

**WERKSTATTBÜCHER**

**HERAUSGEBER EVGEN SIMON**

**HEFT 2**

**MAX KVRREIN**

**MESSTECHNIK**



**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH**

# Zur Einführung.

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

So unentbehrlich für den Betrieb eine gute Organisation ist, so können die höchsten Leistungen doch nur erzielt werden, wenn möglichst viele im Betrieb auch geistig mitarbeiten und die Begabten ihre schöpferische Kraft nutzen. Um ein solches Zusammenarbeiten zu fördern, wendet diese Sammlung sich an alle in der Werkstatt Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Arbeiter bis zum Ingenieur.

Die „Werkstattbücher“ werden wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe stehen, dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich sein und keine andere technische Schulung voraussetzen als die des praktischen Betriebs.

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

## Bisher sind erschienen:

- |  |   |
|--|---|
| Heft 1: Gewindeschneiden. 7.—12. Tausd.<br>Von Obering. O. Müller.   | Heft 8: Härten und Vergüten.<br>2. Teil: Praxis der Warmbehandlung.<br>Zweite, verbesserte Auflage.<br>(7.—15. Tausend).<br>Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. |
| Heft 2: Meßtechnik. Zweite, verbesserte<br>Auflage (7.—15. Tausend).<br>Von Priv.-Doz. Dr. techn. M. Kurrein.  | Heft 9: Rezepte für die Werkstatt.<br>Von Chemiker Hugo Krause.   |
| Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbau-<br>werkstätten. 7.—12. Tausend.<br>Von Ing. H. Frangenheim.  | Heft 10: Kupolofenbetrieb.<br>Von Gießereidir. C. Irresberger.  |
| Heft 4: Wechselräderberechnung für<br>Drehbänke. 7.—12. Tausend.<br>Von Betriebsdirektor G. Knappe.  | Heft 11: Freiformschmiede.<br>1. Teil: Technologie des Schmiedens. —<br>Rohstoffe der Schmiede.<br>Von Direktor P. H. Schweißguth.                      |
| Heft 5: Das Schleifen der Metalle.<br>Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.   | Heft 12: Freiformschmiede.<br>2. Teil: Einrichtungen und Werkzeuge<br>der Schmiede.<br>Von Direktor P. H. Schweißguth.                                  |
| Heft 6: Teilkopfarbeiten.<br>Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.  | Heft 13: Die neueren Schweißverfahren.<br>Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.   |
| Heft 7: Härten und Vergüten.<br>1. Teil: Stahl und sein Verhalten.<br>Zweite, verbesserte Auflage.<br>(7.—15. Tausend).<br>Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. |   |

---

Eine Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte ist auf der  
3. Umschlagseite abgedruckt.

---

**Jedes Heft 48—64 Seiten stark, mit zahlreichen Textfiguren.**

**Jedes Heft: Grundzahl 1; Schweizer Franken 1.—.**

*Die Grundzahl (GZ.) entspricht dem ungefähren Vorkriegspreis und ergibt mit der jeweiligen Entwertungsziffer (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*

**WERKSTATTBÜCHER**  
**FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER**  
**HERAUSGEGEBEN VON EUGEN SIMON, BERLIN**

---

---

HEFT 2

# Meßtechnik

von

**Professor Dr. Max Kurrein**  
Betriebsingenieur an der Technischen Hochschule zu Berlin

Zweite, verbesserte Auflage  
(7. bis 14. Tausend)

Mit 166 Textfiguren



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH  
1923

ISBN 978-3-662-34251-0

ISBN 978-3-662-34522-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-34522-1

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Grundlagen des Messens . . . . .	3
Begriff des Messens S. 3. — Zulässiger Fehler S. 3. — Eigenschaften der Meßwerkzeuge S. 4. — Abnutzung der Meßwerkzeuge S. 6. — Einteilung der Meßwerkzeuge S. 7. — Prototyp- oder Urmaße S. 7. — Meßmaschine S. 8.	
II. Meßwerkzeuge . . . . .	11
A. Meßwerkzeuge zur Übertragung . . . . .	11
Übertragung vom Arbeitsstück auf den Maßstab S. 11. — Übertragung vom Maßstab auf das Arbeitsstück S. 14. — Zeichnerische Messung S. 17.	
B. Feste Maße . . . . .	18
1. Feste Maße bestimmter bekannter Größe . . . . .	19
Normalmaße S. 19. — Formen der Normalmaße S. 19. — Grenzlehren (Toleranzlehren) S. 22. — Parallelendmaße S. 29.	
2. Feste Maße beliebiger unbekannter Größe . . . . .	32
C. Einstellbare Maße . . . . .	33
Strichmaßstäbe S. 33. — Schublehren S. 34. — Tiefenmaße S. 40. Mikrometer S. 41. — Schnellmeßmikrometer S. 44. — Verbindung von Mikrometer mit anderen Meßwerkzeugen S. 45.	
D. Fühlhebel . . . . .	48
Universalinstrumente S. 48. — Minimeter S. 50. — Meßuhren S. 53. — Fühlstiftlehren S. 53.	
III. Besondere Meßverfahren . . . . .	55
A. Konusmessung . . . . .	55
B. Winkelmessung . . . . .	61
Mechanische Winkelmessung S. 62. — Winkelmessung mittels Libellen S. 65.	
C. Gewindemessung . . . . .	69
Allgemeines S. 69. — Messung der Gewinde S. 70.	

## I. Grundlagen des Messens.

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

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

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

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

Wenn man z. B. die Länge irgend eines rechteckigen Stahlstabes mit einem großen Maßstab mißt, so ist dies eine unmittelbare Messung. Wenn man aber denselben Stab wägt, seine Querschnittsabmessungen bestimmt, so kann man mit Hilfe des spezifischen Gewichtes des Stahles durch Rechnung mittelbar die Länge des Lineales erhalten. Dies wäre eine „mittelbare“ Längenmessung.

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

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

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

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

**Zulässiger Fehler.** Bei jeder solchen Vergleichung, „Messung“, ist man aber auf die Sinne angewiesen, die erwiesenermaßen nicht bei allen Menschen gleich scharf ausgebildet sind, in keinem Fall aber vollkommene Beobachtungen ohne kleine Abweichungen nach oben oder unten hin geben. Dies zeigt sich durch

die Abweichungen zwischen mehreren Messungen desselben Gegenstandes. Diese Abweichungen nennt man Fehler der Messung. Eine Abweichung nach oben ist ein positiver, eine nach unten ein negativer Fehler. Solche Fehler können aber auch durch äußere Einflüsse, wie Temperatur, Beleuchtung, toten Gang in den Meßwerkzeugen u. a. m. entstehen und müssen für genaue Messungen bestimmt und bei der Angabe des Meßergebnisses berücksichtigt werden. Da man die Meßfehler nie vollständig entfernen, sondern nur auf ein geringstes Maß zurückführen kann, so gibt man bei wichtigen Messungen die Größe des „zulässigen Fehlers“ an. Die Größe desselben richtet sich nach der verlangten Genauigkeit der betreffenden Arbeit. Gewisse Fehler aber lassen sich durch geeignete Handhabung der Meßinstrumente stark verringern, bzw. durch Anwendung allgemein üblicher Kunstgriffe beim Messen ganz vermeiden. Dazu gehört die dauernde Bewegung des Instrumentes oder des Gegenstandes bei feststehendem Meßwerkzeug bei allen Messungen, die auf dem Gefühl aufgebaut sind. Wenn man mit der Schublehre oder dem Mikrometer ein Maß festzustellen hat, so schiebt man während des Anschiebens des beweglichen Meßbackens das Meßwerkzeug ein wenig nach beiden Seiten, beim Messen mit dem Lehdorn oder der Rachenlehre in der Richtung der Einführung des Kalibers, wodurch man ein viel schärferes Fühlen kleiner Abweichungen an dem zu messenden Gegenstand erreicht als bei ruhiger Auflage. Ähnlich arbeitet man auch mit den Endmaßen, die man während des Messens senkrecht zu dem zu messenden Maß ein wenig schiebt oder dreht.

Beispiele:

1. Es soll ein Endmaß von 100 mm Länge zur Kontrolle eines Mikrometers verwendet werden; diese Messung muß bei der vom Normenausschuß festgelegten Normaltemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  ausgeführt werden, wenn vollständige Richtigkeit verlangt wird. Geringe Abweichungen von  $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$  nach oben oder unten haben noch keinen Einfluß auf die Richtigkeit der Messung, da das Mikrometer höchstens 0,005 mm anzeigt. Wenn aber der Arbeiter das Endmaß so lange in der Hand hält, daß es die Körperwärme von  $37^{\circ}$  angenommen hat, so hat sich das Endmaß, das bei  $20^{\circ}$  genau 100 mm lang ist, um 0,0187 mm ausgedehnt, da die Ausdehnung des Stahles für  $1^{\circ}$  Temperaturdifferenz und 1 mm Länge 0,000011 mm beträgt. Der Arbeiter stellt dann das Mikrometer um beinahe 0,02 mm falsch ein.

2. Der Durchmesser eines zylindrischen Körpers soll mittels eines Mikrometers bestimmt werden. Um die unvermeidlichen Fehler möglichst auszuschalten, wiederholt man entweder die Messung selbst mehrere Male oder läßt dieselbe Messung mit demselben Instrument an derselben Stelle von verschiedenen Beobachtern ausführen. Aus diesen Beobachtungen nimmt man den Mittelwert, der von allen Messungen dem wahren Wert am nächsten kommen wird. Die Abweichung der einzelnen Beobachtung von dem Mittelwert ist der Fehler der Messung. Wenn man nun aus allen Fehlern, dem absoluten Wert nach, den Mittelwert bestimmt, so erhält man den durchschnittlichen Fehler, der ein Maß für die Genauigkeit der Messung angibt. Eine solche Meßreihe ergab bei vier Beobachtern:

Beobachtung		Fehler	
1.	22,275	— 0,005	} 0,0045 mm } durchschnittlicher } Fehler
2.	22,285	+ 0,005	
3.	22,283	+ 0,003	
4.	22,275	— 0,005	
		Mittelwert	

**Eigenschaften der Meßwerkzeuge.** Damit die Messungen den vorgeschriebenen Bedingungen genügen, müssen die Meßwerkzeuge selbst bestimmte Eigenschaften haben, deren zahlenmäßig ausgedrückter Wert nach Art der zu leistenden Meßarbeit verschieden sein kann. Diese Eigenschaften sind:

1. Richtigkeit,
2. Genauigkeit,
3. Empfindlichkeit.

Während die erste Eigenschaft eine unbedingt notwendige Grundbedingung für eine einwandfreie Anwendung eines Meßwerkzeuges ist, beeinflussen die beiden letzten nur die Art der Anwendung.

In Fig. 1 ist das Zifferblatt eines Tachometers abgebildet, dessen kleinste Unterteilung 5 Umdrehungen bei einem größten Meßbereich von 1000 Umdrehungen entspricht, also 0,5 v. H. Voraussetzung für den Gebrauch ist; wenn bei z. B. 500 Umdr./min das Instrument tatsächlich 2,5 Umdr./min anzeigt, ist es richtig.

Nun sind aber die Teilstriche so weit voneinander entfernt, daß ein im Schätzen bewanderter Beobachter auch noch 1 Umdr./min ablesen kann; ob aber solche Zeigerschwankungen tatsächlich Änderungen von einer Umdrehung entsprechen, müßte erst eine sehr sorgfältige Prüfung nachweisen. In den meisten Fällen ist ohne besondere Sorgfalt eine kleinere Ablesung als der letzten Unterteilung entspricht, seitens des Fabrikanten nicht vorgesehen, d. h. die Genauigkeit des Werkzeuges für den Verbraucher ist durch die kleinste Ablesung gegeben. Damit nun aber

diese Genauigkeit auch tatsächlich für alle Ablesungen erreicht wird, muß bei der Herstellung noch die Hälfte dieser Ablesung richtig erhalten werden, wenigstens wenn es sich um erstklassige Fabrikation handelt. Wenn man z. B. ein normales Mikrometer mit Teilung auf  $\frac{1}{100}$  mm durch Schätzung auf halbe Teile bis auf 0,005 mm ausnützt, so werden nur wenige Fabrikate sich bei einer fachmäßigen Kontrolle als richtig erweisen.

Damit nun eine Anzeige auf einen bestimmten Betrag, im Falle des Tachometers auf 2,5 Umdr./min genau sei, muß das Instrument oder Meßwerkzeug einen noch geringeren Betrag, im allgemeinen zum mindesten die Hälfte dieses Wertes anzeigen. Es ist sehr wohl möglich, daß das Tachometer bei einer Umdrehung mehr oder weniger einen sichtbaren Ausschlag gibt, d. h. das Instrument ist auf  $\frac{1}{5}$  der Teilung empfindlich, ob aber die Größe dieses Ausschlages in allen Fällen gleich ist, ist anzuzweifeln; dieser Ausschlag bleibt erst bei 2,5 Umdr./min derselbe, d. h. das Instrument ist auf  $\frac{1}{2}$  der Teilung genau.

Ein Strichmaßstab kann z. B. nach einer ganz genauen Teilung angerissen sein, so daß der mittlere Fehler vielleicht nur  $\frac{2}{1000}$  mm beträgt; wenn aber die

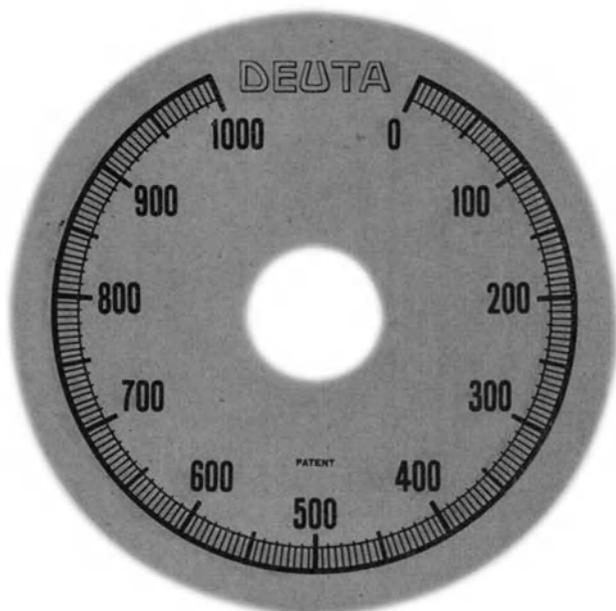


Fig. 1. Zifferblatt eines Tachometers, Deuta-Werke, Berlin.

einzelnen Teilstriche in der bei Werkstättenmaßstäben üblichen Dicke von 0,15 bis 0,2 mm gezogen sind, so wird schon die übliche Schätzung auf 0,1 mm zwischen den Teilstrichen sehr schwer, d. h. die Empfindlichkeit des Maßstabes, die Schätzungsmöglichkeit entspricht nicht der Genauigkeit. Der gegenteilige Fall ist bei vielen Mikrometern der Handelsware üblich, die durch eine übermäßig vergrößerte Ablesetrommel  $\frac{1}{500}$  mm abzulesen erlauben, das Instrument soll also mindestens auf  $\frac{1}{5}$  der üblichen Teilung genau sein; da aber aus Herstellungsgründen allgemein für erstklassige Mikrometer nur  $\frac{1}{100}$  mm als letzte Teilung gewährleistet wird, die handelsüblichen sicher nicht besser sein werden, so ist die Richtigkeit der Mikrometerschraube sicherlich  $\frac{1}{5}$  zu gering gegenüber der Ablesegenauigkeit.

Daraus ergibt sich die Bedingung für die Feststellung der Richtigkeit eines Meßwerkzeuges; da diese Prüfung wieder mit Instrumenten und durch Beobachtungen geschehen muß, ist die Feststellung der absoluten Richtigkeit unmöglich, sondern nur so weit, als es die Fehler der Kontrollinstrumente zulassen. Da andererseits die verschiedenen Werkzeuge verschiedenen Zwecken dienen, kann und muß auch aus wirtschaftlichen Herstellungsrücksichten nur die ausreichende Genauigkeit zum Ausgangspunkt genommen werden. Es hätte z. B. keinen Zweck, für normale Werkstättenarbeit Schublehren mit 0,01 mm Ablesung herzustellen, umgekehrt wären Mikrometer mit 0,1 mm Ablesung unnütze Geldausgaben.

Ist nun die für den Gebrauch eines bestimmten Instrumentes ausreichende Genauigkeit einmal festgesetzt worden, so muß es bei der Fabrikation mindestens auf den halben Wert genau gemacht werden und noch deutliche Anzeigen auf den vierten Teil („Empfindlichkeit“) ergeben.

Die Prüfung auf Richtigkeit wird demnach mit Instrumenten vorgenommen, deren Genauigkeit und Empfindlichkeit entsprechend höher liegen. Eine Schublehre, die gewöhnlich 0,1 mm kleinste Ablesung hat, wird mittels einer Mikrometerschraube mit 0,01 mm kleinster Ablesung geprüft, diese mittels Endmaßen, die auf 0,001 mm genau sind, die Endmaße wieder durch optische Interferenzmessungen. Daraus wieder ergeben sich für die notwendige Genauigkeit bei der Herstellung derartiger Meßwerkzeuge die Grenzen mit wenigstens  $\frac{1}{2}$ , meistens aber  $\frac{1}{4}$  der letzten Ablesung.

Es unterliegt natürlich keinem Anstand, alle Meßwerkzeuge mit den genauesten Kontrollmaßen zu prüfen, doch ist dies unwirtschaftlich, da diese Prüfung dann unverhältnismäßig viel Zeit kostet und die ungleich teureren Kontrollmaße unnötig abnützt.

**Abnützung der Meßwerkzeuge.** Wenn Instrumente auch bei der Indienststellung vollständig allen diesen Bedingungen entsprochen haben, so kann dieser Zustand infolge der natürlichen Abnützung nicht dauernd erhalten bleiben. Man muß aber dabei wohl unterscheiden zwischen Abnützung der eigentlich messenden Teile, z. B. der Backen einer Rachenlehre oder der Fühlflächen einer Mikrometerschraube und jener der übrigen arbeitenden Teile, z. B. der Gewindemutter des Mikrometers, des Schiebers einer Schublehre usw. Die Abnützung der ersten Teile macht das Meßwerkzeug unrichtig, während im zweiten Fall das Arbeiten mit dem Instrument gewisse zusätzliche Fehler erhält, z. B. toten Gang. Das durch Abnützung unrichtig gewordene Meßwerkzeug kann entweder durch eine in seiner Konstruktion vorgesehene Justiervorrichtung, vgl. Nachstellung an Mikrometern, Fig. 80, 81, 83, gewissen Rachenlehren, Fig. 56, mittels Kontrollmeßwerkzeugen wieder richtig gemacht werden oder es muß im Fabrikationsbetriebe, wie Lehdorn, Endmaße usw., erneuert werden. Im Gegensatz dazu verlangt die behobene mechanische Abnützung arbeitender Teile keine Neujustierung auf Richtigkeit; man kann die Gewindemutter eines Mikrometers einfach nach-

ziehen, den lose gewordenen Schieber einer Schublehre leicht stauchen, während eine Abnützung der Schublehrenbacken eine falsche Ablesung und Neujustierung bedingt.

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

Auf die Höhe des zulässigen Abnützungswertes ist die Verwendung des Werkzeuges von großem Einfluß, der Wert wird geringer, wenn es eine Prüf- oder Revisionslehre ist, er kann höher gehalten werden, wenn es sich um eine normale Arbeitslehre handelt. Um den verschiedenen hier auftretenden Ansichten Grenzen zu setzen, sind im NDI Tafeln in Vorbereitung, die besonders für die festen Fabrikations-Meßwerkzeuge von Vorteil sind, bei denen jedoch die oben entwickelten Begriffe der Genauigkeit und Empfindlichkeit nicht ohne weiteres zu ersehen sind. Als Richtschnur mag hierbei dienen, daß ein derartiges Werkzeug einer erstklassigen Fabrikation auf 0,002 mm richtig hergestellt wird, so daß dieser Wert mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Fabrikationsfehler als „Empfindlichkeit“ einer festen Lehre angesetzt werden kann.

Von besonderer Wichtigkeit ist diese Frage bei den Grenzlehren, da gegebenenfalls eine Störung der beabsichtigten Passung durch zu große Abnützung eintreten kann, vgl. DINorm 168.

**Einteilung der Meßwerkzeuge.** Im Maschinenbau können solche Messungen durch grundsätzlich verschieden gebaute Werkzeuge erfolgen, und zwar durch

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

2. Feste Maße, d. h. solche, die nur ein ganz bestimmtes Maß zwischen den Meßflächen darstellen, z. B. Lohrdorne, Rachenlehren, Endmaße u. dgl.

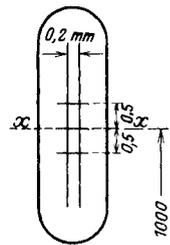
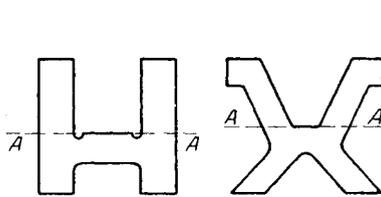
3. Einstellbare Maße, d. h. solche, die durch gegenseitige Verschiebung der Meßflächen oder Verwendung verschiedener Teilstriche die Messung verschiedener Längen innerhalb des Meßbereiches des Werkzeuges gestatten, z. B. Maßstäbe, Mikrometer, Schublehren u. dgl.

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

**Prototyp- oder Urmaße.** Bevor man die Richtigkeit und die Genauigkeit eines Meßwerkzeuges für Längenmessung bestimmen kann, muß die Maßeinheit, in diesem Falle 1 m, in ihrer Länge genau bestimmt sein und mit genügender Genauigkeit vervielfältigt werden können. Diese Arbeit wurde von einer internationalen Kommission im Jahre 1875 begonnen und im Jahre 1882 mit einer Verteilung von je einem Stück Prototyp- oder Urmeter und einem Kilogramm-gewicht aus Platin-Iridium an die der Konvention zugehörigen Staaten abgeschlossen. Von diesen Urmaßen werden nun in einem jeden Lande die geeichten Normalmaße angefertigt. Man darf sich aber nicht vorstellen, daß diese Urmaße bei jeder Kontrolle verwendet werden, da sie dadurch bald ihre hohe Genauigkeit einbüßen würden, sondern es sind an jeder Zentralstelle eigene Normale hergestellt worden, die mit der größten Genauigkeit nach dem Urmaß ausgemessen werden und dann für unmittelbare Vergleichsmessungen dienen.

Außerdem ist ein solches Urmeter ein Strichmaßstab und nur für eine Ablesung mittels eigener Mikroskope, sog. Komparatoren, eingerichtet, so daß jede Messung mit demselben in gleicher Weise wie die Herstellung desselben nach dem Urmeter im Bureau internationale des Poids et mesures in Sèvres (Frankreich) erfolgen müßte.

Das Urmeter hat einen H-förmigen Querschnitt, Fig. 2—3, damit es bei geringstem Gewicht (wegen des hohen Preises des Platiniridiums) die größte



Steifigkeit gegen Durchbiegung bekommt und man die Maßstriche, die nur das Ende und den Anfang des Meters darstellen, möglichst genau und leicht in die neutrale Faser des Maßstabes bringen kann. Diese zwei Teilstriche sind  $\frac{6}{1000}$  mm dick und natürlich nur

Fig. 2—4. Querschnitt und Teilstriche des Urmeters.

mit dem Mikroskop des Komparators abzulesen, so daß in einer Entfernung von je 0,5 mm rechts und links, Fig. 4, von dem eigentlichen Maßstrich noch je ein Hilfsstrich angebracht ist, der das Aufsuchen des Meterstriches erleichtert und gleichzeitig zur Bestimmung des Millimeters verwendet wird. Das deutsche Urmeter hat einen Querschnitt von 150,9 mm<sup>2</sup>, wiegt 3,3 kg und hat 8138 Mark gekostet. Seine Länge beträgt mit Rücksicht auf die Temperatur und die unvermeidlichen Meßfehler

$$L = 1 \text{ m} - 1,0 \mu + 8,692 \mu \cdot t + 0,001 \mu \cdot t^2 \pm 0,2 \mu,$$

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

**Meßmaschine.** Nachdem man von dem Urmeter die sog. Präzisionsmaßstäbe hergestellt hatte, erwuchs die Notwendigkeit, die im Maschinenbau verwendeten Maße, also Strich- und Endmaße, auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Zu diesem Zweck wurden die Meßmaschinen gebaut, die entweder ein Endmaß mit einem anderen, zuverlässig richtigen vergleichen oder durch gleichzeitige Ablesung mittels mit dem Meßkörper verbundener Mikroskope den Vergleich dieser Endmaße mit einem an der Meßmaschine befestigten Präzisionsmaßstab gestatten. Doch ist die tatsächliche Genauigkeit dieser Meßmaschinen nicht höher als  $\frac{1}{1000}$  mm = 1  $\mu$ , da die bei einigen Bauarten ermöglichten Ablesungen auf  $\frac{1}{10} \mu = 0,0001$  mm durch die Wärmeeinflüsse und die unvermeidlichen Beobachtungsfehler so unsicher sind, daß man sie nicht verwendet, außer wenn die messende Person voll die Fähigkeit zu einer derartigen Messung besitzt. Eine solche Meßmaschine, Bauart Hommel, zeigt Fig. 5 und 6 in Vorder- und Seitenansicht. Auf einem steifen gußeisernen Bett mit geschabten Führungen sind zwei Meßköpfe A und B verschiebbar, von denen der eine den Fühlstift C, der andere die Meßschraube D trägt. Zwischen beiden liegt auf einstellbaren, genau gleichhohen Stützen E das zu messende Endmaß. Man legt nun das geprüfte Endmaß zwischen die beiden Fühlspitzen C und D und schraubt die Meßschraube D so weit hinein, daß die Flüssigkeit im Steigrohr F an der Marke steht. Man macht nun die Ablesung an der Meßtrommel G und ihrem Nonius und schreibt diese Ablesung auf. Dann schraubt man, ohne die Feineinstellung an der Meßschraube zu lösen, diese zurück und nimmt das Normalendmaß, dessen genaue Länge man kennt, heraus, legt an dessen Stelle das zu untersuchende Maß und schraubt die Meßschraube wieder ein, bis der Flüssigkeitsstand im Steigrohr F wieder an der Marke steht. Macht man nun wieder eine Ablesung an der Meßtrommel, so ergibt der Unterschied beider Ablesungen, je nach-

dem er positiv oder negativ ist, den Betrag, um den das untersuchte Endmaß von dem bekannten richtigen abweicht.

Um die Messung innerhalb der verlangten Genauigkeit von  $\frac{1}{1000}$  mm zu erhalten, ist die Meßschraube in dem Meßkopf A durch Schleifen der Gewinde so genau wie möglich hergestellt und die Mutter mit einer Sicherung gegen toten Gang versehen. Andererseits muß der Augenblick der Berührung des Fühlstiftes C mit dem zu messenden Endmaß, bei immer gleichstarkem Druck erhalten werden, weshalb, Fig. 5, der Fühlstift C gegen einen Meßdosenskolben drückt

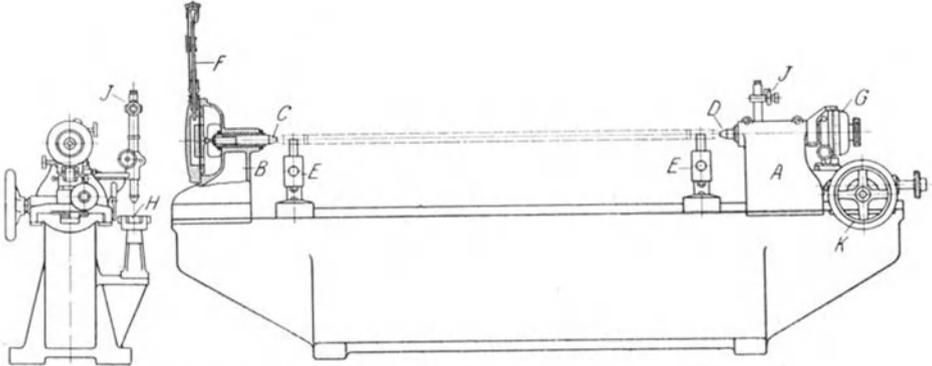


Fig. 5—6. Meßmaschine der Hommelwerke, Mannheim.

und die Flüssigkeit hinter ihm und der Membran bei seiner Bewegung in eine Kapillarröhre bei F drängt, so daß ein Weg von  $\frac{1}{1000}$  mm des Fühlstiftes genügt, um den Wasserstand in der Röhre um 10 mm zu heben. Will man ein absolutes Maß, ohne Vergleich mit einem bekannten Normalmaß erhalten, so bedient man sich des Präzisionsmaßstabes H auf der Rückseite der Maschine, Fig. 6—7. Zu diesem Zwecke wird das Ablesemikroskop J am Meßsupport A bei aneinanderge-

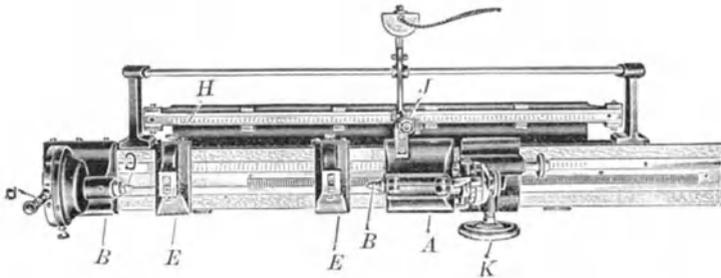


Fig. 7. Meßmaschine der Hommelwerke Mannheim. Grundriß.

schobenen Fühlspitzen C und D, Stellung der Flüssigkeit an der Nullmarke und allen Skalen auf Null, auf den Nullstrich des Maßstabes eingestellt, worauf der Meßsupport A so weit verschoben wird, daß das zu messende Endmaß eingelegt werden kann. Man verschiebt dann den Meßsupport A mit der Grobeinstellung K, bis der nächstliegende Teilstrich des Maßstabes mit dem Faden im Mikroskop zusammenfällt und stellt dann den Meßsupport A fest. Dann schiebt man die Meßschraube durch Drehen des Kopfes an der Meßtrommel G so weit vor, daß bei Berührung der Fühlstifte mit dem zu messenden Körper die Flüssigkeit bis zur Nullmarke im Steigrohr F steigt. Die gesuchte Länge des Endmaßes ist dann

die Ablesung am Maßstab, vermindert um die Ablesungen an der Meßschraube, wobei man noch die Korrekturtabellen des Maßstabes selbst berücksichtigen muß.

Bei der Wichtigkeit, die eine richtige Ausbildung des Fühlstiftes auf die Genauigkeit der Messung einer Meßmaschine hat, ist es nicht zu verwundern, daß fast jedes technisch und physikalisch verwendete Meßgerät an dieser Stelle eingebaut worden ist. Da eine möglichst große Unveränderlichkeit bei größter Empfindlichkeit angestrebt werden muß, werden in neuerer Zeit mit Vorliebe Fühlhebelkonstruktionen, vgl. Fig. 97, 102, 107, usw. benutzt.

In Fig. 8—9 ist eine von Göpel angegebene Konstruktion eines Fühlhebels mit optischer Ablesung in der Bauart der Meßmaschine von Sautter & Meßner, Aschaffenburg wiedergegeben. Nach Angabe kann man bei fachgemäßer Messung

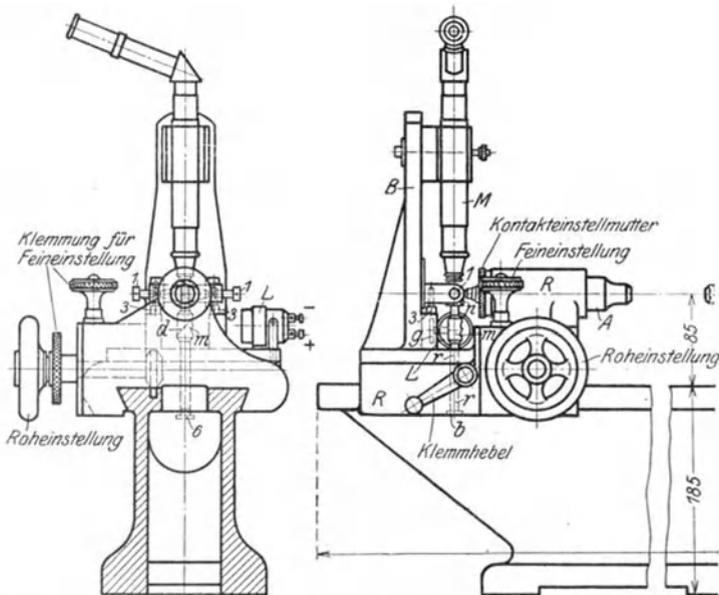


Fig. 8 und 9. Meßmaschine mit optischem Fühlhebel. Sautter & Meßner, Aschaffenburg.

eine Einstellgenauigkeit von  $0,01 \mu$ , also  $\frac{1}{100000}$  mm erreichen. Der Fühlstift A der Meßmaschine wird in üblicher Weise in seinem Ständer R geführt und drückt mit einer Kugelspitze gegen eine planparallele Stahlplatte p in dem kürzeren Ende des Fühlhebels; das längere Ende r ist ein Messingrohr, das unten ein Silberplättchen b mit einem feinen Einstellstrich trägt, dessen Beleuchtung durch das Beobachtungsmikroskop M und eine besondere Beleuchtungseinrichtung L und Planglas d unter  $45^\circ$  erfolgt. Bei der Messung eines zwischen Meß- und Fühlstift der Maschine eingespannten Körpers wird die Mikrometerschraube so weit vorgeschoben, daß im Gesichtsfelde des Mikroskopes der Einstellstrich zwischen den beiden Okularfäden erscheint.

Da nach verschiedenen Angaben der gesamte Meßdruck zwischen 2 und 7 kg beträgt, so ist mit Berücksichtigung der elastischen Deformation der Meßflächen im allgemeinen eine Maschine vorzuziehen, die den geringsten Meßdruck bei sonst gleicher Arbeit ergibt, was die rein optischen Maschinen am ehesten erreichen. Dafür sind sie aber gegen Mißhandlung um so empfindlicher.

Bei solchen Messungen muß die Temperatur des Raumes und der zur Messung verwendeten Normalmaße bekannt sein und äußerst genau gleich gehalten werden,

damit man die Länge des betreffenden Körpers bei der gesetzlich festgelegten Meßtemperatur von 20° C — DIN 102 — aus dem Ausdehnungskoeffizienten und der Länge bei der Beobachtungstemperatur ausrechnen kann.

## II. Meßwerkzeuge.

### A. Meßwerkzeuge zur Übertragung.

**Übertragung vom Arbeitsstück auf den Maßstab.** Das einfachste Werkzeug, mit dem man Maße irgend eines Körpers von sehr verschiedener Größe abnehmen kann, ist der Taster, Fig. 10—13, der in der einfachsten Form aus zwei um einen Zapfen drehbaren Schenkeln besteht, die mit einer gewissen Reibung aneinander gleiten müssen, damit die beiden eingestellten Schenkel auch das Maß zwischen sich festhalten und diese Entfernung nicht zu leicht durch unbeabsichtigte Berührung ändern. In Fig. 13 ist eine neuere Feststellung der Zirkelschenkel der Maschinenfabrik Calw (Wttbg.) angegeben, die durch einen Rundkeil einen radialen Druck gegen den Drehzapfen ausübt, wodurch die leicht mögliche Verstellung der beiden Schenkel bei Flachklemmung vermieden wird. Die Feineinstellung wird über einen größeren Bereich ermöglicht, dadurch, daß ein Schneckentrieb den beweglichen Schenkel um einen gesonderten Zapfen verdreht.

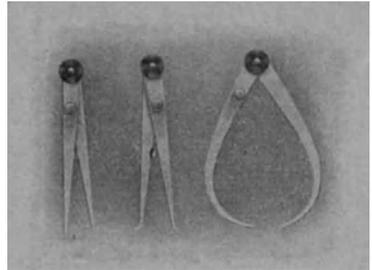


Fig. 10—12. Zirkel, Innentaster, Außentaster mit üblicher Feineinstellung. Carl Mahr, Eßlingen.

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

Die Tasterkante liegt z. B. um rund  $\frac{1}{2}$  Zehntel mm von der richtigen Maßstablinie ab, Fig. 14.

Die zweite Taster Spitze, an der abgelesen werden soll, fällt fast nie mit einem Maßstabstrich zusammen; man kann bei der Schätzung der Zehntel mm mit Übung gerade noch  $\frac{1}{10}$  mm richtig schätzen. Nun ist aber das Tasterende auch 1—2 mm dick, so daß man, Fig. 15, genau senkrecht auf die Kante visieren muß, um die richtige Ablesung zu machen. Nimmt man eine Strichdicke am Maßstab von 0,2 mm, eine Dicke des Taster-



Fig. 13. Zirkel mit Feineinstellung. Maschinenfabrik Calw.

endes von 1,5 mm an, so genügt es, das Auge, das sich gewöhnlich in der normalen Sehweite von 250 mm von dem Maßstab befindet, um rund 8 mm aus der Senkrechten zu verschieben, um einen Fehler von 0,05 mm in der Ablesung zu machen.

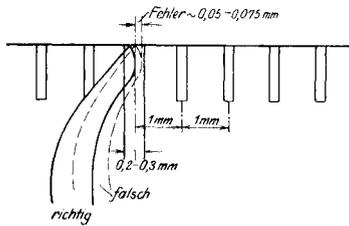


Fig. 14. Fehler beim Anlegen des Tasters.

Man sieht, daß sich leicht alle diese Fehler addieren können, natürlich im günstigen Falle auch gegenseitig aufheben, so daß man besser Vorsichtsmaßregeln anwendet, um die Fehler möglichst zu verringern. Ein einfaches Mittel, um die eine Ablesung von einem unbeabsichtigten Verschieben unabhängig zu machen und gleichzeitig immer auf dieselbe Nullstellung anzulegen, ist die Verwendung eines mit Teilung versehenen

Anschlagwinkels, Fig. 16, oder die Abnahme des Maßes zwischen den Taster-  
spitzen mit der Schublehre. Man stellt dabei, Fig. 17, beide Backen der Schub-

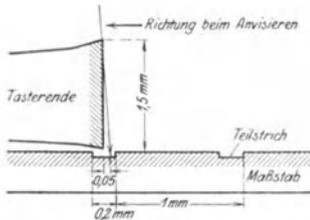


Fig. 15. Fehler beim Anvisieren der Tasterkante.

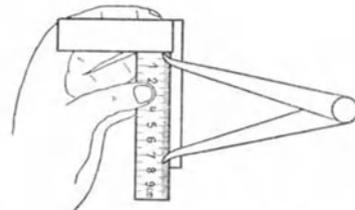


Fig. 16. Einstellung des Tasters mit Anschlagwinkel.

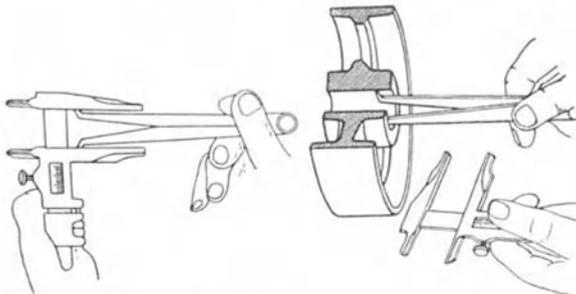


Fig. 17. Abnahme des Maßes im Taster von der Schublehre.

Fig. 18.

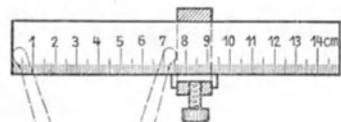


Fig. 19. Einstellung des Tasters mit Maßstab und Stelling.

lehre angenähert auf das im Taster enthaltene Maß, schraubt dann den Nonius fest und bringt nun allmählich durch fortwährendes Fühlen die Backen der Schublehre mit der Mikrometerschraube so aneinander, daß der Taster gerade noch zwischen den Backen durchgeht. Eine solche, im Werkstättenbetriebe von drei Personen gemachte Ablesung eines Loches mittels Taster und Abnahme des Maßes vom Taster mit dem Anlegemaßstab und der Schublehre, Fig. 18, ergab folgende Werte:

Beobachter	Maß abgenommen mit		Messung des Loches mit Schublehre
	Anlegemaßstab	Schublehre	
A	65 mm	65 mm	64,97 mm
B	64,8 „	64,9 „	
C	65 „	65 „	

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

Da die mit Maßstabteilung versehenen Winkel in der Werkstätte nicht häufig zu finden sind, hilft man sich nach Fig. 19 mit einem Klemmring, den man sich selbst leicht herstellen und auf jedem Maßstab befestigen kann, gegen den man den Taster anlegt.

Hat man öfter Stücke mit Absätzen abzugreifen, so bedient man sich mit Vorteil eines einseitigen Tasters nach Fig. 20. Zum Messen von Ausdrehungen, aus denen man den Taster nicht herausziehen kann, ohne das abgegriffene Maß zu zerstören, bedient man sich vorteilhaft der Doppel-

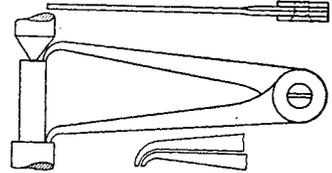


Fig. 20. Einseitiger Taster.

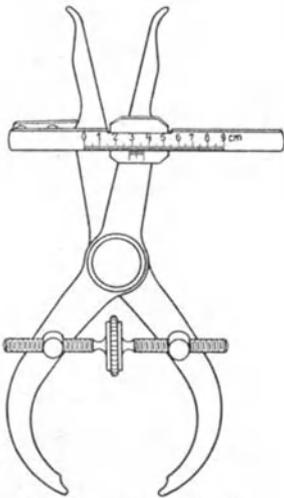


Fig. 21. Doppeltaster.  
Carl Mahr, Eßlingen.

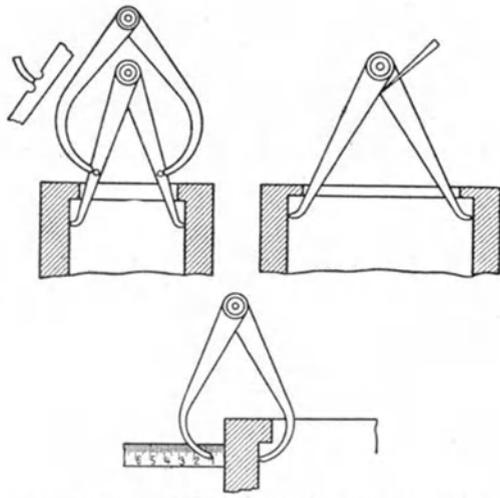


Fig. 22—24. Hilfsmittel beim Abtasten einer Ausdrehung.

taster, Fig. 21, bei denen man das Maß entweder an dem Maßstab und Nonius ablesen oder statt dessen an dem zweiten Maul abnehmen kann, da die beiden Öffnungen so stehen, daß sie stets dasselbe Maß angeben. Steht einem aber kein derartiges Werkzeug zur Verfügung, so kann man sich nach Fig. 22—24 selbst helfen. In Fig. 22 sind in die Schenkel des Innentasters zwei Rundstifte eingesetzt oder Ansätze (links) ausgefeilt, über denen man das Maß mit einem Außentaster abnimmt, so daß man nach Entfernung des Innentasters aus dem Loch denselben mittels des Außentasters leicht wieder auf sein Maß einstellen kann. Im Notfall, aber auch nur dann, kann man sich, wie in Fig. 23 ersichtlich, eine Linie an dem zweiten Schenkel anreißen und seinen Taster nach dem Herausnehmen aus dem Loch wieder auf diese Linie einstellen. Doch muß

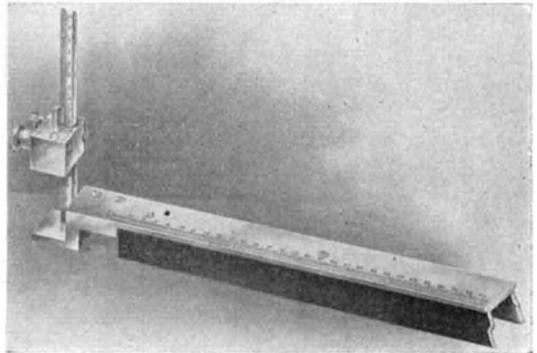


Fig. 25. Anreißmaßstab mit verstellbarem Endstück. (Alig u. Baumgärtel, Aschaffenburg.)

dabei mit sehr großer Sorgfalt und Übung vorgegangen werden, da man leicht zu große Meß- und Einstellfehler macht. Der dritte Weg, Fig. 24, verlangt eine

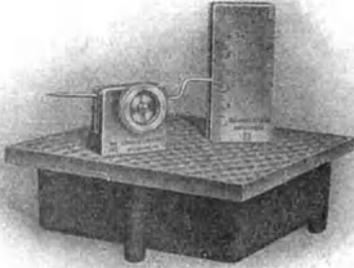
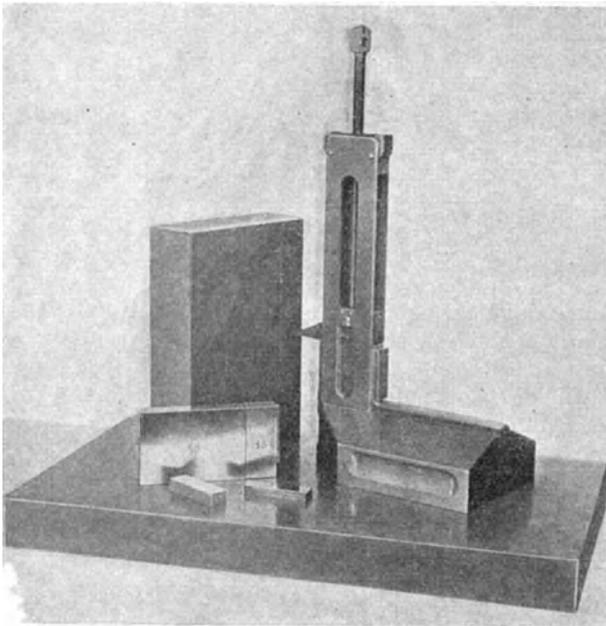


Fig. 26. Reißnadel für niedrige Stücke.  
Hommelwerke, Mannheim.

Einstellung des Tasters auf den äußeren Flansch, worauf man denselben ohne eine Veränderung der Einstellung herunter in die Ausdrehung schiebt und an einem außen angelegten Maßstab den Dickenunterschied zwischen Flansch und Wand mißt. Dann zieht man den Taster heraus und mißt die Flanschdicke in der gewöhnlichen Weise. Der Unterschied der beiden so erhaltenen Maße ergibt die Wandstärke in der Ausdrehung.

**Übertragung vom Maßstab auf das Arbeitsstück.** Bei der Übertragung eines Maßes auf das Werk-

stück kann es sich entweder darum handeln, festzustellen, ob z. B. ein gedrehtes Stück bereits den richtigen Durchmesser hat oder darum, an einem Stück ein gewisses Maß anzureißen. Im ersten Fall geht man mit dem Innen- oder Außentaster den umgekehrten Weg wie oben beschrieben wurde, im zweiten Fall verwendet man besondere Anreißwerkzeuge auf einer ebenen Unterlage. Eine vielseitig verwendbare Form eines Anreißmaßstabes zeigt Fig. 25. Für niedrige Werkstücke oder unter vorkragenden Leisten wird die besondere Bauart, Fig. 26, sehr handlich sein, da man bei einem Universalapparat und sehr tief stehender Reißnadel beim Verschieben leicht die Einstellung der Nadel unbeabsichtigt stört, weil die am Fuß angreifende Hand an die Klemmteile faßt. Hier dagegen umgreift die Hand breit die



Klemmleisten, so daß man überhaupt nicht an die Nadel selbst kommen muß.

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

Johansson die in Fig. 27 wiedergegebene einstellbare Reißnadel ausgeführt worden. Hier wird die Reißnadel, deren Unterfläche mit der Genauigkeit der Endmaße eben gemacht ist, durch Zwischenklemmen einer entsprechenden Kombination von Endmaßen auf die gewünschte Höhe eingestellt, ohne daß ein besonderes Meßwerkzeug angewendet wird. Der Fuß der Reißnadel selbst hat eine auf Endmaßgenauigkeit gearbeitete Höhe (35 mm), so daß diese Einrichtung

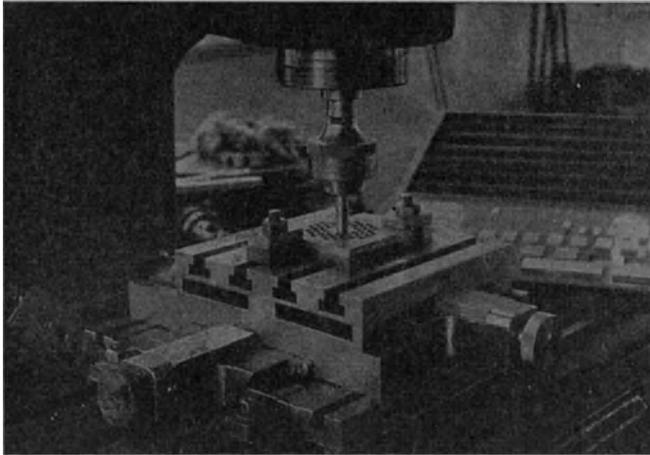


Fig. 28. Einstellung einer Schnittplatte mittels Endmaßen auf der Bohr- und Fräsmaschine.

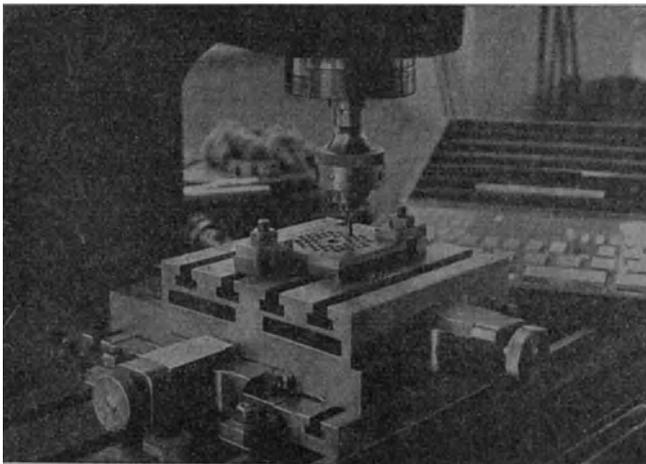


Fig. 29. Bohren und Aufreiben einer Schnittplatte mittels Endmaßen auf dem Kreuztisch ohne Anreiben.

nur auf einer feinst gearbeiteten Anreißplatte, am besten einer Tuschieplatte, verwendet werden soll, woraus die Art der Arbeit, bei der diese Vorrichtung verwendet werden soll, am besten klar wird.

Für Arbeiten, die nicht beim Anreiben diese hohe Genauigkeit verlangen, bei denen aber doch mittels des Anreibens Fertigarbeit geleistet werden muß, ist die Anpassung der betreffenden Bohr- oder Fräsmaschine, nach Fig. 28—29

(C. E. Johansson, Eskilstuna) für diesen Zweck das beste, um so mehr als jeder tote Gang sicher entfernt wird. Statt die Mittellinien anzureißen, wird das Arbeitsstück auf dem Kreuztisch aufgespannt und nach zwischengeschalteten Endmaßen, die dann einen geringeren Genauigkeitsgrad haben dürfen, mittels der Transportschraube gegen den festen Anschlag um das gewünschte Maß verschoben, worauf Bohrer, Fräser oder Reibahle in Tätigkeit treten.

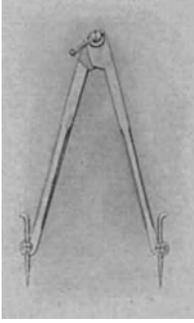


Fig. 30. Zirkel mit verstellbaren, auswechselbaren Einsätzen.  
Carl Mahr, Eßlingen.

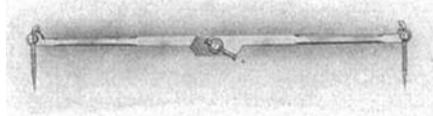


Fig. 31. Zirkel nach Fig. 30 voll geöffnet.

verwenden. Außerdem ist die Spannweite des Zirkels bis zur vollen doppelten Schenkellänge ausnützlich, Fig. 31.

Die Einstellung des Parallelreißers auf die verlangte Höhe erfolgt nach einem senkrecht stehenden Maßstab, wobei der Vorreißer an einem größeren Stück mit mehreren voneinander abhängigen Maßen dauernd zu addieren oder zu subtrahieren hat. Daß hierbei selbst bei der größten Vorsicht neben den unvermeidlichen Einstellungsfehlern, mehr als erwünscht, Rechenfehler vorkommen, ist bekannt, ebenso daß die Arbeitszeit dadurch erhöht wird, besonders wenn auf der Zeichnung, wie es oft vorkommt, die Maße nicht gleich in der Weise eingeschrieben sind, wie es das Anreißen und die Bearbeitung erfordert<sup>1)</sup>.

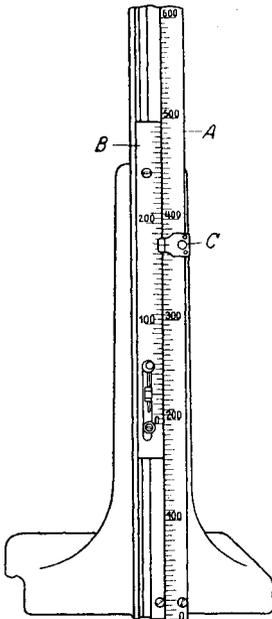


Fig. 32. Additionsmaßstab von Teegeler, Hamburg.

Eine bedeutende Erleichterung der üblichen Arbeitsweise gegenüber gibt der Maßstabänder, Fig. 32. Um das Addieren und Subtrahieren der Summenmaße bei der Einstellung der Reißnadel zu ersparen, ist neben dem festen Maßstab A eine verschiebbare Additionsskala B vorgesehen, deren Nullpunkt man auf den einstellbaren Haarriß des Schiebers C einstellt. Man stellt den Parallelreißer nach dem festen Maßstab auf das Hauptmaß des anzureißenden Stückes, worauf die weiteren Maße mit der verschiebbaren Additionsskala B und Schieber C ohne Rechnen, nur durch Einstellen erhalten werden. Nach dem gemachten Reiß stellt man genau den Haarriß der Höhenmarke A ein und schraubt fest. Alsdann bringt man das nächste Maß, z. B. 90 mm, der Schiebe-

<sup>1)</sup> Das Nähere über diese Arbeit ist in Heft 3 der Werkstattbücher ausgeführt.

skala genau mit diesem Haarstrich der Höhenmarke in gleiche Stellung und greift den Nullpunkt des Schiebers mit der Reißnadel ab; man ist nun ohne Rechnung 90 mm nach unten gewandert und kann unmittelbar anreißen. Für ein Maß von 92 mm unterhalb dieser Linie benutzt man nun den Parallelreißer, ohne etwas an ihm zu verstellen, um den Schieber nach demselben einzustellen, denn das Grundmaß, angezeigt durch Höhenmarke, ist nicht zu gebrauchen, weil das Maß von 92 mm von der 90 mm-Linie ausgeht und nicht von der Grundlinie. Hat man also 92 mm des Schiebers in gleiche Höhe der Reißnadelspitze gestellt, so darf man nunmehr die Reißnadel verstellen, um wieder den Nullpunkt am Schieber abzugreifen, auf dessen Tiefe das gewünschte Maß liegt.

Bis hierhin wurde subtrahiert. Die oberhalb der Bohrung liegenden Maße erfordern ein Addieren mit dem Schieber. Während man beim Subtrahieren die Maße mit der Nadel am Schieber einstellt und mit dem Parallelreißer den Nullpunkt abgreift, schlägt man beim Addieren den umgekehrten Weg ein. Man stellt den Schieber auf Null ein und greift mit der Nadel die betreffenden Maße am Schieber ab. Stellt man z. B. den Nullpunkt des Schiebers mit dem Haarstrich der Höhenmarke C gleich und greift am Schieber B selbst 150 ab, so hat man eine Linie 150 mm oberhalb des Grundmaßes; nun bleibt die Höhenmarke außer Tätigkeit und wird ersetzt durch die Nadelspitze. Man bringt den Nullpunkt des Schiebers auf Höhe der Nadelspitze, dann greift man mit der Nadel das nächste Maß am Schieber ab und reißt an.

Man erspart damit fast die Hälfte der sonst bloß für das Anreißen, ohne Ausrichten, notwendigen Zeit.

**Zeichnerische Messung.** Im allgemeinen wird eine Aufnahme von Abmessungen auf zeichnerischem Wege bis jetzt in der Werkstatt wenig geübt, während man in anderen Gebieten der Technik sehr viel Gebrauch davon macht, z. B. an Indikatordiagrammen, Festigkeitsschaubildern, in der Geodäsie u. dgl. Wenn man nämlich zur Bestimmung irgend einer unregelmäßigen Umrißlinie viele Punkte einzeln auszumessen hätte, wird die Arbeit zu teuer und meistens auch nicht besonders genau. In solchen Fällen tritt besser irgend ein selbsttätig aufzeichnender Apparat in Verwendung, von dessen Schaubild man die gewünschten Maße abnimmt. Da man bei einem richtig gebauten Schreibapparat mit sauberer Linie genau genug  $\frac{1}{10}$  mm ausmessen kann, kommt man sicher auf die Genauigkeit der gewöhnlichen punktweisen Bestimmung. Ein solcher Apparat zur Aufzeichnung der neuen und abgenützten Radreifenlinie ist in Fig. 33 abgebildet. Wenn es sich auch um einen Sonderzweck handelt, so ist der Aufbau des Apparates so einfach, daß man daraus leicht Anregungen für weitere Verwendung finden wird. Da der Apparat zwischen Taster und Schreibstift keine Gelenke hat, so ist die Übertragung so genau wie möglich. Nimmt man von dem abgenützten und dem abgedrehten Reifen wieder derartige Schaubilder auf, so läßt sich durch Planimetrieren der zwischen beiden Kurven liegenden Fläche die abgedrehte Materialmenge leicht berechnen und danach die Löhne bestimmen, ohne daß man die Räder zweimal besonders zur Wage transportieren und wägen muß.

Die ganze Vorrichtung besteht aus einem, an einer Stange befestigten Taster und Schreibstift, senkrecht und wagerecht in Geradfürungen gelagert und auf einer, zur Aufnahme des Schreibblattes bestimmten Grundplatte montiert. Das

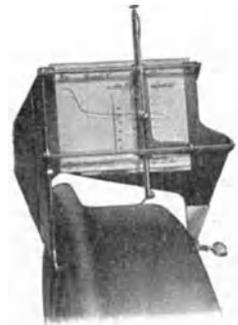


Fig. 33. Radreifen-Schaublinienzeichner. Carl Mahr, Eßlingen.

mit der Schaulinie zu verschiebende Schreibblatt wird gegen Anschlagleisten gelegt und festgeklemmt, hierauf wird die Vorrichtung, wie oben abgebildet, an die Innenfläche des zu messenden Radreifens angelegt, wobei die Nocken an der Klempe des Radreifens anliegen müssen, und hernach die Flügelschraube angezogen.

Der vorher festgestellte Schreibstift wird ausgelöst und die Umfahrung des Radreifens kann vorgenommen werden, wobei der Schreibstift das genaue Bild des vom Taster beschriebenen Weges wiedergibt. Um das so gewonnene Schaubild wird die Normalumgrenzung berührend mittels dünner Blechlehre angezeichnet. Der Zwischenraum zwischen beiden Schaulinien zeigt die zu entfernende Materialmenge.

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

## B. Feste Maße.

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

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

Gerade in der letzten Zeit ist das Messen nach festen Maßen weitgehend entwickelt worden, da sie mit viel größerer Sicherheit die Kontrolle und Vielfältigung irgend eines Maßes in dem gewöhnlichen Werkstättenbetrieb gestatten als einstellbare und Strichmaße. Die in dieser Richtung weitgehendste Entwicklung und den größten Einfluß auf die Massenfabrikation austauschbarer Teile hat das Messen nach dem Grenzlehrensystem geschaffen und dieses wieder die heute genauesten Kontrollwerkzeuge, die Parallelendmaße, hervorgebracht.

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

1. Feste Maße bestimmter, bekannter Größe  
Normalmaße, -Lehrdorne und -Lehren,  
Grenzlehren und -Lehrdorne,  
Parallelendmaße.
2. Feste Maße beliebiger unbekannter Größe  
Fabrikationslehren,  
Stichmaße u. dgl.

Die ersten Werkzeuge werden fabrikmäßig hergestellt und sind mit genau bestimmter Genauigkeit im Handel erhältlich, die zweiten werden dagegen in der betreffenden Werkstätte von Fall zu Fall besonders angefertigt und weichen in

ihrer Genauigkeit, je nach der Sorgfalt der Herstellung und der verlangten Passung ab.

### 1. Feste Maße bestimmter bekannter Größe.

**Normalmaße.** Die als Normalmaße bezeichneten Meßwerkzeuge, und zwar Lehrdorne und Ringe, Meßscheiben, Loch- und Rachenlehren wurden früher ausschließlich zum Messen in der Werkstatt, in der nach festen Maßen gearbeitet wurde, verwendet. Sie enthalten innerhalb der Fabrikationsgenauigkeit, die heute etwa  $\frac{1}{1000}$  mm ist, das betreffende Maß zwischen den messenden Flächen. Steht z. B. auf der Lehre oder dem Dorn 80 mm, so ist die Entfernung der beiden Meßflächen oder der Durchmesser des Dornes  $80 \text{ mm} \pm \frac{1}{1000}$  mm bei einer Temperatur von  $20^\circ$ . Da sich alle Körper mit steigender Temperatur ausdehnen (Stahl für  $1^\circ$  um 0,000011 seiner Länge), so wird bei einer höheren Temperatur die Entfernung zwischen den Meßflächen größer geworden sein. Hätten wir also eine gewöhnliche Rachenlehre von 100 mm, die bei  $0^\circ$  genau 100 mm angibt und würden wir einen Lehdorn aus einem Stoff, der sich mit der Temperatur sehr wenig ändert, z. B. aus Invar (einer Legierung von 36 Nickel und Stahl) bei  $16^\circ$  einführen, so würde der Lehdorn aus Invar lose in der stählernen Rachenlehre gehen. Da sich nun nicht allein die Meßwerkzeuge, sondern auch die Werkstücke, die ja meistens aus Eisen oder Stahl sind, ebenfalls proportional mit der Temperatur ausdehnen, so ist es für die Genauigkeit der Passungen ganz gleichgültig, bei welcher Temperatur die verwendeten Meßwerkzeuge das wirkliche Maß angeben. Nur müssen alle verwendeten Meßwerkzeuge bei derselben Temperatur das darauf angegebene Maß darstellen. Man bringt aber sofort merkbare Fehler in die Passungen, wenn man in einem Betriebe Lehren oder Dorne verwendet, von denen einige ihr Maß bei  $0^\circ$ , andere bei  $16^\circ$  und wieder andere bei  $20^\circ$  haben, weil dann zwei Instrumente bei der herrschenden Arbeitstemperatur mit der gleichen Bezeichnung durch ihre Temperatúrausdehnung verschiedene Längen haben werden.

Um diesen Zwiespalt zu beseitigen, ist für Deutschland durch Vereinbarung neuerdings die Temperatur von  $20^\circ$  als jene festgesetzt worden, bei der die Maße die auf ihnen angegebene Länge auch wirklich anzeigen sollen. Diese Temperatur liegt bei uns im allgemeinen in der Mitte zwischen den in der Werkstätte sich einstellenden Sommer- und Wintertemperaturen, so daß die Änderung der Maße durch die Temperaturänderung im Arbeitsraum so gering wie möglich wird. Steht also auf einem derartigen Maß außer der Maßzahl keine weitere Angabe, so ist man in Zukunft in Deutschland berechtigt anzunehmen, daß dieses Maß bei  $20^\circ$  der wirklichen Länge gleich ist.

Dies gilt natürlich auch für alle anderen festen Maße.

**Formen der Normalmaße.** Die Normalmaße bestehen in der einfachsten Form aus einem Vollzylinder und einem Ring, die genau den verlangten Durchmesser haben sollen. Sie werden aus Stahl gehärtet, auf das sauberste geschliffen und poliert. In der tatsächlichen Ausführung sind zwei große Gruppen entstanden, die Normallehrdorne und -ringe und die Meßscheiben, deren Form ihrem Verwendungszweck entsprechend verschieden ist. Der Lehdorn wird zur Kontrolle einer Bohrung verwendet und hat deshalb eine größere Länge, z. B. für 18–24 mm  $\varnothing$  — nach DIN 305 — 30 mm, und wird grundsätzlich mit dem Griff verwendet. Die Meßscheibe stellt nur das betreffende Normalmaß dar, ist in folgedessen kürzer, bei 18 mm  $\varnothing$  6 mm, bei 24 mm  $\varnothing$  7 mm (nach DIN 308) und kann für gewisse Arbeiten mit einem deshalb leicht lösbaren Griff verbunden werden (vgl. DIN 308).

Aus Herstellungs- und Wirtschaftlichkeitsgründen (Schwierigkeiten der Härtung, Materialkosten, Abnutzungs- und Erneuerungsfragen usw.) haben die herstellenden Firmen seit langem die Lehrdorne über 20 mm  $\varnothing$  aus mehreren Stücken, z. B. nach Fig. 34 oder 35 gemacht.

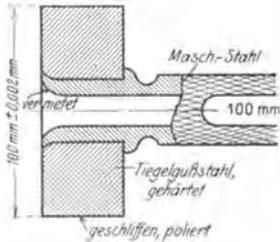


Fig. 34.

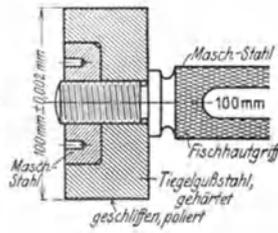


Fig. 35.

Kaliberausführung von  
August Kirsch, Aschaffenburg. Ludw. Loeweu. Co., Berlin.

entstanden, die grundsätzlich wohl den inneren Aufbau der Lehrdorne den einzelnen Firmen freilassen, jedoch für die vollen Werkzeuge und für die zusammensetzbaren (Meßzapfen und Einsteckgriffe) die unbedingten Normen wie die Richt-

Nun sollen aber alle derartigen Meßwerkzeuge möglichst überall zu verwenden sein, was gleiche Formen, gleiche Bezeichnungen und nicht zuletzt gleiche Konstruktion bedingt, damit auch im Betrieb Fabrikate verschiedener Firmen nebeneinander ohne Störung verwendet werden können. Aus solchen Erwägungen sind die in DIN 226, 227 angegebenen Formen neben den bereits erwähnten

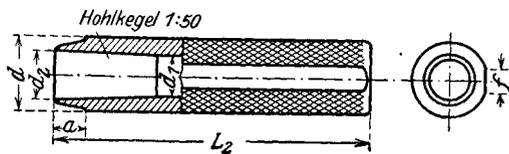
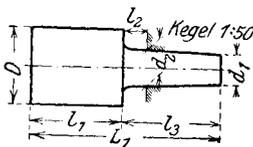


Fig. 36. Normalform für Lehrdorn und Griff (DIN).

maße angeben und für alle die Stufung festlegen. Die grundsätzliche Form der kleinen zusammensetzbaren Werkzeuge ist aus Fig. 36 ersichtlich, die Befestigung erfolgt durch einen schlanken Konus mit einer Steigung 1:50, ohne daß dieses den herstellenden Firmen vorgeschrieben wird. Auch für die Meßscheiben sind derartige Formen und Abmessungen entwickelt worden, vgl. DIN 308.

Bekanntlich ist aber das Einführen eines Dornes oder Ringes in die zugehörige Bohrung bzw. auf die Welle eine Sache, zu der ziemlich viel Übung gehört, und ist um so schwieriger, je genauer die beiden Stücke im Maß übereinstimmen.

Wenn nun Dorn und Ring wirklich so genau wie möglich dasselbe Maß haben, so ist es nicht möglich, die beiden übereinander zu schieben. Diese Arbeit ist aber notwendig, da man wohl den Dorn mit der Meßmaschine an allen Stellen auf richtigen Durchmesser und zylindrische Gestalt prüfen kann, für den Ring dagegen auf seine Passung auf dem richtigen Bolzen angewiesen ist<sup>1)</sup>.

Will man sich von dem genauen Zusammenpassen überzeugen, so reinigt man die Zylinderflächen auf das sorgfältigste, bestreicht dieselben mit reinem, säurefreiem Vaseline, setzt den Lehrdorn genau zentrisch auf das Ringloch und dreht ihn mit leichtem Druck ein. Hierauf stülpt man den Dorn um, so daß das Ende des Griffes auf einer festen Unterlage ruht, faßt den Ring mit beiden Händen und schiebt denselben ohne Unterbrechung ganz über den Dorn hin-

<sup>1)</sup> Im praktischen Maschinenbau spricht man dagegen von dem Vollmaß eines Ringes, wenn er in der unten geschilderten Weise auf einen Dorn, der das ganze Maß hat, geht.

weg. Zu dieser Manipulation gehört Geschicklichkeit und Übung, denn je besser die Stücke passen, um so schwerer lassen sich dieselben vereinigen.

Zu beachten ist, daß sowohl Dorn als auch Ring die gleiche Wärme, möglichst Zimmertemperatur von etwa  $16^{\circ}$  angenommen haben, denn in kaltem Zustand ist das Ineinanderführen infolge der Kontraktion des Ringes und der Verdickung des Schmiermaterials außerordentlich schwierig, oftmals ganz unmöglich.

Der Ring darf niemals auf dem Dorn verbleiben, da sich die beiden Stücke gegenseitig festsaugen, sogar schon dann, sobald das Übereinanderschieben unterbrochen wird.

Trockenes Zusammenstecken führt zu einer Zerstörung der Zylinderflächen, unter Umständen zu einer vollständigen Kaltschweißung.

Zu den oben erwähnten Schwierigkeiten der Herstellung kommt dazu, daß man bei Einführung eines Lehdornes nicht finden kann, welche Stelle im Loch nicht paßt, ob und an welcher Stelle das Loch unrund ist, u. dgl.

Man bildet deshalb, und erspart dabei gleichzeitig an Gewicht und Materialkosten, die Kaliber als Flachkaliber nach Fig. 37—40 aus. Da bei dieser Ausbildung nur eine Flächenberührung, Fig. 41 bis 42, auf einer schmalen Fläche beim Flachkaliber und bei der Rachenlehre eine Linienberührung auftritt, ist ein ungleich schärferes Fühlen möglich als bei dem Vollkaliber oder dem Ring. Da die Flachkaliber auch noch bedeutend leichter sind, ist die Verwendung an dem zu messenden Körper viel leichter, und schließlich lassen sich die Meßbacken, wenn eingesetzt

ausgeführt, erneuern. Für Durchmesser von 6 bis 100 mm werden sie aus Gesenkschmiedestücken hergestellt, von da aufwärts bis zu 250 mm aus einem Gußkörper mit eingesetzten, glashart gehärteten und geschliffenen Meßbacken. Besondere Sorgfalt wird wieder dem Handgriff zugewendet,

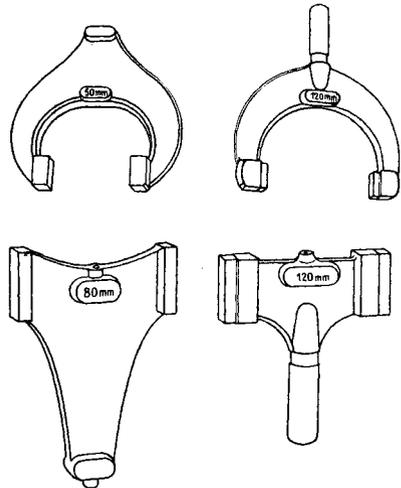


Fig. 37—40. Normalrachenlehren und Normallochlehren. Hommelwerke, Mannheim.

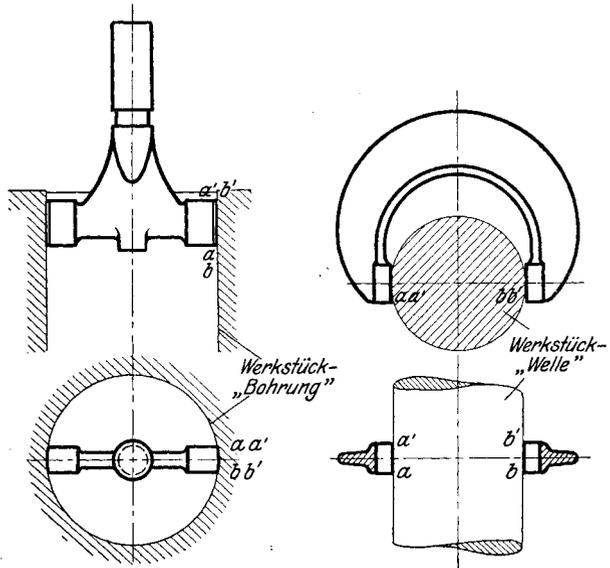


Fig. 41 u. 42. Flächenberührung bei Flachlehre. Linienberührung bei Rachenlehre.

damit die Wärmeübertragung von der Hand auf das Meßwerkzeug möglichst gering ist.

Heute werden im allgemeinen aber die Normalmaße nur mehr zur Kontrolle anderer Werkzeuge und nur selten zur Fabrikation verwendet, da sie keinen Aufschluß darüber geben, wie groß der Unterschied zwischen dem durch die Bearbeitung erzeugten Maß und dem durch das Meßwerkzeug dargestellten Maß ist.

**Grenzlehren (Toleranzlehren).** Für die Herstellung austauschbarer Stücke in der Massenfabrikation müssen zwei zusammenarbeitende Stücke, je nach der Art ihrer Arbeit, in ihren Abmessungen um ganz genau bestimmte Werte, die nach oben und unten in bestimmten Grenzen durch die Erfahrung bestimmt worden sind, verschieden sein. Eine Welle von beispielsweise 50 mm Durchmesser muß in einer Lagerbohrung von 50,05 bis 50,08 mm Durchmesser laufen, damit die schmierende Ölschicht auch überall erhalten bleibt und nicht herausgedrückt wird. Dieser Unterschied zwischen den beiden zusammenarbeitenden Teilen ändert sich, wenn die Teile im Betriebe verschoben werden sollen, weiter, wenn die Teile lösbar aufeinander sitzen oder unlösbar miteinander verbunden sein sollen. Während also früher zwei Teile, die zusammenarbeiten sollten, in der Zeichnung ein und dasselbe Maß eingeschrieben zeigten, das „Nennmaß“, und es der Werkstätte überlassen blieb, den notwendigen Unterschied gegen das Nennmaß, das „Abmaß“, für das einwandfreie Zusammenarbeiten beider Teile bei der Herstellung vorzusehen, hat die erste grundlegende Untersuchung<sup>1)</sup> fünf grundsätzlich verschiedene Stufen, die „Sitze“ festgelegt, und zwar:

Laufsitz, Schiebesitz, Keilsitz, Preßsitz, Schrumpfsitz.

Je nachdem also eine Welle z. B. in ihrer Bohrung mit einem dieser Sitze passen sollte, wurde der Unterschied zwischen den wirklichen Durchmessern beider, ihre Abmaße, verschieden groß gemacht. Jetzt aber wurden für diese Unterschiede aus langen Erfahrungen heraus ganz bestimmte Werte angegeben, die auch überall eingehalten wurden.

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

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

Diese Anforderungen sind für jede Fabrikation andere, die Vervollkommnung des Werkstättenbetriebes und die Ausdehnung der rationellen Fabrikation auf

<sup>1)</sup> Schlesinger, Die Passungen im Maschinenbau, Berlin 1904.

die verschiedenen Zweige der Präzisionsmechanik-, Elektroindustrie, optische Industrie usw. verlangen gebieterisch eine Ausdehnung der seinerzeit gefundenen Werte für ihr Arbeitsgebiet. Es ist ja von vornherein selbstverständlich, daß zwei Teile einer großen Drehbank anders eingepaßt werden müssen als zwei vielleicht mit der gleichen Geschwindigkeit laufende Teile eines feinen Zählwerkes.

Weiter verlangen fabrikatorische Rücksichten gewisser Betriebe, z. B. im Transmissionsbau u. a. m. viele glatte, durchgehende Wellen, so daß alle Abmaße

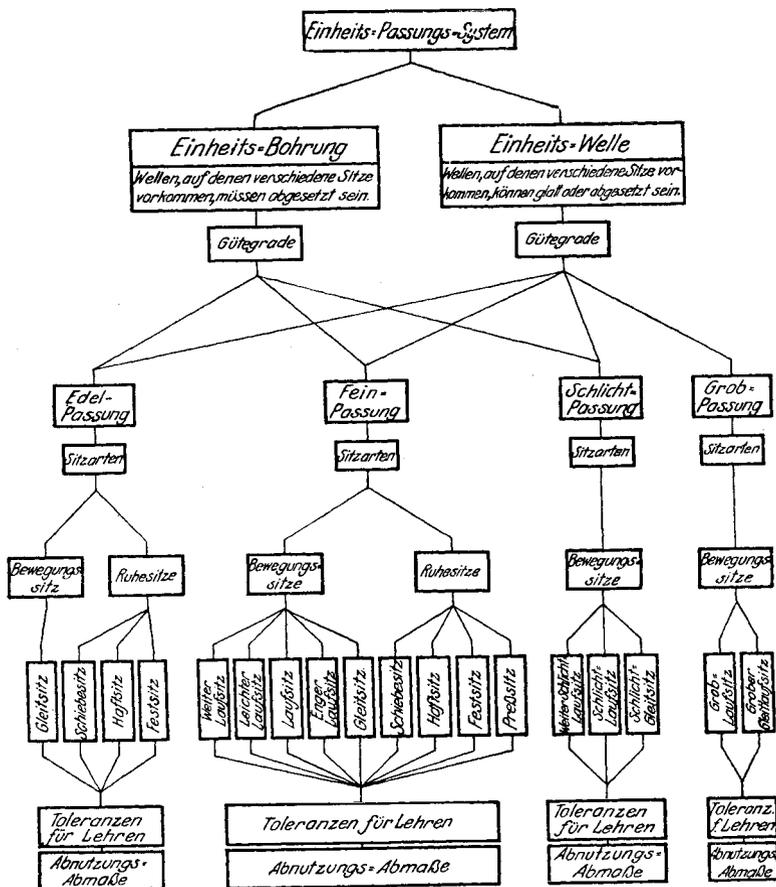


Fig. 43. Aufbau der Passungssysteme.

dann in die Bohrungen zu legen sind, sie wenden das System der „Einheitswelle“ an, während der Maschinenbau mit vielen feinen Passungen es vorzieht, die Bohrungen einheitlich zu halten, das System der „Einheitsbohrung“, und die Abmaße in die Welle zu legen. Dann muß bei jeder neuen Passung auf einer solchen Welle diese abgesetzt werden.

Alle diese Rücksichten werden nun im Normenausschuß der deutschen Industrie verarbeitet <sup>1)</sup> und haben vorläufig zu den in den Normenblättern DIN 17 und den als „Gesamtübersicht“ bezeichneten Blättern niedergelegten Grundsätzen geführt.

<sup>1)</sup> Die Arbeiten sind noch nicht beendet.

Sehr deutlich ist der Zusammenhang der einzelnen Passungssysteme und Sitze in Fig. 43, dem „Aufbau der Passungssysteme“<sup>1)</sup>, wiedergegeben, aus der besonders die Verzweigungen und das Übergreifen zwischen den beiden Hauptsystemen „Einheitswelle“ und „Einheitsbohrung“ zu ersehen sind.

Nach Fig. 44—45 erscheint als grundlegend das Nennmaß  $N$ , das die Größe der Stücke kennzeichnet. Es entspricht dem in üblicher Weise in den Konstruktionszeichnungen eingetragenen Maße. Dieses Nennmaß ist — durch die Bearbeitungsnotwendigkeiten bedingt — nur innerhalb einer oberen Grenze, das obere

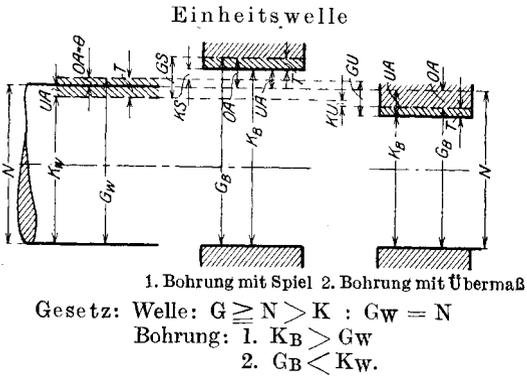
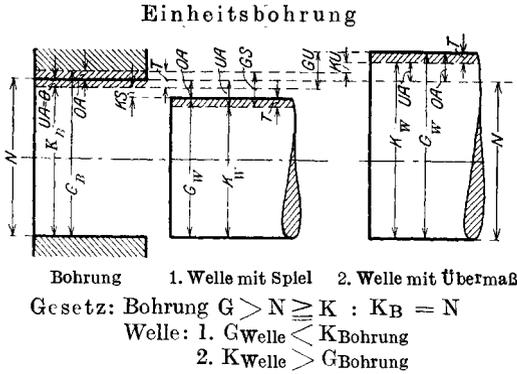


Fig. 44 u. 45. Aufbau der Passungen.

daß in den verschiedenen Fabrikationen bei Einhaltung der Toleranzen bei der Fertigung ein einwandfreies Arbeiten beider Teile gemäß den Sonderheiten dieser Betriebe gewährleistet ist. In Fig. 46 und 47 sind die Gesamtübersichten für die Passungen der Systeme Einheitswelle und Einheitsbohrung wiedergegeben, soweit sie nach dem heutigen Stand der Normung endgültig sind.

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

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

Abmaß  $OA$ , und einer unteren Grenze, das untere Abmaß  $UA$ , genau herzustellen, d. h. das wirkliche Maß des ausgeführten Stückes liegt zwischen einem Größtmaß  $G = N \pm OA$  und einem Kleinstmaß  $K = N \pm UA$ , deren Unterschied als „Toleranz“ bezeichnet wird. Diese Abmaße brauchen für Welle und Bohrung nicht gleich zu sein.

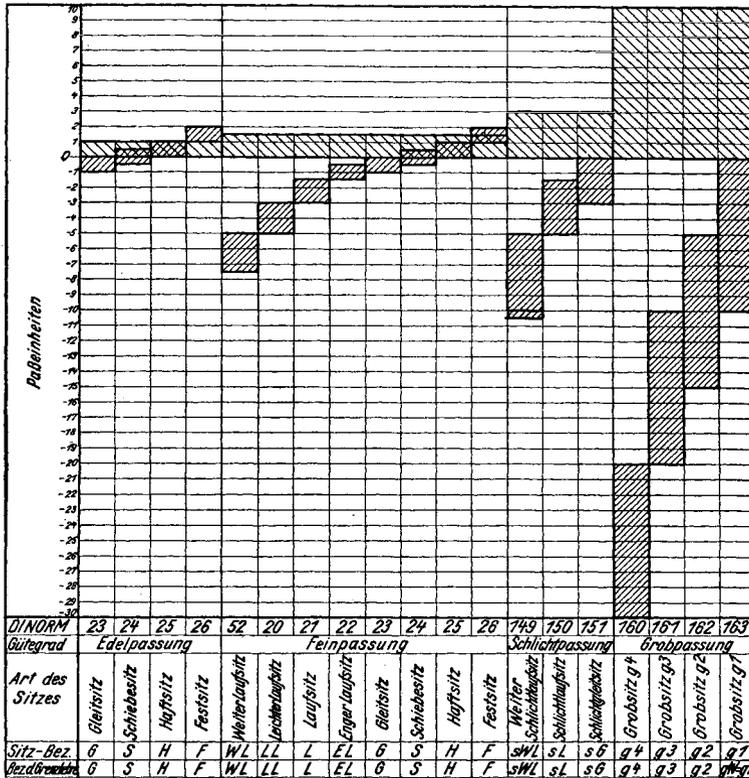
Sollen zwei mit diesen Maßen hergestellte Stücke zusammenarbeiten, so muß je nach der verlangten Passung ein gewisses Spiel  $S$  oder ein gewisses Übermaß  $U$  vorhanden sein. Dieses muß auch den Arbeitsbedingungen genügen, wenn die Grenzfälle der Toleranzen zufällig zusammentreffen, d. h. eine größte Welle mit einer kleinsten Bohrung oder umgekehrt zusammentreffen. Es entsteht dann zwischen den arbeitenden Teilen ein „größtes Spiel“  $GS$  oder ein „kleinstes Spiel“  $KS$ , bzw. ein „größtes Übermaß“  $GU$  oder ein „kleinstes Übermaß“  $KU$ .

Die richtige Einstellung dieser Abmaße muß bewirken,

<sup>1)</sup> Fig. 17 aus Carl Mahr, Eßlingen, „Die Grenzlehre“.

Die Normung unterscheidet nach dem Gütegrad vier Passungen und zwar:  
 Edelpassung mit vier Sitzen,  
 Feinpassung mit acht Sitzen,  
 Schlichtpassung mit drei Sitzen,  
 Grobpassung mit vier Sitzen (heute noch nicht endgültig).  
 Dazu kommen noch die Preß- und Weitsitze.

System Einheitsbohrung.



Toleranzgebiet *der Bohrung*   
 Toleranzgebiet *der Welle*

Fig. 46. Gesamtübersicht für die Passungen.

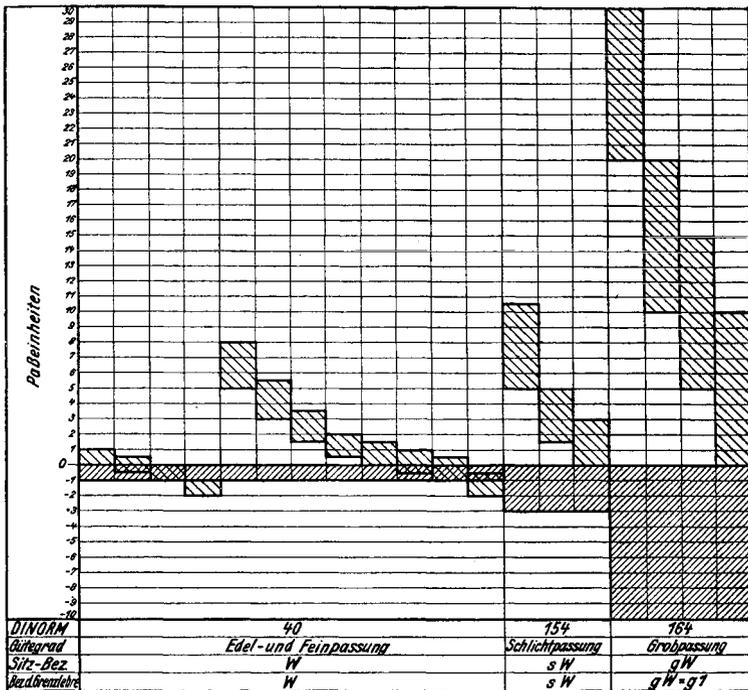
Die Größe der einzelnen Abmaße ist in der Figur in Passungseinheiten (1 Passungseinheit =  $0,005 \sqrt[3]{D}$ ) gegeben, während die zugehörigen Werte in Millimetern in den bezüglichen Normenblättern enthalten sind.

Wird nun eines dieser Systeme überall anerkannt oder hängen die Unterteilungen der beiden Hauptssysteme „Einheitsbohrung“ und „Einheitswelle“ grundsätzlich so zusammen, daß sie in gewissen Sitzen zusammentreffen, so kann man beliebige Stücke verschiedener Fabrikation, wenn sie nur nach den entsprechenden Passungen und Sitzen gearbeitet sind, zusammenbauen und wird ein einwandfreies Arbeiten erzielen in dem verlangten Passungssinne. Die Stücke

können maschinenfertig erzeugt, ja sie können so von auswärts bezogen werden, wodurch nicht allein die teureren Paßarbeiten bei der Montage auf ein geringstes Maß gebracht werden, sondern auch die Fabrikation selbst im weitesten Sinne spezialisiert und verbilligt werden kann.

Für derartige Arbeiten sind aber von den bisher besprochenen Werkzeugen vollständig abweichende Formen notwendig. Man soll die Feststellung der Abmaße und Toleranzen nicht in die Hand des Arbeiters legen, sondern muß feste Meßwerkzeuge verwenden, die bereits die notwendigen Unterschiede aufweisen.

System Einheitswelle.



Toleranzgebiet der Bohrung   
 Toleranzgebiet der Welle

Fig. 47. Gesamtübersicht für die Passungen.

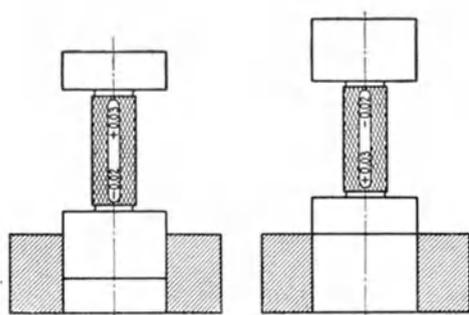
Jedes solches Werkzeug, Lehrdorn oder Rachenlehre, enthält bei diesem Meßsystem zwei Meßkörper, die beide von dem betreffenden Normalmaß abweichen, und zwar um den Betrag der größten und der kleinsten zugelassenen Abweichung, „Toleranz“. Eine gewisse Vorsicht beim Einführen dieser Werkzeuge ist natürlich auch notwendig, doch ist das so leicht zu erlernen, daß man selbst ungelernete Arbeiter mit den Grenzlehren arbeiten lassen kann, ohne Ausschub befürchten zu müssen. Von den beiden Enden heißt die eine „Gutseite“, die andere „Ausschubseite“. Für sie gilt die Grundregel:

Die „Gutseite“ des Grenzlehrdornes muß leicht in die Bohrung hineingehen, Fig. 48, während die „Ausschubseite“ höchstens „anfassen“ darf, Fig. 49.

Die „Gutseite“ der Grenzrachenlehre muß leicht über die Welle gehen, Fig. 50, während die „Ausschußseite“ höchstens „anschnäbeln“ darf, Fig. 51.

Man kann diese Passungen zwischen Bolzen und Loch auf zweierlei Weise erreichen, indem man entweder die Welle nach dem Normalmaß mit einer festen Toleranz nach oben und unten ausführt und die der verlangten Passung entsprechende Abweichung in die Bohrung legt, oder umgekehrt, das Loch mit fester Toleranz nach oben und unten nach dem Normalmaß ausführt und die Welle je nach der verlangten Passung mehr oder weniger abweichen läßt.

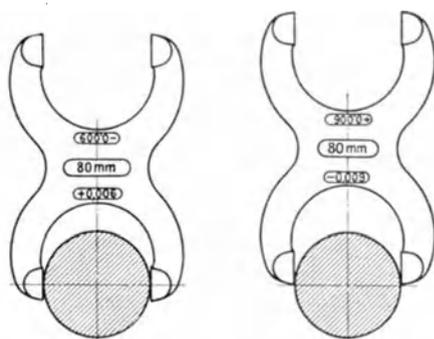
Das System „Einheitswelle“ verlangt für jeden Durchmesser eine Grenzrachenlehre und so viele Grenzlehrdorne als Passungen in dem Betriebe gebraucht werden. Zu jeder Passung und jedem Durchmesser sind aber auch die entsprechenden Dorne und Reibahlen erforderlich, gegebenenfalls nachstellbare Reibahlen.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



„Gutseite“ geht in die Bohrung.

„Ausschußseite“ faßt an.

Fig. 48 und 49. Gebrauch der Toleranzkaliber.



„Gutseite“ geht über Welle.

„Ausschußseite“ schnäbelt an.

Fig. 50 und 51. Gebrauch der Toleranzrachenlehren.

gebraucht werden. Es ist also für jeden Durchmesser nur ein Dorn und eine Reibahle erforderlich, außerdem werden heute Wellen und wichtigere Zapfen meistens geschliffen, was leichter und billiger als das Ausreiben von Löchern ist.

Dagegen ist die Entscheidung der größeren Wirtschaftlichkeit eines der beiden Meßsysteme erst nach sorgfältiger Durchrechnung der betreffenden Fabrikation bezüglich Abnutzung, Anzahl der Werkzeuge und Gütegrad der notwendigen Passungen usw. zu treffen.

Auch beim Gebrauch der Grenzlehren muß man sorgfältig darauf achten, daß die Temperatur der Lehre möglichst mit der des Werkstückes übereinstimmt, jedenfalls nicht durch ungeeignete Handgriffe oder Liegenlassen in der Sonne u. dgl. sich so verändert, daß sehr leicht für den Augenblick eine Passung in die andere übergeht. Man lasse einen Lehrdorn von 100 mm für engen Laufsitzen EL, der für Teile ohne merkliches Spiel gilt, z. B. in der Sonne liegen, so daß er beim Aufnehmen und Ansetzen an das Arbeitsstück um  $15^{\circ} \text{C}$  wärmer als dieses wäre. Dann vergrößert sich sein Durchmesser um  $100 \cdot 0,000011 \cdot 15 = 0,017 \text{ mm}$ , so daß die Abweichung von dem Normalmaß  $0,011 + 0,017 = 0,028$  bzw.  $0,045 + 0,017 = 0,062$  betrüge, man sich bereits also so nahe an den Laufsitzen L für Teile mit merklichem Spiel mit den Toleranzen 0,035 und 0,080 genähert hätte, daß von einem einwandfreien Sitz keine Rede mehr sein könnte.

Die Formen der Grenzlehren, DIN 249 und 306, decken sich grundsätzlich mit jenen der Normallehren, haben aber in ihrer Entwicklung zu den verschiedenen

Zeiten und in den Ländern alle möglichen Wandlungen durchgemacht. Durch die Normung ist auch hier, wenn auch vorläufig noch nicht endgültig, eine Vereinheitlichung bezüglich der Kennzeichnung und Stufung geschaffen worden, ohne in die besondere Formgebung der einzelnen Firmen einzugreifen.

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

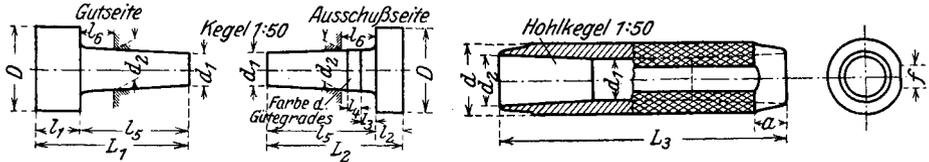


Fig. 52—54. DIN-Normalform der Grenzlehrdorne und Griffe.

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

Auch für den Aufbau liegen Vorschläge mit Abmessungen, Fig. 52—54, sowohl für die aus dem Vollen gearbeiteten Werkzeuge, wie für zusammengesetzte

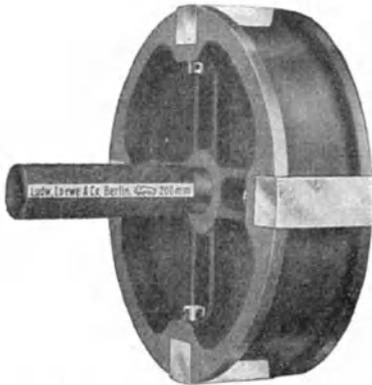


Fig. 55. Lehrdorn mit eingesetzten Meßbacken. Ludw. Loewe u. Co., Berlin.

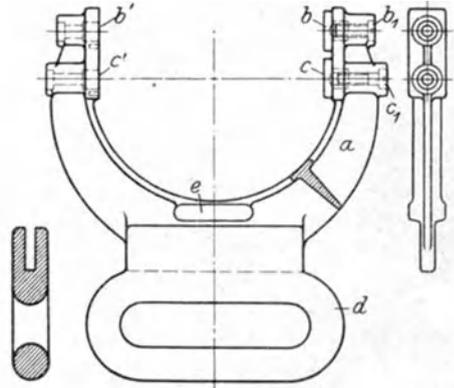


Fig. 56. Einseitige Grenzrachenlehre. Ludw. Loewe u. Co., Berlin.

kleine Grenzlehrdorne aus Meßzapfen und doppelseitigem Einsteckgriff vor, wie bereits bei den Normallehrdornen angegeben.

Die Teilung soll so getroffen werden, daß bei den Rachenlehren von 1—100 mm die doppelseitige Form, über 100 mm die einseitige Form gewählt wird. Für die Lehrdorne wird von 1—80 mm der doppelseitige, zylindrische Grenzlehrdorn, von 80—100 die doppelseitige, von 100—260 die einseitige Grenzflachlehre und über 260 mm das Kugelummaß gewählt.

Neben den normalen Grenzflachlehren werden die Grenz-Lehrdorne über 100 mm Durchmesser auch nach Fig. 55 mit vier oder nur mit zwei gehärteten geschliffenen und polierten Meßflächen gebaut, die dann z. B. auf einem gußeisernen Tragkörper mit Schwalbenschwanz festgeklemmt sind und bei Abnutzung ausgewechselt werden können. Um bei den größeren Flachlehren noch

weiter an Gewicht zu sparen und eine Meßarbeit, das Herausziehen und Umdrehen der Lehre, zu sparen, hat man verschiedentlich beide Öffnungen, also Gut- und Ausschußseite, hintereinander in eine Maulöffnung gelegt, wie Fig. 56 zeigt. Ein T-förmiger gußeiserner Bügel a trägt die beiden Meßbacken b für die Gutseite mittels der Schrauben  $b_1$ , die rückwärts so weit versenkt werden, daß eine zufällige Lösung derselben vermieden wird. Dahinter stehen die beiden Meßbacken c für die Ausschußseite, die in gleicher Weise befestigt sind. Der Arbeiter erspart wohl einen Handgriff bei dieser Anordnung, dagegen sind die Reparaturkosten einer solchen Grenzlehre gegenüber zwei getrennten Lehren größer. Da die Ausschußseite nicht über die Welle gehen darf, so ist auch ihre Abnutzung verschwindend gegenüber jener der Gutseite. Nun liegen aber die nicht gezeichneten linken Meßbacken  $b'$  und  $c'$  in einer Ebene, während die rechten, b und c, um den Betrag der Toleranzen auseinanderstehen, also bei 110 mm Durchmesser für Laufsitz um 0,095 mm. Man muß also bei einer merkbaren Abnutzung sowohl die abgenutzte Gutseite, wie die noch in arbeitsfähigem Zustand befindliche Ausschußseite erneuern.

**Parallelendmaße.** Die gesteigerte Genauigkeit der Fabrikation, die durch geeignet gewählte Grenzlehrensysteme erhalten wird, bedingt wieder eine noch schärfere Kontrolle der Grenzlehren selbst, die auch verhältnismäßig leicht und schnell innerhalb des Revisionsraumes einer jeden Fabrik gemacht werden soll. Dazu hat man wohl eigene Revisionslehren, die nie in die Werkstatt kommen sollen, doch genügen diese nicht für eine genaue Kontrolle, da ihre Genauigkeit,  $\pm 0,002$  mm, die Genauigkeit einer neuen Gebrauchslehre nicht übersteigt. Auch muß man für jedes zu kontrollierende Stück eine Lehre für Innen- und Außenmessung vorrätig halten, wodurch die Werkstatt stark belastet wird. Aus diesen Gründen haben sich die zusammenstellbaren Parallelendmaße, deren Ausbildung durch Johansson sehr gefördert wurde, so schnell den Eingang in die Praxis verschafft. Ihnen liegt der Gedanke zugrunde, Endmaße zu schaffen, die eine derartige Genauigkeit, Ebenheit der Meßflächen und Parallelität aufweisen, daß man beim Zusammensetzen von selbst fünf Stück zu einem Maß, dieses noch mit einer geringeren Abweichung von dem Sollmaß als  $\frac{1}{1000}$  mm erhält. Um dies zu erreichen, darf der Fehler eines solchen Meßklötzchens, je nach Länge, nicht über 0,0002 mm steigen. Außerdem müssen die Meßflächen so genau eben sein, daß zwei mäßig aneinander gedrückte und gleichzeitig aufeinander geschobene Endmaße aneinander haften. Da dieses nur bei wirklich ebenen und ganz reinen Meßflächen der Fall ist, so bildet das Aneinanderhaften der fettfreien Flächen auch gleichzeitig eine Kontrolle für die Ebenheit der Flächen. Eine wirklich genaue Prüfung kann nur mittels optischer Methoden erfolgen. Die Endmaße werden durch Handarbeit, in neuester Zeit auch durch Maschinenarbeit<sup>1)</sup>, aus hochwertigem Kohlenstoffstahl, der glashart gehärtet ist, geschliffen und hochglanz poliert. Mit solchen Maßen kann man durch Verbindung von höchstens 2—3 bzw. 4—5 Maßen bei Unterteilungen auf Tausendstelmmillimeter jedes Maß innerhalb der Reichweite des Satzes herstellen und mit einer Genauigkeit der ganzen Kombination, die innerhalb  $\frac{1}{1000}$  mm bleibt z. B.:

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

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1922. S. 395 u. 425.

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

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

Die Abstufungen erfolgen nach Fig. 57, so daß man durch Hinzufügen des Grundmaßes der höheren Gruppe zu einer Kombination der ersten Gruppe innerhalb dieser sämtliche Abstufungen der ersten Gruppe erhält. Man kann z. B. in der ersten Gruppe alle Abstufungen um  $\frac{1}{1000}$  mm herstellen. Verbindet man diese Maße mit denen der zweiten Gruppe von 1,00—1,09 mm, so kann man jede einzelne Größe von 1,001 mm bis zu 1,099 mm um  $\frac{1}{1000}$  mm steigend erhalten usw. Diese Ausdehnungsfähigkeit, verbunden mit der höchsten Genauigkeit dieser Maße machen sie für sämtliche Kontrollen innerhalb des Meßbereiches so wertvoll und haben ihnen die schnelle Verbreitung geschaffen. Man

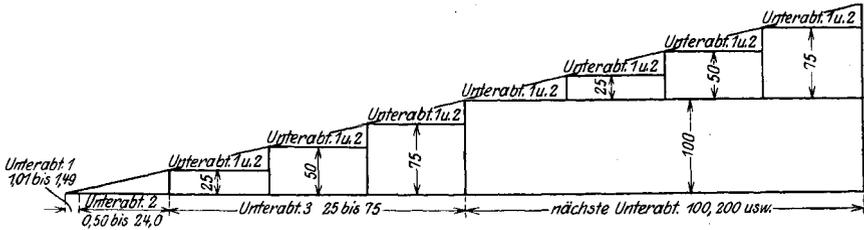


Fig. 57. Abstufung der Parallelmaße.

kann unmittelbar alle Rachenlehren, Mikrometer, Fühlhebel prüfen, ebenso alle Gebrauchslehren, die genau genug für eine derartige Kontrolle gearbeitet sind. Aber auch in der Fabrikation ist eine weite Verwendbarkeit möglich. Um eine GrenZRachenlehre von 50 mm mit  $\pm 0,01$  mm Toleranz zu prüfen, stellt man, wie Fig. 58 zeigt, die Einzelmaße  $30 + 10 + 9 + 1,01$  zusammen, die in das Maul der Rachenlehre eintreten sollen. Da aber die Lehre selbst mit  $\pm 0,002$  mm Genauigkeit hergestellt ist, so wird man finden, daß man statt des Maßes 1,01 auch 1,011 oder 1,012 oder 1,009 einsetzen kann und die Kombination immer noch in das Maul eintritt. Geht

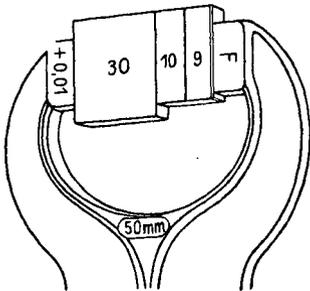


Fig. 58. Prüfung einer GrenZRachenlehre mit Endmaßen.

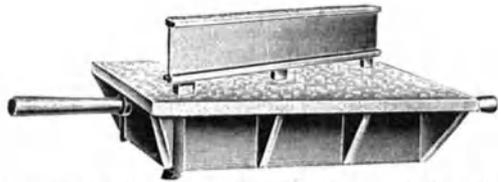


Fig. 59. Prüfung einer Tuschierplatte mit Parallelendmaßen. Hommelwerke Mannheim.

das auch noch mit dem Maß 1,013, so genügt die Grenzlehre nicht der garantierten Genauigkeit. Es kann aber auch vorkommen, daß das kombinierte Endmaß von 50,01 mm nicht in das Maul eintritt, dann versucht man eine Kombination, die 50,009 oder 50,008 hat. Geht dagegen erst eine Kombination 50,007 in das Maul der Grenzlehre, so ist sie wieder unbrauchbar. In Fig. 59 wird eine Tuschierplatte mittels Endmaßen und eines richtigen Lineales

auf Ebenheit untersucht. Man stellt aus Endmaßen drei gleiche, beliebig große Kombinationen her und legt sie z. B. in der Richtung einer Diagonale auf die Tuscherplatte. Legt man nun das ebene, gerade (!) Lineal darüber, so muß es an allen drei Stellen die Endmaße festhalten, wenn die Tuscherplatte eben ist. Wenn man diese Arbeit an verschiedenen Stellen der Platte macht, so kann man leicht auch einzelne örtliche Fehler herausfinden. Liegt das Lineal auf zwei Endmaßen auf und geht das dritte leicht oder nicht unter das Lineal, so vergrößert oder verkleinert man dieses Endmaß durch Zusammenstellung einer anderen Kombination so lange, bis alle drei haften. Der Unterschied zwischen den beiden gleichen und der dritten neu zusammengestellten Kombination gibt den Betrag, um den die Platte an dieser Stelle zu hoch oder zu tief ist. Man kann aber auch die Endmaße im reinen Fabrikationsbetriebe mit Vorteil verwenden. Fig. 60 zeigt die Kontrolle. Die Ausmessung von Innenmaßen mittels Endmaßen ist erst durch Vermittlung von Meßschnäbeln nach Fig. 61 vorzunehmen. Diese Meßschnäbel stellen selbst Endmaße vor, die auf der einen Fläche genau eben und parallel genau so wie Parallelendmaße ausgeführt sind, während die andere Fläche nach einem Zylindermantel mit genau paralleler Achse geformt ist. Die Entfernung des Scheitels der Krümmung von der ebenen Fläche ist mit derselben Genauigkeit wie die Endmaße selbst entweder  $\bar{5}$  oder  $2$  mm. Verbindet man durch Aneinanderhaften zwei solche Meßschnäbel mit einer Kombination von Endmaßen, z. B.  $30 + 1,52$ , so erhält man zwischen den ebenen Flächen das

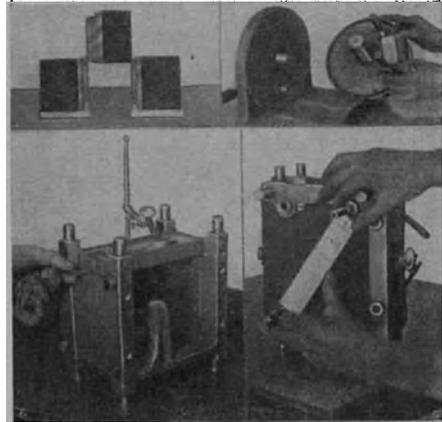


Fig. 60. Kontrolle mittels Endmaßen in der Fabrikation.

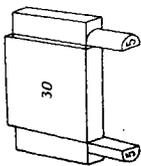


Fig. 61. Meßschnäbel für Lochmessung mittels Endmaßen.

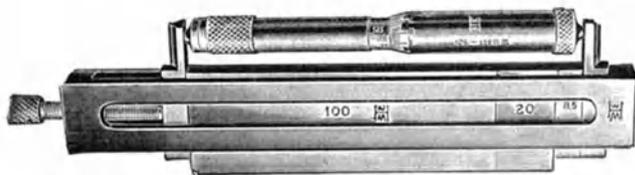


Fig. 62. Halter für Parallelendmaß-Kombinationen mit Meßschnäbeln. Hommelwerke Mannheim.

Maß  $31,52$  als Rachenlehre, Fig. 61, und außen über die Scheitel gemessen als Flachlehre  $31,52 + 10$  mm, also  $41,52$  mm mit derselben Genauigkeit wie die Kombination der Endmaße selbst. Wenn auch die Meßschnäbel genau wie die Endmaße selbst durch das Haften sicher genug zusammenhalten, empfiehlt es sich doch, sie durch besondere Halter, Fig. 62, zu klemmen, so daß eine unbeabsichtigte Lösung vermieden wird. Außerdem schonnt man durch Verwendung der Meßschnäbel und der Halter die eigentlichen Meßflächen der Endmaße bedeutend und schließt außer bei vollständig unsachgemäßer Handhabung den Einfluß der Handwärme auf die Meßkörper fast aus. Die weite Verwendbarkeit der sachgemäß zusammengestellten Sätze zeigt sich in der großen Anzahl Kombinationen, die mit einem

derartigen Satz Endmaße hergestellt werden können. So erlaubt ein Satz aus 91 Stücken mit Abstufungen von  $\frac{1}{1000}$  mm über 200 000 Kombinationen in einem Meßbereich von 1–200 mm herzustellen; selbst der kleine Werkstättensatz von 31 Stücken ergibt im gleichen Meßbereich mit Abstufungen von  $\frac{1}{1000}$  mm noch über 10 000 Kombinationen.

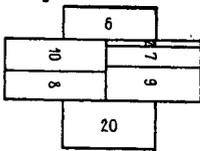


Fig. 63. Kontrolle der Endmaße durch die Endmaße selbst.

Da die wirkliche Kontrolle der Richtigkeit der Endmaße nur mit den besten Meßeinrichtungen im Laboratorium, streng genommen nur mit optischen Hilfsmitteln, am besten mit solchen, die auf Interferenzerscheinungen beruhen, möglich ist, wird in Fig. 63 eine Kontrolle mittels der Endmaße selbst abgebildet, die nur bei richtigen Maßen gelingt. Es muß die Kombination 10 + 8 und 9 + 7 + 2 gleichzeitig zwischen dem oberen und unteren Maß haften.

## 2. Feste Maße beliebiger unbekannter Größe.

Während im rationellen Maschinenbau oder in der Massenfabrication immer mit Meßwerkzeugen gearbeitet wird, die eine in Maßeinheiten bekannte Größe darstellen, ergibt sich bei der Einzelherstellung oder besonders bei Reparaturarbeiten die Notwendigkeit, bestimmte Maße abzunehmen oder zu übertragen, ohne daß das genaue Maß in Einheiten der Maßeinheit gekannt sein will. Das neue Stück wird einfach nach dem abgenommenen Maß hergestellt und paßt dann an die betreffende Stelle. Ebenso werden Fabricationslehren verwendet, diese zwar wieder in der Massenfabrication, bei denen ein Maß an einer Anschlagkante eingestellt ist, ohne daß der Arbeiter die Größe dieses Maßes an dem Arbeitsstück selbst kennt.

Der Grund für die erstangeführte Arbeit liegt in der Möglichkeit, eine größere Genauigkeit der Übertragung durch unmittelbares Fühlen mit dem eingepaßten Übertragsmaß zu erhalten, bzw. in der Unmöglichkeit, die für derartige Einzelmessungen notwendigen, oft anormalen Meßinstrumente an Ort

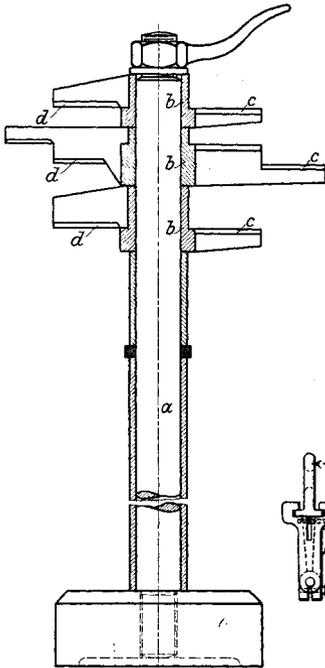


Fig. 65. Hobellchre.

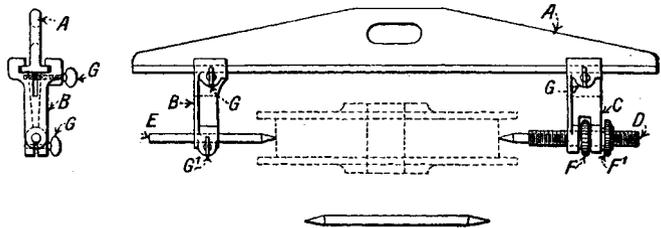


Fig. 64. Verstellbare Übergreiflehre für große Durchmesser.

und Stelle zu verschaffen. Bei der zweiten Arbeitsweise ergibt sich der Vorteil, das betreffende Maß, das sich dauernd, vielleicht einige hundert Male im Laufe des Tages wiederholt, fest eingestellt zu haben, ohne daß der Arbeiter bei jedesmaligem Neueinstellen grobe und Einstellungsfehler machen kann und infolgedessen die Arbeitszeit gekürzt wird.

Die einfachsten Werkzeuge dieser Art sind die Stichmaße und Übergreiflehren, die der Arbeiter an Ort und Stelle aus einem Stückchen Rund- oder Vierkantstahl selbst herstellt. Die Enden werden leicht rund konisch gefeilt mit kugeligen Spitzen, bis das abzunehmende Maß fast genau zwischen den Spitzen vorhanden ist. Dann werden die Enden gehärtet, während die mittlere Länge des Stäbchens weich bleibt, hierauf die kugeligen Spitzen mit Schmirgelpapier oder der Schmirgelfeile sauber geglättet. Die mittlere Partie bleibt weich, damit man durch Stauchen oder Strecken des weichen Teiles die genaue Länge einstellen kann. Zur Herstellung einer gleichen Übergreiflehre wird der Draht C-förmig gebogen, worauf die übrige Herstellung die gleiche bleibt.

Handelt es sich um größere Maße, so genügt der Draht oder Stahl nicht mehr, man nimmt ein Gasrohr mit eingesetzten Stahlspitzen oder besser noch, man bereitet sich derartige nachstellbare Lehren nach Fig. 64 von vornherein vor.

Eine solche Lehre besteht aus einer T-förmigen Schiene aus Gußeisen, die am Fuß bearbeitet ist. Auf dem Fuß sind zwei Bügel verschiebbar, die die Fühlspitzen tragen. Die Bügel werden mittels Klemmschrauben in unfähiger der gewünschten Entfernung festgeklemmt, worauf die Schraubspitze mit der Mikrometerschraube bis zur Berührung gebracht und mit der Gegenmutter festgeklemmt wird.

Fig. 65 zeigt eine Hobellehre<sup>1)</sup>, die mit verschiedenen Anschlägen für vier Hobelflächen ausgestattet ist und gleichzeitig zum Einstellen des Stahles wie zur Kontrolle der gehobelten Fläche dient. Die Anschlagkante, die gerade benötigt wird, wird in die Arbeitsrichtung gestellt, die anderen, nicht verwendeten sämtlich senkrecht dazu, so daß ein Irrtum bei der Benutzung unmöglich ist. Bei Verwendung an einem anderen Arbeitsstück werden Hülsen und Zwischenstücke gegen entsprechende andere ausgewechselt.

## C. Einstellbare Maße.

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

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

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

**Strichmaßstäbe.** Beim Messen mit Strichmaßstäben ist große Vorsicht notwendig, da die Genauigkeit dieses wohl verbreitetsten Meßwerkzeuges viel ungleichmäßiger ist als man allgemein annimmt und die Kontrolle auf Richtigkeit nicht so ohne weiteres ausgeführt werden kann. Abgesehen von den sog. Präzisionsmaßstäben, die z. B. an einer Meßmaschine verwendet werden, sind noch im Handel als Normalmaßstäbe bezeichnete erhältlich, die für mikroskopische Ablesung bestimmt sind und demgemäß feine Striche tragen. Diese Teilstriche liegen nicht, wie bei den gewöhnlichen Maßstäben, an einer Seite des Lineales, sondern sind in der Mitte gezogen und stehen beiderseits von den Kanten des Lineales ab. Ihre Genauigkeit beträgt  $\frac{1}{100}$  mm. Sie kommen für den normalen Werkstättenbetrieb nicht in Betracht. Die für die Werkstätte bestimmten Maß-

<sup>1)</sup> Werkstatttechnik 1917. S. 114.

stäbe haben an die Längskante reichende Teilstriche, gegen die der zu vergleichende Maßstab angelegt wird. Der Vergleich beider Teilungen erfolgt durch eine Lupe, so daß man auf die Schätzung der Fehler angewiesen ist. Dieser Maßstab gehört also in den Revisionsraum und trägt deshalb den Null- und Endstrich nicht an der Endkante des Maßstabes, sondern ungefähr 20 mm von ihr entfernt. Man kann ihn deshalb nicht als Endmaßstab verwenden und behält dauernd die Genauigkeit der beiden Endstriche.

Je mehr der Maßstab ein reiner Gebrauchsmaßstab in der Werkstätte wird, desto gröber werden die Teilstriche und desto geringer wird seine Genauigkeit. Während die Präzisions- und Normalmaßstäbe durch mikroskopische Ablesung nach einem geeichten Präzisionsmaßstab von Hand angerissen werden, werden die Gebrauchs- oder Werkstättenmaßstäbe auf selbsttätig arbeitenden Teilmaschinen hergestellt. Infolgedessen fällt nach den Eichvorschriften die notwendige Genauigkeit bei der gewöhnlichen Handelsware auf  $\pm 1$  mm für 1 m Meßlänge also  $\pm 0,1\%$  und auf  $\pm 0,5$  mm bis 0,75 mm, also  $\pm 0,05\%$  bei den sog. Gebrauchsmaßstäben. Man soll jedenfalls für einen Gebrauchsmaßstab mit der Teilung nicht weit herunter gehen, da bereits bei einer Teilung von  $\frac{1}{2}$  mm die Striche eines gewöhnlichen Maßstabes zu dick sind und das Auge beim Ablesen stören. Eine Teilung z. B. in  $\frac{1}{64}$  Zoll engl. ist für eine leichte Ablesung bei gewöhnlicher Strichdicke bereits zu klein. Andererseits steigt die Genauigkeit der Ablesung nicht um das Doppelte, da man bei einiger Übung leicht und sicher  $\frac{1}{10}$  mm am Maßstab schätzen kann, wie die Messung auf Seite 12 beweist, andererseits die Teilstriche selbst dann 0,2—0,3 mm stark werden können.

**Schublehren, Tiefenmaße u. dgl.** Die einfachste Verbindung der Maßstab- und Endflächenmessung stellen die Schublehren dar. Auf einem Maßstab mit einer festen Backe wird ein Schieber mit einer gleichen Backe verschoben, bis zwischen den beiden Backen, entweder innen oder außen die verlangte Strecke enthalten ist, vgl. Fig. 68—71. Da der Nullstrich des beweglichen Schiebers mit dem Nullstrich des Maßstabes bei geschlossenen Backen zusammenfällt, so ist das Maß zwischen den Backen in jeder Schieberstellung dem Nullstrich des Schiebers gegenüber am Maßstab abzulesen. Mißt man ein Loch mit der Schublehre, so muß man die Breite der Meßschnäbel zu der Ablesung addieren. Um nun bei der Ablesung des Schublehrenmaßstabes nicht allein auf das Schätzen der  $\frac{1}{10}$  mm angewiesen zu sein, werden die Schieber mit einem Nonius versehen, der bei den gewöhnlichen Werkstattinstrumenten  $\frac{1}{10}$  mm und bei Präzisionsinstrumenten bis zu  $\frac{1}{50}$  mm abzulesen gestattet. Ist man dabei noch seiner Schublehre sicher, daß kein toter Gang in den Führungen vorhanden ist, so kann man bei richtiger Behandlung (Vorsicht gegen Klemmen der Schnäbel gegen das Werkstück) auch noch  $\frac{1}{2}$  der kleinsten Unterteilung, also 0,05 bzw. 0,01 mm schätzen.

Der Nonius, Fig. 66 und 67, besteht aus einer am Schieber angerissenen oder aufgeschraubten kleinen Maßstabteilung, deren Länge, von 0 bis 10 beziffert, im Dezimalsystem meistens gleich der Entfernung von neun Teilstrichen des Hauptmaßstabes ist. Ist also ein Teil des Hauptmaßstabes 1 mm, so ist ein Teil des Nonius nur  $\frac{9 \text{ mm}}{10}$ , also 0,9 mm lang. Steht dann der Nonius, wie Fig. 66 zeigt, in seiner Nullstellung, in der der Nullstrich des Maßstabes und des Nonius zusammenfallen, so muß auch der zehnte Teilstrich des Nonius mit dem neunten Teilstrich des Maßstabes zusammenfallen. Zwischen dem dem Nullstrich folgenden ersten Teilstrich des Nonius und dem ersten folgenden Teilstrich des Maßstabes liegt nun eine Entfernung von 1 mm — 0,9 mm = 0,1 mm;

zwischen dem zweiten Teilstrich des Nonius und dem zweiten Teilstrich des Maßstabes liegt eine Strecke  $2 \text{ mm} - 2 \times 0,9 \text{ mm} = 0,2 \text{ mm}$  usf.  $0,3 \text{ mm}$ ,  $0,4 \text{ mm}$  bis zwischen dem neunten Teilstrich des Nonius und dem neunten Strich des Maßstabes  $0,9 \text{ mm}$  liegen und der zehnte Teilstrich des Nonius, der von dem neunten um  $0,9 \text{ mm}$  entfernt ist, deshalb mit dem neunten Maßstabstrich zusammenfallen soll.

In Fig. 67 sei der Nonius in irgendeiner Meßstellung gezeichnet. Der Nullstrich des Nonius gilt als Nullstrich des Schiebers, da er bei zusammengeschobenen Backen mit dem Nullstrich des Maßstabes zusammenfällt, wie Fig. 66 zeigt. Das Maß zwischen den Backen ist nun nach Fig. 67 zwischen 88 und 89, so daß man ohne Nonius die Strecke  $x$  schätzen und zu der Ablesung 88 addieren müßte. Beim Nonius geht man folgendermaßen vor: Man sucht den Teilstrich des Nonius, der mit einem Maßstabstrich zusammenfällt; in unserem Beispiel ist es Teilstrich 5, und gibt dann  $5 \times 0,1 \text{ mm}$ , also  $0,5 \text{ mm}$  zu der Ablesung am Hauptmaßstab =  $88,5 \text{ mm}$ .

Die Begründung ist einfach genug, wenn man sich vor Augen hält, daß die Entfernung zwischen zwei Noniusstrichen immer um  $0,1 \text{ mm}$  kleiner ist als die Entfernung zwischen zwei Maßstabstrichen. Wenn nun der fünfte Strich des

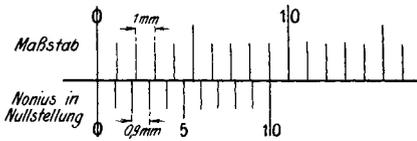


Fig. 66. Nonius.

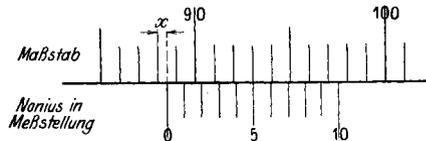


Fig. 67. Nonius.

Nonius mit dem fünften Strich des Maßstabes zusammenfällt, so ist die Entfernung des ersten Noniusstriches links von dem darüberstehenden Maßstabstrich  $0,1 \text{ mm}$ , der zweite Noniusstrich links vom fünften ist von dem betreffenden Maßstabstrich  $0,2 \text{ mm}$ , der dritte  $0,3 \text{ mm}$ , der vierte  $0,4 \text{ mm}$  und der fünfte, der Nullstrich, von dem Strich 88 des Maßstabes  $0,5 \text{ mm}$  entfernt. Diese Entfernung aber ist die gesuchte Strecke  $x$ .

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

Es sei

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

N . . . . . die Länge eines Noniusteiles,

n . . . . . die Anzahl Teile des Nonius,

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

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

d. h. die Länge eines Noniusteiles ist

$$N = \frac{n - 1}{n} \cdot M$$

und die Anzahl Teile am Nonius

$$n = \frac{M}{M - N} = \frac{M}{U}$$

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

$$U = M - N = \frac{1}{128}''$$

$$M = \frac{1}{8}'' \text{ und nach oben}$$

$$N = \frac{1}{8}'' - \frac{1}{128}'' = \frac{15}{128}''$$

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

$$\text{Länge des Nonius} = 16 \cdot \frac{15}{128}'' = \frac{15}{8}'' = 1\frac{7}{8}'' \text{ engl.}$$

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

Nimmt man

$$M = 1^\circ; U = \frac{1}{12}^\circ = 5';$$

dann ergäbe sich

$$n = \frac{1^\circ}{\frac{1}{12}^\circ} = 12 \text{ Teile,}$$

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

was einer Länge von rund 5 mm entspräche.

Um nun eine derartig kleine Teilung am Nonius, ohne Veränderung des Durchmessers der Kreisteilung bei gleicher Ablesegerauigkeit von 5' zu vermeiden, nimmt man als Maßstabereinheit 2 Maßstabteile = 2° an. Dann ergibt sich mit den obigen Formeln, sinngemäß übertragen:

$$M = 1^\circ \quad U = \frac{1}{12}^\circ = 5'.$$

Da aber die Maßstabereinheit jetzt 2 M ist, ergibt sich die Gleichung

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

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

$$\text{also } n = \frac{M}{U} = 12$$

$$1 \text{ Noniusteil} = 1^\circ \cdot \frac{24 - 1}{12} = \frac{23^\circ}{12}$$

$$\text{Noniuslänge} = 12 \cdot \frac{23}{12} = 23^\circ.$$

So handlich die allgemein bekannte Form der Schublehre auch ist, so schwierig ist das einwandfreie Messen damit, sobald es sich um Genauigkeiten und Ablesungen handelt, die über  $\frac{1}{10}$  mm hinausgehen. Man muß in einem solchen Fall unbedingt sicher sein, daß die Führungen des Schiebers ohne Spiel und ohne Klemmung gehen, daß die Meßschnäbel wirklich rechtwinklig zur

Führung und gerade sind und bei der Nullstellung des Nonius auch tatsächlich aneinander anliegen. Ebenso ist die Verwendung sehr großer Schublehren mit Meßschnäbeln von ausnahmsweise großer Länge oder von Mikrometerschrauben am Nonius mit totem Gang eine Fehlerquelle, die jede Genauigkeit zerstört.

Dagegen überragt die Anpassungsfähigkeit der Schublehre die meisten anderen Meßwerkzeuge und ist für eine schnelle Messung immer noch das geeignetste Werkzeug, das auch leicht so eingerichtet werden kann, daß es die

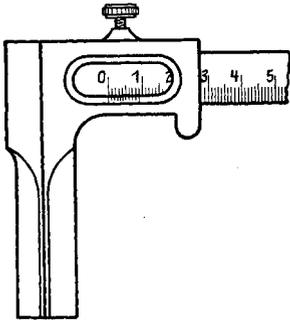


Fig. 68.

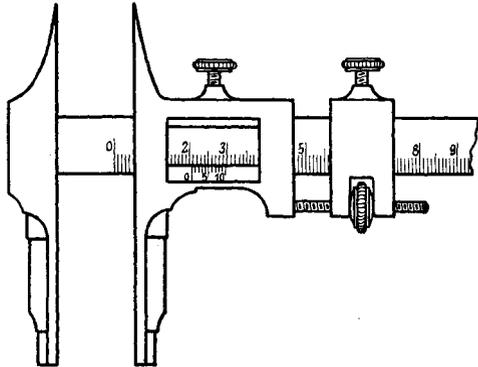


Fig. 69.

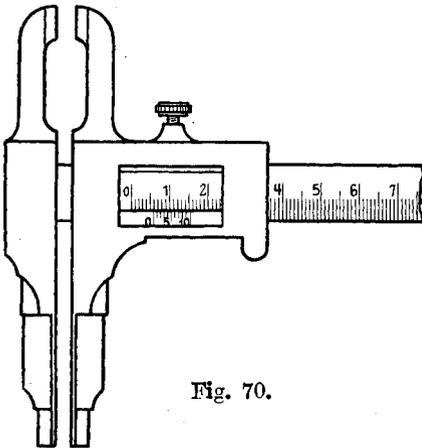


Fig. 70.

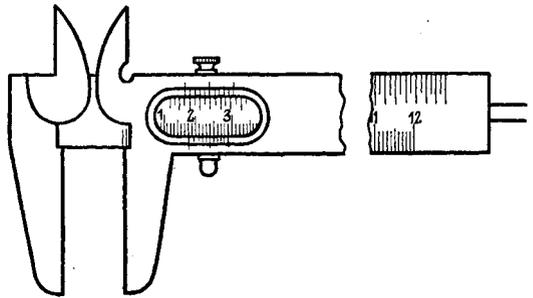


Fig. 71.

Fig. 68–71. Handelübliche Formen der Schublehren.

verschiedensten Messungen, Innen-, Außen-, Tiefen und Gewindemessungen mit einem Instrument ausführen läßt.

Fig. 68 zeigt die einfache Schublehre für Außen- und Innenmessungen, Fig. 69 mit Anreißspitzen, die für gewisse Zwecke für einfache Anreißarbeiten gewünscht werden; ihre Genauigkeit ist nicht lange zu erhalten, da die Spitzen stets offen liegen und nach kurzer Zeit beschädigt und abgenützt werden, worauf — meistens zu spät — das Nachschleifen vorgenommen wird.

Wichtiger ist die nächste Form, Fig. 70, die statt der Anreißspitzen Meßschneiden zur Gewindemessung enthält. Jede dieser Formen kann in einer oder der anderen Art mit einem Tiefenmaß, Fig. 71 (Kolumbuslehre), ausgerüstet

werden, wobei aber darauf zu sehen ist, daß das Tiefenmaß soweit wie möglich in der Rückseite der Schublehre geschützt gelagert ist und nicht auf der Unterseite des Maßstabes frei liegt, wenn auch vielleicht in einigen Fällen die einseitige Lage des Tiefenmaßes bequemer ist. Für die leichte Einstellung kann jede dieser Formen mit einer Mikrometerschraube, wie bei Fig. 69 ersichtlich, ausgestattet werden, doch muß man bei solchen Schublehren alles, was über Meßdruck und Fühlmöglichkeit gesagt wurde, wohl beachten, damit nicht der gegenteilige Erfolg erreicht wird und die Meßgenauigkeit verringert, statt erhöht werde.

Über die Lage der Teilung zu den Backen hat <sup>1)</sup> Krupp in neuerer Zeit Untersuchungen gemacht und bei seinen Schublehren, besonders für große Stücke die Teilung so gelegt, daß ein Ablesen in der Meßstellung am Stück ohne Abziehen und Umdrehen der Schublehre erfolgen kann. Die Teilung muß dann gegenüber den Backen gerade entgegengesetzt, an der andern Seite des Schublehrenmaßstabes liegen. Bei der Messung kleiner Stücke, bei denen man beide Teile in der Hand halten kann, kommt dieser Vorteil nicht zur Geltung.

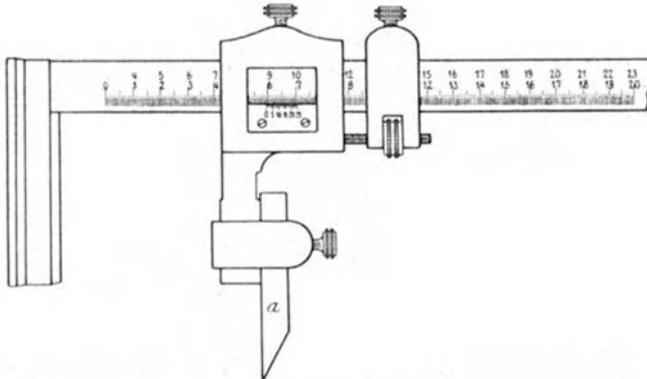


Fig. 72. Höhenschublehre. Aug. Kirsch, Aschaffenburg.

Fig. 72 zeigt eine Höhenschublehre, die zur Messung des Höhenabstandes zweier paralleler Flächen dient und gleichzeitig nach Entfernung des Hilfschnabels a als gewöhnliche Schublehre verwendet werden kann. Deshalb ist eine doppelte Bezifferung der Teilung vorgesehen, von denen die mit 4 beginnende zur Höhenmessung bei eingesetztem Hilfsschnabel a verwendet wird. Der feste Meßschnabel ist als Anschlagwinkel ausgebildet, damit man die Schublehre auch winkelrecht auf die Unterlage aufsetzen kann.

Eine sehr handliche Schublehre mit parallel zu ihren Meßflächen drehbaren Schenkeln ist mit einigen Arbeitsbeispielen in Fig. 73—74 dargestellt. Stehen bei dieser Schublehre die Schenkel in einer Ebene parallel, so kann sie wie eine gewöhnliche Schublehre verwendet werden.

Mit den bisher bekannten Schublehren konnte man, ohne besondere weitere Hilfsmittel, nur alle die Messungen vornehmen, bei denen beide Anschlagflächen oder Punkte für die Meßschenkel innerhalb eines rechteckig begrenzten Raumes lagen, der die Schenkelmeßfläche zur Grundfläche und den größten Schenkelabstand (die weiteste Schnabelöffnung) zur Höhe hatte. Bei der vorliegenden Neuerung ist nun dieser Raum bedeutend vergrößert und somit die Schublehre wesentlich ausnutzbarer gemacht worden. Angenommen ein Schenkel (b) sei mit seiner Meßfläche an irgendeiner Anschlagfläche fest angelegt, so kann durch

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1920. S. 513. Kurrein, Neuerungen an Meßwerkzeugen.

die zur Meßfläche parallele Drehbarkeit des gegenüber liegenden Schenkels (a) die andere Anschlagfläche oder der andere Anschlagpunkt innerhalb eines zylinderförmigen Raumes liegen, der einen Kreis mit einem Durchmesser von der doppelten Schenkellänge zur Grundfläche und die größte Schnabelweite der

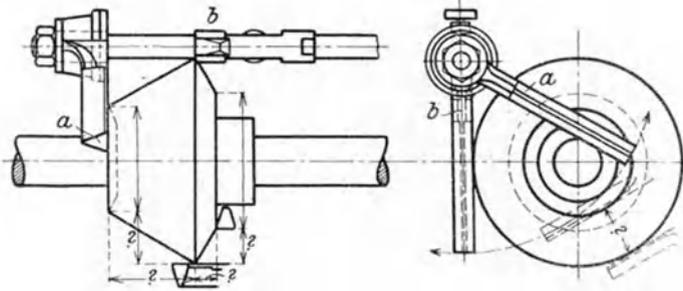


Fig. 73 und 74. Schublehre mit drehbaren Schenkeln. Carl Mahr, Eßlingen.

Lehre als Höhe hat. Es kann also die Anschlagfläche auf der einen Seite und der für die Messung fragliche andere Anschlag auf der entgegengesetzten Seite des Skalaträgers liegen. Der Wert der Neuerung ist deutlich ersichtlich, wenn

man z. B. zum Stoßen fertig gedrehte Kegelräder oder runde Gegenstände, die große und kleine Durchmesser haben, jedoch nur von den großen Durchmessern aus mit der Lehre zugänglich sind, messen will, wie es in Fig. 73–74 die mit Frage-

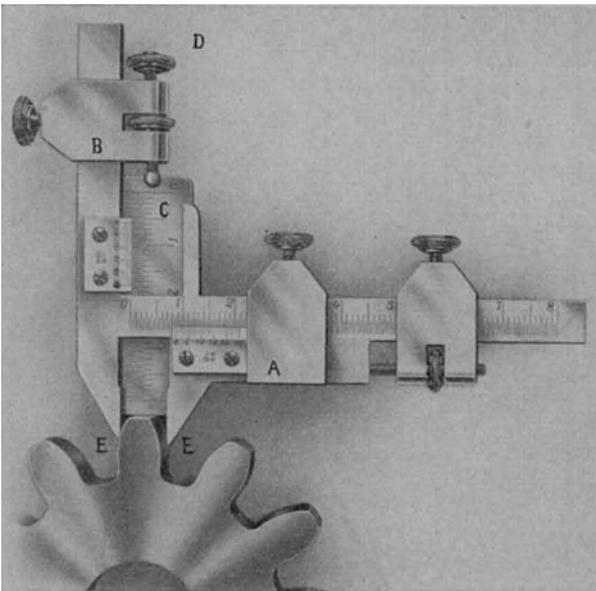


Fig. 75. Zahnrädermeßapparat.  
Aug. Kirsch, Aschaffenburg.

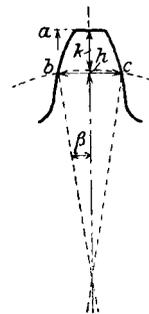


Fig. 76.

zeichen beschriebenen Maße andeuten. Daß bei einer derartigen Messung die Mikrometerschraube einer Schublehre leicht das Lineal um 0,1 mm hebt, wird wohl zugegeben werden, außerdem ist es für einen Mann unbequem. Wenn man aber in der abgebildeten Weise mit den drehbaren Schenkeln mißt, so hat man selbst das Gefühl des Passens und kann schneller und genauer messen.

Für die Ausmessung der Zahnstärken ist eine Verbindung zweier Schublehren bzw. einer Schublehre und eines Tiefenmaßes nach Fig. 75 sehr vorteilhaft zu verwenden. Eine gewöhnliche Schublehre A mißt die Zahnstärke  $bc$  als Sehne des Teilkreises, wobei die Feineinstellung mittels der Mikrometerschraube am Nonius noch auf  $\frac{1}{50}$  mm erfolgt. Gleichzeitig wird der Tiefenmaßstab C bei festgestelltem Schieber B mit der Mikrometerschraube so eingestellt, daß die Spitzen E mit dem Teilkreis zusammenfallen.

Bei der Verwendung dieses Werkzeuges ist zu beachten, daß für die Zahnstärke  $bc$  bei Zähnezahlen bis zu 45 Korrekturen vorgenommen werden müssen, da die Abweichung zwischen Sehne und Kreisbogen, Fig. 76, die Genauigkeit der Abmessung übersteigt.

Bei diesen Apparaten muß die Ablesung erst nach einer Zahlentafel korrigiert werden, um die wirklichen Werte der Zahnteilung zu erhalten. Diese Tafel wird den Apparaten mitgegeben. Von viel größerer Wichtigkeit für die Untersuchung der Zahnräder sind die meistens auf Fühlhebelmessung beruhenden Apparate, die den einwandfreien Lauf zweier Zahnräder feststellen, vgl. S. 52.

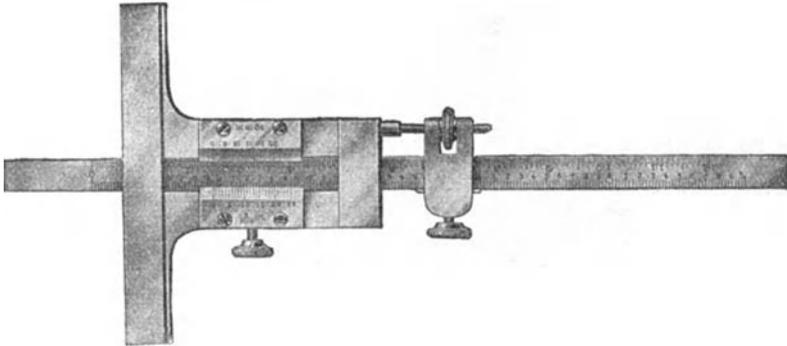


Fig. 77. Tiefenmaß mit Mikrometereinstellung und zwei Teilungen von Brown u. Sharpe. Schuchardt u. Schütte, Berlin.

**Tiefenmaße.** Die Tiefenmaße werden meistens nach der Form der Schublehren gebaut, es tritt einfach an Stelle des mit dem Maßstab fest verbundenen Meßschnabels das Ende des Maßstabes selbst. Fig. 77 zeigt ein derartiges Werkzeug mit Feineinstellung, an dem gleichzeitig die Leichtigkeit einer Messung in zwei Systemen, Millimeter und Zoll, ersehen werden kann. Es werden an beiden Seiten des Maßstabes die beiden Teilungen angerissen und am Schieber die entsprechenden Nonien angebracht, vgl. Fig. 71. Bei dem abgebildeten Tiefenmesser kann man auf  $\frac{1}{50}$  mm und mit der zweiten Teilung auf  $\frac{1}{1000}$  Zoll messen. Dazu ist der Hauptmaßstab in  $\frac{1}{2}$  mm geteilt und ein Nonius mit 25 Teilen verwendet worden, vgl. S. 35/36,

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

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

$$n = \frac{0,025}{0,001} = 25.$$

Die Länge des Nonius beträgt

$$25 \times 0,48 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

und bei der Zollteilung

$$25 \cdot \left(\frac{1}{40} - \frac{1}{1000}\right) = \frac{24}{40}''.$$

Durch die Veränderung des Maßstabendes läßt sich das Tiefenmaß ebenso wie die Schublehre gewissen Zwecken sehr vorteilhaft anpassen. Eine derartige Messung an den T-Nuten eines Tisches läßt sich mit dem in Fig. 78 dargestellten Maß sehr bequem durchführen, was besonders bei langen Nuten, an die man sonst in der Mitte nicht leicht herankam, sehr angenehm ist.

Eine sehr handliche und praktische Beigabe sind die in die Schublehren eingebauten Tiefenmaße, vgl. Fig. 71, Ausführung der Kolumbusschublehre; doch muß man hier noch sorgfältiger aufpassen und die unvermeidliche Abnutzung des Tiefenmaßes öfter kontrollieren, da dieses bei jeder Messung mit der Schublehre aus seiner schützenden Führung heraustritt.

Mikrometertiefenmaße siehe S. 46.

Eine ganz neue Form eines schrägen Tiefenmaßes bringt die Firma Carl Zeiß, Jena, neuerlich heraus. Bei diesem Tiefenmaß ist der Maßstab in dem Fuß schräg geführt, so daß man in Eindrehungen und Absätzen einer Bohrung, T-Nuten und dgl. messen kann, wobei die Teilung am Maßstab die Entfernung in der Senkrechten angibt. Fig. 79 zeigt das Instrument.

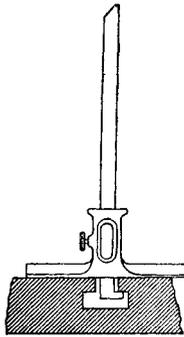


Fig. 78. Tiefenmaß zur Messung der T-Nuten.

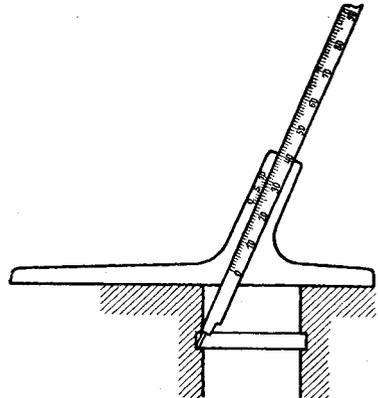


Fig. 79. Tiefenmaß von Carl Zeiß, Jena.

Schuchardt u. Schütte, Berlin.

**Mikrometer.** Die Mikrometer messen im allgemeinen die zu messende Strecke in Umdrehungen einer sehr genau geschnittenen und sehr gut ohne toten Gang geführten Schraube, deren Steigung entweder 1 mm oder 0,5 mm beträgt. Da man

nun am Umfang einer verhältnismäßig kleinen Trommel von z. B. 13 mm Durchmesser bei 50 Teilen, die am Umfang angerissen werden, immer noch eine Teilstrichentfernung von rund 0,8 mm erhält, so kann man mit Sicherheit  $\frac{1}{50}$  Umdrehung und demnach  $\frac{1}{50}$  oder  $\frac{1}{100}$  mm messen. Wenn der Arbeiter sein Tastgefühl besonders ausgebildet hat, so läßt sich mit einer überraschenden Sicherheit noch bedeutend weiter gehen. Andererseits sind die Fehler, die eine im Gebrauche der Mikrometer ungeübte Hand begeht, wiederum größer als die Teilungen der Trommel. Es ist dies auch nicht zu verwundern, wenn man bedenkt, daß die Übersetzung zwischen dem Punkt, an dem der drehende Finger angreift und der Stelle, wo gemessen wird, für die Längenmessung und für die Kraft gleich ist (im oberen Fall  $= \frac{8}{10} : \frac{1}{100}$ , also = 80), daß sich also der beim Drehen an der Trommel ausgeübte Druck 80 mal vergrößert an der Meßfläche wiederfindet. Nimmt man nun als Fingerkraft nur 100 g an, so ergibt sich ohne Berücksichtigung der Reibung an der Meßfläche bereits ein Druck von 8 kg und bei einer Meßfläche von 0,8 cm

Durchmesser ein Flächendruck von  $\frac{8 \text{ kg}}{0,5 \text{ cm}^2} = 16 \text{ kg/cm}^2$ !! Man sieht also, wie vorsichtig man bei dem Messen mit dem Mikrometer vorgehen muß. Andererseits ist das Gefühl so fein, daß die Übereinstimmung verschiedener Messungen mit einer Mikrometerschraube bei einem geübten Arbeiter auch weit unter  $\frac{1}{100}$  mm bleibt. Diesen Einfluß zeigen am besten zwei Meßreihen, von denen die eine von ungeübten Beobachtern, wohl in dem Bestreben möglichst gut zu messen, aber doch in Unkenntnis der möglichen Fehler gemacht wurde, und eine zweite Reihe, die von im Messen geübten Arbeitern ausgeführt wurde. Wenn  $m$  der mittlere Fehler einer der sieben Messungen der ersten Reihe bzw. der vier Messungen der zweiten Reihe ist, und  $M$  der wahrscheinlich richtige Mittelwert der gemessenen Länge, so ergibt sich nach den Gesetzen der Fehlerrechnung für die erste Reihe ein Verhältnis  $\frac{m}{M} = \frac{1}{700}$  und bei der zweiten Reihe  $\frac{1}{4200}$ , also eine rund sechsmal so genaue Messung.

Diese Schwierigkeit umgeht man, indem man die Meßschraube an dem Mikrometer, Fig. 80/81, mit einem Reibungs- oder Ratschenantrieb<sup>1)</sup> versieht, der sich leer weiter dreht, wenn der Andruck der Meßschraube auf den zu messenden Körper einen bestimmten Wert übersteigt. Daß dabei wenigstens bei ungeübten Beobachtern ein Fortschritt erzielt wird, zeigt eine dritte Meßreihe, die von denselben Beobachtern wie oben ausgeführt wurde und deren Fehler nach denselben Gesetzen bestimmt wurde. Der Wert  $\frac{m}{M}$  betrug jetzt nur mehr rund  $\frac{1}{1500}$ , man hatte also durch die Verbesserung des Instrumentes die Sicherheit einer bestimmten Ablesegenauigkeit auf das Doppelte erhöht. Da aber der geübte Beobachter, wie die zweite Reihe zeigt, immerhin noch fast dreimal so genau mit dem Instrument ohne Gefühlsschraube mißt, ist es erklärlich, daß gewisse Betriebe mit einem Stamm geschulter Arbeiter die Mikrometermessung nicht zugunsten der Grenzlehrenmessung aufgeben wollen und als Grund dafür anführen, daß der Arbeiter auch wissen soll, um wieviel das Maß noch von dem Sollmaß des Werkstückes abweicht. Dann sind auch die Mikrometer im Verhältnis zu den festen Lehren um vieles billiger. Daß aber die Messung mit dem Mikrometer unstreitig länger dauert als mit den festen Lehren und bei bestimmten Passungen durch die Unmöglichkeit, das Gefühl des Messenden zu kontrollieren, auch den Reklamationen bei der Abnahme Tür und Tor öffnet, verschweigen sie.

Sieht man aber von diesen Punkten ab, so bleibt ein so kleines, handliches und verhältnismäßig billiges Instrument zurück, daß man bei der verhältnismäßig hohen Genauigkeit die allgemeine Verbreitung desselben wohl berechtigt finden wird. Fig. 80 und 81 zeigen ein derartiges modernes Mikrometer mit Gefühlsschraube im Schnitt und zerlegt. Da für eine genaue Messung die auf wenige Tausendstel Millimeter genau geschnittene Schraube und der Wegfall jedes toten Ganges in ihrer Führung, sowie vollständig winkelrechte Stellung beider Meßflächen zur Drehachse der Schraube unbedingte Notwendigkeiten sind, so ergeben sich die Schwierigkeit der Herstellung und die Punkte, die ein gutes, teureres Instrument von einem billigen unterscheiden.

In Fig. 80 ist B die Meßschraube mit dem glashart gehärteten Meßzapfen, an deren Kopf die Trommel D, die die Unterteilung trägt, mittels einer konischen

<sup>1)</sup> Die Reibung verringert wohl diesen Druck auf rund  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ , doch bleibt er der geringen Fingerkraft gegenüber noch hoch genug.

Zwischenbüchse aufgeklebmt ist. Die lose Unterlagscheibe E wird durch die Klemmschraube F, die sich nach außen in eine Federratsche G fortsetzt, an der die drehende Hand angreift, festgezogen und spannt alle Teile B, D, E und F fest zusammen. Wenn nun die Meßfläche der Schraube B mit einem zu großen Druck auf dem zu messenden Gegenstand ruht, so dreht sich der Knopf G, ohne daß die Schraube noch weiter gedreht wird; es findet also keine stärkere Anpressung der Meßschraube statt. Die Meßschraube führt sich in ihrer Mutter C, die

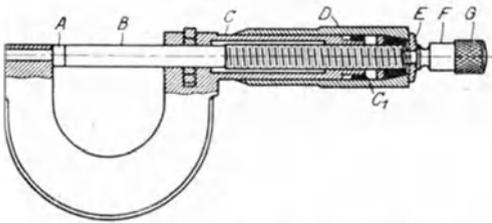


Fig. 80. Mikrometer mit Gefühlschraube. Hommelwerke, Mannheim.

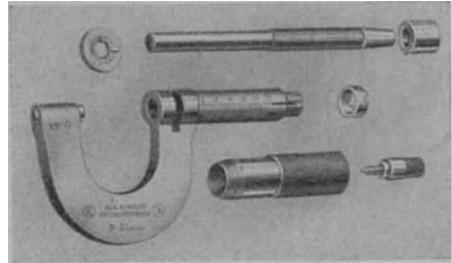


Fig. 81. Mikrometer mit Gefühlschraube, zerlegt. Aug. Kirsch, Aschaffenburg.

mittels eines Klemmrings  $C_1$ , der auf dem äußeren geschlitzten Teil der Mutter sitzt, bei eingetretener Abnutzung etwas nachgezogen werden kann. Der Bügel des Mikrometers trägt links von C noch eine Kugelklemmung, mit der man die Meßschraube ohne seitliche Verdrückung in jeder beliebigen Lage feststellen kann, und so ein einmal eingestelltes Maß während der ganzen Arbeitszeit fest und gegen unbeabsichtigte Veränderung geschützt halten kann. Der andere Meßzapfen A ist fest unverstellbar im Bügel. Bei dem zerlegten Mikrometer, Fig. 81, kann er bei Abnutzung nachgestellt werden, doch kann dieses in richtiger Weise nur von einem geübten Revisor erfolgen. Die Hauptbedingung für ein richtig arbeitendes Mikrometer ist, außer den anfangs erwähnten Punkten, eine über die ganze Meßlänge genau gleiche Steigung der Meßschraube. Die Kontrolle dieser Bedingung ist mittels Parallelendmaßen auszuführen, doch muß man dabei sehr vorsichtig jeden Einfluß der Handwärme ausschließen, d. h. man darf die Endmaße nur mit hölzernen Klammern, Fig. 82, anfassen, das Mikrometer nicht in der Hand, sondern in einem frei-



Fig. 82. Halter für Endmaße. Sautter u. Meßner, Aschaffenburg.

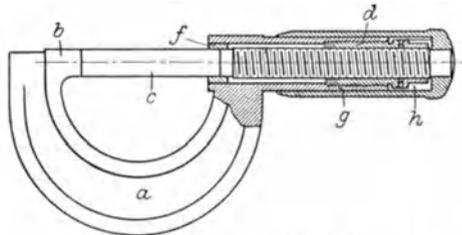


Fig. 83. Mikrometer von J. T. Slocomb.

stehenden Gestell befestigt halten und nicht unmittelbar auf das Werkzeug atmen, es auch bei der Messung nicht in direkte Sonne oder an die Heizung stellen.

Fig. 83 zeigt die einzelnen Teile eines ähnlichen Mikrometers anderer Bauart (J. T. Slocomb) ohne Gefühlschraube.

Bei den großen Mikrometern macht sich das Gewicht des Bügels oft unangenehm bemerkbar, da man das Instrument in der Hand halten muß

und durch das Gewicht das Gefühl bei der Messung leicht verliert. Deshalb werden die Bügel bei den großen Instrumenten aus Rippenguß und einem besonderen Leichtmetall, das gleichzeitig die genügende Festigkeit hat, gemacht.

**Schnellmeßmikrometer.** Um eine möglichst hohe Genauigkeit der Mikrometer mit Rücksicht auf den Herstellungspreis zu erhalten, verwendet man keine längeren Schrauben als 25 mm, so daß man für jeden um 25 mm steigenden Meßbereich ein weiteres Mikrometer vorrätig halten muß. Aber selbst in diesem verhältnismäßig kurzen Meßbereich ist es sehr unbequem, stets die volle Verstellung mit der Schraube vornehmen zu müssen, außerdem wird durch den Einstellgebrauch das Gewinde auch nicht gerade verbessert. Deshalb bürgern sich hier und in Amerika die sog. Schnellmeßmikrometer ein, die gestatten, mit nur 10 mm Schraubenverstellung alle Einstellungen zu machen. Sie werden bis zu 300 mm größter Meßweite gebaut.

Man löst die Klemmung und stellt dann den Schieber, der von 10 zu 10 mm genau eingedrehte Rillen besitzt, auf die erforderliche Entfernung ein. Hierbei

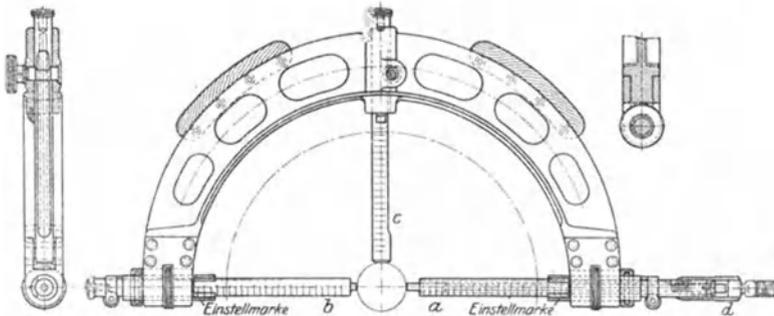


Fig. 84. Universalmeßapparat. Hommelwerke Mannheim.

schnappt eine auf den Bügelschaft aufgeschraubte Nuß genau in die entsprechende Rille ein. Vermittels der um 10 mm verschraubbaren Mikrometerspindel, die in dem in seiner ganzen Länge durchbohrten Schieber drehbar angeordnet ist, wird das genaue Maß festgestellt. Eine Klemmscheibe ermöglicht ein Feststellen der Mikrometerspindel, während durch eine zweite Klemmscheibe das Feststellen des Mikrometers in allen seinen Teilen bewirkt werden kann.

Wenn es sich um die Messung größerer Durchmesser handelt, ist das gewöhnliche Bügelmikrometer bereits etwas unbequem in der Handhabung, auch die Einstellung der beiden Meßflächen auf den Durchmesser beginnt unsicher zu werden. Eine wesentlich sicherere Arbeit läßt der Universalmeßapparat in Fig. 84 zu, dessen Konstruktion bezüglich der Meßeinrichtung sich mit dem Mikrometer deckt, der aber durch die Verwendung dreier Punkte zum Messen bedeutend größere Meßbereiche mit einem einzigen Werkzeug überbrückt, ohne daß die Genauigkeit und Bequemlichkeit der Messung dadurch leidet, es läßt sich sogar leichter und gleichmäßiger einstellen als das gewöhnliche Mikrometer gleicher Spannweite.

Zur Messung eines Außendurchmessers werden die Maßstäbe a, b und c mittels ihrer Nonien genau auf gleichen Durchmesser eingestellt, wobei der mittlere Arm c, der das Instrument trägt, nur so weit eingestellt werden muß, daß die Fühlflächen der beiden seitlichen Maßstäbe noch sicher den größten Durchmesser fassen. Dann werden die beiden seitlichen Maß-

stäbe, a und b, festgeklemmt und mittels der Mikrometerschraube rechts die genaue Einstellung vorgenommen. Die Justierung dieser Maße erfolgt nach einem Parallelendmaß, nach dem die Fühlspitze so eingestellt wird, daß bei sämtlichen Skalen auf Null die Mikrometerschraube auch auf Null steht. Die weitere Einstellung ist dann nur mehr von der Genauigkeit des Maßstabes und der Genauigkeit der Einstellung der Maßstäbe auf das betreffende Maß abhängig. Zu diesem Zweck versieht die Firma Hommel ihren Universalmeßapparat (vgl. dazu Fig. 85) mit einem Einstellnonius, der aus zwei um 0,02 mm gegen die Maßstabteilung versetzten Strichen besteht, so daß die Einstellfehler nicht mehr als diese

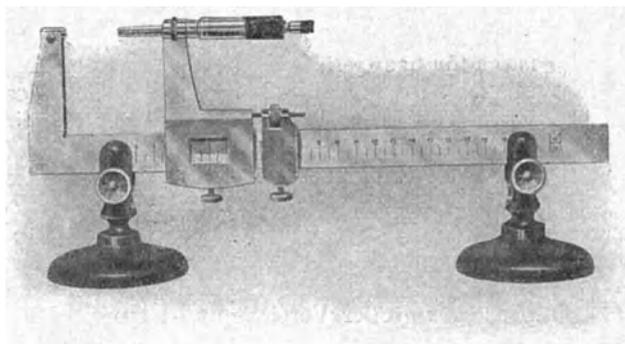


Fig. 85. Mikrometerschublehre. Hommelwerke, Mannheim.



Fig. 86. Mikrometerstichmaß für Höhenmessung eingerichtet, von Brown u. Sharpe. Schuchardt u. Schütte, Berlin.

Abweichung betragen können und wahrscheinlich weniger. Stellt man dagegen die beiden seitlichen Arme immer nach einem Parallelendmaß ein und mißt davon ausgehend, den zu messenden Gegenstand nur mehr mit der Mikrometerschraube allein, so ist die Genauigkeit der Messung auf  $\frac{1}{100}$  mm sicher gewährleistet, und, da man an der Mikrometerschraube noch 0,005 schätzen kann, auch diese Einheit als einigermassen verlässlich anzusehen.

**Verbindung von Mikrometer mit anderen Meßwerkzeugen.** Es werden im Handel eine ganze Reihe Schublehren, Mikrometer und Tiefenmaße aus den Bestandteilen der einzelnen Instrumente aufgebaut. Man findet Schublehren, bei denen die Feineinstellung am verschiebbaren Meßbacken nicht durch einen Nonius, sondern durch ein Mikrometer erhalten wird, andererseits Mikrometer, bei denen der Bügel nicht fest ist, sondern durch eine Schiene oder Führung ersetzt ist, auf der der einstellbare Bügel mit der Mikrometerschraube eingestellt werden kann. Johansson baut in letzter Zeit eine solche Verbindung, bei der Bügel des Mikrometers durch einen Halter nach Fig. 62 gebildet wird und an Stelle des oberen Meßschnabels ein Arm mit einer Mikrometerschraube eingespannt wird.

Die Schwierigkeit dieser Instrumente liegt in der Ausnützung der Genauigkeit des Mikrometers, die bis zu  $\frac{1}{100}$  mm geht, während die Genauigkeit der Schublehre im besten Fall 0,05 mm ist. Hat man also eine Verbindung von Schublehre und Mikrometer, bei der die Einstellung des Schiebers nach den Teilstrichen, Fig. 85, erfolgen soll, so muß man, um wirklich die Genauigkeit des Mikrometers auf die ganze Messung zu übertragen, die Einstellung des Schiebers nach einem Parallelendmaß vornehmen, wie Johansson es tut. Ähnliches gilt

für das Mikrometerstichmaß, Fig. 86, das in Verbindung mit einem geeigneten Fuß zur Höhenmessung verwendet werden kann. An Stelle der Strichteilung sind hier an der Stange Nuten eingedreht, in die ein Federschnapper im Mikrometerteil einspringt, so daß die Einstellung von 10 zu 10 mm selbsttätig geschieht. Die Genauigkeit der ganzen Messung ist von der Genauigkeit der Abstände der eingedrehten Rillen und dem Fehlen des toten Ganges in dem Federschnapper abhängig.

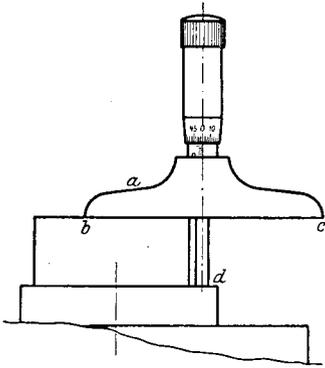


Fig. 87. Schwierigkeit beim Messen mit dem Mikrometer-Tiefenmaß.

Im Gegensatz hierzu liegt die Schwierigkeit, die Genauigkeit des Mikrometers auszunützen, beim Mikrometertiefenmaß, Fig. 87, in der Handhabung. Infolge der großen Übersetzung zwischen Mikrometerspindel und dem angreifenden Finger ist es für das Gefühl sehr schwierig, den Augenblick zu bestimmen, wo die in der Tiefe des zu messenden Loches aufsitzende Mikrometerspindel den Querbalken des Tiefenmaßes von der Auflagefläche abhebt; besonders unangenehm fühlbar macht sich dieser Umstand bei einer Messung nach Fig. 87, wenn man einen Absatz mit dem nur auf einer Seite aufliegenden Tiefenmaß messen will.

Um tatsächlich hierbei wirklich die Genauigkeit des Mikrometertiefenmaßes auf 0,01 mm auszunützen, bedarf es sehr großer Vorsicht und Übung. Die das Tiefenmaß bei a niederhaltende Hand kann den notwendigen Druck nur schwer aufbringen, um ein Kippen des Querbalkens um den Punkt b infolge der großen Übersetzung an der Mikrometerspindel bei d zu verhindern. Bedeutend leichter

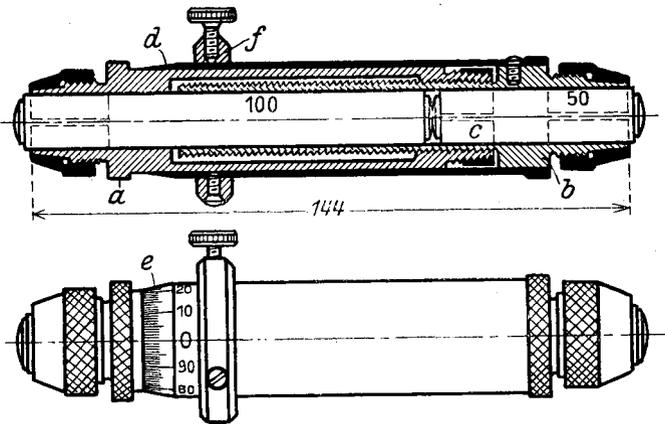


Fig. 88—89. Verstellbares Mikrometerstichmaß. Hommelwerke, Mannheim.

ist die Messung, daher auch sicherer, wenn der Querbalken bei b und c aufliegt, also die Tiefe eines Loches gemessen werden soll.

Grundsätzlich davon verschieden sind die Mikrometerendmaße nach Fig. 88 und 89, die unter allen Bedingungen die Genauigkeit der Mikrometerschraube voll ausnützen, dagegen die bedeutend höhere Genauigkeit der Kugelendmaße nur bei einer Einstellung, in der beide Endmaße einander berühren, gewährleisten können. Der Apparat besteht aus zwei Klemmröhren a und b, in denen durch eine Überwurfmutter die Kugelendmaße geklemmt werden, so daß bei auf

Null stehender Mikrometerschraube die beiden inneren Kugelflächen der Endmaße einander berühren. Die Klemmröhre des einen Endmaßes ist außen mit einem Mikrometergewinde *c* versehen und schraubt sich aus dem Muttergewinde der Röhre *a* wie eine gewöhnliche Mikrometerschraube heraus, so daß die beiden

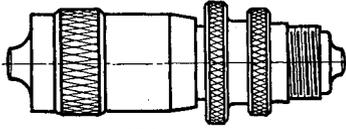


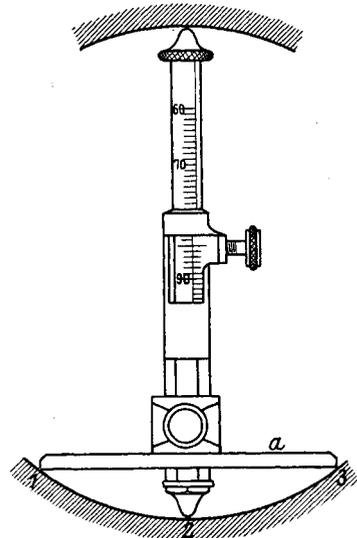
Fig. 90. Mikrometerstichmaß.



Fig. 91. Verlängerungsstück dazu; Carl Zeiß, Jena.

kugeligen Enden der Endmaße statt  $100 + 50$  mm jetzt  $150$  mm  $+$  der Ablesung an der Mikrometerschraube angeben. Die Ablesung erfolgt wieder an der Außenröhre *d* und der Teilung *e*. Ein Klemmring *f* erlaubt jedes eingestellte Maß festzuhalten.

Eine wesentliche Verbesserung gegenüber den bisherigen Bauarten stellen die Kombinationsstichmaße der Firma Carl Zeiß, Jena <sup>1)</sup> dar. Sie bestehen (Fig. 90) aus einem Mikrometerstichmaß, an das eine oder mehrere Hülsen angeschraubt werden können, die die betreffenden Zusatzstichmaße, Fig. 91, enthalten. Diese Zusatzstichmaße sind in den Hülsen verdeckt gelagert, so daß sie außer Gebrauch nicht beschädigt werden können. Sie werden beim Zusammenschrauben mit dem Mikrometerstichmaß oder einem anderen Zusatzstichmaß unter Federdruck aus der Hülse herausgeschoben, so daß die kugeligen Endflächen stets mit gleichem Druck zur Berührung gebracht werden. Es lassen sich infolge dieser Verbindung Stichmaße bis zu 900 mm Länge zusammensetzen, bei denen die

Fig. 92. Kombinationstichmaßhalter.  
Ludw. Loewe u. Co., Berlin.Fig. 93. Stichmaß mit Querlineal.  
Sautter u. Meßner, Aschaffenburg.

volle Genauigkeit der Mikrometerschraube gewahrt bleibt, ohne daß Berührungsfehler an der Stoßstelle zweier Stichmaße eintreten.

Die vollkommenste Art der Stichmaße bezüglich Genauigkeit und Kombinationsmöglichkeit stellen die Kombinationstichmaßhalter, Fig. 92, von Ludw. Loewe u. Co. dar. Während die normalen Kugelendmaße eine Linienberührung bei Ausmessung von Bohrungen des betreffenden Durchmessers haben, da die Krümmung des kugeligen Endes denselben Radius wie die zu messende Bohrung besitzt, fällt dieser Vorteil des festen Stichmaßes hier fort. Es bleibt in beiden Fällen eine Punktberührung übrig. In diesen Werkzeugen werden zwei zylindrische Kugelendmaße in einem Halter durch zwischengeschaltete

<sup>1)</sup> Schuchardt u. Schütte, Berlin.

Parallelendmaße zu einem zusammengesetzten Stichmaß vereinigt, bei dem sich alle verlangten Maße auf 0,01 mm genau zusammenstellen lassen. Besonders für den Revisionsraum und die Kontrolle in der Werkzeugmacherei werden diese Halter mit Erfolg zur Verwendung kommen.

Für das Messen großer Durchmesser eignet sich ein Innenstichmaß nach Fig. 93, bei dem durch das Querlineal *a* die Stellung der messenden Kugelflächen genau auf dem Durchmesser gewährleistet wird. Man schiebt das Querlineal so weit herunter bis die Enden im Zylinderumfang aufsitzen, wodurch infolge der Dreipunktberührung 1-2-3 die Stichmaßachse genau durch den Mittelpunkt geht. Diese Einrichtung läßt sich natürlich auch mit der in Fig. 88 vereinigen, so daß man statt der Noniusgenauigkeit von  $\frac{1}{10}$  mm die der Mikrometerschraube von  $\frac{1}{100}$  mm anwenden kann.

## D. Fühlhebel.

Allgemeine Verwendung. Bei sehr vielen Messungen kommt es nicht darauf an, das wirkliche Maß des Gegenstandes zu bestimmen, sondern nur die Abweichung von einem Sollmaß, die Abweichung von einer geraden Linie, von einer Ebene oder einem rundlaufenden Zylinder u. dgl. Dann lassen sich die Fühlhebel besser als irgendeine andere Meßeinrichtung verwenden, da sie schneller eingestellt werden können, selbsttätig anzeigen und eine Genauigkeit von  $\frac{1}{100}$  mm mit Leichtigkeit erreichen, sowie die größere oder kleinere Annäherung an das gesuchte Maß noch innerhalb der angegebenen Genauigkeit ersehen lassen.

Bedingung für eine wirklich genaue Arbeit mit jedem Fühlhebel ist aber vor allem ein Instrument, das vollständig ohne toten Gang arbeitet, daß der Fühlhebel bei der Untersuchung unverrückbar fest aufgeklemmt wird und das zu messende Arbeitsstück so glatt wie möglich ist, da grobe Riefen und Erhöhungen leicht ein Überschlagen und eine Beschädigung des Hebelwerkes mit sich bringen können. Überhaupt ist es eine Gewissenssache, sich beim Arbeiten mit dem Fühlhebel vor dem endgültigen Anstellen erst zu überzeugen, ob die Abweichungen des zu messenden Stückes nicht die Reichweite des Fühlhebels, die meistens nach jeder Seite nicht viel mehr als 0,2—0,25 mm beträgt, übersteigen. Bei den in Uhrenform ausgeführten Fühlhebeln, Fig. 107, ist die Reichweite des Instrumentes dagegen bis zu 10 mm. Von Zeit zu Zeit empfiehlt es sich, die Anzeige des Fühlhebels mit einer Mikrometerschraube, die man unter dem Fühlstift festklemmt, über den ganzen Ausschlag zu kontrollieren. Hat man genau geschabte und geschliffene, ebene Befestigungsflächen zur Verfügung, so kann man auch durch Unterlegen von Parallelendmaßen die Genauigkeit der Anzeige auf die zwischen den Teilstrichen der Skala mögliche Schätzung ausdehnen, durch welche Kontrolle man die Ablesung an seinem Fühlhebel vielleicht auf  $\frac{1}{4}$  der Teilstrichentfernung, also 0,0025 mm noch genau und richtig findet. Doch muß man, wie gesagt, bei Verwendung derartig feiner Ablesungen stets den Fühlhebel mit Endmaßen, die eine noch viel höhere Genauigkeit haben, geprüft haben, und die Abweichungen an den verschiedenen Skalenteilen kennen.

**Universalinstrumente.** Die einfachste Form der Fühlhebel, die sich im eigenen Betrieb leicht herstellen läßt, ist ein ein- oder zweiarmer Hebel, bei dem das kürzere Ende als Fühlstift, das längere als Zeiger ausgebildet ist. In solchen Fällen erhält man eine Übersetzung von  $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ , die für die gewöhnlichen Werkstättenarbeiten bereits ausreicht. Eine käufliche Form eines solchen Fühlhebels zeigt Fig. 94. Die Firma gibt wohl an, daß die kleinste Ablesung  $\frac{1}{50}$  mm betrage, doch würde ich, besonders für selbstgebaute Werkzeuge dieser Art, nicht empfehlen, unter  $\frac{1}{20}$  mm zu gehen, da sonst der unvermeidliche tote

Gang in der Hebellagerung größere Fehler in die Ablese bringen würde. Das Instrument besteht aus dem zweiarmigen Hebel *a*, an dessen kürzerem Ende drei in gleicher Entfernung vom Drehpunkte befindliche Fühlspitzen vorgesehen sind, damit der Hebel in beliebiger Lage verwendet werden kann. Das Ende des langen Hebelarmes ist als Zeiger ausgebildet, der auf einer Kreisbogenskala spielt. Eine Blattfeder *b* drückt die Fühlspitze immer gegen das Werkstück. An einem Zapfen *c* ist der Fühlhebel als Ganzes drehbar und gleichzeitig auf der Säule *d* in der Höhe verschiebbar. Die Fußplatte *e* dient auch zur Einspannung in den Support einer Drehbank oder die Messerklappe einer Hobelmaschine usw. für Einstellen eines Werkstückes oder Untersuchung der Maschine.

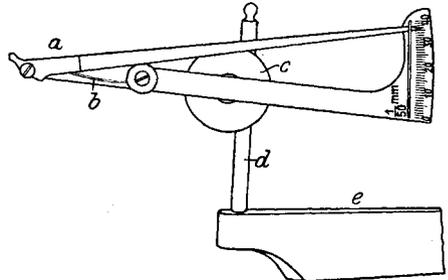


Fig. 94. Einfacher Fühlhebel.  
Schuchardt u. Schütte, Berlin.  
Sautter u. Meßner, Aschaffenburg.

In Betrieben, in denen die Verwendung der Fühlhebel bei der Fabrikation oder Revision Regel ist, werden derartige Instrumente in möglichst einfacher, aber für die verschiedenen Zwecke brauchbarsten Form selbst hergestellt. Eine solche Form zeigt Fig. 95 und 96, bei der die Grundformen — Fühlstift *F*, Führung *K* und *H*, Zeiger *J* und Zeigerlagerung *M*, *L* — für alle Sonderformen gleichbleiben, während die Fassung dem Sonderzweck entsprechend ausgeführt wird. In diesem Fall dient der Fühlhebel zur Kontrolle des äußeren Absatzes eines Motorzylinders und ist deshalb auf einer Grundplatte *O* befestigt, die in den Zylinder paßt. Zwei Stifte *P* in dieser Platte sichern die genaue Mittellage des Hebelwerkes und werden deshalb nach dem Einsetzen in die Grundplatte zwischen Spitzen in den Körnern der Grundplatte nach dem Zylindermantel abgedreht. Die Konstruktion des Fühlhebels erklärt sich selbst, es sei nur auf die nachstellbaren gehärteten Stahlbüchsen *E* und Führungen aufmerksam gemacht. Die Sicherung des Zeigers gegen zufällige Beschädigungen durch den Drahtbügel *N*, Fig. 96, ist natürlich nur ein Notbehelf.

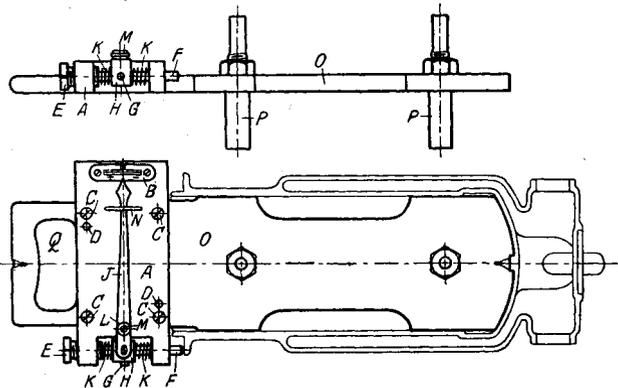


Fig. 95 u. 96. Fühlhebellehre für Motorzylinder.

Ein Fühlhebel mit mehrfacher Hebelübersetzung für Außen- und Innenmessung an großen Durchmesser ist in Fig. 97 abgebildet. Das Hebelwerk ist in einem geschlossenen Kasten untergebracht, so daß nur der Fühlstift *a* und die Skala *k* mit dem Ende des Zeigers *h* frei liegen.

Infolgedessen ist eine Beschädigung des empfindlichen Hebelwerkes nur durch grobe Nachlässigkeit möglich. Man stellt beim Arbeiten den Fühlhebel so an das Arbeitsstück an, daß der Zeiger auf 0, also in der Mitte der Skala steht, wodurch man nach beiden Seiten den halben Ausschlag zur Verfügung hat und bei dem Ablesen keine Ablese- und Rechenfehler machen kann. Der

auswechselbare Fühlstift (B, C, D und E, je nach der Form und Lage der zu prüfenden Fläche), kann auf der Mittellinie I oder II in den ersten Hebel b eingeschraubt werden; in Stellung I erhält man eine doppelt so große Übersetzung und genauere Anzeige.

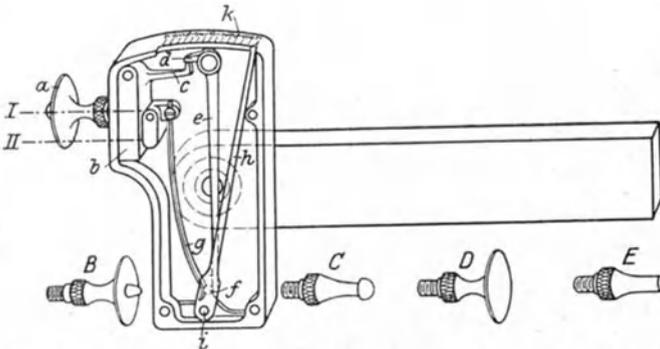


Fig. 97. Fühlhebel mit zwei Meßbereichen und auswechselbaren Fühlspitzen.

Dieser Hebel b ist ein um einen Zapfen drehbarer Winkelhebel, dessen zweites Ende c gegen den kurzen Arm d eines zweiten Winkelhebels e drückt, wodurch dessen langer Arm an den Bolzen f des Zeigers h drückt und den um die Achse i drehbaren Zeiger auf der Skala k bewegt. Eine Feder g drückt das ganze Hebelwerk

dauernd in die tiefste Stellung, also die äußerste Ablesung rechts. Dadurch wird bei einer Einstellung auf die Nullage in der Mitte das Hebelsystem von vornherein unter Spannung gebracht und der tote Gang fast ausgeschieden. Anwendungsmöglichkeiten für dieses Instrument zeigen Fig. 97, z. B. bei der Drehbankprüfung mittels eines gehärteten und geschliffenen Prüfdornes, Fig. 98, oder beim Ausrichten verschiedener Teile auf der Drehbank, Hobelmaschine usw., Fig. 99—101<sup>1)</sup>.

**Minimeter.** Eine sehr weitgehende Durchbildung der Fühlhebelmessung, die einen Ersatz der Messung mit festen Toleranzlehren und Mikrometern beabsichtigt, haben die Fortunawerke-Cannstatt in den Hirth-Minimetern durchgeführt. Diese sind sehr sorgfältig ausgearbeitete und bis auf  $1/1000$  mm messende Fühlhebel, die in

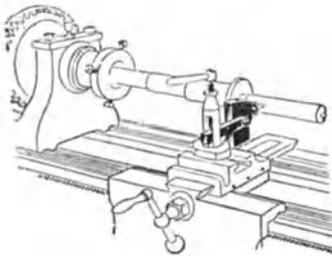


Fig. 98. Drehbankuntersuchung mittels Prüfdornes und Fühlhebels.



Fig. 99. Ausrichten eines Zahnrades mittels Fühlhebels auf der Planscheibe.



Fig. 100. Einstellen des Konuslineales nach einem Musterstück mittels Fühlhebels.

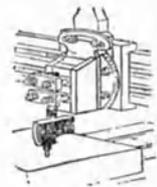


Fig. 101. Ausrichten d. Werkstückes auf der Tischhobelmaschine.

eine verhältnismäßig dünne Röhre eingeschlossen sind und sich leicht an den verschiedensten Arbeitsstellen verwenden lassen. Infolge dieser gedungenen Bauart, Fig. 102/103, kann das Minimeter in fast alle Werkzeugformen eingebaut werden. Die konstruktiv einwandfreie Durchbildung des Hebelwerkes der Minimeter ohne Zapfen und gebohrte Lagerungen, dafür aber mit reinen Schneiden und Pfannen sichert die Einhaltung der Genauigkeit und eine größere Empfindlichkeit. Der Fühlstift, dessen Ende eine Stahlkugel ist, gleitet in einer langen

<sup>1)</sup> Nach dem Katalog von Sautter u. Meßner, Aschaffenburg.

Zylinderführung<sup>1)</sup> und trägt an dem oberen Ende eine Schneide, auf der der einzige Hebel, der hier als Pfannenhebel ausgebildet ist und gleichzeitig den so leicht wie möglich gemachten Zeiger trägt, ruht. Das Übersetzungsverhältnis ist demnach bestimmt durch das Verhältnis der Länge zwischen den Pfannen des Hebels und der Länge des Zeigers von der Verbindungslinie durch die Pfannenscheitel. Gehalten wird der Hebel durch die Rhombenschneide, die sich gegen die feste, einstellbare Pfanne legt, und die Spiralfeder links, die den Hebel dauernd in seine äußerste linke Stellung zieht.

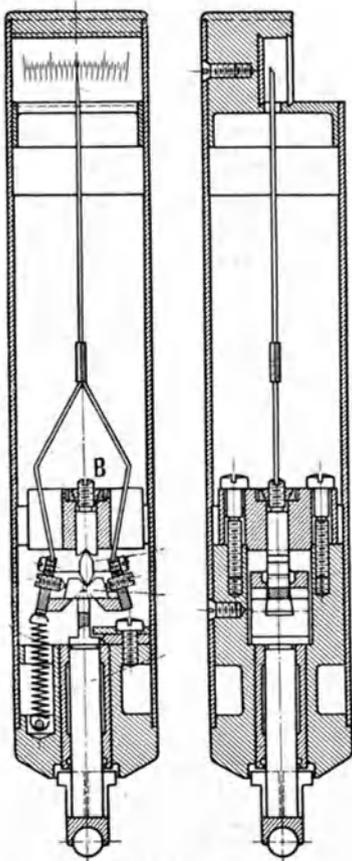


Fig. 102/103. Minimeter. Fortuna-  
werke, Cannstatt-Stuttgart.

Eine Verwendung an Stelle eines Satzes Toleranzrachenlehren zeigt Fig. 104. Der zu messende Zylinder liegt auf zwei festen, geschliffenen, genau parallel ausgerichteten kleinen Stahlzylindern, die dem Durchmesser entsprechend gegeneinander verstellt werden können, während das Minimeter nach einem Normkaliber auf Null eingestellt wird. Legt man dann den zu messenden Körper

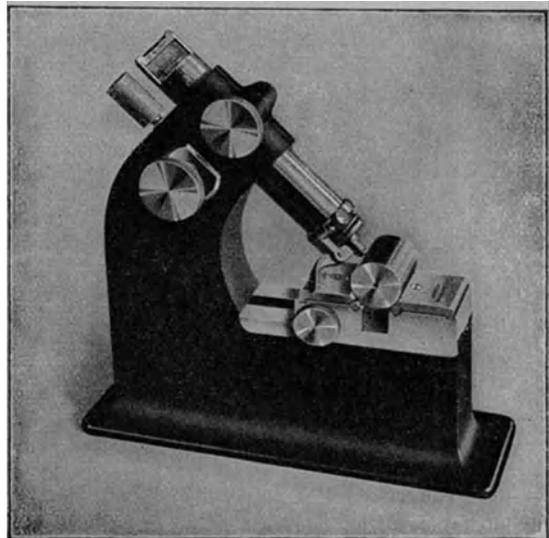


Fig. 104. Durchmessermessung mittels Minimeter.  
Fortunawerke Cannstatt-Stuttgart.

ein, so zeigt das Minimeter die Abweichung von dem Normalmaß bzw. die verlangte Toleranz. Ähnliche Einrichtungen sind als Ersatz für Toleranzkaliber usw. gebaut worden. In noch viel weiteren Grenzen läßt sich aber das Minimeter für Sondermeßwerkzeuge in der Revision verwenden<sup>2)</sup>. Eine solche Sondereinrichtung, die den genauen Zahneingriff prüft, zeigt Fig. 105. Der weitaus größte Vorteil dieser Fühlhebelbauart, die deshalb auch in neuerer Zeit von verschiedenen inländischen und ausländischen Firmen kopiert wird, liegt in ihrer Verwendung an den verschiedenen Revisionsapparaten, die von den Fortunawerken entwickelt worden sind. Solche Apparate sind<sup>3)</sup> mit bis zu vier

<sup>1)</sup> In der neuen Ausführung wird die Reibung der Zylinderführung durch eine doppelte Blattfederführung ausgeschaltet. <sup>2)</sup> Werkstattstechnik 1909 S. 337, 1913 S. 149.

<sup>3)</sup> Werkstattstechnik 1919 Sonderheft II S. 11.

Minimetern gebaut worden, um gleichzeitig vier Maße oder zwei Flächen an einem Stück kontrollieren zu können. Gleichzeitig erlaubt die Einstellbarkeit dieser Ständer auch durch Verwendung anderer Normalstücke ähnliche Werkstücke mittels zugepaßter Unterlagen zu kontrollieren. Die noch weitergehende Entwicklung zeigt Fig. 106<sup>1)</sup>, bei der nur ein Meßgerät verwendet wird, aber durch Verwendung eines je nach den Erfordernissen geformten Revolvertisches und dem Werkstück zugepaßter Auflagen sechs oder mehr Messungen an einem Stück gemacht werden können. Der besondere Vorteil liegt in der noch weitergehenden Anpassungsfähigkeit dieser Bauart an verschiedene Werkstücke und in der größeren Ersparnis an Anschaffungskosten der Revisionsmeßinstrumente.

Das abgebildete Revisionsgerät dient zur Außenmessung kleiner Teile; das Minimeter steht oberhalb eines sechs-

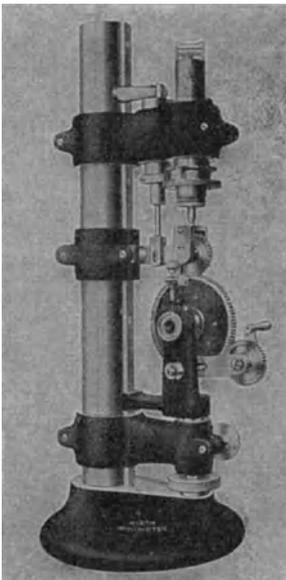


Fig. 105. Prüfung des Eingriffes zweier Stirnräder mittels Minimeter. Fortunawerke, Stuttgart-Cannstatt.

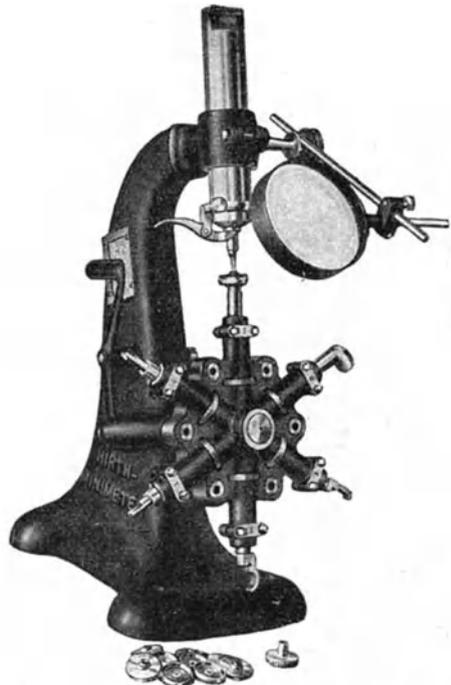


Fig. 106. Fortuna-Werke, Cannstatt.

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

Solche Einrichtungen lohnen sich aber erst, wenn es sich um eine Massenfertigung handelt, während für allgemeine Werkstättenarbeit ein allgemeiner

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1922, H. 20, S. 615.

Fühlhebel bzw. die in Fig. 102/103 dargestellte Normalform des Minimeters, für die man jedesmal die Einspannung baut, vorzuziehen ist.

**Meßuhren.** Die bisher dargestellten Fühlhebel beruhen auf Hebelübersetzungen, während an mancher Stelle sich nach Uhrenart gebaute Fühlhebel eingebürgert haben. Sie haben den Vorteil einer großen Reichweite, bis zu 10 mm, und lassen, da man die Teilung auf dem Zifferblatt weit auseinander ziehen kann, auch noch 0,005 mm ablesen. Doch ist eine Anwendung dieser Genauigkeit im Maschinenbau mit diesen Instrumenten nur unter besonderen Vorsichtsmaßregeln möglich, da die Instrumente gegen unvorsichtige Behandlung sehr empfindlich sind, ganz abgesehen von der natürlichen Abnutzung der feinen Zapfen und Lager. Sie zeigen häufig falsch an, dadurch, daß der feine Triebling, der die Übertragung der Bewegung von der Zahnstange des Fühlstiftes auf die Räderübersetzung bewirkt, bei unvorsichtiger Behandlung außer Eingriff kommt oder sich klemmt. Während sie für Laboratoriumsarbeit in kundigen Händen sehr handliche Instrumente von hoher Empfindlichkeit sind, müssen sie bei Verwendung in der Werkstätte dauernd kontrolliert werden, da auch das Verstauben und Eindringen von Öl oder Spritzwasser nicht verhindert werden kann und ernstliche Störungen in ihrem Arbeiten bewirkt.

Ihre Konstruktion ist aus der Zeichnung Fig. 107 ersichtlich: Der ganze Apparat ist in ein Gehäuse eingeschlossen, das nur den Fühlstift nach oben und unten austreten läßt. Dieser Stift ist innerhalb des Gehäuses als Zahnstange ausgebildet und steht in Eingriff mit den Zahnradern, deren letztes den Zeiger trägt. Auf diese Weise ist wohl eine große Übersetzung von dem Fühlstift bis zum Zeiger möglich, doch darf man nicht vergessen, daß mit jedem Zahneingriff auch der tote Gang vergrößert wird, dessen Einwirkung durch Gegenfedern nur bei besonders sorgfältiger Handhabung und durch

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

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

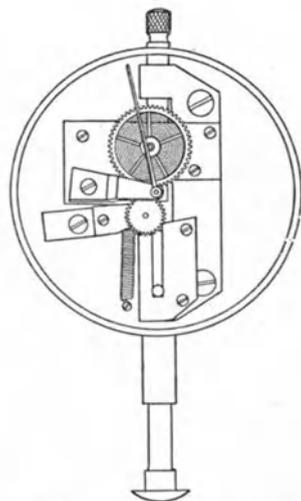


Fig. 107. Fühlhebel in Uhrenform. Schuchardt u. Schütte, Berlin.

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

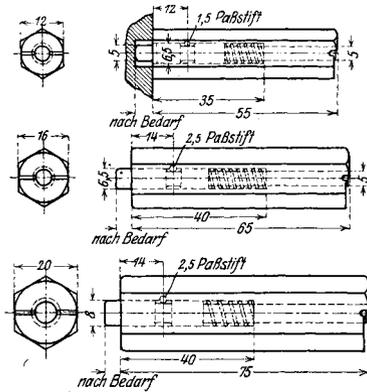


Fig. 108. Anschlaglehren.

Spiel. Die Bohrung wie der Fühlstift sind in der Mitte abgesetzt, um dort einen Aufnahmeraum für eine Feder aus Klaviersaitendraht von 0,5 mm  $\varnothing$  zu geben, die den Anschlagstift gegen das Werkstück drückt. Der Fühlstift

Eine derartige Form ist in Fig. 108<sup>1)</sup> gezeichnet, sie stellt die einfachste Form zum Lehren einer Vertiefung in einer ebenen Fläche dar. Die Lehre besteht aus einem sechskantigen Handgriff aus kalt gewalztem Maschinstahl, der im Einsatz gekohlt, ausgeglüht und gehärtet wird. Die Bohrung wird nach dem Ausbohren ausgeschliffen, aber nicht poliert. Die Enden des Handgriffes oder in anderer Ausführung des Führungskörpers werden parallel und eben geschliffen, die obere jedoch in zwei Stufen, die durch die Mittellinie der Bohrung getrennt sind und deren Höhenunterschied der verlangten Toleranz entspricht. Der Fühlstift wird aus Bohrerstahl gemacht, gehärtet und geschliffen, aber nicht poliert und hat in der Bohrung 0,025–0,05 mm

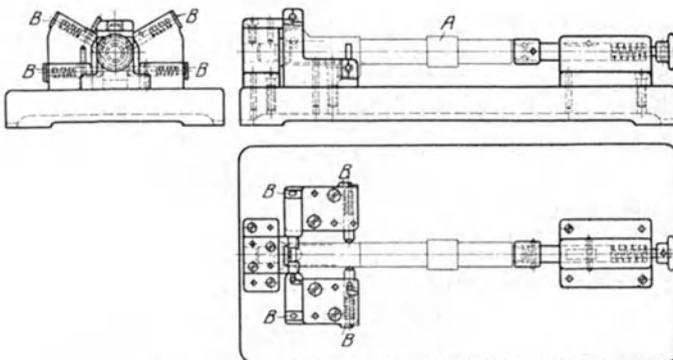


Fig. 109. Vierfache Revisionseinrichtung mit Fühlstiften.

erhält etwas tiefer eine zweite Ausdrehung für einen durch den Führungskörper getriebenen Paßstift, der eine Wegbegrenzung von ungefähr 1 mm erzeugt und verhindert, daß der Fühlstift aus dem Führungskörper herausfällt. Diese einfache Form ist dort zu verwenden, wo ein einfaches Aufsetzen der Lehre von Hand aus genügt. Nun kann man auch mehrere solcher Anschlaglehren an verschiedenen Stellen des Prüflings gleichzeitig zur Arbeit bringen, muß aber dann sowohl die einzelnen Führungskörper gegeneinander unverrückbar fest anordnen, als auch den Prüfling zwischen festen Anschlägen einlegen, die wiederum eine genau festgelegte Lage gegenüber den Enden der Fühlstifte haben müssen. Ein Beispiel für eine derartige vierfache Revisionseinrichtung ist in Fig. 109<sup>1)</sup> in Zeichnung und in Fig. 110<sup>1)</sup> in Photographie wiedergegeben.

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1923.

Auf einer Grundplatte ist rechts eine federnde Pinole zur Aufnahme des einen Endes des Werkstückes aufgeschraubt, die linke Aufnahme trägt gleichzeitig neben der zweiten Aufnahme die vier Fühlstifte B in zwei gesonderten Führungskörpern. Wie aus der Zeichnung ersichtlich sind alle Teile neben der Schraubbefestigung durch Paßstifte gesichert. Zwei der Fühlstifte liegen in einer wagerechten, die beiden andern in geneigten Ebenen. Um das Werkstück ohne Abnutzung der Fühlstifte einlegen zu können, sind die vorderen Fühlstifte zurückzuziehen und in dieser Stellung durch einen Bajonettverschluß festzuhalten. Naturgemäß ist die Lage der Fühlstifte und die Form der Führungen und Aufnahmekörper ganz von der Gestalt des Prüflings abhängig und kann diesem immer angepaßt werden.

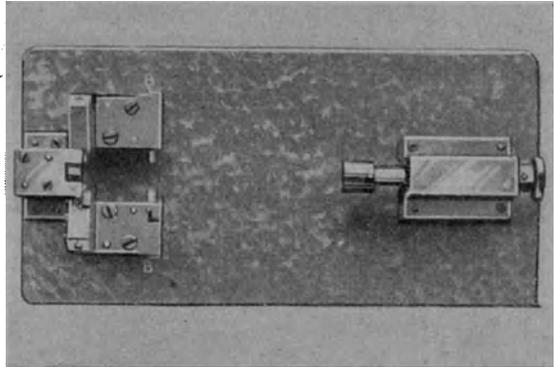


Fig. 110. Vierfache Revisionseinrichtung mit Fühlstiften.

### III. Besondere Meßverfahren.

#### A. Konusmessung.

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

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

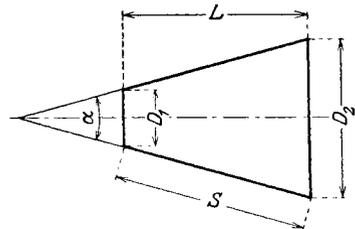


Fig. 111. Konusmessung.

Hat man einen Konus bestimmter Abmessungen, Fig. 111, für dessen Steigung keine feste Lehre vorhanden ist, herzustellen, so muß man zuerst den Support-

aufsatz oder die Konisch-Leitvorrichtung nach der Gradzahl einstellen; ist dies aus einem Grund nicht möglich, so muß man von einem zylindrischen Dorn aus, den man zwischen die Spitzen nimmt, Fig. 112, mit Hilfe von Mikrometerstichmaßen den Supportaufsatz auf die verlangte Schräge einstellen. Es sei z. B., Fig. 111, ein Kegel mit den Abmessungen  $D_1$  und  $D_2$  und einer Länge  $L$

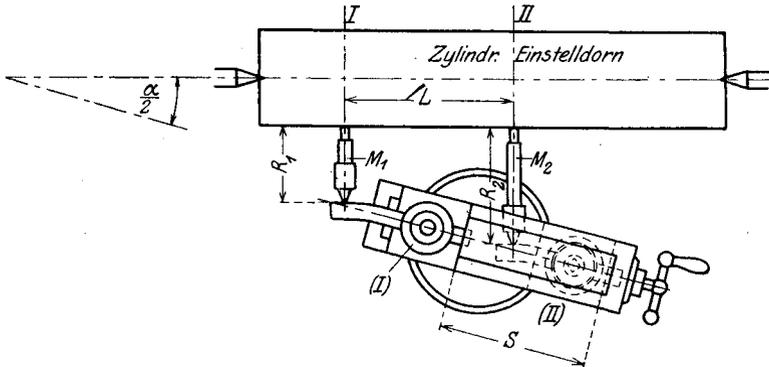


Fig. 112. Einstellen des Supportaufsatzes nach dem zylindrischen Dorn.

herzustellen. Hat man die Gradeinteilung zur Verfügung, so kann man sich mit den Tabellen den Winkel rechnen

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2L}; \quad \sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2S}$$

Ist keine Gradeinteilung vorhanden, so stellt man, Fig. 112, ein Stichmaß  $M_1$  auf eine beliebige Länge  $R_1$  ein und ein zweites  $M_2$  auf eine Länge  $R_2 = R_1 + \frac{1}{2}$

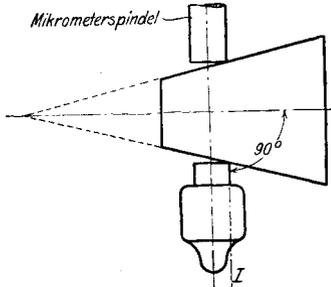


Fig. 113. Stellung des Mikrometers bei der Konusmessung.

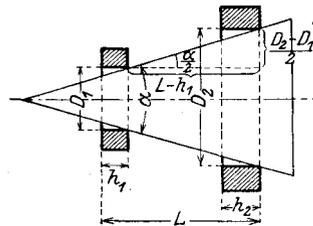


Fig. 114. Konusmessung mit Kaliberringen.

$(D_2 - D_1)$ . Der Supportaufsatz wird dann so lange gedreht, bis die beiden Stichmaße in den Ebenen I und II, wie die Zeichnung zeigt, passen. Bei der folgenden Messung der Durchmesser  $D_2$  bzw.  $D_1$  an dem gedrehten Stück muß man, Fig. 113, sorgfältig aufpassen, daß die Kanten der Schublehre oder des Mikrometers genau in der Ebene I bzw. II, senkrecht zur Achse des Konus liegen.

Das Nachmessen eines fertigen Kegels ist nicht so einfach, wenn es wirklich genau gemacht werden soll. Ein käufliches Meßwerkzeug hierfür gab es bis vor kurzem überhaupt nicht und das jetzt von den Fortunawerken, Stuttgart-Cannstatt gebaute Fühlhebelinstrument ist nur für den Revisionsraum geeignet und bedarf der Parallelendmaße zur Arbeit.

Wo scharfkantige Kaliberringe ohne Abrundungen vorhanden sind, führt die in Fig. 114 wiedergegebene Meßmethode am schnellsten zum Ziel; hierbei ist

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2(L - h_1)}$$

worin  $D_2$  und  $D_1$  die Bohrungen der Kaliberringe,  $L$  die Länge über beide Ringe in Stellung, Fig. 114, gemessen, und  $h_1$  die Dicke des kleineren Ringes ist.

Hat der zu messende Kegel noch die Körner, so ist die senkrechte Einstellung der Kegelachse zu den Lehringen leicht, andernfalls ist die Arbeit ziemlich mühselig. Mit Rücksicht darauf und aus der Überlegung, daß ein einfacher Apparat nicht vorhanden ist, dürfte es sich vielleicht empfehlen, einen Satz Lehringe mit scharfen Kanten herzustellen, die gleichen Außendurchmesser besitzen. Dann lassen sich zwei der Ringe in ein V-Stück einlegen, wodurch ihre Bohrungen selbsttätig gleichachsig werden und die gleichachsige Lagerung des zu messenden Kegels keine Schwierigkeiten mehr macht.

Bei Verwendung von Lehringen mit Abrundung zeigt dagegen eine Nachrechnung, daß bereits eine Verschiedenheit der Abrundungen der beiden Ringe um 0,5 mm bei  $\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{1}{10}$  einen merkbaren Fehler von 1' 50" erzeugt.

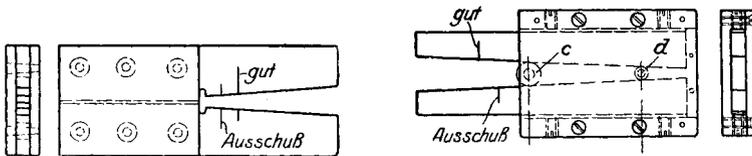


Fig. 115/116. Konuslehre, feste und nachstellbare Ausführung.

Der umgekehrte Weg ist leichter und genauer. Man stellt Flachlehren aus zwei geschliffenen Schienen her, stellt sie nach der Lichtspaltmethode auf den Normallehrdorn ein und kontrolliert dann damit den zu untersuchenden Kegel.

Zwei solche Arbeitslehren, die sowohl gestatten, einen gewünschten Konus nach Maß einzustellen, wie auch nach einem Muster und beide mit der gleichen Genauigkeit, sind in Fig. 115/116 wiedergegeben. Man arbeitet mit ihnen nach der Lichtspaltmethode, d. h. man führt den zu messenden Konus zwischen die beiden Meßschienen ein und visiert längs der Kanten gegen das Licht. Wenn Steigung und Durchmesser übereinstimmen, und die Erzeugenden gerade Linien sind, darf zwischen den Meßschienen und dem Kegel kein Licht durchtreten. Man kann auf diese Weise Abweichungen von wenigen Tausendstel Millimeter feststellen und mittelbar deren Größe bestimmen. Die Lehre besteht aus einem Rahmen, der entweder einen Fuß zum Aufsetzen auf die Werkbank besitzt oder auf einer auf der Werkbank stehenden Säule befestigt werden kann, so daß der zu messende Konus in Augenhöhe gebracht wird; auf dem Rahmen werden die beiden Meßschienen mittels Schlitz- und Klemmschrauben in der gewünschten Neigung befestigt. Die Schienen sind aus Stahl, gehärtet und genau gradlinig und eben geschliffen und werden nach Fig. 117 mittels Lehrdornen in der richtigen Neigung eingestellt. Lehrdorne oder entsprechende Meßscheiben werden mittels Mikrometer oder zwischengelegter Endmaße in die richtige Entfernung voneinander gesetzt und festgezogen, worauf die Meßschienen danach eingestellt werden. Wenn man an den Schienen zwei Linien („gut“ und „Ausschuß“) in entsprechender Entfernung einritz, so kann man diese Vorrichtung als Konus-toleranzlehre verwenden. Man hat dabei den Vorteil, ohne Veränderung des Instrumentes verschiedene Toleranzen gleichzeitig anbringen zu können. Anderer-

seits kann man auch eine absolute Messung der Konen damit verbinden, wenn man eine entsprechende Teilung an den Meßkanten selbst aufträgt, Fig. 118.

Beispiel: Angenommen, man hätte eine solche feste, unverstellbare Lehre gebaut und es sei:

- der Durchmesser am dünnen Ende . . . . .  $D_1$
- der Durchmesser am dicken Ende . . . . .  $D_2$
- die Länge zwischen beiden . . . . .  $L$
- der Kegelwinkel . . . . .  $\alpha$

dann besteht die Beziehung:

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{2L}$$

1. Man soll die zweite Marke anreißern, wenn die erste Marke angerissen ist, die einem bestimmten Durchmesser entspricht; es sei  $D_1 = 50$  mm,  $\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = 1/20$ ; wo liegt dann die Marke, die dem Durchmesser  $D_2 = 70$  mm entspricht? Dann ist

$$1/20 = \frac{70 - 50}{2L} \dots L = 200 \text{ mm.}$$

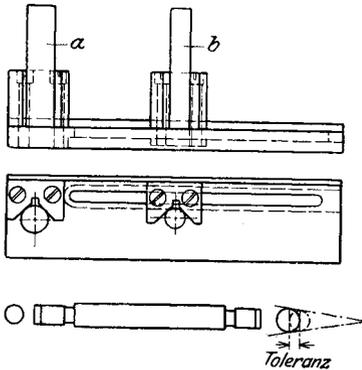


Fig. 117. Einstellen der Konuslehre nach Fig. 115/116.

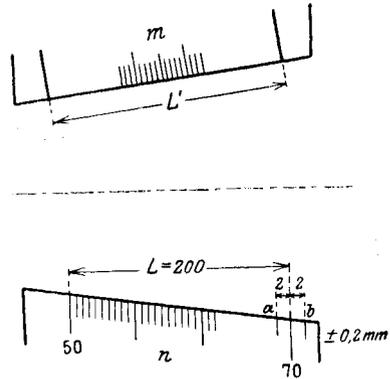


Fig. 118. Konusmessung mit Teilung an den Meßkanten.

In der Achsenrichtung gemessen muß die Marke für den Durchmesser von 70 mm in einer Entfernung von 200 mm angerissen werden. Die Teilstriche werden für die verlangten Messungen am besten senkrecht zur Mittelachse der Lehre gezogen, wie die Figur bei n es zeigt.

2. Hat man aber eine verstellbare derartige Lehre gebaut, so bleibt nichts anderes übrig, als die Teilstriche senkrecht zur Meßkante, wie bei m angedeutet, zu ziehen und die ungenauere Ablesung in Kauf zu nehmen, damit die Teilung auch bei den verschiedenen Neigungen der Meßschiene verwendbar ist.

Dann ist die Länge zwischen denselben zwei Durchmessern

$$L' = \frac{L}{\cos \frac{1}{2} \alpha} = L \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

mit den oben angenommenen Zahlenwerten

$$L' = 200 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{1}{400}\right)} = 10 \sqrt{401} = 200,25.$$

3. Man soll neben der zweiten Marke zwei Striche anbringen, die einer Durchmessertoleranz von  $\pm 0,2$  mm entsprechen.

Dann ist  $D_2 = 70$  mm,  $D_1 = 70 - 0,2$  mm,  $\text{tg } \frac{1}{2} \alpha = \frac{1}{20}$ ;  $L$  ist gesucht, wenn die Teilstriche nach  $n$  gezogen sind

$$\frac{1}{20} = \frac{70 - 70 + 0,2}{2L} \qquad 2L \cdot 0,05 = 0,2 \qquad L = 2 \text{ mm}$$

d. h. die Toleranzstriche  $a$  und  $b$  sind 2 mm rechts und links von der Marke zu ziehen.

Eine Arbeitsweise, die unter allen Umständen mit der gewünschten Genauigkeit die Kegelmessung gestattet, ist die Verwendung des Sinuslineales und der Parallelendmaße unter Ausnützung der Lichtspaltmethode.

Man stellt ein gerades, geschliffenes Lineal bekannter Länge durch Unterbauen an beiden Enden mit Endmaßen so ein, daß der untergeschobene Kegel kein Licht durchläßt. Dann ist, Fig. 119,

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

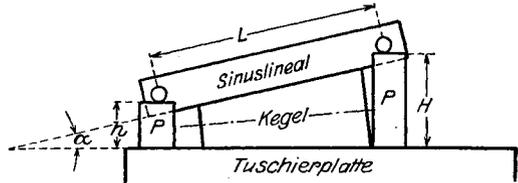


Fig. 119. Kegelmessung mit dem Sinuslineal.

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

Praktisch wird dies — nach Ausführung von Johansson, Eskilstuna — nach Fig. 120 ausgeführt: das Lineal erhält an den Enden rechtwinklige Aussparungen, genau gleicher Abmessungen, deren obere Flächen genau parallel

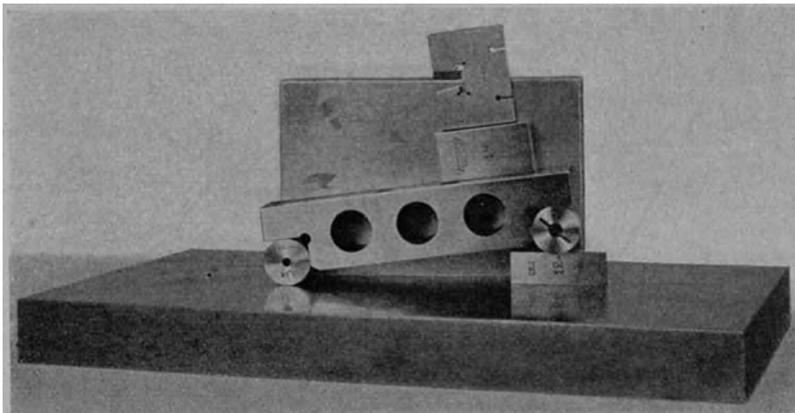


Fig. 120. Einstellung eines Sinuslineales mit Endmaßen. C. E. Johansson, Eskilstuna.

zur Unterfläche liegen müssen und deren Entfernung voneinander genau bekannt oder kontrolliert sein muß. In diese Aussparungen werden genau kreisrunde Dorne, genau gleichen Durchmessers eingelegt, so daß deren Mittelpunkte die Enden des Sinuslineales darstellen. Man kann nun beide Dorne entsprechend unterbauen, oder, falls ausführbar, der größeren Arbeitssicherheit wegen, das tiefere Ende unmittelbar auf der Richtplatte aufliegen lassen, so daß  $h = 0$  wird.

Eine andere sehr verbreitete Form des Sinuslineales nach Fig. 119 hat die Dorne fest in der Mittelachse des Lineales eingetrieben, so daß man Ungenauigkeiten in der Herstellung durch genaues Nachmessen der Dorndurchmesser und

der Länge über die Dorne leicht verbessern kann. Bedingung bleibt jedoch, daß beide Dorne genau den gleichen Durchmesser haben. Das Schleifen der Kanten, parallel zu der Dornmittellinie muß nach Einsetzen der Dorne erfolgen. Vorteilhaft macht man die Länge  $L$  des Sinuslineales ein rundes Maß 100 bzw. 200 mm usw.

Eine ganz verschiedene Arbeit ist aber die Kontrolle eines Voll- oder Hohlkegel auf Passen nach der entsprechenden Hohl- oder Vollkegellehre nach Fig. 121. Diese Lehren sind für Morse oder metrische Kegel käuflich zu haben. Hier werden nicht mehr die einzelnen Abmessungen des zu kontrollierenden Konus gesucht, sondern nur seine Übereinstimmung mit der Lehre festgestellt und gegebenenfalls die Abweichungen beseitigt, ohne daß man eines der Maße zahlenmäßig kennen will. Der Vorgang dabei ist der gleiche wie beim Einpassen zweier Stücke ineinander; man reinigt zuerst beide Teile, den zu prüfenden Konus und die notwendige Lehre sorgfältig und zieht dann in der Richtung der Erzeugenden an zwei um  $90^\circ$  verschiedenen Stellen zwei feine Bleistiftlinien. Dann führt man den Vollkonus mit leichtem Druck ohne Drehung in den Hohlkonus ein und verdreht ihn unter leichtem Druck um ein kleines Stück darin. Zieht man dann den Vollkonus, ohne zu drehen oder auf den Strichen zu schleifen, aus dem

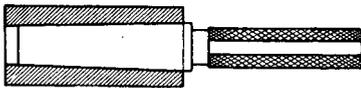


Fig. 121. Kegeldorn und -Lehre.

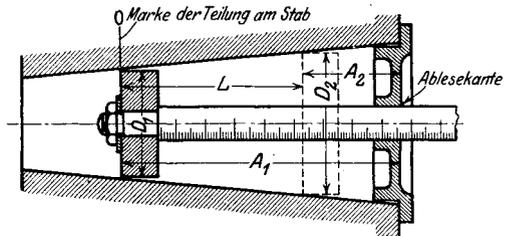


Fig. 122. Meßvorrichtung für lange Hohlkegel.

Hohlkonus heraus, so zeigt sich die Bleistiftlinie an allen Stellen, auf denen der Konus getragen hat, verwischt, während die Stellen, an denen kein Auflegen stattgefunden hat, deutlich die scharfe Linie zeigen.

Bei langen steilen Hohlkegeln versagen aber die oben genannten Meßmethoden oder geben zu ungenaue Werte; man muß dann zu umständlicheren Meßweisen greifen. Die Formel, nach der die Abmessungen des Konus errechnet werden, ist dieselbe wie oben. Man verwendet dann die käuflichen Meßscheiben, falls man sie in genügend feinen Abstufungen erhält, andernfalls muß man sich solche in der notwendigen Genauigkeit selbst herstellen. Diese Meßscheiben werden auf eine Stange, Fig. 122, aufgeschoben<sup>1)</sup>, dort befestigt, worauf die Meßscheibe auf der Stange genau senkrecht zur Konusachse in den Hohlkonus eingeführt wird, bis sie anstößt. An einem Anschlag liest man dann die Teilung an der Stange ab, oder, falls die Stange keine Teilung besitzt, wie es bei gelegentlichen Messungen vorkommen wird, macht an der Stelle einen Riß. Dann wird diese Meßscheibe durch eine andere ersetzt und diese Arbeit wiederholt. Bei derartigen Messungen muß man äußerste Vorsicht beim Einführen der Meßscheiben walten lassen, sonst klemmt sich besonders bei steilen Konen die scharfe Kante der Meßscheibe unweigerlich und läßt scharfe Marken in dem ausgebohrten Hohlkonus zurück. Aus diesem Grunde ist auch in Fig. 122 der Führungsring für die genaue axiale Einführung der Meßstange vorgesehen. Im Gegensatz zu anderen Messungen muß man bei einer Messung nach Fig. 114 und 122 darauf achten, daß die verwendeten Kaliberringe keine abgerundeten Kanten besitzen, bzw. die Abrundung von der Länge  $L$  abziehen, da sonst die abgemessene Länge  $L$  nicht mit den beobachteten Durchmessern übereinstimmt.

<sup>1)</sup> Nach Kurrein, Werkstattstechnik 1919. Sonderh. II. S. 23.

Die Entfernung beider Risse oder die Differenz beider Ablesungen ergibt die Länge  $L$  in obiger Formel, während die beiden Durchmesser  $D_1$  und  $D_2$  den beiden Durchmessern der verwendeten Meßscheiben entsprechen. Dies ist der Vorgang, wenn man sicher ist, daß der ausgebohrte Hohlkonus auch wirklich ein Kreiskegel mit geradliniger Erzeugenden ist. Muß man aber den Hohlkonus über die ganze Länge, nicht nur auf seine Abmessungen, sondern auch auf die Richtigkeit des Konus untersuchen, so ist der graphische Vorgang mittels der Meßscheiben am sichersten. Man nimmt dann z. B. um 0,5 mm abgestufte Meßscheiben und führt diese der Reihe nach in den Hohlkonus ein, wobei man jedesmal die Ablesung an der Teilung der Stange notiert, gemessen von dem Anschläge am Ende des Konus.

Diese Werte trägt man nun in einem Schaubild, Fig. 123, ein, das die gemessenen Längen als Abszissen und die dazu gehörigen Meßscheibendurchmesser als Ordinaten zeigt. Je kleiner man den Unterschied der aufeinanderfolgenden Meßscheiben hält, um so enger liegen die gemessenen Punkte nebeneinander, um so deutlicher wird das Fehlerbild des gemessenen Hohlkonus.

### B. Winkelmessung.

Während die Winkelmessung in der Feinmechanik und im Apparatebau sehr sorgfältig durchgeführt ist, wird im Maschinenbau das Messen von Winkeln nach Graden am liebsten umgangen, da man sich bei der Konstruktion meistens auf ganz bestimmte Winkelgrößen beschränkt. Selbst dort, wo man besondere Winkelgrößen zu verwenden hat, hilft der Konstrukteur der Werkstatt, indem er die Winkel als Tangenten durch zwei zueinander rechtwinklig stehende Maße statt in Graden angibt; vgl. Fig. 120.

Dagegen ist wieder im Maschinenbau die Herstellung der vorkommenden festen Winkelgrößen, wie  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  und gegebenenfalls noch  $120^\circ$  mit jeder möglichen Sorgfalt durchgeführt worden; vielleicht haben sich gerade diese

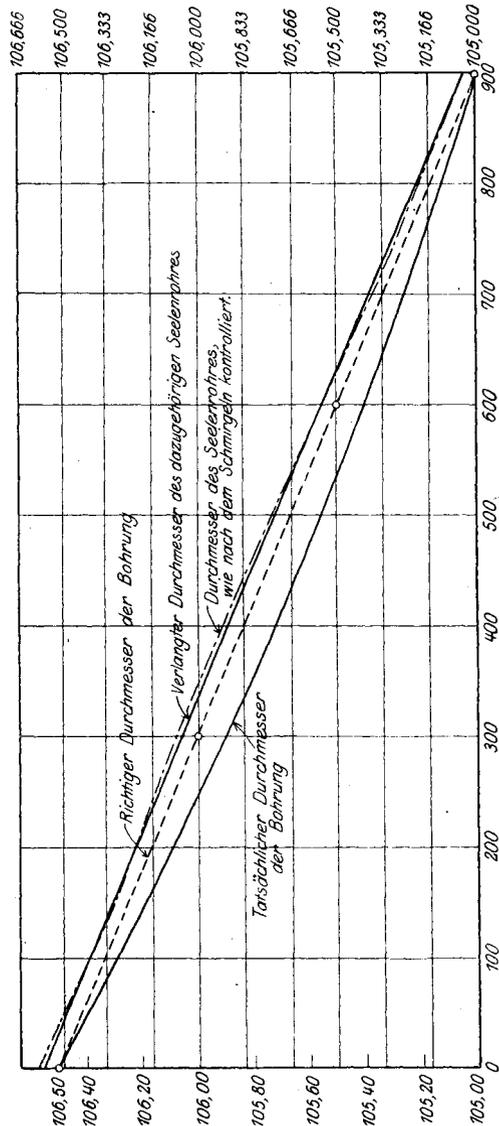


Fig. 123. Zeichnerische Messung und Kontrolle eines langen Hohlkegels.

Winkel deshalb im Maschinenbau so eingeführt, weil sie ohne besondere feine Teilmaschinen wirklich genau hergestellt werden können.

**Mechanische Winkelmessung.** Der wichtigste Winkel des Maschinenbaues, der  $90^\circ$ -Winkel, kann für die gewöhnlichen Arbeiten genau genug mit den erstklassigen Maschinen heutiger Fabrikation als Massenfabrikat hergestellt werden, während die genauen Winkel durch Schaben und Zusammenpassen des Winkels

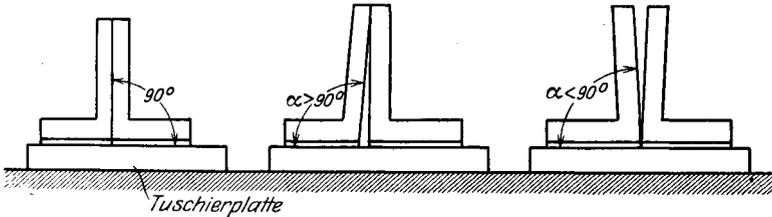


Fig. 124—126. Prüfung eines rechten Winkels auf der Tuschierplatte.

an einen Normalwinkel richtig gestellt werden. Stellt man zwei Winkel aneinander auf eine Tuschierplatte, so werden zwei richtige rechte Winkel zwischen den stehenden Kanten kein Licht durchlassen, Fig. 124—126, während jede Abweichung von  $90^\circ$  nach oben oder unten sich als konvergierender Lichtspalt zeigt. Es kann wohl auch der Zufall eintreten, daß zwei falsche Winkel keinen Lichtspalt durchlassen, wenn sie sich gerade zu  $180^\circ$  ergänzen, d. h. der eine soviel größer als  $90^\circ$  ist, wie der andere kleiner. Da aber in der Werkstatt die beiden einander prüfenden Winkel gleich groß  $= 90^\circ$  sind, so kann dieselbe Prüfmethode, die oben für die Kontrolle zweier Winkel angegeben wurde, auch für die Prüfung des Winkels eines Werkstückes mit einem Prüfwinkel verwendet werden.

Eine brauchbare Kontrollvorrichtung für den rechten Winkel besteht in einer eben gehobelten bzw. für genaue Messungen geschabten Grundplatte, auf

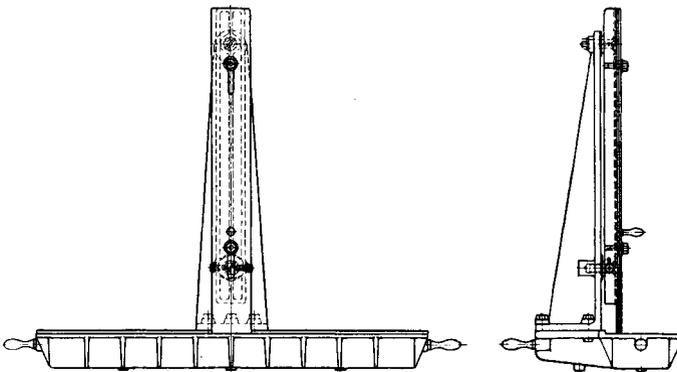


Fig. 127—128. Winkelprüfvorrichtung.

der ein senkrechter Ständer befestigt ist, der an einer Achse drehbar eine genau parallel geschabte Schiene hängend trägt. Diese Schiene kann mittels zweier Stellschrauben in der senkrechten Lage ein- und festgestellt werden, Fig. 127/128. Man kann dann den zu prüfenden rechten Winkel an beide Seiten der Hängeschiene anlegen bzw., wenn man bei nicht genau eingestellter Hängeschiene den Winkel kontrollieren will, erst durch Anlegen an beide Seiten der Hängeschiene, diese möglichst genau auf  $90^\circ$  bringen und dann durch Halbieren des

beobachteten Fehlers die endgültige Einstellung der Hängeschiene bzw. Bestimmung des Fehlers des Winkels vornehmen.

Eine im Handel erhältliche Ausführung eines derartigen Apparates des Titaniawerkes G. m. b. H., Berlin zeigt Fig. 129. Hier ist an Stelle des Lineales

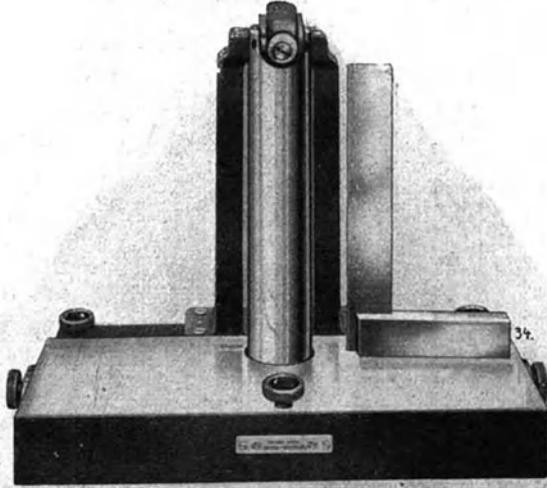


Fig. 129. Winkelprüfapparat. Titaniawerk-Berlin.

ein geschliffener zylindrischer Dorn aufgehängt und ragt durch eine Bohrung der Richtplatte, die die Grundplatte des ganzen Apparates bildet, mit Spiel hindurch. Mittels in der Grundplatte gelagerter Einstellschrauben kann der Einstellhorn genau ausgerichtet werden. Unleugbar hat der zylindrische Dorn

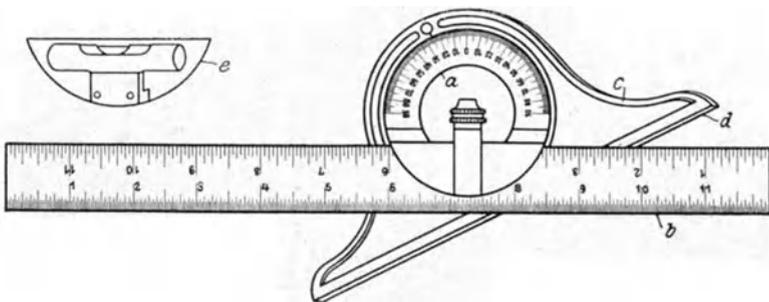


Fig. 130—31. Winkelmeßapparat von L. S. Starret Co. (Schuchardt u. Schütte, Berlin).

gegenüber dem ebenen Lineal die Vorteile der einfacheren Werkstättenherstellung und gibt gleichzeitig die Möglichkeit, eine Kontrolle seiner Aufstellung an zwei um  $90^\circ$  versetzten Durchmessern vorzunehmen, ebenso den zu prüfenden Winkel beliebig gegen das Licht einzustellen.

Schwieriger sind die Kontrollen der anderen festen Winkel, die von  $90^\circ$  abweichen; sie lassen sich im gewöhnlichen Betriebe mit den normalen vorhandenen Meßinstrumenten nicht durchführen. Solche Prüfungen kann man nur durch

geprüfte Kontrollwinkel als Gegenlehren, die sich auf  $360^{\circ}$  oder  $180^{\circ}$  ergänzen, ausführen; man kann solche Gegenlehren sich auch durch sorgfältiges Teilen eines genau aufgetragenen rechten Winkels usw. herstellen und die Teile aufeinanderschaben, doch ist in diesem Falle die Erwerbung einer fertigen Gegenlehre das beste.

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

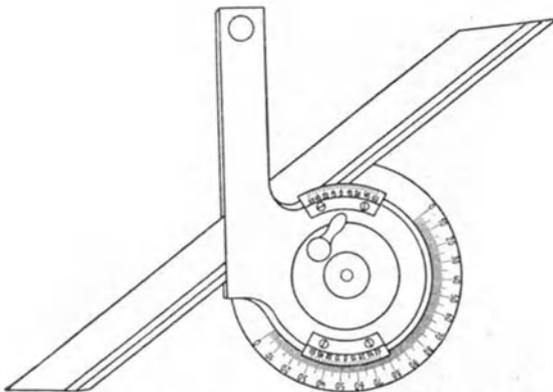


Fig. 132. Donauwerk Ernst Krause u. Co., Wien.

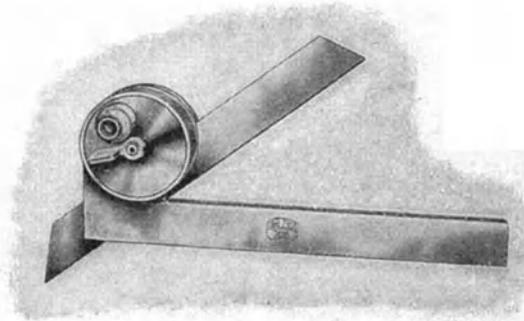


Fig. 133. Optischer Winkelmeßapparat.  
Carl Zeiß, Jena (Schuchardt u. Schütte, Berlin).

risenen Winkels, ist mit diesem Instrument ohne weiteres nicht möglich. Die Teilung geht auf halbe Grade, wobei man noch viertel Grade schätzen kann. Die Libelle *e* kann an Stelle des Lineales *b* eingesetzt werden, wodurch man die Neigung feststehender Flächen gegen die Wagerechte messen kann.

Ein bedeutend genauer gearbeitetes Instrument, das auch zum Auflegen auf eine ebene Fläche geeignet ist, zeigt Fig. 132. Die Schiene ist wiederum verschiebbar und kann an jeder Stelle festgeklemmt werden. Die Ablesung erfolgt an dem Nonius, der am zweiten Schenkel fest ist und Ablesungen bis auf  $\frac{1}{12}^{\circ} = 5'$  gestattet (vgl. S. 36).

Einen Winkelmesser mit optischer Ablesung zeigt Fig. 133; hierbei erfolgt die Ablesung an einer im Gehäuse eingeschlossenen Skalenteilung, die mit Hilfe einer Lupe abgelesen wird und Unterteilungen bis zu  $\frac{1}{5}^{\circ}$  abzulesen gestattet.

Wo tatsächlich Winkel nach Graden eingestellt oder gemessen werden müssen, sind es nur untergeordnete Zwecke, bei denen keine größere Genauigkeit verlangt wird. Dementsprechend sind auch die käuflichen Winkelmeßapparate verhältnismäßig einfach und können bezüglich der Anzeigegenauigkeit keinen Vergleich mit den bisher besprochenen Meßwerkzeugen aushalten.

Einer der gebräuchlichsten Winkelmeßapparate ist Fig. 130—131, der aus einer drehbaren Gradteilung *a* mit darauf verschiebbarem Lineal *b* besteht. Dieses bildet den einen Schenkel des zu messenden Winkels, während die Fassung für die Gradteilung *c* mit einer geraden Kante *d*, die den zweiten Schenkel bildet, versehen ist. Diese Vorrichtung ist hauptsächlich zum Anlegen an Werkstücke bestimmt, weshalb die beiden Winkelschenkel in zwei verschiedenen Ebenen liegen. Das Messen eines Winkels, der in einer Ebene liegt, also z. B. eines auf einer Platte ange-

Der Winkelmesser zeichnet sich durch äußere große Einfachheit aus und besitzt alle Vorteile der großen Genauigkeit optischer Instrumente.

Die Kontrolle ausgeführter Winkel an kleinen Gegenständen und die Einstellung von Lehren und Werkzeugstücken auf bestimmte Winkel läßt sich, wie auf S. 59 für die Kegelmessung besprochen worden ist, mit dem Sinuslineal in jeder gewünschten Genauigkeit durchführen. Entsprechend der größeren Genauigkeit beanspruchen derartige Messungen auch mehr Zeit.

**Winkelmessung mittels Libellen.** Die bisher besprochenen Apparate erlaubten die Winkel zwischen den beiden Winkelschenkelflächen unmittelbar zu messen. In vielen Fällen des Maschinenbaues ist dies nicht möglich oder nicht mit der nötigen Genauigkeit auszuführen. Man hilft sich dann, indem man die Neigung einer jeden der beiden Winkelschenkelflächen gegen die Wagerechte feststellt und den verlangten Winkel als Differenz beider Winkel bestimmt. Für diese Zwecke werden die Libellen in den verschiedensten Formen als „Wasserwagen“ verwendet. Die Wasserwagen beruhen darauf, daß eine in einer Flüssigkeit eingeschlossene Luftblase *a*, Fig. 134/135, immer die höchste Stelle einnimmt. Man gibt dem Glaskörper, der die Flüssigkeit aufnimmt, die Form eines Umdrehungskörpers mit einem Kreisbogen *ca c'* von ziemlich großem Radius als Erzeugenden. Infolge der Schwerkraft nimmt die Luftblase die höchste Stelle im Glaskörper ein, die durch die wagerechte Tangente *T* an den Kreisbogen *ca c'* gegeben ist.

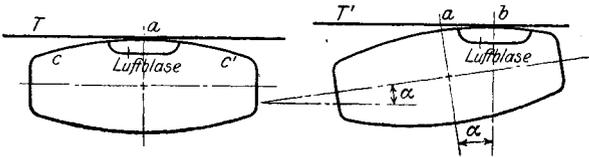


Fig. 134/35. Schema der Libelle.



Fig. 136. Form der Libelle.

Neigt man nun die Libelle, wie der Glaskörper genannt wird, um einen Winkel  $\alpha$ , Fig. 135, so wandert die Luftblase ebenfalls um den Winkel  $\alpha$ , bis die Tangente *T'* an den Kreisbogen (die Erzeugende des Glaskörpers) im Mittelpunkte *b* der Luftblase wieder wagerecht liegt. In der wirklichen Ausführungsform erscheint die ungefaßte Libelle nach Fig. 136 dem freien Auge als zylindrischer Glaskörper, der an beiden Enden zugeschmolzen ist. Auf der einen oder auf beiden Seiten ist eine Teilung eingeztzt, deren Striche 2 mm oder eine Pariser Linie voneinander entfernt sind. Diese Libellen werden dann in eine geeignete Fassung derart eingebaut, daß die Luftblase genau in der Mitte der Teilung steht, wenn die Wasserwage auf eine genau wagerechte Unterlage aufgesetzt wird.

Aus dem oben angeführten Gesetz, Fig. 135, daß der Neigungswinkel der Wasserwage gleich dem Zentriwinkel zwischen den Radien im Mittelpunkt der Luftblase in der wagerechten und der geneigten Stellung ist, ergibt sich die Angabe:

$$1 \text{ Teilstrich (Ausschlag)} = m \text{ Sekunden (Neigung)},$$

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

Die Empfindlichkeit der Libelle ist der Neigungswinkel, bei dem die Libelle einen Teilstrich Ausschlag gibt; sie ist um so größer, je größer der Krümmungsradius der Erzeugenden *ca c'* des Libellenkörpers ist.

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

Bei einer unrichtigen Wasserwage ergeben sich zwei verschiedene Ablesungen; bei einer derartigen Wasserwage, Fig. 137, sei die Mitte der Teilung ( $M_t$ ) und die Stellung der Blasenmitte bei wagerechter Unterlage ( $M_{bl}$ ) um  $p$  Teilstriche nach rechts (Fig. 137 oben). Setze ich diese Wasserwage auf eine geneigte Fläche, so schlage die Blase um  $n$  Teilstriche nach rechts oben aus. Die Teilung, die man abliest, beginnt aber bei  $M_t$ , so daß die Ablesung ist:

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

Schlägt man um 180° herum (Fig. 137 unten), so erhält man die Ablesung:

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

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

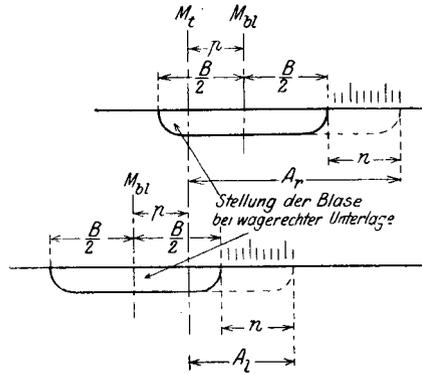


Fig. 137. Ablesung einer unrichtigen Wasserwage.

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

Aus dieser Überlegung folgt die Praxis, bei jeder Wasserwagenmessung in beiden um 180° versetzten Stellungen eine Ablesung zu machen und deren Mittelwert zu nehmen. Besonders notwendig ist dieser Vorgang bei den Wasserwagen des Maschinenbaues, die gewöhnlich fest in die Fassung eingesetzte Libellen tragen, so daß die Korrektur einer falsch anzeigenden Wasserwage nicht so einfach vorzunehmen ist, wie bei den Mechaniker- oder geodätischen Wasserwagen, bei denen Justierschraubchen, sowohl für die senkrechte wie für die seitliche Korrektur vorgesehen sind.

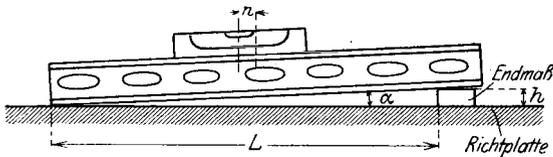


Fig. 138. Bestimmung des Teilstrichwertes einer Wasserwage.

auf eine eben gehobelte Richtplatte, Fig. 138, ein Tuschierlineal und bestimmt den Ausschlag der Blase in beiden Stellungen der Wasserwage. Dann unterbaut man in einer Entfernung  $L$  von dem einen Ende des Tuschierlineales mit Endmaßen von bekannter Höhe  $h$  und beobachtet wieder den Ausschlag  $n$  bei dem Neigungswinkel  $\alpha$  gegen die erste Ablesung in beiden Stellungen der Wasserwage. Ist der Wert eines Teilstriches in Bogensekunden  $T$ , so ergibt sich die Beziehung:

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

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

Schließlich ist es auch nötig, bei einer unbekanntem Wasserwage den Wert eines Teilstriches in Bogensekunden zu bestimmen. Zu dem Zweck legt man

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

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

Umgerechnet erhält man

$$\lg \operatorname{tg} \alpha = \lg 0,0001 = 6,00000 - 10$$

$$\alpha = 21''$$

**Genauigkeit und Empfindlichkeit von Wasserwagen.**

Genauigkeitsgrad	Abweichung in mm	Winkel bei 1 Teilstrich Ausschlag
I	auf	
II	1000 mm	{ 0,01 2"
	Länge	{ 0,02 4"
III		{ 0,01 7"
IV		{ 0,02 14"
V		{ 0,03 21"
VI	auf	{ 0,05 35"
VII	300 mm	{ 0,07 48"
VIII	Länge	{ 0,10 1' 9"
IX		{ 0,15 1' 43"
X		{ 0,25 2' 52"

Umgekehrt kann man bei bekannter Größe von T aus dem Ausschlag der Wasserwage die Neigung der untersuchten Fläche gegen die Wagerechte be-

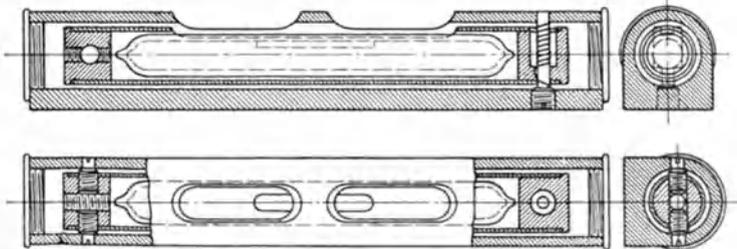


Fig. 139. Präzisionswasserwage von Reichel.

stimmen und bei Wiederholung dieser Arbeit für zwei gegeneinander geneigte Ebenen deren eingeschlossenen Winkel.

Andererseits, besonders für nicht so genaue Arbeiten, werden Teilkreise mit Gradeinteilung und drehbarer Libelle, vgl. Fig. 130/31, zur Bestimmung von Neigungswinkeln usw. verwendet.

Übliche Formen von Wasserwagen sind im folgenden abgebildet, und zwar Fig. 139, eine sehr genaue Wasserwage, Bauart Reichel. Diese Wage hat eine Empfindlichkeit von 5 Bogensekunden auf den Teilstrich und zählt damit bereits in die feinsten Instrumente, die für den gewöhnlichen Maschinenbau schon zu fein sind. Die Libelle ist vollständig in ihr Gehäuse eingeschlossen, so daß sie wie eine normale Werkstättenwasserwage verwendet werden kann. Jedoch sind die bei geodätischen Wasserwagen üblichen Justierschraubchen vorgesehen, so daß eine berufene Hand auch eine Justierung vornehmen kann.

Für normale Werkstättenzwecke kann, je nach der verlangten Empfindlichkeit, 0,2—0,6 mm für 1 m, also Genauigkeitsgrad VI/VII bzw. IX/X angenommen werden, was in Bogensekunden ausgedrückt rund 40'' bis 2' entspricht. Die Angaben für die in Fig. 139 abgebildete Wasserwage zurückgerechnet ergeben:

$$\log \operatorname{tg} 5'' = 5,38454 - 10$$

$$\operatorname{tg} 5'' = 0,00002424 \approx \frac{24}{1\,000\,000} \approx \frac{1}{40\,000}$$

dies wäre 0,024 mm auf 1 m Empfindlichkeit.

Mit derartigen Angaben läßt sich leicht die Neigung einer Grundfläche oder die verlangte Korrektur derselben feststellen; man hätte z. B. eine Maschinen-

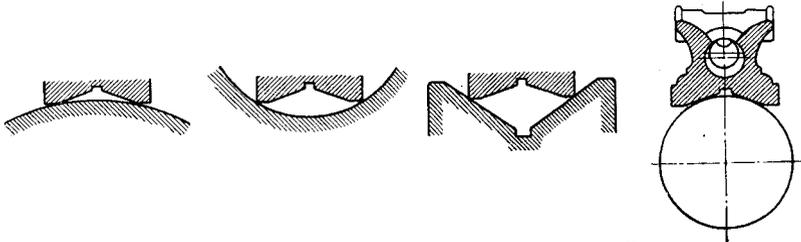


Fig. 140 Verwendung der prismatischen Sohle der Wasserwage.

grundplatte von 1500 mm Länge auszurichten. Eine vorhandene Wasserwage von 0,5 mm auf 1 m zeige aufgesetzt einen Ausschlag von 5 Teilstrichen an. Dann hat man an dem niederen Ende um

$$1,5 \cdot 0,5 \cdot 5 = 3,75 \text{ mm}$$

zu unterbauen, um die Maschine in die Wage zu stellen.

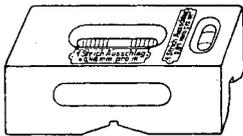


Fig. 141. Kurbelzapfenwasserwage.

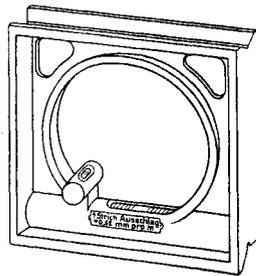


Fig. 142. Winkelwasserwage.

C. Stiefelmeyer, Eßlingen.

Die Wasserwagen des Maschinenbaues haben entweder eine ebene Sohle, wie Fig. 139, oder nach Fig. 140 eine prismatische Aussparung in der Grundfläche, die beim Aufsetzen der Wasserwage auf Wellen oder unregelmäßig geformte Flächen verwendet wird. Für gewisse

Zwecke werden zwei solcher prismatischer Nuten unter rechtem Winkel in die Grundfläche eingearbeitet; solche Wasserwagen werden als Kurbelzapfenwasserwage bezeichnet, Fig. 141, diese erhalten auch außer der Hauptlibelle eine senkrecht dazu stehende Querlibelle, um die Querachse der Wasserwage auch genau in die Wagerechte einstellen zu können.

Für die Kontrolle senkrechter Flächen verwendet man die Winkelwasserwage, Fig. 142, die meistens auch mit einer kleinen Querlibelle ausgestattet wird. Von den Umlflächen der Fassung sind zwei eben und meistens zwei mit prismatischer Aussparung.

Für genaue Montage- und Revisionsarbeiten werden statt der abgebildeten Winkelwasserwagen genaue Richtwinkel mit einer eingesetzten sehr genauen Wasserwage verwendet; sie haben auch gewöhnlich eine größere Länge als die Winkelwasserwagen.

## C. Gewindemessung.

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

Die technisch verwendeten Gewinde haben als Grundkörper

1. Dreieck: gleichschenkelig, gleichseitig oder rechtwinklig, und zwar mit abgestumpfter oder abgerundeter Spitze.
2. Rechteck oder Quadrat.
3. Trapez.
4. Halbkreis.

Damit ein solches Gewinde auch wirklich paßt, d. h. auf seiner ganzen Fläche trägt, müssen folgende Größen bei Bolzen und Mutter mit den Normalmaßen mit Berücksichtigung der Arbeitstoleranzen übereinstimmen, Fig. 143:

1. Außendurchmesser (Bolzendurchmesser).
2. Innendurchmesser (Kerndurchmesser)
3. Flankenmaß (Flankendurchmesser).
4. Gewindeprofil.
5. Steigung.

Hierbei bedeuten:

- 1 und 2: Außen- bzw. Innendurchmesser ist das äußerste bzw. innerste Maß zwischen dem Gewindeprofil;
- 3: Flankenmaß ist die Entfernung zweier gegenüberliegender Flanken in einer zur Gewindeachse senkrechten Ebene;
- 4: Gewindeprofil ist die schraffierte Fläche innerhalb des Außen- und Innendurchmessers, bestehend aus dem Gewindevinkel und den Abrundungen, und zwar gemessen in einem Achsenschnitt der Schraube, bzw. Mutter;
- 5: Steigung ist die Entfernung zweier gleicher Profilpunkte in aufeinanderfolgenden Gängen.

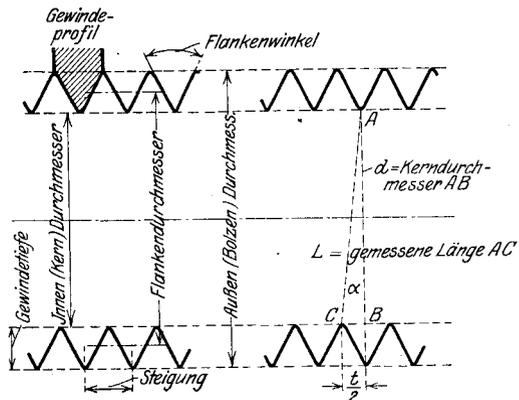


Fig. 143. Bestimmungsgrößen der Gewinde.

bestehend aus dem Gewindevinkel und den Abrundungen, und zwar gemessen in einem Achsenschnitt der Schraube, bzw. Mutter;

- 5: Steigung ist die Entfernung zweier gleicher Profilpunkte in aufeinanderfolgenden Gängen.

Bei der Gewindemessung <sup>1)</sup> muß man unterscheiden, ob es sich um ein Dichtungsgewinde, ein Befestigungsgewinde, ein Bewegungsgewinde oder ein Meßgewinde von gegebenenfalls höchster Genauigkeit handelt. Der letzte Fall kann hier ausscheiden, da im Maschinenbau im allgemeinen keine solchen Gewinde vorkommen. Solche Gewinde wären z. B. die Meßschrauben für die Feinmeßmaschinen, für Komparatoren, für Feinteilmaschinen und dergleichen. Der andere Fall, Meßgewinde normaler Genauigkeit sind die verschiedenen Gewindelehren, Leitspindeln für genaue Werkzeugmaschinen usw.

<sup>1)</sup> Vgl. Richard Weber & Co., Etwas über Gewinde. Eugen Simon, W. T. 1913. Heft 17—19. Gewindemessung. Schlesinger, Mitt. Forsch. Heft Nr. 142. Berichte des NDI. Kurrein, W. T. 1920. S. 540. Göpel, W. T. 1920. S. 559.

Wenn es sich aber um reines Bewegungsgewinde handelt, also nicht wie bei einer Leitspindel einer Drehbank oder ein Bewegungsgewinde, bei dem die Genauigkeit des erzeugten Weges von untergeordneter Bedeutung ist, wie bei gewissen Transportspindeln an Werkzeugmaschinen, so genügt es, die Steigung innerhalb der verlangten Meßgenauigkeit zu halten und nur einen toten Gang zwischen Mutter und Spindel zu vermeiden.

Dichtungsgewinde, bei denen die Dichtung nicht durch das Gewinde, sondern durch Packungen usw. erfolgt, werden nach den normalen Fabrikationstoleranzen für den betreffenden Fall hergestellt.

Handelt es sich um Dichtungsschrauben, so müssen Außen- und Kerndurchmesser auf  $\pm 0,01$  mm genau sein, falls man nicht zu rein mechanischen Hilfsmitteln zur Abdichtung, wie bei den Stehbolzen durch leichtes Balligdrehen des Bolzens, greifen kann. Bei Befestigungsgewinden können die Grenzen bedeutend weiter gezogen werden, da das Gewinde nur in den Flanken tragen muß.

In allen Fällen muß aber das Flankenmaß auf  $- 0,01$  mm für den Bolzen bzw. auf  $+ 0,01$  mm für die Mutter genau sein, wenn man Austauschbarkeit erhalten will.

Diese Angaben gelten aber nicht für die normale handelsübliche Schraubenerstellung, deren Genauigkeit bedeutend geringer sein kann.

Für das Gewindeprofil ist in erster Linie die Größe und Lage des Gewindevinkels maßgebend. Beide müssen so genau als es die verwendeten Meßinstrumente gestatten, mit dem Normalgewinde übereinstimmen, d. h. nicht allein muß der geschnittene Winkel des Profils dieselbe Größe wie der Normalwinkel haben, es muß auch die Mittellinie des Profils genau senkrecht zur Gewindeachse stehen.

Die Abrundungen sind weniger wichtig, insoweit als sie beim Bolzengewinde eine geringere, beim Muttergewinde eine größere Höhe haben können, ohne das Passen des Gewindes und seine Austauschbarkeit zu beeinflussen.

Von besonderer Wichtigkeit ist die richtige Steigung des Gewindes, d. h. die Steigung muß die richtige Größe haben und über die ganze Länge der Schraube oder Mutter gleich sein. Geringe Abweichungen muß man jedoch zulassen, da selbst bei der sorgfältigsten Herstellung die Ungenauigkeiten der Leitspindel und beim Gewindeschneiden mit Werkzeugen die Veränderungen derselben beim Härten Fehler in der Schraube erzeugen. Handelt es sich um Schrauben, die mit dem Schneideisen geschnitten sind, so kann man bei nicht sehr langen Gewinden Steigungsdifferenzen von  $+ 0,02$  und  $- 0,08$  mm auf 1" Gewindelänge zulassen. Die größere Abweichung läßt man nach der Minusseite zu, weil erfahrungsgemäß sich Gußstahl beim Härten in der Achsenrichtung zusammenzieht, also eine Abweichung nach der Plusseite leichter zu vermeiden ist.

**Messung der Gewinde:** Die einfachste und in der Praxis für die gewöhnliche Herstellung meist angewendete Messung geschieht durch Gewindekaliber und Gewindingring, in die die betreffende Schraube oder Mutter eingeschraubt werden. Meistens beurteilt man da das Passen nach dem Gefühl, da die nach dem Grenzlehrprinzip hergestellten Meßwerkzeuge für die wirkliche Kontrolle aller Maße eines Gewindes nicht genügend Sicherheit geben. Für diese Arbeit und Werkzeuge kann auf die einschlägigen Firmenkataloge verwiesen werden, bzw. auf das bereits über Grenzlehrenmessung Gesagte, S. 22 ff.

Einen handlichen Apparat, der durch eine Verbindung von fester Lehre und Fühlhebelmessung eine verhältnismäßig weitgehende Kontrolle eines Gewindes gestattet, zeigt Fig. 144. In dem Ständer ist eine Normal-Lehrmutter des betreffenden Gewindes eingesetzt, in die die zu prüfenden Schrauben eingeschraubt

werden. Um Abweichungen innerhalb der Gänge zu prüfen, die durch das einfache Einschrauben nicht örtlich festgelegt werden können, ist die Lehrmutter an einer Stelle radial durchbohrt und nimmt in dieser Bohrung den Fühlstift eines Fühlhebels auf. Wo dieser Stift innerhalb der Gewindegänge hervorragt, ist er genau nach dem Gewindeprofil bzw. nach einer Kugel geformt, so daß irgendeine Abweichung der zu prüfenden Schraube eine Bewegung des Fühlstiftes, die an dem Zeiger des Fühlhebels ersichtlich wird, bewirkt. Da die Stellung des Stiftes innerhalb der Lehrmutter bekannt ist, läßt sich eine bei der Kontrolle beobachtete Abweichung durch Rückwärtsmessung an der zu prüfenden Schraube wiederfinden.

1. Außendurchmesser. Zur Messung des Außendurchmessers können alle Werkzeuge verwendet werden, die zur Bolzenmessung dienen; also Schublehre, Mikrometer, Rachenlehre, Meßmaschine usw.

2. Innendurchmesser (Kerndurchmesser). Der Kerndurchmesser einer Schraube ist im allgemeinen sehr schwierig genau zu messen, da die beiden Punkte, an denen ein gewöhnliches Meßinstrument angreifen würde, nicht einander gegenüber liegen. Für die gewöhnliche Werkstättenmessung genügt für den Dreher die Feineinstell-Schublehre mit Gewindeschnäbeln, da ein Fehler durch das Schiefstellen der Meßstrecke bis zu 0,05 mm für die meisten Arbeiten nicht von Belang ist. Dies läßt sich rechnerisch nachweisen, und zwar sei, Fig. 143,

d . . . . . Kerndurchmesser der zu messenden Schraube,

t . . . . . ihre Steigung,

L . . . . . die mit der Schublehre gemessene Länge an Stelle des richtigen Kerndurchmessers,

$\alpha$  . . . . . der Winkel zwischen d und L

dann ist:

$$L = \frac{d}{\cos \alpha} \text{ es ist aber } \frac{1}{\cos \alpha} = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \text{ also}$$

$$L = d \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

m . . . . . der bei der Messung zugelassene Fehler gegen den wirklichen Kerndurchmesser, dann muß aber auch

$$L < d + m$$

bzw.  $L^2 < d^2 + 2 d m$ , wenn man das letzte Glied  $m^2$ , das doch eine sehr kleine Größe ist, vernachlässigt. Dann erhalten wir:

$$d^2 + d^2 \operatorname{tg}^2 \alpha < d^2 + 2 m d \dots \operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2d}$$

$$\frac{t^2}{d} < 8 m.$$

Nimmt man nun  $m = 0,05$  mm an, so gibt die Rechnung nach dieser Formel, daß die Messung mit der Schublehre mit Gewindeschnäbeln bereits bei der  $\frac{1}{2}''$ -Schraube versagt; nimmt man  $m = 0,1$  mm, so ist die Kerndurchmesser-messung noch bis zur  $3''$ -Schraube mit einem Fehler bis 0,1 mm möglich. Dies

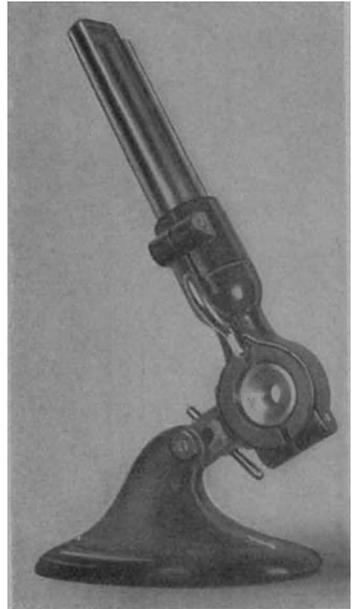


Fig. 144. Gewindeprüfapparat mit Lehrmutter und Fühlstift.

genügt noch für die meisten Werkstättenarbeiten. Selbstverständlich kann man um so eher so messen, wenn man irgend ein normales Schraubengewinde auf einen größeren Durchmesser schneidet, d. h. Feingewinde herstellt.

Indirekt ist die Bestimmung des Kerndurchmessers mit einem Höhenmaß, sei es eine Schublehre oder ein Mikrometer, und der Anreib(Tuschier)platte möglich. Es sei nach Fig. 145

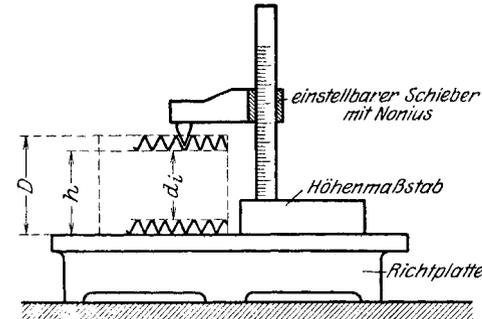


Fig. 145. Indirekte Messung des Kerndurchmessers.

D . . . . der Außendurchmesser,  
 h . . . . die Strecke von dem Grund des Gewindes bis zum Außendurchmesser auf der andern Seite, also = Kerndurchmesser  $d_i$  + Gewindetiefe,

dann ergibt sich:

$$d_i = 2 h - D$$

Bei kleinen Schrauben, bei denen sowieso für genaue Messungen optische Hilfsmittel angewendet werden, läßt sich der Kerndurchmesser, ebenso wie Außen- oder Flankendurchmesser oder

Steigung mit einer Einrichtung messen. Diese Apparate bestehen entweder aus einem Meßmikroskop mit geteiltem Kreuz- und Drehtisch oder nach Art der

Komparatoren aus zwei auf einem Schlitten festverbundenen Mikroskopen. Im ersten Fall wird das Fadenkreuz im Mikroskop auf die zu messenden Stellen eingestellt und die beiden Ablesungen an der Mikrometerschraube des betreffenden Schlittens voneinander abgezogen; man ist also von der Genauigkeit der Meßschraube am Schlitten und der betreffenden Teilung abhängig. Bei den nach Art der Komparatoren gebauten Instrumenten stellt man das Fadenkreuz des einen Mikroskopes auf den zu messenden Durchmesser ein und liest mit dem zweiten Mikroskop auf dem Präzisionsmaßstab ab, verschiebt den Schlitten, der beide Mikroskope trägt, bis die andere Kante der zu

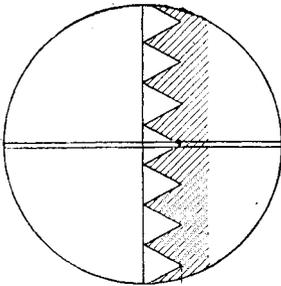


Fig. 146.

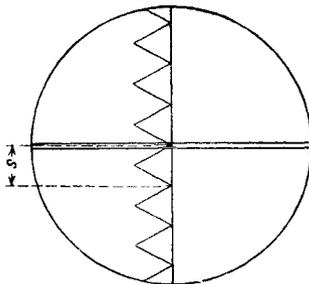


Fig. 147.

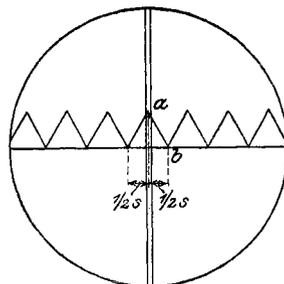


Fig. 148.

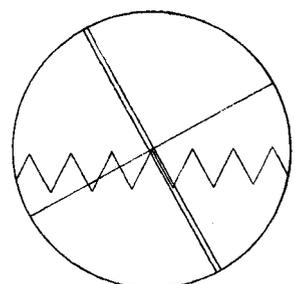


Fig. 149.

Fig. 146–149. Messung der Gewindebestimmungsgrößen auf optischem Weg.

messenden Schraube im Fadenkreuz des ersten Mikroskopes erscheint und liest wieder, wie oben, ab. Das verlangte Maß erscheint nun als Differenz zweier Maßstabablesungen und enthält also nur die Einstellfehler und die Maßstabfehler.

Bei der Bestimmung des Flankenwinkels kommt aber bei der optischen Methode ein Visurfehler in die Ablesung, der der Firma Carl Zeiß, Jena, Veranlassung zur Konstruktion eines optischen Gewindemeßmikroskopes gab. Hierbei werden die Fäden der Fadenplatte nicht auf die sichtbare Flankenumrißlinie, sondern auf einen feinen Lichtspalt eingestellt, der durch Anlegen von feinen Schneiden an die Gewindeflanken genau in der Achsenebene erzeugt wird.

Je nach dem Zweck der Messung erscheint, vgl. Fig. 146—149, das Gesichtsfeld anders, ob man Außen-, Innen-, Flankendurchmesser oder Steigung bzw. Flankenwinkel mißt. Das zu prüfende Gewinde wird auf einen Dorn am Mikroskopschlitten eingespannt. Mittels der beiden Feineinstell- und Meßschrauben des Kreuztisches bringt man zuerst die eine Kante der Schraube in das Fadenkreuz, bzw. zwischen die Fäden, wenn zwei Fäden zur Einstellung vorgesehen sind, und liest an der Mikrometertrommel der Schraube ab. Alle diese Instrumente sind aber für den Werkstattengebrauch zu fein und zu kostspielig.

3. Flankenmaß (Flankendurchmesser). Das Flankenmaß ist mit den gewöhnlichen Meßwerkzeugen nicht unmittelbar zu messen; hierfür dienen

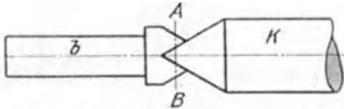


Fig. 150. Kegelige Mikrometerspitzen zur Messung des Flankenmaßes.

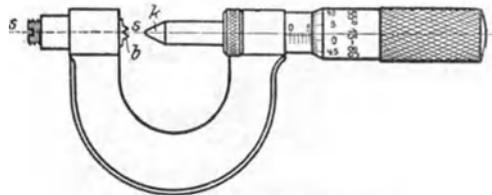


Fig. 151. Flankenmikrometer.



Fig. 152. Aufsetzbare Kegelspitzen zur Flankenmessung. Mikron, Berlin.

Mikrometer mit Meßspitzen, die nach Fig. 150/51 als Kegel ausgebildet sind. Die Nullablesung des Mikrometers ist eingestellt, wenn die beiden Kegel *k*, *b* einander berühren, wobei irgendeine Schnittebene, z. B. *A*—*B* die Nulllinie darstellen

mag. Mißt man mit einem derartigen Mikrometer, Fig. 151, eine Schraube, so stellen sich die Kegel nicht in den Achsenschnitt der Schraube, sondern in eine zur Steigung senkrechte Ebene ein. Man macht also einen Meßfehler, der aber bei den kleinen Steigungswinkeln, die an den im Maschinenbau üblichen Schrauben vorhanden sind, ohne Einfluß ist.

Da man bei dieser Messung besondere Mikrometer haben muß, auch bei Schrauben verschiedener Flankenneigung ein Instrument nur für eine begrenzte Anzahl Schraubendurchmesser und Steigungen verwenden kann, bringt die Firma Mikron-Berlin S. 59 aufsetzbare Kegelkörper nach Fig. 152 in den Handel. Sie unterscheiden sich vorteilhaft von ähnlichen Verbesserungen, da sie allseitig geschliffen sind und mit den aufzusetzenden Flächen genau eben und winkelrecht zur Kegelachse geschliffen werden. Sie erhalten außerdem eine Klemmvorrichtung, die verhindert, daß durch ein einseitiges oder loses Sitzen der Meßkegel auf der Mikrometerspindel Meßfehler in die Ablesung kommen.

Eine Bestimmung des Flankenmaßes eines Gewindes durch den Vergleich mit einem Normalgewindedorn ist mittels der Kugeltaster in einfacher Weise möglich; der Taster hat die Form eines gewöhnlichen Außentasters, der an Stelle der Spitzen auswechselbare Einsätze mit genauen kleinen Kugeln trägt, Fig. 153<sup>1)</sup>. Bei der Messung legen sich die Kugeln in gegenüberliegende Gewinde-

<sup>1)</sup> Weber & Co., Etwas über Gewinde. S. 16. Abb. 19/20.

gänge ein, Fig. 154, dann nimmt man das Maß zwischen den Kugeln ab, wiederholt diese Messung an dem Normalgewindedorn. Der Unterschied beider Maße zeigt die Abweichung des Werkstückes von Normalstück und ergibt, da man das Flankenmaß des Normalstückes kennt, unmittelbar das Flankenmaß des Werkstückes.

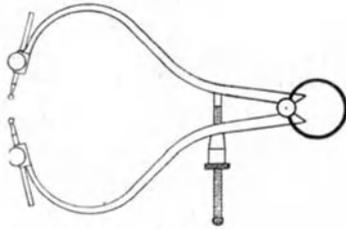


Fig. 153.

Gewindemessung mittels Kugeltaster. (Weber, Etwas über Gewinde.)

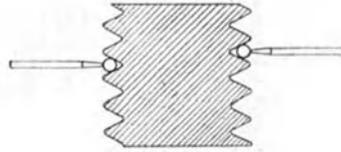


Fig. 154.

Das zweifache Abnehmen des Maßes im Taster erspart die Gewindelupe von Carl Zeiß, Jena, Fig. 155 <sup>1)</sup>, bei der an das Fassungsrohr einer Lupe eine feste Kugelspitze und dieser gegenüber ein Mikrometer mit einer Kugelspitze angebracht sind, derart, daß im Gesichtsfeld der Lupe beide Kugeln und der Zwischenraum zwischen ihnen beobachtet werden können. Man stellt unter Beobachtung

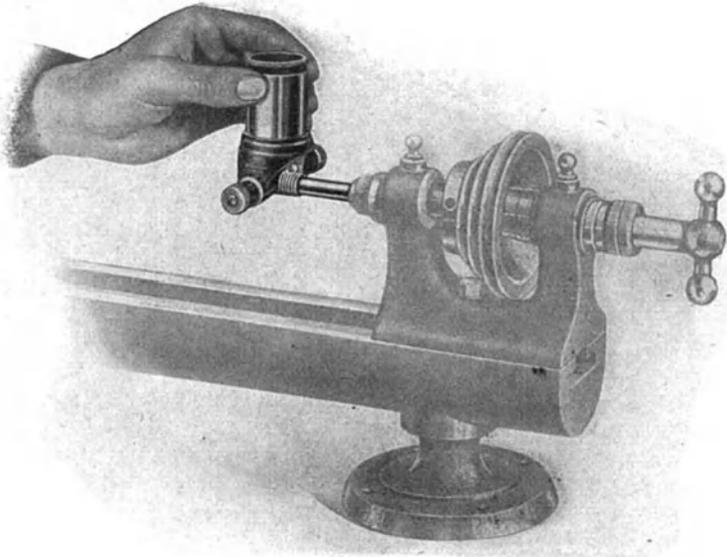


Fig. 155. Gewindelupe. Carl Zeiß, Jena. (Schuchardt & Schütte, Berlin.)

mit der Lupe die beiden Kugeln durch Bewegen der Mikrometerschraube in die Gänge des Normalgewindedornes ein, liest an der Mikrometertrommel ab und stellt dann in gleicher Weise auf die gegenüberliegenden Gänge des Werkstückes ein. Die Differenz beider Ablesungen ergibt die Abweichung des Flankenmaßes

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1920. S. 539. Fig. 27.

von Normal- und Werkstück, die Differenz und das bekannte Flankenmaß des Normalstückes zusammen das Flankenmaß des Werkstückes. Für die rechnerische Ableitung der Messung ist sinngemäß der Rechnungsgang auf S. 76 anzuwenden.

Bei der oben beschriebenen Vergleichsmessung sind außer den unvermeidlichen Einstell- und Ablesefehlern keine mit der Messung zusammenhängenden grundsätzlichen Fehler vorhanden.

Die mittelbare Messung ist dagegen wohl mit den gewöhnlichen Mikrometern auszuführen, indem man kalibrierte Drähte nach Fig. 156 und 157 in die Gewindegänge einlegt und über diese Drähte mit dem Mikrometer oder der Schublehre mißt.

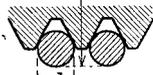
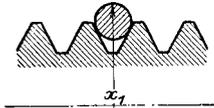


Fig. 156.

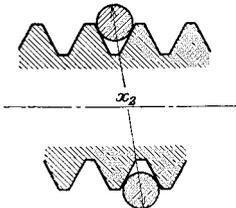


Fig. 157.

Fig. 156 und 157. Messung des Flankendurchmessers mittels kalibrierter Drähte.

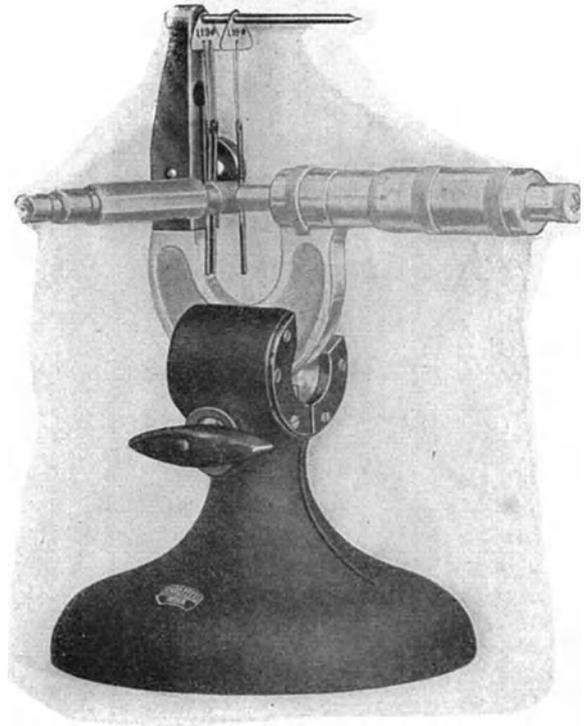


Fig. 158. Gewindemessung mit kalibrierten Drähten. Carl Zeiß, Jena (Schuchardt u. Schütte, Berlin).

Die Befestigung der Drähte ist aber schwierig und für die Genauigkeit der Messung gefährlich, so daß die Firma Carl Zeiß, Jena, die in Fig. 158 abgebildete Aufhängevorrichtung für die Drähte konstruiert hat, die an dem Mikrometer normaler Bauart angebracht werden kann. Die Verwendung ist aus der Abbildung selbstverständlich.

Die Messung mit nur zwei kalibrierten Drähten nach Fig. 159 empfiehlt sich nur dann, wenn die Meßflächen größer als die Steigung der zu messenden Schraube sind. Für die Berechnung des Flankendurchmessers aus dem gemessenen Wert bei bekanntem Durchmesser der kalibrierten Drähte kann die folgende Formel verwendet werden, wenn man nicht vorzieht, immer mit denselben Drahtdurchmessern zu arbeiten und sich ein für allemal eine Tabelle aufzustellen.

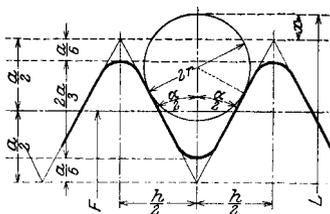


Fig. 159. Gewindemessung mittels kalibrierter Drähte.

Nach Fig. 159 entwickelt sich die Formel:

$$L - F = 2x + a.$$

Die Strecke  $x$  findet man aus der Beziehung:

$$x + a = r + \frac{r}{\sin \frac{1}{2} \alpha}$$

$$L - F = 2r + \frac{2r}{\sin \frac{1}{2} \alpha} - a \quad a = \frac{h \cdot \operatorname{ctg} \frac{1}{2} \alpha}{2}$$

Diese Werte eingesetzt ergeben für das Flankenmaß  $F$

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

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

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

Mit diesen Werten in obige Formel eingesetzt erhält man:

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

worin  $F$  der gesuchte Flankendurchmesser,  $L$  das über die eingelegten Drähte gemessene Maß,  $2r$  der Drahtdurchmesser und  $h$  die Steigung der zu messenden Schraube ist.

Für S. I. Gewinde ist  $\alpha = 60^\circ$  und  $\sin \frac{1}{2} \alpha = 0,5$

$$\operatorname{ctg} \frac{1}{2} \alpha = 1,73205.$$

Man erhält:

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

Die Genauigkeit dieser Messung richtet sich nach der Genauigkeit der verwendeten Drähte, von denen man die dünneren nur mit der Genauigkeit verwenden kann, wie sie vom Zieheisen geliefert werden, während man dickere durch Polieren verbessern kann. Die Genauigkeit der eigentlichen Messung hingegen kann so weit getrieben werden als es die verwendete Meßvorrichtung zuläßt.

4. Gewindeprofil. Den Flankenwinkel und die Abrundungen prüft man am besten mit Lehren, die genau nach dem Profil gearbeitet sind und mittels Lichtspaltmethode auf genaues Passen nach dem Normalstück kontrolliert worden sind. Da diese Lehren aber genau parallel zur Schraubenachse eingelegt werden müssen, geschieht dies nicht von Hand, sondern in einem Apparat, der dann meistens gleichzeitig zur Messung der Steigung eingerichtet ist, Fig. 163 und 164. Dagegen kann man den Gewindegewinkel mit einem optischen Apparat nach Figur 146—149 unmittelbar bestimmen, wenn derselbe mit einem Drehtisch auf dem Kreuztisch versehen ist. Man bringt dann die zu untersuchende Schraube in eine derartige Lage, daß die Flanke mit dem einen Faden des Fadenkreuzes zusammenfällt und dreht dann den Tisch so weit, bis der Faden mit der zweiten Flanke zusammenfällt; die Differenz beider Ablesungen an der Teilung des Drehtisches ergibt dann unmittelbar den Flankenwinkel.

Alle diese Messungen versagen aber bei Muttergewinden; hier kann man nur durch Einschrauben eines genauen Prüfdornes das Passen bestimmen.

5. Steigung. Handelt es sich nur um die Feststellung, ob die Steigung eines Gewindes mit dem Normalgewinde übereinstimmt, so lassen sich dazu am besten feste Lehren nach Fig. 160 und 161 verwenden. Man legt sie in die Gewindegänge ein, — gibt ihnen zweckmäßigerweise eine Länge gleich einem Vielfachen der Steigung, — und beobachtet dann nach der Lichtspaltmethode das Passen

oder die Abweichung. Die Herstellung dieser Lehren ist einfach, sobald man die betreffenden Normalgewinde vorrätig hat; anders ist es aber, wenn man sich das Maß der Lehre erst auf die eine oder andere Weise nach den Zahlentafeln herstellen muß. Dann führt der folgende Weg am sichersten zum Ziel. Man dreht,

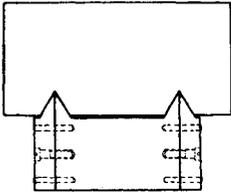


Fig. 160. Gewindelehre zur Messung der Steigung. Rich. Weber u. Co., Berlin.

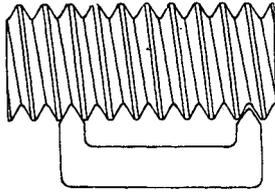


Fig. 161. Gewindelehre zur Messung der Steigung. Rich. Weber u. Co., Berlin.

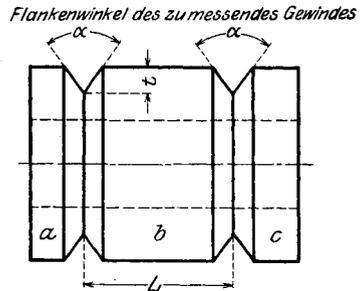


Fig. 162. Fabrikationslehre für Gewindelehren.

Fig. 162, drei Zylinder a, b und c von gleichem Außendurchmesser, von denen der mittlere b eine Länge  $L = \text{Vielfachen der Steigung}$  der zu messenden Schraube erhält, dreht an jedes Ende des mittleren Zylinders b und an ein Ende der beiden

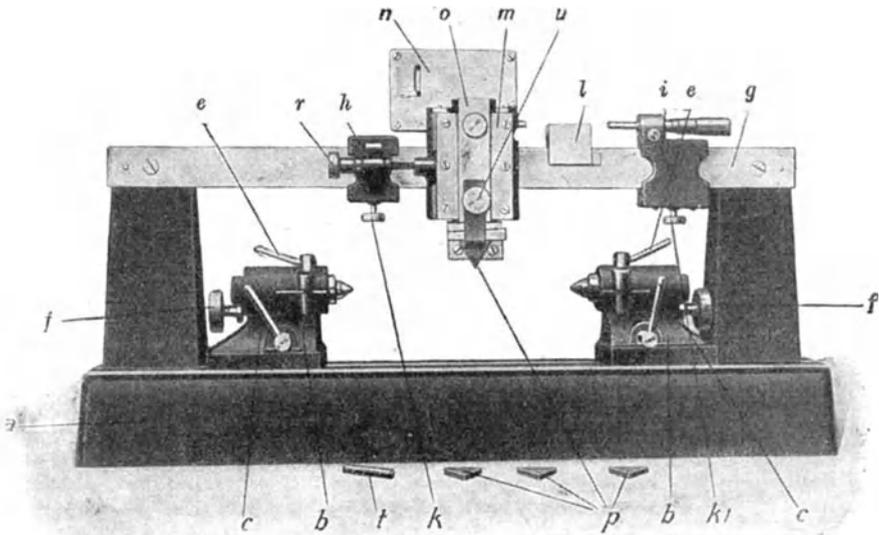


Fig. 163. Gewindemeßapparat von Fleck u. Co., Berlin N.

Zylinder a und c, deren Länge beliebig sein kann, Kegelflächen an, deren Steigung dem Flankenwinkel  $\frac{\alpha}{2}$  entspricht. Dann härtet man alle drei Teile und schleift am Umfang die Kegelflächen rund und die Stoßflächen der Zylinder eben und winkelrecht zur Zylinderachse, alles Arbeiten, die in einer normalen Werkzeugmacherei ausgeführt werden können, und auf wenigstens 0,01 mm genau sein können. Außerdem ist deren Messung mit den vorhandenen normalen Meßwerkzeugen auszuführen. Die Einstellung und Messung des Kegelwinkels erfordert eine genaue Lehre, die aber für alle Lehren eines Gewindes immer gleich bleibt,

da der Flankenwinkel für alle Schrauben eines Gewindesystemes immer derselbe ist. Sind die drei Stücke fertig, so werden sie durch eine Schraube, die durch die Bohrung durchgesteckt wird, und Mutter zusammengespannt und bilden die Ausgangslehre für die nach Fig. 160 und 161 und ähnliche herzustellende Gebrauchslehren. Man erspart bei verschiedenen solchen Lehren immer die Herstellung der beiden Seitenteile a, b, da man die Ausdrehung t so tief machen kann, daß sie für alle vorkommenden Gewindelehren ausreicht. Falls man aber auch die Abrundungen am äußeren Durchmesser der Schraube mit in diese Lehre einschleifen will, muß man wohl auch die beiden Seitenteile jedesmal neu machen.

Eine genaue Steigungsmessung läßt sich aber nur mit einem dafür gebauten Apparat ausführen, da die Einstellung auf Gewindengangmitte nach der Lichtspaltmethode durch eine Schablone ausgeführt wird, die genau in der Achse des Gewindes stehen und parallel zur Gewindeachse verschoben werden muß, wenn

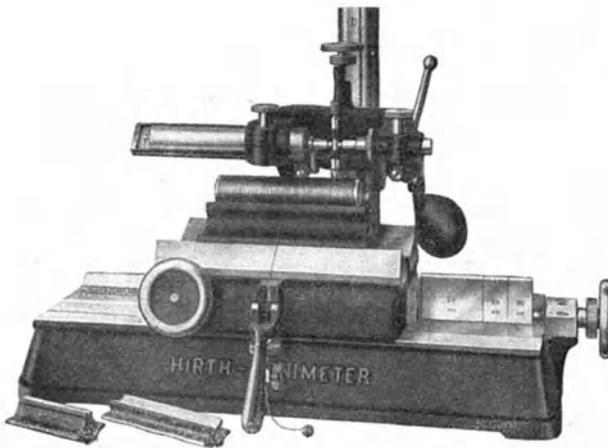


Fig. 164. Gewindemeßmaschine mit Minimeter und normalen Endmaßen. (Fortunawerke, Stuttgart-Cannstatt.)

man die Verschiebung messen will. Für diesen Zweck ist für die Gewinde des Maschinenbaues ein Apparat nach Fig. 163 gebaut worden. Zur Messung der Gewindesteigung wird das Gewinde zwischen die Spitzen der Reitstöcke b mittels der beiden Wirbel c festgespannt.

Dann wird der senkrechte Schieber o, der das Gewindeprofil p trägt, so weit herunter gelassen, bis die Seiten des Profiles p an den Flanken des Gewindes fest anliegen, bzw. kein Licht durchlassen.

Eventuell muß das letztere etwas verdreht werden, worauf der Wirbel c angezogen wird.

Man nähert dann den Mikrometerschlitten i dem wagrechten Profilschlitten m so weit, daß die Meßfläche der Mikrometerspindel i den aus dem Profilschlitten m herausstehenden Zapfen berührt und zieht die Klemmschraube  $k_1$  fest. Dann stellt man mit der Mikrometerschraube den Zeiger n auf Null und notiert die Ablesung an der Mikrometertrommel.

Nachdem auf diese Weise die Stellung eines Gewindenganges festgestellt ist, wird der senkrechte Profilschlitten o hochgestellt und die Klemmschraube k gelöst. Nun schiebt man den wagrechten Profilschlitten m nach links, bis man zwischen die Meßfläche der Mikrometerspindel i und die feste Meßfläche des Schlittens m ein Endmaß, das ein Vielfaches der Schraubensteigung ist, einschieben kann und legt dieses auf das Prismenstück l. Man schiebt das Endmaß gegen die Mikrometerspindel und den Schlitten m so weit nach rechts, daß sich das Endmaß bis auf rund 1 mm dem Zapfen nähert, worauf man die Klemmschraube k wieder fest anzieht.

Mit der Kordelschraube r schiebt man den Schlitten m, bzw. die Meßfläche des Zapfens so weit vor, daß der Zeiger n wieder auf Null steht. Läßt man nun das Gewindeprofil im Schieber v herunter, so muß bei richtiger Steigung der zu prüfenden Schraube das Profil in einen Gewindengang einspringen. Ist dies nicht

der Fall, so wird der Schlitten *m* durch die Kordelschraube *r* so weit verschoben, bis das Gewindeprofil *p* in die Gewindeflanke einfällt.

Nun bringt man mit der Mikrometerschraube *i* den Zeiger *n* wieder auf Null und erhält aus der Differenz beider Ablesungen an der Mikrometerschraube den Fehler in der Steigung.

So kann man die Entfernung der gemessenen Gewindegänge auf 0,01 mm genau feststellen und durch Division durch die Anzahl der Gänge die Steigung der zu messenden Schraube auf 0,01 mm genau erhalten.

Eine sehr sorgfältig durchkonstruierte Gewindemeßmaschine der Fortunaerwerke, Stuttgart-Cannstatt erlaubt die Einstellung der Hauptmaße nach normalen Parallelendmaßen und die selbsttätige Bestimmung der Toleranz mittels des Minimizers. Außerdem ist der Tisch so eingerichtet, daß man Schrauben ohne Körner einfach auf den Tisch auflegen kann, während zwischen Spitzen zu messende Schrauben auf Zwischenböcken eingespannt werden. Die Meßmaschine besteht nach Fig. 164<sup>1)</sup> aus einem Bett mit Prismenführung, das den eigentlichen Auf-

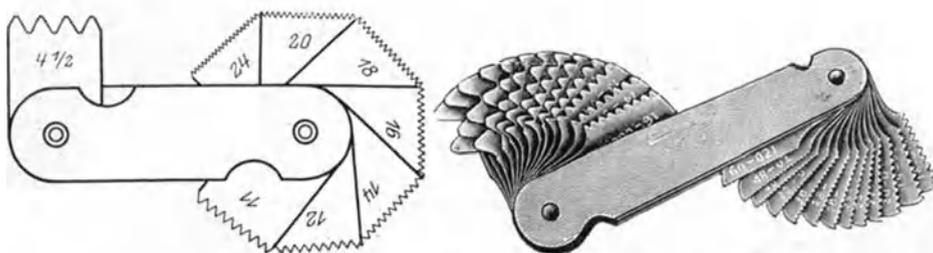


Fig. 165 u. 166. Gewindeflanschen für Außen- und Innengewinde.

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

Für die einfachsten Messungen von Steigung, Gewindeprofil usw. verwendet man die Blattlehren, Fig. 165 und 166, die in zwei Formen zum Messen von Außen- und Innengewinden ausgeführt werden.

<sup>1)</sup> Werkstattstechnik 1922, H. 20, S. 614.

# Neue Urteile über die Werkstattbücher:

Die Werkstattbücher sind die Frucht eines seit 1913 durch den Verlag Julius Springer in Ausführung begriffenen Planes einer „Betriebshütte“, der nach dem Tode des ursprünglichen Herausgebers im Felde in neuer erweiterter Form von dem bekannten Werkzeugfachmann Dipl.-Ing. Eugen Simon aufgenommen worden ist. Die Ankündigung dieser Heftfolge löste in der gesamten betriebstechnischen Fachwelt die gespanntesten Erwartungen aus. Mit inniger Freude werden besonders diejenigen von dem Unternehmen Kenntnis genommen haben, die den Schritt der technischen Kultur nach ihrem Ziele, der größtmöglichen „Ökonomie“ (im Sinne von Wilhelm Ostwald), beschleunigt sehen möchten. Zur Erreichung dieses Zieles ist eine „Betriebshütte“ ebenso Bedürfnis, wie etwa die Technische Zeitschriften-schau, die D I Normen, die Betriebsblätter u. a.

Die ersten Hefte liegen jetzt vor. Es kann festgestellt werden, daß sie die an eine „Betriebshütte“ zu stellenden hohen Erwartungen nach der elementar praktischen Seite hin gut erfüllen.

Die Bücher können daher jedem, der in der Fertigung steht oder mit Fragen der Fertigung zu tun hat, also dem vorwärtsstrebenden Arbeiter, Meister und Ingenieur aufs wärmste empfohlen werden. Besonders in der Hand von Lehrern an Werk- und Fortbildungsschulen sind sie ein ganz vorzügliches Hilfsmittel.

*Werkstattstechnik.*

Die Werkstattbücher sollen das ganze Gebiet der Werkstattstechnik in kurzen, selbständigen Einzeldarstellungen behandeln und anerkannte Fachleute, die zugleich tüchtige Praktiker sind, sollen als Verfasser mitwirken. Die Hefte stehen betriebstechnisch und wissenschaftlich auf einwandfreiem Boden, haben ausgezeichnete Abbildungen und setzen keine andere Vorbildung voraus, als sie dem gelernten Facharbeiter zur Verfügung steht. Sie bilden also eine glückliche Mischung eines anregenden Lehrbuchs mit einer gemeinverständlichen Einführung und werden sich auch als Unterstützung von Fach- oder Volkshochschulkursen vortrefflich eignen. . . . . Wir können die Hefte, die auch ziemlich billig sind, warm empfehlen.

*Technische Blätter der Bergwerks-Zeitung.*

Die Werkstattbücher erfreuen sich großer Beliebtheit, da ihnen deutsche Gründlichkeit und Sachlichkeit den Weg zu großer Verbreitung geebnet haben. Die bis heute vorliegenden Bände bieten die volle Gewähr dafür, daß die Werkstattbücher ihre große Aufgabe erfüllen. Sie gehören zu jenen guten Werken, die geeignet sind, die Kenntnisse aller in deutschen Werkstätten Tätigen zu vertiefen und damit die Leistungsfähigkeit der Betriebe zu fördern. Alle unnützen Theorien sind in den Heften vermieden, aber praktische Erfahrungen der tüchtigsten Fachleute festgelegt. Jedes Heft ist in sich abgeschlossen und leicht verständlich geschrieben. Zahlreich sind die vortrefflichen Abbildungen der einzelnen Hefte.

*Der Schlossermeister.*

# WERKSTATTBÜCHER

## FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER

### HERAUSGEGEBEN VON EUGEN SIMON, BERLIN

---

---

#### In Vorbereitung befinden sich:

Gesenkschmiede. Von P. H. Schweißguth. — Prüfen und Aufstellen von Werkzeugmaschinen. Von W. Mitn. — Werkzeuge für Revolverbänke. Von K. Sauer. — Bohren, Reiben und Senken. Von J. Dinnebier. — Herstellung der Fräser. Von P. Zieting. — Einbau und Behandlung der Kugellager. Von H. Behr. — Haupt- und Schaltgetriebe der Werkzeugmaschinen. Von Walter Storck. — Fräsen. Von W. Birtel. — Kaltsägeblätter. Von A. Stotz. — Herstellung der Gewindeschneidwerkzeuge. Von Th. Müller. — Kontrolle der Meßwerkzeuge. Von Liebold. — Herstellung der Lehren. Von A. Stich. — Modelltischlerei. Von L. Loewer. — Einrichten von Automaten. Von K. Sachse, H. Voßmann, K. Galdenstein. — Beizen und Entrosten. Von Otto Vogel.

#### Aus den ersten Urteilen:

... Allen Heften ist eine sehr klare Schreibweise eigen, das Abbildungsmaterial ist sehr reichhaltig und deutlich ... In allen Heften ist das betreffende Gebiet trotz des knappen Raumes erschöpfend behandelt. Es soll nicht unterlassen werden, Lehrer an Lehrlingsschulen und ähnlichen Anstalten aufmerksam zu machen, daß die Hefte beim Unterrichte eine sehr gute Unterstützung bieten. Ausstattung und Druck sind sehr gut, der Preis ist niedrig. Die Anschaffung kann jedem, der in der Praxis steht, bestens empfohlen werden ...

„Elektrotechnik und Maschinenbau“.

... Die Hefte stehen betriebstechnisch und wissenschaftlich auf einwandfreiem Boden, haben ausgezeichnete Abbildungen und setzen keine andere Vorbildung voraus, als sie dem gelernten Facharbeiter zur Verfügung steht. Sie bilden also eine glückliche Mischung eines anregenden Lehrbuches mit einer gemeinverständlichen Einführung und werden sich auch als Unterstützung von Fach- oder Volkshochschulkursen vortrefflich eignen ...

„Technische Blätter der Bergwerks-Zeitung“.

„Qualitätsarbeit!“ heißt die Losung für unsere Industrie in immer stärkerem Maße! Dementsprechend sind die Anforderungen an den Fertigungsprozeß ständig höhere geworden, die Maschinen und Methoden werden fortgesetzt feiner ausgebaut, so daß es für den Meister und den Arbeiter nicht immer leicht ist, dem zu folgen. Hier treten nun die Werkstattbücher ergänzend und belehrend ein; in einer Reihe von abgeschlossenen Darstellungen wird den im Betriebe Tätigen das nötige Rüstzeug gegeben ...

„Präzision“.

**Die Werkzeuge und Arbeitsverfahren der Pressen.** Von Privatdozent Dr. techn. Max Kurrein, Betriebsingenieur des Versuchsfeldes für Werkzeugmaschinen an der Technischen Hochschule zu Berlin. Völlige Neubearbeitung des Buches „Punches; dies and tools for manufacturing in presses“ von Joseph V. Woodworth. Mit etwa 683 Textfiguren und einer Tafel. Zweite Auflage. In Vorbereitung

---

**Die Grenzlehre.** Von Carl Mahr, Spezialfabrik für Präzisions-Meß-Werkzeuge, Eßlingen a. N. Zweite Auflage. 1922. Preis z. Zt. M. 2000.—

---

**Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen.** Von Prof. Dr. G. Berndt und Dr. H. Schulz, Privatdozenten an der Technischen Hochschule Charlottenburg. Mit 218 Textfiguren. 1921. GZ. 7; gebunden GZ. 10.

---

**Freies Skizzieren ohne und nach Modell für Maschinenbauer.** Ein Lehr- und Aufgabenbuch für den Unterricht. Von Karl Keiser, Oberlehrer an der Städtischen Maschinenbau- und Gewerbeschule zu Leipzig. Dritte, erweiterte Auflage. Mit 22 Einzelfiguren und 24 Figurengruppen. 1921. GZ. 2

---

**Leitfaden für das Maschinzeichnen.** Von Dipl.-Ing. Studienrat K. Sauer. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 197 Textabbildungen. GZ. 1,5

---

**Das Maschinzeichnen des Konstrukteurs.** Von C. Volk, Direktor der Beuth-Schule und Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Berlin. Mit 214 Abbildungen. 1921. GZ. 2,8

---

**Maschinenelemente.** Leitfaden zur Berechnung und Konstruktion für technische Mittelschulen, Gewerbe- und Werkmeisterschulen sowie zum Gebrauche in der Praxis. Von Ingenieur Hugo Krause. Vierte, vermehrte Auflage. Mit 392 Textfiguren. 1922. Gebunden GZ. 7,5

---

**Die Werkzeugmaschinen, ihre neuzeitliche Durchbildung für wirtschaftliche Metallbearbeitung.** Ein Lehrbuch. Von Prof. Fr. W. Hülle, Oberlehrer an den Staatl. Vereinigten Maschinenbauschulen in Dortmund. Vierte, verbesserte Auflage. Mit 1020 Abbildungen im Text und auf Textblättern, sowie 15 Tafeln. Unveränderter Neudruck. Erscheint im Frühjahr 1923

---

**Die Grundzüge der Werkzeugmaschinen und der Metallbearbeitung.** Von Prof. Fr. W. Hülle in Dortmund. In zwei Bänden.  
Erster Band: Der Bau der Werkzeugmaschinen. Vierte, vermehrte Auflage. Mit 360 Textabbildungen. 1923. GZ. 3  
Zweiter Band: Die wirtschaftliche Ausnutzung der Werkzeugmaschinen. Dritte, vermehrte Auflage. Mit 395 Textabbildungen. 1922. GZ. 3,6

---

*Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*