveland u. die Offenbacher Automaten. Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil.
- Heft 24: Stahl- und Temperguß. Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 25: Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
- Heft 26: Räumen. Von Ing. Leonhard Knoll.
- Heft 27: Einrichten von Automaten.
3. Teil: Die Mehrspindel-Automaten. Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil.
- Heft 28: Das Löten. Von Dr. W. Burstyn.
- Heft 29: Kugel- und Rollenlager (Wälzlager). Von Hans Behr.
- Heft 30: Gesunder Guß. Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 31: Gesenkschmiede. 1. Teil: Arbeitsweise und Konstruktion der Gesenke. Von Ph. Schweißguth.
- Heft 32: Die Brennstoffe. Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 33: Der Vorrichtungsbau.
I: Einteilung, Einzelheiten u. konstruktive Grundsätze. Von Fritz Grünhagen.
- Heft 34: Werkstoffprüfung (Metalle). Von Prof. Dr.-Ing. P. Riebensahm und Dr.-Ing. L. Traeger.

Fortsetzung des Verzeichnisses der bisher erschienenen sowie Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte siehe 3. Umschlagseite.

Jedes Heft 48—64 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen.

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. EUGEN SIMON, BERLIN

==== HEFT 2 =====

Meßtechnik

VON

Professor Dr. techn. Max Kurrein

Betriebsingenieur an der Technischen Hochschule
zu Berlin

Dritte, verbesserte Auflage
(15. bis 21. Tausend)

Mit 160 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1932

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Grundlagen des Messens	3
A. Begriff des Messens	3
B. Meßfehler	3
Persönliche Fehler S. 4. — Instrumental- (Geräte-) Fehler S. 5.	
C. Richtigkeit, Genauigkeit und Empfindlichkeit der Meßwerkzeuge	6
Empfindlichkeit S. 7. — Genauigkeit S. 7. — Richtigkeit S. 7.	
D. Prüfung und Abnützung	9
Prüfung der Meßwerkzeuge S. 9. — Abnützung der Meßwerkzeuge S. 9.	
E. Die Längeneinheiten	10
Prototype oder Urmaße S. 10. — Lichtwellenlänge als Maßeinheit S. 11.	
F. Meßmaschinen	11
Meßmaschinen S. 11.	
II. Meßwerkzeuge	15
A. Meßwerkzeuge zur Übertragung	15
Übertragung vom Arbeitsstück auf den Maßstab S. 15. — Übertragung vom Maßstab auf das Arbeitsstück S. 17. — Zeichnerische Messung S. 19.	
B. Feste Maße	20
1. Feste Maße bestimmter bekannter Größen	21
Normalmaße S. 21. — Formen der Normalmaße S. 21. — Grenzlehren (Toleranzlehren) S. 24. — Parallelendmaße S. 27.	
2. Feste Maße beliebiger unbekannter Größen	29
C. Einstellbare Maße	30
Strichmaßstäbe S. 30. — Schieblehren, Tiefenmaße und dergleichen S. 31. — Nonius S. 32. — Schraublehren (Mikrometer) S. 37. — Verbindung von Schraublehren mit anderen Meßwerkzeugen S. 40.	
D. Fühlhebel	44
Allgemeine Verwendung S. 44. — Bauarten S. 45. — Prüfung der Fühlhebel S. 45.	
Mechanische Fühlhebel	45
Hebelinstrumente S. 45. — Zahnradinstrumente (Meßuhren) S. 49.	
Optische Fühlhebel	50
Apparat von Adam Hilger, London S. 51. — Optimeter S. 51. — Abbescher Dickenmesser S. 52. — Mikrolux S. 53.	
Verbindung von Fühlhebeln mit anderen Meßgeräten	54
Dreipunktlehre mit Meßuhr S. 54. — Rachenlehre mit Meßuhr S. 55. — Selbsttätige Fühlhebelmessung beim Schleifen S. 55. — Meßuhr mit Hebel S. 55. — Fühlstiftlehren S. 56.	
III. Besondere Meßverfahren	57
A. Kegelmessung	57
Allgemeine Messung	58
Flachlehren	58
Sinusmethode	60
Kegellehre	61
B. Winkelmessung	62
Mechanische Winkelmessung	62
Der 0°- oder 180°-Winkel S. 62. — Der 90°-Winkel S. 63. — Beliebige Winkel S. 64.	
Winkelmessung mit Libellen	65
Das Messen mit Libellen S. 65. — Genauigkeit und Empfindlichkeit von Wasserwaagen S. 67. — Übliche Formen von Wasserwaagen S. 67.	
C. Gewindemessung	68
Allgemeines	68
Körperliche Messung	69
Lehrdorn und Lehrring S. 69. — Projektion S. 70.	
Messung der Bestimmungsgrößen	70
Optische Messung mit großer Genauigkeit S. 70. — Mechanische Messung S. 72.	

I. Grundlagen des Messens.

A. Begriff des Messens.

So bekannt auch der Ausdruck Messen einem jeden ist, so sind doch die wenigsten sich dessen bewußt, wie viele verschiedene Arbeiten unter diese Bezeichnung fallen. Nicht allein das Abnehmen irgendeines Längenmaßes von einem Maßstab oder das dem Maschinenbauer geläufige Einführen eines Lehdornes oder die Anwendung der Schublehre sind als Messen zu bezeichnen, sondern auch das Ablesen eines Amperemeters an der Schalttafel, die Beobachtung eines Tachometers im Kraftwagen, selbst das Abschätzen einer Entfernung durch die Angabe, man gehe z. B. 3 Stunden bis an den verlangten Punkt, sind als Messen zu bezeichnen.

Man versteht also allgemein unter Messen „Vergleichen“ und sagt:

„Messen heißt: eine gegebene Größe mit einer anderen gleichartigen vergleichen.“

Man kann also nur Längen mit Längen, Flächen mit Flächen, Geschwindigkeiten mit Geschwindigkeiten messen usw. Der Weg dagegen, auf dem man zu diesem Ergebnis kommt, kann verschieden sein: 1. Man kann die zu messende Größe unmittelbar mit der gleichartigen Vergleichsgröße messen. 2. Man kann durch Bestimmung verschiedener Größen mittelbar einen Wert für die zu messende Größe erhalten. Die gemessenen Größen, die mit der gesuchten Größe nicht gleichartig sind, stehen aber durch feste naturwissenschaftliche Gesetze mit ihr in ganz bestimmtem Zusammenhang, so daß man sie durch Rechnung aus den ersten eindeutig bestimmen kann.

Wenn man z. B. die Länge irgendeines rechteckigen Stahlstabes mit einem großen Maßstab mißt, so ist dies eine „unmittelbare“ Messung. Wenn man aber denselben Stab wägt, seine Querschnittsabmessungen bestimmt und mit Hilfe des spezifischen Gewichtes des Stahles die Länge des Stabes berechnet, so ist das eine „mittelbare“ Längenmessung.

Es wiege z. B. ein Stahlstab 0,45 kg, seine Breite sei 25 mm, seine Dicke 6 mm; wie lang ist der Stab, wenn man das spezifische Gewicht des Stahles mit 7,8 annimmt? Die gesuchte Länge L findet man aus:

$$(L \times 2,5 \times 0,6) \text{ cm}^3 \times 7,8 = 450 \text{ g zu: } L = 384,6 \text{ . . mm.}$$

Die letzte Dezimale ist nicht mehr genau, da die Division nicht aufgeht; wie weit man bei der Division Stellen entwickeln kann, die noch ein Anrecht auf Richtigkeit haben, hängt von der Genauigkeit der gemessenen Größen ab. Hätten wir z. B. die Dickenmessung mit der Schublehre gemacht, so daß man mit einem Fehler von $\pm 0,05$ mm rechnen muß, also die Dicke entweder 0,605 oder 0,595 cm wirklich sein könnte, so erhalten wir bei Durchführung der Rechnung $L = 381, \text{ . .}$ oder 387, . . mm.

Daraus ist ersichtlich, daß man, um die Einer noch genau zu erhalten, die Querschnittmaße genauer als auf 0,05 mm messen muß.

B. Meßfehler.

Jede solche Vergleichung (Messung) gründet sich auf unsere Sinne und das Meßgerät, die beide unvollkommen sind:

die Sinne, die nicht bei allen Menschen gleich scharf ausgebildet sind, in keinem Fall aber vollkommene Beobachtungen ohne kleine Abweichungen nach oben oder unten ergeben;

das Meßgerät, das nie vollkommen hergestellt werden kann und dessen Arbeit durch die körperlichen Eigenschaften des Werkstoffes und der Umgebung (Reibung, Wärme, Luftdruck usw.) an der vollkommenen Arbeit gehindert wird.

Infolge dieser Unvollkommenheiten einerseits, der körperlichen Gestaltung der zu messenden Größe andererseits, ist man nicht imstande einen „wahren Wert“ der gemessenen Größe zu bestimmen, sondern man findet nur den „wahrscheinlichsten“ Wert innerhalb gewisser Grenzen. Diese Grenzen, die die Unsicherheit der Angabe bestimmen, sind bedingt durch die Meßfehler.

Die Meßfehler teilen sich nach den oben genannten Ursachen in 2 Gruppen:

1. persönliche Fehler,
2. Instrumental-(Geräte-)fehler.

Zu 1: **Persönliche Fehler**¹ sind „zufällige“ Fehler, man kann weder ihre Größe noch ihre Häufigkeit im voraus bestimmen und infolgedessen den Fehler nicht vollständig entfernen, sondern nur durch eine erhöhte Zahl von Beobachtungen möglichst verringern.

Größe und Häufigkeit dieser Fehler können nach der Fehlerrechnung von Gauß bestimmt werden. Für die Zwecke der Werkstatt und die üblichen Versuche der Praxis genügen die einfachsten Formeln dieser Rechnung, wobei stillschweigend vorausgesetzt wird, daß alle Beobachtungen einer Meßreihe gleichartig sind, also mit gleichem „Gewicht“ einzusetzen sind. Im Gegensatz zur strengen Fehlerrechnung kann man für die Praxis die gleiche Fehlerbestimmung anwenden, wenn

1. ein Beobachter mehrere Messungen einer Größe vornimmt;
2. mehrere Beobachter unter gleichen Bedingungen dieselbe Größe messen,
3. mehrere gleiche Größen von einem Beobachter gemessen werden (nach Kösters).

Ordnet man die zufälligen persönlichen Fehler nach ihrer algebraischen Größe, und trägt über jedem Wert als Ordinate die Zahl seines Vorkommens auf, so ergibt sich ein bestimmtes Gesetz „die Häufigkeitskurve“, in der der „wahrscheinlichste“ Wert der gemessenen Größe, also der Fehler 0, das Maximum darstellt. Je größer ein persönlicher Fehler, positiv oder negativ, ist, um so geringer ist sein Vorkommen.

Der wahrscheinlichste Wert von n Beobachtungen $L_1, L_2, L_3 \dots L_n$ der gemessenen Größe ist der Mittelwert „ M “.

$$M = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n}; \quad \text{anders geschrieben: } M = \frac{[L]}{n}.$$

Der durchschnittliche Fehler

$$d = \frac{(M - L_1) + (M - L_2) + (M - L_3) + \dots + (M - L_n)}{n} = \frac{[M - L]}{n} = \frac{[v_{\text{abs}}]}{n},$$

also ohne Rücksicht auf das Vorzeichen der Differenzen. Die algebraische Summe der Differenzen muß aber = 0 sein.

Der „durchschnittliche Fehler“ sagt lediglich etwas über die Unsicherheit des Mittels aus, jedoch nichts über die der Einzelbeobachtung. Genauer werden die Verhältnisse erfaßt durch die Gaußsche Fehlerrechnung, und zwar ist der „mittlere Fehler der Einzelbeobachtung“

¹ Für die mathematischen Größen dafür vgl. Hütte, 25. Aufl., S. 153, nach Rothe. Vgl. auch H a p p a c h: Werkstattstechnik, 1930, S. 610.

$$m = \sqrt{\frac{v_1 v_1 + v_2 v_2 + v_3 v_3 + \dots + v_n v_n}{n-1}} \quad \text{oder anders geschrieben} = \sqrt{\frac{[v v]}{n-1}},$$

der „mittlere Fehler des Mittelwertes“ $\beta = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{n(n-1)}}$.

Beispiel: Messung einer Größe durch vier (n) Beobachter mit demselben Mikrometer, wobei für den Rechnungsfall noch Schätzungen auf 0,002 mm, d. h. auf $\frac{2}{10}$ der letzten noch unmittelbar abzulesenden Teilung zugelassen werden sollen:

Beobachtung	L	v = M - L	vv	
1.	22,272	- 0,0065	0,00 004 225	$M = \frac{89,114}{4} = \underline{22,2785 \text{ mm}},$ $d = \frac{0,020}{4} = \underline{0,005 \text{ mm}},$
2.	22,285	+ 0,0065	4 225	
3.	22,282	+ 0,0035	1 225	
4.	22,275	- 0,0035	1 225	
	89,114	[v] = 0,0200	[v v] = 0,00 010 900	

$$m = \sqrt{\frac{0,000 109}{3}} = \sqrt{0,0000363} = \pm \underline{0,006 \text{ mm}}, \quad \beta = \sqrt{\frac{0,000 109}{4 \times 3}} = \pm \underline{0,003 \text{ mm}},$$

Nimmt man das arithmetische Mittel als den wahrscheinlichsten Wert der zu messenden Größe an, dann liegt der zu erwartende Wert der Messung zwischen $22,2785 \pm 0,003 \text{ mm}$. Diese Abweichung kann höchstens durch eine vergrößerte Zahl von gleichartigen Einzelmessungen derselben Größe verringert, aber nicht eliminiert werden. Sie gibt einen Aufschluß über die Genauigkeit der Messung.

Zu 2: Die Instrumental-(Geräte-)fehler¹. Die Gerätefehler sind alle bei der Verwendung in Erscheinung tretenden Fehler des Meßwerkzeuges, die die Abweichung der Anzeige von der Meßgröße (Sollwert) verursachen.

Diese Fehler sind es, die in der Praxis, bei der Herstellung und Verwendung der Meßwerkzeuge und im Wechselverkehr zwischen Erzeuger und Verbraucher, vorwiegend in Betracht kommen, wobei die Berücksichtigung der persönlichen Fehler als selbstverständlich vorausgesetzt wird (vgl. auch „Prüfung“ S. 9).

Die Ursachen der Gerätefehler sind:

- a) Die unvermeidliche Unvollkommenheit der Herstellung.
- b) Abnützung im Gebrauch.
- c) Äußere physikalische Einflüsse (Wärme, Luftdruck, Feuchtigkeit, Fliehkraft usw.).
- d) Innere physikalische Einflüsse (Reibung, toter Gang, Schmierung usw.).

Sie unterscheiden sich von den persönlichen Fehlern dadurch, daß sie keinem allgemein gültigen Gesetz folgen; die genannten Gruppen verhalten sich verschieden:

Die Fehler der Gruppen a, b und zum Teil auch d können nur durch eine entsprechende Prüfung, auch Eichung² genannt (vgl. S. 9), bestimmt werden; sie werden durch die Verwendung der Prüfkurve (Prüftabelle) eliminiert. Die Fehler unter a erscheinen immer wieder an derselben Stelle und in derselben Größe und mit dem gleichen Vorzeichen. Die Fehler unter b ändern sich, aber im allgemeinen im gleichen Sinn mit der Verwendungsdauer; die Art der Änderung kann nicht angegeben werden. Die hierher gehörigen Fehler unter d werden im allgemeinen gleich nach Ort, Größe und Vorzeichen, sie können aber auch ganz zufälligen Änderungen unterworfen sein; sie sind durch entsprechende Meßverfahren zu eliminieren.

¹ Es wird vorgeschlagen, den bisher üblichen Ausdruck „Instrumentalfehler“ durch „Gerätefehler“ zu ersetzen.

² Im folgenden soll das Wort „Eichung“ der staatl. Prüfung durch das Eichamt vorbehalten bleiben; also „Prüfkurve“ und nicht „Eichkurve“.

Die Fehler der Gruppe c folgen bestimmten, bekannten Gesetzen; sie sind zum Teil der unmittelbaren Berechnung zugänglich, sie können jedenfalls in Abhängigkeit von der Messung zahlenmäßig berücksichtigt werden.

Alle diese Werte — von den zufälligen Fehlern abgesehen — werden vor Verwendung der Meßwerkzeuge durch Prüfung oder Rechnung bestimmt und als „Korrektur“ bei den einzelnen Ablesungsstellen berücksichtigt.

Beispiele: Zu a. Steigungsfehler einer Mikrometerschraube, Abweichung eines Lineals von der Geraden, Durchmesserfehler in der Kapillare der Thermometer.

Zu b. Nullpunktverschiebung einer Schublehre, eines Mikrometers durch Abnutzung der Meßflächen, Fehlanzeige eines Tachometers, eines Elektrizitätszählers durch Lagerabnutzung.

Zu c. Änderung der Maßstablänge mit der Temperatur, Änderung eines Holzmaßstabes mit der Luftfeuchtigkeit, Berücksichtigung des Luftdruckes bei Interferenzmessungen, Einfluß der Fliehkraft auf die Schleifen des Oszillographen.

Zu d. Reibung der Schneiden und Pfannen einer Waage, Toter Gang in den Zahnrädern einer Meßuhr, Schmierung der Achsen bei Uhren, Tachometern.

C. Richtigkeit, Genauigkeit und Empfindlichkeit der Meßwerkzeuge.

Solange jedes Meßwerkzeug wie bei wissenschaftlichen Untersuchungen oder im Prüfraum der Eichbehörde bzw. der Fabrik ein Einzelindividuum darstellt, werden die Messungen damit nach der Fehlerrechnung behandelt und seine Eigenschaften durch die Prüf- (Eich-) Kurve dargestellt. Heute werden aber hochwertige Meßwerkzeuge in Reihenherstellung gebaut, und die betriebsmäßige Messung muß mit einer, bestenfalls 2 Messungen ohne Fehlerrechnung den gesuchten Meßwert darstellen.

Diese Messung ohne Fehlerrechnung, also ohne Kenntnis des „wahrscheinlichsten“ Wertes der Messung ist nur durch die Eigenart der modernen Fabrikation möglich, die mit Toleranzmethoden arbeitet, also bewußt Abweichungen bis zu einer bestimmten Größe für nominell gleiche Meßgrößen zuläßt. Gegenüber diesen zugelassenen Abweichungen fallen die persönlichen Fehler selbst nicht mehr ins Gewicht. Demnach verlangt der industrielle Verbraucher vom Hersteller aus selbstverständlichen wirtschaftlichen Gründen keine weitergehende Garantie über den größten Gesamt-Gerätefehler des Meßwerkzeuges, als dieser zugelassenen Abweichung entspricht.

Diese Zahl stellt eine meßtechnisch charakteristische Eigenschaft des Meßwerkzeuges dar, die in enger Beziehung sowohl zu zwei andern ähnlichen Größen der Herstellung als auch zu den Werten der Fehlerrechnung stehen muß.

Diese drei Eigenschaften sind: 1. Empfindlichkeit, 2. Genauigkeit, 3. Richtigkeit.

Der industrielle Verbraucher verlangt die Angabe der dritten genannten Eigenschaft, der Richtigkeit; der Hersteller muß, um diese Zahl einwandfrei gewährleisten zu können, die beiden andern, die Genauigkeit und Empfindlichkeit, einhalten, in bestimmte Beziehung zur Richtigkeit und zu den Werten der Fehlerrechnung bringen.

Diese drei Eigenschaften werden in Einheiten der Meßgröße oder in Hundertteilen des größten Meßbereiches des Werkzeuges ausgedrückt. Je kleiner demnach ihr Zahlenwert ist, desto empfindlicher, genauer und richtiger ist das Meßwerkzeug.

Diese 3 Werte sind voneinander abhängig und stehen in enger Beziehung zu den Geräte- und persönlichen Fehlern, sie haben jedoch keine Beziehung zu der einzelnen Beobachtung. Man kann sie wie folgt definieren, wobei als selbstverständlich vorausgesetzt wird, daß ihre zahlenmäßige Bestimmung durch eine

genaue Prüfung über den ganzen Meßbereich mit voller Berücksichtigung der Fehlerbestimmung geschehen muß.

1. Empfindlichkeit ε ist die kleinste Änderung der Meßgröße, die eine deutlich erkennbare Änderung der Anzeige bewirkt. Charakteristisch für diese Eigenschaft ist, daß die Änderung der Anzeige bei gleicher Änderung der Meßgröße nicht immer gleich groß sein muß; man kann den Wert nicht unterteilen oder vervielfachen, um daraus auf eine entsprechend unterteilte oder vervielfachte Änderung der Meßgröße zu schließen.

2. Genauigkeit γ des Gerätes, durch den Gerätefehler¹ bedingt, ist jene kleinste Änderung der Meßgröße, die von dem Meßwerkzeug innerhalb der durch die Empfindlichkeit bedingten Ungenauigkeit noch eindeutig meßbar angezeigt wird. Der auf der Teilung noch ablesbare oder innerhalb der $1/10$ -Grenze abzuschätzende Wert dagegen ist die *Ablesegenauigkeit*, ihr Wert soll im allgemeinen kleiner als der der Genauigkeit des Meßwerkzeuges sein, gegebenenfalls gleich.

Die Genauigkeit stellt also im Gegensatz zur Empfindlichkeit eine zahlenmäßig bestimmbare, feste Beziehung zwischen Änderung der Meßgröße und der Anzeige dar, deren Zahlenwert sich aus folgender Überlegung ergibt: Da bei einer Änderung der Meßgröße um den Wert γ die Anzeige um den Wert ε nach rechts oder links von der mittleren Einstellung schwanken kann und dies für die Anfangs- und Endlage des Zeigers bei der Änderung der Meßgröße gilt, so muß

$$\gamma = \text{mindestens } 4\varepsilon, \quad \text{besser aber } > 4\varepsilon$$

genommen werden.

Zweckmäßig wird man die Genauigkeit eines Meßwerkzeuges ungefähr gleich dem mittleren Fehler einer Meßreihe mit diesem Meßwerkzeug bei einwandfreier Beobachtung unter mittleren Beobachtungsbedingungen machen.

$$\gamma \approx m \geq 4\varepsilon.$$

Die beiden Werte, Genauigkeit und Empfindlichkeit, stellen also Eigenschaften des Meßwerkzeuges an sich dar, sie sind unabhängig von der Übereinstimmung zwischen Meßgröße und Anzeige. Auch ein Meßwerkzeug mit falscher Anzeige der Meßgröße kann eine hohe Empfindlichkeit und Genauigkeit haben.

3. Richtigkeit ϱ . Die dritte Eigenschaft, die Richtigkeit, gibt erst die Beziehung zwischen Meßgröße und Anzeige, die im einzelnen durch die Prüfkurve festgelegt ist.

Soll aber ein Meßwerkzeug — wie es im Betrieb üblich ist — ohne Prüfkurve verwendet werden, so darf man keine Änderung der Meßgröße bestimmen, die kleiner ist als der größte in der Prüfkurve festgestellte Gesamt-Gerätefehler, wieder fehlerfreie Beobachtung vorausgesetzt.

Jede derartige Bestimmung ist aber bei einer Empfindlichkeit des Meßwerkzeuges um $\pm \varepsilon$, da sie sich aus Anfangs- und Endablesung zusammensetzt, im Mittel um 2ε unsicher, also auch die gesuchte Übereinstimmung zwischen Meßgröße und Anzeige. Demnach ergibt sich die Beziehung:

$$\text{Richtigkeit } \varrho = \text{Meßgröße} - \text{Anzeige} = S_{\max} + \frac{1}{2}\gamma,$$

worin S_{\max} der größte in der Prüfkurve festgestellte Gesamt-Gerätefehler ist.

¹ Ebenso ist durch den persönlichen Fehler die persönliche Genauigkeit bedingt. *Gerätegenauigkeit* und *persönliche Genauigkeit* geben zusammen die *Meßgenauigkeit*. Man beachte, daß *Beobachtungsgenauigkeit* gelegentlich im Sinne von *Meßgenauigkeit* wie auch von *persönlicher Genauigkeit* gebraucht wird.

Meistenteils wird der größte Gesamt-Gerätefehler

$$S_{\max} \cong \gamma$$

sein, woraus sich für die Richtigkeit die Beziehung ergibt:

$$\rho \cong \frac{3}{2} \gamma \text{ bzw. } 6\varepsilon \text{ bzw. } \frac{3}{2} m.$$

Bei der Beurteilung eines Meßwerkzeuges für den Betrieb tritt an Stelle des unbekanntem „wahren Wertes“ bzw. des „wahrscheinlichsten“ Wertes der Beobachtung das Prüfmaß, dessen Gesamtfehler kleiner sein muß als die Empfindlichkeit ε des vorliegenden Meßwerkzeuges.

Mißt man nun mit einem derartig in seinen Eigenschaften festgelegten Meßwerkzeug irgendeine unbekannte Meßgröße X (Betriebsmessung), so erhält man die Anzeige = $X \pm \rho$, d. h. die erhaltene Messung ist bei einwandfreier Beobachtung bis auf den Wert ρ richtig.

Diese Beziehung zwischen den persönlichen Fehlern und den Eigenschaften des Meßwerkzeuges, die die Richtlinien für die Herstellung und die vom Verbraucher zu verlangende Garantie darstellt (sie wird heute vom Normenausschuß in den DIN-Blättern niedergelegt), ist in dem folgenden Schaubild, Abb. 1, zusammengestellt:

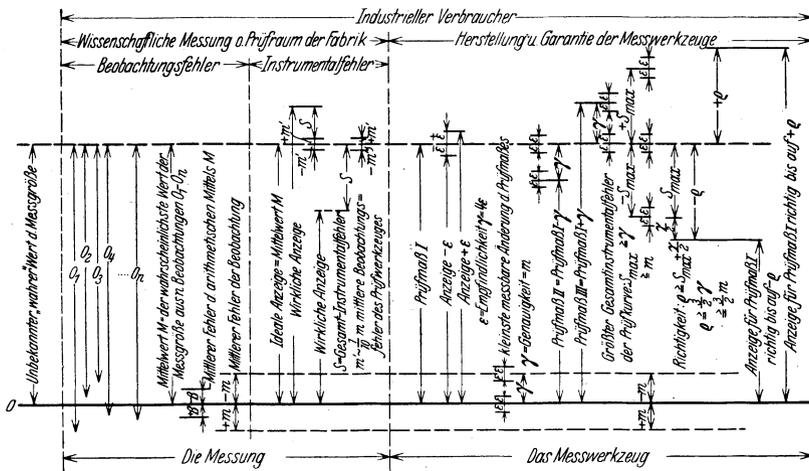


Abb. 1. Beziehung zwischen den Fehlergrößen der Messung und des Meßwerkzeuges.

Wenn diese Eigenschaften von dem Meßbereich unabhängig sind, werden sie am besten in Einheiten der Meßgröße ausgedrückt (Maßstab, Schublehre, Schraublehre), wenn sie sich aber gesetzmäßig mit dem Meßbereich ändern (Waage, Manometer, Amperemeter) in Hundertteilen des größten Meßbereiches.

Beispiele: 1. Die Untersuchung einer Schraublehrenmessung (S. 5) ergab als mittleren Fehler der Beobachtung $m = \pm 6 \mu$, als mittleren Fehler des arithmetischen Mittels $\beta = \pm 3 \mu$. Die Schraublehre hat 25 mm größten Meßbereich (DIN), einen größten Gesamt-Gerätefehler $S_{\max} = 4 \mu$ (DIN) bzw. 3μ (Zeiß). Die kleinste Teilung ist 10μ .

Da bei der Schraublehre zwischen der Spindelmeßfläche und der Teilung an der Trommel zwangsläufige Verbindung besteht, ist die Empfindlichkeit ε gleich der Ablesegenauigkeit. Bei einer guten Schraublehre schätzt ein geübter Schleifer noch $1/10$ der Teilung, also 1μ Änderung der Meßgröße, falls Teilstrichentfernung, Strichdicke und -schärfe in entsprechendem Verhältnis zueinander stehen.

Die Empfindlichkeit der Schraublehre ist demnach: $\varepsilon = 1 \mu$

Die Meßgenauigkeit ist dann $\gamma = 4 \mu$.

Wenn also Ablesegenauigkeit und Werkzeuggenauigkeit in richtigem Verhältnis zueinander stehen, so müßte m , der mittlere Fehler der Beobachtung, $= 4\mu = \gamma$ sein. Ist $m > \gamma$, so war entweder der Beobachter ungeübt bzw. die Beobachtungsbedingungen ungünstig, oder die Ablesegenauigkeit ist übertrieben niedrig. Der unerfahrene Benutzer eines solchen Meßwerkzeuges liest viel kleinere Meßeinheiten bei der Messung ab, als die Meßfehler des Werkzeuges zulassen.

Da aber nach DIN 863 der größte Gesamt-Gerätefehler $S_{\max} = \pm 4\mu$ nicht überschreiten soll, ergibt sich für die Richtigkeit der Schraublehre der Wert: $q = 4\mu + 2\mu = 6\mu$.

2. Für die Schraublehre von Zeiß mit rund 1,17 mm Teilstrichentfernung und scharfen Strichen darf man $\frac{1}{20}$ des Intervalls schätzen, entsprechend $\frac{1}{100} \cdot \frac{1}{20} \text{ mm} = 0,5\mu$. Dann wird bei einem größten Gesamt-Gerätefehler $S_{\max} = 3\mu$: $\varepsilon = 0,5\mu$; $\gamma = 2\mu$; $q = 3\mu + 1\mu = 4\mu$. Die Messung einer normal geschliffenen Welle A und eines Parallelendmaßes B , also unter besonders günstigen Beobachtungsbedingungen, ergab bei je 10 Beobachtungen als persönliche Fehler:

$$\text{für } A: m = 1,58\mu; \quad \beta = 0,5\mu, \quad \text{für } B: m = 1,05\mu; \quad \beta = 0,33\mu.$$

Verwendet man aber nur 5 Beobachtungen, so wird der mittlere Fehler des Mittels entsprechend größer. Für $A: m = 1,72\mu$; $\beta = 0,77\mu$.

Die gefundenen persönlichen Fehler sind im ersten Fall, deswegen größer als im zweiten, weil hier nicht nur die Einstell- und Ablesefehler sich auswirken, sondern außerdem noch die Schwankungen im Durchmesser des Werkstückes hinzukommen. Auch von den Beobachtungsbedingungen hängt die schließliche Größe des persönlichen Fehlers ab. Deshalb ist die Beurteilung des Meßwerkzeuges auf der von den persönlichen Fehlern unabhängigen Größe, der Empfindlichkeit, aufgebaut. Durch die Beziehung $\gamma \approx m$ unter mittleren Beobachtungsbedingungen wird Herstellung und Verwendung in Einklang gebracht.

Man kann demnach das zu bestimmende Maß einer unbekanntenen Meßgröße bestenfalls auf 4μ richtig erhalten, während man bei Vergleichsmessungen mehrerer gleicher Größen die Genauigkeit der Schraublehre ausnützen und Unterschiede bis auf 2μ feststellen kann.

D. Prüfung und Abnützung.

Prüfung der Meßwerkzeuge. Vor Verwendung der Meßwerkzeuge müssen demnach die Gerätefehler durch eine Prüfung über den ganzen Meßbereich mit voller Berücksichtigung der genannten Fehlerbestimmungsmethoden festgestellt werden. Trägt man die gefundenen Gesamtgerätefehler in Abhängigkeit von der Meßgröße auf, so erhält man die Prüf- (Eich-) Kurve bzw. Prüftabelle des Meßwerkzeuges, um deren Werte die jeweilige Anzeige des Meßwerkzeuges korrigiert werden muß.

Diese Prüfungen müssen mit solchen Meßwerkzeugen vorgenommen werden, deren Gerätefehler kleiner als die Empfindlichkeit (s. S. 8) des Prüflings sind, also auch kleiner als die Schätzungsgenauigkeit der Teilung des Prüflings, im allgemeinen $\frac{1}{10}$ der kleinsten Teilung des Prüflings.

Eine Schublehre, die gewöhnlich 0,1 mm kleinste Ablesung hat, wird mittels eines Schraublehrenstichmaßes, mit 0,01 mm kleinster Ablesung geprüft, Schraublehren wieder durch Endmaße, die auf 0,001 mm abgestuft sind, Endmaße wieder durch optische Interferenzmessungen.

Es unterliegt natürlich keinem Anstand, alle derartigen Prüfungen mit den genauesten Meßwerkzeugen vorzunehmen, doch wäre es unwirtschaftlich, da diese Prüfungen unverhältnismäßig mehr Zeit kosten und die ungleich teureren Kontrollmaße unnötig abnützen würden.

Abnützung der Meßwerkzeuge. Wenn Geräte auch bei der Indienststellung vollständig allen diesen Bedingungen entsprochen haben, so kann dieser Zustand infolge der natürlichen Abnützung nicht dauernd erhalten bleiben. Man muß aber dabei wohl unterscheiden zwischen Abnützung der eigentlich messenden Teile, z. B. der Backen einer Rachenlehre oder der Fühlflächen einer Schraublehre und jener der übrigen arbeitenden Teile, z. B. der Gewindemutter der Schraublehre, des Schiebers einer Schublehre usw. Die Abnützung der ersten Teile macht das Meßwerkzeug unrichtig, während im zweiten Fall das Arbeiten mit dem Instrument gewisse zusätzliche Fehler erhält, z. B. toten Gang. Das

durch Abnützung unrichtig gewordene Meßwerkzeug kann entweder durch eine in seiner Konstruktion vorgesehene Justiervorrichtung, vgl. Nachstellung an Schraublehren, Abb. 67, 68, 69, gewissen Rachenlehren, Abb. 46, mittels Kontrollmeßwerkzeugen wieder richtig gemacht werden, oder es muß im Fabrikationsbetriebe, wie Lehrdorne, Endmaße usw., erneuert werden. Im Gegensatz dazu verlangt die behobene mechanische Abnützung arbeitender Teile keine Neujustierung auf Richtigkeit; man kann die Gewindemutter einer Schraublehre einfach nachziehen, den lose gewordenen Schieber einer Schublehre leicht stauchen, während eine Abnützung der Schublehrenbacken eine falsche Ablesung und Neujustierung bedingt.

Die zulässige Größe der Abnützung oder die Grenze der Abnützung, bei der eine Neujustierung oder Neuherichtung notwendig wird, steht im engsten Zusammenhang mit dem oben gegebenen Begriffe der „Genauigkeit“. Wenn die Abnützung den Größenwert der „Empfindlichkeit“ überschreitet, wird sie merkbar, wenn sie den Größenwert der „Genauigkeit“ überschreitet, wird das Meßwerkzeug unrichtig. Man darf infolgedessen die Abnützung nicht über einen zwischen den beiden Werten liegenden Betrag ansteigen lassen, muß andererseits die Fabrikationslehren dauernd und planmäßig auf ihre Abnützung untersuchen.

Bei der Feststellung des zulässigen Abnutzungswertes ist die Verwendung des Werkzeuges von großem Einfluß: der Wert wird geringer, wenn es eine Prüf- oder Revisionslehre ist, er kann höher gehalten werden, wenn es sich um eine normale Arbeitslehre handelt.

Für diese sind die zulässigen Abnutzungswerte in Verbindung mit der Herstellungsgenauigkeit aus DIN 168, 2058, 2059 zu entnehmen:

Größtmaß der abgenutzten Wellenarbeitslehre = Nennmaß + (bzw. —) oberes Abmaß + zulässige Abnutzung.

Kleinstmaß der abgenutzten Bohrungsarbeitslehre = Nennmaß + (bzw. —) unteres Abmaß — zulässige Abnutzung.

E. Die Längeneinheiten.

Prototyp oder Urmaß¹. Bevor man die Richtigkeit und die Genauigkeit eines Meßwerkzeuges für Längenmessung bestimmen kann, muß die Maßeinheit, in diesem Falle 1 m, in ihrer Länge genau bestimmt sein und mit genügender Genauigkeit vervielfältigt werden können.

Als Urmaß gilt das Urmeter im Bureau International des Poids et Mesures in Sèvres (Frankreich). (Heute wird angestrebt, anstelle des Urmeters die Lichtwellenlänge als Urmaß einzuführen, nachdem die Ausmessung des Urmeters in Lichtwellenlängen gelungen ist, vgl. nächsten Absatz.)

Die Herstellung dieses Urmeters wurde von einer internationalen Kommission im Jahre 1875 begonnen und im Jahre 1882 mit einer Verteilung von je einem Stück Prototyp oder Urmeter aus Platin-Iridium an die der Konvention zugehörigen Staaten abgeschlossen. Von diesen Urmaßen werden nun in einem jeden Lande die geeichten Normalmaße angefertigt.

Das Urmeter ist ein Strichmaßstab und nur für eine Ablesung mittels eigener Mikroskope, sog. Komparatoren, eingerichtet.

Das Urmeter hat einen X-förmigen Querschnitt, Abb. 2—3, damit es bei geringstem Gewicht die größte Steifigkeit gegen Durchbiegung bekommt und man die Maßstriche, die nur das Ende und den Anfang des Meters darstellen, möglichst genau und leicht in die neutrale Faser *AA* des Maßstabes bringen kann. Diese

¹ Ausführliche Darstellung in Berndt: Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen (Berlin: Julius Springer).

2 Teilstriche sind $\frac{6}{1000}$ mm dick und natürlich nur mit dem Mikroskop des Komparators abzulesen, so daß in einer Entfernung von je 0,5 mm rechts und links, Abb. 3, von dem eigentlichen Maßstrich noch je ein Hilfsstrich angebracht ist, die zur Eichung der Ganghöhe der Schraube des Okularmikrometers verwendet werden. Das deutsche Urmeter hat einen Querschnitt von $150,9 \text{ mm}^2$, wiegt $3,3 \text{ kg}$ und hat 8138 Reichsmark gekostet. Seine Länge beträgt mit Rücksicht auf die Temperatur und die unvermeidlichen Meßfehler

$$L = 1 \text{ m} - 1,0 \mu + 8,642 \mu \cdot t + 0,001 \mu \cdot t^2 \pm 0,2 \mu,$$

worin t die Temperatur der internationalen Wasserstoffskala und $\mu = \frac{1}{1000}$ mm ist.

Lichtwellenlänge als Maßeinheit. Dem amerikanischen Physiker A. A. Michelson¹ ist es 1892—1893 gelungen, das Meter in Lichtwellenlängen auszumessen, wodurch die Abhängigkeit von dem körperlichen Urmaß vermieden wird.

Die Länge des Meters beträgt

in den roten Strahlen des Kadmiumlichtes . . . 1553163,5 Wellenlängen,
in den grünen Strahlen des Kadmiumlichtes . . . 1966249,7 Wellenlängen,
in den blauen Strahlen des Kadmiumlichtes . . . 2083372,1 Wellenlängen.

Diese Messung ist mittels Interferenz der Lichtwellen ausgeführt worden und bildet die Grundlage für die heutigen genauesten Prüfmethoden, nach denen heute Messungen bis auf $\pm 0,025 \mu$ ausgeführt werden können². Man ist damit von der fortschreitenden Ungenauigkeit der aufeinanderfolgenden Übertragung vom körperlichen Urmeter auf folgende Kopien, der Reihe nach mit der Unsicherheit:

Gebrauchsnormal (témoin du Bureau International)	$\pm 0,1 \mu$
Deutsches Prototyp	$\pm 0,3 \mu$
Deutsches behördliches Gebrauchsnormal	$\pm 0,35 \mu$
Hauptnormal (Fabriks-Urmaß)	$\pm 0,4 \mu$
Fabriks-Gebrauchsnormal	$\pm 0,55 \mu$

unabhängig geworden und kann auch in der Fabrik mittels eines Interferenzkomparators die Längen — unabhängig von körperlichen Urmaßen — in Lichtwellenlängen ausmessen, falls nötig.

F. Meßmaschinen.

Allgemeines. Feststehende Meßeinrichtungen für genaueste Ausmessung (auf 1μ und weniger) der zur Revision verwendeten Meßwerkzeuge, in der Regel nur zur Verwendung im Meßraum, nennt man Meßmaschinen (im weiteren Sinne). Sie gliedern sich nach ihrer Arbeitsweise in drei Gruppen:

a) Die Messung erfolgt durch rein mechanische Mittel, und zwar eine genaue mit Korrekturvorrichtung versehene Meßschraube im festen Meßamboß, wobei der notwendige stets gleiche Meßdruck durch eine Fühlvorrichtung am verschiebbaren Amboß eingestellt wird.

b) Die Messung erfolgt auf einem Maßstab 1. Ordnung, der im Gestell der Meßmaschine unverrückbar gelagert ist, mittels Ablesung in einem am Meßamboß befestigten Mikroskop mit Mikrometerokular (bzw. Optimeter).

c) Die Messung erfolgt in Lichtwellenlängen durch Interferenz der vom Normalstück und Prüfling reflektierten Lichtstrahlen.

Eine derartige Maschine hat im Betrieb folgende Aufgaben zu erfüllen:

1. Kontrolle der Endmaße und festen Lehren der Revision.
2. Kontrolle der Strichmaße höherer Genauigkeit.

¹ Z. Instrumentenkde 1902, 293.

² Kösters: Z. Feinmechanik u. Präzision 1922, H. 1—3.

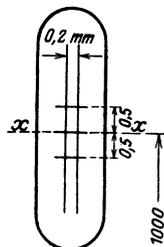
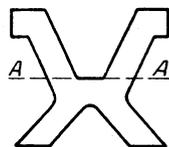


Abb. 2—3.
Querschnitt und Teilstriche des Urmeters.

3. (In besonderen Fällen) Ausmessung fester Lehren oder Prüflinge durch unmittelbare Strichmaßmessung.

Dementsprechend ist auch die Genauigkeit, die von der Meßmaschine verlangt wird, verschieden.

Für die Prüfung der Strichmaßstäbe genügt die handelsübliche Meßmaschine, die als kleinste Ablesung 1μ ergibt.

Für die Prüfung der Endmaße muß eine Genauigkeit von $0,1\mu$ verfügbar sein, um der kleinsten zulässigen Abweichung nach DIN 861 mit $\pm 0,25\mu$ zu genügen.

Aus diesem Grunde sind heute nebeneinander mechanische und optische Meßverfahren in Anwendung.

Zu a: Die **mechanischen Meßmaschinen** unterscheiden sich hauptsächlich durch die Fühleinrichtung, die mechanisch (Whitworth, Pratt & Whitney), hydraulisch (Reinecker, Hommel), durch Fühlhebel, Wasserwaage und dergleichen (Goepel, Alig & Baumgärtel, Shaw, Newall) betätigt wird. Meßmaschine von Hommel, Abb. 4 und 5, in Vorder- und Seitenansicht: Auf einem steifen

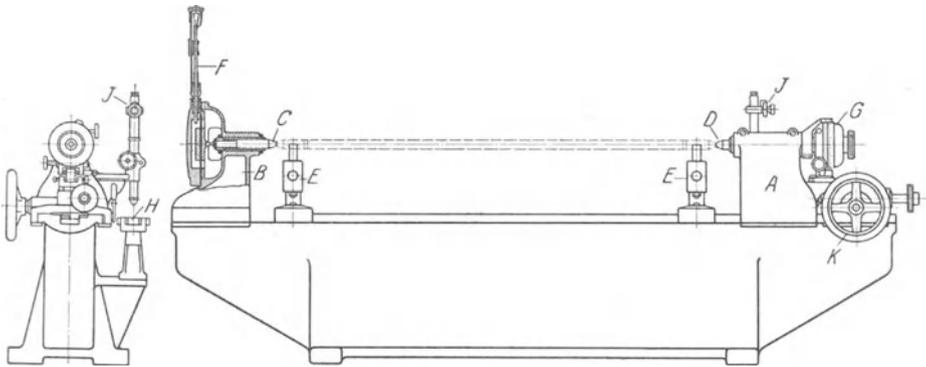


Abb. 4—5. Meßmaschine der Hommelwerke, Mannheim.

gußeisernen Bett mit geschabten Führungen sind zwei Meßköpfe *A* und *B* verschiebbar, von denen der eine den Fühlstift *C*, der andere die Meßschraube *D* trägt. Zwischen beiden liegt auf einstellbaren, genau gleichhohen Stützen *E* das zu messende Endmaß. Man legt nun das geprüfte Endmaß zwischen die beiden Fühlspitzen *C* und *D* und schraubt die Meßschraube *D* so weit hinein, daß die Flüssigkeit im Steigrohr *F* an der Marke steht. Dann liest man an der Meßtrommel *G* und ihrem Nonius ab und schreibt diese Ablesung auf. Weiter schraubt man, ohne die Feineinstellung an der Meßschraube zu lösen, diese zurück und nimmt das Normalendmaß, dessen genaue Länge man kennt, heraus, legt an dessen Stelle das zu untersuchende Maß und schraubt die Meßschraube wieder ein, bis der Flüssigkeitsstand im Steigrohr *F* wieder an der Marke steht. Liest man nun wieder an der Meßtrommel ab, so ergibt der Unterschied beider Ablesungen, je nachdem er positiv oder negativ ist, den Betrag, um den das untersuchte Endmaß von dem bekannten richtigen abweicht.

Um die Messung innerhalb der verlangten Genauigkeit von 1μ zu erhalten, ist die Meßschraube in dem Meßkopf *A* durch Schleifen der Gewinde so genau wie möglich hergestellt und die Mutter mit einer Sicherung gegen toten Gang versehen. Andererseits muß der Augenblick der Berührung des Fühlstiftes *C* mit dem zu messenden Endmaß, bei immer gleichstarkem Druck erhalten werden, weshalb, Abb. 5, der Fühlstift *C* gegen einen Meßdosenskolben drückt und die Flüssigkeit hinter ihm und der Membran bei seiner Bewegung in eine Kapillarröhre

bei F drängt, so daß ein Weg von 1μ des Fühlstiftes genügt, um den Wasserstand in der Röhre um 10 mm zu heben. Will man ein absolutes Maß ohne Vergleich mit einem bekannten Normalmaß erhalten, so bedient man sich des Präzisionsmaßstabes H auf der Rückseite der Maschine. Zu diesem Zwecke wird das Ablesemikroskop J am Meßsupport A bei aneinandergeschobenen Fühlspitzen C und D , Stellung der Flüssigkeit an der Nullmarke und allen Skalen auf Null, auf den Nullstrich des Maßstabes eingestellt, worauf der Meßsupport A so weit verschoben wird, daß das zu messende Endmaß eingelegt werden kann. Man verschiebt dann den Meßsupport A mit der Grobeinstellung K , bis der nächstliegende Teilstrich des Maßstabes mit dem Faden im Mikroskop zusammenfällt, und stellt dann den Meßsupport A fest. Dann schiebt man die Meßschraube durch Drehen des Kopfes an der Meßtrommel G so weit vor, daß bei Berührung der Fühlstifte mit dem zu messenden Körper die Flüssigkeit bis zur Nullmarke im Steigrohr F steigt. Die gesuchte Länge des Endmaßes ist dann die Ablesung am Maßstab, vermindert um die Ablesungen an der Meßschraube, wobei man noch die Korrekturtabellen des Maßstabes selbst berücksichtigen muß.

Meßmaschine mit Fühlhebel von Alig & Baumgärtel, Aschaffenburg, Abb. 6: Der Meßkopf mit der

Mikrometerspindel ist bei allen Meßmaschinen sehr weitgehend ähnlich der Abb. 5, kann also bei weiterer Besprechung übergangen werden.

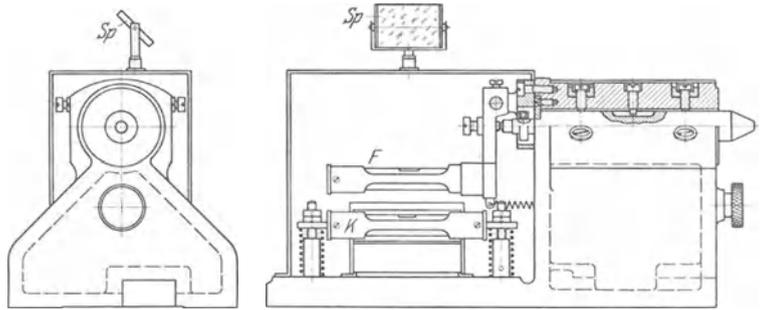


Abb. 6. Fühlamboß der Meßmaschine von Alig & Baumgärtel, Aschaffenburg.

Der Fühlstift des zweiten Meßkopfes nach Abb. 6

drückt gegen den kurzen Arm des Libellenhebels, der eine Libelle F' von rund $10''$ auf 2 mm Empfindlichkeit trägt. Bei 5 mm Länge des kurzen Hebelarmes ergibt sich für 1μ Meßweg ein Blasenanschlag von $6,6'' = 1,3$ mm, Zehntelschätzung erlaubt die Einstellkontrolle auf rund $0,1\mu$. Zur Vermeidung der Aufstellungsfehler ist eine zweite Libelle K gleicher Empfindlichkeit, aber etwas anderer Blasenlänge fest mit der Maschine verbunden, so daß gleichzeitig beide Blasenbilder F' und K , Abb. 7, über 2 Prismen beobachtet werden können. Bei der Einstellung der Normalstellung bringt man die Blasenenden F' nacheinander mit den Blasenenden K zur Deckung und beobachtet im Spiegel Sp .

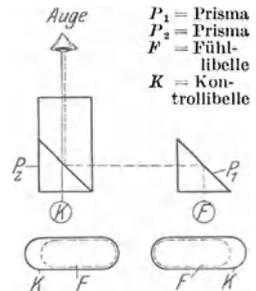


Abb. 7. Schema der Messung mit der Meßmaschine nach Abb. 6.

Zu b: Die Meßmaschine mit Maßstab von Zeiß (Abb. 8), hat als Maßstab Glasstrichmarken g_1 im Bett k in Abständen von genau 100 mm, auf die der Meßamboß a nach der außen am Bett angebrachten entsprechenden Grobteilung eingestellt wird. Unter dem Meßbock b , der ein Meßmikroskop e und ein Optimeter¹ c für die Abmaßbestimmungen trägt, befindet sich, fest im Bett gelagert, ein in $1/10$ mm geteilter Feinmaßstab aus Glas g_2 . Meßamboß und Meß-

¹ Näheres über Optimeter s. S. 51.

bock sind durch das mitgehende Linsen- und Prismensystem h, i , optisch miteinander verbunden.

Zur Einstellung eines Maßes wird der Meßamboß a auf die ganzen 100 mm eingestellt, die betreffende 100-Marke erscheint im Gesichtsfeld des Meßmikroskopes e

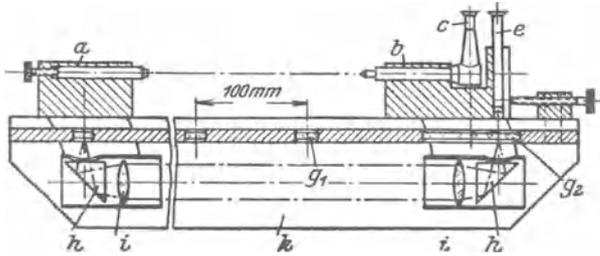


Abb. 8. Meßmaschine von Carl Zeiß, Jena.

als Doppelstrich auf dem Feinmaßstab g_2 abgebildet, wonach die Marke durch Verschieben des Meßbockes b auf das weitere Maß, Zehner, Einer bis auf $\frac{1}{10}$ mm genau eingestellt wird. Nach Einlegen des Prüflings zeigt das Optimeter c , unmittelbar ablesbar, das Abmaß des Prüflings in μ bzw. durch Schätzung bis auf $0,1\mu$.

Zu c: **Meßeinrichtung nach dem Interferenzverfahren.** Die genaueste Messung nach diesem Verfahren zum unmittelbaren Anschluß von Endmaßen an Lichtwellenlängen ist von Kösters im Interferenzkomparator (Abb. 9) durchgeführt worden.

Die ebene Fläche S_1 des Spiegels mit Fadenkreuz wird durch den halbdurchlässigen Spiegel Pl in einer Ebene R zwischen S_2 und Q abgebildet. Zwischen diesem Bilde R einerseits und Grundfläche Q bzw. Endmaßfläche S_2 andererseits

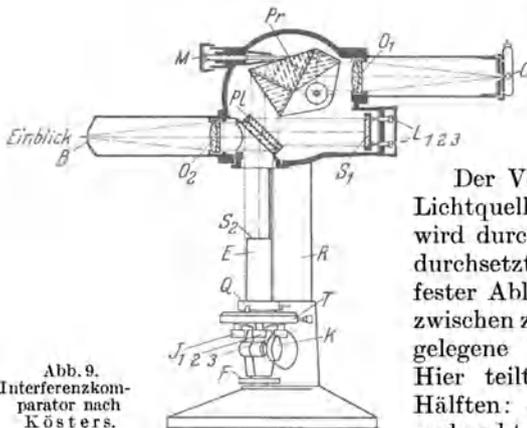


Abb. 9. Interferenzkomparator nach Kösters.

entstehen bei passender Neigung 2 Systeme Interferenzstreifen, und zwar eine Gruppe aus $R + S_2$ und eine andere aus $R + Q$, aus deren Verbindung die Endmaßlänge entnommen werden kann.

Der Vorgang ist folgender: „Das von der Lichtquelle C (Geißlerrohr) kommende Licht wird durch das Objektiv O_1 parallel gerichtet, durchsetzt das Zerstreuungsprisma Pr mit fester Ablenkung von 90° und fällt auf die zwischen zwei keilförmigen ebenen Glasplatten gelegene halbdurchlässige Metallschicht Pl . Hier teilt sich der Strahl in zwei gleiche Hälften: die eine wird reflektiert, gelangt senkrecht auf den ebenen Spiegel S_1 wird hier

wieder reflektiert, durchsetzt die halbdurchlässige Metallschicht Pl , wird durch das Objektiv O_2 in der kleinen Blende B vereinigt und gelangt von da ins Auge. Die andere Hälfte des Strahles durchsetzt, vom Zerstreuungsprisma kommend, die halbdurchlässige Schicht, fällt auf die obere Fläche S_2 des Endmaßes E , ferner auf die Grundfläche Q , wird von beiden reflektiert und gelangt nach Reflexion an der halbdurchlässigen Schicht ins Auge. Die beiden Hälften des Strahles interferieren miteinander“.

Die eigentliche Ausmessung erfolgt nicht durch unmittelbare Auszählung wie bei Michelson, sondern durch Beobachtung der Restteile der halben Wellenlänge bei 6 Farben des Spektrums nach Tabellen.

Bei solchen Messungen muß die Temperatur des Raumes und der zur Messung verwendeten Vergleichmaße bekannt sein und äußerst genau gleichgehalten wer-

den, besonders wenn Versuchs- und Vergleichskörper nicht aus gleichem Werkstoff bestehen, damit man die Länge des betreffenden Körpers bei der gesetzlich festgelegten Meßtemperatur von 20° — DIN 102 — aus dem Ausdehnungskoeffizienten und der Länge bei der Beobachtungstemperatur ausrechnen kann.

II. Meßwerkzeuge.

Im Maschinenbau wird durch grundsätzlich verschieden gebaute Werkzeuge und durch verschiedene Verfahren gemessen, die wie folgt eingeteilt werden können:

1. Übertragen eines Maßes von dem Vergleichkörper auf den zu messenden Körper. Dazu gehören Greifzirkel, Anreißwerkzeuge und dergleichen.

2. Feste Maße, d. h. solche, die nur ein ganz bestimmtes Maß zwischen den Meßflächen darstellen, z. B. Lehrdorne, Rachenlehren, Endmaße, Formlehren und dergleichen.

3. Einstellbare Maße, d. h. solche, die durch gegenseitige Verschiebung der Meßflächen oder Verwendung verschiedener Teilstriche die Messung verschiedener Längen innerhalb des Meßbereiches des Werkzeuges gestatten, z. B. Maßstäbe, Schraublehren, Schublehren und dergleichen.

4. Fühlhebel, die erlauben, die Abweichung einer zu messenden Größe von dem richtigen Maß festzustellen, das durch den Nullpunkt der Fühlhebelskala bestimmt wird.

A. Meßwerkzeuge zur Übertragung.

Übertragung vom Arbeitsstück auf den Maßstab. Das einfachste Werkzeug, mit dem man Maße irgendeines Körpers von sehr verschiedener Größe abnehmen kann, ist der Taster (Abb. 10), der in der einfachsten Form aus zwei um einen Zapfen drehbaren Schenkeln besteht, die mit einer gewissen Reibung aneinander gleiten müssen, damit die beiden eingestellten Schenkel auch das Maß zwischen sich festhalten und diese Entfernung nicht zu leicht durch unbeabsichtigte Berührung ändern.

Nimmt man mit dem Taster von irgendeinem Körper ein Maß ab, so erlaubt das Gefühl, bei der Einstellung sehr feine Unterschiede, bis zu 0,01 mm, zu fühlen, die man auf die gewöhnliche Weise gar nicht messen kann. Man muß für diese Messungen das Gefühl sehr fein entwickeln, weil die Taster möglichst leicht sein sollen und deshalb bereits ein geringer Druck genügt, um sie durchfedern zu lassen, so daß man dann leicht bei mittleren Öffnungen von 200—300 mm um mehrere Zehntelmillimeter falsch messen kann. Ebenso wichtig ist das Übertragen des abgenommenen Maßes auf den Maßstab. Das Ende des Tasters hat eine gewisse Dicke, der Strich am Maßstab ebenfalls. Da man nun an 2 Stellen des Maßstabes einzustellen bzw. abzulesen hat, so kann man folgende Fehler machen, die sämtlich bedeutend größer als die durch einen geschulten Arbeiter erhaltenen Unterschiede im Abgreifen des Maßes sind:

Die Tasterkante liegt z. B. um rund $\frac{1}{2}$ Zehntel Millimeter von der richtigen Maßstablinie ab (Abb. 11).

Die zweite Tasterspitze, an der abgelesen werden soll, fällt fast nie mit einem Maßstabstrich zusammen; man kann bei der Ablesung mit Übung gerade noch

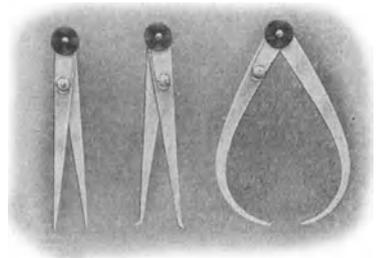


Abb. 10. Zirkel, Innentaster, Außentaster mit Feineinstellung (Carl Mahr, Eßlingen).

$\frac{1}{10}$ mm richtig schätzen. Nun ist aber das Tasterende auch 1—2 mm dick, so daß man (Abb. 12) genau senkrecht auf die Kante visieren muß, um die richtige

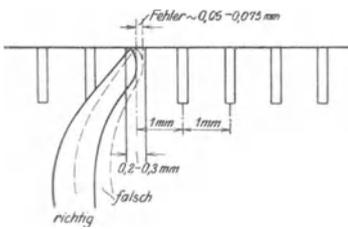


Abb. 11. Fehler beim Anlegen des Tasters.

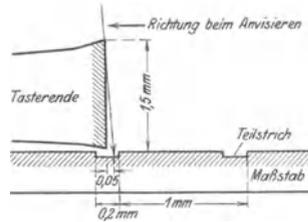


Abb. 12. Fehler beim Anvisieren der Tasterkante.

Ablesung zu machen. Nimmt man eine Strichdicke am Maßstab von 0,2 mm, eine Dicke des Tasterendes von 1,5 mm an, so genügt es, das Auge, das sich gewöhnlich in der normalen Sehweite von 250 mm von dem Maß-

stab befindet, um rund 8 mm aus der Senkrechten zu verschieben, um einen Fehler von 0,05 mm in der Ablesung zu machen. Man sieht, daß sich leicht alle diese

Fehler addieren können (natürlich im günstigen Falle auch gegenseitig aufheben), so daß man besser Vorsichtsmaßregeln anwendet, um die Fehler möglichst zu verringern. Ein einfaches Mittel, um die eine Ablesung von einem unbeabsichtigten Verschieben unabhängig zu machen und gleichzeitig

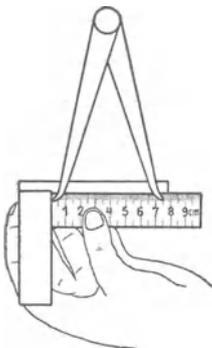


Abb. 13. Einstellung des Tasters mit Anschlagwinkel.

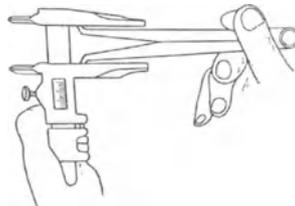


Abb. 14. Abnahme des Maßes im Taster von der Schieblehre.

immer auf dieselbe Nullstellung anzulegen, ist die Verwendung eines mit Teilung versehenen Anschlagwinkels (Abb. 13), oder die Abnahme des Maßes zwischen den Tasterenden mit der Schieblehre. Man stellt dabei (Abb. 14) beide Backen der Schieblehre angenähert auf das im Taster enthaltene Maß, schraubt dann den Nonius fest und bringt

nun allmählich durch fortwährendes Fühlen die Backen der Schieblehre mit der Feineinstellschraube so aneinander, daß der Taster gerade noch zwischen den Backen durchgeht. Eine solche Messung einer Bohrung, im Werkstättenbetriebe von 3 Personen ausgeführt mit Taster und Abnahme des Maßes vom Taster mit dem Anlegemaßstab und der Schieblehre



Abb. 15.

Beobachter	Maß abgenommen mit		Messung des Loches mit Schieblehre
	Anlegemaßstab	Schieblehre	
A	65 mm	65 mm	64,95 mm
B	64,8 „	64,9 „	
C	65 „	65 „	

Daraus zeigt sich, daß die Beobachter A und C im Abschätzen geübter sind als der Beobachter B.

Da die mit Maßstabteilung versehenen Winkel in der Werkstätte nicht häufig zu finden sind, hilft man sich nach Abb. 16 mit einem Klemmring, den man sich selbst leicht herstellen und auf jedem Maßstab befestigen kann, gegen den man den Taster anlegt.

Hat man öfter Stücke mit Absätzen abzugreifen, so bedient man sich mit Vorteil eines einseitigen Tasters nach Abb. 17. Zum Messen von Ausdrehungen, aus denen man den Taster nicht herausziehen kann, ohne das abgegriffene Maß

zu zerstören, benutzt man Doppeltaster (Abb. 18), bei denen man das Maß entweder an dem Maßstab und Nonius ablesen oder an dem zweiten Maul abnehmen kann, da die beiden Öffnungen so stehen, daß sie stets dasselbe Maß angeben. Steht einem aber kein derartiges Werkzeug zur Verfügung, so kann man sich nach Abb. 19—21 selbst helfen. In Abb. 19 sind in die Schenkel des Innentasters zwei Rundstifte eingesetzt

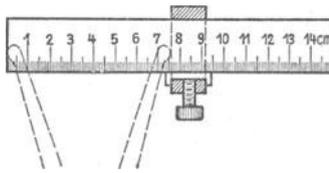


Abb. 16. Einstellung des Maßes mit Maßstab und Stellring.

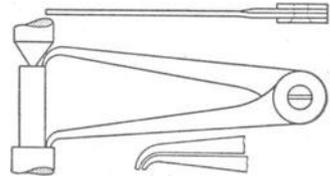


Abb. 17. Einseitiger Taster.

oder Ansätze (links) ausgefeilt, über denen man das Maß mit einem Außentaster abnimmt, so daß man den Innentaster nach Entfernung aus dem Loch mit dem Außentaster leicht wieder auf sein Maß einstellen kann. Im Notfall — aber auch nur dann — kann man sich, wie in Abb. 20 ersichtlich, eine Linie an dem zweiten Schenkel anreißen und seinen Taster nach dem Herausnehmen aus dem Loch wieder auf diese Linie einstellen. Doch muß dabei mit sehr großer Sorgfalt und

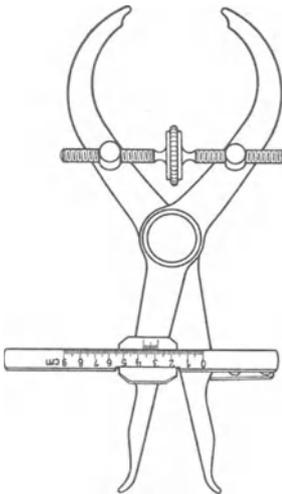


Abb. 18. Doppeltaster. Carl Mahr, Eßlingen.

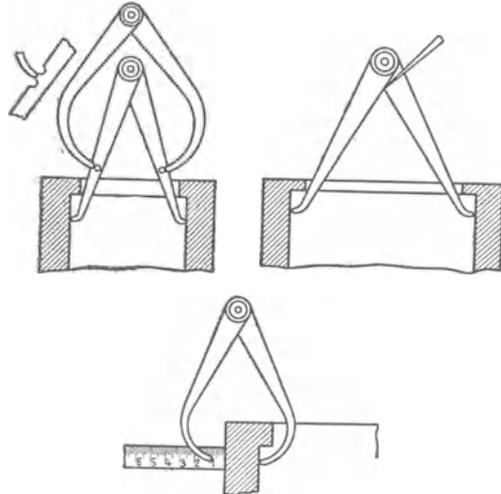


Abb. 19—21. Hilfsmittel beim Abtasten einer Ausdehnung.

Übung vorgegangen werden, da man leicht zu große Meß- und Einstellfehler macht. Der dritte Weg (Abb. 21) verlangt eine Einstellung des Tasters auf den äußeren Flansch. Mit dieser Einstellung geht man herunter in die Ausdehnung und mißt an einem außen angelegten Maßstab den Dickenunterschied zwischen Flansch und Wand. Dann zieht man den Taster heraus und mißt die Flanschdicke in der gewöhnlichen Weise. Der Unterschied der beiden so erhaltenen Maße ergibt die Wandstärke in der Ausdehnung.

Übertragung vom Maßstab auf das Arbeitsstück. Bei der Übertragung eines Maßes auf das Werkstück kann es sich entweder darum handeln, festzustellen, ob z. B. ein gedrehtes Stück bereits den richtigen Durchmesser hat, oder darum, an einem Stück ein gewisses Maß anzureißen.

Im ersten Fall geht man mit dem Innen- oder Außentaster den umgekehrten Weg wie oben beschrieben wurde, im zweiten Fall verwendet man besondere Anreißwerkzeuge auf einer ebenen Unterlage. Für niedrige Werkstücke oder unter vor-

kragenden Leisten wird die besondere Bauart (Abb. 22), sehr handlich sein, da man bei einem Universalapparat und sehr tief stehender Reißnadel beim Verschieben

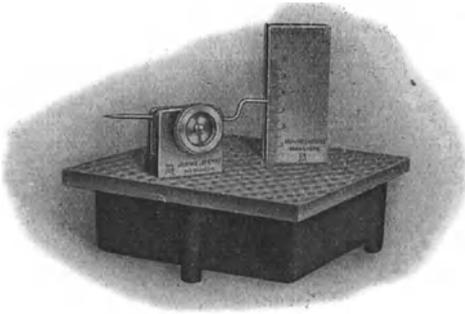


Abb. 22. Reißnadel für niedrige Stücke
(Hommelwerke, Mannheim).

leicht die Einstellung der Nadel unbeabsichtigt stört, weil die am Fuß angreifende Hand an die Klemmteile faßt. Hier dagegen umgreift die Hand breit die Klemmleisten, so daß man überhaupt nicht an die Nadel selbst kommen muß.

Besonders bei Arbeiten an Schnitten und Lochwerkzeugen genügt die übliche Anreißmethode nicht, da die Einstellfehler zu groß werden; man muß dann gleichzeitig messen und anreißern. Um diese Arbeit genügend genau auszuführen, ist von Johansson die in Abb. 23 wiedergegebene

einstellbare Reißnadel ausgeführt worden. Hier wird die Reißnadel, deren Unterfläche mit der Genauigkeit der Endmaße eben gemacht ist, durch Zwischenklemmen einer entsprechenden Kombination von Endmaßen auf die gewünschte Höhe eingestellt, ohne daß ein besonderes Meßwerkzeug angewendet wird. Der Fuß der Reißnadel selbst hat eine auf Endmaßgenauigkeit gearbeitete Höhe (35 mm).

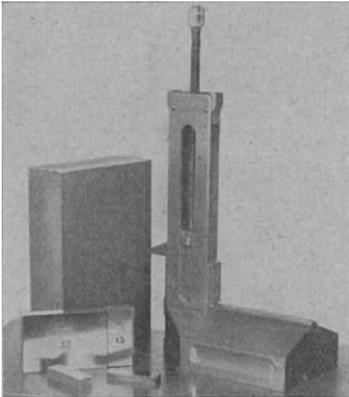


Abb. 23. Mit Endmaßen einstellbares Anreißwerkzeug (C. E. Johansson, Eskilstuna).

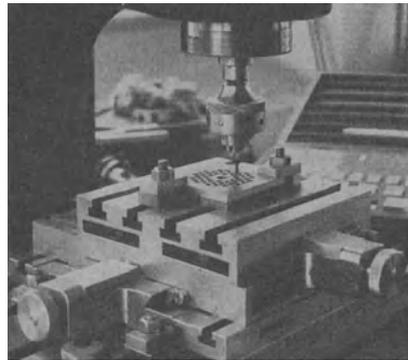


Abb. 24.
Bohren und Reiben einer Schnittplatte mit Einstellung durch Endmaße auf dem Kreuztisch.

Bei Bohr- und Reibarbeiten kann man nach Abb. 24 das Anreißern durch die Einstellung nach dem Koordinatensystem ersetzen. Das auf dem Kreuztisch ausgerichtete Werkstück wird durch die beiden zwischen festen Anschlag bzw. Einstellschraube und Tischschlitten eingeschalteten Endmaße für jedes Loch nach zwei zueinander rechtwinkligen Richtungen eingestellt, was leicht bis auf 0,01 mm genau möglich ist. Der tote Gang ist ausgeschaltet. Notwendig dabei ist aber genaues Rundlaufen der Werkzeuge, Einspannung unmittelbar im Kegel oder im Zangenfutter statt im Backenfutter und geringste Ölluft in der Spindel.

Zum Anreißern von Kreisen ist ein Zirkel nach Abb. 25 mit in der Höhe verstellbaren, auswechselbaren Spitzen sehr gut verwendbar, z. B. für das Anreißern

eines Kreises mit dem Mittelpunkt auf dem Putzen. Man kann bei einem derartigen Zirkel die Einsätze stets senkrecht zur Arbeitsfläche einstellen, ihn sowohl als Anreißzirkel wie als Außen- und Innentaster verwenden. Außerdem ist die Spannweite des Zirkels bis zur vollen doppelten Schenkellänge ausnützbar (Abb. 26).

Der Parallelreißer wird auf die verlangte Höhe nach einem senkrecht stehenden Maßstab eingestellt, wobei der Vorreißer an einem größeren Stück mit mehreren voneinander abhängigen Maßen dauernd zu addieren oder zu subtrahieren hat. Hierbei kommen selbst bei der größten Vorsicht neben den unvermeidlichen Einstellfehlern, mehr als erwünscht, Rechenfehler vor, besonders wenn auf der Zeichnung die Maße nicht gleich in der Weise eingeschrieben sind, wie es das Anreißen und die Bearbeitung erfordert¹.

Eine bedeutende Erleichterung der üblichen Arbeitsweise gegenüber gibt der Maßstabständer (Abb. 27). Um das Addieren und Subtrahieren der Summenmaße bei der Einstellung der Reißnadel zu ersparen, ist neben dem festen Maßstab *A* eine verschiebbare Additionsskala *B* vorgesehen, deren Nullpunkt man auf den einstellbaren Haarriß des Schiebers *C* einstellt. Man stellt den Parallelreißer nach dem festen Maßstab auf das Hauptmaß des anzureißenden Stückes, worauf die weiteren Einstellmaße mit der verschiebbaren Additionsskala *B* und Schieber *C* ohne Rechnen, nur durch Einstellen nach oben oder unten erhalten werden. Man erspart damit fast die Hälfte der sonst bloß für das Anreißen, ohne Ausrichten, notwendigen Zeit.

Zeichnerische Messung. Im allgemeinen ist es bis jetzt in der Werkstatt wenig üblich, Abmessungen aufzeichnen zu lassen, während man in anderen Gebieten der Technik sehr viel Gebrauch davon macht, z. B. an Indikator- und Festigkeitsschaubildern, in der Geodäsie und dergleichen. Wenn man nämlich zur Bestimmung irgendeiner unregelmäßigen Umrißlinie viele Punkte einzeln auszumessen hat, wird die Arbeit zu teuer und meistens auch nicht besonders genau. In solchen Fällen tritt besser irgendein selbsttätig aufzeichnender Apparat in Verwendung, von dessen Schaubild man die gewünschten Maße abnimmt. Da man bei einem richtig gebauten Schreibapparat mit sauberer Linie genau genug $\frac{1}{10}$ mm ausmessen kann, kommt man sicher auf die Genauigkeit der gewöhnlichen punktweisen Bestimmung. Ein solcher Apparat zur Aufzeichnung der neuen und abgenützten Radreifenlinie ist in Abb. 28 abgebildet. Wenn es sich auch um einen Sonderzweck handelt, so ist der Aufbau des Apparates so einfach, daß man daraus leicht Anregungen für weitere Verwendung finden wird. Da der Apparat zwischen Taster und Schreibstift keine Gelenke hat, so ist die Übertragung so genau wie möglich. Nimmt man von dem abgenützten und dem abge-

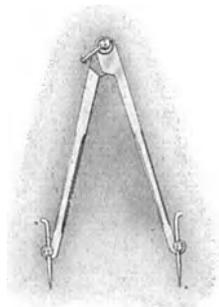


Abb. 25. Zirkel mit verstellbaren, auswechselbaren Einsätzen (Carl Mahr, Elbingen).

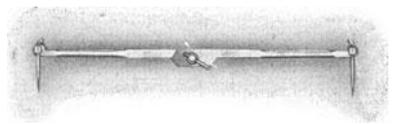


Abb. 26. Zirkel nach Abb. 25 voll geöffnet.

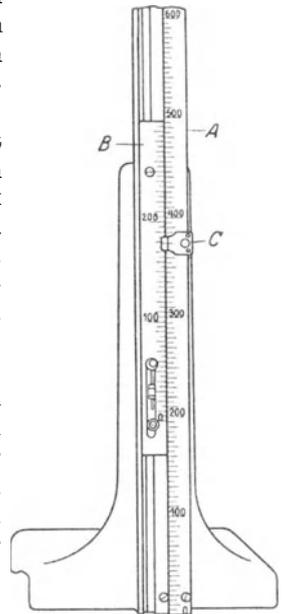


Abb. 27. Additionsmaßstab von Teegeler.

¹ Das Nähere über diese Arbeit siehe Heft 3 der Werkstattbücher: Anreißen.

drehten Reifen wieder derartige Schaubilder auf, so läßt sich durch Planimetrieren der zwischen beiden Kurven liegenden Fläche die abgedrehte Werkstoffmenge leicht berechnen und danach der Lohn bestimmen, ohne daß man die Räder zweimal besonders zur Waage befördern und wägen muß.

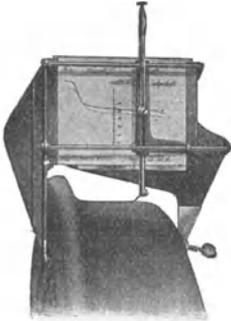


Abb. 28. Radreifen-Schaubildlinienzeichner (Carl Mahr, Eßlingen).

Die ganze Vorrichtung besteht aus einem, an einer Stange befestigten Taster und Schreibstift, senkrecht und waagrecht in Geradföhrungen geföhrt und auf einer zur Aufnahme des Schreibblattes bestimmten Grundplatte aufgebaut. Das mit der Schaulinie zu versehende Schreibblatt wird gegen Anschlagleisten gelegt und festgekllemmt, hierauf wird die Vorrichtung, wie oben abgebildet, an die Innenfläche des zu messenden Radreifens angelegt — wobei die Nocken an der Krempe des Radreifens anliegen müssen — und hernach die Flügel schraube angezogen.

Der vorher festgestellte Schreibstift wird ausgelöst, und der Radreifen kann umfahren werden, wobei der Schreibstift genau das Bild des vom Taster beschriebenen Weges wiedergibt. In das so gewonnene Schaubild wird die Normalumgrenzung seitlich berührend mit dünner Blechlehre eingezeichnet. Der Zwischenraum zwischen beiden Schaulinien zeigt die zu entfernende Werkstoffmenge.

Mit der vorliegenden Schreibeinrichtung ist es leicht, ein und denselben Radreifen in seinen verschiedenen Abnützungszuständen während seiner ganzen Arbeitszeit fortlaufend bildlich auf einem Blatt Papier aufzuzeichnen und auf diese Weise einen Überblick über sein ganzes Verhalten zu Vergleichszwecken zu gewinnen.

B. Feste Maße.

Das ursprüngliche Maß, das der Mensch zum Messen verwendet hat, war das feste Maß.

Unter einem festen Maß versteht man ein solches, das zwischen den Meßflächen nur eine einzige, unveränderliche Größe angibt, die gegebenenfalls in ihrer wirklichen, zahlenmäßigen Ausdehnung, d. h. in Einheiten und Bruchteilen der anerkannten Maßeinheit, gar nicht bekannt zu sein braucht. Ein Stichmaß für irgendeine Bohrung, das in der Werkstätte passend gefeilt wird, ist ein solches festes Maß. Es wird als solches verwendet, ohne daß man seine wirkliche Länge kennen will. Eine Blechlehre für eine Keilnut ist ebenfalls ein festes Maß. Selbstverständlich sind alle Lehrdorne, Rachenlehren und Endmaße auch feste Maße. Die festen Maße sind auch die ursprünglichen gewesen, die sich mit dem Werdegang des Menschen entwickelt haben, wie die aus den ältesten Zeiten stammenden Maßbezeichnungen: Elle (ursprünglich die Länge des einen Armknochens, der Elle) und Fuß heute noch deutlich erkennen lassen.

In den letzten 25 Jahren ist das Messen nach festen Maßen weitgehend entwickelt worden, da es mit viel größerer Sicherheit die Kontrolle und Vervielfältigung irgendeines Maßes in dem gewöhnlichen Werkstättenbetrieb gestattet als einstellbare und Strichmaße. Die in dieser Richtung weitgehendste Entwicklung und den größten Einfluß auf die Massenfabrikation austauschbarer Teile hat das Messen nach dem Grenzlehrensystem geschaffen und dieses wieder die heute genauesten Kontrollwerkzeuge, die Parallelendmaße, hervorgebracht.

Bei der Besprechung sollen die festen Maße in zwei Hauptgruppen geteilt werden:

1. Feste Maße bestimmter, bekannter Größe: Normalmaße, -lehrdorne und -lehren; Grenzlehren und -lehrdorne; Parallelendmaße.

2. Feste Maße beliebiger unbekannter Größe: Fabrikationslehren; Stichmaße u. dgl.

Die ersten Werkzeuge werden fabrikmäßig hergestellt und sind mit bestimmter Genauigkeit im Handel erhältlich, die zweiten werden dagegen in der betreffenden Werkstatt von Fall zu Fall besonders angefertigt und sind in ihrer Genauigkeit verschieden, je nach der Sorgfalt der Herstellung und der verlangten Passung.

1. Feste Maße bestimmter bekannter Größe.

Normalmaße. Die als Normalmaße bezeichneten Meßwerkzeuge, und zwar Lehrdorne und -ringe, Meßscheiben, Loch- und Rachenlehren, wurden früher ausschließlich zum Messen in der Werkstatt verwendet, da nur nach festen Maßen gearbeitet wurde. Sie sind heute nur mehr als Prüflehren zur Kontrolle der Arbeitslehren und als Einstellmaße an Werkzeugmaschinen, für Fühlhebelmeßwerkzeuge usw. in Gebrauch. Sie enthalten innerhalb der Herstellungsgenauigkeit das betreffende Maß zwischen den messenden Flächen. Die Herstellungsgenauigkeit ist nach DIN 2058 und 2059 gestuft nach dem Durchmesser von $\pm 0,7 \mu$ bei 1—6 mm \varnothing bis zu $\pm 6,0 \mu$ bei 430 bis 500 mm \varnothing , außerdem nach dem Gütegrad in Prüflehren 1., 2. und 3. Güte. Eine Meßscheibe oder ein Endmaß mit Zylinderflächen hat ein verschiedenes Maß bei gleichem Nennmaß, je nach dem Verwendungszweck:

als Einstelllehre: Nennmaß \pm Herstellungsgenauigkeit,

als Prüflehre für die abgenutzte Arbeitsrachenlehre: Nennmaß + (bzw. —) oberes Abmaß — zulässige Abnutzung \pm Herstellungsgenauigkeit der Prüflehre,

als Prüflehre für die neue Arbeitsrachenlehre: Nennmaß + (bzw. —) oberes Abmaß + Herstellungsgenauigkeit nach DIN 2057 \pm Herstellungsgenauigkeit der Prüflehre.

Diese Maße gelten für die Bezugstemperatur von 20° (DIN 102), d. i. jene Temperatur, bei der die Meßwerkzeuge und Werkstücke die vorgeschriebene Größe besitzen sollen. Da sich alle Körper mit steigender Temperatur ausdehnen (ungehärteter Stahl mit dem Ausdehnungskoeffizienten $(11,5 \pm 1,5) 10^{-6}$, so wird bei einer höheren Temperatur die Entfernung zwischen den Meßflächen größer geworden sein. Hätten wir also eine gewöhnliche Rachenlehre von 100 mm, die bei 0° genau 100 mm angibt und würden wir einen Lehrdorn aus einem Stoff, der sich mit der Temperatur sehr wenig ändert, z. B. aus Invar (Stahl mit 36% Ni), bei 16° einführen, so würde der Lehrdorn aus Invar lose in der stählernen Rachenlehre gehen. Da sich nun nicht allein die Meßwerkzeuge, sondern auch die Werkstücke, die ja meistens aus Eisen oder Stahl sind, ebenfalls proportional mit der Temperatur ausdehnen, so wäre es für die Genauigkeit der Passungen bei Werkstücken aus den üblichen Eisensorten praktisch gleichgültig, bei welcher Temperatur die verwendeten Meßwerkzeuge das wirkliche Maß angeben. Nur müssen alle verwendeten Meßwerkzeuge bei **derselben** Temperatur das angegebene Maß darstellen. Man bringt aber sofort merkbare Fehler in die Passungen, wenn man in einem Betriebe Lehren oder Dorne verwendet, von denen einige ihr Maß bei 0°, andere bei 16° und wieder andere bei 20° haben, weil dann zwei Instrumente bei der herrschenden Arbeitstemperatur mit der gleichen Bezeichnung durch ihre Temperaturausdehnung verschiedene Längen haben werden.

Steht also auf einem derartigen Maß außer der Maßzahl keine weitere Angabe, so ist man im allgemeinen berechtigt anzunehmen, daß dieses Maß bei 20° der wirklichen Länge gleich ist.

Dies gilt natürlich auch für alle anderen festen Maße.

Formen der Normalmaße. Die Normalmaße bestehen in der einfachsten Form aus einem Vollzylinder und einem Ring, die genau den verlangten Durchmesser

haben sollen, außerdem werden benutzt: Normalmeßstäbe für Durchmesser über 100 mm (DIN 310) von rechteckigem Querschnitt mit zylindrischen Enden und Normalkugellendmaße (DIN 309) für Durchmesser über 250 mm. Sie werden aus Stahl gefertigt, gehärtet, auf das sauberste geschliffen und poliert. In der tatsächlichen Ausführung sind zwei große Gruppen entstanden: die Normallehrdorne und -ringe und die Meßscheiben, deren Form ihrem Verwendungszweck entsprechend verschieden ist. Der Lehrdorn wird zur Kontrolle einer Bohrung verwendet und

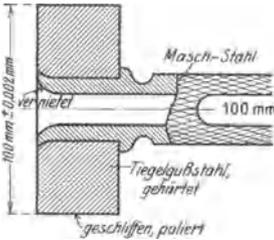


Abb. 29. Lehrdorn von August Kirsch, Aschaffenburg.

hat deshalb eine größere Länge, z. B. für 16÷22 mm \varnothing — nach DIN 226 — 30 mm, und wird grundsätzlich mit dem Griff verwendet. Die Meßscheibe stellt nur das betreffende Normalmaß dar, ist infolgedessen kürzer, bei 18 mm \varnothing 9 mm, bei 32 mm \varnothing , 10 mm (nach DIN 308) und kann für gewisse Arbeiten mit einem deshalb leicht lösbaren Griff verbunden werden (vgl. DIN 305).

Aus Herstellungs- und Wirtschaftlichkeitsgründen (Schwierigkeiten der Härtung, Werkstoffkosten, Abnutzungs- und Erneuerungsfragen usw.) haben die herstellenden Firmen seit langem die Lehrdorne über 20 mm \varnothing aus mehreren Stücken, z. B. nach Abb. 29 oder 30 zusammengebaut.

Nun sollen aber alle derartigen Meßwerkzeuge möglichst überall zu verwenden sein, was gleiche Formen, gleiche Bezeichnungen und nicht zuletzt gleiche Baumasse bedingt, damit auch im Betrieb mit Fabrikaten verschiedener Firmen nebeneinander ohne Störung gearbeitet werden kann.

Aus solchen Erwägungen sind die in DIN 226, 227 angegebenen Vorschriften entstanden, die grundsätzlich wohl den inneren Aufbau der Lehrdorne den einzelnen Firmen freilassen, jedoch die Baumasse festlegen. Für den Aufbau gibt es drei Möglichkeiten: 1. Lehre mit Griff aus einem Stück, 2. Meßzylinder mit schlankeem Kegel (1 : 50) für Einsteckgriff (Abb. 31), 3. Meßzylinder auf Griff aufgesteckt wie in Abb. 29 und 30. Für die 2. Ausführung sind für

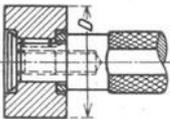


Abb. 30. Lehrdorn der Loewe-Gesürel A.G., Berlin.

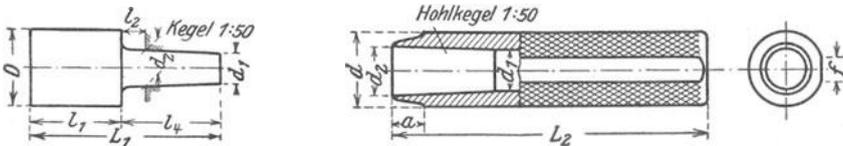


Abb. 31. Lehrdorn mit Einsteckgriff nach DIN.

alle Größen der Abb. 31 die Zahlenwerte in der Norm angegeben, und zwar für die Meßzylinder bis 100 mm \varnothing .

Der Lehrdorn ist wohl in seiner Konstruktion einfacher, wird aber heute nur als Normallehrdorn oder als Einstellring (z. B. für einstellbare Reibahlen) verwendet. Seine Maßkontrolle und Prüfung auf zylindrische Form ist sehr schwierig, besonders bei den kleinen Durchmessern, wenn man die gleiche Genauigkeit wie für die Bohrungslehren erhalten will.

Die früher geübte Prüfung durch Aufdrehen auf einen Lehrdorn läßt innerhalb des Einführungsfühlens einen viel zu großen Spielraum für die tatsächlich vorhandene Passung übrig, ganz abgesehen von der Art des Schmiermittels. Lehrdorn und Lehrdorn von wirklich gleichem Durchmesser lassen sich nur unter elastischer Dehnung des Ringes übereinanderschieben.

Die unmittelbare oder Vergleichsmessung von Ringen ist mit der Meßmaschine von Zeiß, die mit Optimeter und Maßstab, jedoch ohne Meßschraube arbeitet — durch die Einführung von Hilfsmeßbügeln nach Abb. 32 — bis auf 1μ möglich. Man stellt aus Endmaßen und Meßschnäbeln (vgl. S. 28) eine Rachenlehre her, nach der das Optimeter der Meßmaschine eingestellt wird und bestimmt die Abweichung des zu prüfenden Lehr-ringes aus der Anzeige des Optimeters. Der Meßbereich dieser Einrichtung beträgt 13,5—120 mm.

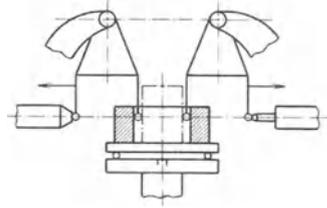


Abb. 32. Messung von Lehrringen auf der Meßmaschine von Zeiß (Abb. 8).

Flachlehre: Zu den erwähnten Schwierigkeiten bei der Verwendung und Ausmessung der Lehrringe kommt hinzu, daß man bei Einführung eines Lehrdornes nicht finden kann, welche Stelle im Loch nicht paßt, ob und an welcher Stelle das Loch unrund ist u. dgl.

Man bildet deshalb — und spart dabei gleichzeitig an Gewicht und Werkstoffkosten — die Lehrdorne als Flachlehren nach Abb. 33 bis 36 aus. Da bei dieser Ausbildung nur eine Berührung (Abb. 37—38) auf einer schmalen Fläche beim Flachkaliber und eine Linienberührung bei der Rachenlehre auftritt, ist ein leichteres Fühlen möglich als bei dem Voll-Lehrdorn oder dem Ring. Da die Flachlehren auch noch bedeutend leichter sind, ist die Verwendung am Werkstück bequemer, und schließlich lassen sich die Meßbacken, wenn einsetzbar ausgeführt, erneuern. Allerdings muß man mit den Flachlehren an verschiedenen, mindestens 2 (um etwa 90° versetzten), Stellen messen, um die Richtigkeit des Durchmessers festzustellen, während bei den Volllehren ein einmaliges Messen genügt. Für Durchmesser von 6 bis 100 mm werden diese Flachlehren aus Gesenkschmiedestücken hergestellt, die Meßflächen im Einsatz gehärtet, von da aufwärts bis zu 250 mm aus einem Gußkörper mit eingesetzten, gehärteten Meßbacken. Besondere Sorgfalt wird wieder dem Handgriff zugewendet, damit die Wärmeübertragung von der Hand auf das Meßwerkzeug möglichst gering ist.

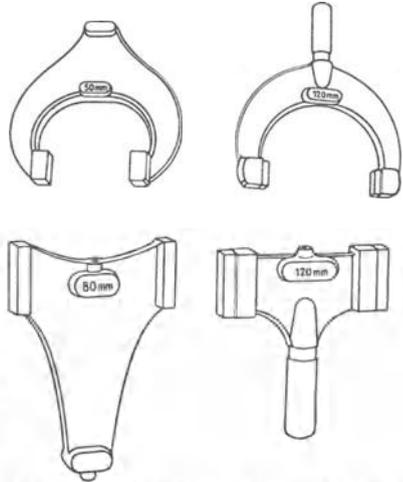


Abb. 33—36. Normalrachenlehren und Normallochlehren (Hommelwerke, Mannheim).

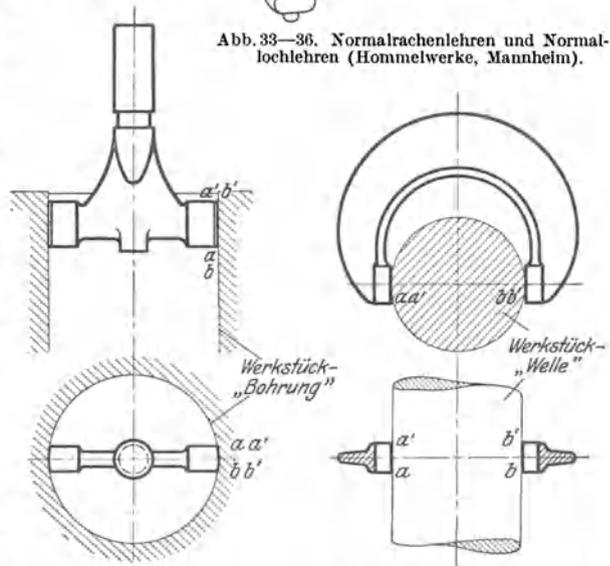


Abb. 37 u. 38. Flächenberührung bei der Flachlehre. Linienberührung bei der Rachenlehre.

Grenzlehren (Toleranzlehren). Für die Herstellung austauschbarer Stücke in der Massenfertigung müssen zwei zusammenarbeitende Stücke, je nach der Art ihrer Arbeit, in ihren Abmessungen um ganz genau bestimmte Werte, die nach oben und unten in bestimmten Grenzen durch die Erfahrung bestimmt worden sind, verschieden sein. Dieser Unterschied gegen das Nennmaß heißt „Abmaß“.

Außerdem muß man aber, um die Fabrikation nicht ins Ungemessene zu verteuern, bei der Herstellung eines Maßes gewisse Abweichungen nach oben und unten zulassen, also Grenzen festlegen, zwischen denen ein Stück noch abgenommen werden und als richtig mit dem anderen zusammenarbeiten kann. Diese Abweichungen nennt man „Toleranzen“. Es soll z. B. eine Welle von 50 mm Durchmesser hergestellt werden und man gibt eine Toleranz von $\pm 0,02$ mm zu, dann heißt dies, daß die fertige Welle jedes Maß zwischen 49,98 und 50,02 mm im Durchmesser haben kann.

Vereinigt man nun beide Anforderungen, so müssen erstens Welle und Bohrung zwischen je zwei Werten liegen, die um ganz bestimmte, durch die Erfahrung festgelegte Beträge verschieden sind, und zweitens muß zwischen jeder nach diesen Grenzwerten hergestellten Welle und Bohrung eine gewisse Maßdifferenz, das „Spiel“ bzw. das „Übermaß“, bestehen bleiben, die dem verlangten Sitz entspricht. Die absolute Größe dieser beiden Gruppenzahlen ändert sich mit dem Nennmaß des Durchmessers.

Weiter verlangen Rücksichten auf die Fertigung gewisser Betriebe, z. B. im Transmissionsbau u. a. m. viele glatte, durchgehende Wellen, so daß alle Abmaße dann in die Bohrungen zu legen sind, sie wenden das System der „Einheitswelle“ an, während der Maschinenbau mit vielen feinen Passungen es vorzieht, die Bohrungen einheitlich zu halten, das System der „Einheitsbohrung“, und die Abmaße in die Welle zu legen. Dann muß bei jeder neuen Passung auf einer solchen Welle diese abgesetzt werden.

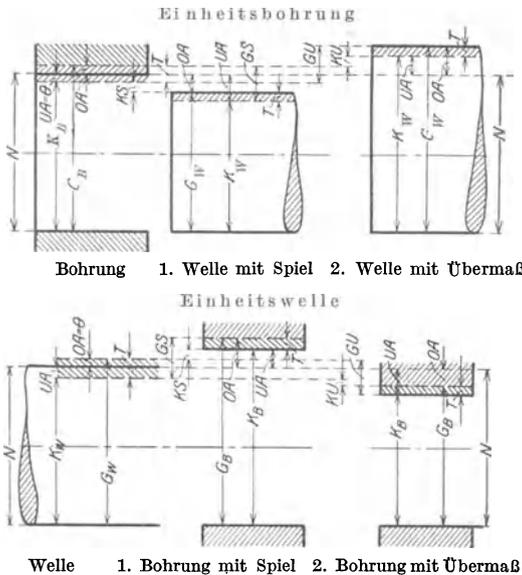


Abb. 39 u. 40. Aufbau der Passungen.

Sollen zwei mit diesen Maßen hergestellte Stücke zusammenarbeiten, so muß je nach Sitz und Passung ein gewisses Spiel S oder ein gewisses Übermaß T vorhanden sein. Dieses muß auch den Arbeitsbedingungen genügen, wenn die Grenzfälle der Toleranzen zufällig zusammentreffen, d. h. eine größte Welle mit

einer kleinsten Bohrung oder umgekehrt. Es entsteht dann zwischen den arbeitenden Teilen ein „größtes Spiel“ *GS* oder ein „kleinstes Spiel“ *KS* bzw. ein „größtes Übermaß“ *GU* oder ein „kleinstes Übermaß“ *KU*.

Bei dem System „Einheitsbohrung“ bleiben die Abmaße der Bohrung für alle Sitze dieselben, während die Abmaße der Welle nach Art des Sitzes verschieden ausgeführt werden. Das untere Abmaß *UA* der Bohrung ist durchweg Null.

Bei dem System der „Einheitswelle“ bleiben die Abmaße der Welle für alle Sitze die gleichen, die der Bohrung werden nach den verschiedenen Sitzen verschieden ausgeführt. Das obere Abmaß *OA* der Welle ist Null.

Die Normung unterscheidet nach dem Gütegrad 4 Passungen, und zwar:

Edelpassung mit 5 Sitzen, Feinpassung mit 10 Sitzen, Schlichtpassung mit 3 Sitzen, Grobpassung mit 4 Sitzen.

Die Größe der einzelnen Abmaße ist in Abb. 41¹ in Passungseinheiten (1 Passungseinheit = $0,005\sqrt[3]{D}$) gegeben, während die zugehörigen Werte in Millimetern in den bezüglichen Normenblättern enthalten sind.

Jedes solches Werkzeug, Lehrdorn oder Rachenlehre, enthält bei diesem Meßsystem zwei Meßkörper, die beide von dem betreffenden Normalmaß abweichen, und zwar um den Betrag der größten und der kleinsten zugelassenen Abweichung, „Toleranz“.

Die „Gutseite“ des Grenzlehrdornes muß leicht in die Bohrung hineingehen, während die „Ausschußseite“ höchstens „anfassen“ darf. Die „Gutseite“ der Grenzrachenlehre muß leicht über die Welle gehen, während die „Ausschußseite“ höchstens „anschnäbeln“ darf.

Das System „Einheitswelle“ verlangt für jeden Durchmesser eine Grenzrachenlehre und so viele Grenzlehrdorne, als Passungen in dem Betriebe gebraucht werden. Zu jeder Passung und jedem Durchmesser sind aber auch die entsprechenden Dorne und Reibahlen erforderlich, gegebenenfalls nachstellbare Reibahlen.

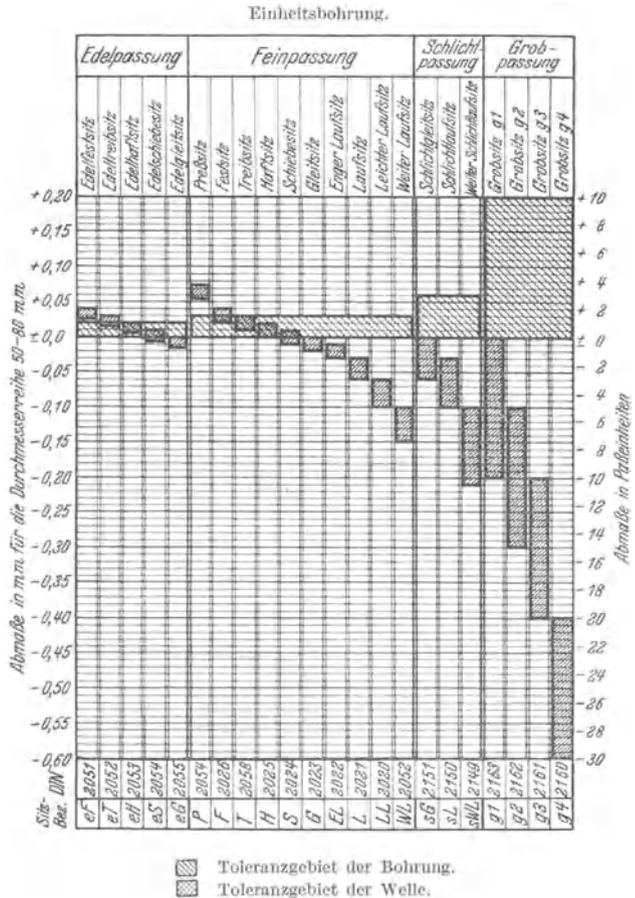


Abb. 41. Gesamtübersicht über die Passungen.

¹ Das System „Einheitswelle“ ist nicht dargestellt, da die Entscheidung der Praxis im allgemeinen für die Einheitsbohrung gefallen ist.

Dagegen verlangt das System „Einheitsbohrung“ einen Grenzlehndorn für jede Bohrung und so viele Grenzrachenlehren, als Passungen gebraucht werden. Es ist also für jeden Durchmesser nur ein Dorn und eine Reibahle erforderlich, außerdem werden heute Wellen und wichtigere Zapfen meistens geschliffen, was leichter und billiger ist als das Ausreiben von Löchern.

Die Formen der Grenzlehren, DIN 1811 und 306, decken sich grundsätzlich mit jenen der Normallehren, haben aber in ihrer Entwicklung zu den verschiedenen Zeiten und in den verschiedenen Ländern alle möglichen Wandlungen durchgemacht. Durch die Normung ist auch hier, wenn auch vorläufig noch nicht endgültig, eine Vereinheitlichung bezüglich der Kennzeichnung und Stufung geschaffen worden, ohne in die besondere Formgebung der einzelnen Firmen einzugreifen.

Die Ausschußseite wird durch verkürzte Meßflächen allein gekennzeichnet beim Grenzlehndorn und der Grenzflachlehre, soweit sie doppelseitig ausgeführt wird; bei den einseitigen Grenzflachlehren, den Kugelendmaßen und den Grenzrachenlehren, außerdem durch eine hellrote Farbenbezeichnung. Der Grundanstrich aller Lehren erfolgt in der Farbe des Gütegrades.

Die Beschriftung der Lehren ist ebenfalls vereinheitlicht worden und enthält „Gut“ bzw. „Aussch“ und die Abmaße auf den Meßbacken, Nennmaß mit Zeichen für Gütegrad und Sitz, sowie die Firma und die Bezugstemperatur auf den übrigen freien Flächen.

Wie für die Normallehrdorne, so sind auch für die Toleranzdorne die Baumasse

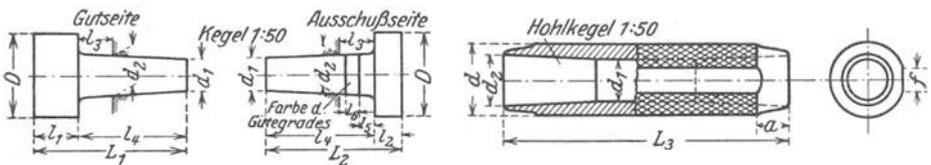


Abb. 42—44. Toleranzlehndorn mit Einsteckgriff nach DIN.

in den Normen vorgeschlagen und zwar wieder für alle 3 Ausführungen: aus dem Vollen gearbeitet, mit Einsteckgriff, mit aufgesetzten Meßzylindern (s. Abb. 42—44).

Die Teilung soll so getroffen werden, daß bei den Rachenlehren von 1—100 mm die doppelseitige Form, über 100 mm die einseitige Form gewählt wird. Für die Lehrdorn wird von 1—100 mm der doppelseitige, zylindrische Grenzlehndorn, von 100—260 mm die einseitige Grenzflachlehre und über 260 mm das Kugelendmaß gewählt, nach DIN 249.

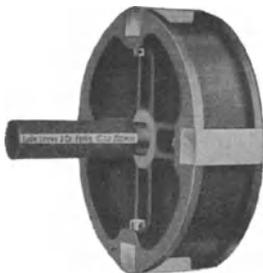


Abb. 45. Lehrdorn mit eingesetzten Meßbacken (Loewe-Gesfüre, Berlin).

Neben den normalen Grenzflachlehren werden die Grenzlehndorne über 100 mm Durchmesser auch nach Abb. 45 mit vier oder nur mit zwei gehärteten, geschliffenen und polierten Meßflächen gebaut, die dann z. B. auf einem gußeisernen Tragkörper mit Schwalbenschwanz festgeklemmt sind und bei Abnutzung ausgewechselt werden können.

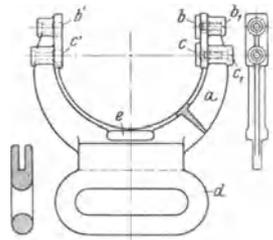


Abb. 46. Einseitige Grenzrachenlehre (Loewe-Gesfüre, Berlin).

Um bei den größeren Flachlehren noch weiter an Gewicht zu sparen und eine Meßarbeit, das Herausziehen und Umdrehen der Lehre, zu sparen, hat man verschiedentlich beide Öffnungen, also Gut- und Ausschußseite, hintereinander in eine Maulöffnung gelegt, wie Abb. 46' zeigt. Ein T-för-

miger gußeiserner Bügel a trägt die beiden Meßbacken b für die Gutseite mittels der Schrauben b_1 , die rückwärts so weit versenkt werden, daß eine zufällige Lösung vermieden wird. Dahinter stehen die beiden Meßbacken c für die Ausschußseite, die in gleicher Weise befestigt sind. Der Arbeiter erspart wohl einen Handgriff bei dieser Anordnung, dagegen sind die Reparaturkosten einer solchen Grenzlehre gegenüber zwei getrennten Lehren größer. Da die Ausschußseite nicht über die Welle gehen darf, so ist auch ihre Abnutzung verschwindend gegenüber jener der Gutseite. Nun liegen aber die Meßflächen der (nicht gezeichneten) linken Meßbacken b' und c' in einer Ebene, während die rechten, b und c , um den Betrag der Toleranzen auseinanderstehen, also bei 110 mm Durchmesser für Laufsitz um 0,095 mm. Man muß also bei einer merkbaren Abnutzung sowohl die abgenutzte Gutseite, wie die noch arbeitsfähige Ausschußseite erneuern.

Für die Herstellung und Revision ergeben sich also folgende Werkzeuge:

1. Grenzarbeitslehren, mit denen die Werkstücke hergestellt werden, nach DIN 249.

2. Abnahmelehren zur Prüfung der mit 1 hergestellten Werkstücke DIN 1811.

3. Prüflehren, falls nicht Meßmaschinen, Fühlhebel usw. mit Endmaßen oder Meßscheiben verwendet werden. DIN 1812.

Für die Anwendungsgebiete der Passungen sei auf Gramenz DIN-Buch 4 „Die Passungen und ihre Anwendung“ verwiesen.

Parallelendmaße. Die gesteigerte Genauigkeit der Fabrikation, die durch geeignet gewählte Grenzlehrensysteme erhalten wird, bedingt wieder eine noch schärfere Kontrolle der Grenzlehren selbst, die auch verhältnismäßig leicht und schnell innerhalb des Revisionsraumes einer jeden Fabrik gemacht werden soll.

Für diese Zwecke und bestimmte Herstellungskontrollen haben sich die zusammenstellbaren Parallelendmaße, deren Ausbildung durch Johansson sehr gefördert wurde, weitgehend Eingang in die Praxis verschafft. Ihnen liegt der Gedanke zugrunde, Endmaße zu schaffen, die eine derartige Genauigkeit, Ebenheit der Meßflächen und Parallelität aufweisen, daß man beim Zusammensetzen von selbst 5 Stück zu einem Maß, dieses noch mit einer geringeren Abweichung von dem Sollmaß als $\frac{1}{1000}$ mm erhält. Um dies zu erreichen, darf der Fehler eines solchen Meßklötzchens 10^{-5} seiner Länge¹ nicht übersteigen. Außerdem müssen die Meßflächen so genau eben sein, daß zwei mäßig aneinandergedrückte und gleichzeitig aufeinandergeschobene, „aneinandergesprengte“, Endmaße aneinanderhaften. Da dieses nur bei wirklich ebenen und ganz reinen Meßflächen der Fall ist, so bildet das Aneinanderhaften der fettfreien Flächen auch gleichzeitig eine Kontrolle für die Ebenheit der Flächen. Sie können nur optisch wirklich genau geprüft werden. Die Endmaße werden durch Handarbeit, in neuester Zeit auch durch Maschinenarbeit², aus hochwertigem Stahl hergestellt, der glashart gehärtet, geschliffen und hochglanz poliert ist. Mit solchen Maßen kann man durch Verbindung von höchstens 2—3, bzw. 4—5 Stück, bei Unterteilungen auf Tausendstelmillimeter, jedes Maß innerhalb der Reichweite des Satzes herstellen, mit einer Genauigkeit der ganzen Kombination, die innerhalb $\frac{1}{1000}$ mm bleibt z. B.:

Zu kontrollierendes Maß	Zusammengesetzt aus folgenden Maßen
31,47 mm	30 + 1,47 mm
49,99 „	40 + 8,5 + 1,49 mm
50,01 „	40 + 9 + 1,01 mm
199,995 „	100 + 90 + 7,5 + 1,49 + 1,005 mm

¹ Z. Instrumentenkde 1922, 88.

² Werkstattstechnik 1922, 395 u. 425.

Bei der Kombination eines Maßes gehe man von den letzten Dezimalen aus, z. B. wird die Zahl 31,416 (mit dem $\frac{1}{1000}$ -Satz) gebildet aus:

1. Endmaß	1,006
2. Endmaß	1,410
3. Endmaß	9,000
4. Endmaß	20,000
	Summe 31,416

Abgestuft wird nach Abb. 47, so daß man durch Hinzufügen des Grundmaßes der höheren Gruppe zu einer Kombination der ersten Gruppe innerhalb dieser

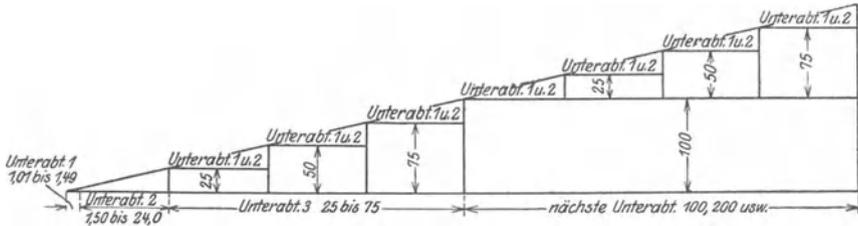


Abb. 47. Abstufung der Parallelendmaße.

sämtliche Abstufungen der ersten Gruppe erhält. Man kann z. B. in der ersten Gruppe alle Abstufungen um $\frac{1}{1000}$ mm herstellen. Verbindet man diese Maße mit denen der zweiten Gruppe von 1,00—1,09 mm, so kann man jede einzelne Größe von 2,001 mm bis zu 2,099 mm um $\frac{1}{1000}$ mm steigend erhalten usw. Diese Fähigkeit, verbunden mit der höchsten Genauigkeit macht diese Maße für sämtliche Kontrollen innerhalb des Meßbereiches so wertvoll und hat ihnen die schnelle Verbreitung verschafft. Man kann unmittelbar alle Rachenlehren, Schraublehren, Fühlhebel prüfen, ebenso alle Gebrauchslehren, die genau genug für eine derartige Kontrolle gearbeitet sind.

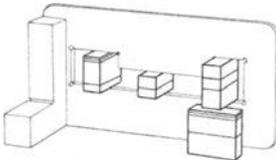


Abb. 48. Innenkontrolle einer Lehre mit Endmaßen.

Schraublehren, Fühlhebel prüfen, ebenso alle Gebrauchslehren, die genau genug für eine derartige Kontrolle gearbeitet sind.

Ein Beispiel aus der Lehrenherstellung für eine Reihenfertigung zeigt Abb. 48¹, während Abb. 49 die Kontrolle von Vorrichtungen u. dgl. zeigt.

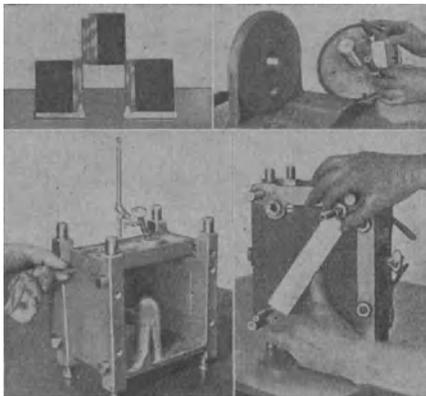


Abb. 49. Kontrolle mittels Endmaßen in der Fabrikation.

Man kann aber auch die Endmaße bei der Herstellung selbst mit Vorteil verwenden. Bohrungen und gekrümmte Innenflächen können durch Endmaße erst mit Hilfe der Meßschnäbel ausgemessen werden (Abb. 50). Diese Meßschnäbel stellen selbst Endmaße vor, die auf der einen Fläche genau eben wie Parallelendmaße ausgeführt sind, während die andere Fläche nach einem Zylindermantel mit genau paralleler Achse geformt

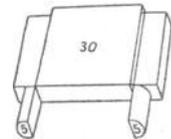


Abb. 50. Meßschnäbel für Lochmessung mittels Endmaßen.

ist. Die Entfernung des Scheitels der Krümmung von der ebenen Fläche ist mit dersel-

¹ Aus Loewe, Parallelendmaße 1923, S. 29, Abb. 14.

ben Genauigkeit wie die Endmaße selbst entweder 5 oder 2 mm. Verbindet man durch Ansprengen zwei solche Meßschnäbel mit einer Kombination von Endmaßen, z. B. $30 + 1,52$, so erhält man zwischen den ebenen Flächen das Maß $31,52$ als Rachenlehre (Abb. 50), und außen über die Scheitel gemessen als Flachlehre $31,52 + 10$ mm, also $41,52$ mm mit derselben Genauigkeit wie die Kombination der Endmaße selbst. Wenn auch die Meßschnäbel genau wie die Endmaße selbst durch das Haften sicher genug zusammenhalten, empfiehlt es sich beim Arbeiten doch, sie durch besondere Halter (Abb. 51) zu klemmen, so daß ein Aufbiegen

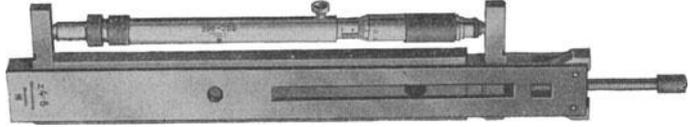


Abb. 51. Halter für Parallelendmaß-Kombinationen mit Meßschnäbeln (Hommelwerke, Mannheim).

vermieden wird. Außerdem schon man durch Verwendung der Meßschnäbel und der Halter die eigentlichen Meßflächen der Endmaße bedeutend und schließt außer bei vollständig unsachgemäßer Handhabung den Einfluß der Handwärme auf die Meßkörper fast aus. Die weite Verwendbarkeit der sachgemäß zusammengestellten Sätze zeigt sich in der großen Anzahl Kombinationen, die mit einem derartigen Satz Endmaße hergestellt werden können. So erlaubt ein Satz aus 91 Stücken mit Abstufungen von $\frac{1}{1000}$ mm über 200 000 Kombinationen in einem Meßbereich von 1—200 mm herzustellen; selbst der kleine Werkstättensatz von 31 Stücken ergibt im gleichen Meßbereich mit Abstufungen von $\frac{1}{1000}$ mm noch über 10 000 Kombinationen.

2. Feste Maße beliebiger unbekannter Größe.

Während im rationellen Maschinenbau oder in der Massenfertigung fast immer mit Meßwerkzeugen gearbeitet wird, die eine in Maßeinheiten bekannte Größe darstellen, ergibt sich bei der Einzelherstellung oder besonders bei Reparaturarbeiten die Notwendigkeit, bestimmte Maße abzunehmen oder zu übertragen, ohne daß das genaue Maß in Einheiten der Maßeinheit gekannt sein will. Das neue Stück wird einfach nach dem abgenommenen Maß hergestellt und paßt dann an die betreffende Stelle.

Der Grund für diese Art der Arbeit liegt in der Möglichkeit, eine größere Genauigkeit der Übertragung durch unmittelbares Fühlen mit dem eingepaßten Übertragungsmaß zu erhalten, bzw. in der Unmöglichkeit, die für derartige Einzelmessungen notwendigen, oft ungewöhnlichen Meßinstrumente an Ort und Stelle zu verschaffen.

Die einfachsten Werkzeuge dieser Art sind die Stichmaße und Übergreiflehren, die der Arbeiter an Ort und Stelle aus einem Stückchen Rund- oder Vierkantstahl selbst herstellt. Die Enden werden leicht kegelig gefeilt mit kugeligen Spitzen, bis das abzunehmende Maß fast genau zwischen den Spitzen vorhanden ist. Dann werden die Enden gehärtet, während der mittlere Teil des Stabes weich bleibt, hierauf die kugeligen Spitzen mit Schmirgelpapier oder der Schmirgelfeile sauber geglättet. Der mittlere Teil bleibt weich, damit man ihn stauchen oder strecken kann, um die genaue Länge einzustellen. Zur Herstellung einer gleichen Übergreiflehre wird Blech oder gebogener Flachstahl benutzt.

Handelt es sich um größere Maße, so genügt der Draht oder Stab nicht mehr, man nimmt ein Gasrohr mit eingesetzten Stahlspitzen. Für Übergreiflehren bereitet man sich auch wohl nachstellbare Lehren nach Abb. 52 von vornherein vor.

Eine solche Lehre besteht aus einer T-förmigen Schiene aus Gußeisen, die am

Fuß bearbeitet ist. Auf dem Fuß sind zwei Bügel *B, C* verschiebbar, die die Fühlspitzen tragen. Die Bügel werden mit Klemmschrauben *G* in ungefähr der gewünschten Entfernung festgeklemmt, worauf die

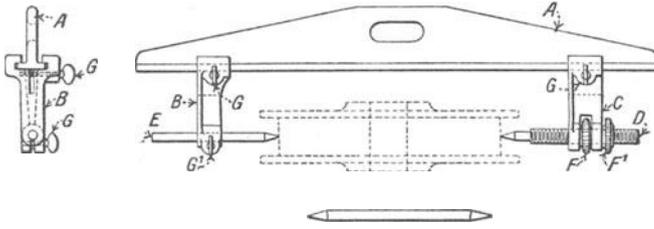


Abb. 52. Verstellbare Übergreiflehre für große Durchmesser.

Die zweite Gruppe solcher Maße, die Formlehren oder Schablonen, werden für unregelmäßige Werkstücke verwendet, die nach einem Muster oder mit Formwerkzeugen hergestellt werden. Dazu gehören auch die Gewindeformen einschließlich der Strichplatten bei der optischen Gewindekontrolle. Solche Lehren werden oft gleichzeitig mit ihren Gegenlehren, in die sie lichtdicht passen müssen, hergestellt. Das Werkstück soll gleichfalls lichtdicht zu ihnen passen.

Die dritte Gruppe wird durch das Arbeiten nach Anschlägen an der Maschine dargestellt, wie es in der Massenherstellung für Drehen, Fräsen und Hobeln in Anwendung kommt. Die Maße werden, ähnlich wie in Abb. 24, durch feste Anschläge an der Maschine und zwischengeschaltete Meßklötzchen eingestellt, ohne daß dem Arbeiter die zugehörigen Maße des Werkstückes bekannt sein müssen. Der Arbeiter erspart jedesmal das Neueinstellen und vermeidet so die Einstellfehler.

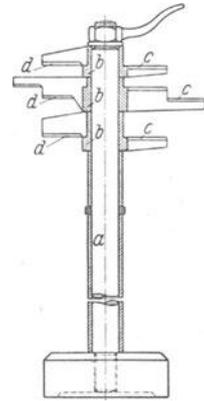


Abb. 53. Hobellehre.

Abb. 53 zeigt eine Hobellehre, die mit verschiedenen Anschlägen für vier Hobelflächen ausgestattet ist und gleichzeitig zum Einstellen des Stahles (*c*) wie zur Kontrolle der gehobelten Fläche (*d*) dient. Die Anschlagkante, die gerade benötigt wird, wird in die Arbeitsrichtung gestellt, die anderen, nicht verwendeten

sämtlich rechtwinklig dazu, so daß ein Irrtum bei der Benutzung unmöglich ist. Bei Verwendung an einem anderen Arbeitsstück werden Hülsen und Zwischenstücke (*a*) gegen entsprechende andere ausgewechselt.

C. Einstellbare Maße.

Einstellbare Maße sind solche, die innerhalb ihres Meßbereiches eine bestimmte Anzahl oder beliebig viele einzelne Maße zu messen oder abzunehmen gestatten.

Bei diesen Instrumenten kann das Maß entweder zwischen zwei Teilstrichen oder zwei gegeneinander einstellbaren Meßflächen enthalten sein. Für die Einstellung der beiden Meßflächen wird entweder eine Verschiebung auf einem Lineal oder einer Gradführung oder die einer Schraube, deren Ende die eine Meßfläche bildet, angewendet.

In diese Gruppe gehören sämtliche Strichmaßstäbe, Schublehren und verwandte Werkzeuge und Schraublehren mit allen ihren Abänderungen.

Strichmaßstäbe. Beim Messen mit Strichmaßstäben ist große Vorsicht notwendig, da die Genauigkeit dieses wohl verbreitetsten Meßwerkzeuges viel ungleichmäßiger ist, als man allgemein annimmt, und die Richtigkeit nicht so ohne weiteres kontrolliert werden kann.

Für Strichmaßstabmessungen im Herstellungsbetrieb scheiden die üblichen zusammenlegbaren Strichmaßstäbe oder Bandmaße wegen zu geringer Genauig-

keit aus; sie dienen hier nur zur ungefähren Längenkontrolle. Für die Fabrikation, einschließlich der Meßwerkzeugkontrolle für den Betrieb, werden nach DIN folgende Strichmaßstäbe verwendet:

1. **Vergleichsmaßstab** (höchste Genauigkeit) DIN 864. Querschnitt nach Abb. 2 bzw. U- oder H-förmig. Ebenheit: $\pm \left(0,005 + \frac{\text{Maßstablänge}}{50000} \right)$. Teilung in der neutralen Faser; Teilstriche in der Mitte der Fläche; Endstriche beiderseits rund 10 mm von Maßstabendkante entfernt. Teilstrichdicke 3—7 μ . Fehlergrenze: Abstand L eines beliebigen Teilstriches von dem Nullstrich darf keine größere Abweichung ΔL haben als $\Delta L = \pm \left(0,005 \text{ mm} + \frac{L}{200000} \right)$. Dies ergibt für die Meßlänge unter 100 mm $\pm 5 \mu$, von 500 mm $\pm 7,5 \mu$, von 1000 mm $\pm 10 \mu$. Diese Maßstäbe sind nur für den Prüfraum bestimmt und werden mit Mikroskopablesung verwendet.

2. **Prüfmaßstab** (hohe Genauigkeit) DIN 865. Querschnitt: Quadrat oder Rechteck. Ebenheit: $\pm \left(0,005 \text{ mm} + \frac{\text{Maßstablänge}}{50000} \right)$. Teilung auf der Breitseite; Teilstriche bis an eine Kante durchgezogen; Endstrich beiderseits rund 10 mm von Maßstabendkante entfernt. Teilstrichdicke 20—40 μ . Fehlergrenze: $\Delta L = \pm \left(0,01 \text{ mm} + \frac{L}{100000} \right)$. Dies ergibt für Meßlängen unter 100 mm $\pm 10 \mu$, von 500 mm $\pm 15 \mu$, von 1000 mm $\pm 20 \mu$, von 1500 mm $\pm 25 \mu$, von 2000 mm $\pm 30 \mu$. Diese Maßstäbe dienen zum Prüfen von Arbeitsmaßstäben (3) durch Anlegen und Vergleichen; sie sollen nicht im Betrieb verwendet werden.

3. **Arbeitsmaßstab** mittlere (I) und niedere (II) Genauigkeit, DIN 866. Querschnitt: Rechteck. Ebenheit für I $\pm \left(0,01 \text{ mm} + \frac{\text{Maßstablänge}}{20000} \right)$, für II $\pm \left(0,02 \text{ mm} + \frac{\text{Maßstablg}}{10000} \right)$. für die Teilungskanten bildenden Flächen. Teilung auf der Breitseite; Teilstriche bis an eine Kante durchgezogen. Für I Endstriche beiderseits rund 10 mm von Maßstabkante entfernt; für II Nullstrich ist ebene Endfläche; das andere Ende rund 10 mm oder mehr von Maßstabendkante entfernt. Teilstrichdicke für I 0,07—0,1 mm, für II 0,1—0,15 mm. Fehlergrenze für I $\Delta L = \pm \left(0,02 \text{ mm} + \frac{L}{50000} \right)$; für II $= \pm \left(0,05 \text{ mm} + \frac{L}{20000} \right)$. Dies ergibt

für Meßlängen	I	II	I	II
von unter 100 mm	$\pm 20 \mu$	$\pm 50 \mu$	von 1500 mm	$\pm 50 \mu$ $\pm 125 \mu$
von 500 mm	± 30	± 75	von 2000 mm	± 60 ± 150
von 1000 mm	± 40	± 100		

Diese Maßstäbe sind für die Revision und den Gebrauch der Werkstatt bestimmt.

Nach den DIN-Vorschriften ist als kleinste Teilung 1 mm vorgesehen, mit der Angabe, daß einzelne Abschnitte feiner unterteilt werden können.

Man soll jedoch für einen Gebrauchsmaßstab mit der Teilung nicht weit herunter gehen, da bereits bei einer Teilung von $\frac{1}{2}$ mm die Striche eines gewöhnlichen Maßstabes zu dick sind und das Auge beim Ablesen stören. Eine Teilung z. B. in $\frac{1}{64}$ '' ist für eine leichte Ablesung bei gewöhnlicher Strichdicke bereits zu klein. Andererseits steigt die Genauigkeit der Ablesung nicht um das Doppelte, da man bei einiger Übung leicht und sicher $\frac{1}{10}$ mm am Maßstab schätzen kann, wie die Messung auf S. 5 beweist, andererseits die Teilstriche selbst dann 0,2—0,3 mm stark werden können.

Während die Präzisions- und Normalmaßstäbe durch mikroskopische Ablesung nach einem geeichten Präzisionsmaßstab von Hand angerissen werden, werden die Gebrauchs- oder Werkstättenmaßstäbe auf selbsttätig arbeitenden Teilmaschinen hergestellt.

Schieblehren, Tiefenmaße und dergleichen. Die einfachste Verbindung der Maßstab- und Endflächenmessung stellen die Schieblehren dar. Auf einem Maßstab mit einer festen Backe wird ein Schieber mit einer gleichen Backe verschoben, bis zwischen den beiden Backen, entweder innen oder außen die verlangte Strecke enthalten ist (vgl. Abb. 56—61). Da der Nullstrich des beweglichen Schiebers mit dem Nullstrich des Maßstabes bei geschlossenen Backen zusammenfallen soll,

so ist das Maß zwischen den Backen in jeder Schieberstellung dem Nullstrich des Schiebers gegenüber am Maßstab abzulesen. Mißt man ein Loch mit der Schiebellehre, so muß man die Breite der Meßschnäbel zu der Ablesung addieren. Um nun bei der Ablesung des Schiebellehrenmaßstabes nicht allein auf das Schätzen der $\frac{1}{10}$ mm angewiesen zu sein, werden die Schieber mit einem Nonius versehen, der bei den gewöhnlichen Werkstattinstrumenten $\frac{1}{10}$ mm und bei Präzisionsinstrumenten bis zu $\frac{1}{50}$ mm abzulesen gestattet. Ist man dabei noch seiner Schiebellehre sicher, daß kein toter Gang in den Führungen vorhanden ist, so kann man bei richtiger Behandlung (Vorsicht gegen Klemmen der Schnäbel gegen das Werkstück) auch noch $\frac{1}{2}$ der kleinsten Unterteilung, also 0,05 bzw. 0,01 mm schätzen. Für die Präzisionsschiebellehren sind nach DIN 862 folgende Angaben einzuhalten:

Ablesegenauigkeit (durch Nonius vgl. Abb. 54, 55) $\frac{1}{10}$, ($\frac{1}{20}$), $\frac{1}{50}$ mm ($\frac{1}{20}$ möglichst zu vermeiden).

Strichdicke für $\frac{1}{10}$ -Nonius 100 — 150 μ ($\frac{1}{20}$ 70—100 μ), $\frac{1}{50}$ 40—70 μ .

Genauigkeit: Entfernung der Meßschnäbel, an beliebiger Stelle, durch Parallelendmaße gemessen, darf vom Endmaßwert um nicht mehr abweichen als $\Delta L = \pm \left(75 + \frac{L}{20}\right) \mu$ für $\frac{1}{10}$ -Nonius, $\pm \left(50 + \frac{L}{20}\right) \mu$ für $\frac{1}{20}$ Nonius), $\pm \left(20 + \frac{L}{50}\right) \mu$ für $\frac{1}{50}$ Nonius.

Ebenheit der Meßschnäbel: $\pm 10 \mu$ für $\frac{1}{10}$ Nonius, ($\pm 5 \mu$ für $\frac{1}{20}$), $\pm 2 \mu$ für $\frac{1}{50}$ Nonius. Im aneinander geschobenen Zustand darf mit unbewaffnetem Auge kein Lichtspalt wahrzunehmen sein, auch nicht nach dem Anziehen der Klemmvorrichtung.

Nonius: Der Nonius (oder Vernier) besteht aus einer am Schieber angeris-senen oder aufgeschraubten kleinen Maßstabteilung, deren Länge, von 0—10 beziffert, im Dezimalsystem meistens gleich der Entfernung von neun Teilstrichen

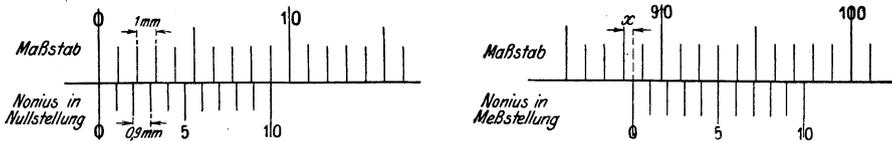


Abb. 54 u. 55. Nonius.

des Hauptmaßstabes ist: „nachtragender Nonius“ (Abb. 54 und 55) und wenn bei einer Entfernung von 11 Teilstrichen die Noniusteilung der Maßstabteilung voreilt, als „vortragender“ Nonius bezeichnet. Ist also ein Teil des Hauptmaßstabes 1 mm, so ist ein Teil des (nachtragenden) Nonius nur 0,9 mm lang. Steht dann der Nonius wie in Abb. 54 in seiner Nullstellung, in der die Nullstriche des Maßstabes und des Nonius zusammenfallen, so muß auch der zehnte Teilstrich des Nonius mit dem neunten Teilstrich des Maßstabes zusammenfallen. Zwischen dem dem Nullstrich folgenden ersten Teilstrich des Nonius und dem ersten folgenden Teilstrich des Maßstabes liegt nun eine Entfernung von 1 mm — 0,9 mm = 0,1 mm; zwischen dem zweiten Teilstrich des Nonius und dem zweiten Teilstrich des Maßstabes liegt eine Strecke 2 mm — $2 \times 0,9$ mm = 0,2 mm usw. bis zwischen dem neunten Teilstrich des Nonius und dem neunten Strich des Maßstabes 0,9 mm liegen und der zehnte Teilstrich des Nonius, der von dem neunten um 0,9 mm entfernt ist, deshalb mit dem neunten Maßstabstrich zusammenfallen soll.

In Abb. 55 ist der Nonius in irgendeiner Meßstellung gezeichnet. Der Nullstrich des Nonius gilt als Nullstrich des Schiebers, da er bei zusammengeschobenen Backen mit dem Nullstrich des Maßstabes zusammenfällt, wie Abb. 54 zeigt. Das Maß zwischen den Backen ist nun nach Abb. 55 zwischen 88 und 89, so daß man ohne Nonius die Strecke x schätzen und zu der Ablesung 88 addieren müßte. Beim Nonius geht man folgendermaßen vor: man sucht den Teilstrich des Nonius,

der mit einem Maßstabstrich zusammenfällt; in unserem Beispiel ist es Teilstrich 5, und gibt dann $5 \times 0,1$ mm, also 0,5 mm, zu der Ablesung am Hauptmaßstab = 88,5 mm.

Die Begründung ist einfach genug, wenn man sich vor Augen hält, daß die Entfernung zwischen zwei Noniusstrichen immer um 0,1 mm kleiner ist als die Entfernung zwischen zwei Maßstabstrichen. Wenn nun der fünfte Strich des Nonius mit dem fünften Strich des Maßstabes zusammenfällt, so ist die Entfernung des ersten Noniusstriches links von dem darüberstehenden Maßstabstrich 0,1 mm, der zweite Noniusstrich links vom fünften ist von dem betreffenden Maßstabstrich 0,2 mm, der dritte 0,3 mm, der vierte 0,4 mm und der fünfte, der Nullstrich, von dem Strich 88 des Maßstabes 0,5 mm entfernt. Diese Entfernung aber ist die gesuchte Strecke x .

Nun ist man aber mit der Noniusablesung nicht an das Dezimalsystem gebunden, man kann jede Teilzahl des Hauptmaßstabes als Noniuslänge nehmen. Allgemein verwendet man am besten folgende Formeln:

Es sei

M die Länge eines Maßstabteiles, z. B. 1 mm, 0,5 mm, $\frac{1}{8}$ '' engl., 1° usw.,

N die Länge eines Noniusteiles,

n die Anzahl Teile des Nonius,

U der Wert einer kleinsten Ablesung am Nonius = $M - N$,

so gilt allgemein: $N \cdot n = M \cdot (n - 1)$,

d. h. die Länge eines Noniusteiles ist $N = \frac{n-1}{n} \cdot M$

und die Anzahl Teile am Nonius $n = \frac{M}{M-N} = \frac{M}{U}$.

Es sei z. B. ein Nonius für einen Zollmaßstab, der in $\frac{1}{8}$ '' engl. geteilt ist, für eine kleinste Ablesung von $\frac{1}{128}$ '' zu entwerfen. Dann muß

$$U = M - N = \frac{1}{128}'' , \quad M = \frac{1}{8}'' \quad \text{und nach oben} \quad N = \frac{1}{8}'' - \frac{1}{128}'' = \frac{15}{128}'' .$$

$$n = \frac{M}{M-N} = \frac{\frac{16}{128}}{\frac{16}{128} - \frac{15}{128}} = \frac{16}{1} = 16 \text{ Teilstriche.}$$

$$\text{Noniuslänge} = n \cdot N = 16 \cdot \frac{15}{128}'' = \frac{15}{8}'' = 1\frac{7}{8}'' \text{ engl.}$$

Nun ist es oft möglich, besonders bei Kreisteilungen, daß die einzelnen Maßstabstriche zu eng stehen, um eine leichte Unterscheidung des Zusammenfallens von Maßstab- und Noniusstrich zu ermöglichen. In solchen Fällen kann man zwei Maßstabstriche (gegebenenfalls auch mehr) als Einheit nehmen und den Nonius danach entwerfen. Es sei z. B. eine einfache Kreisteilung in Graden vorhanden, deren Durchmesser 52 mm beträgt. Dann ist die Entfernung zweier Gradstriche rund 0,45 mm, so daß eine Ablesung entsprechender Noniusstriche für das Auge bereits sehr schwierig wird.

Im ersten Fall wäre $M = 1^\circ$; $U = \frac{1}{12}^\circ = 5'$;

dann ergäbe sich $n = \frac{1^\circ}{\frac{1}{12}^\circ} = 12$ Teile

und $\text{Noniuslänge} = 12 \cdot (1 - \frac{1}{12})^\circ = 11^\circ$,

was einer Länge von rund 5 mm entspräche.

Um nun eine derartig kleine Teilung am Nonius ohne Veränderung des Durchmessers der Kreisteilung bei gleicher Ablesegenauigkeit von $5'$ zu vermeiden,

nimmt man als Maßstabeinheit 2 Maßstabteile = 2° an. Dann ergibt sich mit den obigen Formeln, sinngemäß übertragen:

$$M = 1^\circ \quad U = 1/12^\circ = 5'.$$

Da aber die Maßstabeinheit 2M ist, ergibt sich die Gleichung

$$(2n - 1) M = nN \dots N = M \frac{2n - 1}{n}.$$

$$U = 2M - N = 2M - M \frac{2n - 1}{n} = \frac{1}{n},$$

also $n = 12$; 1 Noniusteil = $1^\circ \cdot \frac{24 - 1}{12} = \frac{23^\circ}{12}$; Noniuslänge = $12 \cdot \frac{23}{12} = 23^\circ$.

So handlich die allgemein bekannte Form der Schieblehre auch ist, so schwierig ist das einwandfreie Messen damit, sobald es sich um Genauigkeiten und Able- sungen von weniger als $1/10$ mm handelt. Man muß in einem solchen Fall unbedingt sicher sein, daß die Führungen des Schiebers ohne Spiel und ohne Klemmung gehen, daß die Meßschnäbel wirklich rechtwinklig zur Führung und gerade sind und bei der Nullstellung des Nonius auch tatsächlich aneinander an- siegen. Ebenso ist die Verwendung sehr großer Schieblehren mit Meßschnäbeln von ausnahmsweise großer Länge oder von Feinmeßschrauben am Nonius mit totem Gang eine Fehlerquelle, die jede Genauigkeit zerstört.

Dagegen überragt die Anpassungsfähigkeit der Schieblehre die der meisten anderen Meßwerkzeuge und ist für eine schnelle Messung immer noch das geeignetste Werk- zeug, das auch leicht so eingerichtet werden kann, daß es die verschiedensten Messungen, Innen-, Außen-, Tiefen und Gewindemessungen mit einem Instrument ausführen läßt.

Abb. 56 zeigt die einfache Schieblehre für Außen- und Innenmessungen, Abb. 57 mit Anreißspitzen, die für gewisse Zwecke für einfache Anreißarbeiten gewünscht

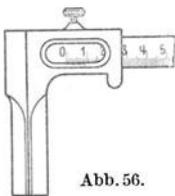


Abb. 56.

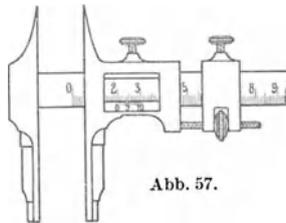


Abb. 57.

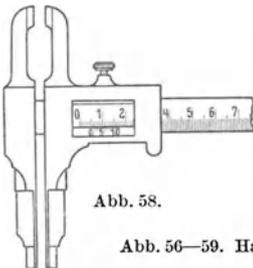


Abb. 58.

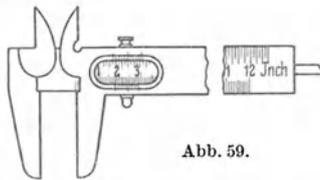


Abb. 59.

Abb. 56—59. Handelsübliche Formen der Schieblehre.

werden; ihre Genauigkeit ist nicht lange zu erhalten, da sie stets offen liegen und nach kurzer Zeit beschädigt und abgenützt werden, worauf sie — meistens zu spät — nach- geschliffen werden.

Wichtiger ist die nächste Form (Abb. 58), die statt der Anreißspitzen Meßschneiden zur Gewindemessung be- sitzt. Jede dieser Formen kann mit einem Tiefenmaß (Abb. 59, Kolumbuslehre), ausgerüstet werden, wobei aber darauf zu sehen ist, daß das Tiefenmaß soweit wie möglich in der Rückseite der

Schieblehre geschützt gelagert ist und nicht auf der Unterseite des Maßstabes frei liegt, wenn auch vielleicht in einigen Fällen die einseitige Lage des Tiefenmaßes be- quemer ist. Für die leichte Einstellung kann jede dieser Formen eine Feinmeß- schraube, wie bei Abb. 57 oder ohne zweiten Schieber mit Klemme (Mauserwerke), erhalten, doch muß man bei solchen Schieblehren alles, was über Meßdruck und

Fühlmöglichkeit gesagt wurde, wohl beachten, damit nicht der gegenteilige Erfolg erreicht: die Meßgenauigkeit verringert, statt erhöht werde.

Die Lage der Teilung zu den Backen hat Krupp untersucht und bei seinen Schieblehren, besonders für große Stücke, die Teilung so gelegt, daß in der Meß-

stellung am Stück ohne Abziehen und Umdrehen der Schieblehre abgelesen werden kann. Die Teilung muß dann gegenüber den Backen, gerade entgegengesetzt, an der andern Seite des Schieblehrenmaßstabes liegen. Bei der Messung kleiner Stücke, bei denen man beide Teile in der Hand halten kann, kommt dieser Vorteil nicht zur Geltung.

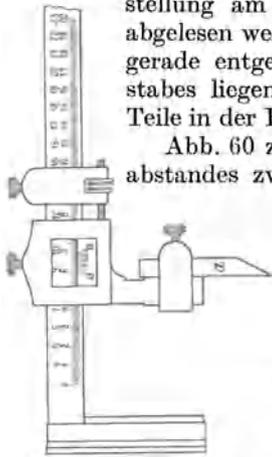


Abb. 60. Höhenschieblehre (Aug. Kirsch, Aschaffenburg).

Abb. 60 zeigt eine Höhenschieblehre, die zur Messung des Höhenabstandes zweier paralleler Flächen dient und gleichzeitig nach Entfernung des Hilfsschnabels *a* als gewöhnliche Schieblehre. Deshalb ist eine doppelte Bezifferung der Teilung vorgesehen, von denen die mit 4 beginnende zur Höhenmessung bei eingesetztem Hilfsschnabel verwendet wird. Der feste Meßschnabel ist als Anschlagwinkel ausgebildet, damit man die Schieblehre auch winkelrecht auf die Unterlage aufsetzen kann.

Eine sehr handliche Schieblehre mit parallel zu ihren Meßflächen drehbaren Schenkeln ist mit einem Arbeitsbeispiel in Abb. 61 dargestellt. Stehen bei dieser Schieblehre die Schenkel in einer Ebene parallel, so kann sie wie eine gewöhnliche Schieblehre verwendet werden.

Angenommen ein Schenkel (*b*) sei mit seiner Meßfläche an irgendeiner Anschlagfläche fest angelegt, so kann durch die zur Meßfläche parallele Drehbarkeit des gegenüberliegenden Schenkels (*a*) die andere Anschlagfläche oder der andere Anschlagpunkt innerhalb eines zylindrischen Raumes liegen, der einen Kreis mit einem Durchmesser von der doppelten Schenkellänge zur Grundfläche und die größte Schnabelweite der Lehre als Höhe hat.

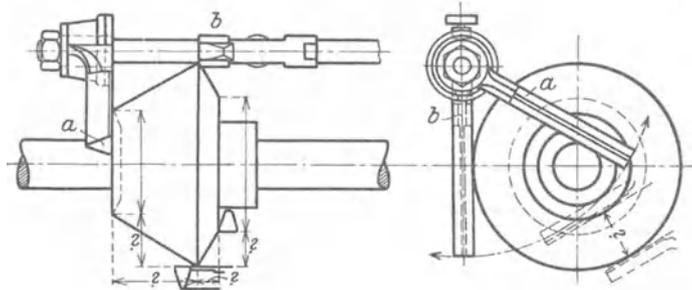


Abb. 61. Schieblehre mit drehbaren Schenkeln (Carl Mahr, Eßlingen).

Die Lochabstandslehre (Abbild. 62) gestattet Bohrungsabstände unmitttelbar dadurch zu messen, daß statt der gewöhnlichen Schieblehrenschnäbel ein in seiner Längsachse verschiebbarer Meßstift vorgesehen ist, der in einem Anschlagstück in der Richtung der Lehrenachse verschiebbar gelagert ist und dessen Achse in der Ruhelage mit dem Nullpunkt

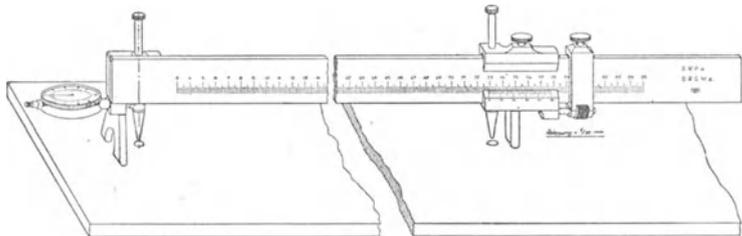


Abb. 62. Lochabstandslehre (Alig & Baumgärtel, Aschaffenburg).

des Maßstabes übereinstimmt. Der zweite Meßstift ist am Schieber derart angeordnet, daß seine Achse mit dem Nullpunkt der Noniusteilung übereinstimmt. Beide Meßstifte sind am oberen Teil zylindrisch geführt und unten mit einem geschliffenen Kegel versehen. Die Lehre ruht auf zwei Auflagestützen, die in ihrer Höhe verstellbar sind, um Unebenheiten der Werkstückoberfläche oder Höhenunterschiede auszugleichen und den kegeligen Meßstift in die zu messende Bohrung stets genau lotrecht einführen zu können.

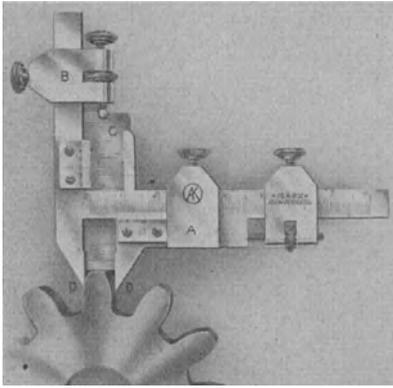


Abb. 63. Zahnmeßschieblehre (Aug. Kirsch, Aschaffenburg).

abweichung des Bohrungsabstandes vom eingestellten Maß an.

Für die Ausmessung der Zahnstärken ist eine Verbindung zweier Schublehren bzw. einer Schublehre und eines Tiefenmaßes nach Abb. 63 sehr vorteilhaft zu verwenden. Eine gewöhnliche Schublehre *A* mißt die Zahnstärke *bc* Abb. 64 als Sehne des Teilkreises, wobei mit der Feinmeßschraube am Nonius noch auf $\frac{1}{50}$ mm fein eingestellt wird. Gleichzeitig wird der Tiefenmaßstab *C* bei festgestelltem Schieber *B* mit seiner Feinmeßschraube so eingestellt, daß die Spitzen *D* mit dem Teilkreis zusammenfallen.

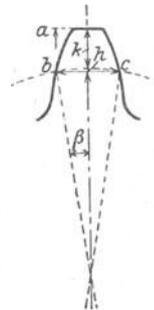


Abb. 64.

Bei der Verwendung dieses Werkzeuges ist zu beachten, daß bei Zähnezahlen bis zu 45 für die Zahnstärke *bc* Korrekturen vorgenommen werden müssen, da die Abweichung zwischen Sehne und Kreisbogen (Abb. 64) die Genauigkeit der Abmessung übersteigt. Auch muß die Ablesung erst nach einer Zahlentafel korrigiert werden, um die wirklichen Werte der Zahnteilung zu erhalten. Diese Tafel wird den Apparaten mitgegeben.

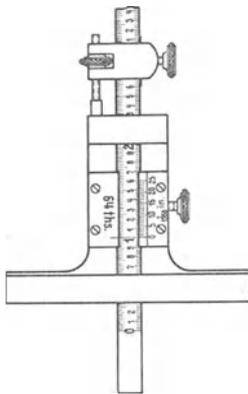


Abb. 65. Tiefenmaß mit Feinmeßschraube und zwei Teilungen (Brown & Sharpe).

Von viel größerer Wichtigkeit für die Untersuchung der Zahnräder sind die meistens auf Fühlhebelmessung beruhenden Apparate, die den einwandfreien Lauf zweier Zahnräder feststellen (Werkstattstechnik 1923, 225). Tiefenmaße. Die Tiefenmaße werden meistens nach der Form der Schublehren gebaut, es tritt einfach an Stelle des mit dem Maßstab fest verbundenen Meßschnabels das Ende des Maßstabes selbst. Abb. 65 zeigt ein derartiges Werkzeug mit Feineinstellung, an dem gleichzeitig die Leichtigkeit einer Messung in zwei Systemen, Millimeter und Zoll, ersehen werden kann. Es wird an jeder Seite des Maßstabes eine der beiden Teilungen angerissen und am Schieber der entsprechende Nonius angebracht. Bei dem abgebildeten Tiefenmaß kann man auf $\frac{1}{50}$ mm bzw. auf $\frac{1}{1000}$ Zoll messen. Dazu ist der Hauptmaß-

stab in $\frac{1}{2}$ mm geteilt und ein Nonius mit 25 Teilen verwendet worden (vgl. S. 33/34), gemäß

$$n = \frac{0,5}{0,02} = 25.$$

Die Zolleinteilung ist in Zehntel und Vierzigstel Zoll ausgeführt, die kleinste Unterteilung des Hauptmaßstabes ist also $0,025''$. Als Noniusablesung ist verlangt $0,001''$, woraus sich die Anzahl Teile am Nonius ergibt $n = \frac{0,025}{0,001} = 25$.

Die Länge des Nonius beträgt $25 \cdot 0,48 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$ bei der Millimeterteilung und $25 \cdot \left(\frac{1}{40} - \frac{1}{1000}\right) = \frac{24}{40}$ bei der Zollteilung.

Durch die Veränderung des Maßstabendes läßt sich das Tiefenmaß ebenso wie die Schieblehre gewissen Zwecken sehr vorteilhaft anpassen. Eine derartige Messung an den T-Nuten eines Tisches läßt sich mit einem derartig angepaßten Maß sehr bequem durchführen, was besonders bei langen Nuten, an die man sonst in der Mitte nicht leicht herankommt, sehr angenehm ist.

Eine sehr handliche und praktische Beigabe sind die in die Schieblehren eingebauten Tiefenmaße (vgl. Abb. 59); doch muß man hier noch sorgfältiger anpassen und die unvermeidliche Abnutzung des Tiefenmaßes öfter kontrollieren, da dieses bei jeder Messung mit der Schieblehre aus seiner schützenden Führung heraustritt.

Schraublehrentiefenmaße s. S. 42.

Eine besondere Form eines schrägen Tiefenmaßes bringt die Firma Carl Zeiß, Jena heraus (Abb. 66). Bei diesem Tiefenmaß ist der Maßstab in dem Fuß schräg geführt, so daß man in Eindrehungen und Absätzen einer Bohrung, T-Nuten und dergleichen messen kann, wobei die Teilung am Maßstab die Entfernung in der Senk-

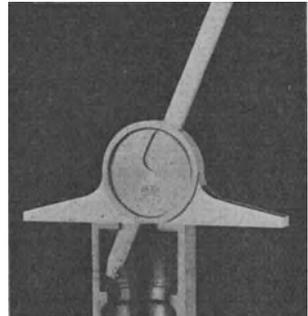


Abb. 66. Schräges Tiefenmaß zur Messung von Eindrehungen.

Schraublehren (Mikrometer). Die Schraublehren messen im allgemeinen die zu messende Strecke in Umdrehungen einer sehr genau geschnittenen und sehr gut ohne toten Gang geführten Schraube, deren Steigung entweder 1 mm oder 0,5 mm beträgt. Da man nun am Umfang einer verhältnismäßig kleinen Trommel von z. B. 14 mm Durchmesser bei 50 Teilen, die am Umfang angerissen werden, immer noch eine Teilstrichentfernung von rund 0,88 mm erhält, so kann man mit Sicherheit $\frac{1}{50}$ Umdrehung und demnach $\frac{1}{50}$ oder $\frac{1}{100}$ mm messen. Wenn der Arbeiter sein Tastgefühl besonders ausgebildet hat, so läßt sich mit einer überraschenden Sicherheit noch bedeutend weiter gehen. Andererseits sind die Fehler, die eine im Gebrauch der Schraublehre ungeübte Hand begeht, wiederum größer als die Teilungen der Trommel. Es ist dies auch nicht zu verwundern, wenn man bedenkt, daß die Übersetzung zwischen dem Punkt, an dem der drehende Finger angreift und der Stelle, wo gemessen wird, für die Messung der Länge und für die an der Stelle ausgeübte Kraft gleich ist (im Fall oben $= \frac{88}{100} \cdot \frac{0,5}{50}$, also = 88), daß sich also die beim Drehen an der Trommel ausgeübte Kraft 88mal vergrößert an der Meßfläche als Meßdruck wiederfindet. Das gilt allerdings nur bei Vernachlässigung der Reibung im Gewinde. Wird diese Reibung berücksichtigt, so wird der Meßdruck erheblich geringer, wie in Übereinstimmung mit Ver-

suchen die nachstehende Rechnung zeigt: Es sei die Fingerkraft 60 g, die Reibungsziffer 0,1, der mittlere Gewindedurchmesser 7 mm, dann ergibt sich (nach der „Hütte“):

$$\text{Meßdruck } Q = \frac{0,06 \cdot 0,7}{0,35} \cdot \frac{1 - 0,112 \cdot \frac{0,05}{0,7\pi}}{\frac{0,05}{0,7\pi} + 0,112} \approx 0,9 \text{ kg.}$$

Da die Meßspindel 6 mm \varnothing hat, errechnet sich der spezifische Flächendruck an der Meßfläche zu: $q = \frac{0,9 \cdot 4}{0,6^2 \pi} = 3,2 \text{ kg/cm}^2$.

Andererseits ist das Gefühl so fein, daß die Übereinstimmung verschiedener Messungen mit einer Schraublehre bei einem geübten Arbeiter auch weit unter $\frac{1}{100}$ mm bleibt. Diesen Einfluß zeigen am besten zwei Meßreihen, von denen die eine von ungeübten Beobachtern, wohl in dem Bestreben möglichst gut zu messen, aber doch in Unkenntnis der möglichen Fehler gemacht wurde, und eine zweite Reihe, die von im Messen geübten Arbeitern ausgeführt wurde. Wenn m der mittlere Fehler einer der sieben Messungen der ersten Reihe bzw. der vier Messungen der zweiten Reihe ist, und M der wahrscheinlichste Wert, der Mittelwert der gemessenen Länge, so ergibt sich nach den Gesetzen der Fehlerrechnung für die erste Reihe ein Verhältnis $\frac{m}{M} = \frac{1}{700}$ und bei der zweiten Reihe $\frac{1}{4200}$, also eine rund 6mal so genaue Messung.

Diese Schwierigkeit umgeht man, indem man die Meßschraube (Abb. 67/69), mit einem Reibungs- oder Ratschenantrieb versieht, der sich leer weiter dreht, wenn der Andruck der Meßschraube auf den zu messenden Körper einen bestimmten Wert übersteigt. Daß dabei wenigstens bei ungeübten Beobachtern ein Fortschritt erzielt wird, zeigt eine dritte Meßreihe, die von denselben Beobachtern wie oben ausgeführt wurde und deren Fehler nach denselben Gesetzen bestimmt wurde. Der Wert $\frac{m}{M}$ betrug jetzt nur mehr rund $\frac{1}{1500}$, man hatte also durch die Verbesserung des Instrumentes die Sicherheit einer bestimmten Ablesegenauigkeit auf das Doppelte erhöht. Da aber der geübte Beobachter, wie die zweite Reihe zeigt, immerhin noch fast 3mal so genau mit dem Instrument ohne Gefühlsschraube mißt, ist es erklärlich, daß gewisse Betriebe mit einem Stamm geschulter Arbeiter die Messung mit der Schraublehre nicht zugunsten der Grenzlehrenmessung aufgeben wollen und als Grund dafür anführen, daß der Arbeiter auch wissen soll, um wieviel das Maß noch von dem Sollmaß des Werkstückes abweicht. Dann sind auch die Schraublehren im Verhältnis zu den festen Lehren um vieles billiger. Daß aber die Messung mit der Schraublehre unstreitig länger dauert als mit den festen Lehren und bei bestimmten Passungen durch die Unmöglichkeit, das Gefühl des Messenden zu kontrollieren, auch den Reklamationen bei der Abnahme Tür und Tor öffnet, wird verschwiegen.

Herstellungsgenauigkeit. Die hauptsächlichen Genauigkeitsfehler der Schraublehren sind:

1. Steigungsfehler der Meßspindel.
2. Schlag der Meßflächen.
3. Nichtparallelität der Meßflächen.
4. Unebenheit der Meßflächen.

Für praktische Zwecke genügt die Prüfung mit Parallelendmaßen zur Feststellung des Gesamtfehlers. DIN 863 unterscheidet zwei Genauigkeitsgrade, für die der Gesamtfehler nicht überschreiten darf:

für eine größte Meßlänge bis 100 mm: 4μ bzw. 8μ , bis 150 mm: 5μ bzw. 10μ .

Die Fehler der Meßflächen werden durch Zwischenschaltung einer planparallelen Glasplatte aus der Zahl der Interferenzstreifen bestimmt. Für Schraublehren vom Genauigkeitsgrad 1 dürfen die Meßflächen nicht mehr Interferenzstreifen aufweisen als: a) für Ebenheit: 3, b) für Parallelität: für eine größte Meßlänge von 25 mm: 5 Interferenzstreifen, von 50 mm: 7 Interferenzstreifen.

Die Aufbiegung durch den Meßdruck darf je Kilogramm Meßdruck nicht überschreiten:

für eine größte Meßlänge von 25 und 50 mm: 2μ , von 75 und 100 mm: 3μ , von 125 und 150 mm: 4μ .

Konstruktion. In Abb. 67 ist *B* die Meßschraube mit dem glashart gehärteten Meßzapfen, an deren Kopf die Trommel *D*, die die Unterteilung trägt, mittels einer kegeligen Zwischenbüchse aufgeklemmt ist. Die lose Unterlagscheibe *E* wird durch die Klemmschraube *F*, die sich nach außen in eine Federratsche *G* fortsetzt, an der die drehende Hand angreift, festgezogen und spannt alle Teile *B*, *D*, *E* und *F* fest zusammen. Wenn nun die Meßfläche der Schraube *B* mit einem zu großen

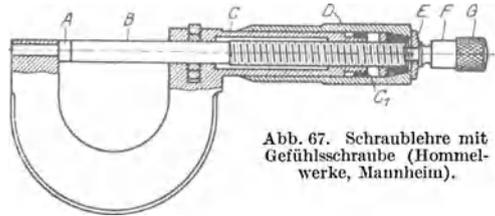


Abb. 67. Schraublehre mit Gefühlsschraube (Hommelwerke, Mannheim).

Druck auf dem zu messenden Gegenstand ruht, so dreht sich der Kopf *G*, ohne daß die Schraube noch weiter gedreht wird; es findet also keine stärkere Anpressung der Meßschraube statt. Die Meßschraube führt sich in ihrer Mutter *C*, die mittels eines Klemmringes *C*₁, der auf dem äußeren geschlitzten Teil der Mutter sitzt, bei eingetretener Abnutzung etwas nachgezogen werden kann. Der Bügel der Schraublehre trägt links von *C* noch eine Kugelklemmung, mit der man die Meßschraube ohne seitliche Verdrückung in jeder beliebigen Lage feststellen kann, und so ein einmal eingestelltes Maß während der ganzen Arbeitszeit fest und gegen unbeabsichtigte Veränderung geschützt halten kann. Der andere Meßzapfen *A* ist fest und unverstellbar im Bügel.

Abb. 68 zeigt die einzelnen Teile einer ähnlichen Schraublehre anderer Bauart (J. T. Slocomb) ohne Gefühlsschraube.

Einen besonderen Schritt in der Entwicklung des deutschen Schraublehrenbaues stellt das Instrument von Carl Zeiß, Jena, dar. Es wird in einem durch besondere, schärfste Prüfungen kontrollierten Austauschbau¹ hergestellt, mit einem größten zulässigen Gesamtfehler von 3μ

(über 100 mm Meßlänge 4μ). Grundsätzlich verschieden von den Ausführungen bisher ist der Durchmesser der Meßtrommel von rund 18,6 mm, wodurch der Abstand der $\frac{1}{100}$ mm Teilstriche rund 1,17 mm wird, also die Ablesung und Schätzung weitgehend erleichtert, was neuerdings durch die Verchromung und Mattierung noch verstärkt wird. Abb. 69 gibt die Konstruktion wieder:

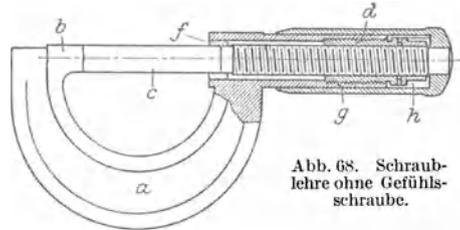


Abb. 68. Schraublehre ohne Gefühlsschraube.

Der Amboß ist fest, zur Einstellung sind Meßtrommel und Spindel getrennt und durch Halteschrauben in kegeliger Nut der Spindel verbunden. Die Spindelmutter ist am äußern, aus der Gewindehülse herausragenden Ende geschlitzt und mit Außengewinde und Anzugkegel versehen, wodurch etwaige Abnutzung zentrisch

¹ Werkstattstechnik 1926, 322.

ausgeglichen wird. Das eingestellte Maß wird durch einen geschlitzten Innenring mit Klemmwälze festgestellt, die durch eine geringe Drehung des geränderten

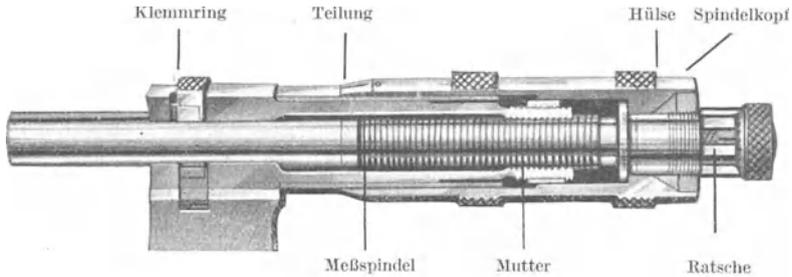


Abb. 69. Spindel und Mutter der Schraublehre von Carl Zeiß, Jena.

Außenringes auf die ausgesparte Ebene des Innenrings gedrückt wird, und so den zylindrischen Teil der Meßspindel bremst.

Bei der Herstellung wird folgendes geprüft:

1. Der Gewindestahl für die Spindel mit dem Meßmikroskop.
2. Die auf korrigierten Sonderbänken geschnittene Meßspindel.
3. Die Genauigkeit des Gewindes und örtliche Fehler, nach Abb. 70.
4. Die Meßflächen auf Ebenheit und Parallelität durch planparallele Glasplatten, bei größeren Meßlängen durch einen besonderen optischen Apparat ebenfalls nach Interferenzmethoden.

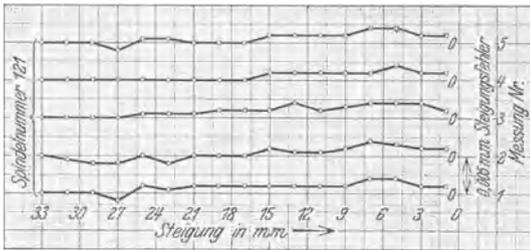


Abb. 70. Aufzeichnen der Steigungsfehler bei Carl Zeiß, Jena.

5. Die Spindel in der Mutter durch Abbeschen Dickenmesser bzw. Sonderprüfvorrichtung für alle Fehler von Schraube und Mutter.

6. Das Einstellen unter vorgeschriebenem Meßdruck.

7. Das fertige Instrument auf alle Fehler und Gesamtfehler.

Bei den großen Schraublehren macht sich das Gewicht des Bügels oft unangenehm bemerkbar, da man das Instrument in der Hand halten muß und durch das Gewicht das Gefühl bei der Messung leicht verliert. Deshalb werden die Bügel bei den großen Instrumenten aus Rippenguß gemacht.

Das mehrfach dafür verwendete Leichtmetall ist möglichst zu vermeiden, da es eine andere Wärmeausdehnung hat als Stahl und nach neueren Untersuchungen nicht beständig ist.

Um eine möglichst hohe Genauigkeit der Schraublehren mit Rücksicht auf den Herstellungspreis zu erhalten, verwendet man keine längeren Schrauben als 25 mm, so daß man für jeden um 25 mm steigenden Meßbereich eine weitere Lehre vorrätig halten muß.

Die Versuche durch einstellbare Schieber oder verschiebbare Ambosse die Reichweite der Instrumente zu erhöhen, müssen als mißglückt bezeichnet werden.

Verbindung von Schraublehren mit anderen Meßwerkzeugen. Es werden im Handel eine ganze Reihe Schieblehren, Schraublehren und Tiefenmaße aus den Bestandteilen der einzelnen Geräte aufgebaut. Man findet Schieblehren, bei denen die Feineinstellung am verschiebbaren Meßbacken nicht durch einen Nonius, sondern durch eine Schraublehre erhalten wird, andererseits Schraublehren,

bei denen der Bügel nicht fest ist, sondern durch eine Schiene oder Führung ersetzt ist, auf der der einstellbare Bügel mit der Meßschraube eingestellt werden kann. Johansson baut in letzter Zeit eine solche Verbindung, bei welcher der Bügel der Schraublehre durch einen Halter nach Abb. 51 gebildet wird und an Stelle des oberen Meßschnabels ein Arm mit einer Schraublehre eingespannt wird.

Es ist schwierig bzw. unmöglich, bei derartigen Instrumenten die Genauigkeit der Schraublehre, die über $\frac{1}{100}$ mm geht, auszunützen, da die Genauigkeit der Schieb- lehre im besten Fall 0,05 mm ist. Hat man also eine Verbindung von Schieb- lehre und Schraublehre, bei der die Einstel- lung des Schiebers nach den Teilstrichen (Abb. 71) erfolgen soll, so muß man, um wirklich die Genauigkeit der Schraub- lehre auf die ganze Messung zu übertra- gen, den Schieber nach einem Parallel- endmaß einstellen, wie Johansson es tut.

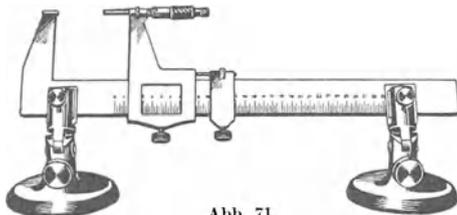


Abb. 71.
Schraubschieblehre (Hommelwerke, Mannheim).

Wenn es sich um die Messung größerer Durchmesser handelt, ist die gewöhn- liche Bügelschraublehre bereits etwas unbequem in der Handhabung, auch die Einstellung der beiden Meßflächen auf den Durchmesser beginnt unsicher zu werden. Eine wesentlich sicherere Arbeit läßt der Universalmeßapparat in Abb. 72 zu, dessen Konstruktion bezüglich der Meßeinrichtung sich mit der Schraublehre

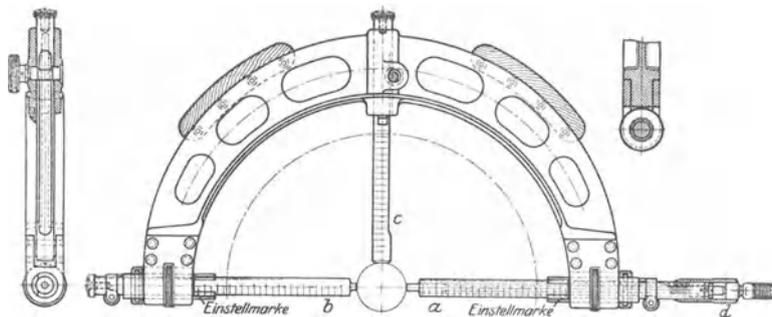


Abb. 72. Universalmeßapparat (Hommelwerke, Mannheim).

deckt, der aber durch die Verwendung dreier Punkte zum Messen bedeutend größere Meßbereiche mit einem einzigen Werkzeug überbrückt, ohne daß die Genauigkeit und Bequemlichkeit der Messung dadurch leidet; er läßt sich sogar leichter und gleichmäßiger einstellen als die gewöhnliche Schraublehre gleicher Spannweite.

Zur Messung eines Außendurchmessers werden die Maßstäbe *a*, *b* und *c* mittels ihrer Nonien auf gleichen Durchmesser eingestellt, wobei der mittlere Stab *c*, der das Instrument trägt, nur so weit eingestellt werden muß, daß die Fühlflächen der beiden seitlichen Maßstäbe noch sicher den vollen Durchmesser fassen. Dann wird jeder der beiden seitlichen Maßstäbe *a* und *b* festgeklummt und mit der Schraub- lehre rechts genau eingestellt. Die Justierung dieser Maße erfolgt nach einem Parallelendmaß, nach dem die Fühlspitze so eingestellt wird, daß bei sämtlichen Skalen auf Null die Schraublehre auch auf Null steht. Die weitere Ein- stellung ist dann nur mehr von der Genauigkeit des Maßstabes und der Genauigkeit der Einstellung der Maßstäbe auf das betreffende Maß abhängig. Zu diesem Zweck versieht die Firma Hommel ihren Universalmeßapparat (vgl. dazu Abb. 71) mit

einem Einstellnonius, der aus zwei um 0,02 mm gegen die Maßstabeilung versetzten Strichen besteht, so daß die Einstellfehler nicht mehr als diese Abweichung betragen können und wahrscheinlich weniger. Stellt man dagegen die beiden seitlichen Arme immer nach einem Parallelendmaß ein und mißt, davon ausgehend, den zu messenden Gegenstand nur mehr mit der Schraublehre allein, so ist die Genauigkeit der Messung auf $\frac{1}{100}$ mm sicher gewährleistet. Ähnliches gilt für das Schraublehrenstichmaß (Abb. 73), das in Verbindung mit einem geeigneten Fuß zur Höhenmessung verwendet werden kann. An Stelle der Strichteilung sind hier an der Stange Nuten eingedreht, in die ein Federschnapper im Schraublehrenteil einspringt, so daß die Einstellung von 10 zu 10 mm selbsttätig geschieht. Die Genauigkeit der ganzen Messung ist von der Genauigkeit der Abstände der eingedrehten Rillen und dem Fehlen des toten Ganges in dem Federschnapper abhängig.



Abb. 73.
Schraublehren-
stichmaß zur
Höhenmessung
eingrichtet
(Brown &
Sharpe).

Im Gegensatz hierzu liegt beim Schraublehrentiefenmaß (Abb. 74) die Schwierigkeit, die Genauigkeit der Schraublehre auszunützen, in der Handhabung. Infolge der großen Übersetzung zwischen Meßspindel und dem angreifenden Finger ist es für das Gefühl sehr schwierig, den Augenblick zu bestimmen, wo die in der Tiefe des zu messenden Loches aufsitzende Meßspindel den Querbalken des Tiefenmaßes von der Auflagefläche abhebt; besonders unangenehm fühlbar macht sich dieser Umstand bei einer Messung nach Abb. 74, wenn man einen Absatz mit dem nur auf einer Seite aufliegenden Tiefen-

maß messen will. Um tatsächlich hierbei wirklich die Genauigkeit des Schraublehrentiefenmaßes auf 0,01 mm auszunützen, bedarf es sehr großer Vorsicht und Übung. Die das Tiefenmaß bei *a* niederhaltende Hand kann den notwendigen Druck nur schwer aufbringen, um ein Kippen des Querbalkens um den Punkt *b* infolge der großen Übersetzung an der Meßspindel bei *d* zu verhindern. Bedeutend leichter ist die Messung, daher auch sicherer, wenn der Querbalken bei *b* und *c* aufliegt, also die Tiefe eines Loches gemessen werden soll.

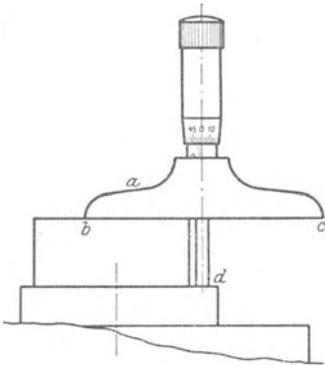


Abb. 74. Schwierigkeit beim Messen
mit dem Schraublehren-Tiefenmaß.

Innenschraublehren (Schraublehrenstichmaß). Das Messen von Bohrungen mit der Innenschraublehre ist weit schwieriger als das der Wellen. Das Stichmaß muß im größten Durchmesser und gleichzeitig senkrecht zur Achse der Bohrung gehalten und dabei während des Abtastens in dieser Stellung bis zur richtigen Berührung eingestellt werden. Bei großen Bohrungen, in denen das Instrument mit der Hand gehalten werden kann, ist dies verhältnismäßig leicht, wenn aber die zu messende Bohrung so klein wird, daß man die Schraublehre gerade noch mit zwei Fingern halten kann, ist die erreichbare Meßgenauigkeit weit unter der Genauigkeit des Instruments. Man muß dann zu Fühlhebelinstrumenten greifen (vgl. S. 54). Deshalb — und aus Herstellungsrücksichten — werden Innenschraublehren meist erst von 40 mm an gebaut. Theoretisch sollte innen mit Kugelflächen vom Durchmesser der zu messenden Bohrung gemessen werden, da dann stets Linienberührung zwischen Werkstück und Meßfläche vorhanden wäre. Dies ist jedoch wirtschaftlich nicht durchzuführen, da für jedes Maß ein besonderes Stichmaß erforderlich wäre. Bei den einstellbaren Stichmaßen ist diese Forderung

grundsätzlich nur für die kleinste Länge erfüllbar, während für alle anderen Längen der Durchmesser der Kugelflächen kleiner ist, was auch die Messung erschwert, da der Meßdruck sich auf eine kleine Fläche verteilt und elastische oder bleibende Verformung an der Meßstelle begünstigt wird.

Das einfache Schraublehrenstichmaß besteht aus der Meßschraube und Mutter, die an je einem Ende eine kugelige Meßfläche haben. Sie haben übereinstimmend mit den Schraublehren eine Verstellweite von 25 mm.

Aus dem Bestreben, möglichst vielseitig verwendbare Instrumente zu erhalten und die Anschaffungskosten zu verringern sind die zusammengesetzten

Schraublehrenstichmaße nach Abb. 75 und 76 entstanden, die unter allen Bedingungen die Genauigkeit der Schraublehre voll ausnützen, dagegen die

bedeutend höhere Genauigkeit der Kugelendmaße nur bei einer Einstellung, in der beide Endmaße einander berühren, gewährleisten können. Der Apparat besteht aus zwei Klemmröhren *a* und *b*, in denen durch eine Überwurfmutter die Kugelendmaße geklemmt werden, so daß bei auf Null stehender Meßschraube die beiden inneren Kugelflächen der Endmaße einander berühren. Die Klemmröhre des einen Endmaßes ist außen mit einer Meßschraube *c* versehen und schraubt sich aus dem Muttergewinde der Röhre *a* heraus, so daß die beiden kugeligen Enden der Endmaße statt $100 + 50$ mm jetzt 150 mm + der Ablesung an der Meßschraube angeben. Die Ablesung erfolgt wieder an der Außenröhre *d* und der Teilung *e*. Ein Klemmring *f* erlaubt jedes eingestellte Maß festzuhalten.

Eine wesentliche Verbesserung gegenüber den bisherigen Bauarten stellen die Kombinationsstichmaße der Firma Carl Zeiß, Jena¹, dar. Sie bestehen (Abb. 77)

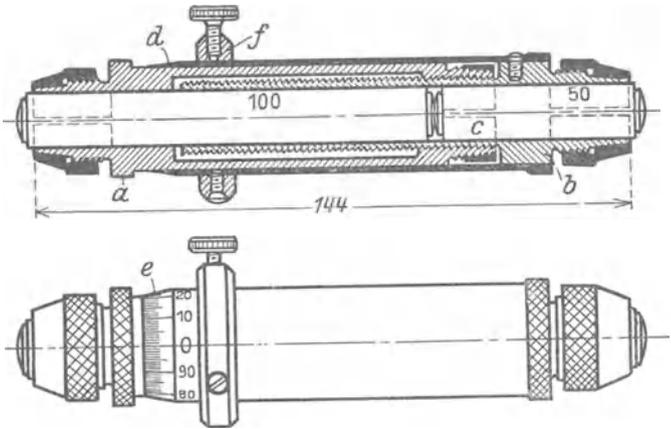


Abb. 75 u. 76. Verstellbare Innenschraublehre (Hommelwerke, Mannheim).

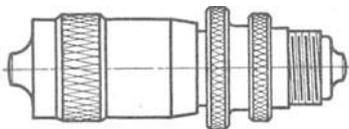
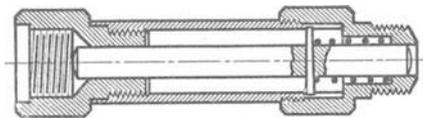


Abb. 77. Innenschraublehre



(Carl Zeiß, Jena). Abb. 78. Verlängerungsstück dazu

aus einem Schraublehrenstichmaß, an das eine oder mehrere Hülsen angeschraubt werden können, die die betreffenden Zusatzstichmaße (Abb. 78) enthalten. Diese Zusatzstichmaße sind in den Hülsen verdeckt gelagert, so daß sie außer Gebrauch nicht beschädigt werden können. Sie werden beim Zusammenschrauben mit dem Schraublehrenstichmaß oder einem anderen Zusatzstichmaß unter Federdruck aus der Hülse herausgeschoben, so daß die kugeligen Endflächen stets mit gleichem Druck zur Berührung gebracht werden. Es lassen sich infolge dieser Verbindung Stichmaße bis zu 900 mm Länge zusammensetzen, bei denen die volle Genauigkeit

¹ Loewe-Gesfürel, Berlin NW 87.

der Meßschraube gewahrt bleibt, ohne daß Berührungsfehler an der Stoßstelle zweier Stichmaße eintreten.

Die vollkommenste Art der Stichmaße bezüglich Genauigkeit und Kombinationsmöglichkeit stellen die Kombinationstichmaßhalter (Abb. 79) der Loewe-Gesfürel-AG. dar, die allerdings streng genommen, da sie keine Schraublehre besitzen, nicht hierher gehören. Auch werden sie ebenso wie für Innendurchmesser für Abstände zwischen ebenen Flächen benutzt (bis zu mehreren Metern).

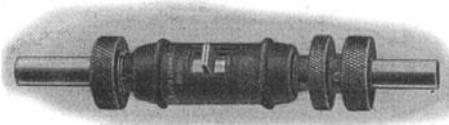


Abb. 79. Kombinationstichmaßhalter
(Loewe-Gesfürel AG., Berlin).

In diesen Werkzeugen werden zwei zylindrische Kugelendmaße in einem Halter durch zwischengeschaltete Parallelendmaße zu einem zusammengesetzten Stichmaß vereinigt, bei dem sich alle verlangten Maße auf 0,01 mm genau zusammenstellen lassen. Während jedoch die normalen Kugelendmaße eine Linienberührung bei Ausmessung von Bohrungen des betreffenden Durchmessers haben, da die Krümmung des kugeligen Endes denselben Radius wie die zu messende Bohrung besitzt, fällt dieser Vorteil des festen Stichmaßes hier natürlich fort. Es bleibt in beiden Fällen eine Punktberührung übrig.

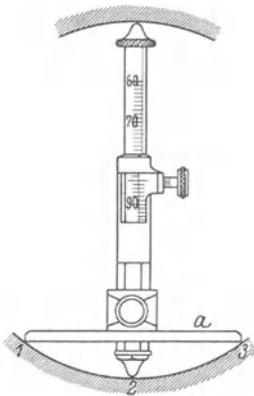


Abb. 80. Innenstichmaß für
große Bohrungen.

Für das Messen großer Durchmesser eignet sich ein Innenstichmaß nach Abb. 80, bei dem durch das Querlineal *a* die Stellung der messenden Kugelflächen genau auf dem Durchmesser gewährleistet wird. Man schiebt das Querlineal so weit herunter, bis die Enden im Zylinderumfang aufsitzen, wodurch infolge der Dreipunktberührung 1, 2, 3 die Stichmaßachse genau durch den Mittelpunkt geht. Diese Einrichtung läßt sich natürlich auch mit der in Abb. 75 vereinigen, so daß man statt der Noniusgenauigkeit von $\frac{1}{10}$ mm die der Schraublehre von $\frac{1}{100}$ mm anwenden kann.

Auf gänzlich abweichender Grundlage, aber nach viel richtigeren Gesichtspunkten sind die einstellbaren Schraub-

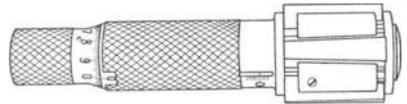


Abb. 81. Schraublehrenlehrdorn
(John Bath & Co.).

lehrenlehrdorne von John Bath & Co. (Abb. 81) gebaut. Sie werden stets in der Richtung der Bohrungsschneise eingeführt. Die vier Meßbacken werden durch die Meßschraube radial verschoben, die Übersetzung ist 400:1. Die Umlfläche der Meßbacken ist unterhalb des kleinsten zu messenden Durchmessers rund geschliffen, so daß innerhalb des Meßbereiches nur Linienberührung vorhanden ist. Die Einstellung geschieht mit besonderen Leerringen. Die Instrumente werden von 13 bis 200 mm \varnothing gebaut.

D. Fühlhebel.

Allgemeine Verwendung. Bei sehr vielen Messungen kommt es nicht darauf an, das wirkliche Maß des Gegenstandes zu bestimmen, sondern nur die Abweichung von einem Sollmaß, die Abweichung von einer geraden Linie, von einer Ebene, einem rundlaufenden Zylinder u. dgl. Dabei lassen sich die Fühlhebel besser als irgendeine andere Meßeinrichtung verwenden, da sie schnell eingestellt werden können, selbsttätig anzeigen und eine hohe Genauigkeit — bei optischen Einrichtungen $\frac{1}{1000}$ mm mit noch weitergehender Schätzung — erreichen, sowie die

größere oder kleinere Annäherung an das gesuchte Maß noch innerhalb der angegebenen Genauigkeit ersehen lassen.

Bauarten. Man unterscheidet vier Arten Fühlhebel:

1. Ungleicharmige einfache oder zusammengesetzte Hebel mit einer Meßgenauigkeit von $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{500}$ mm,
2. Zahnradinstrumente mit einer Meßgenauigkeit von höchstens $\frac{1}{100}$ mm (weitere Schätzung unzulässig).
3. Optische Instrumente mit Meßgenauigkeit von $\frac{1}{1000}$ mm (weitere Schätzung zulässig).

Bedingung für eine wirklich genaue Arbeit mit jedem Fühlhebel ist aber vor allem ein Instrument, das vollständig ohne toten Gang arbeitet, ist ferner, daß der Fühlhebel bei der Untersuchung unverrückbar fest aufgeklemt wird und das zu messende Arbeitsstück so glatt wie möglich ist, da grobe Riefen und Erhöhungen leicht ein Überschlagen und eine Beschädigung des Hebelwerkes mit sich bringen können. Überhaupt ist es eine Gewissenssache, sich beim Arbeiten mit dem Fühlhebel vor dem endgültigen Anstellen erst zu überzeugen, ob die Abweichungen des zu messenden Stückes nicht die Reichweite des Fühlhebels, die meistens nach jeder Seite nicht viel mehr als 0,2—0,25 mm beträgt, übersteigen. Bei den in Uhrenform ausgeführten Fühlhebeln (Abb. 90/91), ist die Reichweite des Instrumentes dagegen bis zu 10 mm.

Prüfung der Fühlhebel. Fühlhebel für Werkstattgebrauch mit Genauigkeit bis zu etwa $\frac{1}{100}$ mm werden in einem sehr kräftigen Ständer eingespannt — die früheren von Amerika übernommenen und heute noch vielfach verwendeten Ständer von 12—15 mm \varnothing sind viel zu schwach (richtige Abmessungen s. Abb. 88, 89, 95) — so daß der Fühlstift senkrecht nach unten zeigt. Senkrecht darunter wird eine Schraublehre ohne Bügel eingespannt und vorsichtig vorgeschraubt, bis der Fühlhebelzeiger seine Nullage verlassen hat und den ersten Strich anzeigt. Dann beginnt man mit der Ablesung der Schraublehre in mehrfachen Stufen bis zum Höchstwert der Anzeige des Fühlhebels, ohne dabei zurückzugehen. Nach Erreichung des Höchstwertes geht man einen oder zwei Teilstriche ohne Ablesung zurück, um einen etwaigen toten Gang auszuschalten, und dann in Stufen mit gleichzeitiger Ablesung an der Schraublehre zurück. Es empfiehlt sich drei Reihen aufwärts und abwärts zu messen.

Fühlhebel höherer Genauigkeit als $\frac{1}{100}$ mm sind von ihrem eigenen Auflagetisch aus (der mindestens geschliffen sein muß, meistens aber poliert ist, vgl. Abb. 95, 96, 98) durch untergelegte Endmaße in Stufen über den ganzen Meßbereich zu prüfen. Das Endmaß darf aber nur unter den hochgehobenen Fühlstift untergeschoben werden, worauf der Fühlstift langsam ohne Schlag auf das Endmaß herunterzulassen ist. Bei dieser Prüfung ist bereits peinlichste Sauberkeit (Staub- und Fettfreiheit) am Auflegestisch und an den Endmaßen zu beachten.

In allen Fällen zeigt erst eine solche Prüfung, wie weit man mit der Schätzung unterhalb der Teilung gehen kann, wenn die Prüfung auch auf Stufen, die kleiner als die Teilstrichwerte sind, ausgedehnt werden soll.

Die im Betrieb benutzten Fühlhebel sind regelmäßig, jedoch in viel kürzeren Zwischenräumen als die übrigen Meßinstrumente, auf ihre Richtigkeit zu prüfen.

Mechanische Fühlhebel.

Hebelinstrumente. Die einfachste Form der Fühlhebel, die sich im eigenen Betrieb leicht herstellen läßt, ist ein ein- oder zweiarmiger Hebel, bei dem das kürzere Ende als Fühlstift, das längere als Zeiger ausgebildet ist. In solchen Fällen erhält man eine Übersetzung von $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$, die für die gewöhnlichen

Werkstättenarbeiten bereits ausreicht. Eine käufliche Form eines solchen Fühlhebels zeigt Abb. 82. Es wird wohl angegeben, daß die kleinste Ablesung

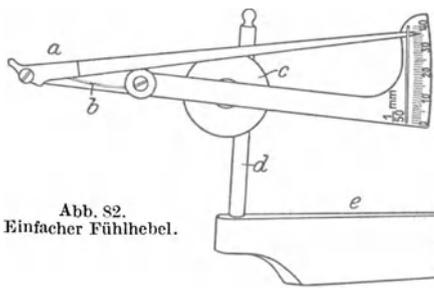


Abb. 82.
Einfacher Fühlhebel.

$\frac{1}{50}$ mm betrage, doch ist es nicht zu empfehlen, besonders für selbstgebaute Werkzeuge dieser Art, unter $\frac{1}{20}$ mm zu gehen, da sonst der unvermeidliche tote Gang in der Hebellagerung größere Fehler in die Ablesung brächte. Das Instrument besteht aus dem zweiarmigen Hebel *a*, an dessen kürzerem Ende drei in gleicher Entfernung vom Drehpunkte befindliche Fühlspitzen vorgesehen sind, damit der Hebel in beliebiger Lage verwendet werden kann. Das

Ende des langen Hebelarmes ist als Zeiger ausgebildet, der auf einer Kreisbogenskala spielt. Eine Blattfeder *b* drückt die Fühlspitze immer gegen das Werkstück. An einem Zapfen *c* ist der Fühlhebel als Ganzes drehbar und gleichzeitig auf der Säule *d* in der Höhe verschiebbar.

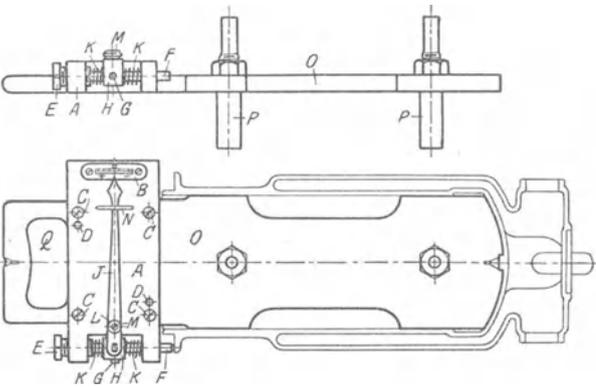


Abb. 83. Fühlhebellchre für Motorzylinder.

Die Fußplatte *e* dient auch zur Einspannung in den Support einer Drehbank oder die Messerklappe einer Hobelmaschine usw. für das Einstellen eines Werkstückes oder die Untersuchung der Maschine.

In Betrieben, in denen die Fühlhebel bei der Massenfertigung verwendet werden, werden sie in möglichst einfacher, aber für die verschiedenen Zwecke brauchbarster Form selbst hergestellt. Eine solche Form zeigt Abb. 83,

bei der die Grundformen — Fühlstift *F*, Führung *K* und *H*, Zeiger *J* und Zeigerlagerung *M*, *L* — für alle Sonderformen gleichbleiben, während die Fassung dem Sonderzweck entsprechend ausgeführt wird. In diesem Fall dient der Fühlhebel zur Kontrolle des äußeren Absatzes eines Motorzylinders und ist deshalb auf einer Grundplatte *O* befestigt, die in den Zylinder paßt. Zwei Stifte *P* in dieser Platte sichern die genaue Mittellage des Hebelwerkes und werden deshalb nach dem Einsetzen in die Grundplatte zwischen

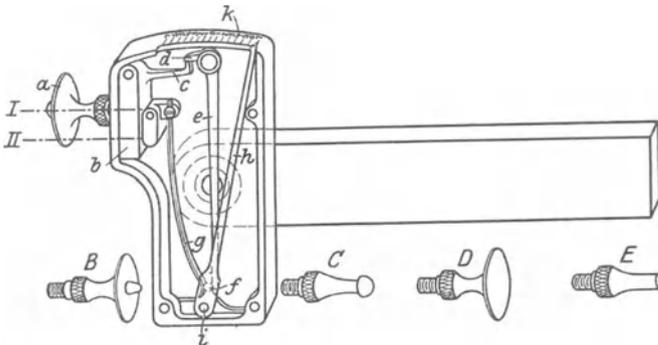


Abb. 84. Fühlhebel mit zwei Meßbereichen und auswechselbaren Fühlspitzen.

Spitzen in den Körnern der Grundplatte nach der Zylinderbohrung abgedreht. Die Konstruktion des Fühlhebels erklärt sich selbst, es sei nur auf die nachstellbaren gehärteten Stahlbüchsen *E* und Führungen aufmerksam gemacht. Die

Sicherung des Zeigers gegen zufällige Beschädigungen durch den Drahtbügel *N* ist natürlich nur ein Notbehelf.

Ein Fühlhebel mit mehrfacher Hebelübersetzung für Außen- und Innenmessung an großen Durchmessern ist in Abb. 84 wiedergegeben. Das Hebelwerk ist in einem geschlossenen Kasten untergebracht, so daß nur der Fühlstift *a* und die Skala *k* mit dem Ende des Zeigers *b* frei liegen.

Infolgedessen ist eine Beschädigung des empfindlichen Hebelwerkes nur durch grobe Nachlässigkeit möglich. Man stellt beim Arbeiten den Fühlhebel so an das Arbeitsstück an, daß der Zeiger auf 0, also in der Mitte der Skala steht, wodurch man nach beiden Seiten den halben Ausschlag zur Verfügung hat und bei dem Ablesen keine Ables- und Rechenfehler machen kann. Der auswechselbare Fühlstift (*B*, *C*, *D* und *E*, je nach der Form und Lage der zu prüfenden Fläche) kann auf der Mittellinie I oder II in den ersten Hebel *b* eingeschraubt werden; in Stellung I erhält man eine doppelt so große Übersetzung und genauere Anzeige. Dieser Hebel *b* ist ein um einen Zapfen

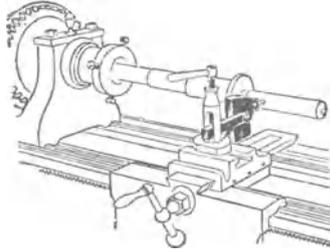


Abb. 85. Drehbankprüfung mittels Prüfdornes und Fühlhebels.



Abb. 86. Ausrichten eines Zahnrades auf der Planscheibe.

drechselbarer Winkelhebel, dessen zweites Ende *c* gegen den kurzen Arm *d* eines zweiten Winkelhebels *e* drückt, wodurch dessen langer Arm an den Bolzen *f* des Zeigers *h* drückt und den um die Achse *i* drehbaren Zeiger auf der Skala *k* bewegt. Eine Feder *g* drückt das ganze Hebelwerk dauernd in die tiefste Stellung, also die äußerste Ablesung rechts. Dadurch wird bei einer Einstellung auf die Nullage in der Mitte das Hebelsystem von vornherein unter Spannung gebracht und der tote Gang fast ausgeschlossen. Anwendungsmöglichkeiten für dieses Instrument sind Abb. 85 u. 86, die Drehbankprüfung mittels eines gehärteten und geschliffenen Prüfdornes, oder das Ausrichten verschiedener Teile auf der Drehbank, Hobelmaschine usw.

Minimeter. Eine sehr weitgehende Durchbildung der Fühlhebelmessung, die einen Ersatz der Messung mit festen Grenzlehren und Schraublehren beabsichtigt, haben die Fortunawerke, Cannstatt, in den Hirth-Minimetern durchgeführt. Diese sind sehr sorgfältig ausgearbeitete und bis auf $\frac{1}{500}$ mm messende Fühlhebel, die in eine verhältnismäßig dünne Röhre eingeschlossen sind

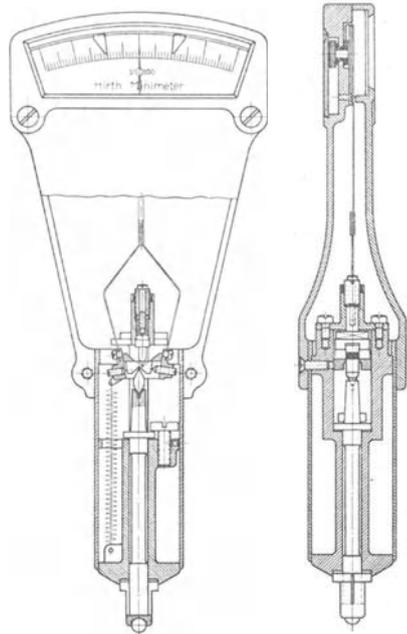


Abb. 87. Minimeter (Fortunawerke, Stuttgart-Cannstatt).

und sich leicht an den verschiedensten Arbeitsstellen verwenden lassen. Infolge dieser gedungenen Bauart (Abb. 87), kann das Minimeter in fast alle Werkzeugformen eingebaut werden. Die konstruktiv einwandfreie Durchbildung des Hebelwerkes der Minimeter ohne Zapfen und gebohrte Lagerungen, dafür aber mit reinen Schneiden und Pfannen

sichert die Einhaltung der Genauigkeit und eine größere Empfindlichkeit. Der Fühlstift, dessen Ende eine Stahlkugel ist, gleitet in einer langen Zylinderführung

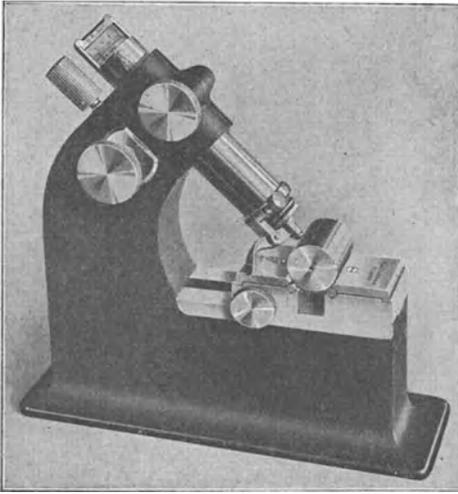


Abb. 88. Durchmessermessung mit Minimeter (Fortunawerke, Stuttgart-Cannstatt).

oder zur Verminderung der Reibung in einer doppelten Blattfederführung. Der Stift trägt an dem oberen Ende eine Schneide, auf der der einzige Hebel ruht, der hier als Pfannenhebel ausgebildet ist und gleichzeitig den möglichst leicht ausgeführten Zeiger trägt. Das Übersetzungsverhältnis ist demnach bestimmt durch das Verhältnis der Länge zwischen den Pfannen des Hebels und der Länge des Zeigers von der Verbindungslinie durch die Pfannenscheitel. Gehalten wird der Hebel durch die Rhombenschneide, die sich gegen die feste, einstellbare Pfanne legt, und die Spiralfeder links, die den Hebel dauernd in seine äußerste linke Stellung zieht. Eine Verwendung an Stelle eines Satzes Grenzrachenlehren zeigt Abb. 88. Der zu messende Zylinder

liegt auf zwei festen, geschliffenen, genau parallel ausgerichteten kleinen Stahlzylindern, die dem Durchmesser entsprechend gegeneinander verstellt werden können, während das Minimeter nach einem Normallehrdorn auf Null eingestellt wird. Legt man dann den zu messenden Körper ein, so zeigt das Minimeter die Abweichung von dem Normalmaß bzw. die verlangte Toleranz. Ähnliche Einrichtungen sind als Ersatz für Grenzlehrdorne usw. gebaut worden. In noch viel weiteren Grenzen läßt sich aber das Minimeter für Sondermeßwerkzeuge in der Revision verwenden. Der weitaus größte Vorteil dieser Fühlhebelbauart, die deshalb auch in neuerer Zeit von verschiedenen inländischen und ausländischen Firmen kopiert wird, liegt in ihrer Verwendbarkeit an den verschiedenen Revisionsapparaten, die von den Fortunawerken entwickelt worden sind. Solche Apparate sind¹ mit bis zu vier Minimetern gebaut worden, um gleichzeitig vier Maße oder zwei Flächen an einem Stück kontrollieren zu können. Gleichzeitig erlaubt die Einstellbarkeit dieser Ständer auch durch Verwendung anderer Normalstücke ähnliche Werkstücke mittels zugepaßter Unterlagen zu kontrollieren. Die noch weitergehende Entwicklung zeigt Abb. 89, bei der nur ein Meßgerät benutzt wird, aber durch Verwendung eines je nach den Erfordernissen geformten Revolvvertisches und dem Werkstück zugepaßter Auflagen sechs oder mehr Mes-

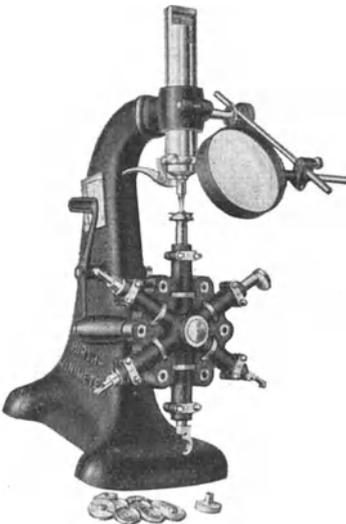


Abb. 89. Sondermeßgerät mit Minimeter.

sungen an einem Stück gemacht werden können. Der besondere Vorteil liegt in der noch weitergehenden Anpassungsfähigkeit dieser Bauart an verschiedene Werkstücke und in der größeren Ersparnis an Anschaffungskosten der Revisionsmeßinstrumente.

¹ Werkstattstechnik 1919, 11, Sonderheft II.

Das abgebildete Revisionsgerät dient zur Außenmessung kleiner Teile; das Minimeter steht oberhalb eines sechsarmigen Revolvertisches, der durch den seitwärts ersichtlichen Sperrbolzen in jeder der sechs Meßstellungen festgestellt werden kann. Jeder der sechs Arme trägt eine Aufnahme, die nach einem Muster oder Normalstück in geeigneter Entfernung von dem Tastbolzen des Minimeters ein- und festgestellt wird. Die für jede Meßstellung zugelassenen Toleranzen werden an einer Tabelle seitwärts am Instrument eingetragen, so daß der Revisor für jede Meßstellung den Ausschlag unmittelbar vergleichen kann. Die Aufnahmen für die Werkstücke müssen natürlich den verlangten Toleranzen und dem Werkstück angepaßt werden, damit das Minimeter immer in derselben Stellung stehenbleiben kann.

Solche Einrichtungen lohnen sich aber erst, wenn es sich um eine Massenfertigung handelt, während für allgemeine Werkstättenarbeit ein allgemeiner Fühlhebel bzw. die in Abb. 87 dargestellte Normalform des Minimeters, für die man jedesmal die Einspannung baut, vorzuziehen ist.

Zahnradinstrumente (Meßuhren). Bei den in Uhrenform gebauten Fühlhebeln ist der Fühlstift im Innern des Gehäuses als Zahnstange ausgebildet, die mit mehrfacher Zahnradübersetzung die Bewegung des Fühlstiftes auf den Zeiger überträgt. Bei einem Teilkreisdurchmesser von 52 mm (Zeiß), 100 Teilstrichen von je $\frac{1}{100}$ mm Wert am Umfang, ist das Gesamtübersetzungsverhältnis 1 : 163, also doppelt so groß wie bei der handelsüblichen Schraublehre und größer noch als bei der von Zeiß (Abb. 69).

Die große Teilstrichentfernung verleitet allgemein zu einer weitgehenden Schätzung unterhalb der Anzeige von $\frac{1}{100}$ mm. Davor kann nicht scharf genug gewarnt werden, außer die Instrumente werden mit Parallelendmaßen dauernd an der betreffenden Skalenstelle und in den gewünschten feinen Abstufungen kontrolliert.

Die Zahnradinstrumente haben einen großen Meßbereich bis zu 10 mm. Die Ausnützung einer (zunächst etwa vorhandenen) Genauigkeit von mehr als $\frac{1}{100}$ mm ist im Maschinenbau mit diesen Instrumenten nur unter besonderen Vorsichtsmaßregeln möglich, da die Instrumente gegen unvorsichtige Behandlung sehr empfindlich sind, ganz abgesehen von der natürlichen Abnutzung der feinen Zapfen und Lager. Sie zeigen häufig falsch an dadurch, daß der feine Triebling, der die Bewegung von der Zahnstange des Fühlstiftes auf die Räder überträgt, bei unvorsichtiger Behandlung außer Eingriff kommt oder sich klemmt. Während sie für Laboratoriumsarbeit in kundigen Händen sehr handliche Instrumente von hoher Empfindlichkeit sind, müssen sie bei Verwendung in der Werkstätte dauernd kontrolliert werden, da auch das Verstauben und Eindringen von Öl oder Spritzwasser nicht verhindert werden kann, das ihr Arbeiten ernstlich stört.

Die einfachste Kontrolle, ob das Instrument in Ordnung ist, besteht darin, daß man bei eingestelltem Instrument den Fühlstift anhebt und mehrmals langsam bzw. etwas schneller, jedoch ohne Schlag, auf dieselbe Stelle des unverändert liegenden Prüfstückes absenkt. Die verschiedenen Anzeigen dürfen um nicht mehr als $\pm 0,0025$ mm von dem Mittelwert abweichen.

Die allgemeine Bauart verwendet nur Zahnräder in mehrfacher Übersetzung und zum Ausgleich des unvermeidlichen Spieles in den Zähnen, Gegenfedern, wie Abb. 90 zeigt (Ruthardt & Co., Stuttgart).

Der ganze Apparat ist in ein Gehäuse eingeschlossen, das nur den Fühlstift nach oben und unten austreten läßt. Dieser Stift ist innerhalb des Gehäuses als Zahnstange ausgebildet und steht in Eingriff mit den Zahnrädern, deren letztes den Zeiger trägt. Auf diese Weise ist wohl eine große Übersetzung von dem Fühlstift

bis zum Zeiger möglich, doch darf man nicht vergessen, daß mit jedem Zahneingriff auch der tote Gang vergrößert wird, dessen Einwirkung durch Gegenfedern nur bei besonders sorgfältiger Handhabung und durch vorzüglichste Werkstättenarbeit ausgeschaltet werden kann. Muß man jedoch mit der Kontrolle der Anzeige

auf Null zurückgehen, so kommt der tote Gang unbedingt zur Geltung. Außerdem ist es nicht möglich, das Spiel in dem Zahneingriff und in den Zapfenlagern so auszugleichen, daß man bei einer Kontrolle eines solchen Fühlhebels mit Endmaßen auch gleiche Fehleranzeige über den ganzen Meßbereich erhält, und, was noch gefährlicher ist, der Fehler wechselt bei jeder Kontrolle nach längerem Gebrauch.

Die Bauart von Zeiß (Abb. 91), verwendet an Stelle der Zahnstange ein auf den Fühlstift auf-

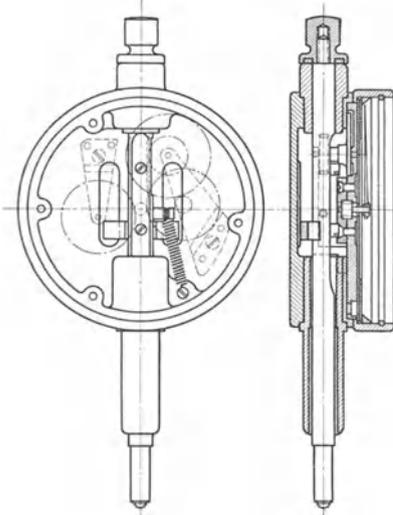


Abb. 90. Fühlhebel mit Zahnradübertragung (Ruthardt & Co., Stuttgart).

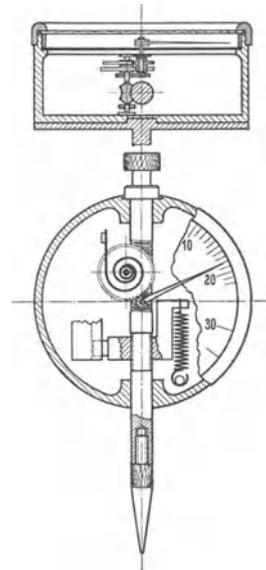


Abb. 91. Fühlhebel mit Zahnradübertragung (Carl Zeiß, Jena).

geschnittenes Gewinde, das mit einem Schneckenrad als Triebfling kämmt. Damit kann man durch Drehung des Fühlstiftes mittels des oben an der Meßuhr sichtbaren Knopfes den Zeiger auf Null einstellen, erspart also die bei anderen Bauarten üblichen drehbaren Skalenscheiben. In der folgenden Zahnradübersetzung ist durch die bekannte Zweiteilung des großen Rades das Spiel im Zahneingriff so weit wie möglich verringert.

Eine dritte Bauart, die sich durch besonders kleine Abmessungen auszeichnet (Zeiß, Alig & Baumgärtel, Last Word¹) stellt eine Vereinigung von Hebel- und Zahn-

radübertragung dar. Der Meßbereich ist infolgedessen auf $\pm 0,1$ mm begrenzt, dafür ist es durch die rechtwinklige Lage des Fühlstiftes zur Hauptausdehnung des

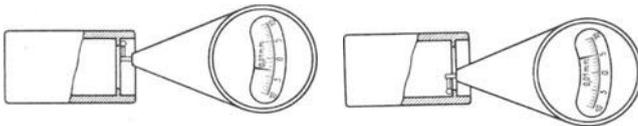


Abb. 92 u. 93. Meßuhr für kleine Bohrungen (Carl Zeiß, Jena).

Instrumentes möglich, kleine Bohrungen und in gewissem Ausmaße über Ansätze hinaus zu messen (Abb. 92—93).

Die Meßgenauigkeit beträgt 0,005 mm, der kugelig ausgebildete Taststift läßt sich von zwei Seiten in den Taster einschrauben, so daß man Stirnflächen oder Bohrungen messen kann.

Optische Fühlhebel.

Die optischen Fühlhebel gehören zu den genauesten Meßwerkzeugen; sie werden nur durch die Interferenzmessungen übertroffen. Der Fühlstift überträgt seine

¹ Böhm & Bormann, Berlin.

Bewegung auf einen ohne Spiel gelagerten Spiegel, dessen Winkeldrehung einen gerichteten Lichtstrahl ablenkt. Die Ablenkung des Lichtstrahls wird an einer Skala gemessen, die in nahezu beliebiger Entfernung aufgestellt sein kann. Der Lichtstrahl wirkt also als masseloser und trägheitsloser Übertragungshebel, dessen Länge — und damit das Übersetzungsverhältnis — durch keine Festigkeitsrück-sichten beschränkt ist. Diese Anzeigeelemente, die in der Physik als Spiegelgalvanometer u. a. allgemein bekannt sind, mußten für die Zwecke des Maschinenbaues in eine gedrungene, handliche und tragbare Form gebracht werden, die überdies von der Verwendung eines Dunkelraumes unabhängig sein mußte.

Apparat von Adam

Hilger, London. Er mißt unmittelbar bis $2,5 \mu$ und läßt die Hälfte davon schätzen.

Abb. 94 zeigt bei *C* die obere Fläche des zu

messenden Gegenstandes, der neben dem Vergleichsstück (Endmaß) auf dem geschliffenen und polierten Tisch *D* steht. Der Fühlstift *C* ist an einem bei *B* drehbaren Hebel befestigt, der am anderen Ende den Spiegel *H* trägt. Der Lichtpunkt der Lampe *E* wird in der Entfernung *u* vom optischen System *F* abgebildet und sein Weg aus der Mittellage vergrößert auf der Skala *G*.

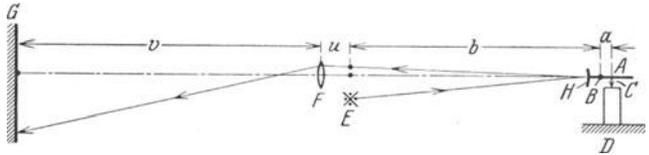


Abb. 94. Tenthou Comparator (Adam Hilger, London).

Die Übersetzung am Spiegelhebel ist $\frac{b}{a}$, durch das optische System $\frac{v}{u}$ also die Gesamtübersetzung $\frac{b}{a} \cdot \frac{v}{u}$, die bei einer Skalenentfernung von 355,6 mm ($14''$) $\frac{500}{1}$ ist.

Optimeter. Der heute im In- und Ausland als beste Lösung einer Fühlhebelbauart anerkannte Apparat ist das Optimeter von Zeiß, das in senkrechter (Abb. 95)

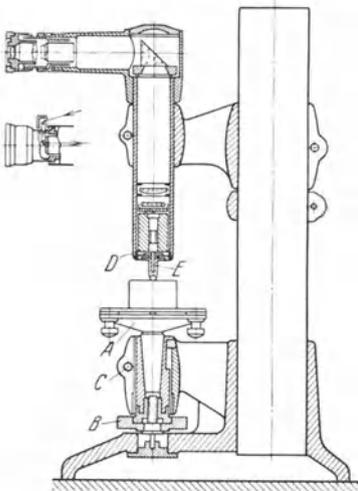


Abb. 95. Optimeter von Zeiß.

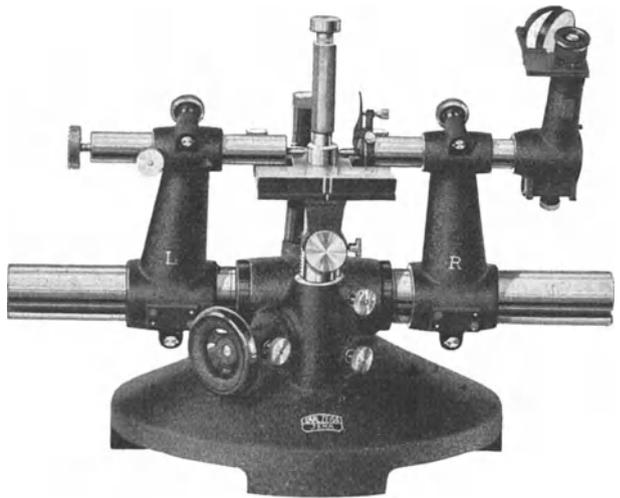


Abb. 96. Waagrecht-Optimeter (Carl Zeiß, Jena).

oder waagerechter Lage (Abb. 96) in den handelsüblichen Instrumenten verwendet wird, aber in jeder beliebigen Lage eingebaut werden kann. Der Meßkopf (optischer

Fühlhebel) kann für sich, unabhängig von dem Ständer oder einer optischen Bank beliebig verwendet werden.

Das Optimeter mißt, wie alle Fühlhebel, von einem Vergleichsstück aus, das auf den Tisch *A* (Abb. 95) des Optimeters aufgelegt wird (Achtung auf Staub oder Fett!), worauf der Tisch *A* mit der unterhalb ersichtlichen Feineinstellschraube *B* soweit gehoben wird, bis der Zeiger im Gesichtsfeld auf der Nullmarke der Skala steht. Dann wird der Tisch in dieser Stellung mittels Schraube *C* festgeklemmt. Nach Auflage des Werkstückes auf den Tisch wird mit dem Fingerhebel *D* der Fühlstift *E* heruntergelassen, bis das kugelige Ende auf der Oberfläche des Werkstückes aufsitzt. In der waagerechten Ausführung wird durch die Feinstellschraube links an der Pinole eingestellt, der Meßtisch selbst „schwimmt“ auf Kugeln auf seinem Untertisch, wodurch die zum Einstellen notwendige Kraft noch kleiner als der Meßdruck von rund 180 g ist.

Im Gesichtsfeld läßt sich die Abweichung des Werkstückes vom Vergleichskörper unmittelbar in μ am Zeiger ablesen. Die Reichweite des Optimeters ist $\pm 90 \mu$, die Teilung 1μ , doch ist der Abstand der Teilstriche und die Genauigkeit des Instrumentes so groß, daß noch Bruchteile eines μ sicher geschätzt werden können.

Die Wirkungsweise ergibt sich aus dem Strahlengang (Abb. 97): Durch den seitlichen Beleuchtungsspalt im Autokollimationsfernrohr wird mittels eines zweimal totalreflektierenden Prismas das Licht durch die Skala über das totalreflektierende Prisma im Knie des Tubus über das Objektiv am unteren Tubusende auf den neigbaren Spiegel geworfen. Steht der Spiegel senkrecht zur Tubusachse, so fällt der auf dem gleichen Wege zurück vom Spiegel reflektierte Strahl in die Mitte des zweiten Schlitzes vor dem Okular, so daß das einblickende Auge den Nullpunkt der Skala mit dem Zeiger zusammenfallen sieht. Wird dagegen der Fühlstift durch das Werkstück angehoben, so wird der Spiegel, wie in Abb. 97 gezeichnet, leicht gekippt, wodurch der reflektierte Strahl oberhalb der Nullmarke auftritt. Das einblickende Auge sieht das Bild der Skala nach unten verschoben. Der Zeiger zeigt die Abweichung des Werkstückes vom Vergleichsmaß unmittelbar vom Nullpunkt nach oben an.

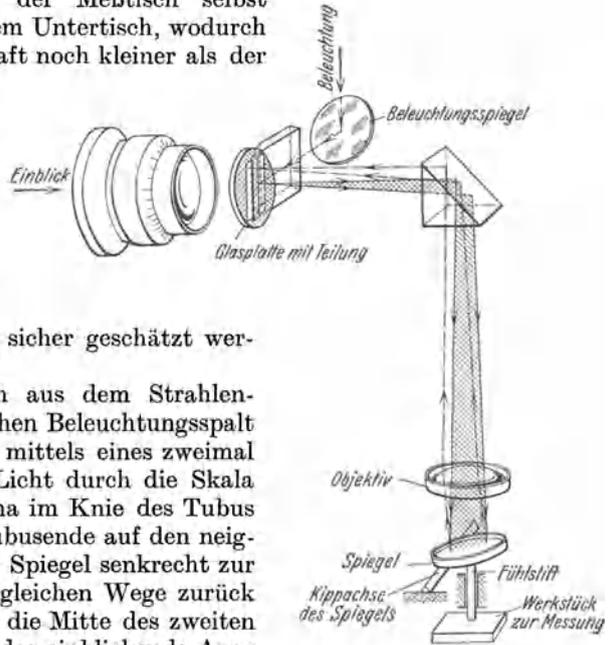


Abb. 97. Strahlengang des Optimeters.

Die Gesamtvergrößerung V ist:

$$V = \frac{\text{optischer Hebelarm} \cdot 2 \text{ facher Vergrößerung der Lupe } C}{\text{mechanischer Hebelarm des Spiegels}} = \frac{960}{1}.$$

Mit dem waagerechten Instrument (Abb. 96) läßt sich durch Drehung des Lehrdornes die Unrundheit nach Größe und Ort, durch Heben und Senken des Tisches die Abweichung vom Zylinder bestimmen.

Abbe'scher Dickenmesser. In diesem Zusammenhang muß auch dieses Meßgerät, das neuerdings von Zeiß als Werkstatttdickenmesser gebaut wird, erwähnt werden, da es mit der Sicherheit des Fühlhebels gestattet, innerhalb der Reichweite seines Präzisionsmaßstabes (50 bzw. 105 mm) unmittelbar auf 1μ ohne Vergleichstücke

zu messen. Wenn man die Schwierigkeiten der Messung auf den bekannten Meßmaschinen kennt, so ist die Einführung dieses alten Apparates in die Betriebsmessung besonders zu begrüßen. In Abb. 98 ist auf der Grundplatte *a* das ebene, polierte Auflager *b* für das Werkstück justierbar befestigt. Fest mit der Grundplatte *a* ist der Ständer *c* verbunden, der in einer Prismenführung den Meßstempel *e* trägt, so daß zwischen beiden Linienberührung stattfindet. Das Eigengewicht des Meßstempels ist durch das Gegengewicht *g* ausgeglichen, wodurch beim Heben und Senken des Meßstempels durch den Kordelknopf *h* der Meßdruck unabhängig vom Gefühl des Messenden stets gleich bleibt.

Der Maßstab ist in einer Aussparung des Meßstempels eingelassen, seine Rückseite versilbert, die Vorderseite poliert. Die Teilstriche haben 0,1 mm Abstand und eine Strichbreite von 0,005 mm; abgelesen wird am waagerechten Mikroskop mit Okularmikrometer *l + m* mit Ableselupe *o*. Der Wert eines Teiles ist 1μ . Jeder Nullpunkteinstellung und Ablesung bezüglich der Trommelwerte voraus, die ganzen und $\frac{1}{10}$ mm werden unmittelbar am Maßstab abgelesen.

Mikrolux. Für die Schnellrevision von Massenteilen eignet sich die Spiegellehre (Abb. 99) besonders. Die 1000fache Gesamt- (mechanisch-optisch) Vergrößerung läßt Abweichungen von wenigen Hundertstelmillimetern noch deutlich erkennen. Der Arbeiter braucht nicht das Auge am Okular zu halten, sondern sieht das Meßbild frei vor sich, unabhängig von der Raumbelichtung. Das Toleranzfeld, das durch die Zeiger *g* und *h* nach Originalstücken mit Plus- und Minusabmaß eingestellt wird, kann 0,15 mm betragen. Das zu prüfende Werkstück, z. B. ein Bolzen, wird auf dem auswechselbaren und verstellbaren Meßtisch *a* aufgelegt und gegen die Anschlagfläche *b* geschoben, wobei die Meßschraube *c* der beweglichen Backe *d* sich stets mit dem richtigen, von der Bedienung unabhängigen Meßdruck (75 g) gegen

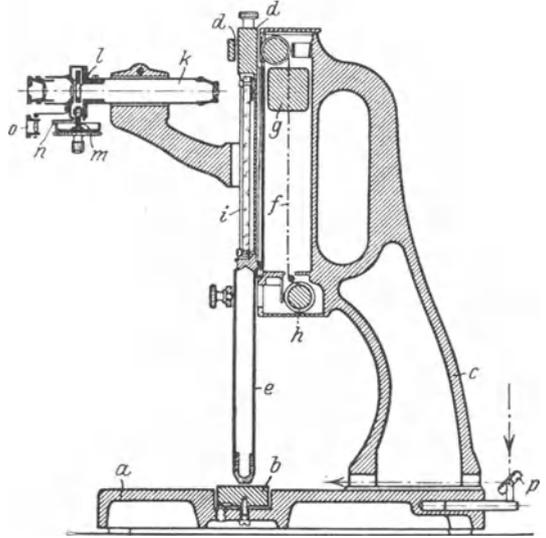


Abb. 98. Abbe'scher Dickenmesser.

Die Meßtrommel ist in 100 Teile geteilt, Ablesung oder Ablesungsreihe geht eine

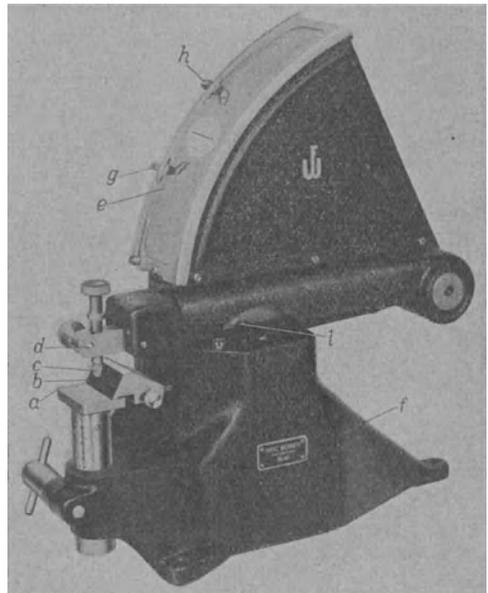


Abb. 99. Mikrolux von Fritz Werner, Berlin.

die Bedienung unabhängigen Meßdruck (75 g) gegen

das Werkstück legt. Das Ergebnis der Messung wird auf der Mattscheibe *e* abgelesen, auf welcher an der dem Durchmesser des Werkstücks entsprechenden Stelle ein dunkler Strich im hellen Felde erscheint.

Verbindung von Fühlhebeln mit anderen Meßgeräten.

Durch die allgemeine Festlegung von Toleranzen, Abmaßen, Genauigkeiten einerseits und durch die weite Einführung der planmäßigen Massenfertigung erwuchs eine gegen früher weit gesteigerte Notwendigkeit, die genauen Maßunterschiede schnell und sicher, sogar durch Hilfskräfte, zu bestimmen. Die durch das Grenzlehren-

prinzip festgelegten Stufen genügen manchmal nicht mehr, erst genaue und verlässliche Fühlhebel gaben diese Möglichkeit. Besonders in der Fließfertigung haben sich viele mit Fühlhebeln zusammengesetzte Meßvorrichtungen sehr eingeführt.

Im folgenden seien aus der großen Menge einige kennzeichnende Vertreter angeführt:

Messung von tiefen Bohrungen: Während kurze Bohrungen und Ringe mit den vorhandenen Werkzeugen genügend leicht gemessen werden können, verlangen die tiefen Bohrungen kleinen Durchmessers, z. B. bei der Motorenherstellung, besondere Meßverfahren.

Innenmeßapparat „Subito“ von Hahn & Kolb, Stuttgart (Abb. 100), mißt mit Umlenkung der Fühlbewegung im rechten Winkel auf den Fühlstift der Meßuhr (Abb. 101). Gemessen wird nach der Dreipunktberührung: die beiden Endpunkte des Auflagerbalkens liegen fest, in der Mitte zwischen ihnen liegt der Fühlstift, dessen Bewegung in der abgebildeten Weise in die Richtung der Bohrungsachse und auf die außerhalb der Bohrung befindliche Meßuhr geleitet wird. Die federnde Führungsstütze, diametral gegenüber dem Fühlstift, erleichtert das achsiale Einführen des Apparates. Einstellung geschieht durch Lehrring. Durch Auswechselung der Fühlstifte wird der Meßbereich

des Apparates erweitert, z. B. 20—35; 35—60; 60—100 mm usw.

Messung großer Durchmesser:

Dreipunktlehre mit Meßuhr. Alig & Baumgärtel, Aschaffenburg bringen als Ersatz für die unhandlichen großen Schraublehren das Gerät (Abb. 102), nach dem Grundsatz der veränderlichen Bogenhöhe bei gleichbleibender Sehnenlänge heraus. Die Bogenhöhe

$$b = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - a^2},$$

worin *a* die gleichbleibende Sehnenlänge des Apparates, *r* der Halbmesser des gesuchten Kreises ist, wird aus der Schraublehrenmessung bestimmt, wobei die zwischengeschaltete Meß-

uhr die Konstanzhaltung des Meßdruckes sichert.

Meßbereich dieser Lehren: 600—800; 800—1100; 1100—1600 mm usw.

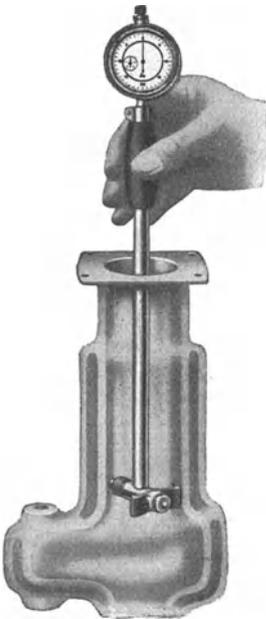


Abb. 100. Fühlhebelmeßgerät zur Bohrungsmessung.



Abb. 101. Umlenkung der Meßbewegung beim Apparat nach Abb. 100.

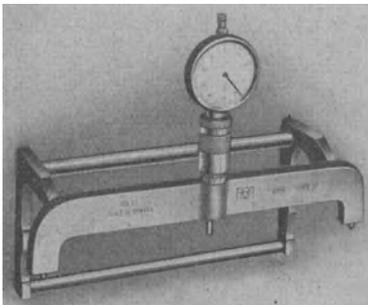


Abb. 102. Dreipunktlehre mit Meßuhr.

Rachenlehre mit Meßuhr. Die Rachenlehre (Abb. 103) von Carl Mahr, Eßlingen, hat einen verschiebbaren Meßbacken *A* und einen als Fühlstift ausgebildeten beweglichen Backen *B*. Eine dritte Auflage *C* wird wie *A* nach dem Vergleichsstück grob eingestellt. Fein eingestellt wird durch Drehen des Zifferblattes der Meßuhr. Der Fühlstift *B*, der unmittelbar auf den Fühlstift der Meßuhr wirkt, wird durch die Abhebevorrichtung auf das bereits in Meßstellung befindliche Werkstück heruntergelassen bzw. davon abgehoben. Die Abmaße der Werkstücke können durch die beliebig einzustellenden Toleranzmarken *E* am Zifferblatt festgehalten werden.

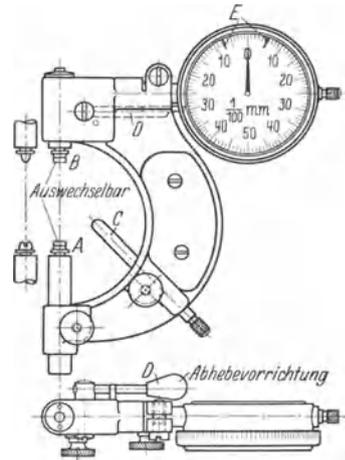


Abb. 103. Rachenlehre mit Meßuhr.

Selbsttätige Fühlhebelmessung beim Schleifen. Die Notwendigkeit, beim Schleifen Vergleichsmessungen bis auf 2μ zu machen und der unvermeidliche Zeitverlust bei der Schraublehrenmessung haben die selbsttätige Fühlhebelmessung für den Rund- und Innenschliff (Heald, Fortuna, Wotan, Grothkopp) veranlaßt. Einige Bauarten messen vom festen Nullanschlag aus, die Schleiflehre von Grothkopp (Abb. 104) mit zwei festen (35) und einem nachgiebigen Diamantmeßbacken (9). Sie ist um den Bolzen 15 schwingend gelagert, wodurch die Messung von dem Schlag der Schleifwelle und den Schwingungen der Maschine unabhängig ist. Damit steht auch der Zeiger der Meßuhr still.

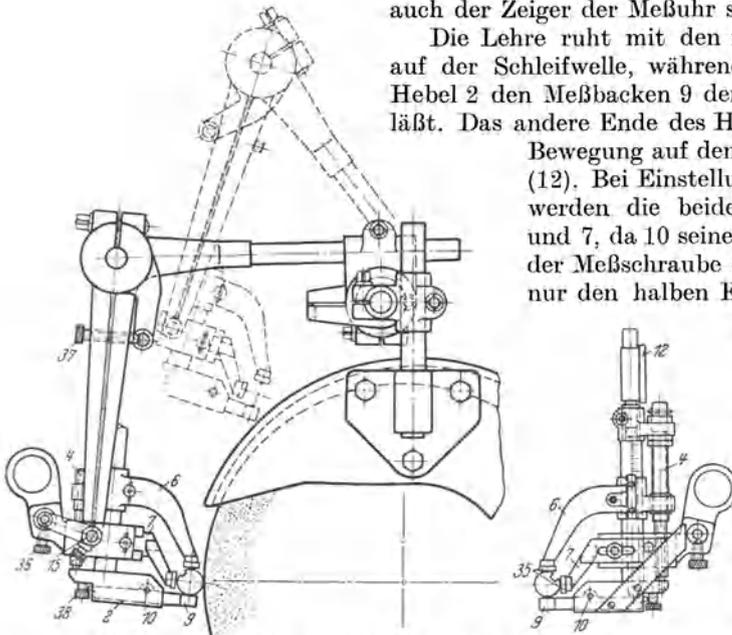


Abb. 104. Selbsteinstellende Schleiflehre (Paul Grothkopp, Berlin).

Die Lehre ruht mit den festen Meßbacken (35) auf der Schleifwelle, während der um 10 drehbare Hebel 2 den Meßbacken 9 der Spanabnahme folgen läßt. Das andere Ende des Hebels 2 überträgt diese Bewegung auf den Fühlstift der Meßuhr (12). Bei Einstellung eines neuen Maßes werden die beiden Meßbackenträger 6 und 7, da 10 seine Lage nicht ändert, mit der Meßschraube 4 verschoben, wobei 7 nur den halben Einstellweg macht, die

zugehörige Meßbacke also stets der Mitte des Werkstückes gegenüber bleibt. Man kann mit der Lehre dauernd das laufende Werkstück bis auf $\pm 1,5\mu$ im Durchmesser messen und in gleichen Grenzen auf Gradlinigkeit. Durch eigene Begrenzungsschrauben (36, 37,

38) kann man auch genutete Werkstücke messend schleifen.

Meßuhr mit Hebel. Grundsätzlich soll die handelsübliche Meßuhr nicht für kleinere Ablesungen als ein Teilstrich = $\frac{1}{100}$ mm verwendet werden. Muß jedoch

— wie z. B. in der Kugellagerherstellung — eine Messung unter dieser Grenze gemacht werden, so wäre grundsätzlich das Optimeter zu verwenden. Man kann aber auch nach Abb. 105 durch Zwischenschaltung eines Zwischenhebels 1 : 5 bis 1 : 10 richtige Messungen bis 1μ ausführen. Man muß jedoch den Hebel, Ständer, Auflagetisch usw. besonders starr und kräftig bemessen, der Hebel muß in einwandfreien Schneiden und Pfannen gelagert sein, und der Fühlstift der Meßuhr muß durch besondere Ausgleichung des Übertragungshebels von zusätzlichem Meßdruck befreit werden.

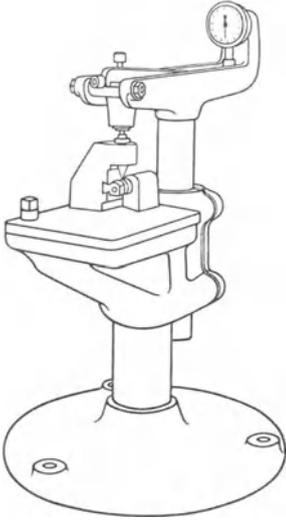


Abb. 105. Meßuhr mit Übertragungshebel.

Fühlstiftlehen. Eine besondere Gefühlsmessung bilden die einfachen Anschlaglehen, die entweder mit oder ohne eigentlichen Fühlhebel gebaut werden. Sie bestehen grundsätzlich aus einem einfachen Tastbolzen in einem geeigneten Führungskörper. Die Oberfläche des Tastbolzens spielt zwischen zwei Absätzen der Oberfläche des Führungskörpers, wenn das Werkstück unter ihm den durch die beiden Absätze gegebenen Toleranzen entspricht. Die Anschlaglehen haben den großen Vorteil, daß sie in jeder halbwegs gut geleiteten Werkzeugmacherei hergestellt werden können, billig sind und leicht zum Lehren verschiedener Maße an einem Stück in einer Aufspannung eingerichtet werden, außerdem ohne Anstand von ungeübten Leuten bedient werden können.

Die Grenzen ihrer Verwendung ohne besondere Fühlhebel liegen bei Toleranzen von 0,05 mm, da ein feineres Tastgefühl nicht von den Leuten vorausgesetzt werden kann, dann auch zu unsicher wird.

Eine derartige Form ist in Abb. 106¹ gezeichnet, sie stellt die einfachste Form zum Lehren einer Vertiefung in einer ebenen Fläche dar. Die Lehre besteht aus einem sechskantigen Handgriff aus Maschinenstahl, der im Einsatz gehärtet wird. Die Bohrung wird nach dem Ausbohren ausgeschliffen, aber nicht poliert. Die Enden des Handgriffes — oder in anderer Ausführung des Führungskörpers — werden parallel und eben geschliffen, die obere jedoch in zwei Stufen, die durch die Mittellinie der Bohrung getrennt sind und deren Höhenunterschied der verlangten Toleranz entspricht. Der Fühlstift wird aus Werkzeugstahl gemacht, gehärtet und geschliffen, aber nicht poliert und hat in der Bohrung 0,025—0,05 mm Spiel. Die Bohrung wie der Fühlstift sind in der Mitte abgesetzt, um dort einen Aufnahme-raum für eine Feder zu geben, die den Anschlagstift gegen das Werkstück drückt. Der

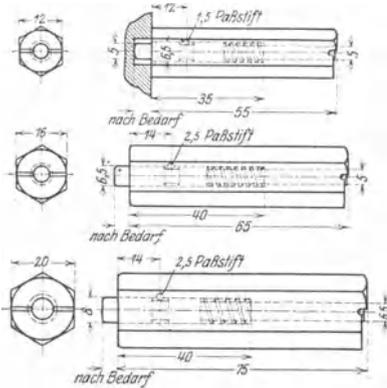
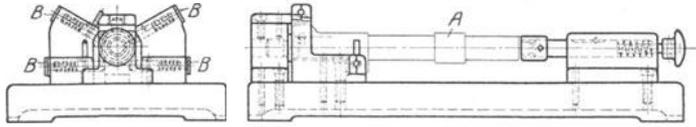


Abb. 106. Fühlstiftlehen.

Fühlstift erhält etwas tiefer eine zweite Ausdrehung für einen durch den Führungskörper getriebenen Paßstift, der eine Wegbegrenzung von ungefähr 1 mm erzeugt und verhindert, daß der Fühlstift aus dem Führungskörper herausfällt. Diese einfache Form ist dort zu verwenden, wo ein einfaches Auf-

¹ Werkstattstechnik 1923, 340.

setzen der Lehre von Hand aus genügt. Nun kann man auch mehrere solcher Anschlaglehren an verschiedenen Stellen des Prüflings gleichzeitig benutzen, muß aber dann sowohl die einzelnen Führungskörper gegeneinander unverrückbar fest anordnen, als auch den Prüfling zwischen festen Anschlägen einlegen, die wiederum eine genau festgelegte Lage gegenüber den Enden der Fühlstifte haben müssen. Ein Beispiel für eine derartige vierfache



Revisionseinrichtung zeigt Abb. 107. Auf einer Grundplatte ist rechts eine federnde Pinole zur Aufnahme des einen Endes des Werkstückes aufgeschraubt, die linke Aufnahme trägt gleichzeitig neben der zweiten Aufnahme die vier Fühlstifte *B* in zwei gesonderten Führungskörpern. Alle Teile sind neben der Schraubenbefestigung durch Paßstifte gesichert. Zwei der Fühlstifte liegen in einer waagerechten

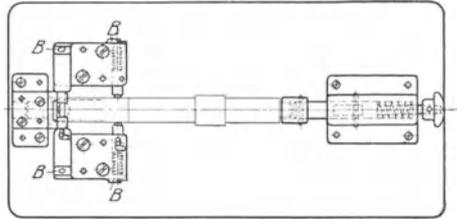


Abb. 107. Vierfache Revisionseinrichtung mit Fühlstiften.

ten, die beiden andern in geneigten Ebenen. Um das Werkstück ohne Abnutzung der Fühlstifte einlegen zu können, sind die vorderen Fühlstifte zurückzuziehen und in dieser Stellung durch einen Bajonettverschluß festzuhalten. Naturgemäß ist die Lage der Fühlstifte und die Form der Führungen und Aufnahmekörper ganz von der Gestalt des Prüflings abhängig und muß immer angepaßt werden.

III. Besondere Meßverfahren.

A. Kegelmessung¹.

Während man in der Mathematik eine jede Größe mit einer gleichartigen mißt, also Linien mit Linien, Flächen mit Flächen, Körper mit Körpern usw., führt man in den Meßmethoden des praktischen Maschinenbaues die Messung so oft wie möglich auf die Messung von Längen zurück (s. auch Abschnitt IA). Man kann z. B. einen Kegel in der Weise messen, daß man ihn in einen Hohlkegel derselben Größe einführt, dann mißt man den Körper durch einen Körper. Man kann aber auch zwei scharfkantige Lehrringe bekannten Durchmessers auf den Kegel aufschieben und die Entfernung beider Ringe messen, woraus sich durch Rechnung die Größe des Kegels finden läßt; man mißt dann den Körper durch eine Fläche. Ist man schließlich überzeugt, daß der zu messende Kegel wirklich rund ist, so genügt es, an zwei Stellen, deren Entfernung man kennt oder mißt, die Durchmesser zu messen, worauf man aus der Bestimmung dreier Längen durch Rechnung die Größe des Kegels findet.

In der Praxis kommen meist zwei Fälle vor: es ist ein Kegel bestimmter Abmessungen oder es ist ein Kegel von bestimmter Steigung herzustellen bzw. zu prüfen. Im ersten Fall muß man mit bekannten Maßen arbeiten, im zweiten Fall kann man feste Lehren, ohne deren Abmessungen selbst zu kennen, verwenden.

¹ Ausführliche Angaben über Kegel- und Winkelmessung im allgemeinen sind in Berndt: Winkelmessung, H. 18, enthalten; aus diesem Grunde sind hier nur die unumgänglich notwendigen Grundlagen aufgeführt.

Allgemeine Messung.

Hat man einen Kegel bestimmter Abmessungen (Abb. 108), für dessen Steigung keine feste Lehre vorhanden ist, herzustellen, so muß man zuerst den Supportaufsatz oder die Kegelleitvorrichtung nach der Gradzahl einstellen; ist dies aus einem Grund nicht möglich, so muß man von einem zylindrischen Dorn aus, den man zwischen die Spitzen nimmt (Abb. 109), mit Hilfe von Innenschraublehren den Supportaufsatz auf die verlangte Schräge einstellen. Es sei z. B. (Abb. 108), ein Kegel mit den Abmessungen D_1 und D_2 und einer Länge L herzustellen. Hat man die Gradeinteilung zur Verfügung, so kann man sich mit den Tabellen den Winkel rechnen:

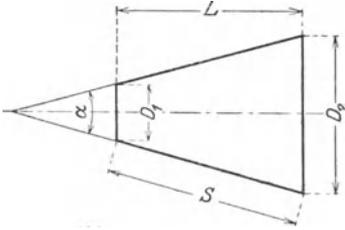


Abb. 108. Kegelmessung.

$$\text{tg } \alpha/2 = \frac{D_2 - D_1}{2L}; \quad \sin \alpha/2 = \frac{D_2 - D_1}{2S}.$$

Ist keine Gradteilung vorhanden, so stellt man (Abb. 109) ein Stichmaß M_1 auf eine beliebige Länge R_1 ein und ein zweites M_2 auf eine Länge $R_2 = R_1 + \frac{1}{2}(D_2 - D_1)$. Der Supportaufsatz wird dann so lange gedreht, bis die beiden Stichmaße in den Ebenen I und II, wie die Zeichnung zeigt, passen. Bei der folgenden

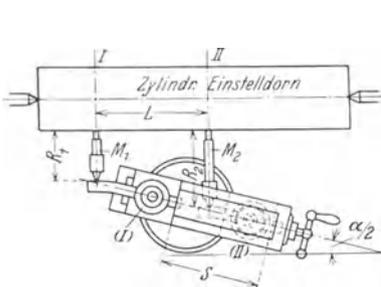


Abb. 109. Einstellen des Supportaufsatzes nach dem zylindrischen Dorn.

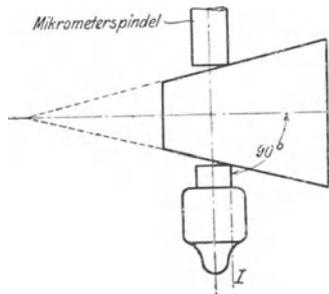


Abb. 110. Stellung der Schraublehre bei der Kegelmessung.

Messung der Durchmesser D_2 bzw. D_1 an dem gedrehten Stück muß man (Abb. 110), sorgfältig aufpassen, daß die Kanten der Schieblehre oder der Schraublehre genau in der Ebene I bzw. II, senkrecht zur Achse des Kegels liegen. Aber selbst dann bleibt die Messung

noch ungenau, da die Kanten der Meßspindel und des Meßambosses eine gewisse Abrundung haben.

Flachlehren.

Am einfachsten und genauesten wird ein Kegel mit einstellbaren Flachlehren aus zwei geschliffenen Linealen mit Hilfe von Meßscheiben gemessen.

Man stellt die Lineale nach dem Lichtspalt bis zur Berührung mit den Kegel-erzeugenden an und mißt dann die Entfernung A zweier Meßscheiben D und d (Abb. 111), woraus man die Steigung des Kegels berechnen kann. Im andern Fall bestimmt man nach dem Lichtspalt die Übereinstimmung des gefertigten Kegels mit der nach der Zahlentafel S. 59 oder dem Normalkegel eingestellten Lehre. Für diese Messung¹ hat Fritz Werner, Marien-

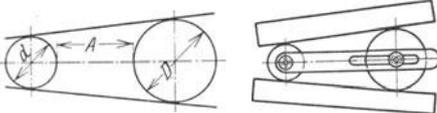


Abb. 111. Einstellung der Flachlehre zur Kegelmessung.

felde, den Apparat (Abb. 112) gebaut. Die untere Schiene ist fest, die obere wird mit Normalkegeln oder zwei Meßscheiben durch Lichtspalt eingestellt, in-

¹ Ein „Messen“ im strengen Sinn ist dies insofern nicht, als man die Abweichungen des Kegels zahlenmäßig mit dem Lichtspalt nicht erfassen kann.

dem man zwei Meßscheiben von bekanntem Durchmesser d und D in einer bestimmten Entfernung A (mit Endmaßen einzustellen) auf der unteren Schiene aufsetzt, und die obere Schiene bis zur Berührung mit den Meßscheiben herunterschiebt.

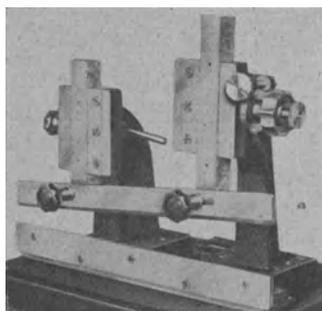


Abb. 112. Kegelmessapparat von Fritz Werner.

Die Steigung des Kegels (bzw. die Neigung der beiden Schienen gegeneinander) ergibt dann die untenstehenden Gleichungen¹.

In Abb. 113 ist: K die Kegellänge, bezogen auf eine Kegelform von 1, A die Endmaßlänge, D der Durchmesser der großen Meßscheibe, d der Durchmesser der kleinen Meßscheibe, H und L die Katheten, C die Hypotenuse des

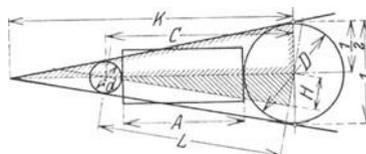


Abb. 113.

rechtwinkligen Hilfsdreiecks ($C =$ Einstelllänge der Meßscheibe). Dann ist:

$$\frac{1}{2} : K = H : L, \text{ also } L = K \cdot H \cdot 2.$$

Da $H = \frac{D-d}{2}$, ist $L = K \frac{D-d}{2} \cdot 2 = K(D-d)$.

Ferner ist
$$C^2 = L^2 + H^2 = [K(D-d)]^2 + \left(\frac{D-d}{2}\right)^2.$$

Daher
$$A = \sqrt{[K(D-d)]^2 + \left(\frac{D-d}{2}\right)^2} - \frac{D+d}{2} \quad (\text{Gleichung I})$$

und
$$K = \frac{\sqrt{\left(A + \frac{D+d}{2}\right)^2 - \left(\frac{D-d}{2}\right)^2}}{(D-d)}. \quad (\text{Gleichung II})$$

Die Auswertung dieser Gleichungen für die gebräuchlichen metrischen und Morsekegel ist in folgenden Tabellen² durchgeführt worden.

Bezeichnung	D	d	A	Verjüngung	
Metrische Kegel	4	8	5	1:20	
	6			1:20	
	9			1:20	
Metrische Kegel	12	10	5	92,531	1:20
	18	30	20	175,062	1:20
	24	30	20	175,062	1:20
Metrische Kegel	32	30	20	175,062	1:20
	40	55	40	252,594	1:20
	50	55	40	252,594	1:20
Metrische Kegel	60	70	55	237,594	1:20
	70	70	55	237,594	1:20
	80	90	75	217,594	1:20

Bezeichnung	D	d	A	Verjüngung	
Metrischer Kegel	90	75	217,594	1:20	
Morsekegel	0	8	5	51,156	1:19,212
	1	10	5	92,771	1:20,048
	2	20	10	185,262	1:20,020
Morsekegel	3	30	20	174,283	1:19,922
	4	30	20	167,604	1:19,254
	5	55	40	237,629	1:19,002
	6	70	55	225,297	1:19,180
	7	90	75	206,062	1:19,231

Für Werkstättenarbeit lassen sich solche feste und einstellbare Lehren nach Abb. 114/115 leicht herstellen.

¹ Nach der Druckschrift von Fritz Werner AG., Berlin-Marienfelde.

² a. a. O.

Die Lehre besteht aus einem Rahmen, der entweder einen Fuß zum Aufsetzen auf die Werkbank besitzt oder auf einer auf der Werkbank stehenden Säule befestigt werden kann, so daß der zu messende Kegel in Augenhöhe gebracht wird;

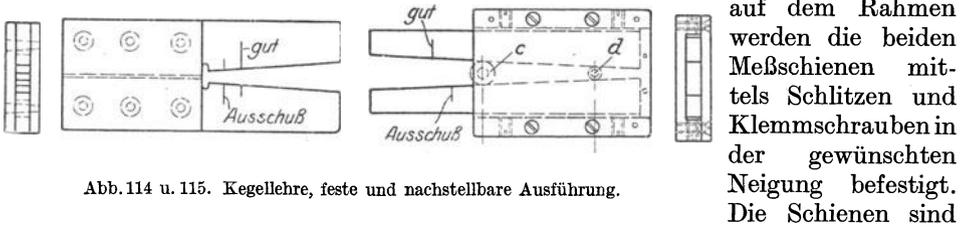


Abb. 114 u. 115. Kegellehre, feste und nachstellbare Ausführung.

aus Stahl gehärtet und genau gradlinig und eben geschliffen und werden mit Lehrdornen in der richtigen Neigung eingestellt. Lehrdorne oder entsprechende Meßscheiben werden mit Schraublehre oder zwischengelegten Endmaßen in die richtige Entfernung voneinander gesetzt und festgezogen, worauf die Meßschienen danach eingestellt werden. Wenn man an den Schienen zwei Linien („gut“ und „Ausschuß“) in entsprechender Entfernung einritz, so kann man diese Vorrichtung als Kegeltrennlehre verwenden. Man hat dabei den Vorteil, ohne Veränderung des Instrumentes verschiedene Toleranzen gleichzeitig anbringen zu können. Andererseits kann man auch eine absolute Messung der Kegel damit verbinden, wenn man eine entsprechende Teilung an den Meßkanten selbst aufträgt.

Sinusoformel.

Eine Arbeitsweise, die unter allen Umständen mit der gewünschten Genauigkeit die Kegelmessung gestattet, ist mit Verwendung des Sinuslineales und der Parallelendmaße unter Ausnutzung des Lichtspalts zu erreichen.

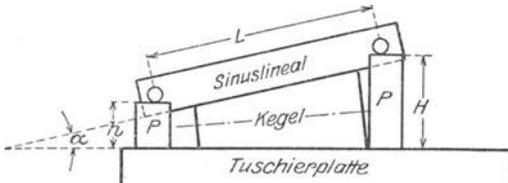


Abb. 116. Kegelmessung mit dem Sinuslineal.

Man stellt ein gerades, geschliffenes Lineal bekannter Länge durch Unterbauen an beiden Enden mit Endmaßen so ein, daß der untergeschobene Kegel kein Licht durchläßt. Dann ist (Abb. 116)

$$\sin \alpha = \frac{H-h}{L},$$

worin α der Kegelwinkel, H und h die Höhen der beiden Endmaßkombinationen und L die Länge des Lineals ist.

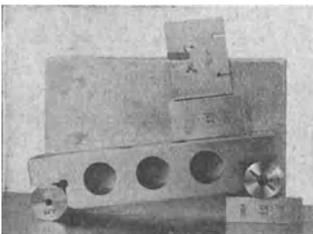


Abb. 117. Einstellung des Sinuslineals mit Endmaßen.

Praktisch wird dies — nach Ausführung von Johansson, Eskilstuna — nach Abb. 117 ausgeführt; das Lineal erhält an den Enden rechtwinklige Aussparungen, genau gleicher Abmessungen, deren obere Flächen genau parallel zur Unterfläche liegen müssen und deren Entfernung voneinander genau bekannt oder kontrolliert sein muß. In diese Aussparungen werden genau kreisrunde Dorne, genau gleichen Durchmessers eingelegt, so daß deren Mittelpunkte die Enden des Sinuslineales darstellen. Man kann nun beide Dorne entsprechend unterbauen oder, falls ausführbar, der größeren Arbeitssicherheit wegen, das tiefere Ende unmittelbar auf der Richtplatte aufliegen lassen, so daß $h = 0$ wird.

so daß $h = 0$ wird.

Kegellehre.

Eine ganz verschiedene Arbeit ist aber die Kontrolle eines Voll- oder Hohlkegels auf Passen nach der entsprechenden Hohl- oder Vollkegellehre nach Abb. 118. Diese Lehren sind für Morse oder metrische Kegel käuflich zu haben¹. Hier werden nicht mehr die einzelnen Abmessungen des zu kontrollierenden Kegels gesucht, sondern es werden nur seine Übereinstimmung mit der Lehre festgestellt und gegebenenfalls die Abweichungen beseitigt, ohne daß man eines der Maße zahlenmäßig kennen will. Der Vorgang dabei ist der gleiche wie beim Einpassen zweier Stücke ineinander; man reinigt zuerst beide Teile, den zu prüfenden Kegel und die notwendige Lehre, sorgfältig und zieht dann in der Richtung der Erzeugenden an zwei um 90° versetzten Stellen zwei feine Bleistiftlinien. Dann führt man den Vollkegel mit leichtem Druck ohne Drehung in den Hohlkegel ein und verdreht ihn unter leichtem Druck um ein kleines Stück darin. Zieht man dann den Vollkegel, ohne zu drehen oder auf den Strichen zu schleifen, aus dem Hohlkegel heraus, so zeigt sich die Bleistiftlinie an allen Stellen, auf denen der Kegel getragen hat, verwischt, während die Stellen, an denen er nicht angelegen hat, deutlich die scharfe Linie zeigen.

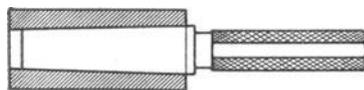


Abb. 118. Kegellehrdorn und Hülse.

Bei langen steilen Hohlkegeln, wie beim Einpressen der Seelenrohre in die Mantelrohre der Geschütze, versagen aber die oben genannten Meßmethoden oder geben zu ungenaue Werte; man muß dann zu umständlicheren Meßweisen greifen. Die Formel, nach der die Abmessungen des Kegels errechnet werden, ist dieselbe wie oben. Man stellt sich dazu scharfkantige Meßscheiben in genügend feinen Abstufungen mit der notwendigen Genauigkeit selbst her. Diese Meßscheiben werden auf eine Stange (Abb. 119), aufgeschoben, dort befestigt, worauf die Meßscheibe auf der Stange mittels des Führungsringes genau senkrecht zur Kegelachse in den Hohlkegel eingeführt wird, bis sie anstößt.

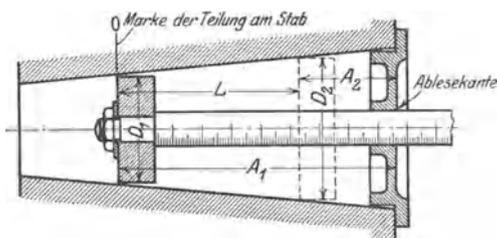


Abb. 119. Meßvorrichtung für lange Hohlkegel.

An der Ablesekante liest man das Maß A_1 an der Teilung der Führungsstange ab. Dann wird die Meßscheibe D_1 durch D_2 ersetzt und in gleicher Weise das Maß A_2 erhalten. Die scharfkantige Meßscheibe muß mit größter Vorsicht eingeführt werden, sonst klemmt sie und zeichnet sich an der glatten Bohrung ab. (Über den Fehler der Verwendung käuflicher Meßscheiben mit abgerundeten Kanten vgl. H. 18, S. 34).

Die Differenz $A_1 - A_2$ gibt die Länge L in obiger Formel, womit die Steigung des Kegels $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D_2 - D_1}{2L}$ wird.

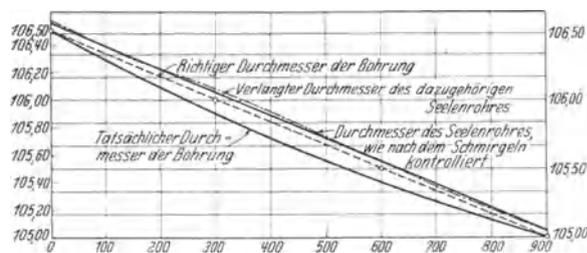


Abb. 120. Zeichnerische Bestimmung der Passung zwischen steilem Hohl- und Vollkegel.

¹ Über die Abmessungen der Kegellehren, Dorn und Hülse vgl. DIN 229, 230, 234, 235, 324, 325.

Muß man aber, wie es bei derartigen Preßsitzen notwendig ist, den Hohlkegel über die ganze Länge auf die richtigen Abmessungen und die richtige Kegelform prüfen, so ist der graphische Vorgang nach Abb. 120 am sichersten:

Man nimmt dann, je nach der Steigung, um 0,2—0,5 mm abgestufte Meßscheiben und führt sie der Reihe nach in den Hohlkegel, das Mantelrohr, ein. Die zugehörigen Werte A trägt man im Schaubild als Abszissen, die Scheibendurchmesser als Ordinaten auf. Der Vollkegel, das Seelenrohr, wird mit der Schraublehre an entsprechend vielen Stellen gemessen und in gleicher Weise in das Schaubild eingetragen. Dann zeigt der in obiger Weise festgestellte tatsächliche Durchmesser der Bohrung des Mantelrohres, ob die für den verlangten Preßsitz notwendige Passung vorhanden ist.

B. Winkelmessung¹.

Während die Winkelmessung in der Feinmechanik und im Apparatebau sehr sorgfältig durchgebildet ist, wird im Maschinenbau das Messen von Winkeln nach Graden am liebsten umgangen, da man sich bei der Konstruktion meistens auf ganz bestimmte Winkelgrößen beschränkt. Selbst dort, wo man besondere Winkelgrößen zu verwenden hat, hilft der Konstrukteur der Werkstatt, indem er die Tangenten der Winkel durch zwei zueinander rechtwinklig stehende Maße statt in Graden angibt (vgl. Abb. 108).

Dagegen ist wieder im Maschinenbau die Herstellung der vorkommenden festen Winkelgrößen, wie 90° , 45° , 60° und gegebenenfalls noch 120° mit jeder möglichen Sorgfalt durchgeführt worden; vielleicht haben sich gerade diese Winkel deshalb im Maschinenbau so eingeführt, weil sie ohne besondere feine Teilmaschinen wirklich genau hergestellt werden können.

Mechanische Winkelmessung.

a) Der 0° - oder 180° -Winkel. Als solche Winkel können Tuschierlineale und -platten (DIN E 876) und die Stahllineale (DIN E 874) gelten.

Tuschierlineale und -platten werden aus Gußeisen hergestellt. Nach DIN soll die der Meßfläche entgegengesetzte Seite drei mit (zweckmäßig) kugelförmigen Endflächen versehene Auflager haben, die Verrippung soll der Belastung beim Messen entsprechend zu den drei Unterstützungspunkten geleitet werden. Die Meßfläche soll durch Schneidwerkzeuge, Hobeln und Schaben (nicht durch Schleifen), bearbeitet werden.

Ebenheit: Legt man durch das Profil der unbelasteten Meßfläche der mittels der drei Auflager auf ebener Unterlage frei aufliegenden Platte eine Ebene derart, daß die höchsten und tiefsten Stellen des Profils symmetrisch zu dieser liegen, so darf der Abstand der Meßfläche von dieser Ebene an keiner Seite die folgenden zulässigen Grenzen überschreiten. Die Ausmessung erfolgt am besten mit Hilfe von Normalstahllinealen, entsprechend dem in DIN 874 Gesagten, indem das Lineal parallel den Kanten, an diesen und in der Mitte und in den Diagonalen der Platte, gegebenenfalls auch in beliebigen anderen Lagen angewandt wird. Die Herstellung der Platten bedingt, daß hierbei nicht mit Punkten, sondern mit Meßflächen von mindestens $2,7 \text{ cm}^2$ Flächeninhalt (entsprechend dem Endmaßquerschnitt 30×9) gemessen wird. Nach DIN unterscheidet man drei Genauigkeitsgrade, wobei die zulässige Abweichung einer Meßfläche von der Ebene, wenn L die gesamte Länge ihrer längsten Kante ist, nicht überschreiten darf:

¹ Für ausführliche Angaben siehe Heft 18, Berndt „Winkelmessungen“.

Genauigkeit I (eng geschabt)	$\pm \left(0,005 \text{ mm} + \frac{L}{200000} \right)$
II (normal geschabt)	$\pm \left(0,01 \text{ mm} + \frac{L}{100000} \right)$
III (gehobelt)	$\pm \left(0,02 \text{ mm} + \frac{L}{50000} \right),$

Stahllineale werden aus gewalztem oder gezogenem Stahl durch Schleifen (nicht Schaben) fertiggestellt.

Man unterscheidet vier Genauigkeitsgrade, deren Meßflächen bei L Millimeter Gesamtlänge des Lineals von der Ebene um nicht mehr abweichen dürfen als:

Haarlineale und Dreikantlineale	$\pm \left(1 \mu + \frac{L}{500000} \right)$
Normallineale und Vierkantlineale	$\pm \left(1 \mu + \frac{L}{200000} \right)$
Werkstattlineale I	$\pm \left(2 \mu + \frac{L}{100000} \right)$
Werkstattlineale II	$\pm \left(5 \mu + \frac{L}{50000} \right).$

Bei genauen Messungen sind die Lineale in den Besselschen Punkten = $0,22315 L$ von jedem Ende zu unterstützen, damit die Durchbiegung des Mittelstückes und der Kragstücke gleich wird.

Ebenheit der Meßflächen wird (nach DIN E 874) folgendermaßen definiert:

„Legt man durch das Profil der undeformierten Meßfläche eine Ebene derart, daß die höchsten und tiefsten Punkte des Profils symmetrisch zu ihr liegen, so darf der Abstand der Meßfläche von dieser Ebene an keiner Stelle die zulässigen Grenzen überschreiten. Da die Messung des Profils nicht im undeformierten Zustande ausgeführt werden kann, ist die Durchbiegung zu berücksichtigen.“

b) Der 90°-Winkel. Der wichtigste Winkel des Maschinenbaues, der 90°-Winkel, kann für die gewöhnlichen Arbeiten genau genug in der Weise geprüft werden, daß man zwei Winkel aneinander auf eine Tuscherplatte stellt. Dann werden zwei richtige rechte Winkel (Abb. 121), zwischen den stehenden Kanten kein Licht durchlassen, während jede Abweichung von 90° nach oben oder unten (Abb. 122—123), sich als keilförmiger Lichtspalt zeigt.

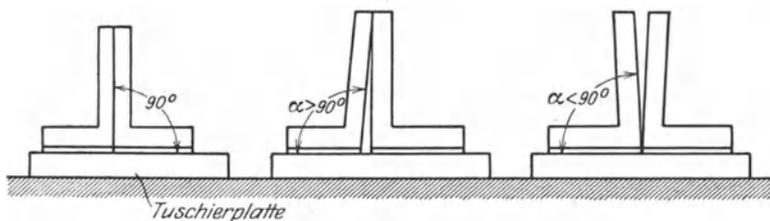


Abb. 121—123. Prüfung eines rechten Winkels auf der Tuscherplatte.

Eine genauere Kontrolle ist mit dem Apparat (Abb. 124) möglich. Hier ist in der Mitte ein geschliffener zylindrischer Dorn aufgehängt und ragt durch eine Bohrung der Richtplatte, die die Grundplatte des ganzen Apparates bildet, mit Spiel hindurch. Durch in der Grundplatte gelagerte Einstellschrauben kann der Dorn genau ausgerichtet werden. Unleugbar hat der zylindrische Dorn gegenüber dem ebenen Lineal die Vorteile der einfacheren Werkstättenherstellung und der größeren Genauigkeit; er gibt gleichzeitig die Möglichkeit, seine Aufstellung an zwei um 90° versetzten Durchmessern zu kontrollieren, ebenso den zu prüfenden Winkel beliebig gegen das Licht einzustellen.

Alle übrigen festen Winkel des Maschinenbaues werden am besten nach der Sinusmethode (Abb. 116—117) geprüft.

Im allgemeinen gilt im Maschinenbau die Regel, daß überall, wo ein genauer Winkel herzustellen ist, eine feste Lehre dafür angefertigt wird, nach der durch Lichtspaltmethode das Passen des zu messenden Winkels kontrolliert wird.

Nach DIN E 875 unterscheidet man vier Genauigkeitsgrade der Stahlwinkel, wobei die zulässigen Grenzen der Abweichungen der Hochkant-Meßflächen vom rechten Winkel im Abstände L vom Scheitelpunkt nicht überschreiten darf:

Für Haarwinkel:

$$\pm \left(0,002 \text{ mm} + \frac{L}{100000} \right)$$

Normalwinkel:

$$\pm \left(0,005 \text{ mm} + \frac{L}{50000} \right)$$

Werkstattwinkel I:

$$\pm \left(0,01 \text{ mm} + \frac{L}{20000} \right)$$

Werkstattwinkel II:

$$\pm \left(0,02 \text{ mm} + \frac{L}{10000} \right)$$

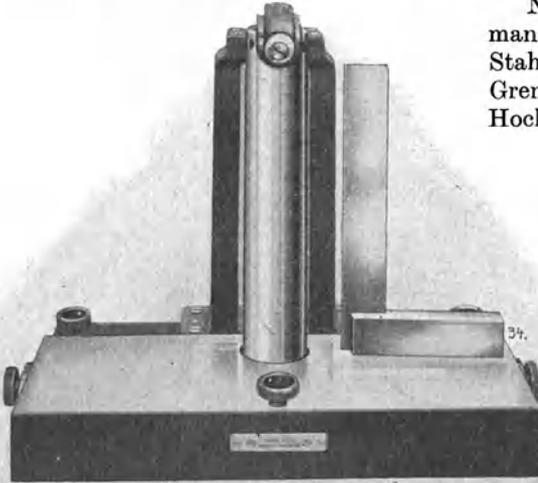


Abb. 124. Winkelprüfapparat.

Die Ebenheit der Hochkant-(Meß-)flächen und Seitenflächen muß den Vorschriften für Lineale gleicher Güte (DIN 874) entsprechen.

e) **Beliebige Winkel.** Wo tatsächlich Winkel nach Graden eingestellt oder gemessen werden müssen, sind es nur untergeordnete Zwecke, bei denen keine größere Genauigkeit verlangt wird. Dementsprechend sind auch die käuflichen Winkelmeßapparate verhältnismäßig einfach und können bezüglich der Anzeigenauigkeit keinen Vergleich mit den bisher besprochenen Meßwerkzeugen aushalten. Da es sich um nebensächliche Messungen handelt, sollen nur zwei Ausführungen solcher Apparate besprochen werden.

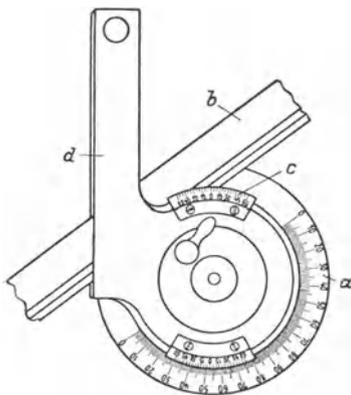


Abb. 125. Winkelmeßer (Brown & Sharpe).

Einer der gebräuchlichsten Winkelmeßapparate ist Abb. 125, der aus einer festen Gradteilung a mit darauf verschiebbarem Lineal b besteht. Dieses bildet den einen Schenkel des zu messenden Winkels, während die Fassung für den Nonius c mit einer geraden Kante d , die den zweiten Schenkel bildet, versehen ist.

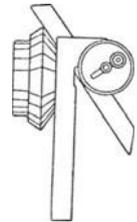


Abb. 126. Optischer Winkelmeßer (Carl Zeiß, Jena).

Die Schiene ist wiederum verschiebbar und kann an jeder Stelle festgeklammert werden. Abgelesen wird an dem Nonius, der am zweiten Schenkel fest ist und Ablesungen bis auf $\frac{1}{12}^\circ = 5'$ gestattet.

Einen Winkelmesser mit optischer Ablesung zeigt Abb. 126. Abgelesen wird an einer im Gehäuse eingeschlossenen Skalenteilung, mit Hilfe einer Lupe, die Unterteilungen bis zu $\frac{1}{5}^\circ$ abzulesen gestattet.

Winkelmessung mit Libellen.

Das Messen mit Libellen. Die bisher besprochenen Apparate erlaubten die Winkel zwischen den beiden Winkelschenkelflächen unmittelbar zu messen. In vielen Fällen des Maschinenbaues ist dies überhaupt nicht möglich oder nicht mit der nötigen Genauigkeit. Man hilft sich dann, indem man die Neigung einer jeden der beiden Winkelschenkelflächen gegen die Waagerechte feststellt und den verlangten Winkel als Differenz beider Winkel bestimmt. Für diese Zwecke werden die Libellen, auch Wasserwaagen genannt, in den verschiedensten Formen verwendet. Sie beruhen darauf, daß eine in einer Flüssigkeit (meistens Äther) eingeschlossene Dampfblase a (Abb. 127 u. 128) immer die höchste Stelle einnimmt. Denn der Glaskörper, der die Flüssigkeit aufnimmt, hat die Form eines Umdrehungskörpers mit einem Kreisbogen cac' von ziemlich großem Radius als Erzeugende, so daß infolge der Schwerkraft die Blase an die höchste Stelle im Glaskörper geht, die durch die waagerechte Tangente T an den Kreisbogen cac' gegeben ist.

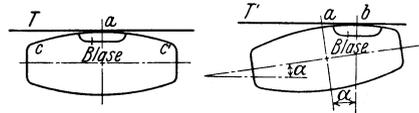


Abb. 127 u. 128. Schema der Libelle.

Neigt man nun die Libelle, um einen Winkel α (Abb. 128), so wandert die Blase ebenfalls um den Winkel α , bis die Tangente T' an den Kreisbogen (die Erzeugende des Glaskörpers) im Mittelpunkte b der Blase wieder waagrecht liegt. In der wirklichen Ausführungsform erscheint die ungefaßte Libelle nach Abb. 129 dem freien Auge als zylindrischer Glaskörper, der an beiden Enden zugeschmolzen ist. Auf der einen oder auf beiden Seiten ist eine Teilung eingätzt, deren Striche 2 mm oder eine Pariser Linie voneinander entfernt sind. Diese Libellen werden in eine geeignete Fassung, dann Wasserwaage genannt, derart eingebaut, daß die Blase genau in der Mitte der Teilung steht, wenn die Wasserwaage auf eine genau waagerechte Unterlage aufgesetzt wird.

Aus dem oben angeführten Gesetz, daß der Neigungswinkel der Wasserwaage α gleich dem Zentriwinkel zwischen den Radien im Mittelpunkt der Blase in der waagerechten und der geneigten Stellung ist, ergibt sich die Angabe:

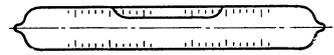


Abb. 129. Form der Libelle.

1 Teilstrich (Ausschlag) = m Sekunden (Neigung),

d. h. wenn sich die Blase um einen Strich bewegt hat, so ist die Grundfläche der Wasserwaage um m Sekunden gegen die Waagerechte oder gegen die erste Stellung geneigt worden. Bei derartigen Bestimmungen liest man aber der Sicherheit halber nicht die Mitte, sondern den Rand der Blase ab , bzw. für genaue Messungen wird die Ablesung an beiden Enden der Blase gemacht und aus beiden Werten das Mittel genommen.

Als Empfindlichkeit der Libelle bezeichnet man nach dem Herkommen den Neigungswinkel, bei dem die Libelle einen Teilstrich Ausschlag gibt; sie ist um so größer, je größer der Krümmungsradius der Erzeugenden cac' des Libellenkörpers ist.

Eine richtige Wasserwaage, bei der der Blasenmittelpunkt in waagerechter Stellung der Waage mit dem Teilungsmittelpunkt zusammenfällt, wird denselben Ausschlag zeigen, wenn man sie in zwei um 180° gedrehten Stellungen hintereinander auf dieselbe Stelle der Unterlage aufsetzt.

Eine richtige Wasserwaage, bei der der Blasenmittelpunkt in waagerechter Stellung der Waage mit dem Teilungsmittelpunkt zusammenfällt, wird denselben Ausschlag zeigen, wenn man sie in zwei um 180° gedrehten Stellungen hintereinander auf dieselbe Stelle der Unterlage aufsetzt.

Eine richtige Wasserwaage, bei der der Blasenmittelpunkt in waagerechter Stellung der Waage mit dem Teilungsmittelpunkt zusammenfällt, wird denselben Ausschlag zeigen, wenn man sie in zwei um 180° gedrehten Stellungen hintereinander auf dieselbe Stelle der Unterlage aufsetzt.

Bei einer unrichtigen Wasserwaage ergeben sich zwei verschiedene Ablesungen: In Abb. 130 liege die Mitte der Teilung (M_t) und die Stellung der Blasenmitte bei waagerechter Unterlage (M_{bl}) um p Teilstriche nach rechts (Abb. 130 oben). Setze ich diese Wasserwaage auf eine geneigte Fläche, so schlage die Blase um n Teilstriche nach rechts oben aus. Die Teilung, die man abliest, beginnt aber bei M_t , so daß die Ablesung ist:

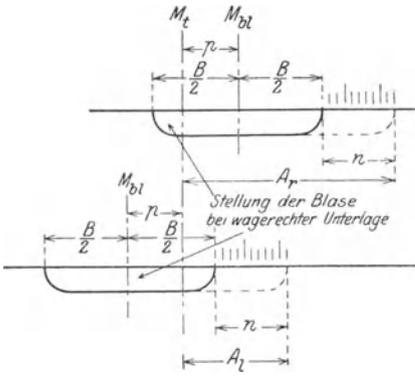


Abb. 130.

Ablesung einer unrichtigen Wasserwaage.

Schlägt man um 180° herum (Abb. 130 unten), so erhält man die Ablesung:

$$A_r = n + \frac{1}{2} B + p \dots$$

worin n der Weg des Blasenmittelpunktes, B die Länge der Blase in Teilstrichen und p der Fehler der Wasserwaage ist. Die richtige Ablesung wäre $n + \frac{1}{2} B$, wenn $p = 0$ ist, alle Werte

$$A_l = n + \frac{1}{2} B - p \dots$$

in Teilstrichen gerechnet. Nimmt man also aus beiden Ablesungen A_r und A_l das Mittel, so erhält man auch mit einer unrichtigen Wasserwaage die wirklichen Werte für die Neigung der Fläche: $A = \frac{1}{2} (A_r + A_l)$.

Aus dieser Überlegung folgt die Praxis, bei jeder Wasserwaagenmessung in beiden um 180° versetzten Stellungen eine Ablesung zu machen und deren Mittelwert zu nehmen. Besonders notwendig ist dieses Vorgehen bei den Wasserwaagen des Maschinenbaues, die gewöhnlich fest in die Fassung eingesetzte Libellen tragen, so daß eine falsch anzeigende Wasserwaage nicht so einfach zu berichtigen ist, wie die Mechaniker- oder geodätischen Wasserwaagen, bei denen Justierschräubchen, sowohl für die senkrechte wie für die seitliche Korrektur vorgesehen sind.

Schließlich ist es auch nötig, bei einer unbekanntem Wasserwaage den Wert eines Teilstriches in Bogensekunden zu bestimmen. Zu dem Zweck legt man auf eine eben gehobelte Richtplatte (Abb. 131) ein Tuschierlineal und bestimmt den Ausschlag der Blase in beiden Stellungen der Wasserwaage. Dann unterbaut man in einer Entfernung L von dem einen Ende des Tuschierlineales mit Endmaßen von bekannter Höhe h und beobachtet wieder den Ausschlag n bei dem Neigungswinkel α gegen die erste Ablesung in beiden Stellungen der Wasserwaage. Ist der Wert eines Teilstriches in Bogensekunden T , so ergibt sich die Beziehung:

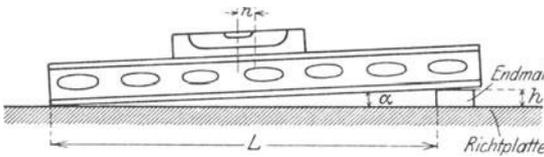


Abb. 131. Bestimmung des Teilstrichwertes einer Wasserwaage.

Man beobachtet den Wert n , bestimmt $\text{tg } \alpha$ aus den angenommenen Werten L und h (Achtung: mit sechsstelligen Logarithmen rechnen!) und findet daraus α und T .

Für die Zwecke des Maschinenbaues ist eine andere Angabe der Empfindlichkeit einer Wasserwaage praktischer; man sagt, die Empfindlichkeit sei z. B. 0,10 mm auf 1 m. Das heißt, eine Neigung der Unterlage von 0,10 mm auf 1 m Länge gibt einen Teilstrich Ausschlag der Blase.

$$\text{tg } (n \cdot T) = \text{tg } \alpha = h/L.$$

Für die Zwecke des Maschinenbaues ist eine andere Angabe der Empfindlichkeit einer Wasserwaage praktischer; man sagt, die Empfindlichkeit sei z. B. 0,10 mm auf 1 m. Das heißt, eine Neigung der Unterlage von 0,10 mm auf 1 m Länge gibt einen Teilstrich Ausschlag der Blase.

$$\text{tg } \alpha = \frac{0,1}{1000} = \frac{1}{10000} \dots$$

Umgerechnet erhält man $\log \text{tg } \alpha = \log 0,0001 = 6,00000 - 10$, $\alpha = 21''$.

Für die Wasserwaagen des Maschinenbaues sind in DIN E 877 Vorschriften gegeben worden; sie gelten auch nur für diese relativ geringen Genauigkeiten. Für Meßflächen, die in gleicher Richtung mit dem Glasrohr liegen, gilt danach: Bei Prüfung auf oder an waagerechter Ebene bzw. waagrecht liegendem Zylinder darf bei der Normaltemperatur (20°) der Blasenausschlag von seiner Nullstellung aus in jeder Gebrauchsstellung der Waage $\pm \frac{1}{2}$ Strichabstand für jede dieser Meßflächen nicht überschreiten. Bei Prüfung einer Meßfläche auf Umschlag darf der Unterschied der Blasenstellungen demgemäß nicht größer als $\frac{1}{4}$ Strichabstand sein.

Meßflächen, die rechtwinklig zu der Richtung des Glasrohres liegen: bei Prüfung an senkrechter Ebene bzw. senkrecht stehendem Zylinder darf der Blasenausschlag von seiner Nullstellung nur $\pm \frac{1}{4}$ Strichabstand für jede dieser Meßflächen nicht überschreiten.

Genauigkeit und Empfindlichkeit von Wasserwaagen. Für feinste Meßzwecke kommen Libellen bis zu 2'' Teilstrichwert zur Verwendung; für diese gilt nebenstehende Aufstellung:

Abweichung in mm	Winkel bei 1 Teilstrich Ausschlag
auf 1000 mm Länge { 0,01	2''
{ 0,02	4''
auf 300 mm Länge { 0,01	7''
{ 0,02	14''

Nach DIN E 877 gelten für die Wasserwaagen des Maschinenbaues die in folgender Tabelle angegebenen Richtlinien:

Übliche Formen von Wasserwaagen sind im folgenden abgebildet, und zwar Abb. 132 eine sehr genaue Wasserwaage, Bauart Reichel. Diese Waage hat eine Empfindlichkeit von 5 Bogensekunden auf den Teilstrich und zählt damit bereits zu den feinsten Instrumenten, die für

	Empfindlichkeit bei 20° in mm auf 1 m	Ebenheit der Meßflächen nach DIN 876
Waagen für besondere Erfordernisse	0,1 bis 0,2	Genauigkeit I
Normale Waagen für Maschinenbau	0,25 „ 0,45	Genauigkeit II
Kurze Waagen	0,6 „ 0,9	Genauigkeit III
Sehr kurze Querglasrohre	1,2 „ 1,8	

den gewöhnlichen Maschinenbau schon zu fein sind. Die Libelle ist vollständig in ihr Gehäuse eingeschlossen, so daß sie wie eine normale Werkstättenwasserwaage verwendet werden kann. Jedoch sind die bei geodätischen Wasserwaagen üblichen Justierschraubchen vorgesehen, so daß eine berufene Hand auch berichtigen kann.

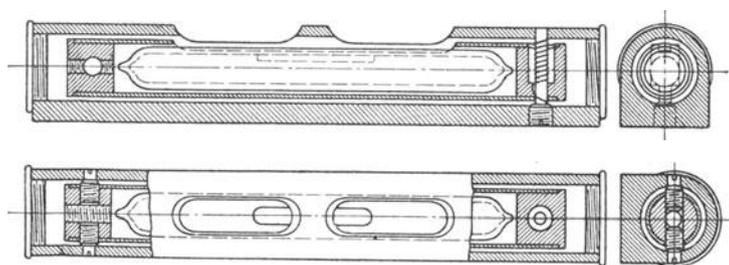


Abb. 132. Präzisionswasserwaage von Reichel.

Die Angaben für die in Abb. 132 abgebildete Wasserwaage zurückgerechnet ergeben:

$$\log \operatorname{tg} 5'' = 5,38454 - 10, \quad \operatorname{tg} 5'' = 0,00002424 \approx \frac{24}{1000000} \approx \frac{1}{40000},$$

dies wäre 0,024 mm auf 1 m Empfindlichkeit.

Die Wasserwaagen des Maschinenbaues haben entweder eine ebene Sohle, wie Abb. 132 oder nach Abb. 133 eine prismatische Aussparung in der Grundfläche, die

beim Aufsetzen der Wasserwaage auf Wellen oder unregelmäßig geformte Flächen verwendet wird. Für gewisse Zwecke werden zwei solcher prismatischer Nuten

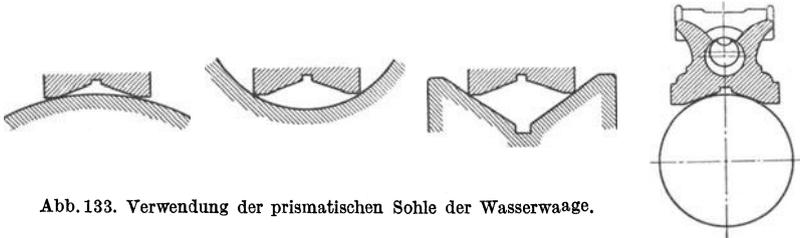


Abb. 133. Verwendung der prismatischen Sohle der Wasserwaage.

unter rechtem Winkel in die Grundfläche eingearbeitet; solche Wasserwaagen werden als Kurbelzapfenwasserwaage bezeichnet (Abb. 134). Sie erhalten außer der Hauptlibelle auch eine rechtwinklig dazu stehende Querlibelle, um die Querachse der Wasserwaage auch genau in die Waagerechte einstellen zu können.

Für die Kontrolle senkrechter Flächen verwendet man die Winkelwasserwaage (Abb. 135), die meistens auch mit einer kleinen Querlibelle ausgestattet wird. Von den Umflächen der Fassung sind zwei eben und meistens zwei mit prismatischer Ausparung.

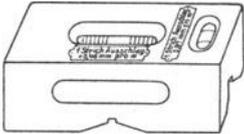


Abb. 134.
Kurbelzapfenwasserwaage.
C. Stiefelmeyer, Eßlingen.

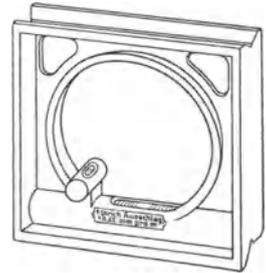


Abb. 135.
Winkelwasserwaage.
C. Stiefelmeyer, Eßlingen.

Für genaue Montage- und Revisionsarbeiten werden statt der abgebildeten Winkelwasserwaagen genaue Richtwinkel mit einer eingesetzten sehr genauen Wasserwaage verwendet;

sie haben auch gewöhnlich eine größere Länge als die Winkelwasserwaagen.

C. Gewindemessung¹.

Allgemeines.

Eine der im Maschinenbau häufigst gebrauchten Messungen, die sowohl mit den einfachsten Mitteln ausgeführt werden kann, wie zur Erlangung hoher Genauigkeit sorgfältigster Arbeit und Sonderwerkzeuge bedarf, ist die Messung von Gewinden.

Damit ein Gewinde auch wirklich paßt, d. h. auf seiner ganzen Fläche trägt, müssen folgende Größen bei Bolzen und Mutter mit den Normalmaßen unter Berücksichtigung der Arbeitstoleranzen übereinstimmen (Abb. 136):

1. Flankenmaß (Flankendurchmesser).
2. Gewindeprofil, der Größe und Lage nach.
3. Steigung.

Die früher üblichen Hauptgrößen:

4. Außendurchmesser (Bolzendurchmesser).
5. Innendurchmesser (Kerndurchmesser) haben nach Festlegung der Abrundungen und Toleranzen für die Gewinde (DIN 244) nur mehr untergeordnete Bedeutung.

Zu 1: Flankenmaß ist die Entfernung zweier gegenüberliegender Flanken in einer zur Gewindeachse rechtwinkligen Ebene I—I.



Abb. 136. Bestimmungsgrößen der Gewinde.

¹ Vgl. Berndt: Die Gewinde. Berlin: Julius Springer 1925. Dort auch ausführliche Literaturangaben.

Zu 2: Gewindeprofil ist die schraffierte Fläche innerhalb des Außen- und Innendurchmessers, bestehend aus dem Flankenwinkel und den Abrundungen, und zwar gemessen in einem Achsenschnitt der Schraube, bzw. Mutter.

Zu 3: Steigung ist die achsparallele Entfernung zweier gleicher Profilpunkte in aufeinanderfolgenden Gängen.

Zu 4 und 5: Außen- bzw. Innendurchmesser ist der rechtwinklig zur Achse genommene Abstand der äußersten bzw. innersten Punkte des Gewindes oder der Durchmesser des dem Gewinde umgeschriebenen bzw. eingeschriebenen Zylinders.

Diese Größen sind die nominellen Bestimmungsgrößen eines Gewindes; da aber jedes Gewinde mit einem Gegengewinde (Bolzen, Mutter) zusammenarbeiten muß, können nicht alle Größen für beide Teile gleich sein.

Für die Herstellung und Verwendung des Gewindes gelten dieselben Passungsregeln wie für andere Maschinenteile (vgl. S. 24 Grenzlehren). Von diesem Gesichtspunkt aus stellt sich das tatsächliche Gewindeprofil von Bolzen und Mutter nach Abb. 137 dar.

Gleich sind (bzw. sollen sein) für Bolzen und Muttergewinde: Flankenwinkel, Steigung.

Verschieden nach den Toleranzen und dem Verwendungszweck der Gewinde sind beim Bolzen und bei der Mutter: Flankenmaß, Abrundungen und infolgedessen Außendurchmesser und Innendurchmesser.

Für die zahlenmäßigen Werte sei auf das DIN-Buch 2 (Schlesinger, Die Normung der Gewindesysteme, 2. Aufl.) verwiesen.

Die Genauigkeit der Messung und damit die Meßverfahren sind aus wirtschaftlichen Gründen weitgehend von dem Verwendungszweck des Gewindes abhängig.

In steigender Genauigkeit ergibt sich die Reihenfolge:

Schwarze Befestigungsschrauben, blanke Befestigungsschrauben, einfache Bewegungsschrauben an Maschinen, Bewegungsschrauben an Werkzeugmaschinen, genaue Bewegungsschrauben an Werkzeugmaschinen, Meßschrauben einfacher Meßinstrumente, Meßschrauben genauer Meßinstrumente und Gewindewerkzeuge, Feinmeßschrauben und Gewindelehren.

Dementsprechend können für Gewinde niederer Genauigkeit sehr wohl einfache Meßeinrichtungen genügend sicher verwendet werden, deren Fehler sie zu Messungen hoher Genauigkeit unbrauchbar machen.

Körperliche Messung.

a) **Lehrdorn und Lehring.** Die einfachste und in der Praxis für die gewöhnliche Herstellung meist angewendete „Messung“ geschieht durch Gewindelehrdorn und Gewindelehring, in die die betreffende Schraube oder Mutter eingeschraubt werden. Meistens beurteilt man dabei das Passen nach dem Gefühl. Die nach dem Grenzlehrprinzip hergestellten Meßwerkzeuge können auch die einzelnen Größen eines Gewindes nicht messen. Für diese Arbeit und Werkzeuge kann auf die einschlägigen Firmenkataloge verwiesen werden, bzw. auf das bereits über Grenzlehrenmessung Gesagte (S. 24ff.).

Schließlich wäre noch für Gewindelehringe der Schraublehr-Gewindelehrdorn

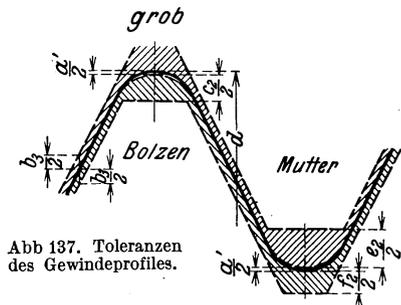


Abb 137. Toleranzen des Gewindeprofils.

d Nenndurchmesser, h Steigung.

Bolzen	$\left. \begin{array}{l} a' \\ c_2 \\ f_3 \end{array} \right\}$	oberes Abmaß	für Außendurchmesser d
		Toleranz	
		Toleranz für Flankendurchmesser d_2	
Mutter	$\left. \begin{array}{l} D \\ d_3 \\ a'' \\ e_2 \end{array} \right\}$	Außendurchmesser	für Kerndurchmesser D_1 .
		Toleranz	
		Toleranz für Flankendurchmesser D_2	

von John Bath (ähnlich wie Abb. 81) zu erwähnen, der Abweichungen von 0,0025 mm feststellen läßt.

b) Projektion. Die Verwendung des Projektionsapparates zum Vergleich des vergrößerten Schattenbildes eines ausgeführten Gewindes mit einer entsprechend vergrößerten Zeichnung ist in Amerika und England frühzeitig an verschiedenen Stellen versucht worden. Wo scharfe Kanten, wie beim Gewindebohrer oder selbst bei dem Profilblech, vorhanden sind, ist das Verfahren mit geeigneter Optik (!) gut zu gebrauchen. Wenn aber Gewindekörper oder Schraubenräder usw. auf diese Weise gemessen werden sollen, so ergibt sich wegen der unscharfen Schattenkanten und der Strahlenbeugung an der allmählich verlaufenden Rotationsfläche eine geringe Genauigkeit der Messung.

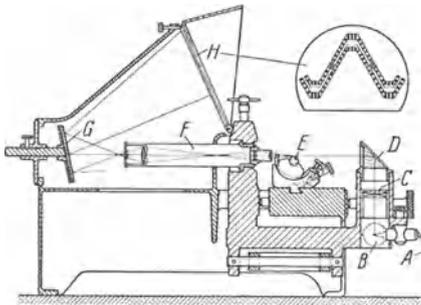


Abb. 138. Hartneß-Gewindekomparator.
A Kabel, B Lampe, C Kondensator, D Prisma,
E Gewinde, F Mikroskop, G Spiegel, H Profilplatte.

Sehr sorgfältig durchgebildet ist für derartige Messungen der Hartneß-Gewindekomparator (Abb. 138¹). Durch mehrfache Umlenkung des Lichtstrahles ist der ganze Apparat in sich geschlossen, die entferntstehende Projektionswand und der Dunkelraum können entbehrt werden. Die Kontrolle geschieht mittels Profilplatten *H* mit eingezeichneten Toleranzlinien, auf die das 50fach vergrößerte Bild des Gewindes *E* geworfen wird.

Für die Untersuchung kleiner Schrauben ist auch ein ähnlicher Apparat mit unmittlbarer Ausmessung des Schattenbildes auf der Profilplatte mit Feinmeßschraube vom National Physical Laboratory in Teddington entworfen worden².

Messung der Bestimmungsgrößen.

a) Optische Messung mit großer Genauigkeit. Vorausgestellt sei, daß eine wirklich genaue Messung der drei Bestimmungsgrößen, wie für die Untersuchung der Passungsfragen beim Gewinde notwendig ist, nur mit einem geeigneten Mikroskop möglich ist.

1. Gewindeprofile mit scharfen Kanten im Achsenschnitt, wie Gewindebohrer, Strehler, Schneidbacken usw., können mit einfachen Meßmikroskopen mit Kreuztisch und Goniometerkreis oder mit Komparatoren genau gemessen werden.

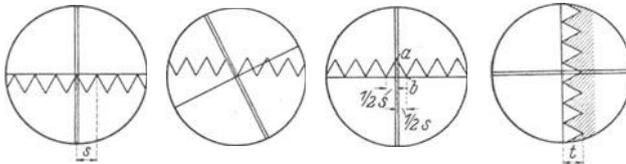


Abb. 139—142.

Im ersten Fall wird das Fadenkreuz hintereinander auf die zu messenden Stellen eingestellt (Abb. 139—142), — Gewindetiefe *t*, Steigung *s*, Symmetrie des Profiles $1/2s$ und Flankenwinkel — und die beiden Ablesungen an der Meßschraube des betreffenden Schlittens voneinander abgezogen. Bei den Komparatoren stellt man das Fadenkreuz auf den zu messenden Durchmesser usw. ein und liest mit dem zweiten Mikroskop auf dem Präzisionsmaßstab ab, verschiebt dann den Schlitten, der die Mikroskope trägt, bis die andere Kante des zu messenden Teiles im Fadenkreuz des ersten Mikroskopes erscheint und liest wieder ab. Das verlangte Maß erscheint als

¹ M. Koyemann, Düsseldorf.

² W. T. 1923, 117.

Differenz zweier Maßstabablesungen, man ist von der Genauigkeit der Meßschraube unabhängig.

2. Das Universalmeßmikroskop von Carl Zeiß, Jena (Abb. 143) stellt die Mikroskope selbst grundsätzlich fest und verschiebt den Prüfling mit

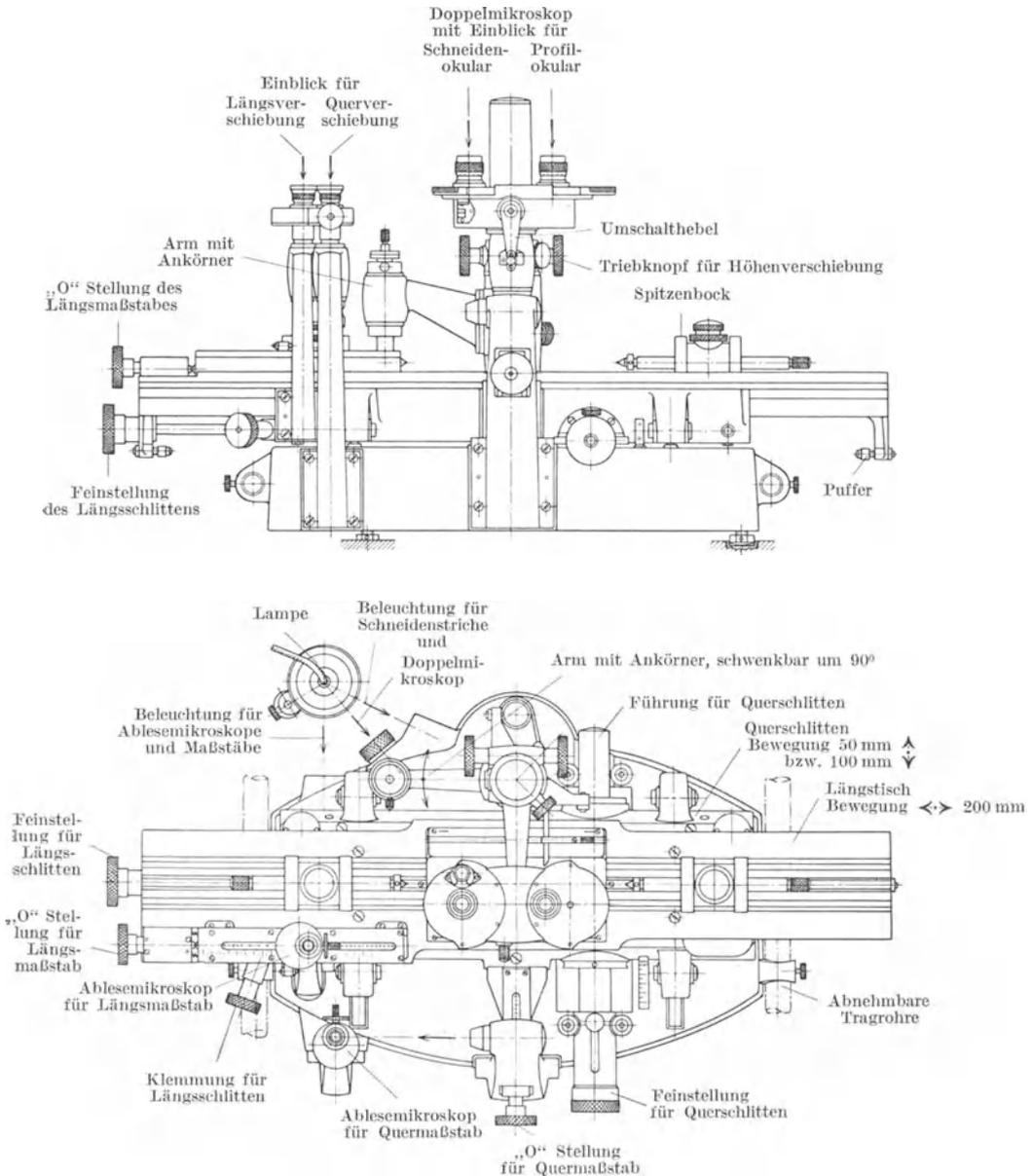


Abb. 143. Universal-Meßmikroskop von Zeiß.

dem Längs- bzw. Querschlitten. In diesen Schlitten sind Glasmaßstäbe durch Feinstellschrauben verschiebbar gelagert, mit denen die Einstellung einer Null- bzw. Ausgangsstellung vor der Messung möglich ist. Sie werden mit „Spiral“-Mikro-

skopen auf 1μ abgelesen, wobei die hohe Genauigkeit durch eine besondere Glasplatte mit einer archimedischen Teilspirale erreicht wird (Abb. 144).

Mikroskopisch können Gewinde auf zweierlei Weise gemessen werden: 1. nach den Umrißlinien, die bei der Projektion des Gewindeprofils entstehen: „Konturmessung“, 2. nach den Schnittlinien, die durch eine gedachte waagerechte, die Achse enthaltende Ebene entstehen: „Achsenschnittmessung“.

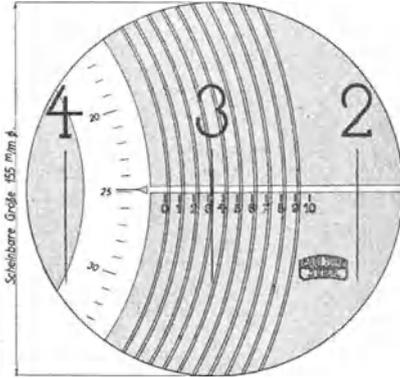


Abb. 144.

Gewinde mit kleiner Steigung können nach jedem der beiden Verfahren (gegebenenfalls auch nach a) 1.) gemessen werden, Gewinde mit größerer Steigung bei hoher Meßgenauigkeit dagegen nur nach dem Achsenschnittverfahren.

Dazu ist ein Doppelmikroskop vorgesehen mit einem Profilokular und einem Schneidenokular. Das Profilokular trägt im Gesichtsfeld eine Profilplatte, auf der die üblichen Gewindeprofile im Kreis gezeichnet sind und durch Drehen der Profilplatte nacheinander

in das Gesichtsfeld des Mikroskopes gebracht werden. Das Schneidenokular hat das übliche Fadenkreuz (Linien gestrichelt) und eine drehbare Gradteilung und arbeitet mit den Meßschneiden zusammen, die in der Achsebene an die Flanken des Prüflings angeschoben werden (Abb. 145).

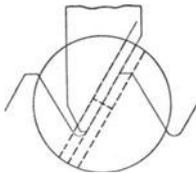


Abb. 145.

Auf der Schneidenfläche ist genau parallel zur Schneidenkante eine feine Linie aufgraviert, in die die Linien der Strichplatte eingestellt werden.

Gang der Messung: α) Flankenmaß. Zwei Meßschneiden werden an gegenüberliegenden Flanken angelegt, der Schneidenstrich der einen Seite mit der Linie der Strichplatte zur Deckung gebracht. Dann werden an den beiden Spiralmikroskopen die Werte für beide Koordinaten abgelesen.

Nach Verschiebung des Querschlittens wird dieselbe Messung für die gegenüberliegende Flanke gemacht. Die Differenz der Quermaßstabablesungen ergibt das Flankenmaß, die Differenz der Längsmaßstabablesungen muß bei richtiger Einstellung des Prüflings Null sein.

β) Steigung. Zwei Meßschneiden werden an aufeinanderfolgende Flanken angelegt, Einstellung und Ablesung der Koordinaten wie vorher vorgenommen. Dann wird der Längsschlitten verschoben, bis die zweite Meßschneide mit dem Strich der Strichplatte zusammenfällt. Die Differenz der Längsmaßstabablesungen gibt die Steigung.

γ) Flankenwinkel. Grundsätzlich wird der halbe Flankenwinkel gemessen, rechts und links, um die Symmetrie des Gewindeprofils und seine rechtwinklige Lage zur Gewindeachse zu bestimmen. Bei nach α) und β) achsenrichtig liegendem Prüfling wird der Winkel durch Drehen des Goniometerkreises unmittelbar abgelesen.

Erreichbare Genauigkeit bei Achsenschnittmessung.

Außen- und Kerndurchmesser.	2μ	Steigung	$2-3 \mu$
Flankendurchmesser.	$2-3 \mu$	Flankenwinkel	± 5 Minuten

b) Mechanische Messung (geringere Genauigkeit). Für die meisten Zwecke der Werkstättengewindemessung sind die vielfachen mechanischen Verfahren ausreichend genau. Es werden verwendet:

Feste Profillehren mit Lichtspaltmethode.

Einstellbare Profillehren mit Lichtspaltmethode und Schieblehre, Schraublehre oder Fühlhebel, Schraublehre oder Schieblehre mit kugeligen oder kegeligen Meßspitzen, Schneiden und Drähten.

α) Flankenmaß (Flankendurchmesser). Das Flankenmaß ist mit den gewöhnlichen Meßwerkzeugen nicht unmittelbar zu messen; hierfür dienen Schraublehren mit Meßspitzen, die nach Abb. 146/147 als Kegel bzw. Kimme ausgebildet sind. Die Nullab-lesung der Schraublehre ist eingestellt, wenn die beiden Teile k , b einander berühren, wobei irgendeine Schnittebene, z. B. A — B die Nulllinie darstellen mag. Mißt man mit einer derartigen Schraublehre (Abb. 147) eine Schraube, so stellen sich Kegel und Kimme nicht in den Achsen-schnitt der Schraube, sondern in eine zur Steigung rechtwinkligen Ebene ein. Man macht also einen Meßfehler, der aber bei den kleinen Steigungswinkeln der im Maschinenbau üblichen Schrauben ohne Einfluß ist.

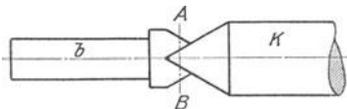


Abb. 146. Kegelige Schraublehrenspitzen zur Messung des Flankenmaßes.

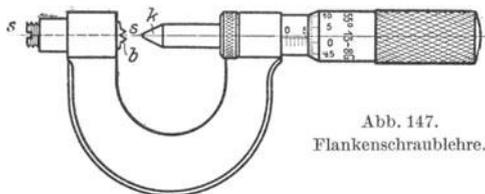


Abb. 147. Flankenschraublehre.

Da man bei dieser Messung besondere Schraublehren haben muß, auch bei Schrauben verschiedener Flanken-neigung ein Instrument nur für eine begrenzte Anzahl Schraubendurchmesser und Steigungen verwenden kann, werden aufsetzbare Kegelkörper hergestellt. Sie müssen aber allseitig geschliffen sein und mit den aufzusetzenden Flächen genau eben und winkelrecht zur Kegelachse geschliffen werden. Sie erhalten außerdem eine Klemmvorrichtung, die verhindert, daß durch ein einseitiges oder loses Sitzen der Meßkegel auf der Meßspindel Meßfehler in die Ablesung kommen.

Das Flankenmaß eines Gewindes kann durch den Ver-gleich mit einem Normalgewindedorn mittels der Kugel-taster in einfacher Weise bestimmt werden. Der Taster hat die Form eines gewöhnlichen Außentasters, der an Stelle der Spitzen auswechselbare Einsätze mit genauen kleinen Kugeln trägt (Abb. 148¹). Bei der Messung legen sich die Kugeln in gegenüberliegende Gewingegänge ein (Abb. 149). Man stellt nach dem Lehrdorn ein und überzeugt sich, ob die Einstellung auch für das zu messende Gewinde richtig ist. Der Unterschied bei-der Einstellungen zeigt die Abweichung des Werkstückes von Normalstück und ergibt ausgemessen, da man das Flankenmaß des Normalstückes kennt, unmittelbar das Flankenmaß des Werkstückes.

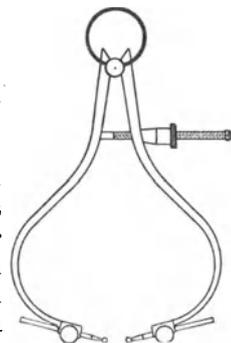


Abb. 148.

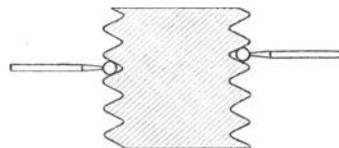


Abb. 149. Gewindemessung mittels Kugeltaster.

Genauer für die zahlenmäßige Feststellung des Unter-schiedes arbeitet die Gewindelupe² von Carl Zeiß, Jena, bei der an das Fassungsrohr einer Lupe eine feste Kugel-spitze und dieser gegenüber eine Schraublehre mit einer Kugelspitze angebracht sind, derart, daß im Gesichtsfeld der Lupe beide Kugeln und der Zwischenraum zwischen ihnen beobachtet werden können. Man stellt unter Beobachtung mit der Lupe die beiden Kugeln durch Bewegen der Meß-

¹ Weber & Co.: Etwas über Gewinde. S. 16, Abb. 19/20.

² Werkstattstechnik 1920, 539 (Abb. 27).

schraube in die Gänge des Normalgewindedornes ein, liest an der Meßschraubentrommel ab und stellt dann in gleicher Weise auf die gegenüberliegenden Gänge

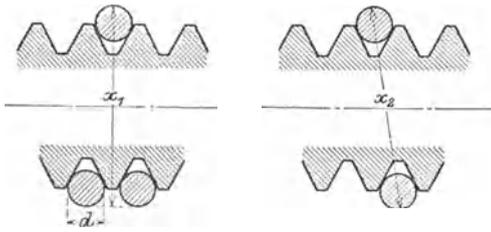


Abb. 150 u. 151. Messung des Flankenmaßes mittels kalibrierter Drähte.

des Werkstückes ein. Die Differenz beider Ablesungen ergibt die Abweichung des Flankenmaßes von Normal- und Werkstück, die Differenz und das bekannte Flankenmaß des Normalstückes zusammen das Flankenmaß des Werkstückes. Für die rechnerische Ableitung der Messung ist sinngemäß der Rechnungsgang zu Abb. 154 anzuwenden.

Die mittelbare Messung ist dagegen wohl mit den gewöhnlichen Schraublehren auszuführen, indem man kalibrierte Drähte nach Abb. 150 und 151 in die Gewidegänge einlegt und über diese Drähte mit der Schraublehre oder der Schublehre mißt.

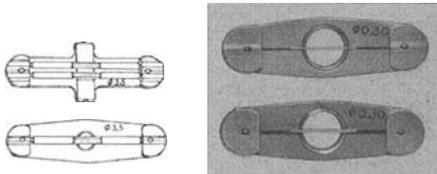


Abb. 152. Kalibrierte Drähte (1 u. 2) in Halter zur Flankenmessung.

Die Befestigung der Drähte ist aber schwierig und für die Genauigkeit der Messung gefährlich, so daß die Firma Carl Zeiß, Jena, die in Abb. 152 abgebildete Aufhängevorrichtung für die Drähte konstruiert hat, die an der Schraublehre normaler Bauart (Abb. 153) angebracht werden kann.

Die Messung mit nur zwei kalibrierten Drähten nach Abb. 151 empfiehlt sich nur dann, wenn die Meßflächen größer als die Steigung der zu messenden Schraube sind. Für die Berechnung des Flankendurchmessers F aus dem gemessenen Wert L bei bekanntem Durchmesser der kalibrierten Drähte kann die folgende Formel verwendet werden, wenn man nicht vorzieht,

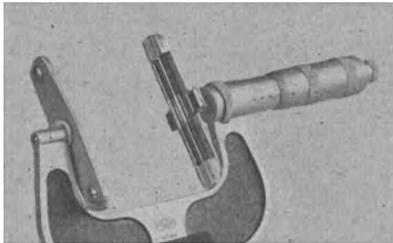


Abb. 153. Halter nach Abb. 152 in Schraublehre eingesetzt.

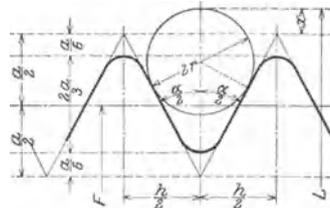


Abb. 154. Gewindemessung mittels kalibrierter Drähte.

immer mit denselben Drahtdurchmessern zu arbeiten und sich ein für allemal eine Tabelle aufzustellen.

Nach Abb. 154 erhält man die Formel: $L - F = 2x + a$.

Da $x + a = r + \frac{r}{\sin \frac{1}{2} \alpha}$ und $a = \frac{h \cdot \text{ctg} \frac{1}{2} \alpha}{2}$ ist, ergibt sich Flankenmaß

$$F = L - 2r \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{1}{2} \alpha} \right) + \frac{h \cdot \text{ctg} \frac{1}{2} \alpha}{2}.$$

Für Whitworth-Gewinde ist $\alpha = 55^\circ$ und $\sin \frac{1}{2} \alpha = 0,46175$,

$$\operatorname{ctg} \frac{1}{2} \alpha = 1,92098.$$

Damit wird $F = L - 3,1657 \cdot 2r + 0,96049 \cdot h.$

Für metrische Gewinde ist $\alpha = 60^\circ$ und $\sin \frac{1}{2} \alpha = 0,5$, $\operatorname{ctg} \frac{1}{2} \alpha = 1,73205.$

Man erhält: $F = L - 3 \cdot 2r + 0,86603 \cdot h.$

Die Genauigkeit dieser Messung richtet sich nach der Genauigkeit der verwendeten Drähte.

Grenzwindelohre: Für die Messung nach Toleranzsystem sind seit langem Rachenlehren mit kegeligen Spitzen versucht worden; sie haben sich aber nicht eingebürgert. Neuere Grenzlehren für Gewinde verwenden Rachenlehren mit Profilscheiben als Tastkörper. Beide Meßstellen sind entweder auf derselben Seite, Abb. 155, oder auf entgegengesetzten, bisweilen dann mit glatten Rollen vereinigt, um gleichzeitig den Außendurchmesser zu lehren. Die Rollen bestehen aus einzelnen parallel-scheibenförmig geschliffenen Rillen vom genauen Gewindeprofil, für die Gutseite das volle, für die Ausschußseite das abgetragene Profil. Rollenlagerung und Einstellung ist frei von axialen Fehlern. Verstellung erfolgt durch Exzenter bei genauer Parallelität der Rollenachsen. Die Ausschußseiterollen messen stets nur den Flankendurchmesser, da bei Toleranzlehren grundsätzlich die Ausschußseite nur eine Bestimmungsgröße lehren kann, so daß eine Gewindetoleranzlehre allein nie vollkommen ausreichend messen kann.

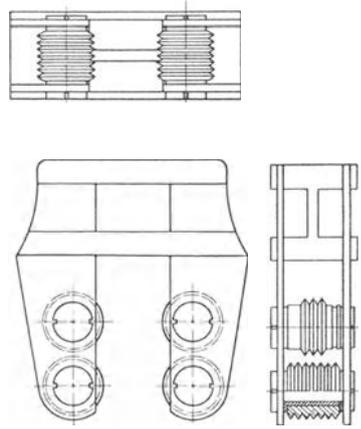


Abb. 155. Gewinderollenlehre (Alig & Baumgärtel, Aschaffenburg).

β) Flankenwinkel. Mit den bekannten mechanischen Mitteln kann man den Flankenwinkel nicht messen, man kann ihn nur mit genauen Profillehren nach der Lichtspaltmethode kontrollieren.

Da diese Lehren aber genau parallel zur Schraubenachse eingelegt werden müssen, geschieht dies nicht von Hand, sondern in einem Apparat, der dann meistens gleichzeitig zur Messung der Steigung eingerichtet ist.

Man stellt also nur Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung fest, ohne über die zahlenmäßige Winkelabweichung etwas aussagen zu können.

γ) Steigung. Handelt es sich nur um die Feststellung, ob die Steigung eines Gewindes mit dem Normalgewinde übereinstimmt, so lassen sich dazu am besten feste Lehren verwenden. Man legt sie in die Gewindgänge ein — gibt ihnen zweckmäßigerweise eine Länge gleich einem Vielfachen der Steigung —, und beobachtet dann nach der Lichtspaltmethode das Passen oder die Abweichung.

Zum Ausschauen von Steigung, Gewindeprofil usw. verwendet man die Blattlehren (Abb. 156 und 157), die in zwei Formen für Außen- und Innengewinde ausgeführt werden.

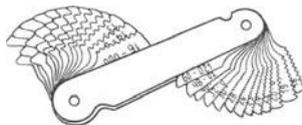


Abb. 156. Gewindeschablonen für Innen- und Außengewinde.

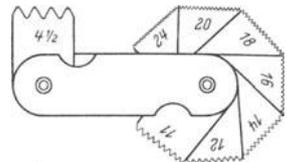


Abb. 157.

Wenn man sich das Maß der Lehre erst auf die eine oder andere Weise nach den Zahlentafeln herstellen muß, dann führt der folgende Weg am sichersten zum Ziel. Man dreht (Abb. 158), drei Zylinder *a*, *b* und *c* von gleichem Außendurchmesser, von denen der mittlere *b* eine Länge $L =$ Vielfachem der Steigung der zu messenden Schraube erhält, dreht an jedes Ende des mittleren Zylinders *b* und an ein Ende der beiden Zylinder *a* und *c*, deren Länge beliebig sein kann, Kegelflächen an, deren Steigung dem

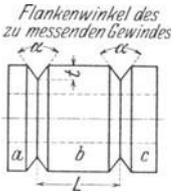


Abb. 158.
Fabrikationslehre für
Gewindelehren.

Dann härtet man alle drei Teile und schleift am Umfang die Kegelflächen rund und die Stoßflächen der Zylinder eben und winkelrecht zur Zylinderachse, alles Arbeiten, die in einer normalen Werkzeugmacherei ausgeführt werden und auf wenigstens 0,01 mm genau sein können. Außerdem können sie mit den vorhandenen normalen Meßwerkzeugen gemessen werden. Sind die drei Stücke fertig, so werden sie durch eine Schraube, die durch die Bohrung durchgesteckt wird, und Mutter zusammengespannt und bilden die Ausgangslehre für die herzustellende Gebrauchslehren. Man erspart bei verschiedenen solchen Lehren immer die Herstellung der beiden Seitenteile *a*, *b*, da man die Ausdrehung *t* so tief machen kann, daß sie für alle vorkommenden Gewindelehren ausreicht. Falls man aber auch die Abrundungen am äußeren Durchmesser der Schraube mit in diese Lehre einschleifen will, muß man wohl auch die beiden Seitenteile jedesmal neu machen. Derartige Lehren können als Einstelllehren für schieblehrenartige Steigungsmesser verwendet werden, die an Stelle der Spitzen mit Profilen versehen sind. Der Unterschied gegen das eingestellte Normalmaß wird am Nonius oder an der Schraublehre der Schieblehre abgelesen. Für genauere Messungen, deren Genauigkeit aber immer noch hinter der optischen Messung zurückbleibt, müssen eigene Vorrichtungen verwendet werden, bei denen das zu messende Gewindestück in Auflagern achsparallel zur Verschiebung der Profilplatte oder des entsprechenden kegeligen Fühlstiftes gehalten wird. Diese Apparate müssen aber in der Steigungseinstellung unbedingt irgendeinen Fühlhebel enthalten, damit stets bei gleichem Anlagedruck gemessen wird.

Die Einstellung muß auf Gewingegangmitte nach der Lichtspaltmethode durch eine Schablone ausgeführt werden, die genau in der Achse des Gewindes stehen und parallel zur Gewindeachse verschoben werden muß, wenn man die Verschiebung messen will.

In Abb. 159 wird das Gewinde zwischen die Spitzen der Reitstöcke mittels der beiden Wirbel festgespannt.

Auf der oberen Schiene gleitet ein einsenkbarer Taststift, dessen untere Spitze dem Gewindeprofil entspricht. Nach Festklemmen des rechten Schiebers auf der oberen Schiene wird der Taststift mittels der Feineinstellschraube am Taststiftschlitten in das zu

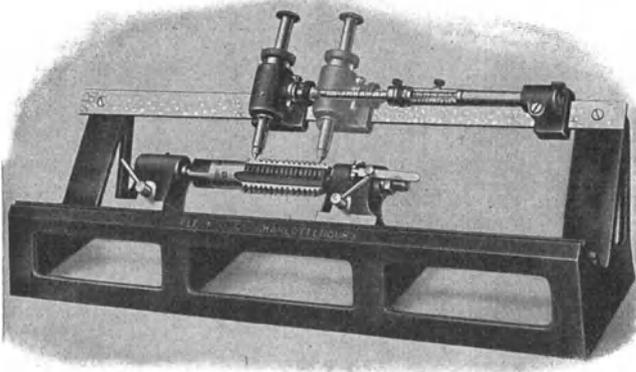


Abb. 159. Gewindemeßapparat (Fleck & Co., Berlin).

prüfende Gewindeprofil eingesenkt und seine Einstellung auf genaue Gewindetiefe durch die Stellschraube oben am Taststiftschlitten festgelegt. Nach Herausheben des Taststiftes wird sein Schlitten um eine bestimmte Anzahl Steigungen verschoben, bis der Taststift wieder in den Gewindegang einfällt, wobei die ganzen Maßeinheiten am waagerechten Zylindermaß und die Unterteilungen in $\frac{1}{100}$ mm an der Feineinstellschraube abgelesen werden. Die Differenz der Anfangs- und Endablesungen gibt das gesuchte Maß.

Eine sehr sorgfältig durchkonstruierte Gewindemeßmaschine der Fortunawerke, Stuttgart-Cannstatt erlaubt die Einstellung der Hauptmaße nach normalen Parallelendmaßen und die selbsttätige Bestimmung der Toleranz mittels des Minimometers. Außerdem ist der Tisch so eingerichtet, daß man Schrauben ohne Zentrierung einfach auf den Tisch auflegen kann, während zwischen Spitzen zu messende Schrauben auf Zwischenböcken eingespannt werden. Die Meßmaschine besteht nach Abb. 160 aus einem Bett mit Prismenführung, das den eigentlichen Aufnahme-

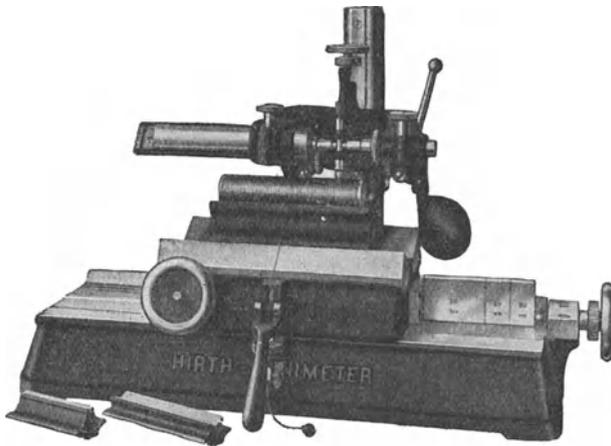


Abb. 160. Gewindemeßmaschine mit Minimeter und Endmaßen (Fortunawerke Stuttgart-Cannstatt).

tisch für die zu messende Schraube trägt und einer längs des Bettes verschiebbaren senkrechten Säule mit Höhenmaßstab, die die Tasteinrichtung mit dem Minimeter in der Höhe verschiebbar aufnimmt. Das zu prüfende Gewinde wird mittels eines Zwischenstückes auf den Bettschlitten aufgelegt und dieser durch eine Feineinstellschraube so weit gegen den Anschlag gezogen, daß der Zeiger des Minimometers auf Null einspielt, wenn die Tastspitze senkrecht in das Gewindeprofil eingeführt ist und beiderseitig im Gewindeprofil anliegt. Nun wird der Arm mit der ganzen Tasteinrichtung aus dem Gewindegang herausgeschwenkt, der Bettschlitten durch Einschieben einer Endmaßkombination, die der entsprechenden Steigung, bzw. mehreren Steigungen entspricht, verschoben und der Tastarm wieder eingeschwenkt. Die Stellung des Minimeterzeigers zeigt nun das Übereinstimmen oder die Abweichung der Ganghöhe von dem Sollmaß an.

δ) Messung der Innengewinde. Das Messen der Innengewinde ist viel schwieriger und weniger entwickelt worden. Alle vorhandenen Apparate sind behelfsmäßige Konstruktionen, die für die Praxis zu unsicher und zu umständlich sind.

Handelt es sich um die Kontrolle der Arbeit eines Gewindebohrers, so gibt das Aufschneiden einer mit dem Bohrer geschnittenen Mutter die Möglichkeit, das Ge-

winde genau nachzumessen. Die Mutter wird auf einem zwischen Spitzen genau geschnittenen Gewindedorn aufgedreht und festgezogen, hierauf in den Spitzen laufend überdreht oder überschliffen. Der so erhaltene, zur Gewindeachse laufende Durchmesser wird genau gemessen, und die Mutter etwas seitwärts der Mitte durchgeschnitten und bis fast auf die Mitte eben gehobelt bzw. geschliffen. Der letzte Rest bis zur genauen Mitte wird durch Lappen auf der Gußeisenplatte mit Schmirgel entfernt, wobei man die genaue Mittelebene des Gewindes vom Außenumfang als Hälfte des oben gemessenen Außendurchmessers bestimmt und mittels Schraublehre oder Endmaßen feststellt. Auf die Weise erhält man einen gratfreien Achsenschnitt des Muttergewindes der optisch ausgemessen werden kann.

Kann die Mutter nicht zerschnitten werden, so ist das Ausgießen (nach Haertel) mit einer leichtschmelzbaren Legierung auf ungefähr $\frac{1}{3}$ Umfang anzuwenden. Der Abguß läßt sich dann ohne Beschädigung herausnehmen, anarbeiten und nachmessen.

Technische Winkelmessungen. Von Prof. Dr. G. Berndt, Dresden. Zweite, verbesserte Auflage. (Werkstattbücher, H. 18) Mit 124 Abbildungen im Text und 34 Zahlentafeln. 76 Seiten. 1930. RM 2.—

Dieses Heft bildet eine Ergänzung zum Heft 2 von Kurrein: „Meßtechnik“. Die Ausführungen beschränken sich nicht nur auf die Beschreibung aller nötigen Geräte und aller möglichen Verfahren, sondern es wird immer die erzielbare Meßgenauigkeit sorgfältig untersucht. Die Ergebnisse der oft mühsamen und langwierigen Rechnungen sind übersichtlich in Zahlentafeln zusammengestellt, so daß den Ausführungen mühelos gefolgt werden kann.
„Schweizerische Technische Zeitschrift.“

Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen. Von Prof. Dr. G. Berndt, Dresden. Mit einem Anhang von Privatdozent Dr. H. Schulz, Berlin. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 581 Textabbildungen. XII, 374 Seiten. 1929. Gebunden RM 43.50

Prüfbuch für Werkzeugmaschinen. (Die Arbeitsgenauigkeit der Werkzeugmaschinen.) Von Prof. Dr.-Ing. G. Schlesinger, Berlin. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 18 Einzelfiguren und 34 Figurengruppen. VII, 56 Seiten. 1931. Gebunden RM 12.—
Mit Schreibpapier durchschossen und gebunden RM 13.—

Maschinentechnisches Versuchswesen. Von Prof. Dr.-Ing. A. Gramberg, Obergeringieur an den Höchster Farbwerken.
Erster Band: Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle. Zum Gebrauch an Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Fünfte, vielfach erweiterte und umgearbeitete Auflage. Mit 326 Figuren im Text. XII, 565 Seiten. 1923. Gebunden RM 18.—
Zweiter Band: Maschinenuntersuchungen und das Verhalten der Maschinen im Betriebe. Ein Handbuch für Betriebsleiter, ein Leitfaden zum Gebrauch bei Abnahmeversuchen und für den Unterricht an Maschinenlaboratorien. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 327 Figuren im Text und auf 2 Tafeln. XVIII, 601 Seiten. 1924. Gebunden RM 20.—

Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen. Im Auftrage von Ludw. Loewe & Co. A.-G., Berlin, bearbeitet von Prof. Dr. G. Berndt, Dresden. Mit 395 Abbildungen im Text und 287 Tabellen. XVI, 657 Seiten. 1925. Gebunden RM 36.—
Erster Nachtrag: Mit 102 Abbildungen im Text und 79 Tabellen. X, 180 Seiten. 1926. Gebunden RM 15.75
Namen- und Sachverzeichnis. Herausgegeben auf Anregung und mit Unterstützung der Firma Bauer & Schaurte, Neuß. III, 16 Seiten. 1927. RM 1.—

AWF. Getriebe und Getriebemodelle. Getriebemodellschau des AWF und VDMA 1928. Herausgegeben vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung (AWF) beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit. Mit Bild 1—173. 192 Seiten. 1928. Gebunden RM 6.—
Teil II: Zweite Getriebeschau des AWF und VDMA 1929. Herausgegeben vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung (AWF) beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit. Mit Bild 174—299. 143 Seiten. 1929. Gebunden RM 4.50

Theorie der zusammengesetzten Waagen. Waagen mit Gewichtschale, Laufgewichtswaagen, Neigungswaagen, Balkenwaagen, Brückenwaagen. Von **Julius Zingler**, Oberregierungsrat und Mitglied der Phys.-Techn. Reichsanstalt i. R. Mit 53 Textabbildungen. VIII, 203 Seiten. 1928. RM 13.50; gebunden RM 15.—

Die Werkzeuge und Arbeitsverfahren der Pressen. Mit Benutzung des Buches „Punches, dies and tools for manufacturing in presses“ von **Joseph V. Woodworth**. Von **Obering. Prof. Dr. techn. Max Kurrein**, Berlin. Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. Mit 1025 Abbildungen im Text und auf einer Tafel sowie 49 Tabellen. IX, 810 Seiten. 1926. Gebunden RM 48.—

Vielschnittbänke, ihre Konstruktion und Arbeit. Von **Obering. Prof. Dr. techn. Max Kurrein**, Berlin. Mit 164 Abbildungen und 3 Zahlentafeln. 114 Seiten. 1929. Gebunden RM 15.—

Der Modellbau, die Modell- und Schablonenformerei. Von **Richard Löwer**. Mit 669 Abbildungen im Text. V, 229 Seiten. 1931. Gebunden RM 17.50

Die Bearbeitung von Maschinenteilen nebst einer Tafel zur graphischen Bestimmung der Arbeitszeit. Von **E. Hoeltje**, Hagen i. W. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 349 Textfiguren und einer Tafel. IV, 98 Seiten. 1920. RM 3.—

Der Praktiker in der Werkstatt. Hinweise für die rationelle Ausnutzung von Werkstätten des Maschinenbaues. Von **Valentin Retterath**, Direktor der Magdeburger Werkzeugmaschinenfabrik A.-G. Mit 107 Textabbildungen. III, 70 Seiten. 1927. RM 3.50

Der Dreher als Rechner. Wechselräder-, Touren-, Zeit- und Konusberechnung in einfachster und anschaulichster Darstellung, darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von **E. Busch**. Mit 28 Textfiguren. VIII, 186 Seiten. 1919. Gebunden RM 6.—

Der Fräser als Rechner. Berechnungen an den Universal-Fräsmaschinen und -Teilköpfen in einfachster und anschaulichster Darstellung, darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von **E. Busch**. Mit 69 Textabbildungen und 14 Tabellen. VI, 214 Seiten. 1922. RM 4.60; gebunden RM 6.—

Verlag von Julius Springer / Berlin

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. EUGEN SIMON, BERLIN

Bisher sind erschienen (Fortsetzung):

- | | |
|---|---|
| Heft 35: Der Vorrichtungsbau.
II: Bearbeitungsbeispiele mit Reihenplan-
mäßig konstruierter Vorrichtungen. Ty-
pische Einzelvorrichtungen.
Von Fritz Grünhagen. | Heft 40: Das Sägen der Metalle.
Von Dipl.-Ing. H. Hollaender. |
| Heft 36: Das Einrichten von Halbautomaten.
Von J. van Himbergen, A. Bleck-
mann, A. Waßmuth. | Heft 41: Das Pressen der Metalle (Nicht-
eisenmetalle).
Von Dr.-Ing. A. Peter. |
| Heft 37: Modell- und Modellplattenherstel-
lung für die Maschinenformerei.
Von Fr. und Fe. Brobeck. | Heft 42: Der Vorrichtungsbau.
III: Wissenschaftl. Herstellung und Aus-
nutzung der Vorrichtungen.
Von Fritz Grünhagen. |
| Heft 38: Das Vorzeichnen im Kessel- und
Apparatebau.
Von Ing. Arno Dorl. | Heft 43: Das Lichtbogenschweißen.
Von Dipl.-Ing. Ernst Klosse. |
| Heft 39: Die Herstellung roher Schrauben.
I. Anstauchen der Köpfe.
Von Ing. J. Berger. | Heft 44: Stanztechnik. I: Schnitttechnik.
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe. |
| | Heft 45: Nichteisenmetalle. I: Kupfer,
Messing, Bronze, Rotguß.
Von Dr.-Ing. R. Hinzmann. |

In Vorbereitung bzw. unter der Presse befinden sich:

- Fellen. Von Dr.-Ing. Bertold Buxbaum.
Öle in der Werkstatt. Von Dr. Ing. Karl Krekeler.
Zahnräder I. Von Dr.-Ing. G. Karras.
Stanztechnik II. Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
Stanztechnik III. Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
-

Werkstatts-Technik

Zeitschrift für Fabrikbetrieb
und Herstellungsverfahren

Herausgegeben von Dr.-Ing. G. Schlesinger
Professor an der Technischen Hochschule, Berlin

Erscheint am 1. und 15. jedes Monats — Preis vierteljährlich für das
In- und Ausland RM 6.— zuzügl. Porto; Einzelheft RM 1.25 zuzügl. Porto

Bringt Originalberichte über

Neue Maschinen und Werkzeuge
Neue Konstruktionsmethoden
Fabrikation und Normungsfragen
Materialprüfung und Messung
Wirtschaftlichkeit im Betriebe
Organisation und Berufsfragen
Fortschritte des Auslandes