

# WERKSTATTBÜCHER

HEFT 61

K. KREKELER

## DIE ZERSPANBARKEIT DER WERKSTOFFE



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 Betriebs als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

### Bisher sind erschienen:

- |  |  |
|--|--|
| <p>Heft 1: Gewindeschneiden. 2. Aufl.<br/>Von Oberingenieur O. M. Müller.</p> <p>Heft 2: Meßtechnik. 3. Aufl. (15.—21. Tausd.)<br/>Von Professor Dr. techn. M. Kurrein.</p> <p>Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. 2. Aufl. (13.—18. Tausend.)<br/>Von Ing. Fr. Klautke.</p> <p>Heft 4: Wechselräderberechnung für Drehbänke. 3. Aufl. (13.—18. Tausend.)<br/>Von Betriebsdirektor G. Knappe.</p> <p>Heft 5: Das Schleifen der Metalle. 3. Aufl.<br/>Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.</p> <p>Heft 6: Teilkopfarbeiten. 2. Aufl. (13. bis 18. Tausend.)<br/>Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.</p> <p>Heft 7: Härten und Vergüten.<br/>1. Teil: Stahl und sein Verhalten. 3. Aufl. (18.—24. Tausend.)<br/>Von Dr.-Ing. Eugen Simon.</p> <p>Heft 8: Härten und Vergüten.<br/>2. Teil: Praxis der Warmbehandlung. 3. Aufl. (18.—24. Tausend.)<br/>Von Dr.-Ing. Eugen Simon.</p> <p>Heft 9: Rezepte für die Werkstatt. 3. Aufl. (17.—22. Tausend.)<br/>Von Dr. Fritz Spitzer.</p> <p>Heft 10: Kupolofenbetrieb. 2. Aufl.<br/>Von Gießereidirektor C. Irresberger.</p> <p>Heft 11: Freiformschmiede. 1. Teil: Grundlagen, Werkstoff der Schmiede. — Technologie des Schmiedens. 2. Aufl. (7. bis 12. Tausend.)<br/>Von F. W. Duesing und A. Stodt.</p> <p>Heft 12: Freiformschmiede. 2. Teil: Schmiedebeispiele. 2. Aufl. (7.—11. Tausend.)<br/>Von B. Preuß und A. Stodt.</p> <p>Heft 13: Die neueren Schweißverfahren. 3. Aufl. (13.—18. Tausend.)<br/>Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.</p> <p>Heft 14: Modelltischlerei. 1. Teil: Allgemeines. Einfachere Modelle. 2. Aufl. (7. bis 12. Tausend.)<br/>Von R. Löwer.</p> <p>Heft 15: Bohren. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)<br/>Von Ing. J. Dinnebier und Dr.-Ing. H. J. Stoewer.</p> | <p>Heft 16: Senken und Reiben. 2. Aufl. (8.—13. Tausend.)<br/>Von Ing. J. Dinnebier.</p> <p>Heft 17: Modelltischlerei.<br/>2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablone zu Formen. Von R. Löwer.</p> <p>Heft 18: Technische Winkelmessungen.<br/>Von Prof. Dr. G. Berndt. 2. Aufl. (5.—9. Tausend.)</p> <p>Heft 19: Das Gußeisen. 2. Aufl.<br/>Von Obering. Chr. Gilles.</p> <p>Heft 20: Festigkeit und Formänderung.<br/>1. Teil: Die einfachen Fälle der Festigkeit.<br/>Von Dr.-Ing. Kurt Lachmann.</p> <p>Heft 21: Einrichten von Automaten.<br/>1. Teil: Die Systeme Spencer und Brown &amp; Sharpe. Von Ing. Karl Sachse.</p> <p>Heft 22: Die Fräser. 2. Aufl. (8.—14. Tausd.)<br/>Von Dr.-Ing. Ernst Brödner und Ing. Paul Zieting.</p> <p>Heft 23: Einrichten von Automaten.<br/>2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) und Cleveland und die Offenbacher Automaten.<br/>Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil.</p> <p>Heft 24: Stahl- und Temperguß.<br/>Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.</p> <p>Heft 25: Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. 2. Aufl. (8.—13. Tausend.)<br/>Von Dr.-Ing. Walter Sellin.</p> <p>Heft 26: Räumen.<br/>Von Ing. Leonhard Knoll.</p> <p>Heft 27: Einrichten von Automaten.<br/>3. Teil: Die Mehrspindel-Automaten.<br/>Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil.</p> <p>Heft 28: Das Löten.<br/>Von Dr. W. Burstyn.</p> <p>Heft 29: Kugel- und Rollenlager. (Wälzlager.) Von Hans Behr.</p> <p>Heft 30: Gesunder Guß.<br/>Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.</p> <p>Heft 31: Gesenkschmiede. 1. Teil: Arbeitsweise und Konstruktion der Gesenke.<br/>Von Ph. Schweißguth.</p> |
|--|--|

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.

Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß).

Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50.

**WERKSTATTBÜCHER**  
**FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE**  
**UND FACHARBEITER**

---

HEFT 61

---

# Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe

Von

Dr.-Ing. habil. **K. Krekeler** VDI

Mit 68 Abbildungen im Text



**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH**  
**1936**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Allgemeine Betrachtungen . . . . .	3
II. Zerspanbarkeit von Stahl und Stahlguß . . . . .	5
A. Der Werkstoff . . . . .	5
B. Drehen . . . . .	5
C. Bohren . . . . .	17
D. Senken . . . . .	24
E. Reiben . . . . .	25
F. Fräsen . . . . .	26
G. Sägen . . . . .	28
H. Gewindeschneiden mit Gewindebohrer, Schneideisen und Schneidkopf . . . . .	29
I. Räumen . . . . .	31
K. Schleifen . . . . .	31
III. Zerspanbarkeit von Automatenstahl . . . . .	33
A. Der Werkstoff . . . . .	33
B. Drehen . . . . .	33
C. Bohren . . . . .	36
IV. Zerspanbarkeit von Gußeisen und Temperguß . . . . .	37
A. Der Werkstoff . . . . .	37
B. Drehen . . . . .	38
C. Bohren . . . . .	40
D. Fräsen . . . . .	42
E. Sägen . . . . .	43
F. Gewindeschneiden . . . . .	43
G. Räumen . . . . .	43
H. Schleifen . . . . .	43
V. Die Zerspanbarkeit von Bronze, Rotguß, Messing, Kupfer . . . . .	43
A. Der Werkstoff . . . . .	43
B. Drehen . . . . .	44
C. Bohren . . . . .	46
D. Senken, Reiben . . . . .	47
E. Fräsen . . . . .	47
F. Sägen und Feilen . . . . .	47
G. Gewindeschneiden . . . . .	47
H. Räumen . . . . .	47
I. Schleifen . . . . .	47
VII. Die Zerspanbarkeit von Aluminium und Aluminiumlegierungen. . . . .	48
A. Der Werkstoff . . . . .	48
B. Drehen . . . . .	48
C. Bohren . . . . .	49
D. Senken, Reiben . . . . .	50
E. Fräsen . . . . .	51
F. Sägen . . . . .	52
G. Feilen . . . . .	52
H. Gewindeschneiden . . . . .	52
I. Räumen . . . . .	52
K. Schleifen . . . . .	52
L. Verwendung von Hartmetall . . . . .	53
M. Verwendung von Diamanten . . . . .	54
VIII. Die Zerspanbarkeit von nichtmetallischen Werkstoffen. . . . .	54
VIII. Einfluß der Kühlmittel auf die Zerspanbarkeit . . . . .	56
A. Einteilung . . . . .	56
B. Richtlinien für die Verwendung der Schneidöle und Kühlmittelöle. . . . .	56
IX. Kurzversuche für die Prüfung der Zerspanbarkeit . . . . .	57

---

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

ISBN 978-3-662-30667-3

ISBN 978-3-662-30738-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-30738-0

## I. Allgemeine Betrachtungen.

**Begriff der Zerspanbarkeit.** Bei der spangebenden Formung bezeichnet man das Verhalten der Werkstoffe unter dem Schnitt der Werkzeuge als Zerspanbarkeit.

Das Wort „Zerspanbarkeit“ scheint glücklicher gewählt als schlechthin „Bearbeitbarkeit“, weil unter Bearbeitbarkeit auch spanlose Formungsvorgänge verstanden sein können.

In diesem Hefte werden nur die reinen „Schnitt“-Bedingungen, z. B. Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Spantiefe u. a. m. betrachtet. Die „form“bedingten Einflußgrößen, wie Gestalt des Werkstückes, Verhältnis von Länge zum Durchmesser der Wellen, Einspannung, Zustand der Maschine u. a. m. sind außer acht gelassen, da sie mit der Zerspanbarkeit als solcher nichts zu tun haben.

Die Zerspanbarkeit läßt sich nicht durch einen einzigen Begriff oder eine einzige Zahl ausdrücken. Um den praktischen Erfordernissen Rechnung zu tragen, lassen sich 4 Einflußgrößen herauschälen:

1. Die Schnittgeschwindigkeit, die anzuwenden ist, um unter den festgelegten Spanbedingungen eine als wirtschaftlich erkannte Standzeit (Lebensdauer) des Werkzeuges zu erreichen, bis es wegen Abstumpfung erneuert werden muß.

2. Die Schnittdrucke, die möglichst gering sein sollen, um Werkzeuge und Maschinen zu schonen. Dem Konstrukteur sollen ihre zahlenmäßige Größe und Richtung die Unterlagen für die Beherrschung der auftretenden Kräfte geben.

3. Die Oberflächengüte des Werkstückes, die mit Rücksicht auf den Verwendungszweck und die vorgeschriebene Genauigkeit erreicht werden muß.

4. Das Kühlmittel, das bei der jeweiligen Zerspanungsart benutzt wird, um die Zerspanbarkeit zu erleichtern und Oberflächengüte und Maßhaltigkeit der Werkstücke zu verbessern.

Hierbei ist außerdem noch zu berücksichtigen, daß jeder Arbeitsgang für sich betrachtet werden muß. Es ist nicht ohne weiteres gesagt, daß ein Werkstoff, der sich gut drehen läßt, auch leicht zu bohren oder zu schleifen ist. Man muß daher zwischen Drehbarkeit, Bohrbarkeit, Schleifbarkeit usw. unterscheiden.

Im nachstehenden werden nun entgegen dem bisherigen Brauch alle über die Zerspanbarkeit bekannten Ergebnisse nicht nach Zerspanungsarten oder Prüfungsverfahren zusammengestellt, sondern nach Werkstoffarten. Dies erleichtert nicht nur den Überblick, sondern gibt auch für den Betrieb endlich einen besseren Wegweiser, da an den einzelnen Werkstoffen meist alle Arten der Spanabhebung durchgeführt werden. Bei dieser Einteilung ist es dann ein leichtes, sich sofort ein gutes Urteil über die gesamte Zerspanbarkeit einer Werkstoffgruppe zu bilden.

Die Abb.1 gibt einen Überblick, für welche Werkstoffgruppen und Zerspanungsarten die kennzeichnenden Größen der Zerspanbarkeit behandelt werden.

**Die Prüfung der Zerspanbarkeit.** Bei der Zerspanbarkeitsprüfung muß das Werkzeug nach Zusammensetzung, Form, Härte und Schleifzustand immer gleich gehalten werden. Der Werkstoff ist dagegen die veränderliche Größe.

Bei der Werkzeugprüfung geht man den umgekehrten Weg. Hier wird der Werkstoff gleich gehalten und das Werkzeug verändert. Es ist daher nicht zugänglich, alle früheren Ergebnisse der Werkzeugprüfung ohne Einschränkung als Zerspanbarkeitsprüfung umzudeuten.

**Werkstoff des Werkzeugs.** Die weitaus größte Zahl der Versuche über Zerspanbarkeit ist unter Verwendung von Schnellstahl<sup>1</sup> durchgeführt worden. Dieses liegt einmal daran, daß zu jener Zeit der Schnellstahl das meist gebrauchte Werkzeug war, zum anderen, daß er beim Versuch im Drehvorgang das am leichtesten erkennbare Abstumpfungskennzeichen hat. Da der (unlegierte) Werkzeugstahl immer noch eine große Bedeutung hat und bei den Untersuchungen fast nicht berücksichtigt wurde, ist ein Ausgleich notwendig durch Feststellung geeigneter Umrechnungszahlen. Das gleiche gilt für die Hartmetalle, die sich ein immer größeres Anwendungsgebiet erobern.

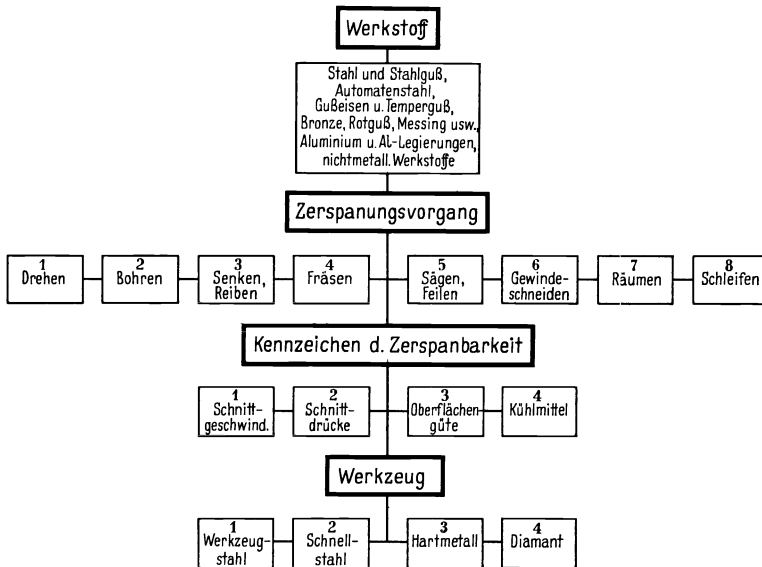


Abb. 1. Übersicht über die Zerspanbarkeit.

Da die bis jetzt vorliegenden Zerspanbarkeitswerte mit großem Aufwand an Zeit, Geld und Werkstoff ermittelt wurden, sollte man sie, wenn irgend möglich, als Vergleichsgrundlage für andere Werkzeuge und Werkstoffe benutzen. Dies geschieht am besten so, daß man Umrechnungszahlen ermittelt, wobei die Schnittleistung eines guten Schnellstahles = 1 gesetzt wird.

**Die Zerspanungsvorgänge.** Die meisten zahlenmäßigen Ergebnisse liegen für das Drehen und Bohren vor, da dies die häufigst angewendeten Arbeitsvorgänge sind und die Versuchsdurchführung am einfachsten ist. Für andere Arbeitsvorgänge liegt eine Reihe von Einzelangaben vor, die aber einer guten Sichtung bedürfen, damit sie auf den gleichen Nenner kommen.

**Werkstoff der Werkstücke.** In dem vorliegenden Heft werden, wenn irgend möglich, Normenbezeichnungen benutzt. Daher wird auch jeder Werkstoffgruppe ein kurzer Überblick über die Normenbezeichnungen und Reihen vorausgeschickt.

<sup>1</sup> Super rapid extra 214 der Gebr. Böhrler & Co. AG., Berlin.

## II. Zerspanbarkeit von Stahl und Stahlguß.

### A. Der Werkstoff.

Unter Stahl (St) wird jedes ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen verstanden.

Bei den unlegierten Baustählen geben die dem Kurzzeichen folgenden beiden Ziffern die Mindestfestigkeit, die beiden letzten die Normblattnummern der 1600er Reihe an. Z. B. bedeutet „St 00.11“ unlegierten Baustahl der Reihe 1611, für den eine mechanische Festigkeit nicht angegeben wird; St 37.11 Stahl mit 37 kg/mm<sup>2</sup> Mindestfestigkeit der Reihe 1611. Die Reihen für diese Stähle sind: DIN 1611, 1612, 1613, 1621, 1629.

Bei den unlegierten Einsatz-Vergütungsstählen geben die beiden ersten Zahlen den Kohlenstoffgehalt und die beiden letzten wieder die Normblattnummern der 1600er Reihe an (DIN 1661).

Bei den legierten Baustählen bezeichnet „V“ Vergütungsstahl und „E“ Einsatzstahl. Die Zahlen geben den Nickelgehalt an. „C“ bedeutet Chrom (und nicht Kohlenstoff), „N“ Nickel. Daher hat „EN 15“ kein (höchstens 0,2%) Chrom und 1,5% Nickel (DIN 1662).

Stahlguß (Stg) ist ein in Formen gegossenes schmiedbares Eisen. Die erste Zahlengruppe gibt die Festigkeit und die letzte die Normblattnummer der 1600er Reihe an (DIN 1681).

Die Zerspanbarkeit von Stahl und Stahlguß kann gemeinsam behandelt werden. Eine Ausnahme machen die hochlegierten Stähle, die gesondert betrachtet werden.

### B. Drehen.

**Schnittgeschwindigkeit.** Beim Drehen ist die Schnittgeschwindigkeit von weitest größter Bedeutung für die Zerspanbarkeit, da sie die Grundlage jedweder Arbeitsplanung und Zeit- und Kostenrechnung ist. Auf ihre genaue Ermittlung muß daher besondere Sorgfalt verwendet werden. Zu jeder Schnittgeschwindigkeit gehört eine bestimmte Standzeit (Lebensdauer) des Werkzeuges, bis es wegen Abstumpfung erneuert werden muß. Für diese Abstumpfung muß ein eindeutiges Kennzeichen gewählt werden. Bei Schnellstahl ist dies die sogenannte Blankbremsung, die dadurch entsteht, daß das Werkzeug durch die Zerspanungswärme an der Schneidkante erweicht und ohne zu schneiden über das Werkstück reibt. Bei Verwendung einer Schnittdruck-Meßvorrichtung ist das sprunghafte Ansteigen des Vorschubdrucks ein gutes Abstumpfungskennzeichen. Wenn man unter bestimmten Spanbedingungen für verschiedene Schnittgeschwindigkeiten die ermittelten Standzeiten ( $T$ ) in einem Schaubild aufträgt, erhält man die sogenannte  $T$ - $v$ - (Standzeit-Schnittgeschwindigkeit) Kurve (Abb. 2). Im doppellogarithmischen Feld ergeben diese Kurven gerade Linien. Dies hat große Vorteile, da es nicht notwendig ist, immer lange Standzeiten mit großem Werkstoffverbrauch zu fahren. Wenn durch genügende Versuche die Lage der Kurve im Schaubild und ihre Neigung festliegt, kann man die langen Standzeiten durch Verlängern der Geraden über die beobachteten Punkte hinaus leicht finden (extrapolieren). Jeder Punkt einer solchen  $T$ - $v$ -Kurve soll aus mindestens 3 Einzelwerten ermittelt werden. Bei sorgfältiger Härtung der Werkzeuge und genauer Einhaltung der Versuchsbedingungen bleibt die Streuung der Einzelwerte meist unter 10%. Wenn man diese Standzeitbilder für verschiedene Werkstoffe ermittelt, so zeigt sich ein Unterschied in der Zerspanbarkeit durch die verschiedene Lage dieser Kurven im Schaubild: je weiter die Kurve nach rechts liegt, desto höher ist die anwendbare Schnittgeschwindigkeit und desto besser die Zerspanbarkeit. Man sagt damit:

ein Werkstoff ist um so leichter zu zerspanen, je höher die zulässige Schnittgeschwindigkeit ist (Abb. 3).

Die Abb. 2 und 3 gelten bei einem Spanquerschnitt  $f = 4,48 \text{ mm}^2$ , der sich aus einem Vorschub  $s = 1,12 \text{ mm/U}$  und einer Spantiefe  $t = 4 \text{ mm}$  zusammensetzt. Sobald aber bei gleichem Spanquerschnitt das Verhältnis von Spantiefe zu Vorschub geändert wird, verschiebt sich die Lage der  $T$ - $v$ -Kurve erheblich. Man sieht aus Abb. 4, daß bei großem Vorschub und kleiner Spantiefe die anwendbare Schnittgeschwindigkeit kleiner ist als bei großer Spantiefe und kleinem

Vorschub. Man darf also nicht mehr, wie es bisher meist üblich war, bei Angabe der anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten nur einfach den Spanquerschnitt nennen: wesentlich ist auch seine Zusammensetzung nach Spantiefe und Vorschub.

Die Lage der  $T$ - $v$ -Kurve im Schaubild an sich genügt noch nicht zur Kennzeichnung der Zerspanbarkeit. Es ist eine eindeutige Kennzahl unter Berücksichtigung des Vorstehenden erwünscht. Man hat hierzu die Schnittgeschwindigkeit gewählt, bei der das Werkzeug 60 min Standzeit erreicht (Abb. 5). Diese „Stundenschnittgeschwindigkeit“ wird mit  $v_{60}$  bezeichnet. Je höher die  $v_{60}$ -Zahl liegt, um so leichter ist ein Werkstoff im Drehvorgang zu zerspanen.

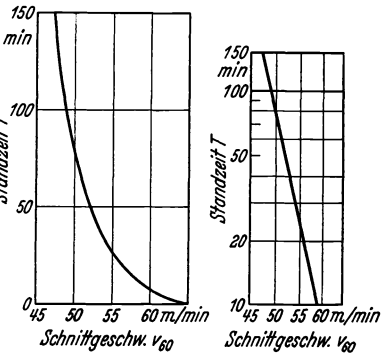


Abb. 2. Standzeit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit.  
Werkstoff: EN 15 (DIN 1662)  
 $t = 4 \text{ mm}$ ,  $s = 1,12 \text{ mm/U}$ ,  $f = 4,5 \text{ mm}^2$ .

Diese Standzeit von 60 min ist seinerzeit vom Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung (Refa) empfohlen worden. Es lag hierbei die Erwägung zugrunde, daß das richtige Verhältnis zwischen Standzeit und Rüstzeit des Werkzeuges gefunden werden müsse. Unter Standzeit versteht

man hierbei die Lebensdauer zwischen zwei Wiederanschliffen und unter Rüstzeit die Summe der Zeitwerte für Umspannen, Nachschleifen, Anstellen, Messen usw. Es ist neuerdings von verschiedenen Seiten gefordert worden, von der Einheitsstandzeit abzukommen und den jeweils günstigsten Wert zu ermitteln. Wallichs und Schöpke<sup>1</sup> haben errechnet, daß die möglichen Abweichungen zwischen der günstigen Standzeit und der festliegenden  $v_{60}$

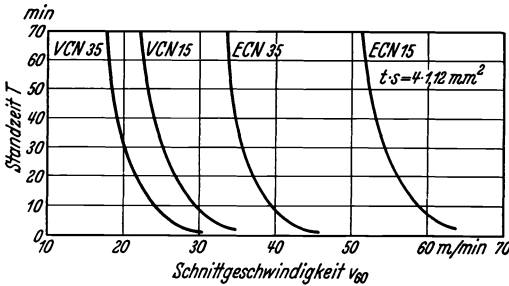


Abb. 3. Standzeiten verschiedener Stähle in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit.  
Stähle nach DIN 1662.

so gering sind, daß es nicht zweckmäßig ist, auf die Vorteile der festliegenden  $v_{60}$  zu verzichten.

Diese Überlegungen für  $v_{60}$  gelten aber nur für den Grobschnitt. Feinschnittarbeiten, Revolver- und Automatenarbeiten können hier nicht mit einbezogen werden. Hier spielen noch andere Gesichtspunkte, wie Einrichtezeit, Maßhaltigkeit, Art der am höchsten beanspruchten Werkzeuge, eine große Rolle.

Aus dem bisher Gesagten ergeben sich also die folgenden wichtigen Schlußfolgerungen:

<sup>1</sup> Die 60-min-Standzeit als Richtwert beim Schruppdrehen. Z. VDI Bd. 78 (1934), S. 278.



1. Die  $T$ - $v$ -Kurve gibt gute zahlenmäßige Unterlagen über die bei den einzelnen Schnittgeschwindigkeiten erreichbaren Standzeiten.

2. Die aus diesen Kurven abgelesenen  $v_{60}$ -Werte sind praktisch verwertbare Kennziffern für die Zerspanbarkeit im Drehvorgang mit schweren Schnitten.

3. Die  $T$ - $v$ -Kurven ergeben im doppellogarithmischen Feld gerade Linien, so daß längere Standzeiten „extrapoliert“ werden können.

4. Bei gleichem Spanquerschnitt aber verschiedener Zusammensetzung aus Spantiefe und Vorschub ist  $v_{60}$  bei größerem Vorschub immer geringer als umgekehrt.

**Zerspanungsschaubilder.** Nachdem diese Erkenntnisse gewonnen und außerdem die  $T$ - $v$ -Kurven für eine große Anzahl von Spantiefen und Vorschüben bei den meist benutzten Stählen und Stahlgußsorten<sup>1</sup> ermittelt waren, konnte man sie praktisch auswerten. Dies wurde durch das sogenannte Zerspanungsschaubild von Wallichs-Dabringhaus<sup>2</sup> möglich. Grundlegend hierfür war auch schon die Erkenntnis der Abhängigkeit der  $v_{60}$ -Zahl von der Zugfestigkeit und der Brinellhärte bei Stahl und Stahlguß.

Für die praktische Anwendung verfährt man wie folgt: Um die  $v_{60}$ -Zahl eines Werkstoffes bestimmter Festigkeit (z. B. 48 kg/mm<sup>2</sup>) zu finden, muß man den Schnittpunkt der vorgesehenen Spantiefe (z. B. 8 mm) mit dem gewählten Vorschub (2 mm/U) suchen. Durch den Schnittpunkt legt man eine Gerade gleichlaufend zu den schräg von links oben nach rechts unten gezogenen Hauptgeraden. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit der Senkrechten auf der Zugfestigkeit ergibt dann nach links die gesuchte  $v_{60}$ -Schnittgeschwindigkeit. Bei der Auswertung dieser Zahlen für den Betrieb ist noch zu berücksichtigen, daß es sich um Werte handelt, die unter besten Prüfbedingungen mit sorgfältigst gehärteten Werkzeugen usw. gewonnen wurden. Für die Werkstatt müssen also diese „Bestwerte“ der  $v_{60}$ -Zahl je nach den Härteeinrichtungen, dem Maschinenpark usw., um einen Betrag von 20... 25% verringert werden.

Außerdem gelten diese Werte ohne Kühlung für den trockenen Schnitt. In einem späteren Abschnitt wird besprochen, um wieviel sich diese Zahlen bei Verwendung eines Kühlmittels erhöhen lassen.

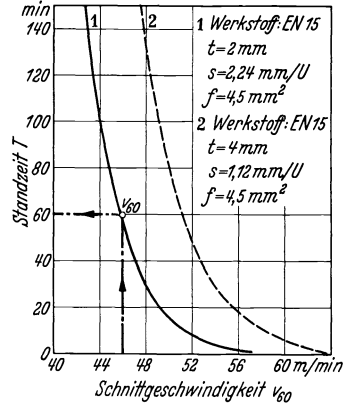


Abb. 4. Die Standzeit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit bei gleichen Spanquerschnitten, aber verschiedenen Vorschüben und Spantiefen.

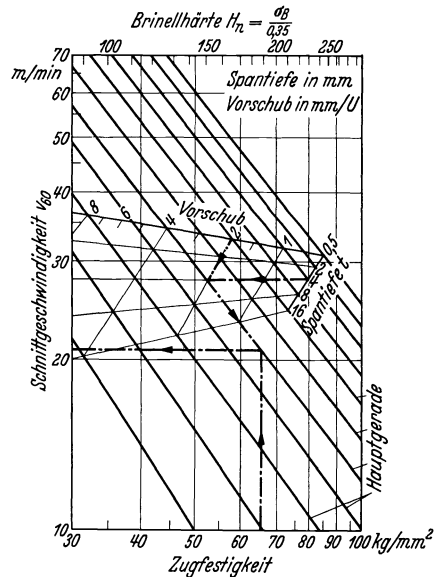


Abb. 5. Zerspanungsschaubild nach Wallichs-Dabringhaus für Stahl und Stahlguß.

<sup>1</sup> Krekeler: Die Prüfung der Bearbeitbarkeit der legierten Stähle für den Kraftfahrzeugbau durch spanabhebende Werkzeuge. Dissertation, Aachen. — Wallichs-Krekeler: Versuche über Zerspanbarkeit des Stahlgusses. Forschungsinstitut für das Kraftfahrzeugwesen.

<sup>2</sup> Wallichs-Dabringhaus: Masch.-Bau Bd. 9 (1930), S. 257.

Vergleich mit den vom AWF und ADB 1925/27 veröffentlichten Richtwerten. Diese Richtlinien, die vom AWF gemeinsam mit der ADB für fast alle Werkstoffarten herausgegeben wurden, sind auf Grund einer Rundfrage bei großen Betrieben und auf Grund von Erfahrungswerten zusammengestellt worden. Es haftet ihnen der Mangel an, daß die Werte in Abhängigkeit vom Spanquerschnitt angegeben werden. Nach den im vorstehenden geschilderten Erkenntnissen hat die Zusammensetzung der Spanquerschnitte auf die anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten aber einen großen Einfluß. Die Werte sind trotzdem heute noch gut brauchbar, da man ohne weiteres annehmen kann, daß sie für größere Spantiefe und kleinere Vorschübe gelten. Wie die nachstehende Zahlentafel<sup>1</sup> zeigt, ist unter diesen Umständen auch die Übereinstimmung mit den  $v_{60}$ -Werten aus dem Zerspanungsschaubild sehr gut:

Werkstoff: St C 45.61 (DIN 1661), Festigkeit:  $\approx 65 \text{ kg/mm}^2$ , Einstellwinkel:  $\alpha = 45^\circ$

Spantiefe mm	Vorschub mm/U	Spanquer- schnitt mm <sup>2</sup>	$v_{60}$ aus dem Schaubild abzügl. 25 % m/min	$v_{60}$ praktisch ermittelt m/min	$v_{60}$ nach AWF 101 d m/min
2,5	0,4	1	27,0	28,3	27,5
5,0	0,8	4	17,0	16,0	15,8

Es ist daher festzustellen, daß die AWF-Richtwerte, nachdem auf Grund der genauen Versuche der Einfluß von Schnitttiefe und Vorschub bekannt ist, noch gut für den Betrieb brauchbar sind. Sie bilden eine wertvolle Ergänzung der Zerspanungsschaubilder. Für die Kenntnis der Zerspanbarkeit sind nun noch einige andere Einflußpunkte von Wichtigkeit.

**Einfluß der in den Normen festgelegten Grenzen für Festigkeit und Analyse auf die**

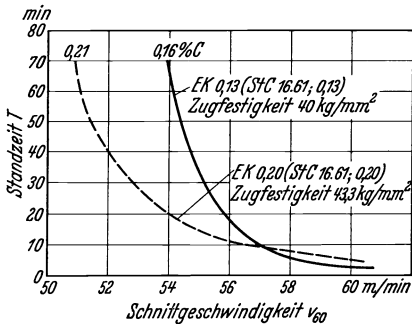


Abb. 6. Einfluß der Zusammensetzung auf die Bearbeitbarkeit eines unlegierten Einsatzstahles (Kohlenstoffgehalt 0,16 bzw. 0,21 %).

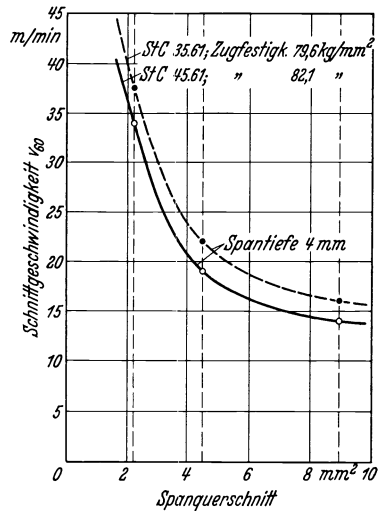


Abb. 7. Einfluß des Kohlenstoffgehalts unlegierter Vergütungsstähle auf die Bearbeitbarkeit (Schnittgeschw.-Werte  $v_{60}$ ).

**Zerspanbarkeit.** Die Normvorschriften geben auf Grund der Möglichkeiten des Herstellungsganges und der im laufenden Betrieb erreichbaren Genauigkeit Werte an, die in der Festigkeit und der chemischen Zusammensetzung einen gewissen notwendigen Spielraum lassen. Soweit die Festigkeitsgrenzwerte in Frage kommen, richtet sich die Zerspanbarkeit nach der Höhe der Festigkeit und kann aus der  $v_{60}$ -Bestimmungstafel (Abb. 5) abgelesen werden.

<sup>1</sup> Nach Mitteilungen von C. W. Drescher.

Anders liegen die Verhältnisse bei den Analysengrenzen unlegierter Stähle, wo der Einfluß des Kohlenstoffgehaltes von Bedeutung ist. Bei gleicher Festigkeit ist ein Stahl mit geringerem Kohlenstoffgehalt immer leichter zu bearbeiten. Abb. 6 zeigt einen St C 16.61 mit 0,16 bzw. 0,21 % C und einer  $v_{60}$ -Geschwindigkeit von 54 m/min gegen 51 m/min. — Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich bei Vergütungsstählen, wenn z. B. St C 35.61 und 45.61 auf gleiche Festigkeit vergütet werden. Bei einem Unterschied von 0,10 C ist  $v_{60}$  im Durchschnitt etwa 2,5 m/min höher als bei St C 35.61 (Abb. 7).

Bei legierten Stählen kann man sagen, daß z. B. der Nickelanteil den Einfluß des C-Gehaltes überwiegt. Unter sonst gleichen Verhältnissen sind legierte Stähle schwerer zu bearbeiten als unlegierte. Diese Feststellung besagt natürlich nichts über die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften durch Legierungsbestandteile.

**Einfluß der Legierung des Werkstückes.** Bei hochlegierten Stählen wirkt sich der Einfluß auf die Zerspanbarkeit noch ungünstiger aus. Bei Zerspannung eines VCN 35 und eines geglühten Schnellschnittstahles gleicher Festigkeit kann man bei diesem nur etwa die halbe Schnittgeschwindigkeit anwenden. Die große Menge von harten Doppelkarbiden im Schnellschnittstahl übt eine zu große Verschleißwirkung auf die Schneidkante aus.

Werkstoff	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Spantiefe $t$ mm	Vorschub $s$ mm/U	Schnittgeschwindigkeit $v_{60}$ m/min
V CN 35 . . . . .	85	3	2,12	15
Schnellstahl geglüht	85	3	2,12	7

Weitere Beispiele eines hochchromlegierten und eines chromlegierten Werkzeugstahles gegenüber je einem Baustahl gleicher Festigkeit gibt die nachstehende Zahlentafel<sup>1</sup>.

Werkstoff	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Analyse			Spantiefe $t$ mm	Vorschub $s$ mm/U	$v_{60}$ m/min
		C	Mn	Cr			
Hochchromlegierter Werkzeugstahl...	105	2,16		12,33	4	0,5	3
V CN 35 h . . . . .	auf 105 vergütet	entspricht DIN 1662			4	0,5	15,5
Chromlegierter Werkzeugstahl...	75	1,10	0,31	1,65	4	0,5	16
V CN 15 h . . . . .	auf 75 vergütet	entspricht DIN 1662			4	0,5	26

Diese Beispiele wie auch die nachfolgenden können natürlich nur einen Anhaltspunkt geben, welche Schnittgeschwindigkeiten vorkommendenfalls in den Betrieben zugrunde gelegt werden können. Der 12%ige verschleißfeste Manganstahl ist wegen schlechter Zerspanbarkeit, die wohl durch die große Kalthärtbarkeit bedingt ist, bekannt. Abb. 8 gibt einen Anhaltspunkt, um wieviel schwerer der Manganstahl als der SM-Stahl zu bearbeiten ist. — Wenn nun für die Bearbeitung des SM-Stahles statt Schnellstahl noch Hartmetall wie für den Manganstahl benutzt werden würde, so wären dessen  $v_{60}$ -Werte mindestens doppelt so hoch.

Bemerkenswert ist auch der Unterschied zwischen dem geschmiedeten und

<sup>1</sup> Rapatz: Stahl u. Eisen Bd. 50 (1930) S. 807.

dem gegossenen Manganstahl. Es hat demnach den Anschein, daß eine Durch-  
arbeitung des Werkstoffes dessen Zerspanbarkeit fördert<sup>1</sup>.

Für rost- und hitzebeständige Stähle ist in Abb. 9 noch ein Beispiel auch  
im Vergleich zu SM-Stahl gegeben. Infolge der höheren Legierungsbestandteile  
ist auch hier die Zerspanbarkeit schlechter.

Besondere Einflußpunkte für die Zerspan-  
barkeit von Stahlguß. Bei Schmiede- oder Walz-  
gut ist die Zerspanbarkeit der äußeren Schicht kaum  
verschieden von dem gesunden Werkstoff. Anders  
verhält es sich, wie nachstehende Zahlentafel zeigt,  
bei Stahlguß. — Die Zerspanbarkeit der Gußhaut  
ist hier viel geringer:

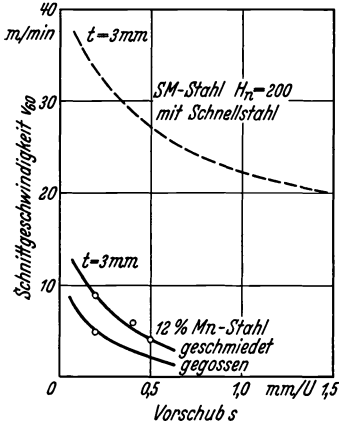


Abb. 8.  $v_{60}$  für Manganhartstahl  
von 12% Mn.

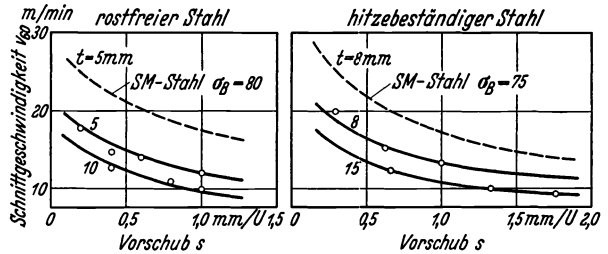


Abb. 9.  $v_{60}$  für rostfreie und hitzebeständige Stähle.

Schnittgeschwindigkeit  $v_{60}$  von Gußhaut und gesundem Werkstoff  
von Stahlguß.

Werkstoff	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Spantiefe $t$ mm	Vorschub $s$ mm/U	$v_{60}$ m/min		Gieß- temperatur °C
				Guß- haut	gesunder Werkstoff	
Stg 50.81 Bessemer Stahl	48	4	1,12	0,5	43	1600
Stg 50.81 1,04 Ni				14,5	35	

Trotz der höheren Festigkeit ist die Gußhaut des nickellegierten Stg 50.81  
besser zu bearbeiten als bei dem Bessemer Stahl. Dies ist durch die hohen Gieß-  
temperaturen bedingt, da die Sandteilchen die  
Form schärfer einbrennen. Der Drehmeißel  
zeigt großen mechanischen  
Verschleiß.

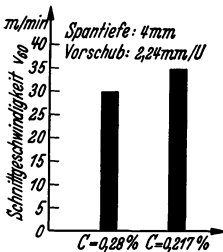


Abb. 10. Einfluß des C-Gehaltes  
auf die Bearbeitbarkeit von Stg 50.81.

Der Kohlenstoffgehalt wirkt sich ähnlich wie bei  
den Baustählen so aus, daß  
bei geringerem Kohlenstoff-  
gehalt die Zerspanbarkeit  
besser wird. Ein zahlen-  
mäßiges Beispiel gibt  
Abb. 10.

Die Art der Erschmel-  
zung (Elektroofen, Besse-  
mer Birne oder Siemens-Martin- Ofen) hat auf die Zerspanbarkeit keinen Einfluß:

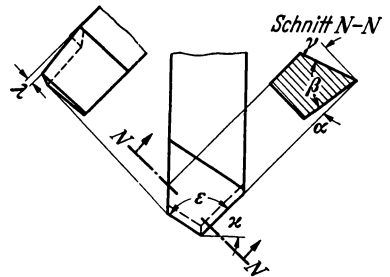


Abb. 11. Winkel an Schneidstäbchen  
(nach DIN 4931).  
 $\alpha$  = Freiwinkel-(Rücken)-Winkel,  $\beta$  =  
Keil-(Meißel)-Winkel,  $\gamma$  = Span-  
(Brust)-Winkel,  $x$  = Einstellwinkel,  
 $\epsilon$  = Spitzenwinkel,  $\lambda$  = Neigungswinkel.

<sup>1</sup> Schallbroch: Masch.-Bau 1933, S. 239.

Schnittgeschwindigkeit  $v_{60}$  bei verschieden erschmolzenem Stahlguß (Stg 58.81).

Werkstoff	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Spantiefe $t$ mm	Vorschub $s$ mm/U	$v_{60}$ m/min
Elektrostahl . . . . .	49	4	2	32
Basischer SM Stahl . . . . .	50	4	2	31
Bessemer Stahl . . . . .	47	4	2	32

**Einfluß der Form des Drehmeißels.** In den DIN-Blättern 4931 ... 4943 sind die Winkel am Drehmeißel genormt. Abb. 11 zeigt einen rechten geraden Schruppstahl nach DIN 4931. Die Querschnitte und die aus Ersparnisgründen zu verwendenden Aufschweißplättchen sind in den DIN-Blättern 768, 770, 771 festgelegt. Der Meißelquerschnitt hat auf die erreichbare Schnittgeschwindigkeit nach eigenen Versuchen des Verfassers einen ganz unwesentlichen Einfluß, besonders dann, wenn nur geringe Unterschiede der Abmessungen vorhanden sind. Aber auch für große Verschiedenheiten kann der Einfluß vernachlässigt werden, wie Angaben von Dempster Smith<sup>1</sup> für einen Stahl von 53 kg zeigen:

Meißelquerschnitt $\square$ . . . . .	19,1	25,4	31,8	38,1
$v_{120}$ -Zahl . . . . .	0,92	0,97	1,0	1,02

Die Werte sind Verhältniswerte und gelten für  $v_{120}$ , geben aber für  $v_{60}$  einen guten Anhaltspunkt.

Der Einstellwinkel (Abb. 12) hat dagegen auf die erreichbare Schnittgeschwindigkeit wesentlich mehr Einfluß. Für Stahl und Stahlguß sind folgende Umrechnungszahlen festgelegt:

Einstellwinkel $\alpha$ . . . . .	30°	45°	60°	90°
Umrechnungszahl für $v_{60}$ . . . . .	1,26	1,00	0,80	0,66

Hierdurch ist es möglich, alle Versuchswerte auf den gleichen Nenner zu bringen. Es ist aber notwendig, daß bei allen Zerspanungsversuchen das Werkzeug genau gekennzeichnet ist. Die Beeinflussung der Schnittgeschwindigkeit ist darauf zurückzuführen, daß bei kleinem Winkel  $\alpha$  ein größerer Teil der Schneide unter Schnitt steht als bei großem Winkel (Abb. 12) und daher die Beanspruchung geringer ist. Der Einstellwinkel darf jedoch nicht nur nach dem Bestwert für  $v_{60}$  festgelegt werden. Bei zu kleinem Winkel tritt leicht Rattern auf, da der Schnittdruck, der rechtwinklig zur Längsachse des Werkstückes wirkt (Rückdruck), mit kleinerem Einstellwinkel wächst.

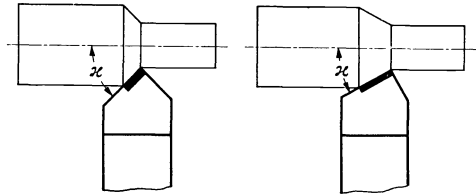


Abb. 12. Einfluß des Einstellwinkels  $\alpha$  auf den im Schnitt stehenden Teil des Drehmeißels (Spanquerschnitt).

**Einfluß der Zusammensetzung des Werkzeuges.** Der Einfluß der Zusammensetzung des Werkstoffes der Werkzeuge ist deshalb für die Zerspanbarkeit von Bedeutung, weil es möglich ist, die versuchsmäßig ermittelten  $v_{60}$ -Zahlen umzurechnen.

Die bisherigen Zerspanungsversuche wurden fast alle mit dem Stahl der Gebr. Böhler & Co. A.-G. mit der Bezeichnung Super Rapid Extra 214 (SRE 214) mit folgender Zusammensetzung gemacht:

SRE 214 . . . . .	0,6 ... 0,9 C	18 ... 20 Wc	2,0 ... 1,2 Va	2 ... 3 Co.
-------------------	---------------	--------------	----------------	-------------

Die Versuche sind auch alle mit Vollmeißel gefahren, während heute nur noch

<sup>1</sup> Rapatz: AWF-Mitt. 1935.

aufgeschweißte Plättchen verwendet werden sollen. Dies hat jedoch keinen Einfluß auf die anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe und Spantiefen, wenn die Plättchen aus Schnelldrehstahl den Vorschriften entsprechend auf den Schaft gebracht wurden.

Kohlenstoffstahl. Wenn die mit dem Schnellstahl der vorstehenden Zusammensetzung ermittelten  $v_{60}$ -Werte gleich 1 gesetzt werden, so kann man bei Verwendung von unlegiertem Werkzeugstahl nur etwa  $\frac{1}{4}$  der Werte anwenden.

Schnellstahl. Im allgemeinen sagt man, daß ein Schnellstahl mindestens 17% Wolfram enthalten müsse. Dies ist jedoch nicht allein ausschlaggebend. Die nachstehende Zahlentafel<sup>1</sup> gibt für einige häufig gebrauchte Stähle die Umrechnungsziffer für  $v_{60}$ , wobei SRE 214 wieder gleich 1 gesetzt ist.

Stahlbezeichnung	C	W <sub>o</sub>	V <sub>a</sub>	Mo	C <sub>o</sub>	Umrechnungszahl für $v_{60}$
1	0,6 ... 0,8	14 ... 18	0,8 ... 0,2	—	—	0,75
2	0,6 ... 0,8	18 ... 20	1,5 ... 1,0	—	—	0,85
3	0,8 ... 1,0	18 ... 25	2,5 ... 1,2	0,0 ... 1,2	—	0,90
4	0,6 ... 0,9	18 ... 20	2,0 ... 1,2	—	2 ... 3	1,00
5	0,6 ... 0,9	17 ... 20	1,8 ... 1,0	0,0 ... 1,0	4 ... 6	1,10
6	0,6 ... 0,85	17 ... 20	1,6 ... 1,0	0,0 ... 1,0	9 ... 12	1,15
7	0,6 ... 0,85	17 ... 20	1,6 ... 1,0	0,0 ... 1,0	16 ... 20	1,20

Hartmetall. Für die Verwendung von Hartmetallwerkzeugen beim Drehen fehlen noch die genauen Versuchsunterlagen, wie sie bei Schnellstahl ermittelt wurden. Der AWF hat jedoch entsprechende Arbeiten eingeleitet. Das Abstumpfungskennzeichen muß auch noch genau festgelegt werden.

Die Abnutzung der Hartmetallschneiden macht sich oft dadurch bemerkbar, daß an der Schneide kleine Teile abgeschliffen und herausgebröckelt werden. Dies äußert sich im Rauwerden des Schnittes und vor allen Dingen in der Veränderung des Durchmesser. Sehr oft entsteht wie beim Schnellstahl eine Auskolkung. Es entsteht dann eine Blankbremsung und bei den hohen Schnittgeschwindigkeiten starkes Rundfeuern.

Der Einfluß der Zusammensetzung der Spanquerschnitte nach Vorschub und Schnitttiefe ist ähnlich wie bei Schnellstahl (Abb. 2). Die  $T$ - $v$ -Kurven ergeben auch gerade Linien im doppellogarithmischen Feld. Hinsichtlich der Spanzusammensetzung gilt der Grundsatz: möglichst große Spantiefe und kleiner Vorschub. Die Schnittgeschwindigkeit ist auf jeden Fall so hoch zu wählen, daß der Schneidenansatz verschwindet. Bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten erhöht sich nicht, wie anzunehmen wäre, die Standzeit sehr erheblich. Durch Auftreten des Schneidenansatzes wird die Schneide schon nach ganz kurzer Zeit zerstört.

Mit Hartmetallwerkzeugen kann man infolge der hohen Wärmebeständigkeit und Verschleißfestigkeit ein Vielfaches der Schnittgeschwindigkeiten von Schnellstahl anwenden. Für das Drehen eines Stahles von 70 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit kann man etwa folgende Verhältniszahlen als Richtlinie geben:

Werkstoff des Werkzeuges	Werkzeugstahl	Schnellstahl	Böhlerit Widia X	Böhlerit E Titanit U Widia XX
$v_{60}$ -Umrechnungszahl .....	0,25	1	4	4 ... 8

Die Vorteile der Hartmetalle beim Drehen von Stahl sind: hohe Schnittgeschwindigkeiten und infolgedessen (durch Fortfall der Aufbauschneiden) gute

<sup>1</sup> Rapatz: AWF-Mitt. 1933, Dez.

Oberflächenbeschaffenheit, geringe Werkstoffverformung beim Schnitt ohne wesentliche Zerstörung des Randgefüges.

Man muß aber bei Verwendung der Hartmetallwerkzeuge die Vorschriften der Lieferfirma genau beachten.

Die Winkel an den Werkzeugen, die jetzt empfohlen werden, sind:

Freiwinkel  $\alpha = 4 \dots 6^\circ$  Spanwinkel  $\gamma = 8 \dots 16^\circ$  Neigungswinkel  $\lambda = 3 \dots 5^\circ$ .

Beim Spanwinkel gelten die kleinen Winkel für hohe Festigkeit (VCN 35) und die größeren Winkel für geringere Festigkeit (St 37.11).

Als Richtwerte für das Drehen mit Hartmetallwerkzeugen (Böhlerit E, Titanit U, Widia XX) werden folgende Schnittgeschwindigkeiten empfohlen:

Werkstoff	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Schnittgeschwindigkeit in m/min	
		Grobschnitt	Feinschnitt
St 37.11.....		180 ... 250	250 ... 350
St 60.11.....		100 ... 130	130 ... 170
Cr-Ni- } Stahl .....	70 ... 85	80 ... 100	100 ... 120
	100 ... 140	40 ... 60	60 ... 80
	160 ... 200	20 ... 30	30 ... 40
Cr-Va-Stahl .....	100	25 ... 45	45 ... 80
Rostfreier Stahl .....	60 ... 70	40 ... 60	60 ... 90
Manganhartstahl 12% Mn .....		10 ... 25	25 ... 40
Stahlguß .....	40 ... 50	90 ... 120	120 ... 160
	50 ... 60	60 ... 90	90 ... 120

Nach einer Mitteilung von A. Fehse<sup>1</sup> kann auch gehärteter Werkstoff abgedreht werden. Bei einem gehärteten Bolzen aus Schnellstahl (260 kg/mm<sup>2</sup>  $\approx$  680 Brinell) konnte eine Schnittgeschwindigkeit von 24 m/min angewandt werden. Es ist jedoch notwendig, mit einer sogenannten hängenden Schneide ( $\lambda$  positiv) nach Abb. 13 zu arbeiten. Der Werkstoff läuft in Lockenform ab. Die Oberflächenbeschaffenheit ist sehr gut.

Diamanten. Der Diamant kommt nur für Schlicht- und Feinsbearbeitung in Frage. Diamant und Hartmetall sollen einander nicht ersetzen, sondern ergänzen. Die Diamanten haben außer bei gehärtetem Stahl noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse gezeigt, weder bei legierten und unlegierten Stählen noch bei Stahlguß.

**Feinschnitt.** Die vorstehenden Richtwerte für das Drehen gelten für den Grobschnitt (auch Schruppschnitt genannt). Es muß nun noch einiges über den Feinschnitt gesagt werden.

Eine genaue Abgrenzung zwischen Grobschnitt und Feinschnitt gibt es leider noch nicht. Es hängt dies auch von den Betrieben ab. Was für den einen Grobschnitt ist, kann für den anderen schon Feinschnitt sein. Die bisher ausgefahrenen Standzeitversuche gelten bis zu einer unteren Grenze von etwa 1 mm Spantiefe und 0,5 mm/U Vorschub, d. h. also bis zu einem Spanquerschnitt von 0,5 mm<sup>2</sup>. Bis zu diesem Wert gelten auch die Zerspanungsschaubilder mit genügender Genauigkeit.

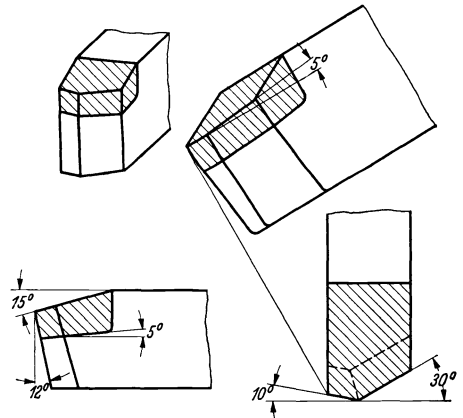


Abb. 13.  
Widiameißel für Drehen von gehärtetem Stahl.

<sup>1</sup> Masch.-Bau Bd. 12 (1933) S. 447.

Man könnte nun zweckmäßigerweise alle Spanquerschnitte unter  $0,5 \text{ mm}^2$  als Feinschnitt bezeichnen. Für diese kleinen Spanquerschnitte sind die Zusammenhänge noch nicht genügend erforscht. Es wäre sehr zu begrüßen, wenn die kleinen Vorschübe von 0,5 bis etwa 0,08 in Standzeitkurven gefahren würden. In Abb. 14 sind die Standzeitkurven für gleiche Spantiefe unter verschiedenen Vorschüben aufgetragen<sup>1</sup>. Man ersieht hieraus, daß mit kleiner werdendem Vorschub die

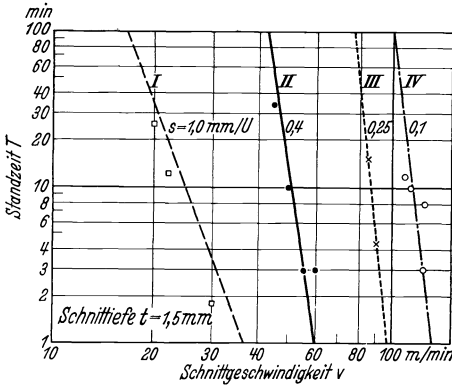


Abb. 14. Standzeitkurven.

Geraden im logarithmischen Feld steiler liegen, so daß die Schnittgeschwindigkeitsänderung in Abhängigkeit von der Standzeit stärker ist als bei großen Vorschüben.

Besondere Sorgfalt müßte man bei den Standzeitversuchen mit ganz kleinen Spanquerschnitten auch den Abstumpfungskennzeichen der Drehmeißel zuwenden.

**Die Schnittdrücke.** Die Schnittdrücke sollen gering sein, um die Zerspanbarkeit zu erleichtern und um Werkzeug und Maschine zu schonen. Die zahlenmäßige Bestimmung der Schnittdrücke dient als Rechnungsgrundlage für die Konstrukteure der Maschinen und Werkzeuge.

Die beim Drehen auftretenden Drücke werden mit hydraulischen oder elektrischen Meßdosen bestimmt. Eine solche Meßvorrichtung muß die auf den Drehmeißel wirkende Gesamtkraft in 2 oder 3 Richtungen zerlegen und jede Komponente durch geeignete Geräte anzeigen.

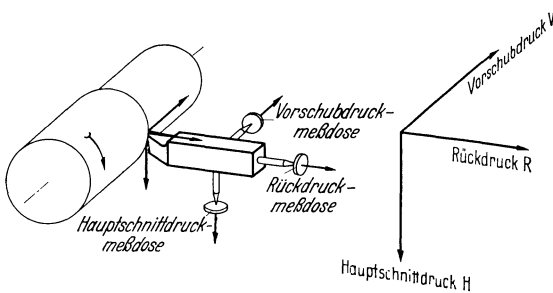


Abb. 15. Schematische Anordnung und Wirkungsweise der Kräfte beim Drei-Komponenten-Meßstahlhalter.

Man bezeichnet sie nach Abb. 15 wie folgt:

$H =$  Hauptschnittdruck (Spanndruck) kg,  
 $V =$  Vorschubdruck kg,  
 $R =$  Rückdruck (Schaffdruck) kg.

Der Hauptschnittdruck  $H$  ist ein Vielfaches von  $V$  und  $R$ . Das Verhältnis ist etwa  $5 : 1 : 2$ . Es

genügt daher, den Berechnungen den Wert von  $H$  zugrunde zu legen.

Wenn lediglich die Abstumpfung des Drehmeißels (als Ergänzung des Verfahrens der Blankbremsung) festgestellt werden soll, begnügt man sich mit der Ermittlung von  $V$  oder  $R$ , die dann plötzlich stark ansteigen.

Der Schnittdruck ist unabhängig von:

- a) der Schnittgeschwindigkeit innerhalb der praktischen Grenzen,
- b) dem Werkstoff der Werkzeuge.

Dagegen ist er abhängig von:

- 1. der Festigkeit der Werkstoffe und dem Spanquerschnitt,
- 2. der Form der Werkzeugschneiden,
- 3. dem verwendeten Kühlmittel.

Zu 1: Mit steigender Festigkeit und mit großem Spanquerschnitt nimmt  $H$  zu.

<sup>1</sup> Schwerdfeger: Masch.-Bau Bd. 15 (1936) S. 67.



Abb.16 gibt hierfür praktisch ermittelte Werte. Man findet sehr oft Angaben, um aus der Festigkeit und dem Spanquerschnitt mit Hilfe von Konstanten den Wert für den Schnittdruck zu errechnen. Diese Konstanten sind sehr ungenau, und man benutzt besser praktisch ermittelte Schnittdruckwerte.

Zu 2: Die Standzeit eines Drehmeißels wird, wie auf S.11 gezeigt wurde, sehr durch den Einstellwinkel  $\alpha$  beeinflusst.  $\alpha$  macht sich auch bei den Schnittdrücken bemerkbar: Mit kleinerem  $\alpha$  nehmen  $H$  und  $R$  ab, während  $V$  zunimmt.

Auch der Spanwinkel  $\gamma$  ist von Bedeutung, da mit kleiner werdendem  $\gamma$   $H$ ,  $V$  und  $R$  zunehmen.

Diese Zusammenhänge zwischen den Schnittdrücken und den Meißelwinkeln muß man beachten, wenn Rattererscheinungen auftreten.

Zu 3: Ein richtig ausgewähltes Kühlmittel beeinflusst, lt. Boston und Oxford<sup>1</sup> bei Hobelversuchen, die sich unmittelbar mit dem Drehvorgang vergleichen lassen, den Schnittdruck günstig.

Bei einem Chromnickelstahl, etwa entsprechend unserem VCN 15, betrug die Verringerung 15% gegenüber trockenem Schnitt und auch gegenüber Kühlung mit Kühlmittelölen.

#### Die Oberflächengüte.

Von den gedrehten Teilen wird verlangt, daß sie bei der vorgeschriebenen Maßgenauigkeit eine glatte und gesunde Oberfläche haben. Schon früh hat man erkannt, daß die Schnittgeschwindigkeit von großem Einfluß ist. Abb.17 gibt einen Anhaltspunkt, wie groß die Unterschiede sein können<sup>2</sup>. Die Erhebungen sind die einzelnen Vorschubrillen. Diese praktischen Versuche wurden dann von Rapatz<sup>3</sup> fortgesetzt. Hierbei ergab sich, daß bei Werkstoffen höherer Festigkeit die gesunde Oberfläche schon bei geringerer Geschwindigkeit auftritt als bei solchen mit niedriger Festigkeit. Ein weicher Flußstahl mit 0,18 C und 35,6 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit hatte bei 2 mm Spantiefe und 1,2 mm/U Vorschub erst bei etwa 40 m/min Schnittgeschwindigkeit eine gute Oberfläche. Bei einem vergüteten VCN 35 von 69 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit war dies bei gleichem Spanquerschnitt schon bei 20 m/min der Fall. Ähnlich wie die Festigkeit wirkt sich auch

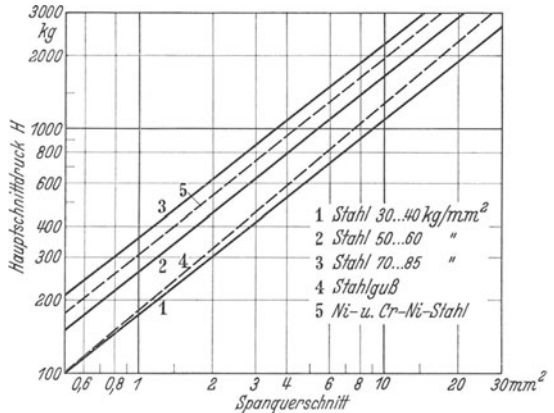
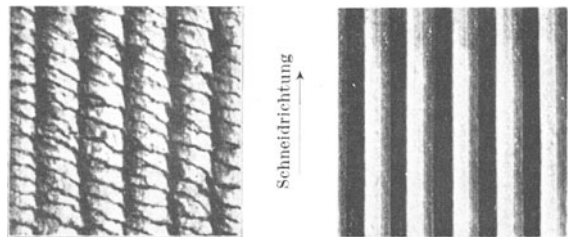


Abb. 16. Hauptspanndrücke für Schnellstahlwerkzeuge beim Drehen.

Spantiefe = 2 mm



Vorschub  $s=1,2$  mm ←

Schnittgeschwindigkeit:

3,5 m/min

35 m/min

Abb. 17. Oberflächenaussehen beim Drehen.

dann von Rapatz<sup>3</sup> fortgesetzt. Hierbei ergab sich, daß bei Werkstoffen höherer Festigkeit die gesunde Oberfläche schon bei geringerer Geschwindigkeit auftritt als bei solchen mit niedriger Festigkeit. Ein weicher Flußstahl mit 0,18 C und 35,6 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit hatte bei 2 mm Spantiefe und 1,2 mm/U Vorschub erst bei etwa 40 m/min Schnittgeschwindigkeit eine gute Oberfläche. Bei einem vergüteten VCN 35 von 69 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit war dies bei gleichem Spanquerschnitt schon bei 20 m/min der Fall. Ähnlich wie die Festigkeit wirkt sich auch

<sup>1</sup> Deutsche Übersetzung von Schallbroch: Bd. 12 (1933) Heft 15/16, S. 395.

<sup>2</sup> Krekeler: Die Prüfung der Bearbeitbarkeit der legierten Stähle für den Kraftfahrzeugbau durch spanabhebende Werkzeuge. Dissertation. Aachen 1927.

<sup>3</sup> Rapatz: Arch. für das Eisenhüttenwes. Heft 11 (1930) S. 717.

die Spanstärke aus. Je größer der Spanquerschnitt ist, desto früher tritt die gesunde Oberfläche auf.

Die Zusammensetzung und der Gefügestand des Werkstoffes sind auch von großem Einfluß auf die Oberflächengüte. Bei rostfreien Stählen wird schon bei

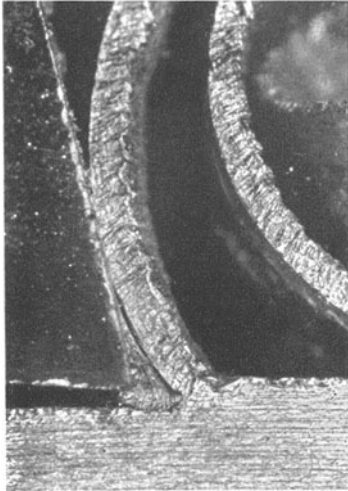


Abb. 18. Spanentstehung bei kleiner Schnittgeschwindigkeit (Bildung einer Aufbauschneide am Schneidstahl) nach Schwerd.

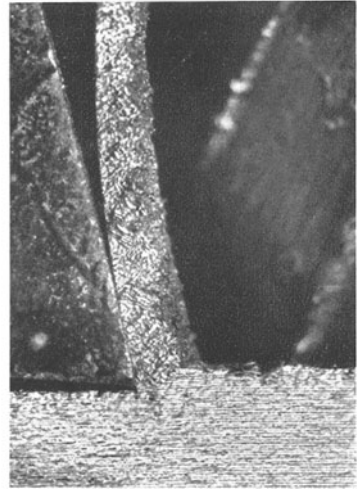


Abb. 19. Spanentstehung bei hoher Schnittgeschwindigkeit (glatte Schneide) nach Schwerd.

verhältnismäßig geringer Geschwindigkeit eine gute Oberfläche erzielt. Dagegen muß bei Werkzeugstahl mit etwa 1% C schon eine höhere Geschwindigkeit angewendet werden. Bei zu starker Weichglühung und dadurch zu starker Zusammenballung der Karbide wird die Oberfläche leicht sehr schlecht. Bei Kugellagerstahl, bei dem ganz gesunde Oberflächen verlangt werden, sollen ähnlich wie bei den Werkzeugstählen höhere Geschwindigkeiten angewendet werden. Die ganzen Betrachtungen über die Oberflächengüte gelten natürlich nur für ein unverletztes Werkzeug. Auch muß der Span ungehindert ablaufen können.

Später kam man dann durch nähere Untersuchung der Spanbildung zu wesentlichen Erkenntnissen<sup>1</sup>. Abb. 18 zeigt bei geringer Geschwindigkeit das Vorhandensein eines Schneidansatzes (auch Aufbauschneide genannt). Der keilförmige Schneidansatz trennt den Span durch Bildung eines Risses vom Werkstück (Reißspan). Dieser Riß neigt

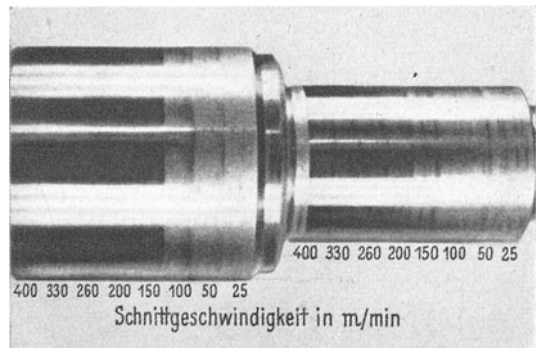


Abb. 20. Werkstück (SM-Stahl 60...70 kg/mm<sup>2</sup>), das auf der Drehbank bei gleichem Vorschub mit verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten bearbeitet wurde.

<sup>1</sup> Schwerd, Stahl u. Eisen Bd. 51 (1931) S. 481.

dazu, bald nach innen, bald nach außen zu laufen, wobei die Aufbauschneide sich häufig ablöst und neu bildet. Dadurch entsteht dann eine raue Oberfläche. Bei hohen Geschwindigkeiten (Abb. 19) verschwindet der Schneidenansatz, und es bildet sich der sogenannte Fließspan. Dieser Fließspan ist immer anzustreben, da hierbei eine gesunde Oberfläche entsteht. Abb. 20 gibt einen Überblick, wie die Oberfläche bei den verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten aussieht und wie bei 150 m/min Schnittgeschwindigkeit bei dem untersuchten Werkstoff der Fließspan und damit die gesunde Oberfläche gebildet wird.

Der Einblick in die Spanbildung wird durch neue Verfahren von Schwerd<sup>1</sup>, bei denen während der Zerspanung Filmaufnahmen gemacht werden, wesentlich gefördert. Neuerdings ist auch noch eine genaue Temperaturmessung an einer großen Anzahl von Einzelpunkten hinzugekommen, wodurch die Deutung der Spanablaufbilder wesentlich ergänzt wird.

### C. Bohren.

Die Ermittlung der Bohrbarkeit ist auch rein versuchstechnisch schwieriger als die der Drehbarkeit. Beim Bohren hat man keinen freien Schnitt und Spanablauf wie beim Drehen. Es kommt noch hinzu, daß die Form des Bohrers von sehr großem Einfluß auf die Zerspanung ist. Durch eine Reihe von guten Untersuchungen hat man jedoch schon einen großen Teil der Schwierigkeiten klären können.

**Schnittgeschwindigkeit.** Genau wie beim Drehen benötigt man zunächst die Schnittgeschwindigkeit. Als Kennzeichen für die Bohrbarkeit hat man jedoch nicht den  $v_{60}$ -Wert eingeführt, sondern den  $v_{L2000}$ -Wert. Dies geschieht aus rein praktischen Gründen. Da man beim Bohren immer nur Einzellöcher von verhältnismäßig geringer Tiefe bohren kann, ist die Zeit des Unterschnittstehens sehr kurz. Bei Bohrversuchen von 1 h Dauer müßte man mit Gesamtlochtiefe von 20 m und mehr fahren. Dies würde nicht nur großen Zeitverbrauch, sondern auch großen Werkstoffverbrauch bedeuten. Man geht daher so vor, daß man zunächst Abstumpfungversuche macht, indem der Bohrer Einzellöcher bestimmter Tiefe bis zur Abstumpfung bohrt. Durch Zusammenzählen der Einzellochtiefen ermittelt man die gesamt erreichte Bohrlänge  $L$  in mm bis zur Abstumpfung. Durch Veränderung der Schnittgeschwindigkeit stellt man dann ähnlich den  $T$ - $v$ -Kurven die  $L$ - $v$ -Kurven auf. Man gibt also nicht die Zeit an, da die gemessenen Zeiten bei den kleinen Einzellochtiefen immer nur sehr ungenau ausfallen würden. Außerdem gibt die Gesamtzeit beim Bohren keinen so anschaulichen Maßstab, weil das Werkzeug ja immer nur sehr kurze Zeit unter Schnitt steht. Man hat die Länge auf 2000 mm festgesetzt, da von diesem Wert an der Kurvenverlauf in allen Fällen eindeutig festliegt. Außerdem läßt sich dieser Wert noch versuchsmäßig ohne zu großen Werkstoffverbrauch ermitteln. Die Kennzahl für die Bohrbarkeit  $v_{L2000}$  nennt also die Schnittgeschwindigkeit, bei der man unter bestimmten Versuchsbedingungen eine Gesamtblöhlänge von 2000 mm erreichen kann, bis der Bohrer wegen Abstumpfung erneuert werden muß<sup>2</sup>. Je höher die  $v_{L2000}$ -Zahl ist, desto leichter läßt sich der Werkstoff bohren. Die  $v_{L2000}$ -Zahl ist auch in der Praxis durchaus gebräuchlich.

Beim Drehen läßt sich die Abstumpfung des Meißels durch die Blankbremsung oder das Ansteigen des Rück- oder Vorschubdruckes ermitteln. Beim Bohren ist die Beobachtung an der Schnittstelle nicht möglich, weshalb man nur

<sup>1</sup> Z. VDI. Bd. 80 (1936) S. 233.

<sup>2</sup> Zerspanbarkeitsuntersuchungen an Spiralbohrern. Bericht über betriebswissenschaftliche Arbeiten Nr. 8, 1932. VDI-Verlag. Dieser Arbeit sind die nachstehenden Werte entnommen.

den Anstieg der Schnittkräfte (Drehmoment und Vorschubdruck) als Kennzeichen für die Schneidenerstörung benutzt. Man unterscheidet: Eckenabstumpfung, Fasenabstumpfung und Querschneidenabstumpfung. Die Bezeichnungen am Spiralbohrer sind aus Abb. 21 zu ersehen. Die Eckenabstumpfung tritt am häufigsten und die Querschneidenabstumpfung am seltensten auf. Der Bohrerdurchmesser und die Bohrerlänge sind aber von Einfluß. Um die zusätzlichen Beanspruchungen, die beim Durchtritt des Bohrers beim Bohren von Durchgangslöchern entstehen, auszuschalten, werden bei solchen Versuchen nur Sacklöcher im Vollen gebohrt. Man läßt zur Sicherheit meist 10 mm Werkstoff stehen. Die zur Bestimmung der  $v_{L2000}$ -Zahl notwendige  $L$ - $v$ -Kurve hat einen ähnlichen Verlauf wie die  $T$ - $v$ -Kurve und ergibt im doppellogarithmischen Feld eine gerade Linie (Abb. 22).

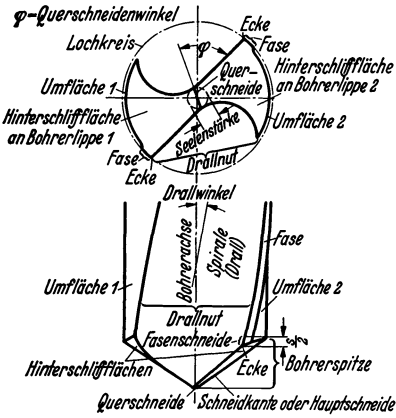


Abb. 21. Bezeichnung am Spiralbohrer.

Wenn man diese  $L$ - $v$ -Kurven für Werkstoffe verschiedener Festigkeit ermittelt, ergeben sich gute Unterschiede in der Bohrbarkeit (Abb. 23).

Nun wäre es sehr einfach, ähnlich wie beim Drehen aus einer Vielzahl solcher Versuchsergebnisse wieder eine Bestimmungstafel zusammenzustellen. Hierzu müssen aber noch nachstehende Punkte berücksichtigt werden.

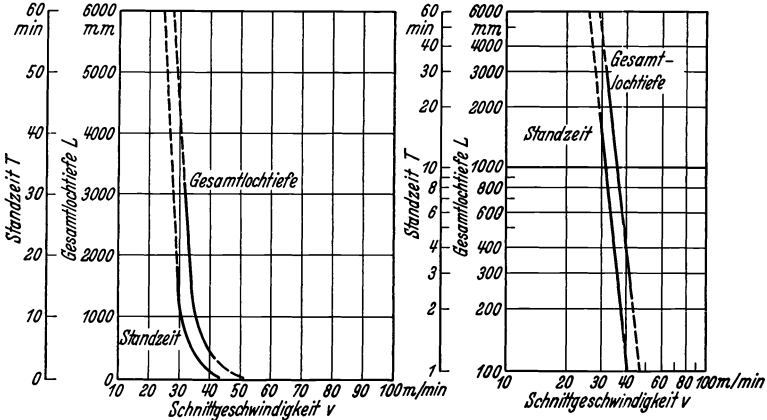


Abb. 22. Gesamtlöchtiefe  $L$  und Standzeit  $T$  eines Bohrers in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit  $v$ . Werkstoff SM-Stahlguß, 50 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit, Vorschub  $s = 0,56$  mm/U. Bohrer 22 mm  $\varnothing$  zugespitzt. Einzellöchtiefe 66 mm.

**Einfluß des Bohrerdurchmessers.** Unter sonst gleichen Schnittbedingungen zeigten die Bohrer größeren Durchmessers auch einen höheren Wert der  $v_{L2000}$  (Abb. 24). Diese Überlegenheit besteht auch, wenn man bei den größeren Durchmessern größere Einzellöchtiefen wählt. Dies rührt vor allen Dingen daher, daß in der Drallnut bei den größeren Bohrerdurchmessern ein verhältnismäßig größerer Raum zur guten und leichten Förderung der Späne zur Verfügung steht.

**Einfluß der Löchtiefe auf die Schneidhaltigkeit.** Bei der Ermittlung der  $L$ - $v$ -Kurven wird, wie schon erwähnt, die gesamte, bis zur Abstumpfung erreichte

Bohrlänge aus den Einzelbohrungen zusammengestellt. Für diese Einzelbohrungen wurde ein bestimmtes Maß, z. B. 50 mm, zugrunde gelegt. Der Vollständigkeit halber muß nun aber auch geprüft werden, wie sich die  $L$ - $v$ -Kurven und damit  $v_{L2000}$  ändern, wenn die Einzellochtiefe geändert wird. Dies stimmt auch mit

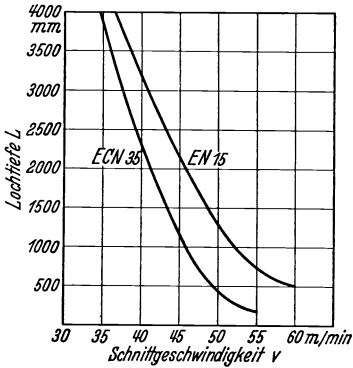


Abb. 23. Bis zur Abstumpfung erreichte Lochtiefe in Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit. Abstumpfungskurven eines guten Bohrers bei einem Vorschub  $s=0,2$  mm/U.

den Anforderungen der Praxis überein. Es zeigte sich, daß mit steigender Lochtiefe  $v_{L2000}$  geringer wurde, und zwar bei kleinerem Bohrerdurchmesser stärker als bei größerem Durchmesser. Abb. 25 zeigt die Werte für Einzellochtiefen bis 200 mm und Bohrerdurchmesser bis 45 mm. Die Abnahme der  $v_{L2000}$  mit steigender Lochtiefe ist dadurch begründet, daß infolge der schlechteren Wärmeableitung und der schlechten Späneabfuhr im Innern des Loches mit zunehmender Tiefe eine Verfestigung des Werkstoffes

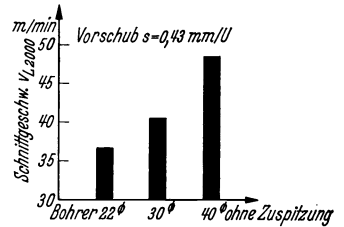


Abb. 24. Einfluß des Bohrerdurchmessers auf den  $v_{L2000}$ -Wert. Werkstoff Stg. 45.81, Kühlung: Kühlmittelöl 1:15, 8 l/min, Lochtiefe  $l=50$  mm.

eintritt. In Abb. 26 ist gezeigt, daß die Rockwellhärte, gemessen in der aufgeschnittenen Bohrung, mit zunehmender Lochtiefe größer wird.

**Einfluß des Vorschubes.** Es war zu erwarten, daß ähnlich dem Drehvorgang der Vorschub von großem Einfluß ist. Abb. 27 zeigt als Beispiel die Abnahme der  $v_{L2000}$ -Werte mit steigendem Vorschub für die angegebenen Spanbedingungen. Für andere Werkstoffe und andere Spanabmessungen sind die Zusammenhänge ähnlich.

**Einfluß des Hinterschliffes auf die Schneidhaltigkeit.** Die Größe des Hinterschliffes beeinträchtigt, wie dies auch schon bei älteren Forschungsarbeiten festgestellt wurde, die Schneidhaltigkeit des Bohrers nicht.

**Einfluß der Zuspitzung der Spiralbohrerseele (Querschneidenbreite).** An der Querschneide kann der Spiralbohrer nicht frei zerspanen, sondern nur stauchen und wegdrücken. Die Zuspitzung bezweckt eine Verringerung der Querschneidenbreite und einen besseren Auslauf der Hauptschneide an der Querschneide, um so einwandfrei zerspanen zu können. In der Praxis hat man an sich schon den Vorteil der Zuspitzung erkannt. Nur war man sich über die richtige Form nicht immer klar. Abb. 28 gibt einen guten Überblick für die möglichen Ausbildungsformen<sup>1</sup>.

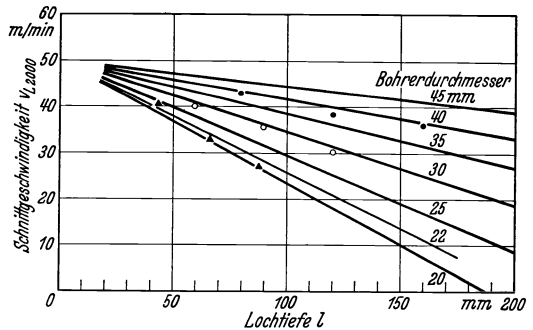


Abb. 25.  $v_{L2000}$ -Bestimmungstafel für das Bohren von Stahlguß Stg. 45.81. Vorschub  $s=0,56$  mm/U const.

Aus den Werten der erreichten Bohrlänge ist zu ersehen, daß die Zuspitzung

<sup>1</sup> Näheres s. Heft 15 der Werkstattbücher: Bohren.

nach Form I und II Vorteile ergibt. Es soll immer mit einer Maschine und nicht von Hand zugespitzt werden.

**Einfluß der Bohrerabstückung auf die Schneidhaltigkeit.** Aus Festigkeitsgründen läßt man die Spiralbohrerseele von der Spitze zum Schaft hin um etwa 40% dicker werden. Wird nun im Gebrauch der Spiralbohrer häufig nachgeschliffen, so nimmt die Quer-

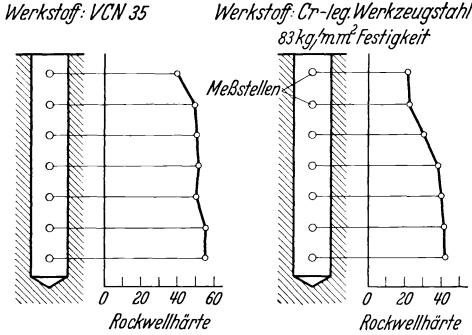


Abb. 26.

Rockwellhärte in Abhängigkeit von der Lochtiefe. Vorschub 0,26 mm/U. Vorschub 0,33 mm/U. Schnittgeschw. 15 m/min, Spiralbohrer 20 mm  $\varnothing$ , Diamantspitze 100 kg Belastung, Kühlung: Kühlmittelöl.

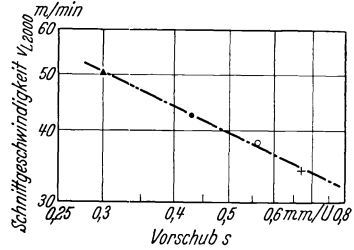


Abb. 27. Werte der Schnittgeschwindigkeit für eine bis zur Abstumpfung erreichte Bohrlänge von 2000 mm in Abhängigkeit vom Vorschub. Werkstoff: Stg 38.81, Bohrer: 22 mm  $\varnothing$  ohne Zuspitz., Lochtiefe:  $l=50$  mm.

schneidenbreite entsprechend zu. Gemäß den Ausführungen im vorhergehenden Abschnitt wird dadurch die Standzeit ungünstiger. Abb. 29 zeigt, wie mit kürzer werdendem Bohrer die bis zur Abstumpfung erreichte Lochzahl sehr stark abnimmt. Sobald man aber die Querschnide durch Zuspitzung auf gleicher Breite, z. B. 3 mm hält, ist die erreichte Lochzahl fast gleich.

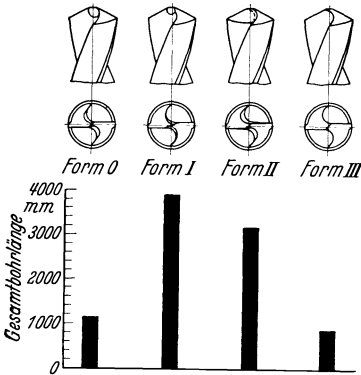


Abb. 28. Einfluß der Zuspitzungsform der Spiralbohrerseele auf die Bohrleistung. Werkstoff: Stg 50.81, Bohrer = 25 mm  $\varnothing$ , Vorschub:  $s=0,82$  mm/U, Schnittgeschw.  $v=28$  m/min, Lochtiefe:  $l=50$  mm.

**Einfluß der Festigkeit auf die Bohrbarkeit.**

Beim Drehen konnte man sagen, daß mit zunehmender Festigkeit des Werkstoffes die Drehbarkeit schlechter wird. Das gleiche trifft auch für das Bohren zu. Für die Stähle der DIN 1662 (Nickel- und Chromnickelstahl) ist die Streuung der Werte ganz gering, während sie für Stahlguß noch groß ist. Dies liegt wahrscheinlich

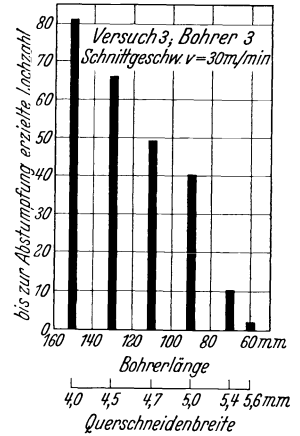


Abb. 29. Einfluß des Bohrerabschliffs auf die Schneidhaltigkeit. Werkstoff: Stg 45.81, Vorschub  $s=0,82$  mm/U, Bohrer: 22 mm  $\varnothing$  o. Zusp., Lochtiefe  $l=50$  mm.

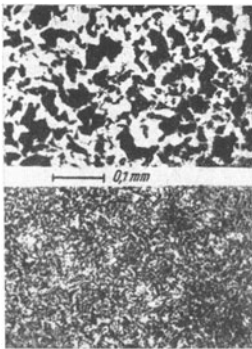
daran, daß dem gegossenen Werkstoff die gründliche Durcharbeitung fehlt, die auf die Zerspanbarkeit ausgleichend wirkt. Abb. 30 zeigt für die Stähle nach DIN 1662 aber noch, wie man durch besonderen, dem Werkstoff angepaßten Anschliff des Bohrers die  $v_{L2000}$ -Zahl gegenüber der normalen erhöhen kann (Kurve B). Dies gilt besonders für die Werkstoffe geringer Festigkeit, die als „klebend“ bekannt sind.

**Einfluß der Legierung auf die Bohrbarkeit.** Beim Kohlenstoffgehalt gilt das gleiche wie beim Drehen: Je höher der Kohlenstoffgehalt, desto schlechter die Bohrbarkeit. Das gleiche gilt für den Siliziumgehalt. Für Phosphor- und Schwefelgehalt ließen sich keine sicheren Schlüsse ziehen.

Bei Stahlguß zeigt sich, daß die Ni- und Cr-Ni-legierten Stähle schwerer zu bohren sind als die unlegierten. Beim Drehen war dieser Unterschied nicht festgestellt worden. Daher kann man bei der Betrachtung der Bohrbarkeit Stahl und Stahlguß nicht so zusammenfassen wie beim Drehen.

Bei einem Cr-Ni-Stahlguß zeigte sich außerdem noch ein großer Einfluß der Wärmebehandlung. In Abb. 31 ist trotz gleicher Analyse die Bohrbarkeit infolge der Glühbehandlung verschieden.

**Richtwerte für die Werkstatt.** Wie aus vorstehender Aufzählung der wichtigsten Punkte ersichtlich ist, muß man bei der Beurteilung der Bohrbarkeit eine Vielzahl von Einflußgrößen berücksichtigen. Trotzdem ist es gelungen, durch die  $v_{L2000}$ -Bestimmungstabellen Richtwerte für die Werkstätten aufzustellen. Für das Bohren der legierten Stähle DIN 1662 ist die Tafel Abb. 32 aufgestellt worden.



Allerdings muß die Einschränkung gemacht werden, daß sie nur für Bohrer von 22 mm Durchmesser und eine Einzellochtiefe von 50 mm gilt. Es wurde ja in den vorhergehenden Abschnitten darauf hingewiesen, daß der Bohrerdurchmesser und die Einzellochtiefe von großem Einfluß auf die  $v_{L2000}$ -Zahl sind.

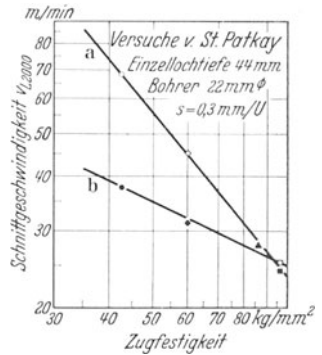


Abb. 30. Die Bohrbarkeitskennziffer der Werkstoffe EN 15, ECN 35, VCN 15, VCN 35 in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit (nach Versuchen von St. Patkay).

- Versuchswerkstoffe:
- EN 15 ● Bohrer mit normalem Schnittwinkel
  - ECN 35 ● " " " "
  - VCN 15 ▲ " " " "
  - VCN 35 ▲ " " " "
  - Schnittwinkel  $\delta = 52^\circ$
  - ◇ " " " " =  $57^\circ$
  - △ " " " " =  $60^\circ$
  - " " " " =  $60^\circ$

		$\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_s$ kg/mm <sup>2</sup>	$\delta$ %	C	Mn	Si	Ni	Wärmebehandlung	$v_{L2000}$
W 16	Cr-Ni-leg. Stg. geglüht	53,35	34,4	26,45	0,21	0,52	0,33	1,61	In 3 h auf 700° abgekühlt, in 45 h auf 50° abgekühlt, an der Luft erkaltet	22 mm/min
W 17	Cr-Ni-leg. Stg. vergütet	54,75	34,7	22,55	0,20	0,53	0,35	1,62	Von 900° in Öl abgeschreckt, 3 h in Öl auf 680° angelassen, im Ofen abgekühlt	18 mm/min

Abb. 31. Einfluß der Wärmebehandlung von Cr-Ni-leg.-Stahlguß von gleichen Festigkeitseigenschaften auf die Bohrbarkeit.

Für die Kohlenstoffstähle liegen noch nicht genügend Ergebnisse vor. Jedoch lassen sich nach den Versuchen von Patkay und Woxen schon Richtwerte für 2 Vorschübe aufstellen (Abb. 33). Eine gute Vergleichsmöglichkeit für die Bohrbarkeit von C-Stahl, Stahlguß (DIN 1681) und Cr-Ni-Stählen (DIN 1662) gibt Abb. 34.

Zum Schluß sei noch auf eine Zusammenstellung von Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben hingewiesen, wie sie von Dinnebieer und Stoewer<sup>1</sup> auf Grund

<sup>1</sup> Werkstattbücher Heft 15, S. 31 u. 32.

praktischer Erfahrungen gegeben wurde. Es zeigt sich, daß die Einordnung der Werkstoffe und die Schnittgeschwindigkeitswerte mit den Versuchsergebnissen ganz gut übereinstimmen:

Werkstoff	Bohrer $\varnothing$ mm	Schnittgeschwindigkeit $v = \text{m/min}$	Vorschub $s$ mm/U
Stahl bis 50 kg/mm <sup>2</sup>	1...10	25...35	0,05...0,18
	10...25	35...45	0,18...0,25
50...70 kg/mm <sup>2</sup>	1...10	25...30	0,05...0,18
	10...25	25...40	0,18...0,25
80...90 kg/mm <sup>2</sup>	1...10	15...28	0,03...0,12
	10...25	15...28	0,12...0,25

Bei der Verwendung von gehärteten Bohrbüchsen ist die Schnittgeschwindigkeit zu verringern, damit die Bohrerfäse sich an der Wand der Bohrbüchse nicht zu sehr abnutzt.

Bohren mit Werkzeugstahl. Bei der Verwendung von Bohrern aus Werkzeugstahl soll man im allgemeinen  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{2}$  der Geschwindigkeiten und Vorschübe anwenden, wie sie für Schnellstahl üblich sind.

Bohren mit Hartmetallwerkzeugen. Man verwendet Hartmetallbohrer zum Bohren im vollen Werkstoff und dort, wo Schnellstahlwerkzeuge versagen,

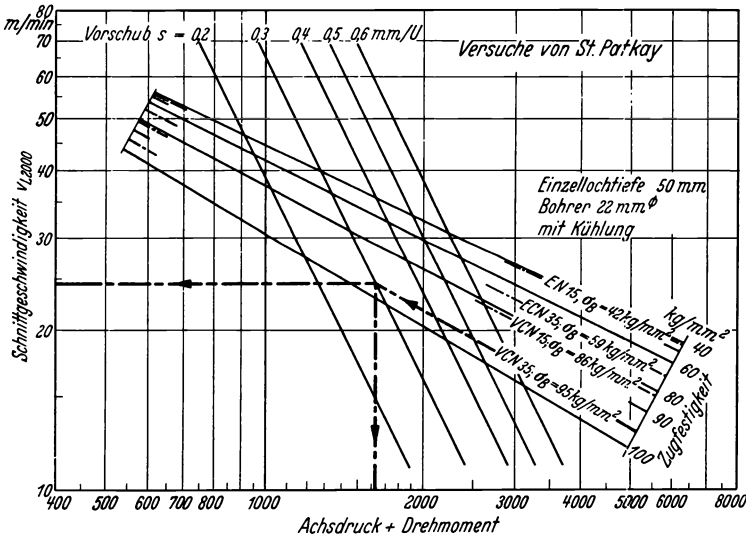


Abb. 32. Bestimmungstafel der Bohrbarkeitskennziffer (anwendbare Schnittgeschwindigkeit)  $v_{L2000}$  für das Bohren von Cr-Ni-Stahl. Gilt nur für Bohrer 22 mm  $\varnothing$  und Lochtiefe  $l = 50$  mm.

also bei Manganstählen, Hartguß, gehärtetem Stahl usw. Bei Manganstählen erreicht man Schnittgeschwindigkeiten von 10 ... 20 m/min bei einem Vorschub von 0,05 mm/U. Man soll bei Hartmetallwerkzeugen immer hohe Schnittgeschwindigkeiten und kleine Vorschübe anwenden. Es müssen aber alle Schwingungen ferngehalten werden. Für die eigentlichen Bohrer als Träger der Hartmetallschneidplättchen verwendet man bei sehr hartem Bohrgut Schnellstahl. Der Bohrer ist so kurz und so kräftig wie möglich zu halten. Die Seele ist ebenfalls stärker auszuführen, da sie durch das Aufsetzen der Plättchen geschwächt wird.

Tieflochbohren. Das Tieflochbohren wird nicht nur in der Waffenfertigung angewendet, sondern auch zur Herstellung von Arbeitsspindeln, Nockenwellen, Eisenbahnachsen u. a. m. Bis etwa 60 mm Durchmesser wird der ganze Loch-



querschnitt zerspant unter Benutzung eines Lauf- oder Spindelbohrers. Der Bohrer steht beim Arbeiten still, während das Werkstück umläuft.

Die anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe sind in Abb. 35 zu ersehen<sup>1</sup>. Der Bohrer hat die geringste Neigung zum Verlaufen, wenn mit

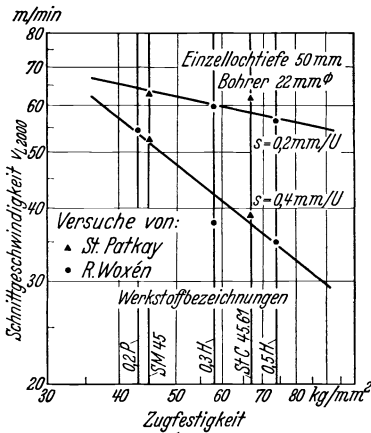


Abb. 33. Bohrbarkeitskennziffer (anwendbare Schnittgeschwindigkeit)  $v_{L2000}$  für C-Stahl in Abhängigkeit von der Festigkeit für Vorschübe 0,2 und 0,4 mm/U, Bohrer 22 mm ø.

Bei Bohrungen über 60 mm Durchmesser wird der Hohl- oder Kernbohrer angewendet, um das viele Zerspanen zu vermeiden. Es wird nur ein Kern ausgebohrt und dadurch 35 ... 40% an Zerspanungsarbeit gespart. Die Bohrköpfe werden je nach der Größe der Bohrung mit 2 ... 10 Messern versehen.

Die anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe sind in Abb. 36 zu entnehmen.

**Schnittdrücke.** Die Schnittkräfte (Drehmoment und Vorschubdruck) werden mit Meßdosen festgestellt. Die Schnittkraftmessungen von O.W. Boston und C. J. Oxford<sup>2</sup> sowie von Patkay<sup>3</sup> und des Aachener Laboratoriums zeigen, daß die Kräfte bei gleichem Bohrerdurchmesser mit fast gleichen Exponenten mit dem Vorschub ansteigen. Im doppellogarithmischen

Werkstoff	Achsdruck $A$ kg	Drehmoment $M_a$ cm kg
Stg 38.81 ..	1600 · $s^{0,97}$	1220 · $s^{0,97}$
St C 45.61 ..	2250 · $s^{0,85}$	1330 · $s^{0,85}$
VCN 15 ....	2550 · $s^{0,8}$	1280 · $s^{0,8}$

<sup>1</sup> Klein: Z. VDI Bd. 80 (1936) S. 311.

<sup>2</sup> Auszug von Schallbroch: Masch.-Bau Bd. 11 (1932) S. 96 ... 98.

<sup>3</sup> Werkst.-Techn. Bd. 22 (1928) S. 677.

<sup>4</sup> Bericht über betriebswissenschaftliche Arbeiten Bd. 8 S. 25.

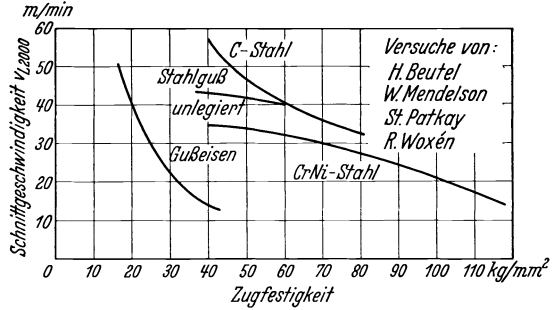


Abb. 34. Bohrbarkeitskennziffer (anwendbare Schnittgeschwindigkeit) in Abhängigkeit von der Festigkeit von Ge, Stg, C- und Cr-Ni-Stahl für Vorschub  $s = 0,4$  mm/U, Bohrer 22 mm ø.

hoher Schnittgeschwindigkeit und kleinem Vorschub gearbeitet wird. Beim Nachbohren sind kleinere Schnittgeschwindigkeiten und größere Vorschübe anzuwenden, zum Reiben noch kleinere Geschwindigkeiten und noch größere Vorschübe.

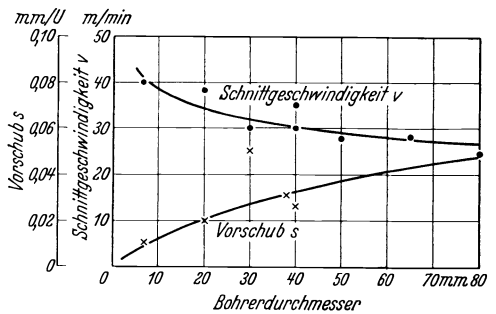


Abb. 35. Schnittgeschwindigkeit und Vorschub beim Tiefbohren mit Schnellstahlbohrern in Stahl von 60 ... 70 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit.

Feld sind die Schnittkräfte für gleichen Bohrerdurchmesser parallele Geraden, und man kann die Exponentialgleichungen für die Abhängigkeit vom Vorschub aufstellen<sup>4</sup>. Für einen Bohrerdurchmesser von 22 mm sind nebenstehend einige Beispiele gegeben.

Es ist wirtschaftlich, mit großen Vorschüben und kleineren Schnittgeschwindigkeiten zu arbeiten. Die Lebensdauer des Bohrers wird gemäß dem im vorhergehenden Gesagten durch die Schnittgeschwindigkeit stärker verringert als durch den Vorschub. Man muß nun einen vernünftigen Ausgleich finden: Man wählt

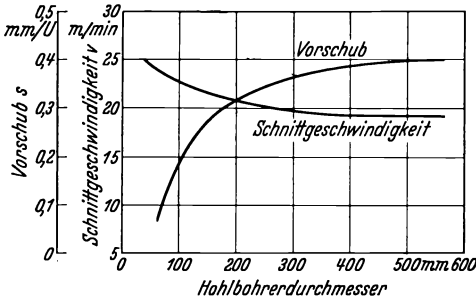


Abb. 36. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe für Hohlbohrer.

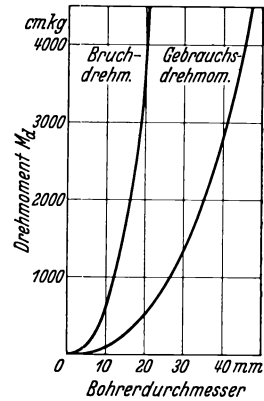


Abb. 37. Bruchdrehmoment handelsüblicher Spiralbohrer im Vergleich zum Gebrauchsdrehmoment.

den Vorschub so hoch, daß die zugeordneten Schnittkräfte die Grenzen, die durch Starrheit des Bohrers, der Maschinen und des Werkstückes gezogen sind, nicht überschreiten. Stoewer<sup>1</sup> gibt einen guten Hinweis für einen genügend sicheren Abstand zwischen Bruchdrehmoment und Gebrauchsdrehmoment (Abb. 37).

Um die Bohrmaschinen nicht durch zu hohe Bohrdrücke zu beanspruchen, empfiehlt es sich, mittlere Vorschübe anzuwenden.

### D. Senken.

Die Senker werden in der spangebenden Formung sehr oft gebraucht. Sie dienen zum Einsenken von Schraubenköpfen und profilierten Vertiefungen, zum Ansenken von Nabenflächen und Aufsenken vorgebohrt oder vorgegossener Löcher. Man unterscheidet Zapfensenker, Messerstangen- und Spiralsenker<sup>2</sup>. Bei den erstgenannten Gruppen können die Senker die verschiedensten Formen annehmen. Näher untersucht sind die Arbeitsverhältnisse bei Spiralsenkern<sup>3</sup>. Die Spiralsenker werden benutzt, wenn ein vorgebohrtes oder vorgegossenes Loch hinsichtlich seiner Rundheit, seiner Achsenflucht und seines Durchmessers so vorbereitet werden soll, daß es durch das nachfolgende Reiben bei geringster Spanabnahme die verlangte Genauigkeit hat. Dieser Arbeitsvorgang kommt nur für Passungsbohrungen in Betracht. Beim Senken wird im Gegensatz zum Reiben noch eine

Zu bearbeitender Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min					
	Spiralsenker		Zapfensenker		Messerstange	
	Werkzeugstahl	Schnellstahl	Werkzeugstahl	Schnellstahl	Werkzeugstahl	Schnellstahl
Maschinenstahl } weich	10	20	8	14	6	8
Werkzeugstahl } mittel	8	15	7	12	5	6
Stahlguß . . . . } hart	5	10	5	8	4	5

<sup>1</sup> Werkstattbuch Heft 15 S. 26.

<sup>2</sup> Näheres siehe Heft 16 der Werkstattbücher: Senken und Reiben.

<sup>3</sup> Schallbroch: Dissertation, Aachen 1930. Untersuchungen über das Senken und Reiben von Eisen-, Kupfer- und Aluminiumlegierungen.

ziemlich große Spanmenge abgehoben, dadurch daß die Löcher um 0,7 ... 3 mm und mehr im Durchmesser erweitert werden. Die Senker (DIN 222 usw.) erhalten geringe Zähnezahl und die Schneiden in Schraubenlinie einen positiven Spanwinkel. Der Drallwinkel ergibt den Spanwinkel der Stirnschneide. Die Schnittgeschwindigkeit ist aus der Zahlentafel S. 24 zu ersehen.

Der Vorschub soll laut nachstehender Tabelle betragen:

Zu bearbeitender Werkstoff	Werkzeug	Vorschub $s$ in mm/U für Bohrungen in mm			
		10 ... 15	16 ... 25	26 ... 40	
Stahl	Spiralsenker	Werkzeugstahl	0,1 ... 0,15	0,15 ... 0,25	0,25 ... 0,45
		Schnellstahl	0,15 ... 0,25	0,25 ... 0,35	0,35 ... 0,45
Stahlguß	Zapfensenker	Werkzeugstahl	0,1	0,1	0,15
		Schnellstahl	0,1	0,15	0,2
	Messerstange (Naben abflachen)	Werkzeugstahl	—	0,02	0,025
		Schnellstahl	—	0,02	0,025

Die Werte gelten auch für Schnellstahl, da sich der bessere Stahl nur durch Verlängerung der Schnitthaltigkeit bemerkbar macht.

Durchmesser, Spantiefe und Vorschub haben keinen Einfluß auf die Reibüberweite. Die Auswirkungen des Kühlmittels überwiegen bei weitem.

Nach den Versuchen von Schallbroch ergibt sich ein Zusammenhang von Vorschubdruck, Drehmoment beim Senken und Reiben dadurch, daß die Exponentialgleichungen eine gewisse Ähnlichkeit haben. Als Anhaltspunkt für die Größenordnung des Achsdruckes diene Abb. 38 für St 60.11 und einen Dreilippensenker DIN 343.

### E. Reiben.

Die Reibahle ist ein ausgesprochenes Feinschnittwerkzeug<sup>1</sup>. Vorgesenkte Bohrungen sollen möglichst rund und glatt werden. Die Spanabnahmen betragen etwa 0,1 ... 0,8 mm im Durchmesser. Von Bedeutung ist der Anschnitt, der Drall und die Schneidenform beim Reiben. Der Anschnitt ist für Stahl, Temperguß und Bronze ganz kurz, während er bei Gußeisen länger ist. Auch ist bei Handreibahlen der Anschnitt länger als bei Maschinenreibahlen. Der Anschnitt muß sorgfältig auf einer Vorrichtung geschliffen und gewetzt werden.

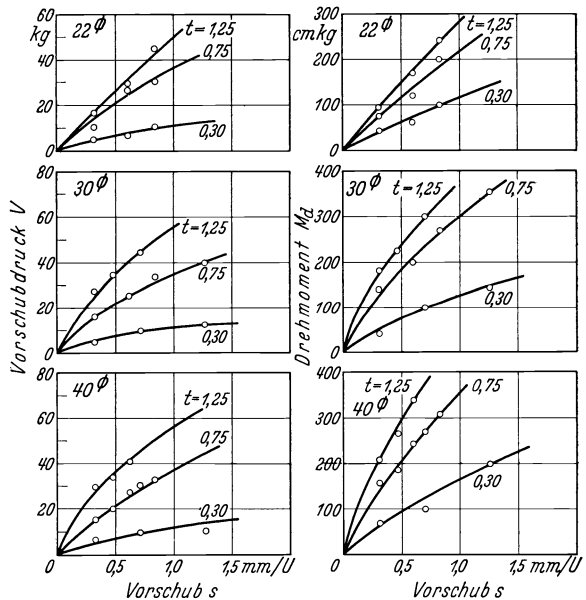


Abb. 38. Schnittkräfte beim Senken von Fe-Legierungen. Einfluß von  $D$ ,  $t$ ,  $s$ ;  $v = 5$  m/min. Senken St 60.11, Dreilippensenker DIN 343. Bohrölemulsion 1:15.

<sup>1</sup> Näheres siehe Heft 16 der Werkstattbücher: Senken und Reiben.

Wetzen von Hand ist unbedingt zu vermeiden. Für Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe sind nachstehende Richtwerte gültig:

Zu bearbeitender Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min Reibahle aus	
	Werkzeugstahl	Schnellstahl
Maschinenstahl } weich	4 ... 5	5 ... 6
Werkzeugstahl } mittel	3 ... 4	4 ... 5
Stahlguß } hart	2 ... 3	3 ... 4

Zu bearbeitender Werkstoff	Reibahle aus	Vorschub $s$ in mm/U für Bohrungen in mm				
		1 ... 5	6 ... 10	11 ... 15	16 ... 25	26 ... 40
Stahl und Stahlguß	Werkzeugstahl und Schnellstahl	0,3	0,3...0,4	0,3...0,4	0,4...0,5	0,5...0,6

Über die Schnittdrücke beim Reiben hat Schallbroch Werte gegeben. Einen Anhaltspunkt für die Größenordnung gibt Abb. 39.

F. Fräsen.

Die Aufstellung von Richtlinien für die Zerspanbarkeit im Fräsvorgang ist sehr schwierig, da die Anzahl der Veränderlichen noch viel größer ist als z. B. beim Drehen und Bohren. Wegen der Vielgestaltigkeit des Werkzeuges<sup>1</sup> und der Schnittbedingungen sind die Versuchsergebnisse auch sehr schwer miteinander zu vergleichen. Deshalb wird auch vorzugsweise die Zerspanbarkeit beim Walzenfräsen betrachtet.

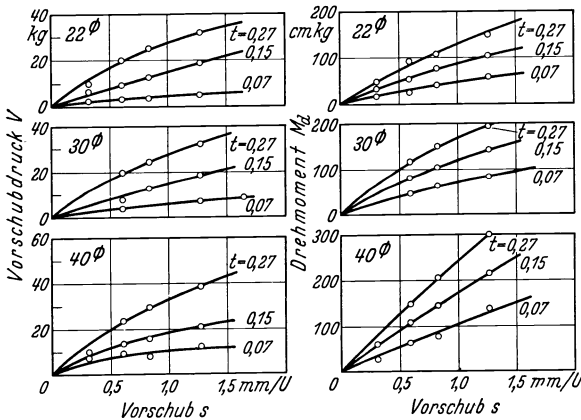


Abb. 39. Schnittkräfte beim Reiben von Fe-Legierungen. Einfluß von  $D, t, s; v = 5$  m/min. Reiben St 60.11. Reibahlenform R; DIN 219. Bohrölemulsion 1:15.

Für die Schnittwinkel an der Fräferschneide, rechtwinklig zur Schneidkante gemessen, gelten ähnliche Verhältnisse wie beim Drehmeißel. Entsprechend den früher aufgestellten Richtlinien sollen durch die richtige Schneidenform Fließspäne entstehen.

Die nachstehenden Schneidenwinkel sind gebräuchlich:

Werkstoff	Spanwinkel $\gamma$	Freiwinkel $\alpha$
Stahl DIN 1611, 1661, 1662 } Stahlguß DIN 1681 }	10 ... 15°	5 ... 10°

Bei höheren Festigkeiten ist der kleinere Spanwinkel, bei großem Vorschub der größere Freiwinkel zu wählen.

**Schnitttiefe, Vorschub und Schnittgeschwindigkeit** werden am besten zusammen betrachtet. Abb. 40 zeigt die Spanverhältnisse bei kleinen Schnitttiefen und großem Vorschub/Zahn und großer Schnitttiefe und kleinem Vorschub/Zahn<sup>2</sup>.

Um auf eine große Spanmenge zu kommen, ist es besser, mit großem Vorschub

<sup>1</sup> Näheres siehe Heft 22 der Werkstattbücher: Fräser.

<sup>2</sup> Brödner: Zerspanbarkeit. VDI-Verlag.

und kleiner Schnitttiefe zu arbeiten. Setzt man nun noch als dritte Größe die Schnittgeschwindigkeit ein, so ergibt sich folgende sehr wichtige Grundregel<sup>1</sup>:

Beim Grobschnitt, wo man bei geringer Sauberkeit und Genauigkeit große Spanmengen haben muß, wird mit großem Vorschub und kleinen Schnittgeschwindigkeiten gefräst.

Beim Feinschnitt, wo man die Maßhaltigkeit und gute Oberflächenbeschaffenheit erzielen will, arbeitet man mit größerer Geschwindigkeit und kleinem Vorschub.

Mit Rücksicht auf die Schneidhaltigkeit der Fräserzähne, die Güte der Oberfläche und die Leistungsaufnahme der Maschine soll man mit möglichst geringer Schnittgeschwindigkeit arbeiten.

Die Vorschubwerte beim Grobschnitt liegen zwischen 100 und 500 mm/min und beim Feinschnitt zwischen 10 und 50 mm/min. Die Fertigungszeit hängt von der Vorschubgeschwindigkeit und nicht von der Umfangsgeschwindigkeit des Fräasers ab. Die Schnittgeschwindigkeiten sind aus der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß man die richtige Geschwindigkeit ausprobieren muß, um für die Maschine, den Fräser, den Dorn usw. ratterfreies Arbeiten zu erreichen.

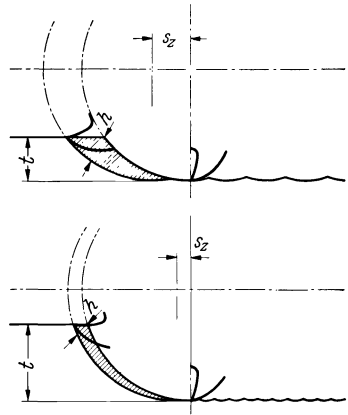


Abb. 40. Spanbildung beim Fräsen.  
 $t$  = Schnitttiefe,  $s_z$  = Vorschub/Zahn,  
 $h$  = Spandicke.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min			
	Schnellstahl		Hartmetallschneide	
	Grobschnitt	Feinschnitt	Grobschnitt	Feinschnitt
Stahl DIN 1611, 1661, 1662 } Stahlguß DIN 1681 }	8 ... 15	15 ... 25	30 ... 80	90 ... 130

Bei Hartmetallen werden die Geschwindigkeiten höher genommen, um diese Werkzeuge auszunutzen. Man hat dann auch noch den Vorteil, daß hier geringe Schnittdrücke das Werkzeug mehr schonen. Im übrigen soll man aber mehr die längere Standzeit ausnutzen als mit der Geschwindigkeit an die obere Grenze zu gehen.

**Die Schnittdrücke.** Eisele<sup>2</sup> hat die drei Teilkräfte des Schnittdruckes, nämlich den Vorschubdruck (Waagrechtendruck), den Rückdruck (Senkrechtendruck) und den Achsdruck gemessen. Abb. 41 gibt einen Anhaltspunkt über die Größenordnung der einzelnen Kräfte. Hierbei ist von Interesse, daß der Vorschubdruck  $V$  nicht verhältnismäßig, sondern langsamer als die Vorschubgeschwindigkeit anwächst. Man soll also mit großen Vorschubgeschwindigkeiten arbeiten.

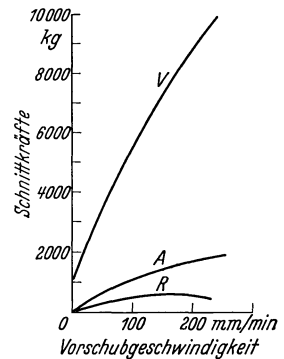


Abb. 41. Größte Schnittkräfte beim Fräsen verschiedener Werkstoffe.

St 70.11, 125 · 13, 10 m/min, Walzenfräser 108  $\varnothing$ , 11 Z,  $V$  = Schnittkraftkomponente in Vorschubrichtung,  $R$  = Schnittkraftkomponente rechtwinklig zum Vorschub (Rückdruck),  $A$  = Schnittkraftkomponente in Achsrichtung des Fräasers (nach Fr. Eisele).

<sup>1</sup> Wanderer-Fräsen Nr. 9.

<sup>2</sup> Bericht über betriebswissenschaftliche Arbeiten Bd. 7. VDI-Verlag.

G. Sägen.

Man unterscheidet im Rahmen der hier zu behandelnden Zerspanungsfragen beim Sägen: 1. Bügelsägen, 2. Kaltkreissägen, 3. Metallbandsägen.

Die Bügelsägen haben ein in einem Bügel befestigtes Langsägeblatt mit hin- und hergehender Bewegung, das nur beim Rückhub schneidet.

Für den Werkstattbetrieb sind folgende Schnittbedingungen von Interesse: Schnittgeschwindigkeit, Bügeldruck, Art und Form der Sägen, Kühlung. Bei Versuchen von Wallichs und Seul<sup>1</sup> wurden diese Punkte untersucht.

Die angewendeten Schnittgeschwindigkeiten schwankten zwischen 10 und 30 m/min.

Es ergeben sich folgende Richtlinien:

Wenn man kurze Trennzeiten und lange Lebensdauer der Sägeblätter erreichen will, muß man hohen Bügeldruck und niedrige Schnittgeschwindigkeiten anwenden. Der Bügeldruck ist aber nach oben begrenzt durch die Festigkeit der Zähne und des ganzen Sägeblattes.

Bei harten Werkstoffen, z. B. St C 60.61, ist eine Zahnform mit negativem und bei weichen Werkstoffen, z. B. St 37.12, mit positivem Spanwinkel vorzuziehen. Die Zahnteilung soll für harte Werkstoffe fein und für weiche grob sein. Sie ist aber außerdem von der Größe der zu sägenden Stücke abhängig. Bei dünnwandigen Rohren, Drähten, Kabeln muß die Teilung sehr fein sein.

Die Kaltkreissägen<sup>2</sup>. Am häufigsten werden wohl noch die Kaltkreissägenblätter verwendet. Das Kennzeichen einer Kaltkreissäge gegenüber einem Fräser ist die geringere Starrheit und die kleine Schnittbreite. Von den Vollstahlblättern ist man inzwischen zu den Sägeblättern mit eingesetzten Zähnen aus Schnellstahl

oder Hartmetall übergegangen.

Die Zahnform hat auch eine gründliche Wandlung zur Verbesserung der Schneidfähigkeit durchgemacht. Man legt Wert auf eine genügend große und richtig

ausgebildete Spankammer. Obige Winkel an den Zähnen haben sich bewährt.

Die Zahnteilung und die Blattstärke richten sich nach DIN oder Angaben der Herstellerfirmen. Je größer die Spantiefe und Schnittlänge, desto gröber muß die Zahnteilung sein. Grundsätzlich soll man die Schnittgeschwindigkeit so hoch wählen, wie es der Werkstoff nur irgendwie zuläßt. Für die Schnittgeschwindigkeit werden von R. Stock & Co. nachstehende Erfahrungswerte angegeben:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit für		
	feine Zahnteilung 1 ... 5 mm bis 10 mm Tiefe bis 20 mm Länge m/min	mittlere Zahnteilung 3 ... 10 mm bis 25 mm Tiefe über 100 mm Länge m/min	grobe Zahnteilung 7,5 ... 14 mm bis 100 mm Tiefe über 100 mm Länge m/min
Stahl bis 50 kg/mm <sup>2</sup>	80 ... 100	70 ... 80	40 ... 50
50 ... 70 kg/mm <sup>2</sup>	70 ... 90	60 ... 70	30 ... 40
70 ... 90 kg/mm <sup>2</sup>	50 ... 60	40 ... 50	20 ... 30
90 ... 110 kg/mm <sup>2</sup>	30 ... 40	25 ... 40	15 ... 20
ungehärtet $\left\{ \begin{array}{l} \text{Werkzeugstahl} \\ \text{Schnellstahl} \\ \text{Nichtrostender} \\ \text{Stahl} \end{array} \right.$	30 ... 40	25 ... 40	15 ... 20

<sup>1</sup> Wallichs-Seul: Die Werkzeugmaschine Mai 1934, Heft 8 ... 9.

<sup>2</sup> Näheres siehe Heft 40 der Werkstattbücher: Das Sägen der Metalle.

Diese Werte gelten für Schnellstahlsägen. Bei Verwendung von Werkzeugstahlsägen sind nur die halben Schnittgeschwindigkeitswerte einzusetzen.

**Die Metallbandsägen.** Metallbandsägen haben in neuerer Zeit ein erweitertes Anwendungsgebiet gefunden. Der AWF hat eine Zusammenstellung der Erfahrungswerte über Schnittgeschwindigkeit und Zahnteilung herausgegeben<sup>1</sup>. Wenn auch das Hauptanwendungsgebiet die Zerteilung von weichen Stoffen ist, so wird doch auch mehr und mehr Stahl gesägt.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min	Zahnteilung Zähne/1"	Form des Sägegutes
Stahl bis 50 kg/mm <sup>2</sup>	40 ... 45	6 ... 10	Platten
50 ... 70 kg/mm <sup>2</sup>	30 ... 40	8 ... 14	Stäbe
70 ... 90 kg/mm <sup>2</sup>	20 ... 30	12 ... 18	"
90 ... 110 kg/mm <sup>2</sup>	8 ... 10	18 ... 24	"
unge- } Werkzeugstahl } härter } Schnellstahl }	8 ... 10	18 ... 24	
Stäbe Profileisen und Rohre Bleche	2700 ... 4800 für Schmelzschnitt	abgenutzte Sägebänder	{ bis 30 mm $\varnothing$ und bis 5 mm Wanddicke bis 3 mm

Je härter die Werkstoffe sind, desto schwieriger ist es, saubere und genaue Schnitte zu erhalten. Es bereitet dann Schwierigkeiten, genaue und gleich große Stangenabschnitte, z. B. für Geschoßherstellung oder Gesenkschmiedestücke, zu schneiden. Auf die Sägebandführungen ist besonders Wert zu legen.

## H. Gewindeschneiden mit Gewindebohrer, Schneideisen und Schneidkopf.

Die Hauptforderung ist die Genauigkeit des Gewindes. Die reinen Zerspanbarkeitseigenschaften der Werkstoffe treten wegen des gehemmten Spanablaufes nicht so in Erscheinung wie bei den anderen Arbeitsvorgängen.

Die Gewindetoleranzen sind in DIN 2244 festgelegt. Es ist daher die Forderung aufzustellen, daß die Schneidwerkzeuge so bemessen sind, daß diese Vorschriften eingehalten werden. Dadurch ist auch die Form der Werkzeuge festgelegt in bezug auf Länge des Anschnittes, Nutenzahl und Form, Schnittwinkel und Unterteilung der Satzbohrer. Von den die Zerspanbarkeit beeinflussenden Größen sind einige sehr wichtige auch durch das Werkzeug bzw. die vorgeschriebenen Abmessungen der Werkstücke gegeben: Vorschub und Spantiefe. Für den Betrieb bleiben daher als Veränderliche die Lochtiefe, Schnittgeschwindigkeit, Kühlmittel und natürlich der Werkstoff.

**Schneideisen.** Über die Schneideisen fehlen genaue Unterlagen. Daher können hier nur einige Richtlinien gegeben werden. Der Anschnittwinkel soll 25 ... 30° betragen; die Länge des Anschnittes soll etwa 1½ Gang sein. Schnittgeschwindigkeit für Stahl 3 ... 4 m/min. Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten leidet die Sauberkeit des Gewindes.

Bei Schneideisen aus Schnellstahl soll die Schnittgeschwindigkeit nicht erhöht werden, dafür wird die Standzeit und die Genauigkeit verbessert.

**Selbstöffnender Schneidkopf.** Bei Versuchen mit diesen Köpfen<sup>2</sup> wurde festgestellt, daß der gehemmte Spanablauf die reinen Zerspanungsmerkmale des Werkstoffes völlig überdeckt. Bei 6 m/min Schnittgeschwindigkeit war keine gesunde Oberfläche zu erzielen. Die Geschwindigkeiten, mit denen man bei den üblichen

<sup>1</sup> AWF-Mitt. 1932 Heft 8.

<sup>2</sup> Schimz: Arch. für das Eisenhüttenwes. Heft 1 (1931/32) S. 35/44.

Werkstoffen gute Oberflächen erhalten kann, liegen viel höher. Von den Legierungsbestandteilen wirkt der Kohlenstoff stärker verschleißend als der Phosphor. Schimz kommt auch zu dem Schluß, daß beim Außengewindeschneiden mit selbstöffnendem Kopf mit radial angeordneten Schneidbacken besondere Schwefel-Phosphorzusätze im Werkstoff aus Gründen der Zerspanbarkeit und guten Oberfläche nicht notwendig sind.

**Gewindebohrer.** Das Gewindebohren ist schon in einer Reihe von Arbeiten untersucht<sup>1</sup>. Wenn man zugrunde legt, daß der Gewindebohrer an sich gegeben ist, so können sich nur der geschnittene Werkstoff, die Lochtiefe und die Schnittgeschwindigkeit ändern. Letztere aber nur in engen Grenzen, weil beim Gewindebohren die Späneabfuhr eine noch größere Rolle spielt als beim Schneiden mit Außengewindebacken.

Die Toleranz ist auch von Einfluß, weil jeder Gewindebohrer etwas aufschneidet. Das Maß des Aufschneidens ist abhängig von dem Werkstoff, von der Lochtiefe, von der Form des Gewindebohrers und in gewissem Sinne auch von der Schnittgeschwindigkeit. Die Länge des Anschnittes ist auch von Bedeutung. Bei Sacklöchern wird der Anschnitt durch die Eigenart der Löcher bestimmt, da der Fertigschneider möglichst bis auf den Grund ausschneiden soll. Bei den Durchgangslöchern gilt als Richtlinie, daß für tiefe Löcher der kurze Anschnitt richtig ist. Nach Angabe von Stoewer steigt z. B. bei der dreifachen Anschnittlänge das Drehmoment bei großer Lochtiefe sehr stark an, so daß der Versuchsbohrer nach 26 mm Bohrung festsaß, während bei geringer Anschnittlänge der Schneidvorgang von der Lochtiefe ziemlich unabhängig war. Allerdings steigt mit kürzerem Anschnitt die Belastung des einzelnen Zahnes und damit die Abnutzung (vgl. auch Arbeit Schimz). Im Interesse der Lebensdauer muß daher der Anschnitt so lang gewählt werden, wie es die Kräfte zulassen. Ein Bohrer M 12 benötigte bei einem Anschnitt von 7,5 mm Länge und Schneiden in St C 60.61 ein Drehmoment von 150 cmkg. Aus der von Stoewer aufgestellten Kurve der Bruchmomente von Gewindebohrern ( $M_d = 0,55 D^{2,8}$ ) ist ersichtlich, daß der Bohrer zum Bruch ein Drehmoment von 600 cmkg aufnehmen kann. Dies ist also noch genügend Sicherheit. Bei der Bemessung der Anschnittlänge muß daher Drehmoment, Bruchmoment und Schnitthaltigkeit des Bohrers berücksichtigt werden.

Bei kurzen Durchgangslöchern (Muttern) ist ein Anschnitt, der ein Vielfaches der Lochtiefe beträgt, am günstigsten.

**Einfluß des Spanwinkels.** Mit Vergrößerung des Spanwinkels tritt eine Verringerung des Drehmomentes ein. Man kann auf Winkel zwischen 12 und 18° gehen. Die Nutenzahl ist insofern von Einfluß, als man auf möglichst große Spanlücken achten muß. Dreinutige Bohrer schneiden daher leichter als viernutige. Das Gewindeloch muß größer sein als der Kerndurchmesser der Mutter, um den Kraftaufwand beim Schneiden zu verringern.

**Die Schnittgeschwindigkeit.** Durch Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit kann man die Zeit zum Schneiden eines Gewindes meist nur unwesentlich verringern; außerdem wird mit höherer Schnittgeschwindigkeit die Spanabfuhr immer schwieriger.

Richtwerte: Werkzeugstahl-Gewindebohrer . . . . 5 ... 10 m/min,  
Schnellstahl-Gewindebohrer . . . . 10 ... 20 m/min.

Es sind aber auch schon Dauerleistungen von 25 m/min erreicht. In den meisten Fällen schneidet der Bohrer um so mehr auf, je höher die Schnittgeschwindigkeit ist.

<sup>1</sup> Stoewer, Dr. H. J.: Masch.-Bau Heft 2 (1932) S. 518.



Geschliffene oder geschnittene Gewindebohrer. Bei Bohrern aus Werkzeugstahl beträgt der Anteil der geschnittenen Bohrer (nach Feststellung von R. Stock & Co.) 86 %, der der geschliffenen 14 %. Bei Schnellstahlbohrern ist es umgekehrt: Anteil an geschliffenen Bohrern 92 %, an geschnittenen 8 %.

Dies ist so zu erklären: Für normale Arbeitsvorgänge genügt die Genauigkeit der geschnittenen Werkzeugstahlbohrer, da die Toleranzen nach DIN-Mittel verlangt werden. Die geschliffene Ausführung kommt nur dort in Frage, wo besondere Genauigkeit verlangt wird.

Bei Schnellstahlwerkzeugen ist der Härteverzug größer. Dieser kann durch Schleifen der Gewindegänge beseitigt werden. Man kann dann aber auch die volle Leistung des Schnellstahles ausnutzen. Der geringe Bezieherkreis von nur geschnittenen Schnellstahlgewindebohrern verzichtet wahrscheinlich bewußt auf die volle Ausnutzung der Schnittleistung.

## J. R ä u m e n .

Unter Räumen versteht man einen spangebenden Arbeitsvorgang mit einem in seiner Längsachse geradlinig bewegten Mehrfachscheidwerkzeug (Räumnadel)<sup>1</sup>. Wegen der hohen Werkzeugkosten ist es nur bei großen Stückzahlen lohnend. Die Räumnadel wird für bestimmte Arbeit, Werkstoff und Zugkraft gefertigt. Die abzunehmende Spanstärke je Zahn beträgt 0,02 ... 0,12 mm. Der Span soll nicht schwächer gehalten werden, da der Zahn sonst nicht schneidet. Es sollen mindestens 2, höchstens 3 Zähne gleichzeitig schneiden. Die Winkel werden in Abb. 42 bezeichnet.

Für Stahl und Stahlguß gelten noch folgende Werte als im Betrieb ausprobiert: Spanwinkel  $\gamma = 10 \dots 16^\circ$ , Rückenwinkel  $\alpha = 1 \dots 1,5^\circ$ , Fasenbreite = 0,4 ... 1 mm.

Große Fasenbreite verringert die Neigung zum Verlaufen, erhöht aber den Kraftbedarf. Die Zahnücke (Spanraum) muß sorgfältig ausgebildet werden. Werkstoffe mit großer Lockenbildung (Stahl, Stahlguß) erfordern größere Spanräume mit größerem Radius als bröckelnde Werkstoffe (Gußeisen).

Die Schnittgeschwindigkeitswerte sind wie folgt:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min	Form des Loches
Stahl, Stahlguß . . . . .	3,0	Einfache Räumvorgänge
Legierte Stähle . . . . .	2,0	Schwierigere Räumvorgänge

Die Schnittgeschwindigkeiten sind meist schon von vornherein durch die Konstruktion der Maschine festgelegt und wenig veränderlich.

## K. Schleifen.

Das Schleifen<sup>2</sup> ist eine spanabhebende Formung, bei der mit neuzeitlichen Maschinen beachtliche Spanleistungen erzielt werden. Die Versuche über den Schleifvorgang sind noch sehr unvollkommen. Zum besseren Verständnis der nachstehenden Richtwerte, die auf Grund von Versuchen und praktischen Erprobungen zusammengestellt sind, muß das Werkzeug kurz gekennzeichnet werden.

**Die Schleifscheibe.** Es gibt 2 Hauptgruppen von Schleifmitteln:

1. Natürlicher und künstlicher Korund (Aluminiumoxyd). Der wichtigste natür-

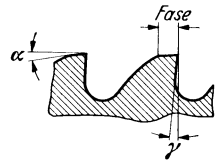


Abb. 42. Schnittwinkel bei Räumnadeln.

<sup>1</sup> Näheres siehe Heft 26 der Werkstattbücher: Räumen. Vgl. auch AWF-Mitt. Bd. 64.

<sup>2</sup> Vgl. auch Heft 5 der Werkstattbücher: Schleifen.

lich vorkommende Korund ist der Schmirgel (Naxos). Der künstliche Korund (Elektrokorund) wird aus Bauxit mit elektrischem Lichtbogen hergestellt. Diese Schleifscheiben werden für gehärteten und ungehärteten Stahl sowie Stahlguß benutzt.

2. Siliziumkarbid wird im elektrischen Ofen aus Koks, Quarz, Sand, Salz u. a. m. erschmolzen. Es dient zum Schleifen von Gußeisen, Temperguß, Hartmetallen, Leichtmetallen und allen nichtmetallischen Stoffen.

Die beiden Arten von Schleifmitteln können sich nicht ersetzen, sondern sollen sich ergänzen.

Für die richtige Anwendung der Scheiben sind die Bindungen und die Körnung wichtig. Die keramische Bindung besteht aus verschiedenen Tönen in Weißglut gebrannt. Etwa 90% aller Scherben sind keramisch gebunden. Vegetabilische Bindungen haben als Bindemittel Bakelit, Schellack, Gummi u. a. m.

Die Körnung wird meist nach der Zahl der Maschen auf 1 Quadratzoll bestimmt, durch die die Körner gerade noch hindurchfallen (DIN 1171 bezieht die Maschenzahl auf 1 cm Länge des Siebes). Je kleiner die Zahl der Maschen, desto größer das Korn, z. B.:

sehr grob . . . Korn 10, 12, 14  
fein. . . . . Korn 60, 70, 80.

Die Härte der Scheibe richtet sich nicht nach der Härte des Kornes sondern der Bindung. Diese Härte ist aber nicht zu verwechseln mit der Arbeitshärte, bei der die Schneidkraft der Körner eine Rolle spielt. Sie nimmt mit der Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe zu der ab. Die Scheibenhärte wird mit Buchstaben des Alphabets bezeichnet, wobei z. B. mit E eine weiche Scheibe und mit U eine harte Scheibe gemeint ist. Dazwischen liegen die verschiedenen Abstufungen. Man unterscheidet Rundschliff, Innenschliff, Flächenschliff. Große Berührungsflächen, wie beim Innenschliff und Flächenschliff, bedingen weichere Scheiben und gröberes Korn.

**Die Arbeitsbedingungen.** Die Umfangsgeschwindigkeit der Scheiben soll möglichst hoch sein. Die obere zugelassene Grenze ist 35 m/s.

Die Werkstückgeschwindigkeit hat auf die Sauberkeit des Schliffes und die Leistung der Schleifscheiben Einfluß. Bei langsam laufenden Werkstücken wird meist der feinste Schliff erzielt. Schleifmaschinen erfordern wegen der hohen Schleifscheibengeschwindigkeiten hohe Leistungen.

Die Oberflächengüte ist von sehr vielen Einflußpunkten abhängig, z. B. Bindung, Härte, Körnung der Schleifscheiben, Umfangsgeschwindigkeit der Scheiben und der Werkstücke. Die nachstehende Tafel gibt allgemeine Richtlinien für die Schleifscheiben, Bindung, Härte, Körnung, Umfangsgeschwindigkeiten der Scheibe und des Werkstückes. In schwierigeren Fällen lasse man sich von den Herstellern der Schleifscheiben beraten.

Werkstoff	Schleifmittel	Bindung	Körnung	Härte	Schleifscheibengeschwindigkeit m/s	Werkstückgeschwindigkeit m/min	
Stahl, Stahlguß	Rundschleifen	Elektrokorund	keramisch	46	K	30 ... 35	12 ... 15 Grobschliff 6 ... 8 Feinschliff
	Innenschleifen	"	"	46 ... 60	Jot ... M	25	
	Planschleifen	"	"	"	30 ... 60	H ... K	30

<sup>1</sup> Die Werkstückgeschwindigkeit soll größer sein als beim Rundscheifen wegen des großen Berührungsbogens.

### III. Zerspanbarkeit von Automatenstahl.

#### A. Der Werkstoff.

Es ist notwendig, die Zerspanbarkeit der Automatenstähle in einem besonderen Abschnitt zu behandeln. Die Automatenstähle folgen ihren eigenen Gesetzen. Sie werden, wie der Name sagt, meist in der Massenfertigung auf Automaten oder Revolverbänken zerspannt. Es sind Stähle mit geringem Kohlenstoffgehalt und verhältnismäßig hohem Anteil an Schwefel, Phosphor und Mangan. Ein Normblatt besteht noch nicht.

Die Automatenstähle zeichnen sich bei der Zerspannung durch folgende Punkte aus:

1. Sie lassen durchweg die Anwendung höherer Schnittgeschwindigkeiten zu.
2. Es ergeben sich ganz kurze Späne, die das Werkzeug schonen und die Abführung aus der Maschine erleichtern.
3. Sie bekommen bei der Bearbeitung eine saubere und gesunde Oberfläche.

Um diese Forderungen zu erfüllen, werden die Automatenstähle meist „unberuhigt“ vergossen. Der sich hierbei bildende Seigerungskern verschlechtert aber die mechanischen Eigenschaften, besonders die Kerbzähigkeit und die Schwingungsfestigkeit. Wenn man nun Wert auf gute mechanische Eigenschaften legt, so wird der Ofeninhalt beim Vergießen durch Zugabe von Silizium oder Aluminium beruhigt. Schwefel und Phosphor verteilen sich dann gleichmäßig über den ganzen Querschnitt. Durch diese Maßnahme werden aber alle Zerspanungseigenschaften bedeutend verschlechtert. Die Stahlwerke bemühen sich nun, einen beruhigt vergossenen Stahl zu schaffen, der in seiner Zerspanbarkeit dem unberuhigt vergossenen möglichst nahekommt.

Um unnötige Zerspanungsarbeit zu sparen und die nicht bearbeiteten Flächen der Werkstücke möglichst genau herzustellen, werden die Automatenstähle fast immer gezogen. Je nach der Querschnittsabnahme beim Ziehen ist die Kaltverformung und damit die Festigkeit anders. Trotz dieser Festigkeitszunahme kann man nicht in allen Fällen von einer Erschwerung der Zerspanbarkeit sprechen.

#### B. Drehen.

**Die Schnittgeschwindigkeit.** Bei der Prüfung der Zerspanbarkeit im Drehvorgang werden  $T$ - $v$ -Kurven aufgestellt, wie für die übrigen Werkstoffe. Sie

ergeben im doppellogarithmischen Feld wie bei den Werten für den Grobschnitt mit anderen Werkstoffen gerade Linien, die eine „Extrapolation“ zulassen. In Abb. 43 sind nun die  $T$ - $v$ -Kurven für einen gewöhnlichen Thomas- und einen Automatenstahl von ungefähr gleicher Festigkeit und Zusammensetzung eingetragen. Man sieht, daß die anwendbare Schnittgeschwindigkeit bei dem Automatenstahl fast doppelt so hoch ist wie bei dem Thomas-Stahl. Es ist also kein Ver-

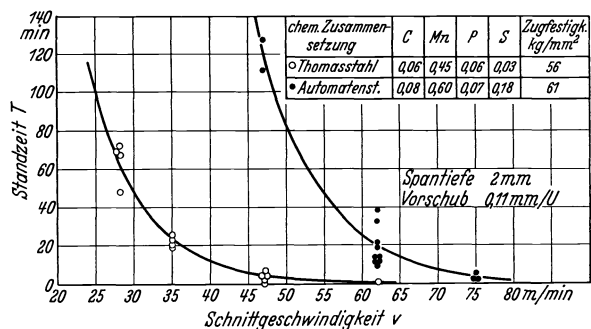


Abb. 43.  $T$ - $v$ -Kurven von Thomas- und Automatenstahl annähernd gleicher Festigkeit und Zusammensetzung. Nach Untersuchungen von A. Wallichs und H. Opitz.

gleich möglich mit den  $v_{60}$ -Zahlen aus der Bestimmungstafel, die auf Grund der Versuche im Grobschnitt mit legierten und unlegierten Baustählen ermittelt wurden. Worauf die soviel leichtere Zerspanbarkeit der Automatenstähle zurückzuführen ist, ist noch nicht geklärt. Es lassen sich auch keine Beziehungen zwischen Festigkeit, chemischer Zusammensetzung und Gefügebau einerseits und der Zerspanbarkeit andererseits finden.

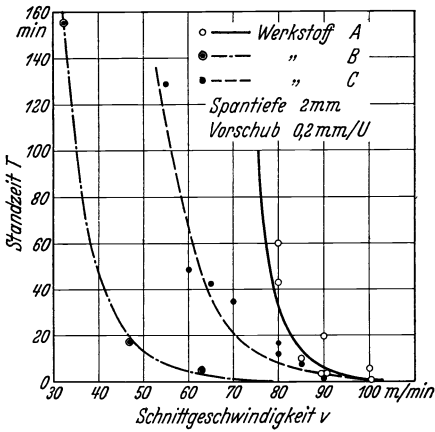


Abb. 44. Schnittgeschwindigkeits-Standzeit-Kurven verschiedener Automatenstähle. (Nach A. Wallichs und H. Opitz).

Die Abb. 44 gibt nun noch einen Anhaltspunkt über die Lage der  $T-v$ -Kurven bei verschieden behandelten Werkstoffen<sup>1</sup>. Bei dem Werkstoff A handelt es sich um einen unberuhigt vergossenen Stahl, bei Werkstoff B und C um beruhigt vergossene Stähle, jedoch mit dem Unterschied, daß der Stahl C nach einem neuen Verfahren zur Verbesserung der Zerspanbarkeit hergestellt ist. Wie die  $v_{60}$ -Zahl zeigt, kommt man bei diesem Stahl dem Stahl A schon sehr nahe. Die sonstigen Größen der 3 Werkstoffe sind in nachstehender Zahlentafel eingetragen.

	Werkstoff:		
	A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>
Stangen $\varnothing$ mm.....	10	10	10
C % .....	0,07	0,10	0,12
Festigkeit kg/mm <sup>2</sup> .....	61,5	70	60,00
Ziehbehandlung, Abzug in mm.....	1	1	—
$v_{60}$ m/min ( $t \cdot s = 2,0 \cdot 0,2$ ) mit Kühlung .....	77	38,5	60

Bei Automatenarbeiten kann man nun nicht mit der  $v_{60}$ -Zahl rechnen, weil die Voraussetzungen, die zur Festlegung von  $v_{60}$  geführt haben, nur für den Grobschnitt zutreffen. Bei Automatenarbeiten sind die Einrichtungsarbeiten sehr schwierig, die Werkzeuge in ihrer Form und Herstellung sehr teuer u. a. m. Man verlangt daher von den Werkzeugen eine längere Zeit des Unterschneidens und legt hierbei zweckmäßigerweise  $v_{480}$  (8 h) zugrunde. Bei der versuchsmäßigen Ermittlung der Zerspanbarkeit kann man sich jedoch mit der  $v_{60}$ -Zahl begnügen, da ja für die Kurve eine Extrapolation zulässig ist. Die nachstehende Zahlentafel gibt einen Überblick, wie sich bei den verschiedenen

Werkstoffen die  $v_{60}$ -Zahl gegenüber der  $v_{480}$ -Zahl verändert.

	Werkstoff		
	A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>
$v_{60}$ .....	78	38	60
$v_{120}$ .....	74	34	54
$v_{480}$ .....	67	27	45

Es könnte noch eingewendet werden, daß bei den Versuchen Stücke bestimmter Abmessungen hergestellt werden, die in der Praxis größer oder kleiner sind. Dementsprechend ergäbe sich auch eine andere Zeit des Unterschneidens der Werkzeuge bei anderen Umschaltzeiten der Maschine. Durch eingehende Versuche wurde festgestellt, daß Anzahl und Dauer der Unterbrechungen des Schneidvorganges auf die Standzeit des Werkzeuges ohne Einfluß sind.

<sup>1</sup> Wallichs u. Opitz: Masch.-Bau Bd. 12 (1933) S. 303.

<sup>2</sup> Unberuhigt vergossen. <sup>3</sup> Beruhigt vergossen. <sup>4</sup> Beruhigt vergossen nach einem neuen Verfahren.

In den Handbüchern werden betriebsmäßige Werte von 60 ... 75 m/min als wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeit angegeben.

**Die Schnittdrücke.** Die Schnittdrücke bei Automatenstählen folgen ebenfalls anderen Gesetzen als bei Baustählen und beim Grobschnitt. Wenn während der Standzeitversuche der Schnittdruck z. B. mit der Meßdose von Wallichs-Opitz gemessen wird, so ergeben sich bis zur Abstumpfung des Werkzeuges starke Schwankungen. Nach den Versuchen von Wallichs und Opitz ist auch der Schnittdruck abhängig von der Schnittgeschwindigkeit, und außerdem ist er bei den einzelnen Automatenstählen noch abhängig vom Werkstoff.

Inwieweit der Schnittdruck zur Unterscheidung der Zerspanbarkeit angewendet wird, zeigt der Abschnitt „Kurzversuche für die Prüfung der Zerspanbarkeit“ (siehe S. 57).

**Die Oberflächengüte.** Bei den Teilen, die aus Automatenstahl gefertigt werden, wird besonderer Wert auf eine gute Oberflächenbeschaffenheit gelegt. Man hat sich bemüht, die Oberfläche nicht nur durch Augenschein oder behelfsmäßige primitive Verfahren zu beurteilen, sondern auch vergleichbare zahlenmäßige Unterlagen zu bekommen.

Nachstehend eine gute Übersicht über die bisher gebräuchlichen Verfahren<sup>1</sup>:

Übersicht über die verschiedenen Oberflächen-Meßverfahren.

	Laboratoriumsmäßig	Werkstattmäßig	Behelfsmäßig
Optische Verfahren	Auszählen der Bearbeitungsriefen/cm Reflexionsfähigkeit als Maßstab der Rauigkeit Rasterverfahren (Reichelt)	Zeißscher Kugel- und Zylinderprüfer Doppelmikroskop (Vergleichsbetrachtung) Schmaltzsches Lichtspaltverfahren	Beurteilung der Oberfläche mittels Lupe Spiegelungsfähigkeit (Verzerrung) Lichtspaltprüfung mit Lineal
Mechanische Verfahren	Messung der Dickenabnahme bei Feinstbearbeitung Schmaler Schnitt von einem Gelatineabguß der Oberfläche Mechanische Schnitte (Sawyer) mit verkupferter Oberfläche Taststift in Verbindung mit Schalldose (Geräuschbeurteilung)	Vibrationsmesser (Flemming)	Reibungswiderstand als Maß der Rauigkeit (Kupfermünze) Sichtbarmachung der tragenden Flächen
Mechanisch-optisches Verfahren	Taststift in Verbindung mit Spiegel und Lichtstrahlablenkung (Schmaltz-Kiesewetter)		Abdruck auf Ölschicht Interferenzmessung (Auflage einer Quarzplatte)

Abb. 45 gibt eine Vergleichsmöglichkeit für die hauptsächlichsten in der vorstehenden Aufstellung genannten Verfahren bei einem Automatenstahl mit verschiedenen Geschwindigkeiten zerspannt:

- $a$  Bild im Vergleichsmikroskop der Firma Busch,
- $b_1 b_2$  Abtastgerät Schmaltz-Kiesewetter,
- $c_1 c_2$  Profilkurven mit dem Metallmikroskop,
- $d_1 d_2$  Lichtspaltverfahren von Schmaltz.

<sup>1</sup> Masch.-Bau 1935 S. 382.

Beim Vergleichsmikroskop kann man Unterschiede nur schwer feststellen. Das Lichtspaltverfahren und die Profilkurven des Metallmikroskops geben ebenfalls keine kennzeichnenden Werte. Anders hingegen bei dem Abtastgerät von Schmaltz-Kiesewetter, das deutlich den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit zeigt. Dieses

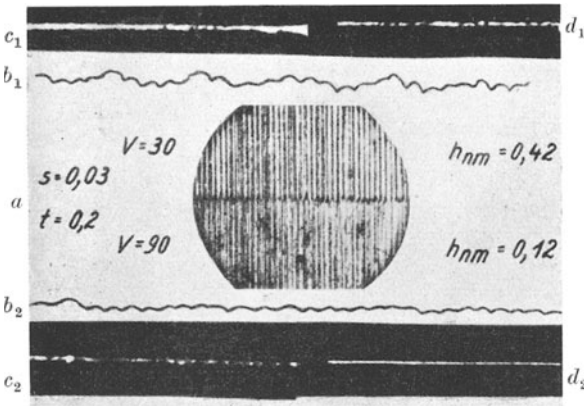


Abb. 45. Oberfläche von Automatenstahl 3/103. Oben: gedreht mit Schnittgeschwindigkeit  $v = 30$  m/min bei Vorschub  $s = 0,03$  mm und Schnitttiefe  $l = 0,2$  mm, Rauigkeitswert  $h_{nm} = 0,42$ . Unten: gedreht mit Schnittgeschwindigkeit  $v = 90$  m/min bei  $s = 0,03$  mm und  $t = 0,2$  mm, Rauigkeitswert  $h_{nm} = 0,12$ .

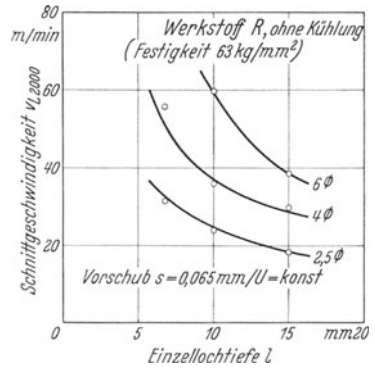


Abb. 46. Beziehung zwischen der Bohrbarkeitskennziffer  $v_{L2000}$ , dem Bohrerdurchmesser und der Einzellochtiefe.

Verfahren ist überhaupt von guter Anpassungsfähigkeit und Empfindlichkeit und gibt in seiner von Wallichs-Opitz verbesserten Anwendung praktische Hinweise für eine glatte Oberfläche. Richtwerte oder Kennziffern für die Güte der Oberfläche gibt es aber noch nicht.

C. Bohren.

**Die Schnittgeschwindigkeit.** Bei kleinen Bohrerdurchmessern von 2,5, 4 und 6 mm ergeben sich für den Verlauf der  $v_{L2000}$ -Kurve im doppellogarithmischen Feld, ähnlich wie bei Stahl und Stahlguß, gerade Linien, die für die gleichen Werk-

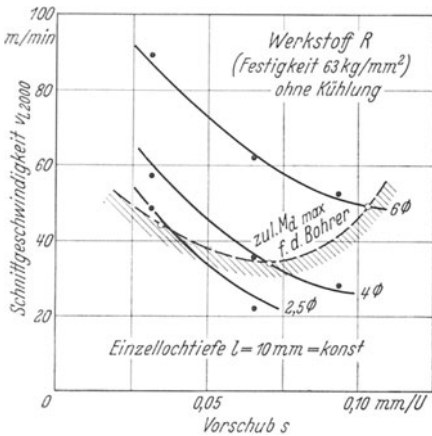


Abb. 47. Beziehung zwischen der Bohrbarkeitskennziffer  $v_{L2000}$ , dem Bohrerdurchmesser und dem Vorschub.

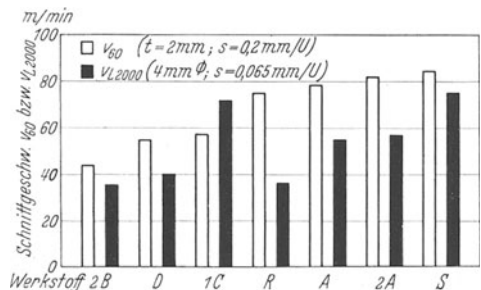


Abb. 48. Vergleich der Dreh- und Bohrbarkeit von verschiedenen Automatenstählen. Festigkeit: Werkstoff 2 B = 61,4 kg/mm<sup>2</sup>

..	D	= 58,5	..
..	1 C	= 63,4	..
..	R	= 63	..
..	A	= 55,8	..
..	2 A	= 61,8	..
..	S	= 66,2	..

stoffe parallel verlaufen<sup>1</sup>. Die aus diesen Schaubildern abgelesenen  $v_{L2000}$ -Werte sind in Abb. 46 in Abhängigkeit von der Einzellochtiefe und in Abb. 47 in Abhängigkeit vom Vorschub aufgetragen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen großer Bohrerdurchmesser zeigt sich, daß mit steigender Einzellochtiefe, wachsendem Vorschub und abnehmendem Bohrdurchmesser  $v_{L2000}$  abnimmt.

Die Querschnittenbreite, der Bohreranschliff und die Abstückung haben einen ähnlichen Einfluß wie bei Stahl und Stahlguß.

Vergleich zwischen Bohrbarkeit und Drehbarkeit. Es war schon früher gesagt worden, daß die Rangordnung der Zerspanbarkeit nicht für alle Arten, also Drehen, Bohren usw., gleich zu sein braucht. In Abb. 48 sind die Werte für  $v_{60}$  und  $v_{L2000}$  für sieben Automatenstähle aufgetragen. Das Schaubild ist nach steigenden  $v_{60}$ -Zahlen für Drehen geordnet. Die  $v_{L2000}$  für Bohrer zeigt ein ganz abweichendes Verhalten gegenüber der Drehbarkeit.

**Die Schnittdrücke.** Bei einem Automatenstahl SAE 1112, Brinellhärte 217, 0,1 C, 0,8 Mn, 0,08 ... 0,4 P, 0,09 ... 0,12 S, änderte sich der Bohrdruck bei 22 mm Bohrerdurchmesser und 0,4 mm/U Vorschub von 650 kg bei 3 mm Querschnittenbreite auf 1450 kg bei 6 mm Querschnittenbreite. Mit deutschen Automatenstählen liegen keine Ergebnisse für große Bohrerabmessungen vor. Da die amerikanischen Automatenstähle aber schwerer zu bearbeiten sind als die deutschen, dürften auch die Bohrdrücke für diese geringer sein.

Die Ergebnisse der kleinen Bohrerdurchmesser gelten für einen Werkstoff von 65 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit. In Abb. 49 sind die Drehmomente für die drei Bohrerabmessungen in Abhängigkeit vom Vorschub aufgetragen. Bei diesen kleinen Bohrerabmessungen ist das zulässige Höchst Drehmoment von großer Bedeutung. Nach der Formel von Stoewer<sup>2</sup>  $M_d = 0,16 \cdot D^{2,4}$ , sind diese Werte in das Schaubild eingetragen.

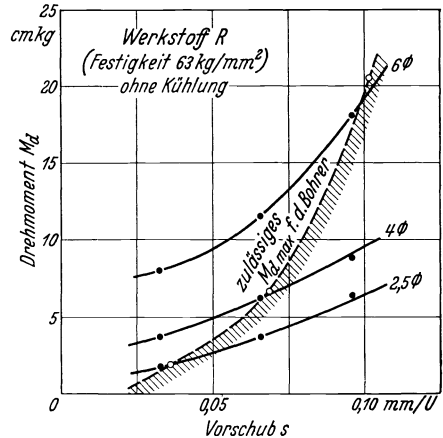


Abb. 49. Gemessene Drehmomente bei verschiedenen Bohrerdurchmessern und Vorschüben.

## IV. Zerspanbarkeit von Gußeisen und Temperguß.

### A. Der Werkstoff.

**Gußeisen (Ge)** wird aus Roheisen allein oder mit Brucheseisen, Stahlabfällen und anderen Schmelzzusätzen meist im Kupolofen erschmolzen und in Form gegossen<sup>3</sup>. Es wird keiner Nachbehandlung zwecks Schmiedbarmachung unterworfen. Bei Maschinengußeisen mit besonderen Gütevorschriften geben die ersten beiden Ziffern die Festigkeit und die letzten beiden die Normengruppe der 1600er Reihe an, z. B. 19.91.

**Temperguß (Te)**<sup>4</sup>, früher auch schmiedbarer Guß genannt, wird aus weiß erstarrendem Gußeisen gegossen und danach durch bestimmte Glühverfahren ent-

<sup>1</sup> Wallichs-Schüler: Techn. Z. f. prakt. Metallbearb. 1934, Nr. 3/4, 5/6, 7/8.

<sup>2</sup> Stock-Z. Jan. 1933 S. 27/30.

<sup>3</sup> Näheres siehe Heft 19 der Werkstattbücher: Gußeisen.

<sup>4</sup> Näheres siehe Heft 24 der Werkstattbücher: Stahl- und Temperguß.

kohlt und die Kohlenstoffform so umgewandelt, daß er zäh, hämmerbar, leicht zerspanbar und in beschränktem Maße schmiedbar ist. Je nach dem Schmelz- und Glühverfahren wird Temperguß in weißer oder schwarzer Bruchfläche erhalten. Der letztere wird als Schwarzguß bezeichnet. Die beiden ersten Ziffern geben die Mindestfestigkeit in kg/mm<sup>2</sup> an, die beiden letzten Ziffern die Normen der 1600er Reihe, z. B. 32.92.

B. Drehen.

**Schnittgeschwindigkeit.** Im Anschluß an die Zerspanbarkeitsprüfung der legierten und unlegierten Stähle sowie des Stahlgusses wurden die Gußeisensorten nach DIN 16.91 und einige Sondersorten untersucht. Für diese Werkstoffe wurden *T-v*-Kurven aufgestellt, die einen ähnlichen Verlauf wie bei Stahl haben, jedoch in einem anderen Schnittgeschwindigkeitsbereich.

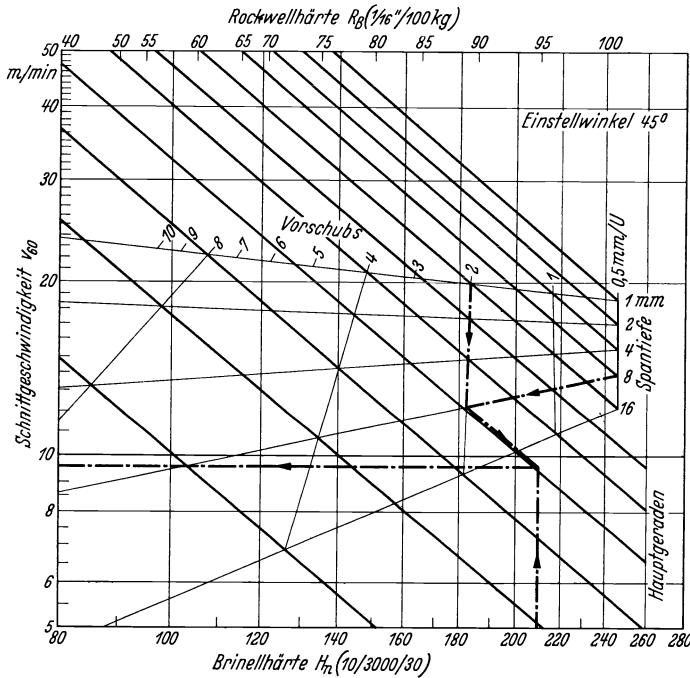


Abb. 50. Zerspanungsschaubild für Gußeisen (nach A. Wallichs u. K. Dabringhaus.)

Einstellwinkel	30°	45°	60°	90°
V <sub>80</sub> -Zahl.	1,15	1,0	0,89	0,72

Als Kennzeichen der Abstumpfung des Drehmeißels wurde die Blankbremsung gewählt. Bei Gußeisen tritt nicht der blanke Streifen wie bei Stahl auf, sondern eine deutliche Dunkelfärbung der Schnittstelle mit kleinen aufgeschweißten Spanteilchen. Der Zeitpunkt der Abstumpfung der Werkzeuge ist genau so gut zu erfassen wie bei Stahl.

Aus der großen Anzahl von *T-v*-Kurven, die für sehr viele Gußeisensorten versuchsmäßig ermittelt wurden, läßt sich ähnlich wie für Stahl und Stahlguß ein Zerspanungsschaubild zu-

sammenstellen<sup>1</sup> (Abb. 50). Da die Tafel Gültigkeit für einen Einstellwinkel  $\alpha = 45^\circ$  hat, sind auch noch die Umrechnungszahlen für andere Einstellwinkel angegeben. Die Werte gelten für trockenen Schnitt. — Das Schaubild wird wie folgt betriebsmäßig verwendet:

Ein gegebener Werkstoff von 210 Brinell soll bei 8 mm Spantiefe und 2 mm Vorschub je Umdrehung zerspannt werden. Man stellt für die Linie des Vorschubes (2 mm/U) und der Spantiefe (8 mm) den Schnittpunkt auf der von links oben nach rechts unten verlaufenden Hilfsgraden fest. Auf dieser Geraden geht man

<sup>1</sup> Wallichs, A., u. K. Dabringhaus: Zerspanbarkeit des Gußeisens im Drehvorgang. Gießerei 17 (1930) S. 1169.



dann nach rechts unten weiter bis zum Schnittpunkt mit dem Abszissenlot der Brinellhärte. Hierdurch ist dann die links mit 9,5 m/min abzulesende  $v_{60}$ -Zahl gegeben. Da die Werte unter genauer Einhaltung aller Versuchsbedingungen gewonnen wurden, muß man für den Betrieb bei den angegebenen Schnittgeschwindigkeitswerten einen Abzug von etwa 25 % machen. Außerdem hat sich aus den Versuchen noch folgendes ergeben:

Die Zerspanbarkeit des unlegierten Gußeisens im Grobschnitt ist von der Brinellhärte bzw. Festigkeit abhängig und auch von der Gefügeausbildung, aber nicht von der Analyse. Daher läßt sich die Zerspanbarkeit von Stahl und Stahlguß und Gußeisen miteinander vergleichen (Abb. 51). Hier sind für die drei Werkstoffgruppen die  $v_{60}$ -Werte in Abhängigkeit von der Festigkeit aufgetragen. Die Kurven haben einen ähnlichen Verlauf, und man erkennt, daß bei gleicher Festigkeit die  $v_{60}$ -Zahl für Stahl etwa viermal so groß ist wie für Gußeisen. Dies liegt daran, daß es sich bei Gußeisen um einen Werkstoff handelt, der einen bröckeligen Span ergibt.

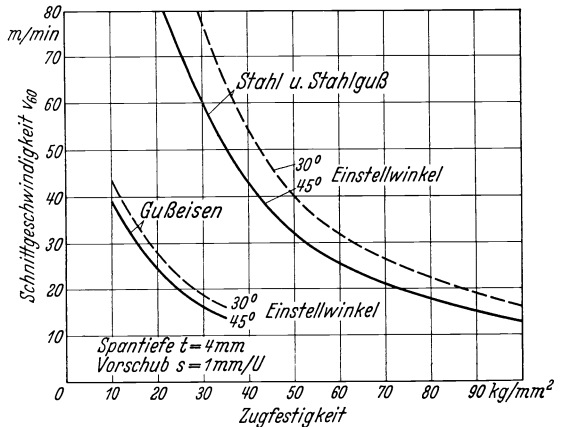


Abb. 51. Die Zerspanbarkeit des Gußeisens im Vergleich zu Stahl und Stahlguß. Einfluß des Einstellwinkels.

Bei der Prüfung des Drehens der Gußhaut konnte kein Vergleich mit dem Drehen des gesunden Werkstoffes gemacht werden, da die zu den Versuchen benutzten Rohre in der Form zu ungleichmäßig gegossen waren. Weiter wurde auch kein Unterschied zwischen in Lehm und in Sand gegossenen Werkstoffen gefunden.

**Die Schnittdrücke.** Die Schnittdrücke sind entsprechend der geringen Festigkeit auch geringer als bei Stahl. Abb. 52 gibt einen Anhaltspunkt für die Größenordnung bei Ge 19.91 und einem  $\sigma_B$  von 18 kg/mm<sup>2</sup>. Die Schnittdrücke für Temperguß unterscheiden sich nicht von denen für Gußeisen.

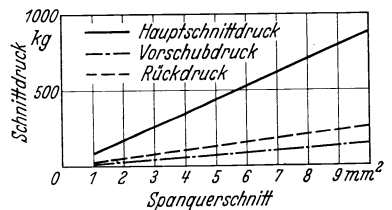


Abb. 52. Schnittdrücke beim Drehen von GE 19.91.

**Einfluß der Zusammensetzung der Werkzeuge.** Die meisten Versuche bei der Gußeisenbearbeitung sind mit dem gleichen Schnellstahl gemacht worden wie bei Stahl. Für die Umrechnung der  $v_{60}$ -Werte bei anderen Werkzeugen gelten für Grauguß von 200 Brinell folgende Richtwerte<sup>1</sup>:

Werkzeugstahl . . . . .	etwa 0,3
Schnellstahl . . . . .	„ 1,0
Hartmetall . . . . .	„ 5,0 und mehr.

Auf Grund werkstattmäßiger Erfahrungen werden für die wirtschaftlichen Schnittgeschwindigkeiten<sup>2</sup> bei den für Gußeisen besonders geeigneten Hartmetallsorten folgende Werte angegeben:

<sup>1</sup> Nach einer Mitteilung von F. Rapatz.

<sup>2</sup> AWF-Hartmetallwerkzeuge. AWF-Mitt. 258.

Werkstoff	Hartmetall	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min	
		Grobschnitt	Feinschnitt
Gußeisen			
Brinellhärte 180	{ Böhlerit E Titanit G Widia N }	60 ... 90	90 ... 130
Brinellhärte 180 ... 250	{ Böhlerit E Titanit GG Widia H }	40 ... 70	70 ... 100
Brinellhärte 250 ... 400	{ Böhlerit HG Titanit GG Widia H }	30 ... 50	50 ... 70
Hartguß	{ Böhlerit HS Titanit GG Widia H }	5 ... 10	10 ... 20

Bei Feinstbohrwerken (Hille, Vomag, Krause usw.) wird sehr oft Grauguß von 220 Brinell verarbeitet. Bei Widia H ergeben sich folgende Werte<sup>1</sup>:

Spantiefe 0,05 mm  
Vorschub 0,08 ... 0,1 mm/U  
Schnittgeschwindigkeit 70 ... 78 m/min.

Hierbei handelt es sich um einen ausgesprochenen Feinschnitt.

Diamanten werden bei der Gußeisenzerspannung nicht gebraucht.

### C. Bohren.

**Schnittgeschwindigkeit.** Die Bohrbarkeit des Gußeisens wurde in ähnlicher Weise geprüft wie bei Stahl und Stahlguß.  $v_{L2000}$  wurde auch wieder mit Hilfe von  $L$ - $v$ -Kurven ermittelt. In ihrem gesetzmäßigen Ausbau zeigten sie ähnlichen Verlauf wie bei Stahl und Stahlguß. Im doppellogarithmischen Feld ergab sich jeweils eine gerade Linie, so daß Extrapolation möglich ist (Abb. 53).

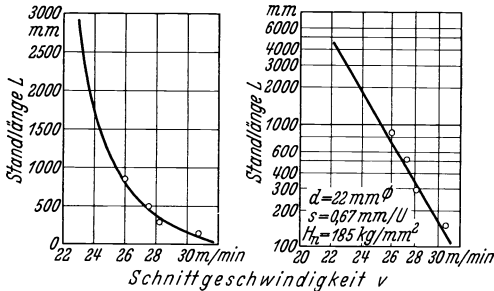


Abb. 53.  $L$ - $v$ -Kurven beim Bohren in Gußeisen.

Bei der Auswertung dieser Kurven ergaben sich jedoch gegenüber den anderen Werkstoffen einige grundlegende Unterschiede:

**Einfluß der Einzellochtiefe.** Die Gesamtblöhrlänge bis zur Abstumpfung wird wieder durch Zusammenzählen der Einzellochtiefen ermittelt. In der Praxis sind die Einzellöcher einmal tief und einmal weniger tief. Bei Gußeisen hat im Gegensatz zu Stahlguß die wachsende Einzellochtiefe kein Absinken der anwendbaren Schnittgeschwindigkeit zur Folge. Die Härte- und Gefügeunterschiede der zahlreichen zu solchen Feststellungen benutzten Platten überdecken wahrscheinlich solche Einflüsse. Außerdem spielt die Art der Späne eine Rolle. Diese sind bei Gußeisen kurz, bröckelig und manchmal mulmig.

**Einfluß des Bohrerdurchmessers.** Bei Stahlguß hatte sich gezeigt, daß die Bohrer mit größerem Durchmesser auch bei größerer Lochtiefe eine höhere Schnittgeschwindigkeit für  $v_{L2000}$  zuließen. Bei Gußeisen zeigt sich jedoch, daß Bohrer von 12 ... 40 mm Durchmesser keinen Unterschied in der anwendbaren Schnittgeschwindigkeit ergeben. Hierbei sind die gleichen Gründe wie im vorhergehenden Abschnitt von Einfluß, wobei die Späneform von größter Bedeutung ist. Dadurch, daß die Einzellochtiefe und der Bohrerdurchmesser auf die anwendbare Schnittgeschwindigkeit ohne Einfluß sind, wird die Zusammenstellung der später zu besprechenden Bestimmungstafel sehr erleichtert.

**Einfluß der Zuspitzung und der Querschneidenbreite.** Auch hier zeigt sich keine

<sup>1</sup> Nach Mitteilung von H. Eickhoff.

Beeinflussung der anwendbaren Schnittgeschwindigkeit. Das weniger zähe Gußeisen läßt sich durch die Querschneide leichter wegquetschen und zermalmen als der zähere Stahlguß.

Ähnlich wie bei Cr-Ni-Stählen (nach DIN 1661) durch Sonderanschliff eine Steigerung der Schnittgeschwindigkeit erreicht wird, ist dies auch bei Gußeisen möglich. Nach einem Vorschlag von Stock<sup>1</sup> wird von den hinterschliffenen Rücken so viel noch weggeschliffen, daß nur ein zur Hauptschneide fasenförmig verlaufender Teil stehen bleibt. Dann wird auch noch die Ecke, wo die beiden Fasen zusammenstoßen, gebrochen. Durch diesen Sonderanschliff wurde eine um 35% höhere Schnittgeschwindigkeit erreicht. Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich schon zwei praktisch verwertbare Tafeln zusammenstellen.

Abb. 54 gibt die Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit von der Brinellhärte für drei sehr gebräuchliche Vorschübe.

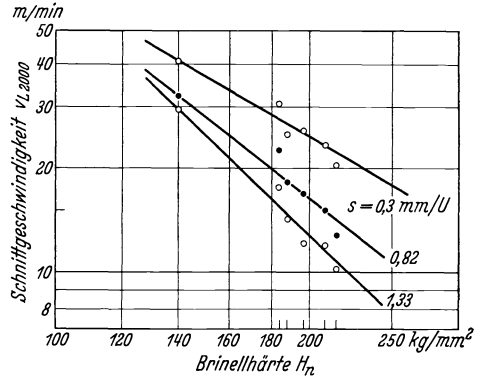


Abb. 54. Anwendbare Schnittgeschwindigkeit für Gußeisen in Abhängigkeit von der Härte.

**Bestimmungstafel.** Außerdem konnte auch eine vollständige Bestimmungstafel aufgestellt werden, da die Einschränkungen für Bohrerdurchmesser und Einzellochtiefe wegfallen (Abb. 55). Sie wird in folgender Weise verwendet:

Gegeben ist z. B. Gußeisen, Brinellhärte 180, Vorschub entsprechend dem Bohrerdurchmesser (17 mm) 0,4 mm/U.

Auf der Linie der Brinellhärte 180 geht man bis zum Schnittpunkt mit der Vorschublinie 0,4. Waagrecht nach links kann man auf der Ordinate dann für  $v_{L2000}$  den Wert 26,5 m/min ablesen. Wenn man von diesem Wert etwa 10% abzieht, da er ja unter

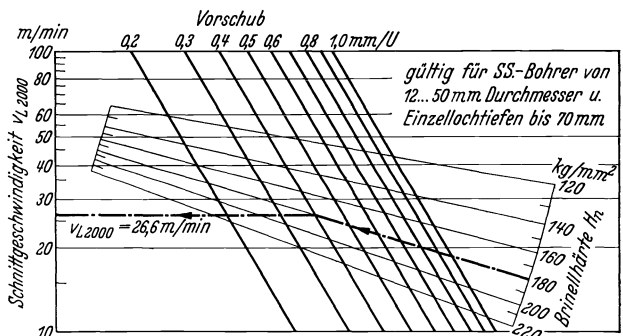


Abb. 55. Bestimmungstafel der Bohrbarkeitskennziffer  $v_{L2000}$  (anwendbare Schnittgeschwindigkeit) für das Bohren von Gußeisen.

Laboratoriumsbedingungen (also besten Verhältnissen) ermittelt wurde, so kommt man den Zahlen, wie sie von Dinnebier und Stoewer gegeben werden, sehr nahe. Man kann von einer genügenden Übereinstimmung und daher praktischen Verwertbarkeit der Bestimmungstafel sprechen. Die ermittelten Werte zeigen entsprechend dem vorstehend Gesagten nicht so große Schnittgeschwindigkeitsbereiche wie bei Stahl und Stahlguß.

**Einfluß des Werkstoffes des Bohrers.** Richtwerte für Schnellstahl (siehe Tabelle S. 42 oben).

Richtwerte für Werkzeugstahl. Bei der Verwendung von Bohrern aus Werkzeugstahl soll man etwa  $\frac{1}{3}$  der Schnittgeschwindigkeit und Vorschübe wie bei gutem Schnellstahl anwenden.

<sup>1</sup> Stock-Z. Bd. 2 (1929) S. 74/81.

Richtwerte für Hartmetall. Zur Bestückung der Bohrer für Gußeisen sind nur die Hartmetallsorten zu verwenden, die sich besonders dafür eignen. Die Schnittgeschwindigkeiten können dann bis zu 150 m/min gesteigert werden. Der Vorschub soll aber klein gewählt werden.

Werkstoff	Bohrer $\varnothing$	Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min	Vorschub $s$ mm/U
Ge 12.91 und Ge 18.91	1 ... 10 10 ... 25	35 ... 45 25	0,07 ... 0,3 0,30 ... 0,8
Ge 22.91 und Ge 26.91	1 ... 10 10 ... 12	12 ... 18 18 ... 20	0,05 ... 0,2 0,20 ... 0,3

**Schnittdrücke.** Die Schnittdrücke beim Bohren von Gußeisen zeigen ähnliche Gesetzmäßigkeiten

wie bei Stahl und Stahlguß. Man hat auf Grund von Versuchen folgende Beziehungen für einen Bohrerdurchmesser von 22 mm aufgestellt.

Werkstoff	Achsdruck $A$ kg	Drehmoment $M_a$ cmkg
Gußeisen		
$H_n=140$	$1200 \cdot s^{1,14}$	$700 \cdot s^{1,14}$
$H_n=200$	$2200 \cdot s^{1,25}$	$780 \cdot s^{1,25}$

Bei Gußeisen zeigen auch die in den Taschenbüchern mit Hilfe von Konstanten zu errechnenden Werteganz gute Übereinstimmung. Bei Stahl kann man dies noch nicht sagen.

Auf Grund der von F. W. Hülle angegebenen Werte für ein Gußeisen von  $\sigma_B = 15 \text{ kg/mm}^2$ , Bohrerdurchmesser 30 mm, Vorschub  $s = 0,3 \text{ mm/U}$  ergeben sich nebenstehende Werte:

Schnittdrücke	nach Hülle (errechnet)	Nach Boston-Oxford (versuchsmäßig)
Drehmoment $M_a$ cmkg	500	510
Achsdruck $A$ kg	530	550

Bei Temperguß kann man ungefähr die gleichen Schnittdruckwerte annehmen wie bei Gußeisen.

### D. Fräsen.

**Die Schnittgeschwindigkeit.** Aus wirtschaftlichen Gründen und zur Vereinfachung der Lagerhaltung können zum Fräsen von Gußeisen und Temperguß die gleichen Werkzeuge genommen werden wie bei Stahl und Stahlguß. Für die Schnittwinkel (rechtwinklig zur Schneidkante gemessen) gelten obenstehende Werte.

Werkstoff	Spanwinkel $\gamma$	Freiwinkel $\alpha$
Gußeisen DIN 1691 } .. Temperguß DIN 1692 }	10 ... 15°	5 ... 10°

die Schnittwinkel (rechtwinklig zur Schneidkante gemessen) gelten obenstehende Werte.

Die Schnittgeschwindigkeiten sind wie folgt zu wählen:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min			
	Schnellstahl		Hartmetallschneide	
	Grobschnitt	Feinschnitt	Grobschnitt	Feinschnitt
Gußeisen DIN 1691 } .....	8 ... 12	12 ... 20	50 ... 80	80 ... 100
Temperguß DIN 1692 }				

Die Vorschubwerte für Grobschnitt liegen zwischen 100 und 500 mm/min, für Feinschnitt zwischen 10 und 15 mm/min.

**Die Schnittdrücke.** Abb. 56 gibt die nach Versuchen von Eisele gemessenen größten Schnittkräfte für Ge 14.91 an, um einen Anhaltspunkt für die Größenordnung zu haben.

### E. Sägen.

Beim Sägen werden die Schnittgeschwindigkeiten für Gußeisen und Temperguß auf 20 ... 40 m/min festgelegt.

### F. Gewindeschneiden.

Bei Verwendung von Schneideisen wird die Schnittgeschwindigkeit für Gußeisen auf 2 ... 3 m/min festgesetzt, da sonst das Gewinde nicht sauber wird.

### G. Räumen.

Beim Räumen von Gußeisen sind nachstehende Winkel an der Räumnadel üblich.

Die Schnittgeschwindigkeit wird meist mit 3 m/min gewählt.

### H. Schleifen.

Für die Auswahl der Schleifscheiben gelten nachstehende im Betrieb erprobte Richtlinien:

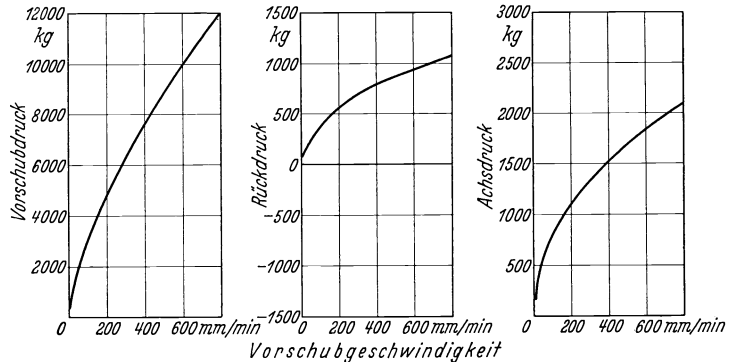


Abb. 56. Schnittdruckkomponenten in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit.

Werkstoff: GE 14.91, Schnittbreite = 125 mm konst., Schnitttiefe = 10,6 mm konst.; Schnittgeschwindigkeit  $v = 10,2$  m/min konst.

Werkstoff	Schleifmittel	Bindung	Körnung	Härte	Schleifscheibengeschwindigkeit m/s	Werkstückgeschwindigkeit m/min
Gußeisen	Siliziumkarbid	keramisch	36	J ... L	20	12 ... 15 Grobschliff
Rundschleifen						6 ... 10 Feinschliff
Innen-schleifen		„	„	36	J ... K	18 ... 20
Plan-schleifen	„	„	16 ... 30	J ... K	18 ... 20	kleiner Seitenvorschub

Über die Schnittdrucke liegen Versuche von Coenen<sup>1</sup> vor. Nach Abb. 57 sind diese sehr klein.

## V. Die Zerspanbarkeit von Bronze, Rotguß, Messing, Kupfer.

### A. Der Werkstoff.

Bei Bronze und Rotguß (DIN 1705) hat man folgende Kurzzeichen: GBz für Gußbronze, WBz für Walzbronze, Rg für Rotguß. Die beigelegten Zahlen geben den Zinngehalt in % an, also GBz 20 bedeutet: Gußbronze 20% Zinn.

Bronze ist eine Legierung aus Kupfer und Zinn. Wenn sie mit Phosphor desoxydiert ist, wird sie mit Phosphorbronze bezeichnet.

Rotguß ist eine Legierung aus Kupfer, Zinn, Zink. Legierungen, die nur aus Kupfer und Zink bestehen, bezeichnet man mit Messing (DIN 1709); sofern sie weniger als 78% Kupfer enthalten und mehrere Zusätze, werden sie als Sonder-

<sup>1</sup> Coenen: Masch.-Bau Bd. 11 (1932) S. 450.

messing bezeichnet. Man unterscheidet hier wieder Gußmessing (GMs) und Walz- und Schmiedemessing (Ms). Die beigefügte Zahl gibt den Kupfergehalt an.

Für Kupfer gilt DIN 1708.

Für diese Werkstoffgruppe liegen noch wenig versuchsmäßig ermittelte Richtlinien vor, da die Versuche sehr teuer sind und außerdem diese Werkstoffe nicht sehr häufig zerspannt werden.

B. Drehen.

**Schnittgeschwindigkeit.** Über das Drehen von Automaten-Kupferlegierungen liegen Ergebnisse vor<sup>1</sup>. Bei diesen Werkstoffen wird der Drehmeißel nicht durch Wärmeeinfluß abgestumpft, sondern durch langsamen Verschleiß bei Abrundung der Meißelspitze. Äußerlich kennzeichnet sich dieser Zeitpunkt durch ein Rauwerden der Bolzen, verbunden mit starkem Rattern. Diese Erscheinungen treten so plötzlich auf, daß die Standzeit genügend genau bestimmt werden kann. Die *T-v*-Kurven ergaben im doppellogarithmischen Feld gerade Linien. Die untersuchten Werkstoffe ergaben bei nachstehender Zusammensetzung folgende  $v_{60}$ ,  $v_{120}$  und  $v_{480}$ -Zahlen:

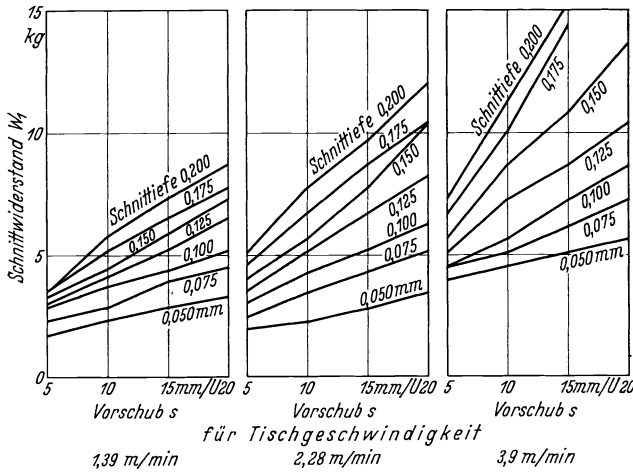


Abb. 57. Schleifwiderstand der Scheibe am Umfang in Abhängigkeit vom Vorschub (Schleifbreite und Schnitttiefe bei verschiedenen Tischgeschwindigkeiten (nach M. Coenen).

durch Wärmeeinfluß abgestumpft, sondern durch langsamen Verschleiß bei Abrundung der Meißelspitze. Äußerlich kennzeichnet sich dieser Zeitpunkt durch ein Rauwerden der Bolzen, verbunden mit starkem Rattern. Diese Erscheinungen treten so plötzlich auf, daß die Standzeit genügend genau bestimmt werden kann. Die *T-v*-Kurven ergaben im doppellogarithmischen Feld gerade Linien. Die untersuchten Werkstoffe ergaben bei nachstehender Zusammensetzung folgende  $v_{60}$ ,  $v_{120}$  und  $v_{480}$ -Zahlen:

Werkstoff	Cu	Zn	Al	Fe	Ni	Mn	Pb	Sn	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Schnittgeschwindigkeit m/min			Span- querschnitt mm <sup>2</sup>
										$v_{60}$	$v_{120}$	$v_{480}$	
Stahlbronze ...	83	—	10	3,5	3,5	—	—	—	91,5	37	30	18	2 × 0,2
Manganbronze	86,4	—	9,4	—	1,10	2,01	—	—	77	48	40	28	2 × 0,3
Aluminium- bronze .....	90,5	—	9,5	—	—	—	—	—	66	68	62	48	2 × 0,3
Sondermessing	51,2	43,9	0,68	1	1,41	1,51	—	—	77	80	72	57	2 × 0,3
MS 58 .....									48	85	70	45	2 × 0,3

Bei diesen Versuchen wurde ein Werkzeug aus Schnellstahl wie bei früheren Versuchen für Automatenstahl benutzt. Der Spanwinkel  $\gamma$  war 12°. Die Werte gelten auch für Kühlung mit Mineralöl.

In den Handbüchern werden für Automatenmessing Geschwindigkeiten von 120 ... 150 m/min angegeben.

Nach einer Mitteilung von J. S. Schwietzke, Düsseldorf, werden bei Schleuder- guß nachstehende Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe angewendet:

<sup>1</sup> Wallichs u. Herweijer: Die Werkzeugmaschine 40. Jahrg. (1936) Heft 1 u. 2.

Werkstoff	Vorschub $s$ mm/U		Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min	
	Grobschnitt	Feinschnitt	Grobschnitt	Feinschnitt
Rg 5 .....	0,4	0,2	85	170
Rg 10 .....	0,3	0,18	75	150
Gbz 14 .....	0,28	0,15	70	140
Sondergußmessing nach DIN 1709 .....	0,22	0,12	55	120

**Die Schnittdrücke.** Abb. 58 zeigt für einige der vorstehend aufgezählten Werkstoffe den mit elektrischer Meßdose bestimmten Hauptschnittdruck in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit.

**Die Oberflächengüte.** Hinsichtlich der Oberflächengüte wurde für alle untersuchten Werkstoffe festgestellt, daß mit steigender Schnittgeschwindigkeit die Längsrauigkeit geringer und damit die Oberfläche besser wurde. Abb. 59 gibt ein gutes Beispiel aus der Praxis, wie bei Messing sich die Oberfläche unter Verwendung von Schnellstahl, Hartmetall und Diamanten ändert. Die Zahlen für

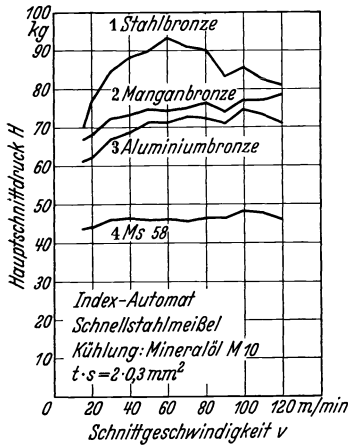


Abb. 58. Hauptschnittdruck in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit bei Automatenkupferlegierungen.

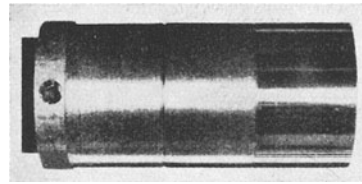


Abb. 59. Oberflächenbeschaffenheit beim Drehen eines Messingzylinders 65 mm  $\varnothing$ .

Grobschnitt mit Schnellstahl $v = 110$ m/min $s = 0,51$ mm/U	Feinschnitt mit Hartmetall $v = 170$ m/min $s = 0,15$ mm/U	Feinschnitt mit Diamant $v = 250$ m/min $s = 0,066$ mm/U
---	---	---

die Schnittgeschwindigkeit und die Vorschübe geben gute Anhaltspunkte für verschiedene Anwendungsgebiete der einzelnen Werkzeugarten.

**Einfluß der Form des Werkzeuges.** Die Angaben der Taschenbücher und der Praxis über die zweckmäßigsten Winkel der Drehmeißel weichen sehr voneinander ab<sup>1</sup>. Guttman findet gute Spanbildung bei einem Spanwinkel  $\gamma$  von  $0 \dots 10^\circ$ . Dieser Wert wird auch häufig in der Praxis genannt. Wallichs-Herweijer finden keinen Einfluß bei den dort untersuchten Werkstoffen. — Für Hartmetallwerkzeuge werden meist größere Spanwinkel empfohlen als für Schnellstahl (siehe AWF Nr. 258).

**Einfluß des Werkstoffes des Werkzeuges.** Als Richtwerte für das Drehen mit Hartmetallwerkzeugen (Böhlerit GS, Titanit G, Widia N) werden folgende Schnittgeschwindigkeiten empfohlen:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min	
	Grobschnitt	Feinschnitt
Kupfer .....	300 ... 350	350 ... 500
Messingguß ..	300 ... 500	450 ... 700
Rotguß .....	300 ... 450	400 ... 500
Gußbronze ..	150 ... 300	250 ... 400

Diamanten. Die Verwendung von Diamanten hat sich gut bewährt. Die Schnittgeschwindigkeiten sollen möglichst hoch sein. Bei Kolle-

<sup>1</sup> Guttman: Werkst.-Techn. 1932 Heft 14.

toren ist man schon bis zu 2500 m/min gegangen. Die Spantiefe soll unter 0,3 mm sein und der Vorschub 0,02 ... 0,2 mm/U.

### C. Bohren.

**Schnittgeschwindigkeit.** Bei der Untersuchung der Bohrbarkeit zeigte sich für den Werkstoff MS 58, daß bei einer Geschwindigkeit von 90 m/min und einem Vorschub von 0,1 mm/U (Bohrerdurchmesser 4 mm) kein irgendwie feststellbarer Verschleiß erzielt werden konnte. Von Stoewer werden für Messing nachstehende praktisch erprobte Werte angegeben:

Werkstoff	Durchmesser des Bohrers	Vorschub $s$ mm/U	Schnittgeschwindigkeit $v$
	mm		m/min
MS 57 ... 60	2 ... 5	0,1	mehr als 200, wenn es die Maschine zuläßt
	6 ... 11	0,2	
MS 63 ... 80	2 ... 5	0,05	50
	6 ... 11	0,15	
MS 90	2 ... 5	0,05	35
	6 ... 11	0,1	

Für die in Abb. 58 (S. 45) angegebene Stahlbronze, Manganbronze und Aluminiumbronze wurden genaue Schnittgeschwindigkeits-Bohrlängenkurven ( $L-v$ ) aufgestellt. Im doppellogarithmischen Feld ergeben sich wie bei anderen Werkstoffen gerade Linien

Werkstoff	Bohrer $\varnothing$ mm	Vorschub $s$ mm/U	Schnittgeschwindigkeit $v_{L2000}$ m/min
Stahlbronze .....	4	0,07	18
Manganbronze ....	4	0,07	55
Aluminiumbronze .	4	0,07	65

mit nebenstehenden  $v_{L2000}$ -Zahlen:

Kupfer läßt sich mit Bohrern mit engem Drall gut bohren. Die Schnitt-

geschwindigkeit  $v$  beträgt 30 ... 40 m/min. Die Vorschübe  $s$  werden entsprechend den für Leichtmetall festgelegten Zahlen gewählt.

**Die Schnittdrücke.** Die Schnittdrücke sind von der Geschwindigkeit unabhängig. Bei einem Vorschub  $s$  von 0,03 mm/U und einem Bohrerdurchmesser von 3 mm beträgt der Achsdruck etwa 12 kg und das Drehmoment etwa 1 cmkg. Für die Stahlbronze ist der Achsdruck bei 4 mm Bohrerdurchmesser und  $s = 0,02$  mm/U Vorschub etwa 40 kg. Die auftretenden Kräfte sind also im Vergleich zu anderen Werkstoffen gering, zumal große Bohrerdurchmesser selten vorkommen. Der Einfluß der Querschneidenbreite äußert sich so, daß die Drehmomente mit größerer Querschneidenbreite nicht und die Achsdrücke wenig ansteigen.

### D. Senken, Reiben.

Als Schnittgeschwindigkeit für das Senken mit Spiralsenkern, Zapfensenkern und Messerstangen werden folgende praktisch erprobte Zahlen angegeben:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min					
	Spiralsenker aus		Zapfensenker aus		Messerstangen aus	
	Werkzeugstahl	Schnellstahl	Werkzeugstahl	Schnellstahl	Werkzeugstahl	Schnellstahl
Bronze DIN 1705	5 ... 10	10 ... 20	5 ... 8	8 ... 14	4 ... 6	5 ... 8
Rotguß DIN 1705						
und Messing DIN 1709	14 ... 18	25 ... 40	10 ... 15	20 ... 30	10 ... 15	20 ... 30



Die Vorschübe können für Bronze, Rotguß und Messing aus Heft 16: Senken und Reiben entnommen werden.

Für das Reiben sind folgende praktisch erprobte Zahlen verwendbar:

Die Werte für die Vorschübe für Bronze, Rotguß und Messing können wieder aus Heft 16 entnommen werden.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeiten $v$ in m/min Reibahle aus:	
	Werkzeugstahl	Schnellstahl
Bronze DIN 1705	3 ... 4	4 ... 5
Rotguß DIN 1705	8 ... 12	10 ... 15
Messing DIN 1709		

### E. Fräsen.

**Schnittgeschwindigkeit.** Der Zerspanungswiderstand von Messing ist sehr gering, so daß der Vorschub nach oben nur durch die Maschine begrenzt ist. Die Schnittgeschwindigkeit  $v$  ist auch höher als bei Stahl und Gußeisen. Brödner<sup>1</sup> gibt ein Arbeitsbeispiel an: Bei einer Schnitttiefe von 5 mm und Breite von 40 mm,  $v = 271$  m/min Schnittgeschwindigkeit, wurde ein Vorschub von  $s = 2100$  mm/min angewendet. Allgemeine Richtlinien gibt die nachstehende Tabelle:

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit $v$ in m/min.		Schneiden aus:	
	Schnellstahl		Hartmetall	
	Grobschnitt	Feinschnitt	Grobschnitt	Feinschnitt
Bronze DIN 1705	20 ... 25	30 ... 50	90 ... 120	bis 300
Messing DIN 1709				

### F. Sägen und Feilen.

Für Messing und Kupfer nach DIN 1709 und 1708 werden Schnittgeschwindigkeiten  $v$  bis 200 m/min angewendet.

### G. Gewindeschneiden.

Beim Gewindeschneiden können für diese Werkstoffe höhere Schnittgeschwindigkeiten angewandt werden, als sonst üblich. Für Messing haben sich Schnittgeschwindigkeiten  $v$  von 30 ... 60 m/min bewährt. Sogar für Schneideisen kann die Geschwindigkeit noch 10 ... 50 m/min sein.

### H. Räumen.

Beim Räumen beträgt der Spanwinkel  $\gamma = 2 \dots 5^\circ$ , der Rückenwinkel  $\alpha = 1 \dots 1,5^\circ$ , die Fasenbreite 0,4 ... 1 mm. Die Schnittgeschwindigkeit  $v$  wird meistens mit 2 m/min eingestellt.

### I. Schleifen.

Beim Schleifen sind nachstehende Geschwindigkeiten und Scheibenzusammensetzungen üblich:

Werkstoff	Schleifmittel	Bindung	Körnung	Härte	Schleifscheibengeschwindigkeit m/s	Werkstückgeschwindigkeit m/min
Kupferlegierungen	Silizium-Karbid	keramisch	24 ... 46	J ... K	30	18 ... 20 Grobschliff 14 ... 16 Feinschliff
			36 ... 60	J ... K	30	28 ... 30

<sup>1</sup> Brödner: Zerspanung von Werkstoffen. VDI-Verlag 1934. Dort befindet sich auch eine vollständige Quellenangabe für alle Zerspanungsergebnisse.

## VI. Die Zerspanbarkeit von Aluminium und Aluminiumlegierungen.

### A. Der Werkstoff.

Die Daten für Reinaluminium sind in DIN 1712 zusammengestellt. Da die Reinheitsgrade heute höher liegen, ist eine Neubearbeitung vorgesehen. Die in der Praxis bewährten Aluminiumlegierungen sind in DIN 1713 zusammengestellt. Man hat 8 Gattungen Knet- und 9 Gattungen Gußlegierungen aufgenommen. Die Reihenfolge der angegebenen Legierungen entspricht der geschichtlichen Entwicklung. Sie sind gekennzeichnet durch:

1. Bezeichnung in Worten, z. B. Aluminium-Knetlegierungen mit Kupfer und geringem Magnesiumgehalt,
2. ein Kurzzeichen, z. B. Al — Cu — Mg,
3. Angabe der kennzeichnenden Eigenschaften.

Das Normblatt zeichnet sich bei der Vielgestaltigkeit der auf dem Markt befindlichen Werkstoffe durch große Übersichtlichkeit aus.

Durch die ständig wachsende Anwendung der Aluminium-Legierungen hat die Zerspanbarkeit eine besondere Bedeutung bekommen<sup>1</sup>. Anfangs hat man die Erfahrungen der Stahlbearbeitung auch auf diese Werkstoffe übertragen. Man hat dadurch viele Fehlschläge gehabt, ehe man erkannte, daß für die Leichtmetalle folgende Gesetze gelten:

1. Die Schnittgeschwindigkeit sollte möglichst hoch sein. Dies läßt sich meist nur mit Sondermaschinen oder eigens dafür hergerichteten Maschinen erreichen.
2. Die Werkzeuge sollten in ihrer Form dem besonderen Zweck angepaßt sein.

Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe hängt weniger von der Härte als von der chemischen Zusammensetzung ab. Ein Kupferzusatz erleichtert durch Härtung der Grundmasse die Zerspanbarkeit. Die kupferfreien Legierungen neigen zum Kleben. Bei Silizium-Legierungen liegt das Eutektikum bei 12,8% Siliziumgehalt. Bei höherem Gehalt scheidet sich das Silizium primär aus und wirkt stark verschleißend auf die Werkzeuge. Beim Kokillenguß verwendet man für schwierige Formen aus gußtechnischen Gründen übereutektische Legierungen. Sobald aber an solchen Gußstücken größere Zerspanungsarbeiten auszuführen sind, sollen auch hier wie bei Sandguß und Spritzguß untereutektische Zusammensetzungen gewählt werden.

Bei Zerspanung der Siliziumlegierungen sind wegen der Verschleißwirkung vorwiegend Hartmetallwerkzeuge zu benutzen.

### B. Drehen.

**Schnittgeschwindigkeit.** Die besonderen physikalischen Eigenschaften der Leichtmetalle, wie geringe Kerbzähigkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit und geringe Härte bedingen besonders geformte Werkzeuge und hohe Schnittgeschwindigkeiten, um einen sauberen Schnitt zu erhalten. Für die Spanform soll als Richtlinie gelten: große Spantiefe, kleiner Vorschub. Reinaluminium und einige seiner Legierungen neigen zum Kleben, so daß hier die Anpassung der Schnittwinkel sehr wichtig ist. Für weiches Reinaluminium ist ein Keilwinkel  $\beta$  von 30 ... 35° am vorteilhaftesten. Die nachstehende Tabelle gibt die geeigneten Schnittwinkel für verschieden harte Leichtmetalle an. Die zu den einzelnen Brinellhärten gehörenden Werkstoffe sind aus DIN 1713 zu entnehmen.

<sup>1</sup> Bei diesem Abschnitt sind die Unterlagen aus dem Aluminiumtaschenbuch, 6. Aufl. (1936) mit verwertet. Siehe auch Heft 53 der Werkstattbücher: Nichteisenmetalle. 2. Teil: Leichtmetalle.

Die Schnittgeschwindigkeiten  $v$  sollen für den Grobschnitt 200 ... 500 m/min und für den Feinschnitt 600 ... 1200 m/min betragen. Bei möglichst großer Schnitttiefe soll der Vorschub  $s = 0,1 \dots 1 \text{ mm/U}$  sein. Bei Siliziumlegierungen gilt diese Tabelle nicht; sie werden am besten mit Hartmetallwerkzeugen bearbeitet (siehe S. 53).

Für Leichtmetalle fehlen bisher noch Standzeitversuche, wie sie für andere Werkstoffe durchgeführt wurden.

Vor allen Dingen liegt dies an den sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten, die angewendet werden müssen, um den Versuch nicht zu lange auszudehnen und den Werkstoffverbrauch in erträglichen Grenzen zu halten. Auch gibt es keine ausgesprochene Blankbremsung, sondern einen langsamen Verschleiß.

**Schnittdrücke.** Über Schnittdrücke liegen wenig Angaben vor. Um aber einen Anhaltspunkt für die Größenordnung zu haben, und um den Einfluß der Keilwinkel zu zeigen, sei Abb. 60<sup>1</sup> angegeben. Ob die Schnittdrücke einen Zusammenhang mit der Zerspanbarkeit haben, ist noch gänzlich ungeklärt.

C. Bohren.

Auch beim Bohren sind besonders geformte Werkzeuge vorteilhaft. Kennzeichnend sind der enge Drall und weite Nuten, die leichtes Schneiden und gute Spanabfuhr bedingen.

Abb. 61a zeigt einen Bohrer für weiche Aluminiumlegierungen und Abb. 61b für harte Legierungen und geringe Lochtiefe.

Bei dem flachen Spitzenschliff von 140° werden dünne Werkstücke beim Durchbohren nicht hochgerissen. Beim Bohren von Löchern unter 1 mm Durchmesser werden die normalen Bohrer benutzt, da bei den kleinen Abmessungen Drall und Nuten ohne Einfluß sind.

**Schnittgeschwindigkeit.** Man kann die Schnittgeschwindigkeit bei allen Leichtmetallen höher wählen als bei Stahl. Wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeiten  $v$  liegen zwischen 60 und 300 m/min. Falls die Geschwindigkeiten aus anderen Gründen, z. B. an Automaten, nicht so hoch gewählt werden können, arbeitet man mit 40 ... 50 m/min. Einen Überblick über die Schnittgeschwindigkeit und den Vorschub gibt Abb. 62. Der Vorschub in Abhängigkeit vom Bohrerdurchmesser ist aus der gekrümmten Kurve und der linken Teilung zu entnehmen, die Schnittgeschwindigkeit und die Drehzahl an der Geraden aus der rechten Teilung. Bei vergüteten (ausgehärteten)

Brinellhärte der Werkstoffe kg/mm <sup>2</sup>	Winkel an der Schneide		
	Freiwinkel $\alpha$	Keilwinkel $\beta$	Spanwinkel $\gamma$
etwa 50	6 ... 10°	30 ... 35°	54 ... 45°
50 ... 80	6 ... 10°	35 ... 45°	49 ... 35°
über 80	6 ... 10°	45 ... 50°	39 ... 30°

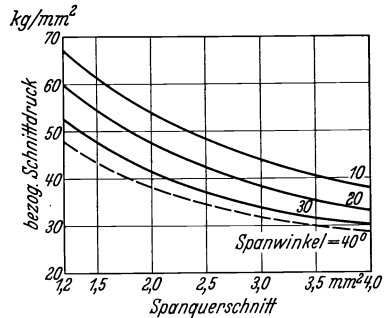


Abb. 60. Abhängigkeit des Schnitt-drucks vom Spanwinkel bei verschiedenen Spanquerschnitten. Werkstoff: Silumin-Kokillenguß 17 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit.

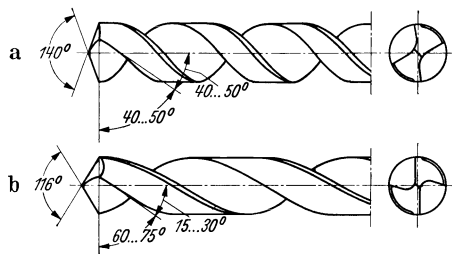


Abb. 61. Bohrerformen für Leichtmetall-Legierungen.

<sup>1</sup> Zerrleder: Schweiz. techn. Z. 1933, Nr. 15/16.

Krekeler, Zerspanbarkeit.

Werkstoffen können demnach wesentlich höhere Vorschübe gewählt werden, da diese Stoffe nicht kleben.

Beim Bohren mit kleinerem Durchmesser kann man so hohe Geschwindigkeiten wegen der begrenzten Drehzahlen der Maschinen nicht erzielen. Hier muß

man besonders auf die Späneförderung achten, da sonst die kleinen Bohrer infolge der geringen Verdrehungsfestigkeit abbrechen.

Beim Bohren mit Bohrbüchsen soll die Geschwindigkeit nicht über 70 m/min gewählt werden, da der Bohrer sonst an der Wand der gehärteten Büchsen zu stark reibt und die Fasen stumpf werden.

**Die Schnittdrücke.** Die Schnittdrücke (Drehmoment und Vorschubdruck) sind bedeutend geringer als bei Stahl<sup>1</sup>. Über die Größenordnung gibt Abb. 63 einen Anhaltspunkt.

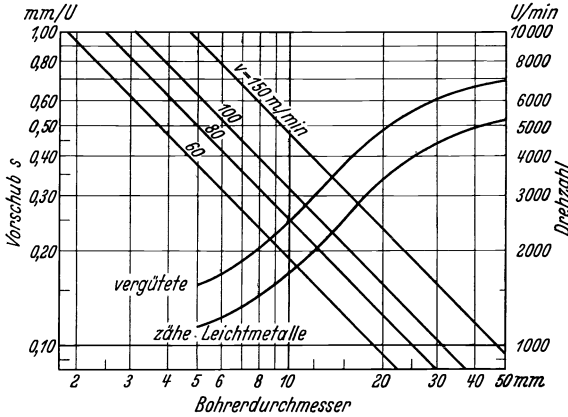


Abb. 62. Abhängigkeit des Vorschubs und der Drehzahl vom Bohrer  $\varnothing$ .

Beim Bohren tiefer Löcher ist der Vorschub entsprechend einzustellen: kleiner Vorschub bei Elektron, großer Vorschub bei Aluminium. Jedoch soll der Vorschub mit Rücksicht auf die Oberflächengüte und die Maßhaltigkeit nicht zu hoch gewählt werden.

Bei weichen Werkstoffen entstehen beim Auswechseln des Bohrers leicht Riefen. Bei tiefen Bohrungen werden die Wände des Bohrloches sehr oft durch zusammengeballte Späne zerkratzt.

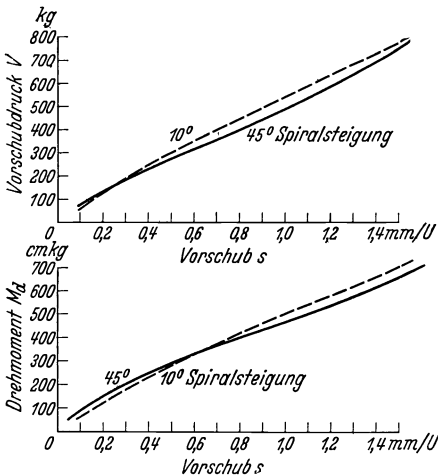


Abb. 63. Vorschubdruck und Drehmoment beim Bohren von Elektron in Abhängigkeit vom Vorschub bei verschiedenen Spiralsteigungen, Bohrer 20 mm  $\varnothing$ , Bohrtiefe 100 mm, Schnittgeschwindigkeit 110 m/min.

### D. Senken, Reiben.

Zur Bearbeitung vorgegossener Löcher bedient man sich eines Senkers mit engem Drall. Spiralsenker für Löcher bis 52 mm Durchmesser werden mit 3 Schneiden, Aufstecksenker ab 24 mm Durchmesser mit 4 und mehr Schneiden ausgeführt<sup>2</sup>.

Die Arbeitsbedingungen sind ähnlich wie beim Bohren von Leichtmetallen. Bei größerem Durchmesser ist es jedoch besser, den Vorschub zu erhöhen und die Schnittgeschwindigkeit zu verringern. Beim Reiben sind einige wichtige Punkte zu beachten. Abb. 64 zeigt die Abhängigkeit des Vorschubes

(linke Teilung und gekrümmte Kurven) sowie der Schnittgeschwindigkeit und Drehzahlen (rechte Teilung und gerade Linien) vom Reibahlerndurchmesser. Die Schnittgeschwindigkeit  $v$  kann unter Umständen bis 50 m/min erhöht werden.

<sup>1</sup> Stoewer: Bohren tiefer Löcher. Masch.-Bau Bd. 11 (1932) S. 469.

<sup>2</sup> Näheres s. Heft 16 der Werkstattbücher: Senken und Reiben.

Ein Wetzen der Reibahle ist nur beim Anschnitt notwendig. Dies soll aber aus den bekannten Gründen maschinell geschehen.

Bei kleinen Bohrungen werden Reibahlen mit geraden Zähnen, bei größeren Bohrungen Reibahlen mit gewundenen Schneiden genommen. Beim Ausreiben von etwa 0,1 mm sind gerade genutete Werkzeuge besser, da diese Schneiden die dünnen Späne besser fassen und den Werkstoff nicht quetschen.

**E. Fräsen.**

Zum Fräsen der Leichtmetalle hat man besondere Formen der Fräser entwickelt, die große Spanräume haben. Nachstehende Frei- und Spanwinkel haben sich bewährt:

Werkstoff	Spanwinkel $\gamma$	Freiwinkel $\alpha$
Leichtmetall DIN 1713	30 ... 40°	10 ... 15°

Für die Schnittgeschwindigkeit gelten folgende Richtlinien, die sich aber meist nur auf Sondermaschinen erreichen lassen:

Grobschnitt. . .  $v = 400 \dots 1200$  m/min  
 Feinschnitt. . .  $v = 600 \dots 1500$  m/min.

Bei siliziumhaltigen Werkstoffen nimmt man die kleinen Werte, bei Reinaluminium und ausgehärteten Legierungen die größeren. Für die höheren Geschwindigkeiten kann die Zähnezahl klein gehalten werden, um den Spanraum zu vergrößern. Bei kleinen Schnittgeschwindigkeiten muß zur Erzielung einer besseren Oberfläche eine größere Zähnezahl genommen werden.

Der Vorschub muß so gewählt werden, daß die Späne gut gefördert werden und die Schnittfläche sauber wird. Als Richtlinie für den Vorschub kann gelten, daß er in mm/min doppelt so hoch sein kann wie die Schnittgeschwindigkeit in  $m/min^1$ , d. h. also, bei einer Schnittgeschwindigkeit  $v = 200$  m/min kann der Vorschub  $s = 400$  mm/min sein.

Abb. 65 gibt den Zusammenhang zwischen Fräserdurchmesser, Schnittgeschwindigkeit, Spindeldrehzahl und Vorschub auf Grund praktischer Erfahrungen. Zur Erzeugung ebener Flächen werden mit Erfolg Messerköpfe angewendet. Durch

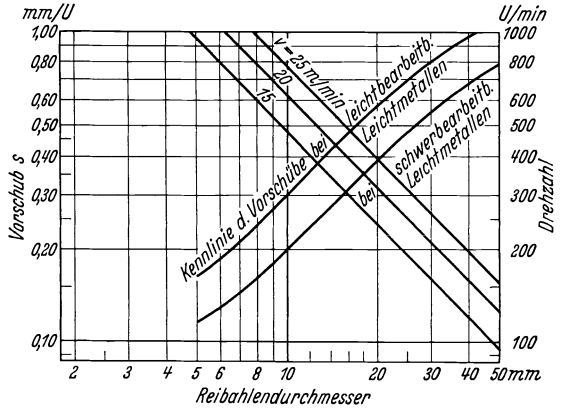


Abb. 64. Abhängigkeit des Vorschubs und der Drehzahl vom Reibahlen  $\varnothing$ .

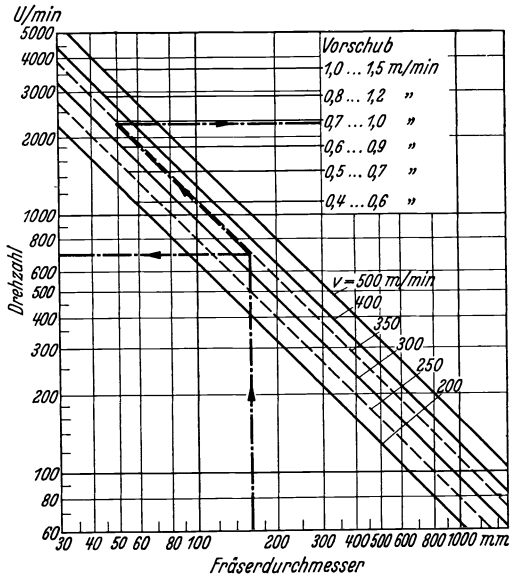


Abb. 65. Schnittgeschwindigkeit, Spindeldrehzahl und Vorschub beim Fräsen von Leichtmetall.

<sup>1</sup> Nach Angabe von R. Stock & Co.

Vergrößerung des Durchmessers kann dann auch bei langsam laufenden Maschinen eine wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeit erzielt werden.

### F. Sägen.

Bei Leichtmetallkreissägen sind die Spanräume besonders groß ausgeführt, um auch bei Kleben der Werkstoffe das Festklemmen der Späne zu verhindern. Gegenüber Stahlbearbeitung können größere Vorschübe bei kleinerem Kraftbedarf angewendet werden. Die Durchmesser der Sägen sind aus Gründen der Festigkeit nicht größer zu wählen als für den abzutrennenden Teil notwendig ist. Auch wird der Schnitt um so genauer, je stärker das Sägeblatt ist. Für die Schnittgeschwindigkeit gelten folgende Richtlinien:

für zähe Leichtmetalle . . .  $v = 200 \dots 400$  m/min  
für harte Leichtmetalle . . .  $v = 200 \dots 800$  m/min.

Bei leichten und kurzen Schnitten kann die Geschwindigkeit beliebig hoch genommen werden.

Die Richtwerte für den Vorschub können aus Abb. 65 entnommen werden, sofern nicht Vorschub von Hand zweckmäßiger ist. Bandsägen werden vor allen Dingen benutzt, um an Gußstücken Steiger oder Trichter abzusägen. Die Härte der Sägen darf nicht zu groß sein, da die Zähne sonst leicht ausbrechen. Die Lötstellen müssen weich bleiben. Das Blatt muß gut geführt werden und ist zweckmäßig abwechselnd rechts und links geschränkt. Die 5 mm-Zahnteilung hat sich gutbewährt. Die Schnittgeschwindigkeit  $v$  liegt zwischen 1000 und 2500 m/min.

### G. Feilen.

Bei den gewöhnlichen Kreuzhiebfleilen und Raspeln ist auf die Spanfortschaffung wenig Rücksicht genommen. Bei weichen Werkstoffen setzt sich der Zahngrund leicht zu. Für Leichtmetalle nimmt man daher gefräste Feilen mit gekerbten Zähnen. Der Keilwinkel  $\beta$  der Feilzähne beträgt  $45 \dots 50^\circ$ , der Brustwinkel  $\gamma$   $5 \dots 7^\circ$ . Von Feilenzahn zu Feilenzahn soll eine Zahnkammut von 3 mm Größe vorhanden sein.

### H. Gewindeschneiden.

Bei Leichtmetallen werden Feingewinde mit scharfen Kanten am besten ganz vermieden. Sie fressen leicht und schneiden sich bei häufigem Ein- und Ausschrauben frei. Bis zu  $\frac{1}{4}''$  werden am besten Whitworth-Gewinde und von 6 mm an aufwärts auch SI-Gewinde verwendet.

Die Gewindebohrer haben zwei oder drei weite Spannuten. Sie sollen ein Untermaß besitzen, da sie immer größer als ihr eigentliches Maß schneiden. Die Schnittgeschwindigkeit  $v$  ist  $15 \dots 25$  m/min. Es kommt jedoch weniger auf hohe Schnittgeschwindigkeiten als auf sauberes Gewinde an.

### I. Räumen.

Mit der Schnittgeschwindigkeit beim Räumen geht man für Leichtmetall heute  $v =$  bis 14 m/min.

### K. Schleifen.

Entsprechend der Eigenart der Leichtmetalle muß man sich bei der Auswahl der Bindung, Körnung und Härte sorgfältig nach den praktischen Erfahrungen richten.

Als Schleifwerkstoff wird durchweg Silizium-Karbid (Si C) wegen der scharfen Schneiden und glatten Ablaufflächen genommen. Die Bindung kann keramisch (gesinterter Ton) und vegetabilisch (Gummi oder Bakelite) sein.

Für Körnung und Härte gelten folgende allgemeine Richtlinien:

	Rundscheifen	Innenscheifen	Planscheifen	Abgraten
Härte .....	J ... K	H ... J	H ... J	O ... S
Körnung .....	30 ... 80	30 ... 40	20 ... 40	

Beim Innenschleifen und beim Planschleifen wird wegen der größeren Berührungsfläche ein gröberes Korn und eine weichere Bindung gewählt.

Als Umfangsgeschwindigkeit für die Schleifscheiben sind 20 ... 35 m/s anzuwenden.

Die Werkstückgeschwindigkeit soll 12 ... 35 m/min sein. Zur Erzielung einer besonders feinen Oberfläche kann die Geschwindigkeit auch noch geringer sein.

Die Spantiefe hängt von dem Werkstück, der Berührungsfläche und der Körnung ab. Feine Oberflächen verlangen kleine Zustellung. Als Richtlinie kann gelten:

Grobschnitt . . . . .	0,03 ... 0,06 mm
Feinschnitt . . . . .	0,005 ... 0,01 mm.

Zwischen Spantiefe und Vorschub gibt es keine Zusammenhänge ähnlich wie beim Drehen. Der seitliche Vorschub leistet die Hauptarbeit. Es ist meist wirtschaftlicher, mit kleiner Spantiefe und großem Vorschub zu arbeiten.

Der Längsvorschub je Umdrehung ist auch um so geringer zu wählen, je besser die Oberflächengüte sein soll. Beim Grobschnitt werden große Vorschübe genommen. Als Richtlinie kann gelten:

bei Grobschnitt $\frac{2}{3} \dots \frac{4}{4}$ Scheibenbreite,
bei Feinschnitt $\frac{1}{2} \dots \frac{2}{3}$ Scheibenbreite.

## L. Verwendung von Hartmetall.

Den vorstehenden Angaben über Leichtmetalle liegt im allgemeinen die Verwendung von Schnelldrehstählen zugrunde. In der letzten Zeit hat jedoch die Anwendung von Hartmetallen große Fortschritte gemacht. Wenn auch die wünschenswerten hohen Schnittgeschwindigkeiten wegen der Werkstückabmessungen oder der Bauart der Werkzeugmaschinen meist nicht erreicht werden können, so sind doch die übrigen Vorteile der Hartmetalle groß genug.

Besonders bei der Massenherstellung tritt die große Schneidhaltigkeit mit allen ihren Vorteilen in den Vordergrund.

**Drehen.** Bei der Zerspanung von Silumin ist die Verwendung von Hartmetall besonders zu empfehlen, da — wie eingangs erwähnt — die Verschleißwirkung der Siliziumnester sehr groß ist. Die Schnittgeschwindigkeit ist aber nicht so hoch zu wählen, wie dies an und für sich möglich wäre. Die in den Gußstücken vorhandenen Siliziumnester werden bei zu hohen Geschwindigkeiten herausgerissen und verursachen eine raue Oberfläche.

Im nachstehenden sind für einige Zerspanungsarten noch Erfahrungswerte für Hartmetalle angegeben.

Werkstoff	Freiwinkel $\alpha$	Spanwinkel $\gamma$	Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min	
			Grobschnitt	Feinschnitt
Reinaluminium und weiche Legierungen .....	8 ... 10°	35 ... 40°	bis 1500	bis 2500
Harte Legierungen .....	6 ... 8°	10 ... 20°	200 ... 300	300 ... 400
Silizium .....	6°	12 ... 18°	75 ... 150	180 ... 250

Besonders haben sich die Hartmetalle beim Überdrehen und Einstechen von Kolbenringnuten bei hoch siliziumhaltigen Kolbenlegierungen bewährt; vor allen Dingen kann man auch wesentlich an Schleifarbeit sparen.

**Bohren.** Bei Bestückung von Spiralbohrern mit Hartmetallblättchen muß auf den richtigen Drallwinkel von  $10 \dots 12^\circ$  geachtet werden. Nur bei ganz weichen

Werkstoff	Vorschub $s$ mm/U	Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min
Reinaluminium und weiche Legierungen	bis 0,16	bis 400
Harte Legierungen ..	„ 0,12	„ 300
Silizium .....	„ 0,10	„ 150

Werkstoffen kann er bis zu  $20^\circ$  betragen. Die allgemeine Vorschrift, daß beim Bohren mit Hartmetall nur kleine Vorschübe angewendet werden dürfen, muß auch bei

Leichtmetall beachtet werden. Die vorstehende Tabelle gibt Richtlinien für Vorschub und Schnittgeschwindigkeit.

**Fräsen.** Für Fräser, die mit Hartmetall bestückt sind, gelten folgende Werte:

Werkstoff	Vorschubgeschw. mm/min	Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min
Aluminium .....	1500 ... 3000	bis zu 2500
Silumin .....	500 ... 800	100 ... 200

**Reiben.** Beim Reiben von Bohrungen in Silizium liegen mit Hartmetall besonders gute Erfahrungen

vor. Die Schneiden aus Schnellstahl können der starken Verschleißwirkung des Siliziums nicht widerstehen und werden zu stark abgenutzt. Die mit Hartmetall geriebenen Löcher werden auch sauberer, da sich keine Werkstoffteilchen auf die Schneiden aufsetzen.

## M. Verwendung von Diamanten.

Bei Leichtmetallen hat sich die Verwendung von Diamanten für die Fein- und Feinstbearbeitung sehr bewährt<sup>1</sup>. Besondere Vorteile bieten diese Werkzeuge wegen ihrer großen Verschleißfestigkeit bei Siluminlegierungen.

Die Schnittgeschwindigkeiten sollen  $200 \dots 600$  m/min und, wenn durch die Maschinen erreichbar, noch mehr betragen.

Der Vorschub ist auch hier möglichst klein mit  $s = 0,02 \dots 0,10$  mm/U und die Schnitttiefe  $t$  unter  $0,3$  mm zu wählen.

Wie schon eingangs erwähnt, fällt den Schnellstahl- und Hartmetallwerkzeugen die Vorbearbeitung und den Diamanten die Letztbearbeitung zu. Beide Werkzeugarten sollen niemals gleichzeitig arbeiten.

## VII. Die Zerspanbarkeit von nichtmetallischen Werkstoffen.

Bei diesen Werkstoffen liegen noch keine ausführlichen Versuchsergebnisse vor, so daß man sich mit einigen betriebsmäßig erprobten Richtlinien begnügen muß.

**Glas.** Glas wird mit stark hängender Schneide (d. h.  $\lambda$  positiv) wie bei gehärtetem Stahl bearbeitet<sup>2</sup>. Schnittgeschwindigkeit beim Drehen:  $v$   $80\text{--}100$  m/min, Spantiefe  $t$   $2\text{--}3$  mm, Vorschub  $s = 0,1$  mm/U. Bei Gewindeschneiden: Schnittgeschwindigkeit  $v = 7,5$  m/min. Für Fräsen läßt sich eine Schnittgeschwindigkeit von  $v = 50$  m/min anwenden.

**Natursteine**<sup>3</sup>. Trennen, Hobeln, Bohren. Beim Schneiden auf Sägegattern ist das Werkzeug ein glattrandiges Stahlband. Die Schnittfuge wird unter Hinzufügen von Quarzsand (Schneidsand) in den Stein hineingearbeitet. Schnittleistung bei hartem Marmor  $2,1$  mm/h, bei weichem Marmor  $8,5$  mm/h und Sandstein  $180 \dots 200$  mm/h, alles bei  $3,5$  m Blocklänge. Es ist kein eigentliches

<sup>1</sup> Vgl. die Mitteilungen der Firma Winter & Sohn, Hamburg.

<sup>2</sup> Vgl. Fehse, A. u. a. O.

<sup>3</sup> Techn. Hochschule Dresden, Betriebswissenschaftl. Arbeiten Bd. 10.



Schneiden, sondern ein Abnutzungsvorgang durch Abtrennen kleiner Teilchen von Stein. Die Schneidsandkörnung und Blattbreite sollen möglichst groß sein. Beim Schneiden mit Siliziumkarbidscheiben verwendet man einen Eisenkern von 290 mm Durchmesser und einen Belag mit einem Durchmesser bis zu 350 mm. Am äußeren Durchmesser beträgt die Breite etwa 7 mm; sie verjüngt sich nach der Mitte zu, ähnlich wie ein Abstechmeißel.

Bei weichen und mittelharten Steinen sollen Umdrehungssinn der Scheibe und Vorschub gleichgerichtet sein. Die Schnittgeschwindigkeit ist möglichst hoch zu wählen.

Bei Granit sollen Umdrehungssinn der Scheibe und Vorschub entgegengesetzt gerichtet sein. Die Schnittgeschwindigkeit ist möglichst niedrig zu wählen.

Bei Hobelarbeiten: Werkzeug mit 1,4% C und 5% Wo bei  $v = 3,6$  m/min Schnittgeschwindigkeit, Vorschub  $s = 5$  mm/Hub, Schnitttiefe  $t = 5$  mm.

Beim Bohren mit Diamantkronenbohrern: Schnittgeschwindigkeit  $v = 25$  bis 30 m/min, Vorschub  $s = 0,04 \dots 0,06$  mm/U.

**Holz.** Beim Drehen von Holz<sup>1</sup> wurden Schnittgeschwindigkeiten von 1,6 bis 10,75 m/s angewendet. Freiwinkel  $\alpha$  12 ... 15°, Keilwinkel  $\beta$  50 ... 60°. Man soll mit möglichst großen Vorschüben arbeiten.

Schleifen<sup>2</sup>. Als Schleifmittelträger werden benutzt: Schleifpapier, Schleifkörper, Schleifleinen. Das gekörnte Schleifmittel wird durch Hanfleim auf dem Papier und den Geweben gehalten.

Die Schleifgeschwindigkeit hat einen großen Einfluß und soll möglichst hoch sein. Bei Schleifbändern nicht unter 20 m/s und bei Tellerscheiben nicht unter 50 ... 55 m/s. Beim Schleifen von Lackschichten auf Holz soll kein Kühlmittel verwendet werden. Die nachstehende Übersicht zeigt die Verwendung verschiedener Schleifmittel. Wegen der Körnung läßt man sich von den Schleifmittelherstellern beraten:

Schleifmittel:

Eignung auf Papier oder Leinen für:

Glas (grünes Flaschenglas)	nur für Handschliff von Holz und Farben		
Flint (Feuerstein) . . . . .	Hand- und Maschinenschliff von Holz jeder Art		
Granat (Garnet) . . . . .	Maschinenschliff von Hartholz und Edelurnieren		
Elektrokorund . . . . .	Maschinenschliff von Hartholz und Edelurnieren		
Siliziumkarbid . . . . .	Für Sonderzwecke zum Schleifen von Hartholz.		

**Gummi.** Beim Drehen wird Spanwinkel  $\gamma = 0^\circ$  genommen<sup>3</sup>. Die Schnittgeschwindigkeit  $v$  ist etwa 100 m/min.

Beim Bohren werden nachstehende Werte empfohlen:

Bohrerdurchmesser mm . . . . .	5	12	25
Schnittgeschwindigkeit $v$ m/min	1800	900	340
Vorschub $s$ mm/U . . . . .	0,125	0,25	0,36

Beim Gewindeschneiden soll der Bohrer 0,05 ... 0,07 Übermaß haben bei  $\alpha = 15^\circ$  Freiwinkel.

Bandsägen: 0,8 mm dick, 22 mm breit, 5 ... 8 Zähne auf 25 mm. Schnittgeschwindigkeit  $v = 1000 \dots 1100$  m/min.

**Kunstharze.** Beim Drehen liegen die günstigsten Schnittgeschwindigkeiten  $v = 150 \dots 400$  m/min, Vorschub  $s = 0,3 \dots 0,5$  mm/U.

Bohren: mit  $v = 15 \dots 25$  m/min, bei  $s = 0,2 \dots 0,4$  mm/U Vorschub.

Sägen: Bei Kreissägen ist die günstigste Schnittgeschwindigkeit  $v = 1800 \dots 2000$  m/min.

Schleifen: mit einer Schnittgeschwindigkeit von  $v = 35$  mm/s, Körnung 30 ... 60.

<sup>1</sup> Dissertation J. Warlimont. Techn. Hochschule, Dresden 1932.

<sup>2</sup> Nach A. Sutter. Masch.-Bau Bd. 14 (1935) S. 325.

<sup>3</sup> Betriebsarchiv, „Der Betrieb“ 1934, Heft 11/12.

## VIII. Einfluß der Kühlmittel auf die Zerspanbarkeit.

Die Kühlmittel haben bei der spangebenden Formung den Zweck, die Lebensdauer der Werkzeuge zu erhöhen und die Oberflächengüte und Maßhaltigkeit der Werkstücke zu verbessern<sup>1</sup>. Das Kühlmittel wirkt weniger durch unmittelbare Kühlung an der Zerspanungsstelle, sondern meist mehr durch mittelbare Kühlung der Umgebung der Zerspanungsstelle. Daher ist es Voraussetzung, daß das Kühlmittel nicht nur in sehr reichlichem Maße zugeführt wird, sondern auch in einem ruhigen, gedämpften Strahl die Zerspanungsstelle überflutet.

### A. Einteilung.

Man unterscheidet 2 Gruppen von Ölen bei der Metallbearbeitung:

1. Schneidöle (etwa nach DIN 6557). Dies sind Öle, die in unvermischem Zustande benutzt werden. Sie dienen zur Kühlung bei der Zerspanung von Werkstoffen hoher Festigkeiten mit hohen Geschwindigkeiten und hohen Spanleistungen.

2. Kühlmittelöle (etwa nach DIN 6558), früher auch „Bohröle“ genannt. Diese Öle werden mit Wasser gemischt und emulgieren zu einer mehr oder weniger weißen Flüssigkeit. Die Farbe der Flüssigkeit ist auf die Leistung der Emulsion ohne Einfluß. Meist werden Mischungen von 1 : 10 (1 Teil Öl auf 10 Teile Wasser) benutzt; jedoch kommen je nach Bedarf stärkere oder schwächere Mischungen vor.

Zu beachten ist, daß bei hartem Wasser eine Enthärtung durch Sodazusatz nach folgender Vorschrift vorgenommen werden muß:

1° deutscher Härtegrad = 10 mg CaO (Kalziumoxyd, gebrannter Kalk) in  
 1 l Wasser,  
 = 18,9 mg kalzinierte Soda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  
 = 51 mg Kristallsoda  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10 \text{H}_2\text{O}$ .

Beispiel: Härtegrade 35°. Auf 1 l Wasser erforderlich:

$35 \times 18,9 = 661,5 \text{ mg} = 0,66 \text{ g}$  kalzinierte Soda,

$35 \times 51,0 = 1785 \text{ mg} = 1,80 \text{ g}$  Kristallsoda.

Die Emulsion soll ständig auf ihren Gehalt an Öl geprüft werden, da sie im Gebrauch ärmer wird.

Früher war es in vielen Fällen üblich, als Kühlflüssigkeit bei der Zerspanung tierische und pflanzliche Öle (Tran, Rüböl usw.) zu benutzen. Infolge ihrer chemischen Zusammensetzung neigen diese stark zu Veränderungen (säuern und harzen). Außerdem sollen solche Öle aus Gründen der Rohstoffversorgung nicht mehr zu industriellen Zwecken benutzt werden. Es kommt noch hinzu, daß die in Deutschland gewonnenen geringen Mengen solcher Öle wichtigeren Anwendungsgebieten vorbehalten sind.

### B. Richtlinien für die Verwendung der Schneidöle und Kühlmittelöle.

**Drehen auf gewöhnlichen Drehbänken.** Beim Drehen von Stahl wird Schneidöl und Kühlmittelöl benutzt. Eine genaue Trennung, wann das eine oder andere anzuwenden ist, kann nicht gegeben werden. Bei Benutzung von Schneidöl ist im allgemeinen mit einer Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit  $v_{60}$  von 40 ... 50 % zu rechnen. Wenn man aus gewissen Gründen die Schnittgeschwindigkeit beibehalten muß, erhöht sich die Standzeit des Werkzeuges entsprechend.

**Drehen auf Automaten- und Revolverbänken.** Bei solchen Bänken muß ausschließlich Schneidöl benutzt werden, weil die Kühlflüssigkeit ständig die Lager

<sup>1</sup> Vgl. auch Krekeler, K.: Öl im Betrieb. Heft 48 der Werkstattbücher.

der Maschine überspült. Bei Verwendung eines mit Wasser angesetzten Kühlmittelöles besteht die Gefahr, daß diese Flüssigkeit das Schmieröl aus den Lagern herauspült und dadurch unzulässiger Verschleiß eintritt. Bei Verwendung eines geeigneten Schneidöles beträgt der Gewinn an Schnittgeschwindigkeit bis zu 80 %.

Bei diesen Arbeitsvorgängen ist besonderer Wert auf entsprechende Ausflusstüllen zu legen, die der Form des Werkstückes angepaßt sein müssen.

**Bohren.** Beim Bohren wird im allgemeinen Kühlmittelöl benutzt (aus Gründen der besseren Spülwirkung). Die Späne werden beim Kühlmittel besser aus den Bohrungen herausgespült, weshalb es auch in besonders kräftigem Strahl zuzuführen ist. Durch ein geeignetes Kühlmittelöl können Geschwindigkeitssteigerungen bis zu 75 % erreicht werden.

**Senken und Reiben.** Beim Senken und Reiben muß darauf geachtet werden, daß durch die Zähflüssigkeit (Viskosität) des Kühlmittelöles die Reibüberweite wächst<sup>1</sup>, da die Filmdicke zwischen Werkstoff und Werkzeugschneide größer wird. Dies kann man sich dann zunutze machen, wenn man mit einer kleineren Reibahle größer reiben will.

**Fräsen.** Beim Fräsen soll vorzugsweise Schneidöl benutzt werden. Es müssen sehr große Mengen zugeführt werden, damit die Späne weggespült werden. Es kommen bei Fräsmaschinen Pumpenleistungen von 300 ... 400 l/min vor. Je größer die Schmierfähigkeit bei Schneidölen ist, um so geringer ist der Kraftbedarf. Ein solches Öl ergibt gegenüber Kühlmittelöl (Bohröl-Emulsion) eine Verringerung des Kraftbedarfes von 10 % und sogar gegenüber Rüböl noch um 5 %.

**Gewindeschneiden.** Das Gewindeschneiden ist ein schwieriger Zerspanungsvorgang. Nach Möglichkeit ist nur Schneidöl zu benutzen. Für besondere Gewinde bei hoher Festigkeit muß unter Umständen ein Lardöl gebraucht werden.

**Räumen.** Beim Räumen war es bisher üblich, Tran zu nehmen. Man ist davon abgekommen, da der Geruch sehr störend ist. Außerdem neigt Tran stark zum Säuern und Harzen, so daß Späne an den Schneiden der Räumnadeln kleben bleiben und, wenn sie nicht entfernt werden, zu Schneidenverletzungen führen. Sofern man mit einem Schneidöl nicht auskommt, ist Lardöl zu verwenden.

**Sägen und Feilen.** Beim Sägen und Feilen wird aus Gründen der leichteren Zuführbarkeit und der guten Kühlwirkung Kühlmittelöl benutzt. Es ist hier besonders darauf zu achten, daß die zugeführte Menge groß genug ist.

**Schleifen.** Beim Schleifen hat man bisher sehr oft Sodawasser benutzt und Kaliumchromat. Bei Sodawasser leidet der Anstrich der Maschinen sehr, bei Kaliumchromat sind physiologische Wirkungen auf die Hände der Bedienungsleute zu befürchten. In letzter Zeit ist ein Kühlmittelöl auf den Markt gebracht worden, das in einer großen Verdünnung von 1 : 60 (1 Teil Öl, 60 Teile Wasser) bei genügender Rostsicherheit beste Spanausbeute bringt<sup>2</sup>.

## IX. Kurzversuche für die Prüfung der Zerspanbarkeit.

Wie im vorstehenden gezeigt wurde, kommt es nicht nur darauf an, zu wissen, ob sich ein Werkstoff besser zerspanen läßt als der andere, sondern es sollen auch gleichzeitig Zahlenwerte für Schnittgeschwindigkeiten, Vorschübe usw. gewonnen werden, die sich im Betrieb praktisch verwerten lassen. Da hierbei die wirklichen Arbeitsvorgänge bis zur Abstumpfung des Werkzeuges angewendet werden, ist die Ermittlung der Richtwerte sehr zeitraubend und kostspielig.

<sup>1</sup> Schallbroch: Dissertation Aachen, Bericht Nr. 19: Untersuchungen über das Senken und Reiben von Eisen, Kupfer und Aluminiumlegierungen.

<sup>2</sup> Stäger, H., Baden, u. K. Krekeler, Hamburg: Über Versuche mit Schleifölen. Masch.-Bau, Der Betrieb Bd. 11 (1932) Heft 15, S. 317.

Es ist daher schon seit langem das Bestreben gewesen, an deren Stelle eine einfache Prüfung oder ein Kurzverfahren<sup>1</sup> zu setzen. Es ist aber bis heute noch nicht möglich gewesen, durch ein solches Verfahren absolute Zahlen für die Zerspanbarkeit zu bekommen.

Nachdem nun aber durch viele Großversuche nicht nur die Zerspannungsschaubilder sondern auch eine Reihe anderer Gesetzmäßigkeiten ermittelt wurden, bietet sich für die Kurzprüfverfahren ein neues, wichtiges Anwendungsgebiet. Wenn für einen Werkstoff, der immer in gleicher Zusammensetzung hergestellt wird, z. B. die  $v_{60}$ -Kennzahlen einmal ermittelt wurden, so ist es manchmal erwünscht oder notwendig, für die laufende Fertigung des Stahles die Zerspanbarkeit zu überwachen, ähnlich wie dies für Festigkeit, Dehnung usw. üblich ist. Es genügt also in diesem Falle, wenn man die Zerspanbarkeit einer als gut erkannten Lieferung durch irgendeine schnell und leicht zu ermittelnde Kennzahl ausdrückt. Bei der laufenden Überwachung der folgenden Lieferungen braucht man dann nur festzustellen, ob die Kennzahl die gleiche bleibt.

Man hat Kurzzeitversuche nach folgenden Verfahren ausprobiert:

1. Das Schnittdruckverfahren, ausgebildet mit elektrischen Meßdosen, Bauart Wallichs-Opitz.

2. Das Messen der Temperatur an der Schneide nach Gottwein-Reichel.

3. Das Kurzprüfverfahren (Pendelverfahren) von Leyensetter.

Zu 1. Bei dem Schnittdruckverfahren wird die von Wallichs-Opitz ausgebildete elektrische Meßdose benutzt<sup>2</sup> (Abb. 66 a und b).

Wie die Abbildung zeigt, beruht diese Meßdose auf dem Verfahren der Querschnittsänderung eines von Wechselstrom durchfluteten Elektrolyten. Die Schnittkräfte können jeweils abgelesen werden oder auch von einem Selbstschreiber über den ganzen Zerspanungsvorgang hin festgehalten werden.

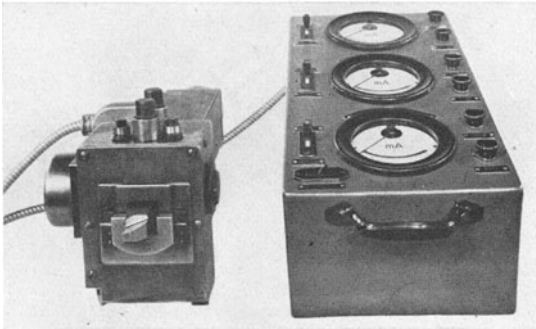


Abb. 66 a. Prüfgerät nach Wallichs u. Opitz.

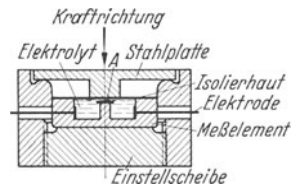


Abb. 66 b.  
Schema der elektrischen Meßdose.

Zu 2. Bei der Feststellung der Temperatur an der Schneide nach Gottwein-Reichel wird nach Vorschlag von Reichel das Zweistahlverfahren angewendet. Mit Hilfe zweier gegeneinander versetzter Drehmeißel (Abb. 67) von gleicher Form, aber aus verschiedenen Werkstoffen (etwa Schnellstahl und Hartmetall), wird der Spanquerschnitt so eingestellt, daß an beiden Schnittstellen die gleiche Wärmemenge entsteht. Die Schnittgeschwindigkeiten für alle Spanquerschnitte eines Werkstoffes lösen unter diesen Umständen für dieselbe Standzeit die gleiche Schneidentemperatur aus, d. h. also, daß alle  $v_{60}$ -Werte eines Werkstoffes auch

<sup>1</sup> Rapatz, A.: Prüfung der Automatenstähle auf ihre Zerspanbarkeit. Stahl u. Eisen Bd. 56 (1936) S. 617.

<sup>2</sup> Stahl u. Eisen Bd. 51 (1931) S. 1478.

gleiche Schneidentemperaturen haben. Schwierig ist es nur, für die beiden Werkzeugsorten die entsprechenden Spanquerschnitte zu finden.

Zu 3. Das Leyensetter Kurzprüfverfahren setzt sich aus 2 Teilen zusammen, erstens dem Kurzdrehversuch an der Drehbank und zweitens der Bestimmung der Schneidenabstumpfung mit dem Leyensetter-Pendel. Der Kurzdrehversuch wird mit einem besonderen dreieckigen Werkzeug an einer normalen Drehbank durchgeführt. Der Vorschub  $s$  beträgt 0,43 mm/U, die Schnitttiefe  $t$  0,20 mm. Bei jedem Versuch wird der Drehstahl auf einer Drehlänge (abgewickelte Schrauben-

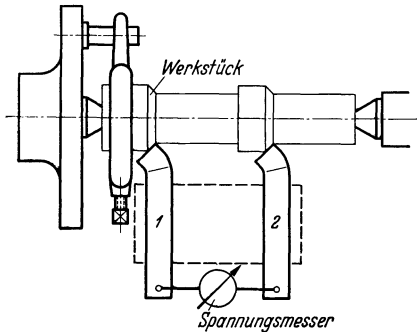


Abb. 67. Zweistahl-Verfahren nach Gottwein-Reichel.

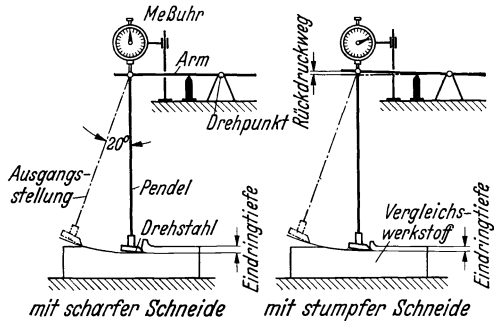


Abb. 68. Schema des Leyensetter-Pendelgerätes.

länge) von 25 m unter Schnitt gehalten. Die Schnittgeschwindigkeit wird bei den einzelnen Versuchen von 10 zu 10 m/min erhöht. Nach jedem Versuch wird der Drehmeißel am Pendelgerät auf seine Abstumpfung geprüft.

Das Leyensetter Pendelgerät besteht aus einem Pendel nach Abb. 68. Wenn die Schneide abstumpft, so wird die Auslenkung des Pendels nach oben immer größer. Dieser Betrag des Pendelausschlages wird in einem Schaubild eingetragen und ergibt eine spiegelbildliche Darstellung einer  $T$ - $v$ -Kurve. Nach Leyensetter soll nun der Schnittgeschwindigkeitswert, der dem Pendelausschlag 10 zugeordnet ist, als Kennzeichen der Zerspanbarkeit dienen. Wenn innerhalb eines Versuches mit 25 m Drehlänge eine Blankbremsung auftritt, wird dieser Wert der Schnittgeschwindigkeit ebenfalls eingetragen (in der Abb. mit  $b$  bezeichnet).

Man hat über die Brauchbarkeit dieser Verfahren größere Versuchsreihen an Automatenstählen gemacht. Es hat sich dabei gezeigt, daß bei allen 3 Verfahren die gleiche Gruppierung der Zerspanbarkeit gefunden wurde. Diese Beurteilung stimmt auch gut überein mit den Ergebnissen, die die Betriebe, denen man die gleichen Werkstoffe zur normalen Verarbeitung gegeben hatte, angaben. Man kann also sagen, daß diese Kurzprüfverfahren für eine Überwachung der Zerspanbarkeit innerhalb einer gleichen Werkstoffgruppe (z. B. Automatenstahl), solange es sich nur um Feststellung der Vergleichsziffer für die schon bekannte Zerspanbarkeit handelt, brauchbar sind. Allerdings verlangt die Anwendung immer noch geübtes Personal und eine gewisse Erfahrung. Einige Werke arbeiten aber schon betriebsmäßig mit dem Schnittdruckverfahren und haben gute Ergebnisse.

# WERKSTATTBÜCHER

## FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER

Bisher sind erschienen (Fortsetzung):

- Heft 32: Die Brennstoffe.  
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 33: Der Vorrichtungsbau.  
1. Teil: Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)  
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 34: Werkstoffprüfung. (Metalle). 2. Aufl.  
Von Prof. Dr.-Ing. P. Riebensahm.
- Heft 35: Der Vorrichtungsbau. 2. Teil: Typische Einzelvorrichtungen. Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen. Kritische Vergleiche. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)  
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 36: Das Einrichten von Halbautomaten.  
Von J. van Himbergen, A. Bleckmann, A. Waßmuth.
- Heft 37: Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei.  
Von Fr. und Fe. Brobeck.
- Heft 38: Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau.  
Von Ing. Arno Dorl.
- Heft 39: Die Herstellung roher Schrauben.  
1. Teil: Anstauchen der Köpfe.  
Von Ing. Jos. Berger.
- Heft 40: Das Sägen der Metalle.  
Von Dipl.-Ing. H. Hollaender.
- Heft 41: Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle).  
Von Dr.-Ing. A. Peter.
- Heft 42: Der Vorrichtungsbau. 3. Teil: Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen.  
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 43: Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl.  
Von Dipl.-Ing. Ernst Klosse.
- Heft 44: Stanztechnik. 1. Teil: Schnitttechnik.  
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 45: Nichteisenmetalle. 1. Teil: Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß.  
Von Dr.-Ing. R. Hinzmänn.
- Heft 46: Feilen.  
Von Dr.-Ing. Bertold Buxbaum.
- Heft 47: Zahnräder.  
1. Teil: Aufzeichnen und Berechnen.  
Von Dr.-Ing. Georg Karrass.
- Heft 48: Öl im Betrieb.  
Von Dr.-Ing. Karl Krekeler.
- Heft 49: Farbspritzen.  
Von Obering. Rud. Klose.
- Heft 50: Die Werkzeugstähle.  
Von Ing.-Chem. Hugo Herbers.
- Heft 51: Spannen im Maschinenbau.  
Von Ing. A. Klautke.
- Heft 52: Technisches Rechnen.  
Von Dr. phil. V. Happach.
- Heft 53: Nichteisenmetalle. 2. Teil: Leichtmetalle. Von Dr.-Ing. R. Hinzmänn.
- Heft 54: Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine.  
Von Dipl.-Ing. Otto Weidling.
- Heft 55: Die Getriebe der Werkzeugmaschinen. 1. Teil: Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen.  
Von Dipl.-Ing. Hans Röggnitz.
- Heft 56: Freiformschmiede.  
3. Teil: Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede. 2. Aufl. (7.—12. Tausend.)  
Von H. Stodt.
- Heft 57: Stanztechnik.  
2. Teil: Die Bauteile des Schnittes.  
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 58: Gesenkschmiede. 2. Teil: Einrichtung und Betrieb der Gesenkschmieden.  
Von Ing. H. Kaessberg.
- Heft 59: Erscheint später.
- Heft 60: Stanztechnik. 4. Teil: Formstanzen.  
Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
- Heft 61: Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe.  
Von Dr.-Ing. habil. K. Krekeler VDI.

In Vorbereitung bzw. unter der Presse befinden sich:

- Hartmetalle in der Werkstatt. Von Ing. F. W. Leier.
- Messen und Tolerieren von Gewinden. Von Ing. Karl Kress.
- Stanztechnik III. Von Dipl.-Ing. E. Krabbe.
- Gesenkschmiede III. Von Ing. H. Kaessberg.