

TOLERANZEN UND LEHREN

VON

DIPL.-ING. P. LEINWEBER VDI
OBERREGIERUNGSBAURAT

MIT 134 ABBILDUNGEN IM TEXT



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

1937

**ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.
COPYRIGHT 1937 BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1937**

ISBN 978-3-662-05455-0 ISBN 978-3-662-05499-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-05499-4

Vorwort.

Die Fertigung eines technischen Erzeugnisses in Reihen oder Massen erfordert umfangreiche Vorbereitungen im Betriebe. Der Bestand an Werkzeugmaschinen muß überprüft, Vorrichtungen, Werkzeuge und Lehren müssen rechtzeitig bereitgestellt werden. Die Voraussetzungen für die reibungslose Abwicklung dieser Arbeiten sind eine werkstattgerechte Konstruktion und eine werkstattreife Zeichnung für jedes Einzelteil. Bereits beim ersten Entwurf müssen diese Fragen ebenso sorgfältig durchgedacht werden wie das sichere Zusammenarbeiten aller Einzelteile oder die Wahl geeigneter Werkstoffe. Verläßt man sich allzusehr auf eine nachträgliche Durcharbeitung für die Mengenfertigung, so lassen sich häufig nicht mehr alle Wünsche der Werkstatt befriedigen, ohne die Brauchbarkeit zu gefährden, oder der Entwurf muß in wesentlichen Punkten umgestoßen werden.

Um den Forderungen der Mengenfertigung gerecht werden zu können, muß vom Konstrukteur die Kenntnis der Werkzeugmaschinen und Fertigungsverfahren verlangt werden, er muß über Vorrichtungen und Werkzeuge Bescheid wissen; ferner muß er die Mittel zum Prüfen der halbfertigen und fertigen Einzelteile, Baugruppen und Geräte kennen. Diesem Fachgebiet der Lehren und dem damit zusammenhängenden der Toleranzen stehen viele Konstrukteure mit Scheu oder Abneigung gegenüber.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist, zu zeigen, daß diese Gefühle unberechtigt sind, und gerade soviel Wissenswertes mitzuteilen, als für den Entwurf einer meßtechnisch richtigen Konstruktion und die Anfertigung einer zweckmäßig bemaßten und tolerierten Werkstattzeichnung notwendig erschien. Es ist nicht beabsichtigt, eine „Anleitung zum Entwerfen von Sonderlehren“ zu geben; hierfür sind Bücher nicht geeignet, sondern allein praktische Erfahrung und Übung und allenfalls „Richtlinien“. Die wichtigsten Regeln für den Entwurf von Sonderlehren sind in knapper Form zusammengestellt. Zweifellos wird auch die Aufgabe des Lehrenkonstruktors erleichtert, wenn der Gerätkonstrukteur sich von dem Meßgerät für einen bestimmten Zweck eine ungefähre Vorstellung machen konnte und dementsprechend bei seiner Arbeit vorgegangen ist. Es ist wohl kein Zufall: Wenn der Entwurf einer Lehre be-

sondere Schwierigkeiten macht, zeigt oft die Gerätkonstruktion bei näherem Zusehen Mängel, die nicht nur lehrentechnischer Art sind.

Der Betriebsmann und der Revisor finden Hinweise für die Anwendung der Lehren und für die Beurteilung der Meßverfahren und Meßergebnisse.

Bei dem innigen Zusammenhang zwischen Toleranzen und Lehren konnte im ersten Teil „Gerätzeichnungen“ die Tolerierung nur allgemein behandelt werden und zahlreiche Sonderfragen mußten im zweiten Teil in Verbindung mit den Lehren erörtert werden.

Der Anhang, der über den angedeuteten Rahmen hinausgeht, soll zu weiterer Beschäftigung mit Toleranzen und Lehren und zum selbständigen Nachdenken über dieses Fachgebiet anregen.

Die Anwendung von Lehren und der Austauschbau haben ihren Ursprung in der Waffentechnik gehabt. Diese hat hier, wie auch auf anderen Fachgebieten, auf die übrige Technik überaus befruchtend gewirkt. Deshalb ist es mir sehr wertvoll gewesen, mannigfache Erfahrungen, die im Heereswaffenamt auf dem Gebiet der Toleranzen und Lehren vorliegen, verwerten zu können. Ferner fühle ich mich Herrn Prof. Dr.-Ing. Kienzle von der Technischen Hochschule Berlin zu großem Dank verpflichtet, der mir in langjähriger Zusammenarbeit eine Fülle wertvoller Gedanken und Anregungen vermittelt hat.

Berlin, im Januar 1937.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Gerätzeichnungen	1
1. Gestaltung und Fertigung	1
2. Maßeinheiten	2
a) Längenmaße	2
b) Winkelmaße	3
3. Benennungen	4
a) Maß- und Toleranzwesen	4
b) Passungswesen	5
4. Schreibweise der Toleranzen	6
a) Zahlenmäßige Angabe	6
b) Kurzzeichen	8
5. Maßeintragung	10
6. Welche Maße sind zu tolerieren?	16
7. Größe der Toleranzen	19
8. Nichttolerierete Maße	20
9. Oberflächenzeichen	21
10. Toleranzuntersuchungen	21
a) Erster Hauptsatz	21
b) Zweiter Hauptsatz	23
c) Wahrscheinlichkeit für die Grenzfelder	23
d) Beispiele für rechnerische Toleranzuntersuchungen	25
e) Überbestimmung von Toleranzen und Übertolerierung	29
f) Ermittlung von Toleranzen durch Versuche	30
II. Lehren	32
1. Was ist Messen?	32
2. Festmaß- und Istmaß-Lehren.	32
3. Wie wird gemessen?	34
a) Strichmessung	35
b) Strichmessung mit Übersetzung	37
Hebel 37 — Keil 38 — Schraube 38 — Zahnräder 40 — Wasserwaage 41 — Lupe und Mikroskop 41 — Lichtstrahl 43 — Projektion 43.	
c) Vergleichsmessung ohne Übersetzung	43
Verfahren 44 — Geometrische Form 46 — Parallel-Endmaße 49.	
d) Vergleichsmessung mit Übersetzung	50
4. Besondere Meßverfahren	51
a) Flachpassungen	51
b) Tiefenmaße	54
c) Kegel	57
d) Gewinde	62

	Seite
e) Winkel	66
f) Formen	66
g) Symmetrien	69
h) Verzahnungen	70
5. Meßunsicherheit	71
6. Ausführung der Lehren	74
a) Werkstoffe	74
b) Oberflächengüte	76
c) Paßstifte	77
d) Schutzüberzüge	77
e) Beschriftung	77
7. Allgemeine Richtlinien für den Entwurf von Lehren	78
a) Fertigung	78
b) Wärmebehandlung	82
c) Vermessung der Lehre	82
d) Handhabung	83
e) Lebensdauer	86
f) Instandhaltung und Nacharbeit	87
III. Anhang: Ausgewählte Abschnitte aus dem Lehrenbau	88
1. Lehrenarten	88
2. Meßgefühl	91
3. Parallaxe	94
4. Hebelübertragungen	95
5. Lochmittenabstände	101
a) Tolerierung der Gerätezeichnung	101
b) Lehren	105
Schrifttum	110
Stichwortverzeichnis	111

I. Gerätzeichnungen.

1. Gestaltung und Fertigung.

Für Reihen- oder Massenfertigung sind im wesentlichen folgende Betriebseinrichtungen nötig:

Fertigungsmittel:

Werkzeugmaschinen,
Vorrichtungen,
Werkzeuge,

Prüfmittel:

Lehren¹.

Die Werkzeugmaschine gibt Art und Richtung der Bewegung für die spanlose oder spangebende Verformung des Werkstückes; die Vorrichtung hält das Werkstück während des Arbeitsganges fest; das Werkzeug vollzieht die Verformung. Maschine, Vorrichtung und Werkzeug ermöglichen in ihrem Zusammenwirken, vermöge der Eigenart ihrer Konstruktion, eine bestimmte Arbeitsgenauigkeit, die mit der Lehre nachgeprüft wird.

Ein Gerätteil² ist entweder ein einfacher geometrischer Körper, der von ebenen oder gekrümmten Flächen begrenzt wird (Würfel, Rechkant, Pyramide, Zylinder, Kegel, Kugel), oder ein aus einer Summe solcher geometrischer Körper bestehendes Gebilde. Die Form des so gestalteten Teiles wird durch die ihm zugeordnete Funktion und Festigkeit sowie durch die Rücksicht auf die Fertigung mittels handelsüblicher oder gebräuchlicher und zweckmäßiger Maschinen und Werkzeuge bestimmt.

Am einfachsten zu erzeugen sind die drehende und die hin- und hergehende Bewegung. Je nachdem, welche Bewegungsart Werkstück und Werkzeug gleichzeitig ausführen, entstehen Ebenen oder Drehkörper; Ebenen beim Hobeln, Flachs Schleifen, Walzen- und Stirnfräsen; Drehung des Werkstückes bei gleichzeitiger geradliniger Bewegung des Werkzeuges erzeugt eine Zylinder- oder Kegelfläche oder ein

¹ „Lehren“ sind ausschließlich Meßgerät. Die vielfach noch angewandte Benennung „Bohrlehre“ sollte durch „Bohrvorrichtung“ ersetzt werden, im Gegensatz zur „Lochabstandlehre“.

² Als Gerät werden im folgenden alle Erzeugnisse des Maschinenbaues, der Feinwerktechnik und der Elektrotechnik bezeichnet: technische Gebrauchsgegenstände, Maschinen, Waffen, Apparate, Fahrzeuge, Uhren usw.

Gewinde (Drehbank); Drehung des Werkstückes bei gleichzeitiger kreisförmiger Bewegung des Werkzeuges erzeugt eine Tonnenform oder eine Kugel; drehendes und gleichzeitig vorgeschobenes Werkzeug bei stillstehendem Werkstück erzeugt einen Zylinder mit negativem Vorzeichen, eine Bohrung (Bohrmaschine, Bohrwerk).

Durch die Anwendung von Getrieben lassen sich auch verwickeltere Formen erzeugen, doch lohnen sich solche Einrichtungen wegen der beschränkten Anwendungsmöglichkeit nur in Sonderfällen.

Ferner ist es möglich, verwickelte Formen in die Werkzeuge zu verlegen: Formstähle, Räumwerkzeuge, Formfräser, Werkzeuge für spanlose Formung. Beim Abwälzen drehen sich Werkstück und Formwerkzeug (Schneidrad beim Wälzhobeln oder Wälzfräser) gleichzeitig und das Werkzeug wälzt dabei die Form auf das Werkstück ab. Beim Kopieren wird ein Kopierstück, das die gewünschte Form enthält, zur Führung des Werkzeuges benutzt. Die verwickelte Form braucht in diesen Fällen nur einmal angefertigt zu werden, und die hierfür aufgewendeten Kosten verteilen sich auf alle mit dem Werkzeug gefertigten Werkstücke. Doch darf dabei nicht übersehen werden, daß die einfachen und maschinenmäßig herstellbaren Formen die billigsten und genauesten und oft auch dauerhaftesten Werkzeuge herzustellen gestatten.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Lehren. Zudem sind für Welle und Bohrung die Lehren genormt oder handelsüblich, für den Abstand zweier Ebenen sind die Meßverfahren längst erprobt. Diese einfachen Fälle erfordern folglich keine oder nur sehr einfache konstruktive Vorbereitungen für die Beschaffung der Lehren.

Die vom Konstrukteur entworfene Form jedes Einzelteiles wird in einer Zeichnung in verschiedenen Ansichten und Schnitten nach den Gesetzen der Parallelprojektion dargestellt. Nach der Zeichnung, dem alleinigen Ausdrucksmittel des Konstrukteurs, fertigt die Werkstatt, nach der Zusammenstellungszeichnung baut sie zusammen.

Die Zeichnung zeigt die Form und die Größe des dargestellten Gegenstandes. Der Größenangabe der einzelnen geometrischen Gebilde dienen die Maße.

2. Maßeinheiten.

Für die Maßangabe auf einer Zeichnung sind zwei Maßeinheiten erforderlich:

- für Längenmaße (zu denen auch Durchmesser und Halbmesser zu rechnen sind) und
- für Winkelmaße.

a) Längenmaße. Die Einheit für Längenmaße ist das Millimeter (mm). Der 1000. Teil eines Millimeters ist das Mikron (μ).

Das Millimeter ist der 1000. Teil des Pariser Urmaßstabes, der am 26. September 1889 als Urmeter erklärt wurde. Seit dieser Zeit hat sich herausgestellt, daß ein solcher Urmaßstab manche Nachteile besitzt.

Es hat sich vor allem gezeigt, daß er den in neuzeitlich eingerichteten Laboratorien erreichbaren Genauigkeiten nicht mehr genügt. Bei Vergleichsmessungen mit dem Urmeter können in der Bestimmung der Temperatur und des Wärmeausdehnungsbeiwertes auch heute noch Fehler enthalten sein, die Meßfehler in der Größenordnung von $0,5 \mu$ zur Folge haben. Ferner wurden allmähliche Längenänderungen von der gleichen Größenordnung beobachtet, deren Ursachen noch nicht ganz erforscht sind.

Es ist ferner ein großer Nachteil des Urmaßes, daß es nur einmal vorhanden ist und auch seine Nachbildungen in jedem Lande nur in einer einzigen Ausführung bestehen. Folglich können die Urmaße einer Werkstatt erst auf einem großen Umwege von dem Urmeter abgeleitet werden. Die regelmäßige Nachprüfung erfolgt auf dem gleichen Umwege und ist mit viel Aufwand verknüpft, sie kann daher nur selten vorgenommen werden. Jeder Umweg bedeutet eine Fehlerquelle und die Fehler aller Vergleichsmessungen, die vom Urmeter zum Werkstatturmaß-Satz führen, können sich addieren.

Dem Werkstatt-Techniker mögen derart kleine Fehler bedeutungslos erscheinen, doch wird man zugeben müssen, daß an ein Urmaß, auch an ein Werkstatturmaß, größtmögliche Anforderungen zu stellen sind. Werden alle Teile in der gleichen Werkstatt gefertigt, so ist es gleichgültig, ob die Maßeinheit dieser Werkstatt richtig ist oder nicht, wenn sie nur ständig gleichbleibt. Werden jedoch Teile oder auch Lehren von außerhalb bezogen, so bringt jede Abweichung von der Maßeinheit die Gefahr, daß die Teile nicht zueinander passen; die Meßunsicherheit, die ohnehin vorhanden ist, wird vergrößert, und, um mit Sicherheit austauschbare Werkstücke zu erhalten, muß die Fertigungstoleranz der Werkstücke infolge der größeren Meßunsicherheit eingeschränkt werden. Von den ohnehin schon oft sehr kleinen Werkstücktoleranzen wird sich keine Werkstatt ohne Not auch nur ein kleines Stückchen abziehen lassen wollen.

Die weite Verbreitung der Meßkunde und ihr tiefes Eindringen in die Fertigung erfordern ein Urmaß, das unveränderlich und in jedem entsprechend eingerichteten Laboratorium verfügbar ist. Ein solches Urmaß glaubt man in der Lichtwellenlänge gefunden zu haben und hat daher für das (internationale) ISA-Passungssystem festgelegt:

„Die Spektrallinie ‚Cadmium rot‘ hat (unter bestimmten, im einzelnen genau festgelegten physikalischen Bedingungen) eine Wellenlänge von $643,84\,696 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ “, d. s. $\sim 0,64 \mu$.

Die Längenmaße sind in der Werkstatt in Lehren enthalten, die bei Temperaturschwankungen maßlichen Veränderungen unterliegen. Mit Rücksicht auf die verschiedenen Ausdehnungsbeiwerte der Metalle war es notwendig, eine bestimmte Temperatur anzugeben, bei der die Lehren das vorgeschriebene Maß aufweisen. Sie ist in DIN 102 mit 20° C festgesetzt. Diese Festlegung ist für das internationale (ISA-) Passungssystem übernommen worden. Wird bei anderen Temperaturen gemessen, so müssen (bei genauen Messungen) die Unterschiede der Ausdehnungsbeiwerte berücksichtigt werden. Damit große Werkstücke beim Messen die gleiche Temperatur haben wie die Lehren, müssen beide längere Zeit im gleichen Raum bei gleichbleibender Temperatur gelagert werden. Hierzu sind bis zu 24 Stunden nötig.

Alle Maßangaben beziehen sich auf den Meßdruck Null. Bei sehr genauen Messungen, die unter einem von Null verschiedenen Meßdruck ausgeführt werden, muß auf den Meßdruck Null umgerechnet werden. Bei Vergleichsmessungen unter gleichen Bedingungen erübrigt sich diese Rechnung.

b) Winkelmaße. Die Einheit für Winkelmaße ist der Bogengrad der 360° -Teilung. Daneben sind für Winkelmaße Verhältniszahlen gebräuchlich, durch die Angabe „Kegel 1:50“ wird ausgedrückt, daß sich der Kegel auf 50 mm Länge, in der Achsrichtung gemessen, um 1 mm ver

jüngt, die „Neigung 1:10“ entspricht einem Winkel von $\text{arc tg } 0,1$ (Bogenmaß) oder $\frac{360}{2\pi} \cdot \text{arc tg } 0,1$ (Bogengrade).

3. Benennungen.

Damit im folgenden keine Mißverständnisse entstehen, seien die wichtigsten Begriffe des Toleranz- und Passungswesens festgelegt¹.

Zur Erläuterung dient Abb.1, die die gebräuchliche Darstellung von Toleranzen zeigt, bei der die Toleranzfelder vergrößert gezeichnet sind.

a) **Maß- und Toleranzwesen.** Als Maß wird der Zahlenwert für die Größe eines Körpers, z. B. für eine Länge, Breite, Höhe, Tiefe, Dicke, Weite, einen Abstand, Halbmesser, Winkel usf. in Maßeinheiten bezeichnet.

Das Istmaß ist der an einem bestimmten Werkstück vorhandene, durch Messen gefundene Zahlenwert einer geometrischen Größe,

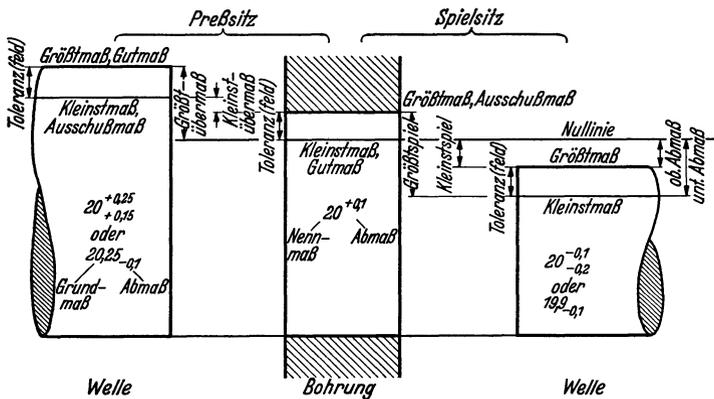


Abb. 1. Benennungen.

das Sollmaß der in einer Zeichnung oder Beschreibung vorgeschriebene Zahlenwert. Da dieser mathematisch genau weder gefertigt noch gemessen werden kann, werden an seiner Stelle meist zwei

Grenzmaße angegeben, zwischen denen das Istmaß des Werkstückes in der Fertigung beliebig ausfallen darf. Der Unterschied zwischen den beiden Grenzmaßen ist die

Toleranz².

Toleranz bedeutet in der Technik die Zulassung einer Ungenauigkeit in

¹ Im übrigen muß auf DIN 774, 775 verwiesen werden.

² Das Fremdwort „Toleranz“ ist beibehalten worden, vor allem weil es bei der internationalen Passungsnorm aus Zweckmäßigkeitsgründen gewählt wurde. Das Wort „Genauigkeit“, das statt dessen im Lehrenbau vielfach in der Zusammensetzung „Herstellungsgenauigkeit“ angewendet wird, führt zu Irrtümern, denn es gibt den reziproken Wert der Toleranz an: Eine große Genauigkeit ist gleichbedeutend mit einer kleinen Toleranz.

zahlenmäßig angegebenen Grenzen. Die Angabe einer Toleranz ist für alle meßbaren, d. h. durch Zahlenwerte ausdrückbaren, technischen Größen möglich, z. B. für die Festigkeit eines Werkstoffes (kg/mm^2), für die Dehnung (vH.), für chemische Werte (Legierungsbestandteile in vH.), für elektrische (Volt, Ampère), physikalische (Schwingungszahl in Hertz, Drehzahl in Uml./min, Einheitsgewicht in g/cm^3) oder magnetische Größen (Feldstärke in Gauß).

Ferner kann man die Genauigkeit von Messungen durch Toleranzen ausdrücken. So besagt die Angabe eines Einheitsgewichtes in der Form $2,718 \pm 0,003 \text{ g/cm}^3$, daß die Messung oder Meßreihe auf 3 Einheiten der dritten Stelle hinter dem Komma genau war. In der Werkstatt-Technik haben Toleranzen immer nur die Bedeutung von zulässigen Toleranzen, das Meßverfahren muß genauer sein, als die Werkstücktoleranz.

Das Größtmaß ist das größte zulässige Maß, auch oberes Grenzmaß genannt,

das Kleinstmaß ist das kleinste zulässige Maß, das untere Grenzmaß.

Das Toleranzfeld ist der Bereich zwischen Größt- und Kleinstmaß; man sagt beispielsweise: Das Istmaß liegt in der Mitte des Toleranzfeldes.

Das Gutmaß ist das Maß der Gutlehre, d. h. derjenigen Lehre, die sich über- bzw. einführen lassen muß. Bei Wellen ist es das Größtmaß, bei Bohrungen das Kleinstmaß.

Entsprechend ist das Ausschußmaß das Maß der Ausschußlehre, die sich nicht über- bzw. einführen lassen darf: Bei Wellen das Kleinstmaß, bei Bohrungen das Größtmaß.

b) Passungswesen. Mit Passung bezeichnet man die Beziehung zwischen den Maßen zweier zusammengehöriger Teile: Welle und Bohrung, Stück und Gegenstück.

Manchmal wird auch das Wort „Passung“ fälschlich auf das einzelne Teil ohne Bezug auf das Gegenstück angewandt, und zwar als Bezeichnung für eine genormte (DIN- oder ISA-) Toleranz. Die Toleranz wird dann nicht zahlenmäßig, sondern durch ein „Passungs“-Kurzzeichen angegeben. Streng genommen kann eine „Passung“ nur durch das irgendwie geartete Zusammen„passen“ zweier Stücke entstehen.

Der Gütegrad (DIN) und die Qualität (ISA) geben ein Maß für die Größe der Toleranz; im DIN-Passungssystem gibt es vier Gütegrade (Edel-, Fein-, Schlicht- und Grobpassung), im ISA-Toleranzsystem 16 Qualitäten, von denen die ersten vier hauptsächlich für Lehren gelten.

Zwei zueinander „passende“ Teile, z. B. Welle und Bohrung, haben entweder

Spiel, wenn die Welle kleiner als die Bohrung ist, und zwar ergibt sich aus den Grenzmaßen das

Größtspiel als der Unterschied zwischen Größtmaß der Bohrung und Kleinstmaß der Welle, und das

Kleinstspiel als der Unterschied zwischen Kleinstmaß der Bohrung und Größtmaß der Welle,

oder die beiden Teile haben

Übermaß (negatives Spiel), und zwar ergibt sich das

Größtübermaß als der Unterschied zwischen Größtmaß der Welle und Kleinstmaß der Bohrung, und das

Kleinstübermaß als der Unterschied zwischen Kleinstmaß der Welle und Größtmaß der Bohrung. Aus der Größe des Spieles oder Übermaßes ergibt sich für das Zusammenpassen der beiden Teile ein bestimmter

Sitz. Man unterscheidet Spiel-, Übergangs- und Preßsitze: Spielsitze haben immer Spiel, Übergangssitze je nach Auswirkung der Toleranzen Spiel oder Übermaß, Preßsitze haben immer Übermaß.

Unter Paßtoleranz versteht man die Toleranz der Passung zweier zusammengefügteter Teile; sie ist gleich der Summe der beiden Toleranzen und somit gleich der Spielschwankung, wobei das Spiel auch negativ (Übermaß) sein kann.

4. Schreibweise der Toleranzen.

a) **Zahlenmäßige Angabe.** Für die zahlenmäßige Angabe von Toleranzen in Zeichnungen und sonstigen Vorschriften hat sich allgemein folgende Schreibweise eingeführt, z. B.: $20^{+0,2}$. Man bezeichnet hierbei 20 als das Nennmaß und $+0,2$ als das Abmaß.

Das Nennmaß gibt die Größenordnung an. Man wird hierfür möglichst eine runde Zahl oder eine genormte Zahl nach DIN 3 oder DIN 323 wählen.

Bei Mengenfertigung wird im allgemeinen nicht mit Lehren gemessen, die das Istmaß des Werkstückes anzeigen, sondern nur mit Grenzlehren, die die Grenzmaße enthalten. Für diese Lehren und ihre Anwendung ist es gleichgültig, ob ihre Maße runde oder Bruchzahlen sind. Im übrigen ergeben sich bei den ISA-Toleranzen auch dann gebrochene Zahlen für die Lehrenmaße, wenn die Nennmaße glatte Zahlen sind.

Das Abmaß gibt die Grenze der zulässigen Abweichung an. In dem Beispiel $20^{+0,2}$ soll das Istmaß des Werkstückes zwischen den Grenzmaßen 20 und 20,2 liegen. Das Abmaß kann positiv oder negativ sein, und es können zwei Abmaße angegeben werden, die gleiche oder verschiedene Vorzeichen haben. Haben die Abmaße verschiedene Vorzeichen und sind sie gleich groß, so schreibt man z. B. $20 \pm 0,1$. Ist nur ein Abmaß angegeben, so ist als zweites stets „Null“ zu ergänzen. Man kann die Toleranz $20^{+0,2}$ auch in folgenden Formen schreiben: $20,2_{-0,2}$; $19,9^{+0,3}_{+0,1}$; $20,3_{-0,1}$; $20,1 \pm 0,1$. Alle diese Beispiele besagen das gleiche, die Schreibweise hat auf das Ausfallen der Istmaße am Werkstück keinen Einfluß. Man erkennt, daß bei der Fertigung das Nennmaß bei einigen Beispielen gar nicht erreicht werden darf.

Schreibt man beispielsweise in Abb. 1 links: $20,25_{-0,1}$ statt $20^{+0,25}_{+0,15}$,

so ist die erste Zahl (20,25) der Toleranzangabe nicht mehr gleich dem Nennmaß (20), man bezeichnet sie in diesem Fall als das Grundmaß.

Auch das Nennmaß (Grundmaß) kann gleich Null sein, beispielsweise bei einem niedrigen Arbeitsabsatz, der mit Rücksicht auf zwei verschiedene Arbeitsgänge vorgesehen wird, aber ebensogut auch verschwinden kann: $0 + 0,2$.

Welche Schreibweise soll nun im einzelnen Fall gewählt werden ?

An sich ist die Schreibweise vollkommen gleichgültig, doch wird es zweckmäßig sein, nach einer bestimmten Richtlinie zu verfahren.

Man kann die Toleranzen so schreiben, daß zusammengehörige Werkstücke die gleichen Grundmaße (= Nennmaß) haben. Abb. 1 zeigt, daß dann in vielen Fällen zwei Abmaße angegeben werden müssen: Zur Bohrung $20\varnothing^{+0,1}$ gehört beispielsweise die Welle $20\varnothing_{-0,2}^{0,1}$ oder die Welle $20\varnothing_{+0,15}^{+0,25}$.

Man kann ferner grundsätzlich \pm - Toleranzen angeben.

Wiederum ein anderer Gesichtspunkt wäre die Abnutzung der Werkzeuge. Beim Drehen einer Welle auf dem Automaten oder der Revolverbank hat die Abnutzung der Werkzeuge das allmähliche Größerwerden der anfallenden Teile im Laufe der Fertigung zur Folge und man würde sinngemäß schreiben können: $20\varnothing^{+0,2}$, für eine Bohrung entsprechend: $20\varnothing_{-0,2}$. Bei der spanlosen Formung läßt sich die Abnutzungsrichtung der Werkzeuge nicht immer eindeutig bestimmen.

Schließlich können für die Wahl der Schreibweise Überlegungen zugrunde gelegt werden, die sich auf die Lehrung beziehen. Eine Welle mit den Toleranzgrenzen $19,8\varnothing$ und $20\varnothing$ wird mit zwei Rachenlehren geprüft, die diese Maße haben. Die Lehre mit dem Maß 20 muß hinübergehen, die Lehre mit dem Maß 19,8 darf sich nicht überführen lassen. Die erste wird Gutlehre, die zweite Ausschußlehre genannt. Beim Prüfen einer Bohrung dagegen liegen die Verhältnisse umgekehrt: Der kleinere Lehrdorn muß sich einführen lassen, der größere darf nicht hineingehen, sondern höchstens anschnäbeln. Legt man nun fest, daß die Gutlehre das Grundmaß haben soll und die Ausschußlehre dem Abmaß entspricht, so muß man alle Wellen mit Minustoleranzen ($20_{-0,2}$) und alle Bohrungen mit Plustoleranzen ($19,8 + 0,2$) schreiben.

Für diese Regelung spricht noch ein weiterer Gesichtspunkt: der der „Fertigungsrichtung“ bei spangebender Formung. Wird eine Welle, für die die Toleranzgrenzen $19,8\varnothing$ und $20\varnothing$ gegeben sind, aus gewalztem Werkstoff von $22\varnothing$ abgedreht, so ist sie „noch nicht gut“ im Sinne der Toleranzvorschrift, solange sie dicker ist als $20\varnothing$. Dreht man weiter dünne Späne herunter bis auf ein Maß, das zwischen 19,8 und 20 liegt, so ist sie „gut“. Dreht man weiter, kleiner als 19,8, so wird sie „Ausschuß“, reif für den Schrott. Die „Fertigungsrichtung“ geht folglich bei der Welle nach Minus, bei der Bohrung nach Plus.

Bei der Schreibweise, die sich auf die Lehrung und auf die Fertigungsrichtung stützt, muß auf die Gleichheit der Grundmaße bei zusammengehörigen Werkstücken verzichtet werden; diese hat im allgemeinen nur für den Konstrukteur, der die Maße prüft und Bauteile miteinander vergleicht, einen gewissen Nutzen, für die Werkstatt ist sie bedeutungslos. Die Schreibweise hat den Vorzug, daß immer nur ein Abmaß geschrieben zu werden braucht und dadurch die Zeichnungsangaben übersichtlicher werden (Abb. 2). Ferner erhalten Lehren für die gleichen Grenzmaße auch die gleiche Aufschrift, dadurch wird die Wiederverwendung an anderer Stelle erleichtert.

Aus diesen Gründen wird vielfach nach der Regel verfahren, daß alle tolerierten Wellen ein negatives, alle tolerierten Bohrungen ein positives Abmaß erhalten¹.

Bei Lochabstandmaßen läßt sich eine ausgesprochene Fertigungsrichtung nicht angeben, das Maß soll vielmehr mit einer bestimmten Genauigkeit getroffen werden. Ausschub wird das Stück bei zu großer Abweichung nach beiden Richtungen. Solche Maße werden daher zweckmäßig mit \pm -Abmaßen versehen, z. B. $50 \pm 0,1$.

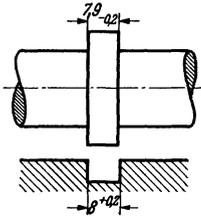


Abb. 2. Verzicht auf gleiche Grundmaße, aber nur je ein Abmaß.

Beim Abstand gleichgerichteter Flächen (*A* und *B* in Abb. 3), einem sog. Tiefenmaß, läßt sich eine Ausschubrichtung nicht bestimmen, denn das Werkstück ist nicht unbedingt Ausschub, wenn die Grenzen der Zeichnungstoleranz ($12 \pm 0,1$) über- oder unterschritten sind; durch Nachdrehen einer der beiden

Flächen kann es gerettet werden, vorausgesetzt, daß nicht andere Toleranzen ($30 \pm 0,15$) dadurch gefährdet werden.

Betrachtet man die Fläche *A* (Abb. 3) als Ausgangsfläche für die Maße 12 und 30, so geht die Fertigungsrichtung offenbar in der Abbildung nach links. Dann sind 12 und 30 als Gutmaße und 12,1 und 30,15 als Ausschubmaße anzusprechen. Würde man die Fläche *B* zum Ausgang der Fertigung nehmen, so müßte nach obiger Richtlinie geschrieben werden: $12,1 - 0,1$.

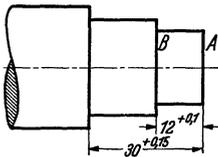


Abb. 3. Fertigungsrichtung, *A* ist Ausgangsfläche.

Abb. 4 zeigt eine Schreibweise für Symmetrietoleranzen. Der gebrochene Linienzug mit der Angabe $\pm 0,1$ bringt zum Ausdruck, daß der Schlitz 6 D11 höchstens um 0,1 mm unsymmetrisch zur Welle $20 \varnothing h5$ liegen darf. Das Nennmaß Null wird hierbei fortgelassen. Die Lage der beiden Knickstellen zeigt an, auf welche Flächen sich die Toleranz bezieht.

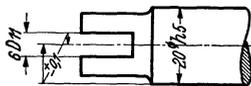


Abb. 4. Symmetrietoleranz Schlitz 6 D11 darf zur Welle $20 \varnothing h5$ nach jeder Richtung 0,1 unsymmetrisch liegen.

b) Kurzzeichen. Im DIN-Passungssystem sind Toleranzen in bezug auf die Größe und Lage zur Null-Linie für bestimmte, häufig vorkommende Zwecke genormt. Für die verschiedenen Nennmaßbereiche von 1 bis 500 mm sind

Abmaßreihen aufgestellt worden. Die Toleranz muß selbstverständlich mit wachsendem Nennmaß größer werden. Es wurde daher der Begriff

¹ Die hier und im folgenden gemachten Vorschläge für die zahlenmäßige Angabe von Toleranzen sind der Heergerätenorm HgN 106 06 entnommen; diese Schreibweise ist für Zeichnungen der Wehrmacht vorgeschrieben. Das Normblatt kann durch den Beuth-Verlag, Berlin SW19, Dresdener Str. 97, bezogen werden.

der Paßeinheit (PE) geschaffen und auf Grund langjähriger Erfahrungen die Beziehung: $1 \text{ PE} = 0,005 \sqrt[3]{D}$ festgelegt.

Man unterscheidet vier Gütegrade: edel, fein, schlicht und grob. Die Edelwelle hat das Kurzzeichen eW und ein Abmaß von $-0,75 \text{ PE}$, die Feinwelle $W = -1 \text{ PE}$, die Schlichtwelle $sW = -3 \text{ PE}$, die Grobwelle $gW = -10 \text{ PE}$. Die entsprechenden Bohrungen haben folgende Abmaße: $eB = +1 \text{ PE}$, $B = +1,5 \text{ PE}$, $sB = +3 \text{ PE}$, $gB = +10 \text{ PE}$. Diesen Wellen und Bohrungen sind verschiedene Spiel-, Übergangs- und Preßsitze mit entsprechend dem Verwendungszweck gewählten Spielen und Übermaßen zugeordnet.

Geht man von der Welle aus und ordnet dieser für die verschiedenen Sitzarten entsprechende Bohrungen zu, so erhält man das Einheitswellensystem; geht man von der Bohrung aus, so spricht man vom System Einheitsbohrung. In beiden Fällen wird von der Null-Linie ausgegangen, die im Toleranzschaubild (Abb. 1) das Nennmaß darstellt, und zwar erhält von der Null-Linie aus die Einheitswelle (eW, W, sW, gW) ein negatives, die Einheitsbohrung (eB, B, sB, gB) ein positives Abmaß. Die Darstellung in Abb. 1 gilt für Einheitsbohrung. Die verschiedenen Sitze, z. B. Preßsitz, Festsitz, Treibsitz, Gleitsitz, Laufsitz usw., unterscheiden sich durch ihren Abstand von der Null-Linie und die Größe der Toleranz. Sie werden durch Kurzzeichen (Buchstaben) auf der Zeichnung angegeben.

Im internationalen (ISA-) Toleranzsystem, das auch in die deutschen Normen aufgenommen wurde, sind im ganzen 16 Gütegrade (Qualitäten) festgelegt, von denen die ersten vier hauptsächlich für Lehren bestimmt sind. Neben der vermehrten Auswahl an genormten Toleranzen ist als wesentlicher Fortschritt die regelmäßige Stufung der Qualitäten zu betrachten: Jede Qualität ist um 60 vH. gröber als die vorhergehende. Ferner ist die Toleranz (für den gleichen Nennmaßbereich) innerhalb einer Qualität für alle Wellen und Bohrungen die gleiche (s. Zahlentafel 1), dies war beim DIN-Toleranzsystem nicht der Fall. Außerdem ist bei den Spielsitzen für den gleichen Sitz der Abstand von der Null-Linie in allen Qualitäten der gleiche. Diese genannten, wesentlichen Punkte des ISA-Toleranzsystems bedeuten eine gewaltige Vereinfachung im Aufbau des Systems.

Für die Größe der Toleranzen gilt die Beziehung:

$$i = 1 \text{ IT}^1 (\text{mm}) = 0,00045 \sqrt[3]{D} + 0,000001 D.$$

Als Faustformel kann man sich merken, daß $10i \sim 1 \text{ PE}$ ist.

Die Kurzzeichen setzen sich zusammen aus einem Buchstaben, der den Abstand von der Null-Linie (die Sitzart) kennzeichnet und für Boh-

¹ IT = Internationale Toleranz.

rungen groß, für Wellen klein geschrieben wird, und einer Zahl, die die Qualität angibt; z. B. ist h 8 eine Welle der 8. Qualität, deren Toleranz von der Null-Linie nach Minus geht; H 8 ist die Bohrung mit der gleichen Toleranz nach Plus. Die Systeme Einheitswelle und Einheitsbohrung

Zahlentafel 1. ISA-Grundtoleranzen¹.Werte in $\mu = \frac{1}{1000}$ mm.

Qualität	Nennmaßbereich mm													Toleranzen in μ
	1 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 10	über 10 bis 18	über 18 bis 30	über 30 bis 50	über 50 bis 80	über 80 bis 120	über 120 bis 180	über 180 bis 250	über 250 bis 315	über 315 bis 400	über 400 bis 500	
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	3	4	5	6	7	8	—
2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	7	8	9	10	—
3	3	3	3	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	—
4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	—
5	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	≈ 7
6	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	10
7	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	16
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	25
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	40
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	64
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	100
12	90	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	160
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	250
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550	400
15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500	640
16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000	1000

sind beibehalten. Das ISA-System gestattet in höherem Maße als das DIN-System eine beliebige Paarung von Wellen und Bohrungen aus verschiedenen Qualitäten.

Der Konstrukteur sollte sich, soviel wie irgend möglich, der Toleranzkurzzeichen bedienen, sofern die Anwendung genormter und handelsüblicher Lehren möglich ist. In vielen Fällen wird dies nicht nur bei Rundpassungen, sondern auch bei Flachpassungen möglich sein. Auch bei zahlenmäßiger Angabe ist die Anlehnung an die ISA-Toleranzen zu empfehlen, weil dadurch die Maße der Sonderlehren gegeben sind.

5. Maßeintragung.

Es ist keineswegs gleichgültig, in welcher Weise die Maße in die Gerätzeichnung eingetragen werden, ob sie von dieser oder jener Werk-

¹ Nach DIN 7151. Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das beim Beuth-Verlag, G. m. b. H., Berlin SW 19, erhältlich ist.

stückkante ausgehen, ob eine Lochreihe gleich einer Kette von Loch zu Loch bemaßt wird oder die Abstandmaße für alle Bohrungen einzeln von einer gemeinsamen Ausgangsfläche aus angegeben werden. Dies gilt ganz besonders für Maße, die mit bestimmter Genauigkeit gefertigt und folglich mit Toleranzen versehen werden müssen.

Für die Art der Maßeintragung sind drei Gesichtspunkte richtunggebend:

1. Funktion,
2. Fertigung (Werkzeugmaschine, Vorrichtung, Werkzeug),
3. Prüfung (Lehre).

Es kommt oft vor, daß diese drei Punkte ganz verschiedene Arten der Maßeintragung erfordern, und es ist die Aufgabe des Konstrukteurs, einen Mittelweg zu finden, so daß das Teil seinen Zweck erfüllt und wirtschaftlich gefertigt und geprüft werden kann.

Die Forderungen, die die Funktion berühren, sind dem Konstrukteur von vornherein geläufig. Als Schöpfer der Konstruktion wird er sofort sagen können, welches bei dem einzelnen Teil die funktionstechnisch richtige Maßeintragung wäre. Aber es ist notwendig, daß bei der Fertigung auch die angegebenen Maße unmittelbar ohne Umwege entstehen. Die Gründe für diese Notwendigkeit werden noch eingehend dargelegt. Ferner ist es einleuchtend, daß bei jedem Arbeitsgang das Maß so gemessen werden muß, wie es gefertigt wird; doch nicht immer ist mit dem besten Fertigungsverfahren auch das beste Meßverfahren gegeben.

Abb. 5 zeigt ein ganz einfaches Gerätteil, an dem diese Beziehungen studiert werden können. Zunächst sei angenommen, daß das Maß R für die Funktion von Wichtigkeit ist.

Die Werkstatt wird zuerst die Flächen 1 und 2 bearbeiten oder gezogenes Halbzeug verwenden. Die Fertigung der Fläche 3 nach dem Maß R wird mit einer einfachen Vorrichtung (Schraubstock mit Sonderbacken) auf einer Waagrecht-Fräsmaschine oder Kurzhobelmaschine erfolgen, während das Werkstück auf der Fläche 1 aufliegt. Um das Maß R möglichst genau zu erreichen, muß man das Werkzeug jedesmal auf der Fläche 2 aufsitzen lassen und dann den Tisch um den Betrag R heben. Das ist bei Mengenfertigung unwirtschaftlich.

Würde man in Anlehnung an die Maßangabe R im Maschinenschraubstock eine Anlage für die Fläche 2 schaffen, so hätte das den Nachteil, daß die senkrechte Teilkraft des Schnittdruckes allein von der Reibung an den Schraubstockbacken aufgenommen werden muß. Die andere Möglich-

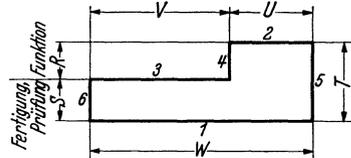


Abb. 5. Funktions-, Fertigungs- und Prüfmaße.

keit, in einer Vorrichtung auf die Fläche 1 gegen eine feste Anlage für Fläche 2 zu spannen, ist ebenfalls unvorteilhaft. Es wird gegen eine Hauptregel des Vorrichtungsbaues verstoßen: Das Werkzeug arbeitet gegen die Spannung, der Schnittdruck sucht das Stück von der Auflagefläche 2 abzuheben. Dies hat zur Folge, daß mit geringerem Vorschub und mit größerer Toleranz gerechnet werden muß.

Fertigungstechnisch richtiger ist demnach die Auflage auf der Fläche I. Bei bleibender Einstellung des Werkzeugmaschinentisches entsteht nicht das Maß R , sondern das Maß S . Diese Art der Maßeintragung hat auch für die Messung Vorteile, denn das Maß S ist ein Wellenmaß und kann mit einer Rachenlehre gut und mit großer Meßsicherheit geprüft werden. Das fertige Werkstück kann zwar erst gemessen werden, nachdem es der Vorrichtung entnommen ist; aber dies ist ein Nachteil, der bei Mengenfertigung unwesentlich ist und selten vermieden werden kann. Das Maß R dagegen ist ein Tiefenmaß, die Messung ist schwieriger und unsicherer. Dazu kommt noch, daß für S eine normale Rachenlehre anwendbar ist, während R eine Sonderlehre erfordert.

Man erkennt, daß aus fertigungs- und lehrentechnischen Gründen die Maßeintragung S vorteilhafter ist. Dann entsteht aber das für die Brauchbarkeit wichtige Maß nicht unmittelbar, sondern mittelbar über das Hilfsmaß T , und es ist $R = T - S$.

Für jedes dieser Maße T und S braucht die Werkstatt eine Fertigungstoleranz. Nimmt man für beide Maße ein Abmaß $-0,1$ an, so kann in den äußersten Fällen

T entweder gleich T oder gleich $T - 0,1$ und

S entweder gleich S oder gleich $S - 0,1$ werden. Dann kann R in einem Grenzfall gleich

$T - (S - 0,1) = R + 0,1$, im anderen gleich

$(T - 0,1) - S = R - 0,1$ werden, d. h. R kann um $0,2$ mm schwanken. Man sieht, daß sich die Toleranzen addieren. Der Vorteil besserer Fertigung und Messung wurde damit erkaufte, daß an Stelle einer großen ($0,2$) zwei kleine ($0,1$) Toleranzen vorgeschrieben sind. Man wird trotzdem diese Maßeintragung wählen, wenn das Maß T ohnehin toleriert werden muß.

Wenn aber die Funktionstoleranz von R sehr klein sein muß, so klein, daß die Einhaltung der sich daraus durch Aufteilung ergebenden Toleranzen von S und T mit gewöhnlichen Fertigungsmitteln Schwierigkeiten macht und zuviel Ausschub ergibt, dann wird nichts anderes übrigbleiben, als R und T einzutragen und eine verwickeltere Vorrichtung in Kauf zu nehmen. Wenn das letzte an Verbilligung herausgeholt werden soll, kann nur eine genaue Kostenrechnung und Gegenüberstellung der beiden Verfahren entscheiden. Bei dieser Rech-

nung spielt selbstverständlich die zu fertigende Stückzahl eine wesentliche Rolle.

Bei der Fläche 4 ist für die Fertigung und Prüfung die Maßangabe U zweckmäßiger als V . Dies ergibt eine einfache Überlegung an Hand des vorstehenden. Es ist jedoch nicht zweckmäßig, beide Maße U und V einzutragen, wenn außerdem noch die Summe W (als Gesamtmaß des Stückes) notwendig ist. Wird eines von diesen Maßen einmal geändert, so muß stets ein zweites mitgeändert werden, und dies ist eine unerschöpfliche Quelle von Fehlern. Aus dem gleichen Grunde sollte auch jedes Maß nur einmal eingetragen und nicht in verschiedenen Ansichten und Schnittdarstellungen wiederholt werden.

Ausnahmen von dieser Regel sind nur bei sehr verwickelten Stücken zur Verdeutlichung der Zeichnung zu empfehlen. Die Werkstatt gewöhnt sich erfahrungsgemäß sehr schnell an diese Gepflogenheit. Voraussetzung ist, daß die

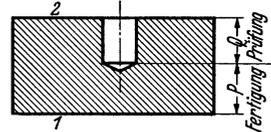


Abb. 6. Fertigungs- und Prüfmaß.

Maße dort angegeben werden, wo sie am ehesten gesucht werden.

Ein weiteres Beispiel zeigt Abb. 6, eine Bohrungstiefe. Für die Fertigung mag das Maß P zweckmäßiger erscheinen: Auflage auf der Fläche 1 und fester Anschlag an der Bohrmaschine. Eine Lehre für P würde aber so verwickelt werden, daß unbedingt Maß Q vorzuziehen ist, vor allem dann, wenn aus Funktionsgründen eine große Toleranz zugelassen werden kann.

Bei der Maßeintragung in einer Werkstückzeichnung wird man nach vorstehendem zweckmäßig so vorgehen, daß man sich zunächst über alle Funktionsmaße und die hierfür erforderlichen Toleranzen Klarheit verschafft; sodann wird festzustellen sein, welche Maße als Zusammenbaumaße von Wichtigkeit sind und eine Toleranz erhalten müssen. Hierbei kann sowohl an den Zusammenbau bei der Fertigung als auch an austauschbare Ersatzteile gedacht werden.

Nachdem das geschehen ist, ist es eine unumgängliche Notwendigkeit, daß entweder der Konstrukteur selbst oder das Arbeitsvorbereitungsbüro in großen Zügen und wenigstens in Gedanken einen Fertigungsplan aufstellt; bei verwickelten Werkstücken ist es sehr zu empfehlen, den Fertigungsplan in Stichworten zu Papier zu bringen, damit der richtige Ablauf der Arbeitsgänge sichergestellt ist. Ja, es wird sogar manchmal notwendig sein, wichtige Vorrichtungen und Lehren in ein paar Strichen zu skizzieren.

Bei dieser Arbeit wird sich dann sehr häufig herausstellen, daß die Maßeintragung und Tolerierung, so wie sie für Funktion und Zusammenbau vorläufig ermittelt waren, nicht so bleiben können, sondern daß Maßumschreibungen notwendig werden, bei denen dann eine Aufteilung der gegebenen Toleranzen eintritt.

Beim Vorrichtungsbau für spangebende Formung ist der Gedankengang außerordentlich einfach; er kehrt, mit kleinen Abweichungen, immer wieder:

1. Ausgangsfläche (Fläche, Bohrung, Zapfen usw.),
2. Spannmöglichkeit,
3. Bearbeitung und Genauigkeit.

Bei der spanlosen Formung ist er ganz ähnlich, meist fällt dann noch Punkt 2 fort. Beim Lehrenbau heißt es: Ausgangsfläche, Meßvorgang, Genauigkeit.

Aus den vorstehenden Darlegungen und aus den danach an praktischen Beispielen durchgeführten Betrachtungen wird man zwei wichtige Erkenntnisse für die Bemaßung von Werkstattzeichnungen schöpfen.

1. Jedes Maß hat zwei Enden, die äußerlich so aussehen, als ob sie gleichartig und gleichberechtigt seien. Doch das ist nicht so! Viele

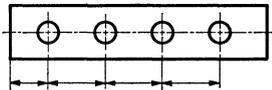


Abb. 7. Lochreihe, Kettenmaße.

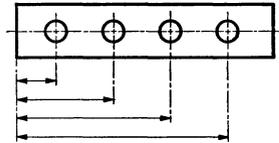


Abb. 8. Lochreihe, Maßangabe von einer Fläche aus.

Maße laufen in einer bestimmten Richtung, sie führen von einer irgendwie gestalteten Fläche zu einer anderen und nicht umgekehrt, wobei die erste Fläche bereits fertig ist und die zweite zu fertigen ist. Ein Beispiel hierfür ist das Maß S in Abb. 5: Es führt von der Fläche 1 auf die Fläche 3. Als weiteres Beispiel sei das Maß von einer Fläche zu einer Bohrung genannt. Diese Eigenschaft besitzen nicht alle Maße, z. B. Wellen- und Bohrungsdurchmesser.

2. Daraus folgt: Durch die Art der Maßeintragung wird die Reihenfolge und Art der Fertigungsgänge bis zu einem gewissen Grade festgelegt. Wird ein toleriertes Maß bei der Fertigung auf Umwegen erreicht, so muß die Toleranz der Zeichnung aufgeteilt werden.

Nunmehr wird man erkennen, daß es nicht richtig ist, eine Lochreihe so zu bemaßen, wie in Abb. 7 angedeutet, sobald es auf die Lage der Bohrungen irgendwie ankommt und Toleranzen eingeschrieben werden müssen. Für die Vorrichtung ist eine gemeinsame Ausgangsfläche oder -bohrung notwendig; dies wird bei der Bemaßung nach Abb. 8 zum Ausdruck gebracht.

Der Einwand, daß die Genauigkeit in der Bohrvorrichtung liege und von der Art der Maßeintragung nicht beeinflußt werde, versagt, wenn

man beginnt, Toleranzen einzutragen, und bedenkt, daß sie sich am Ende der Kette addieren.

Für die Arbeitsvorbereitung (Aufstellung der Fertigungspläne, Entwurf der Vorrichtungen, Werkzeuge und Lehren) und für die Fertigung ist von großem Wert, wenn für möglichst viele Maße die gleichen Ausgangsflächen, -bohrungen oder -zapfen benutzt werden. Diese Flächen sollen möglichst groß sein und die sichere Aufspannung während des Arbeitsganges ermöglichen, ohne daß das Werkstück verspannt wird. Mitunter wird man besondere Flächen vorsehen müssen, die für den Verwendungszweck des Teiles nicht erforderlich sind oder später weggearbeitet werden müssen.

Die Beurteilung der Maßeintragung vom fertigungstechnischen Standpunkt fällt anders aus, wenn mit Formwerkzeugen (Formfräser, Satz-

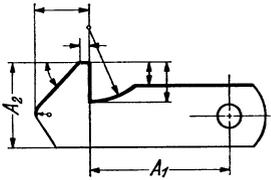


Abb. 9. Sperrhaken. A_1 , A_2 = Ausgangsmaße für Formwerkzeug. Die zu fertigende Form ist dick ausgezogen.

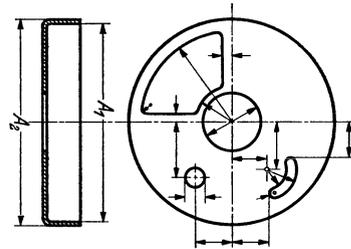


Abb. 10. Stanzteil. A_1 oder A_2 = Ausgangsfläche, daher Bemaßung von den Mittellinien aus.

fräser, Formstahl) oder mit Schnittwerkzeugen (Folgeschnitt, Blockschnitt) gearbeitet wird. Dann wird es zweckmäßiger sein, die Maße in Anlehnung an die Werkzeugzeichnung, innerhalb der Werkzeugform, anzugeben, und nicht alle Maße von einer Fläche aus. Die angegebenen Toleranzen sind dann wertvolle Anhaltspunkte für den Werkzeugkonstrukteur, der so in der Lage ist, die Toleranzen unmittelbar in das Werkzeug hineinzuarbeiten, z. B. das Durchmesser Verhältnis eines Fräsersatzes oder die Form eines Schnittstempels. Dies gilt freilich nur, wenn nicht schwerwiegende funktions- und lehrentechnische Bedenken entgegenstehen. Ausgangsmaße für die Bearbeitung werden jedoch auch in diesem Falle notwendig sein. Beispiele hierfür zeigen Abb. 9 und 10.

Manchmal wird die Frage Schwierigkeiten verursachen, ob ein Teil in Gebrauchslage (Funktions-) oder in Fertigungslage darzustellen und zu bemaßen ist. Im allgemeinen wird die Fertigungslage vorzuziehen sein, denn es empfiehlt sich nicht, ein Teil schief liegend zu zeichnen und durch waagerechte und senkrechte Koordinaten zu bemaßen. Die Gebrauchslage ist dann vorzuziehen, wenn sehr enge Toleranzen erforderlich sind und die Funktionsmaße nur auf diese Art richtig wiedergegeben werden können. Dann muß eine unbequemere Fertigung und Prüfung in Kauf genommen werden.

6. Welche Maße sind zu tolerieren?

Der Konstrukteur, der eine Werkstattzeichnung für ein Gerätteil anfertigt, muß sich beim Einschreiben der Maße darüber klar sein, daß kein Maß mathematisch genau eingehalten wird. Diese Vorstellung ist die wichtigste Voraussetzung für toleranztechnisches Denken. Für die Fertigung braucht die Werkstatt stets eine gewisse Toleranz, zwei konkrete Zahlenwerte, innerhalb deren die Werkstücke beliebig ausfallen dürfen.

Damit ist nicht gesagt, daß jede Toleranz in der Zeichnung angegeben werden muß. Im allgemeinen wird man nur die Maße tolerieren, die für die Brauchbarkeit und Austauschbarkeit des Werkstückes wichtig sind.

Es sei an dieser Stelle davor gewarnt, aus Überängstlichkeit vor Entgleisungen der Werkstatt allzu viele Maße mit Toleranzen zu versehen. Das ist auch dann noch unwirtschaftlich, wenn die Toleranzen so groß wie irgend möglich gewählt werden. Denn in den meisten Werkstätten wird für jedes tolerierte Maß eine Grenzlehre eingesetzt und — ganz richtig — rücksichtslos jedes Werkstück verworfen, daß dieser Lehre nicht genügt.

Im wesentlichen werden bis jetzt meist nur Längenmaße toleriert; Winkeltoleranzen, Angaben über Parallelität, Rechtwinkligkeit, Radialschlag, Stirnschlag usw. werden verhältnismäßig selten angewandt. Das ist als ein Mangel anzusehen.

Damm¹ hat den interessanten Versuch unternommen, auch für diese Größen Toleranzzeichen zu schaffen. Allein es muß auch hier vor Übertreibungen gewarnt werden, um den Lehrenpark nicht übermäßig anschwellen zu lassen und die Fertigung nicht zu sehr einzuengen. Denn ein Stück wird oft nicht schon dadurch unbrauchbar, daß eine von vielen voneinander abhängigen Toleranzen überschritten wird, solange die Überschreitung durch einseitige Einengung oder auch Überschreitung einer anderen Toleranz ausgeglichen wird². Für die Werkstatt gilt aber jede Toleranz für sich als eine Vorschrift.

Es erscheint zweckmäßiger und bequemer, eine Funktionslehre zu bauen, die alle diese Einzeltoleranzen in ihrer Gesamtauswirkung nachzuprüfen gestattet; in der Gerätzeichnung muß auf diese Lehre hingewiesen werden. Für eine Kurbelwelle beispielsweise kann man sich diese Lehre als eine Nachbildung des Kurbelgehäuses denken, deren Maße so gewählt sind, daß die Austauschbarkeit gewährleistet ist. Dementsprechend würde die Funktionslehre für das Kurbelgehäuse die Form (lehrenfertigungstechnisch vereinfacht) der Kurbelwelle haben.

Toleranzen für Parallelität, Rechtwinkligkeit, Stirnschlag usw. sind im Grunde nichts anderes als Winkeltoleranzen, bei denen das Nennmaß 0° , 90° oder 180° ist. Radialschlag ist eine Abweichung von der Symmetrie (S. 8).

Alle Winkeltoleranzen erfordern eine gewisse Vorsicht: Man rechne die Auswirkung der Toleranz am Ende des kürzesten Schenkels des Winkels in Millimeter um, um sich über die Größe der Winkeltoleranz Klarheit zu verschaffen.

¹ Siehe Schrifttum Nr. 11.

² Es darf z. B. in gewissen Grenzen ein Kurbelzapfen mehr schiefstehen, wenn er entsprechend dünner ist.

Ferner kommt es bei verwickelten Werkstücken mit Winkelmaßen leicht vor, daß eine Fläche des Werkstückes überbestimmt wird; die beste Gegenkontrolle ist das Aufzeichnen nach den Regeln der elementaren Geometrie mit den gegebenen Maßen; hierbei stellt sich heraus, welche Maße überflüssig sind.

Nach dem Zweck und der Wichtigkeit der Maße und im Hinblick auf die Tolerierung können unterschieden werden:

a) Maße, die für das richtige Wirken aller Teile des Gerätes entscheidend sind. Dieses Wirken kann sich sowohl auf das Teil für sich als auch auf eine Anzahl ineinandergreifender und zusammenwirkender Teile beziehen. Es kann beeinflußt werden:

1. durch die geometrischen Abmessungen des Einzelteils mit Bezug auf das kinematische Zusammenarbeiten mit anderen Teilen.

Beispiel: Länge eines Hebelarms.

2. durch Maße, die für die statische oder Wechselfestigkeit bedeutsam sind.

Beispiele: Wanddicke eines Hochdruckgefäßes, Durchmesser eines Gewindefreistiches.

3. durch Maße, die für Gewicht, Rauminhalt, Federkraft, Trägheitsmoment, Auswuchtung usw. bedeutsam sind.

Beispiel: Gewicht und Schwerpunktlage eines Geschosses.

Oft empfiehlt es sich, die unter 2. und 3. genannten Größen nicht durch Maßtoleranzen festzulegen, sondern durch Toleranzen für diese Größen selbst.

Das Federschaubild einer Schraubenfeder beispielsweise ist nicht allein vom Drahtdurchmesser, dem Windungsdurchmesser und der Windungszahl abhängig, sondern auch vom Elastizitätsmodul des Werkstoffes, der Schwankungen unterliegt. Diese Schwankungen sind dem Konstrukteur meist nicht bekannt, er müßte sie aber berücksichtigen, wenn er ein Schaubild, das in bestimmten Grenzen liegt, erreichen will. Daher ist es besser, die Federkraft bei bestimmter Federlänge (oder die Länge bei bestimmter Kraft) zu tolerieren und es dem Hersteller zu überlassen, wie er z. B. durch Wahl der Drahtdicke die Schwankungen der Werkstoffeigenschaften ausgleicht.

Eine Gewichtstoleranz erfordert oft sehr kleine Maßtoleranzen, die die Fertigung unnötig erschweren; das Endergebnis kann dennoch unsicher bleiben wegen kleiner Schwankungen im Einheitsgewicht des Werkstoffes. Wenn nur eine sehr kleine Gewichtstoleranz zulässig ist, ist es deshalb besser, an einer Stelle des Stückes solange nachzuarbeiten, bis das Gewicht innerhalb der Sollgrenzen liegt. Die übrigen Maßtoleranzen können dann erheblich größer gewählt werden.

Ebenso kann eine Fahrzeugachse besser durch die elastische oder bleibende Formänderung bei bestimmter Belastung geprüft werden, anstatt eine große Anzahl von Maßen zu tolerieren.

In diesem Zusammenhang müssen auch die Größen genannt werden, die durch Maße überhaupt nicht beeinflußt werden, z. B. die Festigkeit und Bruchdehnung des Werkstoffes, für die in den Werkstoffnormen Grenzen angegeben sind, die Härte, für die bei den verschiedenen Prüfverfahren Toleranzen vorgeschrieben werden können und weiterhin alle Werkstoffeigenschaften, Korrosionsfestigkeit, Verschleißfestigkeit, Eigenschaften von Farbanstrichen, Astfreiheit von Holzteilen usw., soweit hierfür Prüfverfahren vorhanden sind und Vorschriften gemacht werden müssen.

b) Maße, die für den Zusammenbau des Gerätes entscheidend sind, und zwar:

1. den einmaligen Zusammenbau bei der Herstellung,
2. den wiederholten Zusammenbau beim Gebrauch.

Beispiele: Nähmaschinenschiffchen, Verschuß für den Brennstoffbehälter am Kraftfahrzeug.

3. den Ersatz unbrauchbar gewordener Teile oder Baugruppen.

Beispiel: Mikrophonhose beim Fernsprecher.

c) Hilfsmaße für die Fertigung, die für die ein- oder mehrmalige Aufnahme in Vorrichtungen besonders geeignet, aber weder für das Wirken noch für den Zusammenbau von Wichtigkeit sind.

Wird ein solches Maß toleriert, so muß es als Hilfsmaß gekennzeichnet werden; sonst wird das Fertigungsverfahren einseitig festgelegt, und bei Abweichungen von dem gedachten Fertigungsverfahren unwichtige Maße unnötig genau gefertigt oder sogar Werkstücke verworfen, die vollkommen brauchbar sind. Wenn die Frage nicht vorher mit der Betriebsleitung besprochen werden kann, ist es besser, das Aussuchen eines geeigneten Maßes der Arbeitsvorbereitung zu überlassen.

d) Freie Baumaße, die weder für das Wirken noch für den Zusammenbau, noch für die Fertigung von irgendwelcher Bedeutung sind.

Beispiele: Griffdurchmesser einer Handkurbel, Wanddicke eines wenig beanspruchten Teiles.

Es kann keine grundsätzliche Richtlinie dafür angegeben werden, welche von den unter a) bis d) aufgeführten Maßen in der Zeichnung eine

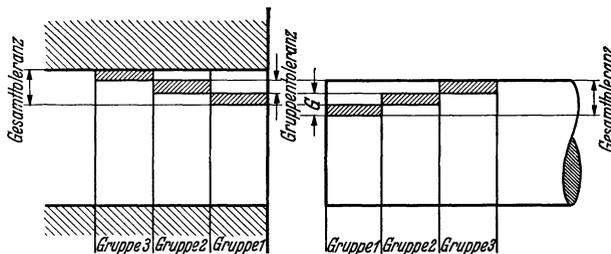


Abb. 11. Aussuchen durch Gruppenbildung.
Kleinstspiel = 0, Größtspiel = G.

Toleranzangabe erhalten sollen. Die Beantwortung dieser Frage hängt von der zu fertigenden Stückzahl und von den besonderen Verhältnissen der fertigenden Werkstatt, insbesondere auch von der werkstattüblichen Genauigkeit bei nichttolerierten Maßen ab.

Im allgemeinen wird man Maße, die für das Wirken und den Zusammenbau wichtig sind, tolerieren, freie Baumaße dagegen nicht.

Toleranzen können vermieden oder erheblich vergrößert werden durch:

1. *Aussuchen*. Beim Zusammenbau werden zusammenpassende

Stücke ausgesucht. Will man hierbei das „Passen“ nicht dem Gefühl des Aussuchenden überlassen, so können die Einzelteile in mehrere Gruppen eingeteilt und vorgeschrieben werden, welche Gruppen zusammengehören. In Abb. 11 sind Wellen und Bohrungen in je drei Gruppen geteilt und Wellen der Gruppe 1 dürfen nur mit Bohrungen der Gruppe 1 zusammengefügt werden. Die Teilzeichnungen geben in diesem Falle die zulässige Toleranz der Einzelteile, die Zusammenbauzeichnung die zulässigen Spiele oder Übermaße an; daraus ergibt sich die Anzahl der Gruppen von selbst. Bei diesem Verfahren ist Bedingung, daß die Toleranzfelder beider Teile gleich groß sind.

2. *Nacharbeit (Anpassen)*. Wenn die Nacharbeit von Hand vorgenommen werden muß, ist sie sehr von der Sorgfalt und dem Können des Arbeiters abhängig. Sie erfordert daher eine besondere Nachprüfung. Eine nachträgliche Maschinenbearbeitung zusammengebauter Teile kann jedoch oft sehr vorteilhaft sein.

Häufig wird das eine Stück toleriert und das andere zugepaßt, oder es werden beide Teile grob so toleriert, daß nur noch wenig nachzuarbeiten ist.

Aussuchen und Nacharbeit können nur vom wirtschaftlichen Standpunkt aus beurteilt werden. Sie lohnen sich um so weniger, je größer die Stückzahl und je größer die Toleranzen sind. Es kann nicht ausgesucht oder nachgearbeitet werden, wenn mit Rücksicht auf Ersatzteile unbedingte Austauschbarkeit gefordert werden muß.

Bei Massenfertigung muß oft auf die Prüfung aller Teile verzichtet werden. Wenn mit der Prüfung eine Beschädigung oder Zerstörung des Teiles verbunden ist (Festigkeit, Schliffbild, Härte), können ohnehin nur wenige Teile einer Prüfung unterzogen werden, von denen dann auf die Eigenschaften der übrigen geschlossen werden kann.

Bei der teilweisen Prüfung können immer Teile durchschlüpfen, die den Toleranzvorschriften nicht entsprechen. Man kann dann, um sicherer zu gehen, diese Toleranzen etwas kleiner wählen.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß zwei oder mehrere ungünstig liegende Istmaße zusammenkommen, ist immer sehr klein; deshalb brauchen die Befürchtungen in dieser Hinsicht nicht übertrieben zu werden (vgl. Abschn. I 10c, S. 23).

7. Größe der Toleranzen.

Jede Toleranz sollte so groß bemessen werden, daß eine Überschreitung das Teil wirklich unbrauchbar macht. Dies gilt auch dann, wenn mit den vorhandenen Maschinen ohne Schwierigkeit kleinere Toleranzen eingehalten werden können; denn es muß verhindert werden, daß Werkstücke verworfen werden, die zwar der Toleranzvorschrift nicht entsprechen, aber doch noch brauchbar sind. In jedem Fall hat eine Toleranzvergrößerung eine Verbilligung der Fertigung zur Folge. Abb. 12 zeigt, in welchem Maße der Preis mit kleiner werdender Toleranz ansteigt.

Fast jeder Konstrukteur erliegt anfänglich der Versuchung, zu kleine Toleranzen einzutragen. Es ist gewiß bequemer, hundertstel und tausendstel Millimeter zu

fordern, als in jedem einzelnen Falle zu überlegen, wie weit man gehen kann. Durch diese Bequemlichkeit wird die Verantwortung für das einwandfreie Arbeiten des Gerätes abgewälzt und dafür nutzlos der Werkstatt unabsehbare Schwierigkeiten aufgebürdet und Volksvermögen vergeudet. Hat der Betrieb aber erst einmal gemerkt, daß es mit den kleinen Toleranzen nicht so ernst gemeint ist, dann wird man bald Stücke eingebaut finden, die tatsächlich nicht zu gebrauchen sind.

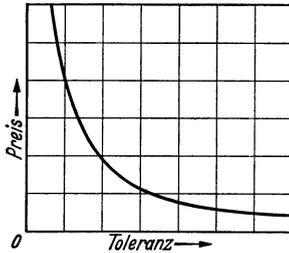


Abb. 12. Beziehung zwischen Preis und Toleranz.

Werden auf Grund sorgfältiger Überlegung oder einer Toleranzuntersuchung (Abschnitt 10) sehr kleine Toleranzen als unumgänglich notwendig ermittelt, so ist zu überlegen, ob nicht eine — oft gering-

füüge — Konstruktionsänderung Abhilfe bringen kann.

Man wird bei der Beschäftigung mit Toleranzen auch feststellen müssen, daß manche Konstruktionseinzelheit toleranztechnisch nicht beherrscht werden kann und somit konstruktiv falsch ist. Ein Beispiel zeigt Abb. 13. Es kann nun einmal nicht erreicht werden, daß diese beiden starren Teile im Kegel und am Bund gleichzeitig tragen, und wenn die Toleranzen noch so klein gemacht werden. Es ist auch schon vorgekommen, daß eine Platte mit drei solcher Kegelbohrungen auf drei entsprechenden Stiften des Unterbaus gleichzeitig einwandfrei sitzen sollte!

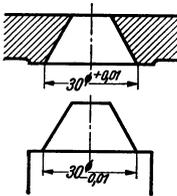


Abb. 13.
Toleranztechnisch
falsche Konstruktion.
Entweder sitzt der Kegel
auf oder die Stirnfläche,
aber nie beide
gleichzeitig.

8. Nichttolerierete Maße.

Bei der Frage, ob toleriert werden soll oder nicht, drängt sich immer wieder die Gegenfrage auf: was fertigt die Werkstatt, wenn keine Toleranz angegeben ist?

Dann gelten die werkstattüblichen Toleranzen, die meist nicht festgelegt sind und je nach dem Werkstoff, dem Fertigungsverfahren und der Größe der Teile sehr verschieden groß sein können.

Das Heereswaffenamt hat durch die Herausgabe der Heergerätnorm HgN 113 29 im Jahre 1931 den Versuch gemacht, das Problem der nicht-tolerierten Maße einer Lösung näherzubringen. Es sind „zulässige Abweichungen für Maße ohne Toleranzangabe“ festgelegt nach den drei Gesichtspunkten: Werkstoff, Fertigungsverfahren und Größe des Maßes¹.

Selbstverständlich kann ein solcher Versuch, der für alle Arten von Heergerät vom groben Maschinenbau bis zur Feinmechanik Gültigkeit haben soll, nicht restlos befriedigen. Es ist jedoch zu bedenken, daß eine Vorschrift, die allen Teilgebieten gerecht werden will, sehr umfangreich werden müßte. Andererseits wurde der gänzliche Mangel einer solchen Vorschrift beim Waffenamt besonders schwer empfunden, weil bei Heergerät mit gleichzeitiger Fertigung an verschiedenen Stellen

¹ Das Blatt kann durch den Beuth-Verlag, Berlin SW 19, Dresdner Str. 97, bezogen werden.

gerechnet werden muß und eine besonders sorgfältige Abnahme nötig ist, die sich bis in alle Einzelheiten erstreckt.

Jede derartige Vorschrift wird aber auch zur Folge haben, daß Maße, für die größere Toleranzen als die angegebenen zulässig sind, wieder toleriert werden müssen, z. B. die Bohrtiefe von Sacklöchern.

Das Normblatt HgN 113 29 ist in den DIN-Mitteilungen vom 7. April 1932 veröffentlicht worden, seine Erhebung zur Dinorm scheiterte jedoch daran, daß in der Privatindustrie durch übersteigerte Ansprüche des Bestellers wirtschaftliche Schädigungen des Herstellers befürchtet wurden.

9. Oberflächenzeichen.

Auch die Oberflächenzeichen nach DIN 140 stellen eine Art Toleranz dar, die jedoch mit der Maßtoleranz grundsätzlich nichts zu tun hat und davon unabhängig ist. Es kann beispielsweise eine Welle mit sehr großer Maßtoleranz hochglanzpoliert werden, andererseits ist eine Edeltoleranz nicht mit einem Schruppschnitt zu erreichen, abgesehen davon, daß die Unebenheiten der Oberfläche wahrscheinlich die Passungstoleranzen überschreiten würden, und daß eine solche Toleranz schwer einwandfrei meßbar und konstruktiv sinnlos ist. Abgesehen von diesem Zusammenhang muß die Oberflächengüte unabhängig von der Toleranz in jedem einzelnen Falle zum Gegenstand einer Überlegung gemacht werden.

Die Oberflächenzeichen nach DIN 140 legen die zulässigen Unebenheiten und Rauigkeiten, die durch das Fertigungsverfahren bedingt sind, in groben Zügen fest. Durch eine bestimmte Oberflächengüte wird daher die Zahl der möglichen Fertigungsverfahren eingeschränkt. Eine Vorschrift für das Fertigungsverfahren wird dagegen nur bei wörtlicher Angabe in der Zeichnung (z. B. schleifen) gemacht. Im übrigen bleibt es dem Betrieb überlassen, für eine bestimmte Oberflächengüte das wirtschaftlichste Verfahren zu wählen.

Leider ist noch kein Verfahren zur Prüfung der Oberflächengüte so weit entwickelt, daß eine zahlenmäßige Angabe dafür gemacht werden kann. Das Heereswaffenamt hat deshalb Mustertafeln herausgegeben, die an einzelnen Stücken die Mindestgüte für ein bestimmtes Oberflächenzeichen bei verschiedenen Bearbeitungsverfahren zeigen und bei der Abnahme zum Vergleich benutzt werden.

10. Toleranzuntersuchungen.

Unter einer Toleranzuntersuchung versteht man die zahlenmäßige Untersuchung der Grenzfälle, die sich als Summe einer Kette von Toleranzen ergeben können. Hierbei kann sich die Untersuchung entweder auf die Toleranzen eines Stückes oder mehrerer zusammengehöriger Stücke beziehen.

Toleranzuntersuchungen sind ferner praktische Versuche, die die Ermittlung zweckmäßiger Toleranzen für einen Sonderfall zum Ziele haben.

a) **Erster Hauptsatz.** Eine rechnerische Toleranzuntersuchung wurde

bereits auf S. 12 durchgeführt. Hierbei wurde die Beobachtung gemacht, daß die Toleranzen der Maße S und T zusammengezählt werden müssen, obgleich die Maße selbst voneinander abgezogen werden. Diese Erscheinung trifft auch für längere Toleranzketten zu und läßt sich allgemein im 1. Hauptsatz des Toleranzwesens zusammenfassen:

Die Summentoleranz einer Toleranzkette ist gleich der Summe der Toleranzfelder der Kettenglieder.

Bei der algebraischen Summierung (Addition oder Subtraktion) mehrerer tolerierter Maße wird also stets die Endtoleranz größer und es ist gleichgültig, welche Vorzeichen die Rechenoperation und die Abmaße der Summanden haben, d. h. es müssen die absoluten Beträge der Abmaße addiert werden. Die Vorzeichen bestimmen nur die Lage der Summentoleranz.

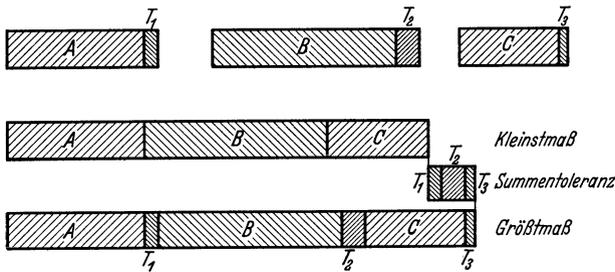


Abb. 14. Toleranzkette.

Ist eine Toleranz durch mehrere Abmaße ausgedrückt, z. B. $20 \begin{smallmatrix} +0,2 \\ +0,1 \end{smallmatrix}$, oder $20 \pm 0,05$, so ist selbstverständlich bei der Summierung der Toleranzen die Differenz der beiden Abmaße einzusetzen, nämlich 0,1 (Toleranzfeld).

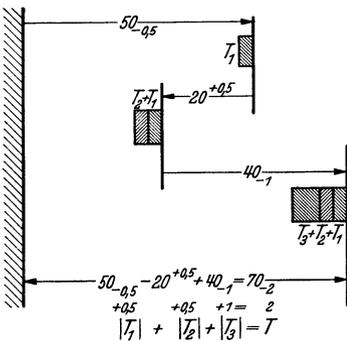


Abb. 15. Toleranzkette.

Beispiele für Toleranzketten aus drei Gliedern zeigen die Abb. 14 u. 15.

Am rechten Ende des Maßes $50_{-0,5}$ in Abb. 15 kann sich die Toleranz $T_1(-0,5)$ auswirken. An diese Variation schließt sich das Maß $20_{+0,5}$ an, das seinerseits wieder eine Variation um T_2 zuläßt; auf diese Weise besteht am linken Ende des Maßes $20_{+0,5}$ die Gesamttoleranz $T_1 + T_2$. In gleicher Weise ergibt sich am Ende der Kette, d. i. am rechten Ende von 40_{-1} die Gesamttoleranz $T_1 + T_2 + T_3$.

Zur zahlenmäßigen weiteren Erläuterung des 1. Hauptsatzes sind in **Zahlen-tafel 2** (s. S. 23) alle möglichen Kombinationen zwischen den Grenzmaßen der Toleranzen T_1 , T_2 und T_3 zahlenmäßig durchgerechnet, und es zeigt sich, daß die Summe der Toleranzkette nur zwischen 68 und 70 schwanken kann.

Auf S. 12 war auch bereits die Umkehrung des 1. Hauptsatzes erkannt worden:

Wird eine Toleranz auf Umwegen gefertigt, so muß sie in Einzeltoleranzen aufgeteilt werden und diese müssen auf alle Zwischenmaße verteilt werden.

Zahlentafel 2. Auswirkungen einer Toleranzkette.
(G = Größtmaß K = Kleinstmaß).

Maß	Vorzeichen								
50—0,5	+	$G = 50$	$G = 50$	$G = 50$	$G = 50$	$K = 49,5$	$K = 49,5$	$K = 49,5$	$K = 49,5$
20+0,5	—	$G = 20,5$	$G = 20,5$	$K = 20$	$K = 20$	$G = 20,5$	$G = 20,5$	$K = 20$	$K = 20$
40—1	+	$G = 40$	$K = 39$	$G = 40$	$K = 39$	$G = 40$	$K = 39$	$G = 40$	$K = 39$
Ergebnis:		69,5	68,5	70	69	69	68	69,5	68,5

Ist für zwei zusammengehörige Teile eine Paßtoleranz von bestimmter Größe notwendig, so muß sie ebenfalls auf beide Teile verteilt werden.

b) Zweiter Hauptsatz. Betrachtet man die acht Rechnungsgänge in Zahlentafel 2, so stellt man fest, daß nur zwei von ihnen zum Ziel, der Ermittlung der Grenzfälle, geführt haben. Alle anderen waren also überflüssig. In der algebraischen Summe $+A - B + C$ hat sich das Größtmaß durch Einsetzen der Werte $+G - K + G$, das Kleinstmaß durch Einsetzen der Werte $+K - G + K$ ergeben.

Daraus folgt der 2. Hauptsatz des Toleranzwesens:

Zur Ermittlung des Größtmaßes einer Toleranzkette sind positive Kettenglieder mit dem Größtmaß, negative mit dem Kleinstmaß einzusetzen. Zur Ermittlung des Kleinstmaßes wird umgekehrt verfahren.

c) Wahrscheinlichkeit für die Grenzfelder. Vor der Durcharbeitung von Beispielen für rechnerische Toleranzuntersuchungen ist eine Betrachtung des Toleranzwesens von der Seite der mathematischen Statistik vonnöten.

Auf den Ausfall des Istmaßes am einzelnen Werkstück haben sehr viele Dinge Einfluß, z. B. bei spangebender Formung die Schwankungen der Härte des Werkstoffes, der Spanquerschnitt, das Zurückfedern des Werkstückes und der Teile der Werkzeugmaschine, der Abnutungsgrad des Werkzeuges, die Zustellung des Werkzeuges, und diese wiederum ist von der augenblicklichen geistigen und körperlichen Verfassung des Menschen und von der Ungenauigkeit des Querschlittens abhängig. Der Mann an der Werkzeugmaschine hat bei der Fertigung nach Toleranzen das Bestreben, in die Mitte des Toleranzfeldes zu gelangen, um möglichst weit von den gefährlichen Grenzmaßen entfernt zu bleiben. Dies ist ein Einfluß, der die andern überwiegt, und demgemäß ist zunächst die größte Häufigkeit in der Mitte des Toleranzfeldes zu erwarten. Aber

das Ausschußmaß ist das gefährlichere, denn die Überschreitung macht das Stück unbrauchbar; deshalb wird man bei spanabhebender Bearbeitung häufig ein leichtes Hinneigen der größten Häufigkeit nach der Gutseite beobachten können.

Bei Mengenfertigung wird mit fester Einstellung der Maschine und der Werkzeuge gearbeitet; hierbei ist man bestrebt, bei fortschreitender Abnutzung der Werkzeuge möglichst lange innerhalb des Toleranzfeldes zu bleiben. Die Einstellung wird also nahe an der einen Toleranzgrenze vorgenommen und im Laufe der Abnutzung wird das Toleranzfeld gleichmäßig bestrichen. Dieser Einfluß hat demnach eine gleichmäßigere Verteilung der anfallenden Werkstücke über das ganze Toleranzfeld zur Folge.

Trägt man in einem Schaubild über der Breite des Toleranzfeldes die Häufigkeit der einzelnen gemessenen Maße auf, so erhält man die Verteilungskurve.

Die Fläche zwischen dieser Kurve und der Abszisse entspricht der Gesamtzahl der einbezogenen Werkstücke, ein senkrecht herausgeschnittener Flächenstreifen gibt die auf den betreffenden Abschnitt des Toleranzfeldes entfallende Anzahl Teile an.

Um ein Bild darüber zu gewinnen, in welcher Größenordnung anteilmäßig die Anzahl der Stücke liegt, die an die Grenzen des Toleranzfeldes zu liegen kommen, muß man sich bei allgemeiner Betrachtung mit der nicht ganz zutreffenden Annahme begnügen, daß die mengenmäßige Verteilung der Werkstücke über das Toleranzfeld der theoretischen Gaußschen Verteilungskurve entspreche.

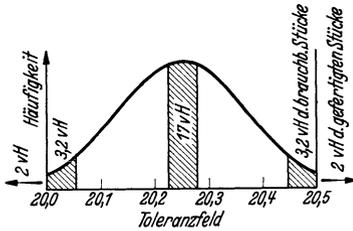


Abb. 16. Wahrscheinliche Verteilung über das Toleranzfeld.

Nimmt man ferner an, daß die Verteilung symmetrisch zum Toleranzfeld liege und von den gefertigten Stücken je 2 vH. oberhalb und unterhalb des Toleranzfeldes ausfallen, so ergibt sich eine Verteilungskurve nach Abb. 16. Der Flächeninhalt der Verteilungskurve zwischen den Toleranzgrenzen stellt also 96 vH. der gefertigten Teile dar.

Nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung fallen von diesen brauchbaren Stücken bei der angenommenen Toleranz von $20^{+0,5}$:

17 vH. in den Bereich zwischen den Maßen 20,225 und 20,275; dieser Bereich entspricht 10 vH. des Toleranzfeldes in dessen Mitte;

3,2 vH. in den Bereich zwischen 20,0 und 20,05 und ebenso viele in den Bereich zwischen 20,45 und 20,5, das sind je 10 vH. des Toleranzfeldes an dessen Grenzen.

Bei einer Toleranzuntersuchung werden stets eine mehr oder weniger große Anzahl von Toleranzen aneinandergereiht, algebraisch addiert,

und die Grenzfälle untersucht. Die mathematische Statistik gibt die Möglichkeit, unter den oben gemachten Annahmen die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieser Grenzfälle zu berechnen. Da es sich um eine Mengenbestimmung handelt, ein konkretes Maß jedoch mathematisch genau äußerst selten getroffen wird, müssen die Grenzfelder betrachtet werden, jene oben genannten (beispielsweise) 10 vH. an den Grenzen des Toleranzfeldes. Für ein einzelnes Toleranzfeld war hierfür die Wahrscheinlichkeit zu 0,032 berechnet worden. Daraus ergeben sich weiter für das Zusammentreffen von Grenzfeldern bei Toleranzketten folgende Wahrscheinlichkeiten: bei einer Kette aus

2 Gliedern: 0,001	oder auf	1 000 Stücke ein Fall,
3 Gliedern: 0,00003	oder auf	31 000 Stücke ein Fall,
4 Gliedern: 0,000001	oder auf	1 000 000 Stücke ein Fall,
5 Gliedern: 0,00000003	oder auf	31 000 000 Stücke ein Fall,
6 Gliedern: 0,000000001	oder auf eine Milliarde	Stücke ein Fall.

In der Wirklichkeit ist sehr oft die Häufigkeit an den Toleranzgrenzen größer, als sich aus theoretischen Berechnungen ergibt; ebenso kommt es vor, daß Toleranzen ganz einseitig ausgenutzt werden. Dennoch kann aus dem Vorstehenden der Schluß gezogen werden:

Bei vielgliedrigen Toleranzketten ist das Ergebnis einer Toleranzuntersuchung insofern kritisch zu werten, als die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen der untersuchten Grenzfälle sehr klein ist.

d) Beispiele für rechnerische Toleranzuntersuchungen. In Abb. 17 ist die Aufgabe behandelt, an einer Paßfeder nach gegebenen Toleranzen die möglichen Spiele oder Übermaße zu berechnen. In der Breite (tangential) ist das Spiel gleich x gesetzt, in der Höhe (radial) gleich y . (Die Spiele sind in der Abbildung übertrieben groß dargestellt.) Diese Unbekannten drückt man durch die gegebenen tolerierten Maße aus und berechnet aus der so entstehenden Gleichung Größt- und Kleinstspiel nach dem 2. Hauptsatz. In den Gleichungen ist durch den Index G oder K zum Ausdruck gebracht, ob ein Größt- oder Kleinstwert eingesetzt ist. In der Breite ergibt sich als Kleinstspiel ein negativer Wert, das ist ein Übermaß. Es ist demnach gleichgültig, ob man beim Ansatz der Gleichungen Spiel oder Übermaß annimmt; das Ergebnis läßt am Vorzeichen erkennen, was von beiden vorliegt.

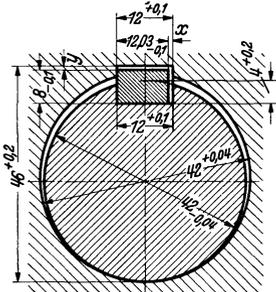


Abb. 17. Toleranzuntersuchung an einer Paßfeder.

G = Größtmaß, K = Kleinstmaß

1. Breite:

$$x = 12^{+0,1} - 12,03_{-0,1}$$

$$x_G = 12,1_G - 11,93_K = 0,17$$

$$x_K = 12_K - 12,03_G = -0,03$$

(negatives Spiel = Übermaß)

$$\text{Probe: } x_G - x_K = 0,17 - (-0,03)$$

$$= 0,2 = 0,1 + 0,1$$

2. Höhe:

$$y = 46^{+0,2} - 42_{-0,04} + 4^{+0,2}$$

$$- 8_{-0,1}$$

$$y_G = 46,2_G - 41,96_K + 4,2_G$$

$$- 7,9_K = 0,54$$

$$y_K = 46_K - 42_G + 4_K$$

$$- 8_G = 0$$

$$\text{Probe: } y_G - y_K = 0,54 - 0 = 0,2$$

$$+ 0,04 + 0,2 + 0,1$$

Zur Nachprüfung der Rechnung benutzt man den 1. Hauptsatz: Der Unterschied zwischen Größt- und Kleinstspiel muß gleich der Summe aller in der Rechnung benutzten Toleranzen sein.

Entsprechend dem Wert $x_G = 0,17$, der für die Nabe wie für die Welle gilt, weil die Maße gleich sind, kann im ungünstigsten Falle die Welle gegen die Nabe um einen Winkel verdreht werden, der aus dem doppelten Betrag, $0,34$ mm, berechnet werden kann.

Will man genau rechnen, so muß hierbei beachtet werden, daß die Paßfeder beim Verdrehen mit einer Kante und nicht mit der ganzen Fläche anstößt.

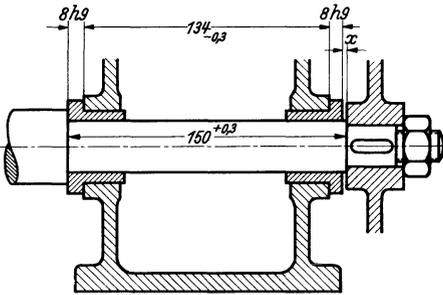


Abb. 18. Toleranzuntersuchung an einem Gehäuse.

$$\begin{aligned} x &= 150 + 0,3 - 8h9 - 134 - 0,3 - 8h9 \\ x_G &= 150,3_G - 7,964_K - 133,7_K - 7,964_K = 0,672 \\ x_K &= 150_K - 8_G - 134_G - 8_G = 0 \\ \text{Probe: } x_G - x_K &= 0,672 = 0,3 + 0,036 + 0,3 + 0,036 \end{aligned}$$

Ende (rechts) in die Zündschraube eindringt und dadurch den Schuß löst.

Die Eindringtiefe der Schlagbolzenspitze in die Zündschraube muß innerhalb gewisser Grenzen liegen, sie darf nicht zu klein sein, damit der Zündsatz sicher gezündet wird, aber auch nicht zu groß, damit die Zündschraube nicht durchgeschlagen wird. Die Abbildung zeigt die zahlenmäßige Berechnung des Größt- und Kleinstmaßes der Eindringtiefe aus den gegebenen tolerierten Maßen. Der Gang der Rechnung ist durch den Linienzug über der Abbildung angedeutet.

Beim Ansatz der Gleichung für eine Toleranzuntersuchung muß darauf geachtet werden, daß der Rechnungsgang „geschlossen“ ist; der Linienzug in Abb. 19 beginnt am rechten Ende von x und endet am linken. Ferner setzt man zweckmäßig vorher die Plus- und Minusrichtung fest, die Wahl der Richtungen ist beliebig. Verfolgt man den Linienzug in der Richtung der Pfeile und vergleicht mit der Zahlenrechnung, so wird man finden, daß alle Werte positiv eingesetzt sind, die von rechts nach links verlaufen, und umgekehrt. Durch diese Maßnahmen in Verbindung mit den beiden Hauptsätzen ist es möglich, Toleranzuntersuchungen weitgehend nach einem festen Schema durchzuführen, ohne jedesmal schwierige Überlegungen anzustellen, bei denen leicht Fehler unterlaufen.

Ein weiteres Beispiel zeigt Abb. 18. Hier ist das Spiel in der Achsenrichtung bei einer doppelt gelagerten Welle berechnet.

Abb. 19 zeigt einen Geschützverschluß in vereinfachter Darstellung.

Der Verschlußkeil liegt am Bodenstück mit der Fläche a an. Unter der Wirkung der (nicht gezeichneten) Schlagbolzenfeder wird der Schlagbolzen gegen die Fläche b im Verschlußkeil gedrückt. In den Schlagbolzen ist die Schlagbolzenspitze eingeschraubt, die mit dem vorderen

Nicht immer ist der Rechnungsgang so einfach zu übersehen wie in Abb. 19. In Abb. 20 ist die Aufgabe behandelt, das Spiel x zwischen den beiden Scheiben zu berechnen. Hierbei müssen auch die Spiele in den Lagerstellen berücksichtigt werden, denn ein Drehmoment, das an der linken Scheibe wirkt, drückt beide Scheiben auseinander und vergrößert das Spiel x entsprechend den Lagerstellen. Bei dieser Art

Aufgaben unterläuft beim Ansatz der Gleichung leicht der Fehler, daß x mit dem falschen Vorzeichen eingesetzt wird. Das hat zur Folge, daß man statt des erwarteten Größtmaßes das Kleinstmaß erhält, und umgekehrt. Deswegen wurde der Linienzug vollständig geschlossen; er beginnt und endet bei *A*. Die eine Seite der Ansatzgleichung ist somit gleich Null.

Im übrigen ist es gleichgültig, an welcher Stelle des Kreislaufes man beginnt; statt des Punktes *A* könnte auch jede beliebige andere Stelle gewählt werden.

Aus dem errechneten Größtspiel 0,2875 läßt sich die Verdrehungsmöglichkeit der linken Scheibe in gesperrtem Zustand berechnen. Hierbei ist für die Aussparung 35 H 10 das Größtmaß einzusetzen; denn, wenn der Rundungsdurchmesser kleiner wird, rücken die Spitzen der rechten Scheibe näher und das wirksame Spiel wird kleiner.

Die Proberechnung läßt auch erkennen, wie sich das Größtspiel zusammensetzt. Zwei gewichtige Summanden sind die Toleranzen 0,1, die mit Rücksicht auf die Fertigung so groß gewählt wurden. Ist für den Verwendungszweck das errechnete Größtspiel zu groß, so muß in erster Linie an diesen Stellen die Fertigung weiter eingengt werden.

In Abb. 21 sind zwei Flanschen dargestellt, die durch kreisförmig

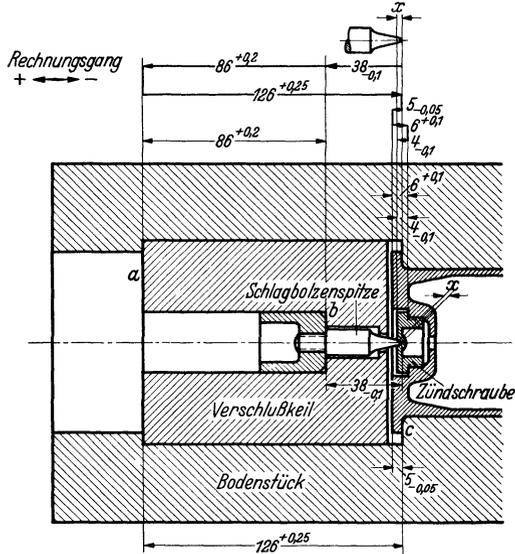


Abb. 19. Toleranzuntersuchung an einem Geschützverschluss.

$$\begin{aligned}
 x &= 38_{-0,1} + 86^{+0,2} - 126^{+0,25} + 5_{-0,05} \\
 &\quad - 6^{+0,1} + 4_{-0,1} \\
 x_G &= 38_G + 86,2_G - 126_K + 5_G \\
 &\quad - 6_K + 4_G = 1,2 \\
 x_K &= 37,9_K + 86_K - 126,25_G + 4,95_K \\
 &\quad - 6,1_G + 3,9_K = 0,4 \\
 \text{Probe: } x_G - x_K &= 1,2 - 0,4 = 0,8 = 0,1 + 0,2 \\
 &\quad + 0,25 + 0,05 + 0,1 + 0,1
 \end{aligned}$$

angeordnete Schrauben oder Nieten miteinander verbunden werden sollen. Aus der für beide Flanschen gleichen Teilkreistoleranz 50 ± 1 und dem Durchmesser der durchgesteckten Bolzen soll das Maß für das Durchgangsloch ermittelt werden. Die Abbildung zeigt den Fall, daß bei Teil 1 die Teilkreistoleranz nach Plus, bei Teil 2 nach Minus ausgenutzt ist. Ist das Durchgangsloch richtig bemessen, so werden in diesem Falle die Bolzen gerade festgeklemmt. Wird unter den

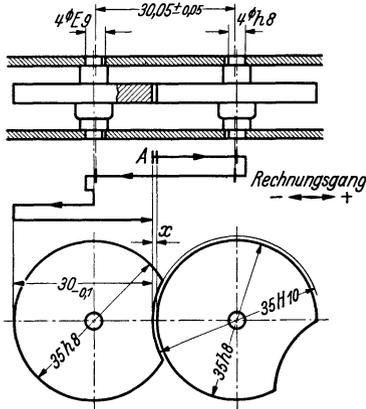


Abb. 20. Toleranzuntersuchung an einem Gesperre.

4h8	=	4	-	0,018
4E9	=	4	+	0,05
35h8	=	35	-	0,039
35H10	=	35	+	0,1

$$0 = x + \frac{1}{2} 35h8 + \frac{1}{2} 4h8 - \frac{1}{2} 4E9 - 30,05 \pm 0,05 - \frac{1}{2} 4E9 + \frac{1}{2} 4h8 - \frac{1}{2} 35h8 + 30 - 0,1$$

$$x = -\frac{1}{2} 35h8 - \frac{1}{2} 4h8 + \frac{1}{2} 4E9 + 30,05 \pm 0,05 + \frac{1}{2} 4E9 - \frac{1}{2} 4h8 + \frac{1}{2} 35h8 - 30 - 0,1$$

$$x_G = -17,4805_K - 1,991_K + 2,025_G + 30,1_G + 2,025_G - 1,991_K + 17,5_G - 29,9_K = 0,2875$$

$$x_K = -17,5_G - 2_G + 2,01_K + 30_K + 2,01_K - 2_G + 17,4805_K - 30_G = 0,0005$$

Probe: $\Sigma T = 0,0195 + 0,009 + 0,015 + 0,1 + 0,015 + 0,009 + 0,0195 + 0,1 = 0,287$

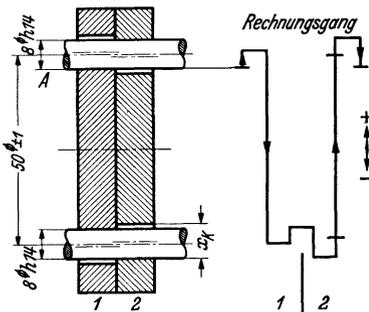


Abb. 21. Ermittlung der Durchgangslöcher an zwei Flanschen.

$$0 = \frac{1}{2} x_K - 51_G + \frac{1}{2} x_K - 8_G$$

$$+ \frac{1}{2} x_K + 49_K + \frac{1}{2} x_K - 8_G$$

$$2x_K = 51_G - 49_K + 2 \cdot 8_G = 18$$

$$x_K = 9$$

gleichen Verhältnissen der Bolzen kleiner oder die Bohrung größer, so wird der Bolzen locker und die Austauschbarkeit ist nicht mehr gefährdet. Es braucht folglich nur das Größtmaß der Bolzen (8ϕ) berücksichtigt zu werden, und es kann nur das Kleinstmaß der Bohrungen berechnet werden, für die eine beliebige Plustoleranz angenommen werden kann. Der Rechnungsgang geht von dem (beliebigen) Punkte A aus und endet dort wieder.

Die Rechnung ließe sich ebensogut schematisch nach Abb. 20 durchführen. Doch dabei muß darauf geachtet werden, daß beim Umformen der Gleichung nicht die Voraussetzung verloren geht: Teil 1 Größtmaß und Teil 2 Kleinstmaß des Teilkreisdurchmessers. Durch Umkehren der Vorzeichen beim Umformen können dabei Fehler entstehen, wenn anschließend nach dem 2. Hauptsatz vorgegangen wird.

Auch in anderer Hinsicht können Toleranzgleichungen nicht ganz so behandelt

werden wie gewöhnliche algebraische. Gleiche Ausdrücke mit verschiedenen Vorzeichen dürfen nicht gleich Null gesetzt werden, denn es handelt sich, da ein geschlossener Ring durchlaufen wird, stets um verschiedene Stellen des Gerätes, die zufällig gleiche Maße haben. Gleiche Ausdrücke mit gleichem Vorzeichen werden nur dann zusammengefaßt, wenn die Werte gleich werden sollen, wie die vier Bohrungen x_K in Abb. 21.

Würde man in Abb. 21 das Teil 1 nach oben verschieben wollen, so müßte man die Bohrungen größer ausführen, damit der obere Bolzen nicht klemmt. Beim Verschieben würde der untere Bolzen locker werden.

Dieser Fall tritt ein, wenn beide Flanschen zueinander zentriert sind,

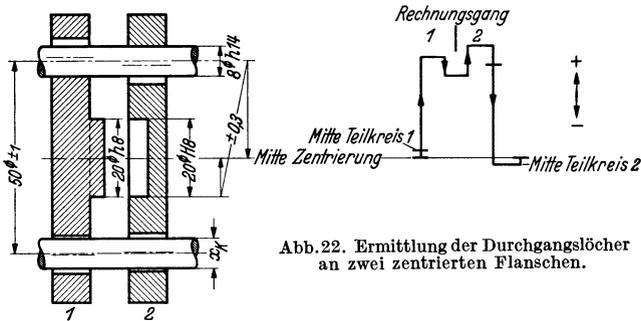


Abb. 22. Ermittlung der Durchgangslöcher an zwei zentrierten Flanschen.

$$\begin{aligned}
 0 &= 0,3 + \frac{1}{2} \cdot 51G - \frac{1}{2} x_K + 8G - \frac{1}{2} x_K - \frac{1}{2} 49K + 0,3 \\
 x_K &= 0,3 + 25,5G \quad \quad \quad + 8G \quad \quad \quad - 24,5K + 0,3 \\
 x_K &= 9,6
 \end{aligned}$$

wie in Abb. 22, und eine außermittige Lage des Teilkreises zur Zentrierung möglich ist. In der Abbildung ist diese durch die Symmetrietoleranz $\pm 0,3$ gegeben. Die Zentrierung 20h8 zu 20H8 hat das Kleinstspiel 0, mit diesem muß gerechnet werden, denn das Festklemmen des Bolzens ist weniger zu befürchten, wenn die Zentrierung nachgeben kann. Der Rechnungsgang beginnt und endet in der Mitte der Zentrierung.

Weitere Beispiele für Lochkreistoleranzen sind im III. Teil im Zusammenhang mit den Lochmittenlehren behandelt.

e) **Überbestimmung von Toleranzen und Übertolerierung.** Addiert man beispielsweise die beiden tolerierten Maße $30^{+0,5}$ und $40^{+1,5}$ mitsamt ihren Toleranzen, so erhält man 70^{+2} . Trägt man dieses Maß ebenfalls in die Zeichnung ein (Abb. 23), so sind die Toleranzen überbestimmt. Nach der schon erwähnten Grundregel darf die Werkstatt jede Toleranz für sich voll ausnutzen. Tut sie dies bei Maß 70^{+2} in dem Sinne, daß das Maß 72 entsteht und wird außerdem beispielsweise 40 gefertigt, so entsteht statt $30^{+0,5}$ das Maß 32. Die Toleranzen sind nicht mehr unabhängig und das Verfahren ist daher grundsätzlich zu verwerfen.

Es sind jedoch Fälle denkbar, in denen die Eintragung und Tolerierung des dritten Maßes und dadurch die Überbestimmung wünschenswert ist. Ist bei einem Rohr Innen- und Außendurchmesser toleriert, so ergibt sich zwangsläufig daraus die Wanddickentoleranz unter der

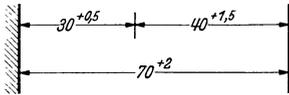
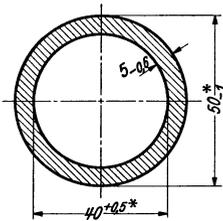


Abb. 23. Überbestimmte Toleranzen.

Voraussetzung, daß Innen- und Außenzyylinder genau mittig liegen. Muß sie kleiner sein, als sich rechnergemäß ergibt, so bedeutet dies eine Einschränkung der Durchmesser-toleranzen. Es empfiehlt sich dann, in einer Bemerkung auf der Zeichnung auf die Überbestimmtheit hinzuweisen (Beispiel s. Abb. 24). Wenn die Wanddickentoleranz größer sein kann, als dies den Durchmesser-toleranzen entspricht, ist es vorteilhafter, in irgendeiner Form Symmetrietoleranzen anzugeben.



* Die Durchmesser-toleranzen dürfen nur soweit ausgenutzt werden, daß keine Überschreitung der Wanddickentoleranz eintritt.

Abb. 24. Überbestimmte Toleranzen.

Ist z. B. das Istmaß des Außendurchmessers 49 geworden, so darf der Innendurchmesser höchstens 40,2 werden, damit nach Zeichnungsvorschrift die Wanddickentoleranz nicht überschritten wird. Hierbei ist genau mittige Lage vorausgesetzt. Etwa vorhandene Außer-mittigkeit muß außerdem berücksichtigt werden.

Betrachtet man eine T-förmige Führung (vgl. Abb. 69, S. 70) in bezug auf die Tolerierung, so kommt man zu dem Ergebnis, daß das Anliegen des Innenteils am Außenteil auf allen 9 Flächen unmöglich erreicht werden kann. Da jedes Maß bei der Fertigung Schwankungen unterliegt, trägt in waagerechter wie in senkrechter Richtung jeweils nur eine Fläche, bzw. wird die Führung von einem Flächenpaar übernommen. Deswegen ist eine solche Konstruktion nur dann nicht übertoleriert, wenn in jeder Richtung nur ein Flächenpaar entsprechend dem gewünschten Sitz toleriert und an den übrigen Flächen soviel Spiel vorgesehen ist, daß auch bei Auswirkung der Symmetrietoleranzen keine Berührung zwischen Innenteil und Außenteil stattfindet. Für die Wahl der „Führungs“-Flächen ist die Möglichkeit wirtschaftlicher und genauer Fertigung und Messung ausschlaggebend.

f) Ermittlung von Toleranzen durch Versuche. Wenn für einen Sonderfall keine Erfahrungen vorliegen, die für die Wahl eines geeigneten Sitzes maßgebend sein können, so muß die zweckmäßige Tolerierung durch Versuche ermittelt werden.

Es sei angenommen, daß eine Stahlbuchse in einen dünnwandigen Leichtmetallkörper eingepreßt werden soll. Die eingepreßte Buchse soll sich erst bei einer bestimmten Kraft in der Achsenrichtung oder bei einem bestimmten Drehmoment bewegen. Zur Durchführung der Versuche fertigt man eine Anzahl Buchsen und Körper aus dem gleichen Werkstoff und möglichst mit der gleichen Oberflächengüte, wie sie später

bei der Fertigung ausfallen. Abb. 25 zeigt links als Beispiel die Reihenfolge der Versuche, bei denen die Übermaße systematisch so gewählt sind, daß mit möglichst wenig Werkstücken auszukommen ist.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß bei einem Übermaß von weniger als 50μ der Sitz stets zu lose ist und über 110μ stets Zerstörung des Leichtmetallkörpers eintritt. Ferner ergeben sich Grenzgebiete, innerhalb deren das Versuchsergebnis manchmal positiv, manchmal negativ ist. Zwischen diesen beiden Grenzgebieten wird diejenige Paßtoleranz

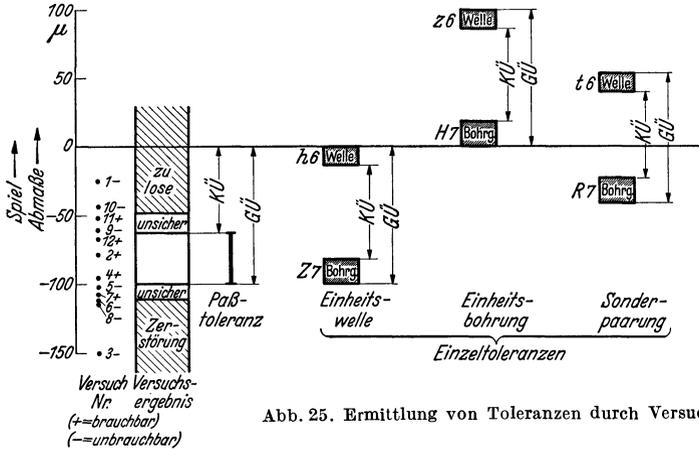


Abb. 25. Ermittlung von Toleranzen durch Versuche.

gefunden, die stets den gestellten Anforderungen entspricht. Als Ergebnis der praktischen Versuche kann somit festgestellt werden, daß in diesem Fall ein Kleinstübermaß von 60μ und ein Größtübermaß von 100μ zweckmäßig ist. Die Abbildung zeigt rechts, wie diese Paßtoleranz in Einzeltoleranzen zerlegt werden kann, und zwar einmal im System Einheitswelle, das andere Mal im System Einheitsbohrung. Es wäre ebensogut denkbar, daß (bei Nichtvorhandensein geeigneter Toleranzfelder im Einheitsbohrungs- oder Einheitswellensystem) eine Preßsitzwelle mit einer Preßsitzbohrung gepaart wird, die zusammen die gewünschte Paßtoleranz ergeben, wie in Abb. 25 rechts angedeutet.

Als weiteres Beispiel sei angenommen, daß eine Zündschraube bei einer Eindringtiefe von $1,5 \text{ mm}$ in keinem Falle durchschlagen werde, und daß sie andererseits bei einer Eindringtiefe von mindestens $0,5 \text{ mm}$ noch mit Sicherheit gezündet werde (Abb. 19). Die Versuche werden zweckmäßig so durchgeführt, daß durch Unterlegen verschieden dicker Bleche an geeigneter Stelle des Verschlusses die Eindringtiefe beliebig verändert werden kann, bis der Bereich, der eine sichere Zündung gewährleistet, eingegrenzt ist. Diese durch Versuche gefundene Toleranz muß dann auf die einzelnen in Betracht kommenden Maße verteilt werden.

Bei Getriebenen irgendwelcher Art kann die zulässige Summentoleranz nach ihrer Größe und Lage auch in folgender Weise gefunden werden: Man nimmt gefühlsmäßig eine Summentoleranz an, teilt sie auf und fertigt zwei Geräte, deren Istmaße so an den Toleranzgrenzen liegen, daß die ungünstigste Auswirkung in beiden Richtungen zustande kommt (2. Hauptsatz beachten!). Wenn es möglich ist, sieht man an einem Versuchsgerät Verstellmöglichkeiten vor (z. B. verstellbare exzentrische Buchsen zur Veränderung von Achsabständen), mit deren Hilfe die Auswirkungen der Toleranzen in den ungünstigsten Fällen studiert werden können.

II. Lehren.

1. Was ist Messen?

Messen ist entweder die zahlenmäßige Feststellung eines Längen- oder Winkelmaßes oder die Feststellung, ob ein Maß größer oder kleiner ist als ein gegebener Zahlenwert.

Im Sprachgebrauch wird unter „Messen“ in erster Linie das zahlenmäßige Feststellen verstanden, man spricht auch vom „Ausmessen“ oder (im Lehrenbau) vom „Vermessen“. Dies kann mit einem Strichmaßstab, einer Schieblehre oder einer Schraublehre geschehen. Auch Endmaße können dazu benutzt werden; hierbei wird durch Probieren diejenige Endmaßzusammenstellung gesucht, die sich gerade noch einführen läßt.

In der Werkstatt bedeutet die Ermittlung einer vielziffrigen Zahl eine ganz erhebliche Fehlerquelle und einen Zeitverlust. Deswegen ist man bei der Mengenfertigung dazu übergegangen, dem Arbeiter feste Lehren zu geben, mit denen er nur festzustellen hat, ob das Maß des Werkstückes größer oder kleiner als die feste Lehre ist. Das Maß dieser Lehre wird in dem hierfür besonders eingerichteten Meßraum mit der erforderlichen Genauigkeit „ausgemessen“. Diese Arbeit wird besonders geschulten Leuten übertragen. Damit ist die vollkommene Trennung zwischen der Maßfeststellung und der zweiten Art des Messens, die man als „Prüfen“ bezeichnen kann, herbeigeführt.

2. Festmaß- und Istmaß-Lehren.

Wenn in diesem Zusammenhang der Ausdruck „feste Lehre“ gebraucht wird, so soll damit nicht ausgesprochen werden, daß das Meßgerät keine beweglichen Teile enthalte oder besondere Festigkeitseigenschaften besitze. Auch die Unverstellbarkeit ist nicht entscheidend, denn es gibt zahlreiche sog. feste Lehren, die zum Ausgleich der Abnutzung nachgestellt oder auf andere Maße umgestellt werden können. Gemeint ist vielmehr eine Lehre, die nach einem festen, d. h. zahlenmäßig festgesetzten Maß gefertigt oder darauf eingestellt ist, im Gegensatz

zu einer Lehre, mit der innerhalb bestimmter Grenzen jedes beliebige Istmaß zahlenmäßig ausgemessen werden kann.

Aus diesem Grunde wird im folgenden an Stelle des unklaren Ausdruckes „feste Lehren“ von „Festmaß-Lehren“ im Gegensatz zu „Istmaß-Lehren“ gesprochen werden. Beide Arten können ihrer Bauart nach sowohl starr als auch beweglich ausgeführt sein und, wiederum unabhängig davon, entweder verstellbar oder unverstellbar sein.

Eine Festmaßlehre weist innerhalb kleiner Grenzen das Zeichnungsmaß auf, und zwar die Gutlehre das Gutmaß, die Ausschußlehre das Ausschußmaß und das Werkstück darf zwischen den beiden auf der Zeichnung angegebenen und in der Grenzlehre verkörperten Maßen liegen.

Abb. 26 zeigt Beispiele für die Anwendung dieser Bezeichnungweise. Danach ist, wenn man den Pfeilen folgt, eine Grenzrachenlehre eine ent-

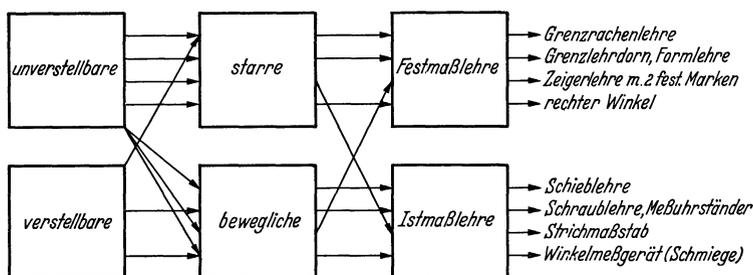


Abb. 26. Lehrenarten.

weder verstellbare oder unverstellbare, starre Festmaß-Lehre. Eine Schraublehre ist eine (meist) verstellbare, bewegliche Istmaß-Lehre.

Auch für Winkelmaße gibt es Festmaß- und Istmaß-Lehren, das nächstliegende Beispiel für eine starre Festmaß-Lehre ist der Anschlagwinkel, bewegliche Istmaß-Lehren sind der Universalwinkelmesser, der optische Winkelmesser von Zeiß und der optische Teilkopf.

Eine gewisse Schwierigkeit beim Gebrauch von Festmaß-Lehren könnte in folgendem gesehen werden: Ist beispielsweise beim Abdrehen einer Welle auf der Drehbank ein Vormaß gefertigt, so muß der Dreher beurteilen, wieviel er noch zustellen muß, um im nächsten Arbeitsgang das Fertigmaß zu erzielen und nicht entweder noch einen Schnitt ausführen zu müssen oder die Ausschußgrenze zu überschreiten.

Er wird aber nach der Fertigstellung des ersten Werkstückes wissen, auf welchen Teilstrich er den Querschlitten einstellen muß, um innerhalb der gewünschten Toleranz zu gelangen. Ist die Größe dieser Toleranz der Drehbankarbeit angemessen, so werden die folgenden Stücke lehrenhaltig ausfallen. An der Art des Hinübergehens der Gutrachenlehre und am Anschnäbeln des Ausschußrachsens läßt sich abschätzen, wie das Istmaß im Toleranzfeld liegt.

Bei der Mengenfertigung aber, von der hier die Rede ist, ist es die Aufgabe des Einrichters, die Werkzeuge und Arbeitsschlitten so einzustellen, daß die Stücke lehrenhaltig werden. Um der Abnutzung der Werkzeuge zu begegnen, wird meist nach der Ausschußseite hin eingestellt. Für dieses Einstellmaß kann eine besondere

Lehre eingesetzt werden. Die Grenzlehre, die der Zeichnung entspricht, dient dann nur der Überwachung der laufenden Fertigung.

Die Schwierigkeit ist keineswegs so groß, wie sie auf den ersten Blick erscheinen mag; die Praxis hat vielmehr erwiesen, daß auch ohne Vormaaß- und Zwischenmaaß-Lehren die Ausschußziffern gering sind, wenn sich die Werkstatt erst an den Gebrauch von Festmaaß-Lehren gewöhnt hat. Keinesfalls ist es zu empfehlen, neben diesen auch noch Istmaaß-Lehren bereitzustellen, weil dann die Gefahr besteht, daß nur diese angewendet werden. Dadurch würde der Zweck der Festmaaß-Lehrung, das „Ausmessen“ nur von besonders geschulten Leuten ausführen zu lassen, verfehlt werden.

Wenn es sich um ein Vormaaß für einen späteren Arbeitsgang handelt (z. B. Schleifzugaben), sind besondere Vormaaßlehren, die als Festmaaß-Lehren ausgebildet sind, zu empfehlen.

3. Wie wird gemessen?

Meßgeräte sind entweder handelsüblich oder Sonderbauarten.

Es sollte das Bestreben jedes Gerätkonstruktors sein und schon beim Entwurf darauf geachtet werden, daß soweit wie möglich handelsübliche Meßgeräte angewendet werden können. Dies hat den Vorteil, daß die Meßgeräte für viele Zwecke nutzbar gemacht werden können und nicht nach dem Aussterben einer Gerätbauart wertlos werden. Außerdem sind handelsübliche Ausführungen vielfach billiger und schneller lieferbar. Durch die kurze Lieferzeit wird die Anlaufzeit für eine Fertigung verringert und ein etwa notwendig werdender Ersatz verursacht geringere Störungen der Fertigung. Dazu kommt, daß für die Herstellung von Sonderlehren meist hochwertigere Arbeitskräfte notwendig sind, an denen sich in guten Zeiten stets ein fühlbarer Mangel bemerkbar macht.

Vorteile von Sonderbauarten können sich ergeben, wenn die Lehre handlicher, genauer, billiger oder sonstwie zweckmäßiger ausgebildet werden kann als ein handelsübliches oder genormtes Meßgerät für den gleichen Zweck. Es ist beispielsweise, besonders bei der Werksrevision, oft von Nutzen, wenn in einem Körper mehrere Grenzrachenlehren vereinigt werden. Dann können mehrere Durchmesser nacheinander geprüft werden, ohne daß die Lehre aus der Hand gelegt wird. Auch das Hintereinanderlegen des Gut- und Ausschubrachsens ist vielfach vorteilhaft, weil Gut- und Ausschußprüfung mit einer Handbewegung erfaßt sind. Seit einiger Zeit erscheinen solche Lehren auch auf dem Markt. Sie sind meist nachstellbar und werden dadurch schwerer als eine besonders entworfene Blechlehre. Auch wenn man davon absieht oder das Gewicht wegen der Kleinheit der Lehre ohne Bedeutung ist, kann es wirtschaftlicher sein, eine derartige Blechlehre besonders anzufertigen, nämlich dann, wenn sie sich bei der vorgesehenen Gerätstückzahl bis zur Unbrauchbarkeit abnutzt. Dann sind die Meßflächen meist so uneben und unparallel geworden, daß die Nachstellbarkeit bei der handelsüblichen Ausführung auch nicht mehr viel hilft. Man erkennt, was für Überlegungen bei der Wahl der Meßgeräte in jedem einzelnen Falle anzustellen sind, und daß diese Frage nicht grundsätzlich beantwortet werden kann, sondern in jedem einzelnen Falle erwogen werden muß.

Jedoch ist die Beantwortung der Frage, ob eine handelsübliche oder Sonderausführung zu wählen ist, nicht die Aufgabe des Gerätkonstruktors, sondern der Arbeitsvorbereitung und des Lehrenkonstruktors.

Der Gerätkonstrukteur sollte lediglich soweit wie möglich die Anwendungsmöglichkeit handelsüblicher Meßmittel anstreben.

Wird dann trotzdem vom Arbeitsvorbereitungsbüro eine Sonderlehre vorgehen, so ist es auch dann vorteilhaft, wenn beispielsweise für eine Welle eine normale Toleranz gewählt wurde, und zwar mit Rücksicht auf die hierfür vorhandenen Meßscheiben zum Prüfen der Lehre.

Es ist folglich notwendig, daß dem Gerätkonstrukteur die gebräuchlichen Arten handelsüblicher Meßmittel hinsichtlich ihrer Bauart und Anwendungsmöglichkeiten bekannt sind.

Es kann nicht die Aufgabe dieser Arbeit sein, diese Kenntnis erst von Anfang an zu vermitteln, in dieser Hinsicht muß auf das einschlägige Schrifttum verwiesen werden. Es erscheint jedoch eine kurze Besprechung der Meßmittel im Hinblick auf den Zweck dieser Arbeit vonnöten, eine meßtechnisch richtige Tolerierung zu ermöglichen, sowie mit Rücksicht auf die bei der Aufstellung von werkstattreifen Gerätezeichnungen notwendigen Überlegungen hinsichtlich der Sonderlehren. Denn es wird sich zeigen, daß die Mehrzahl der Sonderlehren-Konstruktionen von den Meßverfahren mittels handelsüblicher Lehren abgeleitet ist.

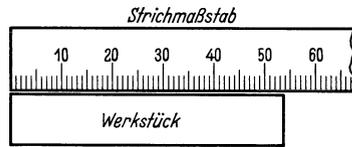


Abb. 27. Strichmessung (Körper—Strich).

a) **Strichmessung.** Die einfachste und ursprünglichste Art des Messens ist die mittels Strichmaßstab. Der Maßstab mit Millimeterteilung wird möglichst nahe und parallel an das zu messende Längenmaß angelegt und die Anzahl der vollen Millimeter unmittelbar abgelesen, Bruchteile von Millimetern können grob geschätzt werden (Abb. 27). Bei dieser Schätzung wird auch bei einiger Übung kaum eine größere Genauigkeit als 0,2 mm erreichbar sein. Die Größe des Fehlers hängt von zahlreichen Umständen ab: Fehler der Teilung, Art des Nullpunktes (Strich oder Endfläche), Fehler des Nullpunktes, scharfkantige Begrenzung, Dicke, Länge und Geradheit der Striche, Scharfkantigkeit des zu messenden Werkstückes, Beleuchtung, sowie vom physiologischen Bau des menschlichen Auges. Es ist ferner festgestellt worden, daß bei jeder Schätzung innerhalb eines Intervalles der Fehler nicht über das ganze Intervall hinweg gleichmäßig verteilt ist. Bestimmte Werte werden bevorzugt und andere dafür vernachlässigt. Am größten ist der Fehler bei 0,2 und 0,8, am kleinsten bei 0,0, 0,5 und 1,0.

Versuche haben gezeigt, daß es nutzlos ist, bei einer fortlaufenden Teilung den Strichabstand wesentlich kleiner zu wählen als 1 mm, solchen Teilungen fehlt es an Übersichtlichkeit und die Strichdicke, die nicht beliebig klein genommen werden kann, macht sich beim Schätzen störend bemerkbar.

Der einfache Strichmaßstab wird im Maschinenbau nur für ganz grobe Messungen benutzt. Eine Erweiterung ist das sog. Knopfmaß, das praktisch gar keine Bedeutung hat und hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt wird. Es stellt eine Schieblehre ohne Nonius dar und ist hier im Zusammenhang aus folgendem Grunde interessant.

Das Ablesen und Schätzen der Lage einer Körperkante zu einer Strichteilung ist unbequemer und bringt größere Fehler, als das Ablesen und Schätzen eines Markenstriches zu einer Strichteilung. Dies hat seinen Grund nicht allein darin, daß die Körperkante nie ganz scharf ist, sondern auch darin, daß das Auge gewissermaßen von dem Körper auf die Strichteilung übersetzen muß. In gleicher Weise ergibt es genauere Werte, wenn ein Körper mit einem Körper verglichen wird.

Ein einfacher Versuch, den jeder ausführen kann, wird dies bestätigen. Man bemühe sich, das sauber bearbeitete Ende eines Flacheisenstückes mit einem bestimmten Strich eines Maßstabes in übereinstimmende Lage zu bringen. Man wird hierbei bereits eine größere Unsicherheit empfinden, als wenn die Aufgabe gestellt wird, zwei gleiche Flachstücke so nebeneinander zu legen, daß die Enden auf einer Seite möglichst genau gleichliegen. Prüft man die beiden Ergebnisse der Bemühungen mit einfachen Meßmitteln nach und wiederholt den Versuch mehrmals, so wird man feststellen, daß die Streuung beim Strich—Körper-Vergleich erheblich größer ist, als beim Körper—Körper-Vergleich; bei diesem kann außerdem neben dem Gesichtssinn noch der Tastsinn zu Hilfe genommen werden.

Ebenso läßt sich zeigen, daß ein Strich—Strich-Vergleich genauer ist, als ein Körper—Strich-Vergleich.

Dies ist eine wichtige Erkenntnis, die für die Wahl einer Lehrenkonstruktion bestimmend ist. Will man genau messen, so ist unbedingt die Strich—Strich- oder die Körper—Körper-Messung vorzuziehen. Markenrisse am Werkstück sollen, wenn es auf Genauigkeit ankommt, nur mit einem Markenstrich an der Lehre geprüft werden und Körpermaße nur mit körperlichen Lehren. Damit ist nicht gesagt, daß das kombinierte Verfahren Körper—Strich oder Strich—Körper nicht auch angewendet werden dürfte, nämlich dann, wenn eine große Genauigkeit nicht notwendig oder nicht erwünscht ist. Ist eine Toleranz von 3 mm angegeben, so hat es keinen Sinn, diese mit einer Genauigkeit von 0,01 mm messen zu wollen, vielmehr genügt eine solche von 0,1 bis 0,3 vollkommen. Wichtig ist nur, daß der Messende sich über die Genauigkeit seines Meßverfahrens im klaren ist und nicht Werkstücke verwirft, bei denen er eine Toleranzüberschreitung feststellt, die im Rahmen der Meßfehler liegt. Bisweilen wird sogar bewußt das kombinierte Meßverfahren angewandt, nur um toleranter gegenüber geringfügigen Überschreitungen großer Toleranzen zu sein.

Die Erreichung größerer Genauigkeiten ermöglicht der Nonius (Abb. 28), wie er von der Schieblehre her allgemein bekannt ist. Dies ist keine reine Strichmessung mehr, sondern eine Körperanlage ist in der

Form der Meßschnäbel gewissermaßen „vorgeschaltet“, man kann von einer „Übertragung“ (im Gegensatz zur Übersetzung) sprechen.

Schieblehren haben im allgemeinen Nonien, die 0,1 mm abzulesen gestatten. Daneben sind auch 1/20- und 1/50-Nonien im Handel. Die Genauigkeit ist durch DIN 862 vorgeschrieben. Man wird im allgemeinen beim Werkstattgebrauch der Schieblehren nicht eine größere Genauigkeit erwarten dürfen, als der Noniusteilung entspricht. Zwar ist es bei einiger Übung möglich bei einem 1/50-Nonius auch noch Hundertstel abzuschätzen, nämlich dann, wenn kein Strichpaar zusammenfällt, doch kann damit nicht gerechnet werden.

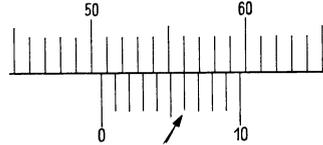


Abb. 28. Nonius. Eingestelltes Maß : 50,6.

Der Nonius stellt bereits eine Art Übersetzung dar. Das meßtechnisch Bemerkenswerte an ihm ist die Ausnutzung der Fähigkeit des menschlichen Auges, geringe Unterschiede in der Übereinstimmung zweier Markenrisse erkennen zu können, eine Fähigkeit, die beim Bau von Sonderlehren ebenfalls häufig ausgenutzt wird. Das unbewaffnete Auge vermag bei kürzestem Sehabstand (120 mm) unter günstigen Bedingungen noch eine Abweichung vom Gegenüberstehen zweier Striche um etwa 0,012 mm wahrzunehmen. Daraus erkennt man, daß der 1/50-Nonius die praktisch erreichbare Grenze darstellt, und daß es ferner zwecklos ist, Markenrisse, die mit bloßem Auge beobachtet werden, genauer als $\pm 0,01$ mm bezüglich ihrer Lage zu fertigen, wengleich eine genauere Fertigung technisch möglich ist.

Der Nonius wird benutzt bei Schieblehren für Wellen und Bohrungen, bei Tiefenlehren und beim Höhenreißer.

In gleicher Weise wie bei Längenmessungen wird die einfache Strichmessung und die Strichmessung mit Nonius auch auf Kreisteilungen angewandt. Beim Universalwinkelmesser können 5 Winkelminuten abgelesen werden.

Bei geodätischen und astronomischen Instrumenten kann bei entsprechend großen Teilungskreisen und Ablesung mit einer Lupe die Genauigkeit erheblich weiter getrieben werden.

b) Strichmessung mit Übersetzung. Um die Ablesegenauigkeit zu vergrößern, der durch die physiologischen Eigenschaften des Auges eine Grenze gesetzt ist, und auch um einer Überanstrengung (1/50-Nonius!) und schnellen Ermüdung des Auges vorzubeugen, wird bei vielen Meßgeräten vor die Strichmessung eine Übersetzung geschaltet.

Diese Übersetzung kann auf mechanischem oder optischem Wege erzielt werden.

Hebel. Das einfachste mechanische Maschinenelement, das hierzu Verwendung findet, ist der ungleicharmige Hebel. Er wird z. B. benutzt

bei den verschiedenen Minimeter-Bauarten mit Übersetzungen von 1 : 100 bis 1 : 1000. Der Meßbereich dieser Instrumente ist klein, er beträgt etwa 20 bis 200 Skalenteile. Die Instrumentengenauigkeit gibt Berndt¹ bei kleinen Übersetzungen mit $\pm 0,05$ bis 0,1 Skalenteilen (Skt), bei großen bis $\pm 0,4$ Skt an.

Man nehme für den Werkstattgebrauch (die Abnutzung eingerechnet) bei allen übersetzten Meßgeräten nicht einen wesentlich kleineren Fehler an, als etwa einen Skalenteil.

Es ist Unfug, an einem Meßgerät für Hunderstel-Millimeter die Tausendstel schätzen zu wollen; diese geschätzten Tausendstel sind recht ungewiß². Eben-
sowenig läßt sich mit einer Schraublehre auf 0,001 genau messen: die Spindel hat erheblich größere Steigungsfehler.

Gegen rauhe Behandlung, wie sie sich in der Werkstatt nicht immer ganz vermeiden läßt, sind die genannten Hebelgeräte ziemlich empfindlich; bei allen werden die Lager- und Gelenkstellen durch gehärtete Schneiden gebildet, die zur Erreichung einer hohen Genauigkeit möglichst scharf sein müssen und somit eine stoßweise Beanspruchung schlecht vertragen. Eine brauchbare und auch lehrentechnisch interessante Lösung stellt der „Compar“ der Firma Keilpart, Suhl, dar, bei dem ein Schlag auf den Tastbolzen zunächst ein Abheben der Schneiden von den Pfannen bewirkt. Die Übertragung geschieht nicht formschlüssig, sondern die Anlage wird kraftschlüssig durch Federn bewirkt.

Keil. Ein weiteres Maschinenelement, das zur Übersetzung geeignet ist, ist der Keil. Er wird bei handelsüblichen Meßgeräten mit Teilung und Zeiger wenig angewandt, häufiger wird er (meist ohne Übersetzung, 45°) zur Umlenkung einer Bewegung benutzt, so bei Innenmeßgeräten. Er hat den Vorteil, daß er sehr genau gefertigt werden kann. Sehr vielseitig ist seine Verwendung bei Lehren für Drahtdicken, Blechdicken und — als Kegel — für Bohrungen, sowie in der Form zweier unparalleler Lineale, zum Sortieren von Kugeln; die Kugeln laufen vom engen Ende nach dem weiten zu und fallen zwischen den Linealen hindurch in entsprechende Behälter, an der Stelle, die ihrem Durchmesser entspricht.

Schraube. Die Schraube wird zur Übersetzung eines Meßergebnisses in vielfältiger Form benutzt, als Schraublehre für Wellenmaße (Bügel-schraublehre) wie für Innenmaße und für Tiefenmaße, ferner in Sonderausführungen für Gewindemessung mit auswechselbaren Einsätzen oder nach dem Dreidrahtverfahren, sowie beim Sphärometer zum Messen der Krümmung von Kugelkalotten. Die Ablesung beträgt im allgemeinen

¹ Schrifttum Nr. 8.

² Dem Verfasser ist sogar einmal eine Meßuhr mit $\frac{1}{1000}$ mm Ablesung angeboten worden, die (nach Angaben der Firma) ± 4 Skalenteile Fehler aufwies, und das in neuem Zustande! Daher sollte jedes Meßinstrument vor dem Ankauf mit einfachen Mitteln auf seine Richtigkeit geprüft werden.

0,01 mm. Die Genauigkeitsansprüche, die an gute Schraublehren gestellt werden können, sind in DIN 863 festgelegt. Werden höhere Ansprüche gestellt, so müssen die Steigungsfehler ausgeglichen werden. Dies wird z. B. bei der Tischverstellung von Lehrenbohrmaschinen in der Weise bewirkt, daß die der Hauptteilungstrommel gegenüberstehende Noniustrommel durch ein Kurvenlineal um geringe Beträge verdreht wird. Diese Beträge entsprechen den an der Spindel durch genaueste Messung ermittelten Steigungsfehlern. Auf diese Weise ist der Fehler auf etwa 1μ herabgedrückt worden.

Recht lehrreich ist die Verwendung der Schraube an der Lehrenbohrmaschine von H. Lindner. Zur groben Längs- und Quereinstellung des Tisches dienen Millimeter-Teilungen. Für die Feineinstellung ist längs der beiden Bewegungsrichtungen eine hochglanzpolierte Welle angeordnet, auf der sich ein schraubenlinig verlaufender feiner Riß befindet. Auf der Welle ist eine Teilungstrommel befestigt; die Einstellung geschieht mit Nonius. Sodann wird der Tisch mit Hilfe einer Transportspindel solange verstellt, bis der schraubenlinige Riß im Gesichtsfeld eines Mikroskopes genau zwischen den zwei Markenstrichen der Okularstrichplatte liegt.

Eine Verbindung der Schraube mit optischen Meßmitteln ist das Werkstattmeßmikroskop. Die Verstellung des Tisches mit dem zu messenden Stück erfolgt nach rechtwinkligen Koordinaten mit je einer Lehrschraube mit $\frac{1}{100}$ mm Ablesung. Das Werkstück wird mit einem Mikroskop, das eine Strichplatte enthält, anvisiert. Winkelmessungen werden durch eine drehbare Strichplatte mit Kreisteilung ermöglicht.

Das Werkstattmeßmikroskop verdient in diesem Zusammenhang besondere Erwähnung, obschon es hauptsächlich für die Vermessung von Werkzeugen und Lehren, jedoch weniger für Werkstücke benutzt wird. Aus der Anordnung des Aufspanntisches als Kreuzschlitten und seiner sonstigen vielseitigen Verwendbarkeit folgt nämlich, daß es zweckmäßig ist, für eine irgendwie gestaltete Form, für die ein Formwerkzeug oder eine Formlehre notwendig wird, die Bemaßung in der Gerätezeichnung nach einem rechtwinkligen Koordinatensystem vorzunehmen, um Umrechnungen zu vermeiden. Als Ausgangsordinaten werden vorteilhaft möglichst die wichtigsten aufeinander senkrecht stehenden Flächen gewählt, die möglichst lang sein sollen.

In gleicher Weise überlege man sich beim Eintragen der Maße, ob für Vorrichtungen oder Lehren zu einem Gerätteil ein Lehrenbohrwerk benutzt wird und bemaße dementsprechend. Auch dieses arbeitet nach einem rechtwinkligen Koordinatensystem. Wahllos durcheinander gewürfelte Maße lassen nicht nur Fehler beim Umrechnen befürchten, sondern vermindern auch die Genauigkeit der Betriebsmittel (Vorrichtungen, Werkzeuge, Lehren) und damit der Werkstücke.

Das Spiel im Gewinde einer Schraublehre wird durch Nachstellrichtungen nach Möglichkeit ausgeschaltet, ganz beseitigen läßt es

sich nicht, schon mit Rücksicht auf die Notwendigkeit eines Schmierfilms. Deswegen muß der Meßdruck immer in der gleichen Richtung, auf die gleiche Gewindeflanke, wirken; dies ist wichtig, wenn eine Lehrschaube (ohne Bügel im Handel erhältlich) in eine Sonderlehre (Istmaß-Lehre) eingebaut wird. Beim Einstellen einer solchen Lehre muß der Meßdruck in der gleichen Richtung wirken wie beim Messen.

Die Regelung des Meßdruckes¹ ist bei so genauen Messungen, wie sie die Schraublehre ermöglicht, besonders wichtig. Schwankungen des Meßdruckes bewirken verschieden starke Abplattungen an den Berührungstellen und verschieden große elastische Formänderungen der Lehre. Auch die meist angebrachte Ratsche oder Reibkupplung bietet keine unbedingte Gewähr für gleichbleibenden Meßdruck, durch mehr oder weniger schnelles Andrehen können erhebliche Unterschiede hervorgerufen werden.

Eine Erweiterung des Anwendungsgebietes der Schraube als Übersetzung stellen die Meßmaschinen dar, soweit man sich hierbei der Schraube bedient (Hommel, Mahr, Reinecker, Sautter & Meßner). Hierbei werden Meßdruckregler der verschiedensten Bauarten benutzt.

Zahnräder. Eine weitere Möglichkeit einer mechanischen Übersetzung des Meßwertes stellt das Zahnradgetriebe dar, wie es in der Meßuhr Anwendung findet. An ein solches Räderwerk werden hohe Anforderungen bezüglich der Genauigkeit des Abwälzens gestellt, die Rädchen sind kaum größer als die einer Taschenuhr. Es hat lange gedauert, bis brauchbare und vor allem haltbare Meßuhren in den Handel kamen. Die Anforderungen in bezug auf Teilungs-, Evolventenfehler und Unrundheit sind höher als bei einer guten Taschenuhr. Dazu kommt, daß die Werkstoffbeanspruchungen bei stoßweiser Bewegung des Taststiftes infolge der Massenkkräfte außerordentlich hoch sind. Das unvermeidliche Spiel zwischen den Zahnflanken wird durch Federn unschädlich gemacht. Die Meßuhr hat genormte Anschlußmaße und kann mit Vorteil in Sonderlehren eingebaut werden; sie erhält auf Wunsch einstellbare Toleranzmarken und stellt dann eine Festmaß-Lehre dar. Ihre leichte und einfache Einstellmöglichkeit nach einem Urstück (Gegenlehre), durch Verdrehen der Teilung, ist zweifellos ein Vorteil, es besteht jedoch die Gefahr einer unbeabsichtigten oder absichtlichen Verstellung beim Werkstattgebrauch.

Bei der Meßuhr kann, wie bereits erwähnt, in der Werkstatt mit einer Zuverlässigkeit der Messung auf einen Teilstrich gerechnet werden. Besonders zweckmäßig sind Meßuhren, die einen gleichbleibenden Meßdruck über den ganzen Meßbereich aufweisen (Mahr).

Die Meßuhr wird in der verschiedensten Weise bei handelsüblichen

¹ Auf dem Normblatt DIN 863 ist die zulässige Aufbiegung des Bügels für den Meßdruck 1 kg festgelegt.

Meßgeräten angewandt: Meßuhrständer, Schlagprüfer, Rachenlehren, Innenmeßgeräte, Fräserprüfgeräte usw. Zahnradgetriebe in Verbindung mit Hebelübersetzungen enthalten auch das Passameter (für Wellen) und das Passimeter (für Bohrungen) von Zeiß.

Über die Zweckmäßigkeit der Verwendung von Meßuhren in Sonderlehren bestehen verschiedene Ansichten. Der Verfasser vertritt die Meinung, daß bei ausgesprochener Massenfertigung und kurzer Meßzeit eine Zeiger- (Hebel-) Konstruktion mit nur zwei Toleranzmarken zuverlässiger ist und den Messenden weniger ermüdet, als der ständig herumschnurrende Zeiger; jedoch lassen sich solche Fragen kaum grundsätzlich beantworten. Es muß jedoch unbedingt davon abgeraten werden, irgendwelche Zahnräderübersetzungen für Sonderlehren besonders zu entwerfen. Die Fertigung solcher Getriebe erfordert Sonderwerkstätten und Sondererfahrung und wird bei Einzelfertigung ganz gewiß nicht das gewünschte Ergebnis bringen, sowohl in bezug auf die erstrebte Genauigkeit, als auch in preislicher Hinsicht.

Wasserwaage. Als mechanische Übersetzung ist auch die Wasserwaage anzusprechen, bei der einer geringen Neigung der Auflagefläche ein mehr oder weniger großer Blasenweg entspricht. Sie findet Verwendung an der Reißplatte, zum Ausrichten von Maschinen, in Verbindung mit anderen Hilfsmitteln (Schmiege) usw. Die Empfindlichkeiten sind in DIN 877 genormt. Die Wasserwaage kann geeicht und als Istmaß-Lehre benutzt werden.

Lupe und Mikroskop.

An optischen Hilfsmitteln werden zur Erzielung einer Übersetzung die Lupe und das Mikroskop in Verbindung mit Glasstrichplatten sowie für große Werkstücke (Lokomotivrahmen) das Fernrohr mit Kollimator benutzt.

Das Werkstatt-Meßmikroskop als eine Verbindung zwischen Optik und Mechanik wurde bereits erwähnt. Genauere Messungen ermöglicht das Zeißsche Universal-Meßmikroskop (UMM). Hierbei dient das Gewinde nur zum Verschieben der beiden rechtwinklig zueinander angeordneten Schlitten, während die Ablesung der Schlittenstellung mit Glasmaßstäben und Mikroskopen erfolgt.

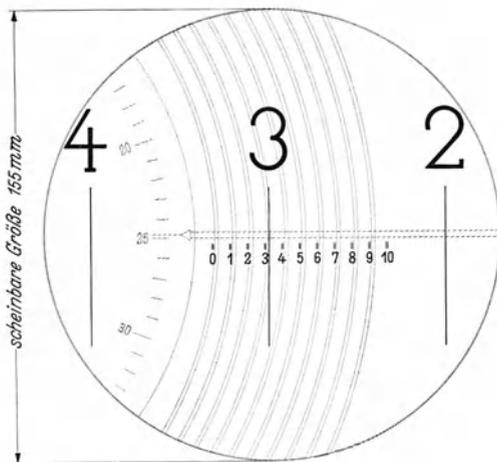


Abb. 29. Sehfeld des Ablesemikroskopes am UMM.
Einstellung : 3,3248 mm.

Lehrreich ist hierbei die Verwendung einer auf eine drehbare Glasstrichplatte aufgebrachtten Doppelspirale. Zwischen den beiden Spiralstrichen läßt sich mit großer Genauigkeit ein Strich der Millimeterteilung eingrenzen; die Ablesung der Hundertstel und Tausendstel erfolgt auf einer Kreisteilung der Spiralplatte (Abb. 29).

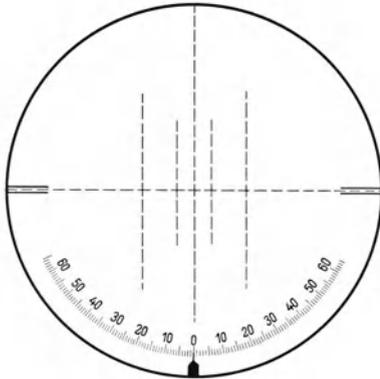


Abb. 30. Universalstrichplatte.

Das UMM wird neben vielen anderen Anwendungsgebieten in Lehrenwerkstätten für die genaue Messung von Gewinde benutzt. An die Gewindeflanken werden besondere Meßscheiden angeschoben die parallel zur Schneide in bestimmtem Abstand einen feinen Riß tragen. Dieser Riß wird mit einer im Mikroskop befindlichen drehbaren Universalstrichplatte (Abb. 30) anvisiert; auf diese Weise kann der Flankendurchmesser ermittelt werden. Zur Prüfung des Gewindeflanken dient eine Revolverstrichplatte (Abb. 31), welche die verschiedenen Gewindeflanken enthält. Uni-

versalstrichplatte und Revolverstrichplatte finden sich auch am Werkstattmikroskop.

Beim Optimeter, als Waagrecht- oder Senkrecht-Optimeter ausge-

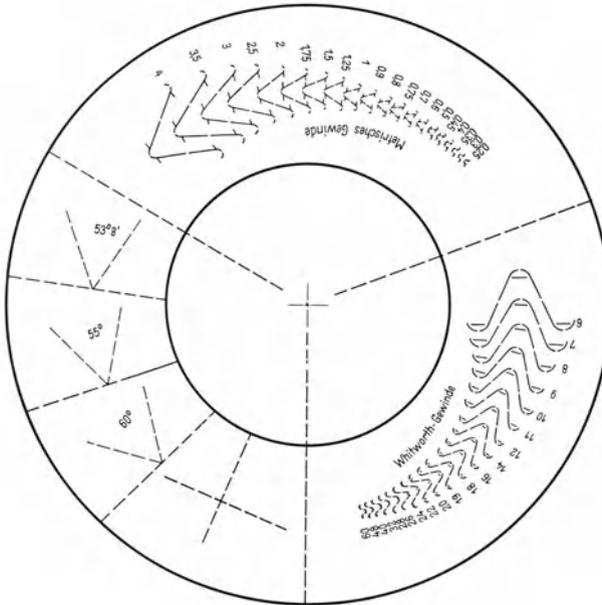


Abb. 31. Revolverstrichplatte.

führt, wird durch die Bewegung des Meßbolzens ein Spiegel gekippt. Dieser Spiegel reflektiert das Bild einer Skala in das Gesichtsfeld einer

Lupe. Eine feste Marke in der Lupe gestattet Ablesungen von 0,001 mm, bei einer neueren Ausführung können sogar 0,0002 mm abgelesen werden. Das Optimeter muß nach Endmaßen oder Gegenlehren auf Null eingestellt werden.

Die Meßmaschine von Zeiß ermöglicht Absolutmessungen bis zu 6 m auf 0,001 mm. Für die Ablesung der Hundertstel und Tausendstel ist ein Optimeter eingebaut, das gleichzeitig als Meßdruckregler dient; zur genauen Einstellung auf ganze Zehntelmillimeter dient ein Glasmaßstab von 100 mm Länge und je im Abstände von 100 mm angebrachte Glasplatten mit Doppelstrichen. Ein optisches System läßt die Maßstabteilung und jeweils ein Strichpaar gleichzeitig im Gesichtsfeld eines Mikroskopes erscheinen; zur Einstellung wird der gewünschte Skalenstrich genau in die Mitte zwischen das Strichpaar gebracht.

Als weitere optische Meßgeräte seien genannt die Brinell-Lupe zum Messen des Eindruckdurchmessers bei Brinell-Härteprüfungen und das Meßmikroskop mit Okularskala.

Ebenfalls mit mikroskopischer Ablesung und Glas-Strichplatten ist der optische Teilkopf versehen, der sowohl zur Fertigung sehr genauer Werkstücke, als auch für die Fertigung und Prüfung von Betriebsmitteln gebraucht wird.

Ferner verdient in diesem Zusammenhang der optische Winkelmesser erwähnt zu werden, der infolge der Verschiebbarkeit des einen Schenkels für alle möglichen Winkelmessungen verwendbar ist.

Lichtstrahl. Beim „Mikrolux“ der Fa. Fritz Werner bildet ein Lichtstrahl den langen Arm eines Übersetzungshebels¹. Durch eine Hebelanordnung wird ein Spiegel gedreht, der einen Lichtstrich auf eine zylindrisch gebogene Mattscheibe wirft. Die Einstellung muß mit einem Einstellstück erfolgen, oder mit zwei Einstellstücken, wenn eine Grenzmessung vorgenommen werden soll. Eine Istmaß-Ablesung ist nicht vorgesehen, die Mattscheibe trägt verschiebbare Marken für die Grenzwerte.

Projektion. Eine weitere Verwendung der Optik ist die Projektion. Formstücke werden in bestimmter Vergrößerung (bis 1:150) auf einen Schirm oder eine Mattscheibe projiziert und können auf diese Weise mit einem Aufriß in vergrößertem Maßstab verglichen werden. Es ist möglich, diesen Riß als Toleranzfeld auszubilden und so eine Form-Grenzprüfung vorzunehmen (vgl. Abb. 66).

Bei genauesten Messungen wird die Interferenz der Lichtwellen benutzt, das Verfahren kann hier unbesprochen bleiben, weil es ausschließlich in Meßlaboratorien benutzt wird.

c) Vergleichsmessung ohne Übersetzung. Wenn hier von einer Ver-

¹ Das gleiche Meßprinzip wird seit langem bei physikalischen Meßinstrumenten (z. B. Spiegelgalvanometer) angewendet.

gleichmessung zum Unterschied von der Strichmessung gesprochen wird, so soll damit in erster Linie die Körper—Körper-Messung gemeint sein.

Verfahren. Die Messung der Länge eines Werkstückes, wie es Abb. 32 zeigt, kann zunächst in der Weise geschehen, daß es auf eine ebene Platte neben einem Musterstück von genau bestimmter Länge aufgestellt wird. Beim Vergleichen der beiden nebeneinander stehenden Teile in bezug auf die Höhe ergibt sich, ob das Werkstück höher (= länger) oder niedriger ist als die Lehre.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine galgenartige Lehre auf eine Platte zu stellen und zu prüfen, ob das Werkstück unter dem Galgen hindurchgeht oder nicht, d. h. ob es kleiner oder größer ist als das Maß der Lehre (Abb. 33). Man kann noch einen Schritt weitergehen und die Länge mit einer Rachenlehre prüfen, deren Weite der Höhe des Galgens entspricht, wie dies allgemein bekannt ist.

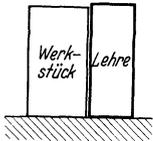


Abb. 32. Vergleichsmessung, gleichartige Körper.

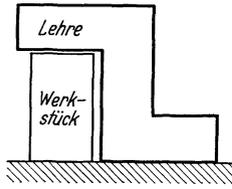


Abb. 33. Vergleichsmessung, Gegenkörper.

Der Unterschied besteht darin, daß bei dem ersten beschriebenen Verfahren gleichartige Körper verglichen werden, denn in Abb. 32 hat die Lehre im wesentlichen, d. h. in der zu messenden Länge, dieselbe Gestalt wie das Werkstück; im zweiten und dritten Fall dagegen stellt die Lehre den Gegenkörper dar.

Beide Verfahren werden in der Praxis in vielfach abgewandelter Gestalt benutzt.

Es scheint auf den ersten Blick, als ob das erste Verfahren, der Vergleich gleichartiger Körper, ungenauer sei als das zweite; besonders bei der Rachenlehre leuchtet es ein, daß sie beim Gebrauch sehr empfindlich anzeigt, ob das Stück länger oder kürzer ist als ihr Maß: sie geht nicht hinüber, oder sie geht hinüber.

Stehen die beiden Stücke in Abb. 32 dicht beieinander und haben sie scharfe Kanten, so lassen sich durch Abtasten Höhenunterschiede von der Größenordnung 0,01 mm noch feststellen. Der Tastsinn in den Fingerspitzen, in denen viele Nerven endigen, ist in hervorragendem Maße hierfür geeignet. Sind die Endflächen beider Stücke poliert, so lassen sich an der Spiegelung kleine Höhenunterschiede ebenfalls recht genau erkennen. Das feinfühligste Hilfsmittel für derartige Messungen ist das Haarlineal, das eine nahezu messerscharfe, genau gerade Kante besitzt. Wird es über die beiden nebeneinander stehenden Stücke gelegt, so erkennt man von der Seite, welches der beiden Teile höher ist.

Die Feinfühligkeit des Haarlineals geht so weit, daß Unterschiede von $1\ \mu$ und weniger sehr gut erkannt werden können. Man kann sich davon überzeugen, wenn man zwei Endmaße, die sich um $1\ \mu$ unterscheiden, nebeneinander an eine genau

ebene Platte ansprengt und den Höhenunterschied mit dem Haarlineal prüft. Hierbei wird der Lichtspalt unverhältnismäßig groß erscheinen. Diese Erscheinung hat ihre Ursachen in der Spiegelung des Lichtspaltes in der polierten Fläche, in der Lichtbeugung, die an der schmalen, engen Stelle auftritt, und in der physiologischen Eigenschaft des menschlichen Auges, helle Stellen auf dunklem Grunde größer erscheinen zu lassen, als dunkle Stellen auf hellem Grunde. Hiervon zeugen zahlreiche sog. optische Täuschungen. So erwünscht an sich diese Erhöhung der Meßsicherheit ist, so unangenehm kann sie sich bei Formlehren auswirken, bei denen geringste Abweichungen der Werkstückform von der Lehrenform deutlich in Erscheinung treten. Dies hat oft Fehlschätzungen über die Größe der Unterschiede zur Folge.

Die Messung nach Abb. 32 kann auch so ausgeführt werden, daß beide Stücke mit einer Meßuhr, einem Optimeter, Mikrolux oder ähnlichem Gerät abgetastet werden. Die Lehre dient dann als Einstellstück (Gegenlehre) für das Meßgerät (Lehre).

Für die zweite Art der Prüfung nach Abb. 33 gibt es gleichfalls verschiedene Möglichkeiten des Vorgehens. Man kann die Lehre von oben auf das Werkstück setzen und prüfen, ob sie mit ihrem Fuß auf der Platte



Abb. 34. Verkantung in der Lehrenebene.



Abb. 35. Verkantung senkrecht zur Lehrenebene.

aufsitzt (Lichtspalt). Man kann die Lehre festhalten und das Werkstück darunter zu führen versuchen, oder das Werkstück festhalten und die Lehre herschieben und dabei beobachten, ob sie anstößt oder sich anhebt (Tastsinn). Das letzte Verfahren dürfte im gewählten Beispiel das beste sein, weil die Lehre die größte Auflagefläche hat und infolgedessen beim Verschieben am wenigsten zum Kippen neigt. Die Lichtspaltprüfung erscheint wegen der großen Auflagefläche unangebracht, weil das Auge genau in die Ebene des Lichtspaltes gebracht werden muß, um diesen überhaupt erkennen zu können; das ist bei „tiefen“ Flächen

nicht ganz leicht, so daß der Lichtspalt leicht verfehlt wird, und eine Fehlmessung die Folge ist. Der Vorteil des Haarlineals ist im Gegensatz dazu die geringe Tiefenausdehnung, die den Lichtschimmer auch bei nicht genauer Einstellung des Auges zu erkennen gestattet.

Ist bei der Vergleichsmessung nach Abb. 33 die Lehre erheblich schwerer als das Werkstück, so ist es vorzuziehen, das Werkstück nach der Lehre hin zu verschieben, um das Meßgefühl zu vergrößern.

Beim Messen mit einer starren Rachenlehre kommt es darauf an, daß beim Ansetzen die Meßflächen parallel zu den zu messenden Flächen liegen, mit anderen Worten, daß die Lehre nicht verkantet wird. Bei



Abb. 36. Messen einer Welle mit Rachenlehre.

geringer Übung und mangelnder Sorgfalt kann dadurch leicht der Eindruck entstehen, als sei das Werkstück größer als die Lehre. Diese Verkantung kann sowohl in der Ebene der Lehre (Abb. 34), als auch senkrecht dazu auftreten (Abb. 35). Bei der Messung einer runden Welle kann das Verkanten nach Abb. 34 nicht vorkommen, weil der zu messende Durchmesser in jeder beliebigen Winkellage vorhanden ist. Um das Verkanten in der andern Richtung zu verhindern, geht man vielfach so vor, daß man zuerst die eine Meßfläche der Rachenlehre zur Anlage bringt und darauf achtet, daß nicht eine punktweise Berührung — an der vorderen oder hinteren Kante —, sondern eine Linienberührung über die ganze Meßfläche hinweg eintritt.

Die Dickenausdehnung der Lehre an der Meßstelle wird also zum Aufrichten der Lehre benutzt. Sodann wird die zweite Meßfläche über die Welle geschwenkt, wobei die erste auf dem Umfang abrollt (Abb.36).

Geometrische Form. In diesem Zusammenhang taucht die Frage auf, inwieweit durch die einzelnen Meßverfahren an zwei zusammengehörigen Werkstücken sichergestellt wird, daß die Stücke mit der geforderten Passung zusammengefügt werden können.

Betrachtet man als einfachstes Beispiel eine Rundpassung, Bohrung und Welle, die mit genormten handelsüblichen Lehren geprüft werden, so ergibt sich folgendes:

Die Bohrung wird mit einer Gutlehre geprüft, deren Meßfläche

einen Zylinder von bestimmter Länge darstellt. Die Bohrung kann unrund, kegelig, ballig, hohl oder krumm sein, sie kann alle diese Fehler, mehr oder weniger stark, gleichzeitig besitzen. Der Gutlehrdorn läßt sich ganz einführen, wenn an keiner Stelle ein Zylinder vom Durchmesser und der Länge des Lehrdornes unterschritten wird. Ist die Bohrung länger als der Meßzapfen, so wird eine Abweichung von der Geradheit nicht ganz erfaßt. Ist die Bohrung soviel krumm, daß die Lehre gerade noch hineingeht, so muß befürchtet werden, daß eine Welle, die länger ist als der Meßzapfen, sich nicht einführen läßt. Man sieht, daß die Krümmheit durch eine im ganzen größer gehaltene Bohrung ausgeglichen werden muß. Alle anderen genannten Abweichungen von der geometrischen Form nach der Gutseite hin werden vom Gutlehrdorn vollkommen erfaßt.

Der Ausschußlehrdorn darf sich nicht einführen lassen. Das bedeutet, daß an dem Ende der Bohrung, an dem man versucht, die Lehre einzuführen, der einbeschriebene Kreis kleiner sein muß als der Durchmesser des Ausschußlehrdornes. An dieser einen Stelle kann die Bohrung unrund sein oder sogar enger als in ihrem weiteren Verlauf. Folglich kann über den Sitz der Werkstückwelle in der Werkstückbohrung sehr wenig ausgesagt werden; dieser Art Ausschußprüfung haften große Mängel an.

Wenn es sich um eine Lagerbohrung handelt und demnach auf eine gute Ausbildung des Schmierfilmes und -keiles sowie auf geringen Verschleiß, d. h. auf eine gute geometrische Übereinstimmung zwischen Welle und Bohrung und gleichmäßiges Tragen des ganzen Lagers besonderer Wert gelegt werden muß, so muß man zu anderen Meßmitteln greifen. Vorteilhafter ist bereits die Flachlehre, wie sie für große Bohrungen benutzt wird, weil sie in gewissem Grade eine Unrundheit erkennen läßt. Am besten geeignet für diesen Zweck ist jedoch ein Meßmittel, das an jeder beliebigen Stelle zu prüfen gestattet, ob das Ausschußmaß des Bohrungsdurchmessers überschritten ist oder nicht. Ein solches Meßmittel ist das Kugelendmaß. Es wird bis zu jeder beliebigen Tiefe (wenn nötig, mit Halter versehen) eingeführt und aufzurichten versucht, dabei kann der Durchmesser in jeder beliebigen Richtung geprüft werden. Diese Vorzüge haben dazu geführt, daß mit der Einführung des ISA-Toleranzsystems die Anwendung des Kugelendmaßes als Ausschußlehre für Bohrungen weitgehend empfohlen wurde.

Die Vereinigung eines Gutlehrdornes, der kugelig ausgebildet ist, mit einem Kugelendmaß stellt die von den schwedischen Kugellagerfabriken entwickelte „Tebo-Lehre“ dar¹.

Betrachtet man nun die der Bohrung zugeordnete Welle und ihre Prüfung, so stellt man fest, daß sie ebenso wie die Bohrung unrund,

¹ Die Lehre wird in Deutschland von Reindl & Nieberding, Berlin, hergestellt.

kegelig, ballig oder hohl und krumm sein kann. Sie wird zunächst mit einer Gutrachenlehre gemessen, die hinübergehen soll. Diese liegt, wenn sie zufällig paßt, in zwei kurzen Stücken von Mantellinien des Zylinders an. Die Geradheit wird also nur jeweils in einer Ebene und auf eine Länge geprüft, die der Dicke des Meßrachsens entspricht. Dies ist verhältnismäßig wenig, viel weniger als beim Gutlehrdorn. Balligkeit oder Hohlheit und Kegeligkeit können insoweit vorhanden sein, als bei der vorbeschriebenen Anlage in zwei Mantellinienstücken nirgends das Maß der Lehre überschritten ist. Hierbei muß vorausgesetzt werden, daß eine genügende Anzahl von Messungen ausgeführt wird. Auch ein elliptischer Querschnitt der Welle würde bemerkt werden, wenn das Lehrenmaß an der dicksten Stelle überschritten ist.

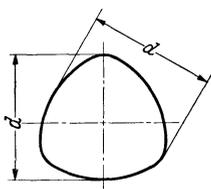


Abb. 37. Dreiseitiges Gleichdick.

Es gibt Abweichungen vom Kreisquerschnitt derart, daß zwar der umschriebene Kreis größer ist als das Lehrenmaß, dies jedoch mit einer Rachenlehre nicht erkannt werden kann. Dies sind die sog. „Gleichdicke“, die ein Mittelglied zwischen der Kreisform und einem Vieleck mit ungerader Eckenzahl darstellen (Abb. 37).

Die vollkommenste Gutlehre für eine Welle ist ein Lehring, dessen Länge gleich der „tragenden“ Länge der Passung ist. Dieser läßt sich bei der Fertigung nicht immer gut anwenden, er wird besonders in der Feinwerktechnik viel benutzt.

Die Ausschußenlehre darf sich nicht überführen lassen. Sie liegt ebenfalls in zwei Linien an, die im Grenzfall (wenn das Stück gerade eben Ausschuß ist) auf Durchmessern liegen. Unterschreitungen des Ausschußmaßes sind etwa in der Form denkbar, daß die Welle auf der Länge der Berührungslinien hohl ist. Da diese verhältnismäßig kurz sind, kann der Fehler nur unbedeutend sein. Das Ideal wäre eine Ausschußenlehre mit punktförmiger Anlage, die, ebenso wie das Kugelendmaß, den Nachteil der schnelleren Abnutzung aufweist.

Aus den Betrachtungen geht hervor, daß in dem gewählten Beispiel Abweichungen von der geometrischen Form zunächst innerhalb des Toleranzfeldes möglich sind und darüber hinaus infolge der Unvollkommenheit der Meßmittel Abweichungen auftreten können, die entweder das Zusammenfügen der beiden Werkstücke verhindern, oder die Brauchbarkeit einer Lagerstelle infolge (örtlich auftretender) zu großer Lagerluft in Frage stellen können.

Im gewöhnlichen Maschinenbau braucht jedoch diesen Fragen nicht allzu große Bedeutung beigemessen zu werden. Es ist nur notwendig, daß sich der Ingenieur darüber klar ist, welche Fälle trotz der sorgfältigen Tolerierung eintreten können, und im Einzelfalle, der es erheischt, entweder die Auswahl der Meßmittel vorschreibt oder besondere Angaben über Abweichungen von der geometrischen Form macht.

Kommt es wirklich — ausnahmsweise! — so genau darauf an, so wären im behandelten Beispiel folgende Messungen vorzusehen:

Welle:

Gutlehre: Ringlehre, Länge gleich der Länge der zugehörigen Bohrung,

Ausschußlehre: Rachenlehre mit möglichst schmalen Meßbacken;
Bohrung:

Gutlehre: Lehrdorn, Länge gleich der Länge der zugehörigen Lagerstelle an der Welle,

Ausschußlehre: Kugelendmaß.

Welche Nachteile diese Maßnahmen im einzelnen haben, wurde bereits angedeutet und man sollte solche Besorgnis nur in Ausnahmefällen an den Tag legen. Denn sie bedeuten gegenüber dem Üblichen eine Einschränkung und Verteuerung.

Ein wichtiger Schluß kann aus den Betrachtungen gezogen werden, der auch für den Entwurf von Sonderlehren grundlegende Bedeutung hat:

Eine Gutlehre ist meßtechnisch dann am vollkommensten, wenn sie sich in der Form und Größe der Meßfläche (nicht in den Lehrenmaßen) möglichst an diejenige des Gegenstückes¹ anlehnt; die Ausschußlehre dagegen soll möglichst punktweise messen. Ausschußlehren, die mit einer Messung mehrere Meßgrößen erfassen, sind grundsätzlich falsch entworfen.

Beispiel: Gutlehre für einen Vierkantzapfen: Vierkantdurchbruch möglichst in ganzer Länge des Werkstückzapfens, Ausschußlehre: offene Rachenlehre. Die Gutlehre erfaßt die Rechtwinkligkeit, die Ausschußlehre nicht.

Parallel-Endmaße. Die Grundlage für technische Längenmessungen in der Werkstatt stellen die Parallel-Endmaße dar. In der Werkstatt für Mengen- oder Massenfertigung werden sie allerdings nur zum Einstellen von Maschinen benutzt, um so mehr aber in der zugehörigen Werkstatt für Vorrichtungen, Werkzeuge und Lehren. Sie stellen Rechtecke vom Querschnitt 9×30 , bei größerer Länge 9×35 mm dar, deren Endflächen hochglanzpoliert, in hohem Grade eben und mit großer Genauigkeit auf ein bestimmtes Längenmaß gearbeitet sind. Sie werden in Sätzen, die innerhalb gewisser Grenzen jede beliebige Zusammenstellung gestatten, und in Längen bis zu 3 m in verschiedenen Genauigkeitsgraden geliefert. Die Herstellungstoleranz beträgt beispielsweise unter 10 mm in Klasse I $\pm 0,2 \mu$, in Klasse II $\pm 0,5 \mu$, in Klasse III $\pm 1,2 \mu$.

In größeren Werkstätten wird meist ein Urmaßsatz besonders sorgfältig aufbewahrt, der nur zum Vergleich mit den vorhandenen Arbeits- und Prüfmaßsätzen dient und von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geprüft ist. Die Arbeitsmaße werden in der Werkstatt, die Prüf-

¹ Unter Gegenstück ist das dem zu messenden Werkstück zugeordnete Werkstück zu verstehen.

maße in der Revision benutzt. Mitunter werden zwischen Prüfmaße und Urmaße zu deren Schonung noch Vergleichsmaße eingegliedert.

Endmaße werden aus hochgekohltem, legiertem Sonderstahl gefertigt und gehärtet. Bei der Auswahl des Werkstoffes kommt es vor allem auf Verzugfreiheit und Maßbeständigkeit an. Die hierfür benutzten Legierungen, sowie die Verfahren zum Härten, Entspannen und künstlichen Altern wie auch die Polierverfahren, sind das Ergebnis jahrzehntelanger Erfahrungen und vielfach Geheimnisse der herstellenden Firmen. Bis vor einiger Zeit galten die Endmaße der schwedischen Firma Johansson als unübertroffen, jetzt werden jedoch auch in Deutschland mindestens ebenbürtige Erzeugnisse hergestellt.

In Verbindung mit Zusatzgeräten: Endmaßhaltern, Anreißspitzen, Zentrierspitzen, Halbrundschnäbeln, geraden Meßschnäbeln, Toleranzmeßschnäbeln, Messerschnäbeln u. dgl. und sonstigen Hilfsmitteln, Winkeln, Linealen, Platten, Dornen, Meßdrähten usw. ist das Anwendungsgebiet der Endmaße außerordentlich vielseitig.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind so vielseitig und lehrreich, daß ihr Studium wohl als die Grundlage für die Beherrschung des Meßwesens angesehen werden kann und die Beschäftigung hiermit auch dem Gerätkonstrukteur angeraten werden muß. Man vergleiche hierzu die wenigen, aber nützlichen Beispiele in der AWF-Schrift Nr. 951, „Parallel-Endmaße“.

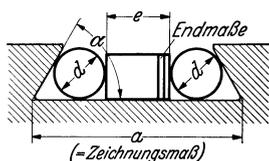


Abb. 38. Messung einer Schwalbenschwanznut mit Meßdrähten und Endmaßen.

Meßscheiben, -drähte und -kugeln, zusammen mit Endmaßen, werden für Längenmessungen an schiefwinkligen Teilen und für Winkelmessungen der verschiedensten Art im Werkzeug-, Vorrichtung- und Lehrenbau sehr viel benutzt. Ein einfaches Beispiel zeigt Abb. 38. Zur Ermittlung von e aus d (in gewissen Grenzen beliebig), α und a ist eine einfache trigonometrische Rechnung erforderlich. Hierbei muß das Istmaß des Winkels α eingesetzt werden.

Zu den Endmaßen im weiteren Sinne rechnet auch der sog. „Spion“ oder die Fühlerlehre. Sie besteht aus mehreren dünnen Stahlplättchen von verschiedener Dicke und dient zum Prüfen der Breite von Schlitzen und Spalten. Sie besitzt keine große Genauigkeit.

In ähnlichen Sätzen, wie für Längenmaße, sind auch Winkelendmaße erhältlich, die in Abstufungen von 1' jeden beliebigen Winkel zwischen 10° und 350° zusammenzustellen gestatten. Man findet sie jedoch verhältnismäßig selten, da sie kurze Meßflächen haben und ihr Anwendungsgebiet beschränkt ist. Zudem kann an ihrer Stelle meist ein Werkstatt-Meßmikroskop mit Strichplatte oder ein anderes optisches Meßgerät mit Vorteil verwendet werden.

Von den übrigen Vergleichsmeßgeräten sind Lineale, darunter das bereits besprochene Haarlineal, Winkel (auch solche mit einer Haarkante), ebene Platten, Parallelreißer, Zirkel und Taster (Außen- und Innentaster) zu nennen.

d) Vergleichsmessung mit Übersetzung. Ist mit der Vergleichs-

messung zur Verdeutlichung eine Übersetzung verbunden, so geschieht dies stets in Verbindung mit einem der bereits besprochenen Festmaß- oder Istmaß-Meßgeräte: Meßuhr, Optimeter, Projektionsapparat, Mikrolux usw.

Eine Meßuhr mit Ständer wird meist nach einem oder zwei Vergleichsstücken (z. B. Endmaß) eingestellt, auch dann, wenn an sich ihr Meßbereich ausreichen würde, um von der Nullstellung der Meßuhr auszugehen. Kommt es auf die Genauigkeit der Messung an, so ist durch dieses Verfahren die Möglichkeit gegeben, die Fehler der Meßuhr in gewissem Grade unschädlich zu machen, denn diese Fehler sind — über den ganzen Meßbereich genommen — größer als innerhalb eines verhältnismäßig kleinen Meßbereiches, wie er für die Toleranz benötigt wird.

4. Besondere Meßverfahren.

a) **Flachpassungen.** Bei einer Rundpassung gehört zu einer zylindrischen Welle eine zylindrische Bohrung und zwischen beiden ist, je nach der Größe und Lage der gewählten Toleranzfelder, mehr oder weniger Spiel oder Übermaß. Überträgt man die Verhältnisse auf flache prismatische Stücke, so erhält man eine Flachpassung. Sie besteht aus einem Innenteil, entsprechend der Rundpassungswelle, und einem Außenteil, das der Paßbohrung entspricht. Beide Werkstücke enthalten ein Paar paralleler Ebenen, die gleichfalls mehr oder weniger Spiel oder Übermaß zueinander zeigen. Als Beispiele seien Paßfedern, Flachführungen, Kulissensteine genannt.

Es steht nichts im Wege, Flachpassungen in der gleichen Weise zu tolerieren wie Rundpassungen; soweit wie möglich empfiehlt sich die Anwendung von Toleranzkürzzeichen. Es ist jedoch darauf zu achten, daß meist eine Flachpassung aus Fertigungsgründen eine größere Toleranz erfordert als eine Rundpassung.

Es ist möglich Flachpassungen in der gleichen Art wie Rundpassungen zu messen: mit Grenzrachenlehre und Grenzlehrdorn. Es ist aber wertvoll, sich darüber klar zu werden, was dabei erreicht wird, in ähnlicher Weise, wie dies bei den Rundpassungen auf S. 46 ff. betrachtet wurde.

Bei der Prüfung des Innenteils einer Flachpassung mit einer

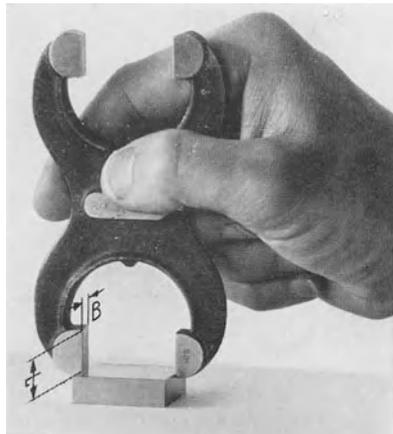


Abb. 39. Flachpassung, Innenteil. Messung mit Grenzrachenlehre.

GrenZRachenlehre (Abb. 39) wird verlangt, daß die Gutseite sich an allen Stellen überführen läßt. Hierbei sind die Berührungsverhältnisse zwischen Werkstück und Lehre andere als bei der runden Welle. Die Schwierigkeit, die Rachenlehre in die richtige Lage zum Werkstück zu bringen, so daß sie sich überführen läßt ohne zu ecken, wurde bereits erörtert. Bei dieser Art Prüfung wird die Geradheit des Werkstückes

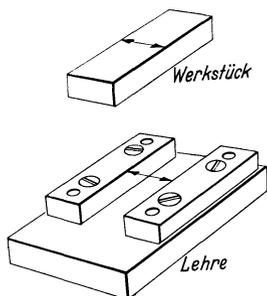


Abb. 40. Flachpassung, Innenteil.
Messung mit Voll-Lehre.

nur auf eine Länge sichergestellt, die der Breite B der Meßflächen entspricht. Allenfalls kann noch die Lehre von vorn oder hinten über das Stück geführt und so die etwas größere Länge L der Meßflächen ausgenutzt werden. Will man unbedingt sicherstellen, daß das Stück mit einem entsprechend tolerierten Außenteil den gewünschten Sitz ergibt, so muß man eine Sonderlehre nach Abb. 40 wählen. Ist das Außenteil kürzer als das Innenteil, so braucht die Lehre nur die Länge des Gegenstückes zu haben. Um das Einführen zu erleichtern, hat die Lehre nach vorn eine verlängerte Auflagefläche erhalten, auf die das Werkstück zuerst aufgelegt und dann zwischen den Meßbacken durchgeschoben wird.

Zur weiteren Erleichterung des Einführens können die Meßbacken angeschrägt werden; besser ist es, auf die Auflagefläche seitlich Führungsklötze aufzuschrauben, die etwas weiter auseinanderstehen als die Meßklötze, oder eine der Leisten zu verlängern.

Die Ausschußprüfung geschieht zweckmäßig mit einer gewöhnlichen Ausschußrachenlehre, die man an mehreren Stellen überzuführen versucht.

Man erkennt hier wiederum den gleichen Grundsatz: Gutlehre volle Form, entsprechend dem Gegenstück; Ausschußlehre kleine Meßfläche.

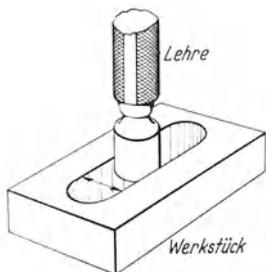


Abb. 41. Flachpassung, Außenteil.
Messung mit Lehrdorn.

Ob im einzelnen Fall für die Gutseite eine Voll-Lehre nötig ist, muß jeweils nach der Wichtigkeit der Passung und dem Wunsch nach der mehr oder weniger vollkommenen Austauschbarkeit entschieden werden. Da es nur um die Geradheit der Flächen geht, ist der Zustand der benutzten Werkzeugmaschinen von ausschlaggebender Bedeutung. Bei guten Maschinen und nicht zu kleinen Toleranzen wird man im allgemeinen mit einer GrenZRachenlehre auskommen.

Beim Außenteil (entsprechend der Bohrung) liegen die Verhältnisse ganz ähnlich. Prüft man mit einem Grenzlehrdorn (Abb. 41), so hat

man auf der Gut- und Ausschußseite Linienberührung. Auf der Ausschußseite ist diese Kleinheit der Berührungsfläche erwünscht, auf der Gutseite ist sie in den meisten Fällen unzureichend. Doch ist die Ausschußprüfung mit einem Dorn sehr empfindlich gegen kleinste Unebenheiten (Rattermarken); es muß befürchtet werden, daß ein Werkstück wegen einer unbedeutenden, ganz kurzen Toleranzüberschreitung als Ausschuß erklärt wird, obwohl es in den wenigsten Fällen dann wirklich unbrauchbar sein wird. Deshalb wird meist die Gut- und Ausschußprüfung eines solchen Außenteils mit einer Flachlehre vorgenommen, wie in Abb. 42 dargestellt. Kommt es auf die Geradheit an, sind die Führungen der Werkzeugmaschine schlecht, ist das Kleinstspiel klein und wird die Austauschbarkeit unbedingt verlangt, so muß auch hier eine Voll-Lehre für die Gutseite vorgesehen werden, die die Länge des Gegenstückes bzw. die Paßlänge hat (Abb. 43).

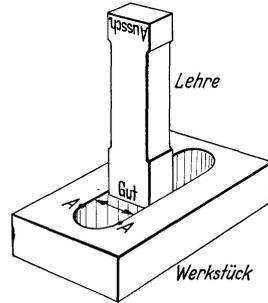


Abb. 42. Flachpassung, Außenteil. Messung mit Flachlehre.

Die Lehre Abb. 43 ist an den Enden angeschragt, weil die Nachbildung der Werkstückrundung schwierig und nicht erforderlich ist. Andererseits soll das Festklemmen am Beginn der Rundung (bei *A*) vermieden werden. Eine entsprechende Formgebung würde sich auch für die Flachlehre in Abb. 42 empfehlen.

Geht man mit der Länge der Voll-Lehre über die Länge des Gegenstückes hinaus, macht man beispielsweise die Lehre für eine Kulissee erheblich länger als den Kulissenstein (Gegenstück), so erkennt man aus dem Vorhergehenden, daß man damit eine Geradheitprüfung ausführt. Hat die Passung an allen Stellen genau das Gutmaß, so muß sie genau gerade sein, damit die Gutlehre hineingeht. Liegt sie aber hart an der Ausschußgrenze, so zeigt Abb. 44, welche Abweichung von der Geradheit denkbar ist, nämlich eine solche, die genau der Größe der Toleranz T entspricht. Ist diese Abweichung im Einzelfall zu groß, so muß die Geradheit mit anderen Mitteln (Lineal, Fühlhebel od. ä.) nachgeprüft werden. Dann ist aber auch eine besondere zahlenmäßige Angabe in der Gerätezeichnung notwendig.

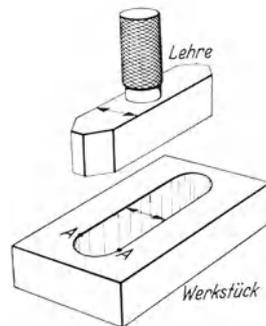


Abb. 43. Flachpassung, Außenteil. Messung mit Voll-Lehre.

Abb. 45 stellt verschiedene Möglichkeiten dar, in welcher Weise die Toleranz ausgenutzt werden kann. Die Nut kann parallelwandig sein, sie kann aber auch links Kleinstmaß und rechts Größtmaß haben und umgekehrt und endlich kann sie beliebig uneben innerhalb des Toleranz-

feldes verlaufen. In der Darstellung ist zur Vereinfachung die untere Fläche als genau eben angenommen und die außerdem mögliche Ungleichheit der Nut außer Betracht gelassen.

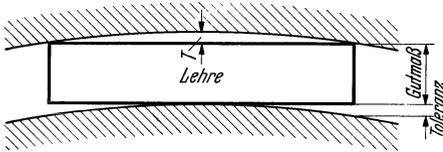


Abb. 44. Geradheit.

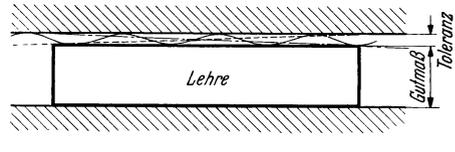


Abb. 45. Ausnutzung der Toleranz.

b) Tiefenmaße. Während bei einer Flachpassung am Stück und am Gegenstück je zwei entgegengesetzt gerichtete ebene Flächen vorliegen, sind die Flächen bei einer Tiefe, also einem treppenförmigen Absatz, der Tiefe einer Bohrung, dem Abstand zweier gleichartiger Wellenabsätze, gleichgerichtet.

Für die Messung einer Tiefe in ihrer verschiedenen Gestalt gibt es zahlreiche Möglichkeiten.

Ein Beispiel zeigt Abb. 46 für eine abgesetzte Bohrung. Die Lehre wird mit den durch die Aufschrift als solche gekennzeichneten Auflageflächen mitten auf den Rand des Werkstückes gesetzt und dann nach rechts (Gutseite) verschoben. Stößt hierbei die Kante der Lehre an der Stelle *A* an, so ist der Bohrungsabsatz zu klein. Sodann wird die Lehre nach links verschoben, dabei muß die Ausschubseite anstoßen, sonst ist der Bohrungsabsatz zu groß und die Toleranz überschritten.

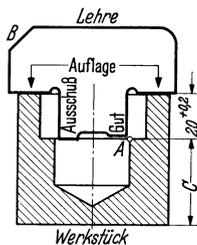


Abb. 46. Tiefenlehre, Flachlehre für einen Bohrungsabsatz.

Zweckmäßig wird an allen Festmaß-Lehren die Ausschubseite äußerlich erkennbar gezeichnet, nicht nur durch die Beschriftung der Lehre, sondern beispielsweise, wie in Abb. 46, durch eine an der Ausschubseite angebrachte Abschrägung *B*. Dadurch werden Irrtümer beim Messen vermieden, und der Messende stellt durch Fühlen sofort fest, welche Lage die Lehre in seiner Hand hat, ähnlich wie der Setzer an der „Signatur“ Art und Stellung der Type erkennt.

Das Tiefenmaß erhält nach den Ausführungen auf S. 7 ff. ein positives Abmaß, z. B. $20 + 0,2$, das Gutmaß ist 20, das Ausschubmaß 20,2. Das bedeutet nach dem oben Erwähnten, daß der Rand, auf den die Lehre aufgelegt wird, die Ausgangsfläche ist, d. h. zuerst gefertigt und von dort aus der Absatz auf die vorgeschriebene Tiefe ausgebohrt wird. Nach der gleichen Regel müßte geschrieben werden $20,2 - 0,2$, wenn die untere Fläche Ausgangsfläche wäre, die dann folgerichtig auch die Auflagefläche für die Lehre werden müßte. Man erkennt hier die Bedeutung des vorgeschlagenen Tolerierungsverfahrens auf die Lehrenkonstruktion und sieht auch, wie in gewisser Weise durch die Art der Tolerierung das Fertigungsverfahren und die Reihenfolge der Arbeitsgänge festgelegt werden.

Wird das Teil auf der Drehbank gefertigt, so wird nach Abb. 46 zuerst die obere Stirnseite plangedreht und dann, von dort ausgehend, gebohrt und aufgebohrt.

Bei Fertigung auf der Revolverbank oder dem Automaten ist die obere Fläche Anschlagfläche beim Werkstoffvorschub und somit ebenfalls Ausgangsfläche.

Wird das Loch auf der Bohrmaschine gebohrt bzw. aufgebohrt oder gesenkt, so wird das Werkstück mit der unteren Fläche auf den Bohrmaschinentisch gestellt. Wollte man entsprechend der Maßeintragung fertigen, so müßte eine Vorrichtung entworfen werden, die das Teil gegen die obere Fläche spannt. Vorrichtungen, bei denen gegen die Spannung gearbeitet wird, werden nach Möglichkeit vermieden. Das Messen des Maßes C ist aber weitaus unbequemer als bei Maß $20 + 0,2$ auszuführen.

Hier stehen Vorrichtung und Lehre gegeneinander. Eine gute Vorrichtung macht Maß C erforderlich, für eine gute Lehre wäre Maß $20 + 0,2$ besser.

Ausschlaggebend für die Entscheidung ist in solchen Fällen die Brauchbarkeit und Austauschbarkeit. Wenn es darauf nicht ankommt, müssen die Vor- und Nachteile, die in jedem Einzelfall anders gelagert sind, sorgfältig gegeneinander abgewogen werden (vgl. dazu S. 11—14).

Wenn zu befürchten ist, daß die gemessenen Flächen zueinander Stirnschlag haben, so muß die Messung mehrmals an verschiedenen Stellen wiederholt werden. Voraussetzungen für eine einwandfreie Messung sind, daß die beiden Auflageflächen an der Lehre in einer Ebene liegen, und daß sie breit genug sind, um ein Verkanten, d. h. Aufliegen nicht auf der ganzen Breite der Fläche, sondern auf einer Kante, gut erkennen zu lassen.

Es empfiehlt sich, den Teil der Lehre, der in das Werkstück hineinragt, schmaler zu machen, als der Durchmesser der verengten Bohrung beträgt, so daß zuerst auf die gute Auflage auf dem oberen Rand geachtet werden kann, während der untere Teil das Werkstück noch nicht berührt.

Das gleiche Meßverfahren läßt sich sinngemäß auf einen Wellenabsatz anwenden, wie in Abb. 47 dargestellt.

Die Auflagefläche ist in der Mitte ausgespart, um die beim Abstechen leicht entstehende Unebenheit in der Mitte des Werkstückes, die in diesem Falle unschädlich sein möge, auszuschalten.

Soll die Tiefe einer flachgesenkten Bohrung, wie in Abb. 48, gemessen werden, so ist das Verfahren nicht anwendbar, wenn die obere Fläche Ausgangsfläche sein soll. Abb. 48 stellt eine sog. Schwenklehre für diesen Zweck dar. Wie der Seitenriß zeigt, sind die Auflage- und Meßflächen Teile von Zylinderflächen. Die Lehre wird in den Richtungen der Pfeile um die Auflagefläche geschwenkt; hierbei darf die Gutseite nicht anstoßen und die Ausschubseite sich nicht durchschwenken lassen.

Die Lehre hat den Nachteil, daß die Flachsenkung nicht bis an den Rand abgetastet werden kann. Die Messung ist aber im übrigen empfindlicher und erfordert weniger Geschick und Meßgefühl, als die mit der Lehre nach Abb. 46. Das Verfahren läßt sich auch auf Wellenabsätze übertragen, doch wird es sich empfehlen,

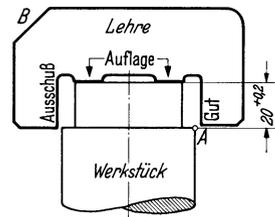


Abb. 47. Tiefenlehre, Flachlehre für einen Wellenabsatz.

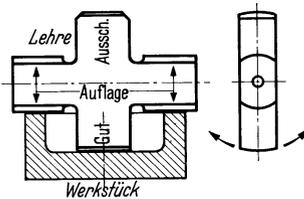


Abb. 48. Tiefenlehre, flache Schwenklehre.

die Mantellinie der Welle als Anlage zu benutzen, vor allem, wenn die Auflage an der Ausgangsfläche klein ist (Abb. 49).

Muß Wert darauf gelegt werden, daß die Flachsung bis zum Rand erfaßt wird, so eignet sich eine Lehre nach Abb. 50 oder 51. In beiden Fällen wird der Lehrenkörper auf den oberen Rand aufgesetzt und ein Stempel, dessen Durchmesser nur wenig kleiner ist als die Bohrung, legt sich federnd an die Flachsung an. Bei der Lehre nach Abb. 50 besitzt der Tastbolzen oben eine ebene Fläche, die durch Fühlen, durch Augenschein oder mit Hilfe eines Haarlineals mit je einer rechts und links gelegenen Fläche verglichen wird; der Höhenunterschied dieser beiden Flächen ist gleich der Toleranz. Bei der Lehre nach Abb. 51 erfolgt die Ablesung an einem Markenstrich auf dem Tastbolzen, dem an einem Fenster im Lehrenkörper zwei Markenstriche entsprechend der Toleranz gegenüberstehen. Bei kleinen Toleranzen, bei denen die zwei Markenstriche zu eng nebeneinander stehen würden, erhält der Tastbolzen zwei in beliebigem Abstand aufgebraute Marken, denen im Fenster je eine Marke entspricht. Ob die Lehre nach Abb. 50 oder 51 vorzuziehen ist, ist hauptsächlich von der Gewöhnung des Messenden abhängig und muß von der Erfahrung gelehrt werden.

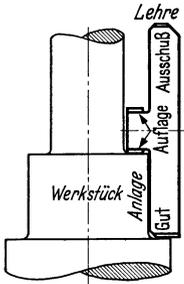


Abb. 49.
Schwenklehre für
Wellenabsatz.

In beiden Fällen liegt eine „Übertragung“ vor, und zwar im ersten auf einen Körper—Körper-Vergleich, im zweiten auf einen einfachen oder doppelten Strich—Strich-Vergleich.

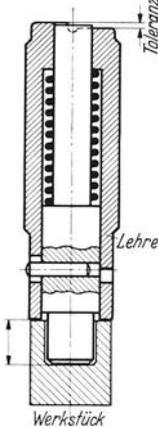


Abb. 50. Tiefenlehre
mit Tastflächen.

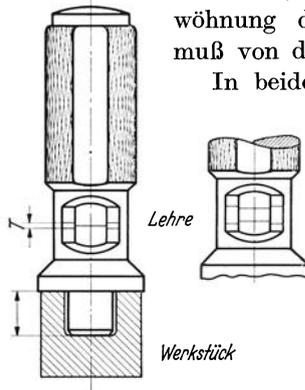


Abb. 51. Tiefenlehre mit
Markenstrichen.

Bei sehr kleinen Toleranzen ist eine etwas veränderte Bauart vorzuziehen, bei der der Tastbolzen auf ein Zeigerwerk (mit Übersetzung) mit Toleranzmarken oder auf eine Meßuhr, Mikrotast od. dgl. arbeitet.

Von den vielen möglichen Bauarten von Tiefenlehren wurden nur einige grundsätzliche gezeigt, die verschiedenen Abarten und Sonderkonstruktionen gehen nur den Fachmann an. Es bleibt noch zu überlegen, inwieweit die einzelnen Bauarten die Austauschbarkeit sicherstellen. Die Beantwortung dieser Frage hängt sehr von der Form des Gegenstückes ab.

Die Tastlehre (Abb. 50) und die Markenstrichlehre (Abb. 51) sitzen an beiden Werkstückflächen mit ihren ganzen Flächen auf, oder, wenn die Flächen uneben sind (das ist ja in der Wirklichkeit immer der Fall), auf den höchsten Punkten. Bei den Blechlehren nach Abb. 46—49 wäre es denkbar, daß Unebenheiten der oberen und unteren Fläche am Werkstück sich so entsprechen, daß das Werkstück auf dem ganzen Umfang für gut befunden und dennoch nicht brauchbar (austauschbar) ist. Doch diese Annahme ist recht unwahrscheinlich.

Die Herstellungstoleranz der Tiefenlehren entspricht derjenigen der Grenzlehrdorne und -rachenlehren mit gleichem Nennmaß und gleicher Werkstücktoleranz. Eine Abnutzung der Meßflächen ist bei den Lehren mit federndem Tastbolzen gar nicht zu erwarten, bei den Schwenklehren in sehr geringem Umfange, da an der Auflage ein Abrollen und an der Gutseite selten eine Berührung stattfindet. Nur die Flachlehren, die an der Auflage auf dem Werkstück hin- und hergeschoben werden, lassen Abnutzung erwarten, doch wird auch diese in der Praxis meist vernachlässigt und Zahlenwerte oder Abnutzungsprüfer werden dafür nicht festgelegt.

c) **Kegel.** Kegellehren für genormte Kegel, wie Aufnahmekegel an Werkzeugmaschinen, sind handelsüblich. Für einen Kegeldorn haben sie die Form einer Hülse mit einer kegeligen Bohrung, die über das Werkstück geschoben wird. Die Toleranz tritt entweder in der Form einer Stufe, wie in Abb. 52 (T), oder zweier Markenstriche an einem Ausschnitt in Erscheinung. Eine Kante des Werkstückes, Anfang oder Ende des Kegels oder auch eine entfernt liegende Kante, wenn die Funktion dies erfordert, liegt zwischen den Flächen oder Marken der Lehre, wenn das Werkstück toleranzhaltig ist.

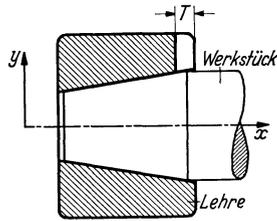


Abb. 52. Kegellehrhülse.

Es wird also eine Längentoleranz (T_x) gemessen. Gibt die Werkstückzeichnung eine Durchmesser-toleranz (T_y) an, so erfolgt die Umrechnung nach der einfachen Beziehung: $T_x = k \cdot T_y$, wenn $1 : k$ das Kegelverhältnis ist.

Für eine Kegelbohrung wird sinnentsprechend ein Kegellehrdorn mit Absätzen (Abb. 53) oder Marken benutzt.

Der Kegelwinkel stimmt mit dem der Lehre überein, wenn die Lehre nicht wackelt; ist das Werkstück in Abb. 52 am rechten Ende zu dünn, also der Kegelwinkel zu klein, so liegt die Lehre nur am linken Ende an und wackelt am rechten Ende. Da sich schlanke Kegel leicht festsetzen, wird zur Beobachtung des Kegelwinkels häufig ein Fenster oder eine Ausnehmung an der Lehrhülse vorgesehen und der Lehrdorn ein Stück weit abgeflacht, wie es in Abb. 53 unten angedeutet ist. Es empfiehlt sich nicht, eine Kegelhülse ganz aufzuschlitzen, weil sie dann

schwierig mit der erforderlichen Genauigkeit zu fertigen ist und eine längs durchgeschnittene Hülse nicht „steht“, d.h. infolge der Werkstoffspannungen auf- oder zugeht. Die Übereinstimmung des Kegelwinkels mit der Lehre kann also nur auf eine bestimmte Länge, nicht aber über den ganzen Kegel hinweg beobachtet werden.

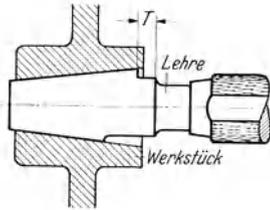


Abb. 53. Kegellehrdorn.

Zur genaueren Prüfung des Kegelwinkels sind Lehren im Handel, wie in Abb. 54 dargestellt. Je eine zugeschärfte Leiste berührt das Werkstück rechts und links, Längentoleranzen können mit Markenrissen oder Flächen geprüft werden. Diese

Lehre umschließt zwar das Werkstück nicht vollständig wie eine Kegel-

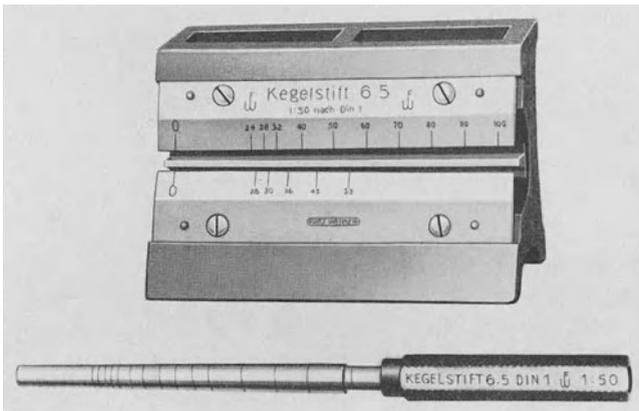


Abb. 54. Lehre für Kegelstifte mit Gegenlehre. (Fritz Werner A.-G., Berlin-Marienfelde.)

hülse, sie gestattet aber Abweichungen von der geometrischen Form nur im Rahmen der Toleranz und darüber hinaus nur in der Form des „Gleichdicks“.

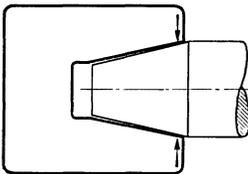


Abb. 55. Lehre für den Kegelwinkel, Kleinstmaß.

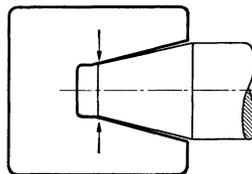


Abb. 56. Lehre für den Kegelwinkel, Größtmaß.

In all diesen Fällen wird eine Normallehrung des Kegelwinkels vorgenommen.

Ist der Kegelwinkel toleriert, so kann diese Toleranz mit den Lehren nach Abb. 55 und 56 ge-

prüft werden. Die Lehre Abb. 55 enthält das Kleinstmaß des Winkels und muß (mindestens) an den durch Pfeile bezeichneten Stellen zur Anlage kommen; die Prüfung geschieht in der Weise, daß entweder

der sich nach dem dünnen Ende hin verbreiternde Lichtspalt beobachtet oder versucht wird, ob sich die Lehre um die durch die Pfeile angegebenen Anlagepunkte nach oben und unten durchschwenken läßt. Die Lehre für das Größtmaß des Kegelwinkels (Abb. 56) wird sinngemäß angewendet. Diese Art der Prüfung ist nur dann möglich, wenn das Werkstück ein Kegeldorn ist. Bei der Kegelbohrung versagt das Verfahren, besonders dann, wenn es sich um schlanke Kegel handelt. Auf die Blechlehren (Abb. 55 und 56) wird vielfach ein Winkelstück aufgesetzt, das die Gewähr gibt, daß die Lehre stets in einem Achsenschnitt angelegt wird.

Die Kegellehrhülse (Abb. 52) ist mit der erforderlichen Genauigkeit schwer zu messen. Sie muß an der rechten Stirnseite ein genaues Maß haben und außerdem muß der Kegelwinkel genau stimmen. Deshalb fertigt man sie meist nach einer Gegenlehre, für die aus Ersparnisgründen der Kegellehrdorn für das Gegenstück benutzt werden kann. Dessen Dicke am rechten Ende kann genügend genau ermittelt werden und an der rechten Stirnseite solange nachgearbeitet werden, bis das gewünschte Maß erreicht ist. Von dieser Stirnfläche aus wird dann der Toleranzabsatz gefertigt oder mit Hilfe von Endmaßen Marken angerissen. Mit Hilfe eines solchen Dornes als Gegenlehre läßt sich eine Lehrhülse gut fertigen. Die Übereinstimmung der Kegelwinkel wird durch Antuschieren geprüft, das Maß an dem weiten Ende kann mit der genau gefertigten Stirnseite des Dornes, wenn nötig unter Zwischenschaltung von Endmaßen, durch Stirnschleifen erreicht werden.

Der Kegelwinkel des Dornes kann mit handelsüblichen Meßmitteln genau geprüft werden.

Ist großer Verschleiß zu erwarten, so empfiehlt es sich, für die Lehrhülse eine besondere Gegenlehre einzusetzen, die sowohl für die Fertigung, als auch für die Prüfung auf den Abnutzungszustand dient.

Es ist nun die Frage zu untersuchen, wie ein Kegel auf der Gerätezeichnung zweckmäßig bemaßt und toleriert wird.

Man kann zu dem Kegel ein rechtwinkliges Koordinatensystem festlegen, so daß die Abszisse die Kegelachse bildet und die Ordinate radial verläuft, etwa wie in Abb. 52 angedeutet. In diesem System ist ein Kegel z. B. dann einwandfrei festgelegt, wenn an einer beliebigen Stelle, etwa am dicken Ende, der Halbmesser oder Durchmesser angegeben und ferner der Kegelwinkel, die Kegelneigung oder das Kegelverhältnis festgesetzt ist. Ebensovogut könnte man zu zwei verschiedenen Abszissenpunkten (etwa Anfang und Ende des Kegels) die Ordinaten eintragen; dann braucht der Kegelwinkel nicht besonders angegeben zu werden.

Er kann deshalb wohl als Richtmaß für die Werkstatt zur Einstellung der Maschine eingetragen werden, wird aber für die Tolerierung des Kegels nicht benutzt. Dies muß auf der Zeichnung irgendwie zu erkennen sein, damit nicht eine „Überbestimmung“ zustande kommt, weil die Werkstatt glaubt, der Kegelwinkel müsse mit möglichster Genauigkeit eingehalten werden. Dies kann durch den Zusatz „Richtmaß“, „rechnerischer Wert“ oder das Ungefährzeichen „ \approx “ geschehen.

Betrachtet man zunächst das erste Verfahren: Festlegung eines Koordinatenpunktes und des Winkels, so steht man vor der Frage, ob man Abszisse und Ordinate tolerieren soll, oder nur eines von beiden. (Die Tolerierung des Winkels ist davon unabhängig.) Die Tolerierung

der Abszisse führt zu Unklarheiten, wenn sie mit einer Körperkante zusammenfällt. Man könnte den Ausweg wählen, daß man einen beliebigen anderen Punkt der Mantellinie (der sogar außerhalb, rechts oder links des tatsächlich vorhandenen Werkstückkegels liegen kann) mit Abszisse und Ordinate nebst Toleranzen angibt; sehr oft wird auch mit Vorteil die Kegelspitze gewählt, für die nur die Angabe der Abszisse nötig ist. Es bleibt dem Lehrenkonstrukteur überlassen, von dem gewählten Punkt auf den für ihn zweckmäßigen, an einer Stirnfläche der Lehre, umzurechnen; denn das Verfahren wurde ja nur gewählt, um eine eindeutige Darstellung auf der Zeichnung, ohne textliche Zusätze, zu ermöglichen.

Die Trennung zwischen der Körperkante, die für sich eine Toleranz braucht, und dem Bestimmungsmaß für den Kegel (Abszisse) ist zur Vermeidung von Unklarheiten auch dann nötig, wenn zufällig für beide die gleiche Toleranz zulässig wäre.

Für die Auswirkung der beiden Toleranzen, Abszisse und Ordinate, ergibt sich folgendes (Abb. 57): Der beliebig gewählte Punkt P der Mantellinie sei zunächst bestimmt durch die Nennmaße: x in axialer Richtung und y , den zugehörigen Halbmesser (oder Durchmesser). Legt man durch diesen Punkt P eine Gerade, deren Neigung gleich der Kegelneigung $\left(\frac{a}{2}\right)$ ist, so erhält man die Mantellinie des Kegels, die den Nennmaßen x und y

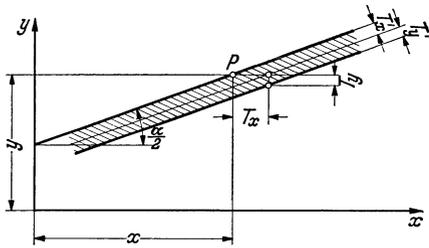


Abb. 57. Kegeltoleranzen.

entspricht. Die Toleranz T_x von x bewirkt eine Verschiebung dieser Mantellinie um T'_x , die Toleranz T_y von y , die ja unabhängig von T_x beliebig ausgenutzt werden darf, hat eine weitere Verschiebung um T'_y zur Folge, so daß das Gesamttoleranzfeld, wie es durch Schraffung gekennzeichnet ist, sich aus zwei Teilen, T'_x und T'_y zusammensetzt. Es wird niemand behaupten, daß durch dieses Verfahren die Klarheit besonders gefördert wird, sowohl für den Gerätkonstrukteur, der sich nicht alle Tage eingehend mit solchen Dingen befaßt, als auch für den Lehrenbauer, der sich die beiden Toleranzen erst zusammenrechnen muß. Die Lehren nach Abb. 52 und 53 messen die Toleranz nur in der x -Richtung; ein Verfahren, um die Durchmesser toleranz an einer bestimmten Stelle zu messen, ist ebenfalls möglich. Aber man wird erkennen, daß es allenfalls vorteilhaft ist, entweder die Länge (x) oder den Durchmesser ($2y$) zu tolerieren. Die Tolerierung der Länge stößt auf die erwähnten Schwierigkeiten, deswegen wird meist der Durchmesser an der dicksten oder dünnsten Stelle des Kegels mit einer Toleranz versehen und das zugehörige Längenmaß bleibt untoleriert; damit ist stillschweigend gemeint, daß es an der Lehre mit Lehrengenaugigkeit enthalten ist und

nicht etwa die werkstattüblichen Toleranzen für nichttolerierete Maße angewandt werden dürfen.

Beim zweiten Verfahren: Festlegung der Mantellinie durch zwei Punkte im Koordinatensystem stellt sich nunmehr folgendes heraus (Abb. 58): Hat das Werkstück die Nennmaße entsprechend den Koordinaten x_1, y_1 und x_2, y_2 , so geht die Mantellinie durch die durch diese Koordinaten bestimmten Punkte P_1 und P_2 . Die Halbmessertoleranz (in der Werkstattzeichnung zweckmäßig Durchmesser-toleranz) zu P_1 sei T_1 und zu P_2 gehöre die Toleranz T_2 . Folglich ergibt sich die geschraffte Fläche als Toleranzfeld.

Da jede Toleranz für sich beliebig ausgenutzt werden kann, darf der Kegel vorn das Kleinstmaß und hinten das Größtmaß haben oder umgekehrt, wie in Abb. 58

angedeutet, die Mantellinie kann innerhalb des Toleranzfeldes beliebig verlaufen. Damit ist eine bestimmte Toleranz für den Kegelwinkel gegeben¹. Der Konstrukteur muß sich also bei diesem Verfahren überlegen, ob die sich so ergebende Toleranz zulässig

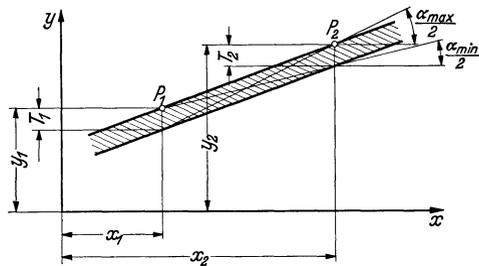


Abb. 58. Kegeltoleranzen.

ist und ist im andern Falle gezwungen, das erste Tolerierungsverfahren anzuwenden; dabei ist es möglich, den Kegelwinkel unabhängig von der Durchmesser-toleranz besonders zu tolerieren.

Betrachtet man die bisher besprochenen Kegellehren nach dem Gesichtspunkt der Austauschbarkeit der Werkstücke, so kommt man zu folgendem Ergebnis. Lehrhülse wie Lehrdorn erfassen als Gutlehren die ganze Form und stellen somit die Austauschbarkeit sicher. Als Ausschußlehren, die sie gleichzeitig darstellen, sind sie weniger geeignet. Es ist denkbar, daß das Werkstück nur auf einem kurzen Stück oder an mehreren Stellen genügend dicht anliegt und an den übrigen Stellen hohl liegt. Durch Antuschieren können die tragenden Stellen ermittelt werden, doch dies ist eine unsichere und in vielen Fällen eine zu scharfe Prüfung. Teilweise kann die Prüfung mit Hilfe der erwähnten Ausschnitte an den Lehren erfolgen, sowie mit der Lehre nach Abb. 54. Große Abweichungen lassen sich auch mit den Winkeltoleranzlehren (Abb. 55 und 56) erkennen.

Muß auf eine einwandfreie Ausschußprüfung des Durchmessers Wert

$$^1 \frac{\alpha_{\max}}{2} = \arctg \frac{y_2 - (y_1 - T_1)}{x_2 - x_1} ; \quad \frac{\alpha_{\min}}{2} = \arctg \frac{(y_2 - T_2) - y_1}{x_2 - x_1} .$$

gelegt werden, wie dies beispielsweise bei dem Ladungsraum eines Geschützes der Fall ist, um eine sichere Liderung der Patronenhülse zu erreichen und andererseits das Festklemmen beim Aufweiten durch den Gasdruck zu verhindern, so muß entweder eine Messung mit einzelnen gestuften kegelligen, kugeligen oder zylindrischen, scharfkantigen (Abnutzung!) Scheiben und einer Art Tiefenmesser vorgenommen werden (Abb. 59), oder es muß eine Verbindung zwischen einem anzeigenden Innenmeßgerät und einem Tiefenmesser geschaffen werden, mit dem die Durchmesser punktwise geprüft werden. Die gleichen Möglichkeiten bestehen für Kegeldorne unter Verwendung gestufter Ringe oder einer

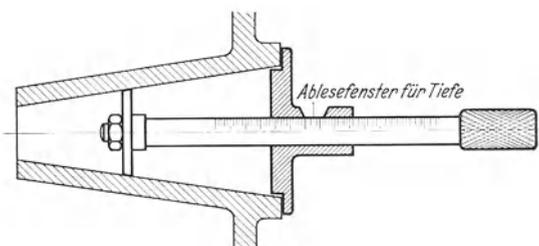


Abb. 59. Kegelmessung mit Meßscheibe.

Verbindung zwischen Außenmeßgerät und Tiefenmesser.

In einfacheren Fällen kann zur Formprüfung ein Haarlineal als qualitatives Meßmittel benutzt werden, das bei Außenkegeln stets, bei Innenkegeln nur

bei genügend großen Durchmessern und guter Zugänglichkeit anwendbar ist.

d) Gewinde. Eines der schwierigsten und am häufigsten vorkommenden meßtechnischen Probleme stellt das Gewinde dar. Es würde zu weit führen, wenn an dieser Stelle das Problem und die Meßmittel erschöpfend dargestellt würden. Außerdem können die Schwierigkeiten als überwunden angesehen werden. Wer sich darüber eingehender unterrichten will, dem seien die einschlägigen Dinormen, vor allem das Erläuterungsblatt DIN 2244 empfohlen, das in gedrängter Form alles Wissenswerte enthält. Die Verwickeltheit des Gegenstandes kann an der Tatsache ersehen werden, daß es recht lange gedauert hat, bis das Kolumbusei der Gewindemessung, die Flankendurchmesser-Messung, gefunden wurde. Noch ungelöst ist die Frage der Tolerierung und Messung des dichtenden und des kegelligen Gewindes.

Die Bestimmungsgrößen eines Gewindes sind: Außendurchmesser, Flankendurchmesser, Kerndurchmesser, Steigung, halber Flankenwinkel und die Abrundungen im Kern- und Außendurchmesser. Eine Zeitlang hat man sich bemüht, jede dieser Größen für sich mit möglichster Vollkommenheit zu messen und hatte zum Schluß doch kein brauchbares Gewinde. Von einem guten Gewinde muß verlangt werden: gute Anlage in den Flanken über die ganze Traglänge hinweg, genügende Überdeckung, d.h. genügend große Tragfläche zwischen Bolzen und Mutter und nicht allzuviel Spiel in radialer oder axialer Richtung. Die

Dinormen enthalten drei Gütegrade: fein, mittel und grob, die das Flankenspiel in radialer Richtung festlegen und deren Toleranzen zueinander im Verhältnis 1 : 1,5 : 2,5 stehen. Sie gelten für eine Mutterhöhe von 0,8 d.

Eine Gewindemessung nach neuzeitlichen Gesichtspunkten setzt sich zusammen aus:

a) einer Flankendurchmesser-Prüfung „Gut“ mit einer Lehrmutter (Gut-Gewindelehring) oder einer Flankenrachenlehre bzw. mit einem Gut-Gewindelehrdorn. Diese Messung berücksichtigt gleichzeitig Steigungs- und Flankenwinkelfehler; soll die Gutlehre sich auf- bzw. einschrauben lassen, so muß jede Abweichung von der vorgeschriebenen Steigung oder dem vorgeschriebenen Flankenwinkel beim Bolzen durch



Abb. 60. Verkleinerung des Flankendurchmessers infolge eines Steigungsfehlers. Steigung des Werkstückes ist zu groß. Zu kleine Steigung bewirkt ebenfalls eine Flankendurchmesser-Verkleinerung.



Abb. 61. Verkleinerung des Flankendurchmessers infolge eines Flankenwinkelfehlers. Teilflankenwinkel des Werkstückes ist zu klein. Zu großer Winkel bewirkt ebenfalls eine Flankendurchmesser-Verkleinerung.

eine Verkleinerung, bei der Mutter durch eine Vergrößerung des Flankendurchmessers berücksichtigt sein, wie in Abb. 60 und 61 für einen Gewindebolzen dargestellt.

b) Die Ausschußprüfung des Flankendurchmessers erfolgt mit einer Ausschuß-Gewinderachenlehre bzw. einem Ausschuß-Gewindelehrdorn. Um Steigungsfehler bei dieser Messung auszuschalten, erfaßt die Ausschußlehre möglichst nur einen Gang; um den Flankenwinkelfehler unschädlich zu machen, sind die Flanken der Lehre verkürzt, so daß sie nur an einem kurzen Stück der Werkstückflanken anliegen. Diese Maßnahmen sind nötig, um den oben genannten Forderungen an ein gutes Gewinde nahezukommen. Würde man die Steigungs- und Winkelfehler nicht ausschalten, so wäre eine weitere Verkleinerung bzw. Vergrößerung des tatsächlichen Flankendurchmessers denkbar; das Gewinde trägt dann in noch höherem Grade nur an einzelnen Stellen (Steigungsfehler), oder auch nur an den Spitzen oder im Kern (Winkelfehler). Das letzte ist besonders deswegen unangenehm, weil die Biegungsbeanspruchung der Gewingegänge größer wird und die Spitzen weggedrückt werden. Dann schlottert das Gewinde noch mehr oder eine festgezogene Schraubenverbindung lockert sich.

c) Um die Überdeckung sicherzustellen, werden Kerndurchmesser der Mutter und Außendurchmesser des Bolzens mit glatten Grenzlehren geprüft, meist genügt für beide eine Ausschußlehre (Lehrdorn bzw. Rachenlehre).

d) Die Prüfung des Kerndurchmessers des Bolzens und des Außendurchmessers der Mutter ist meist nicht erforderlich. Durch die Gutlehre wird gewährleistet, daß das Gewinde genügend tief „ausgeschnitten“ ist.

Eines verdient ganz besonders hervorgehoben zu werden: Zügig gehende Gewinde, die nicht schlottern, können bei austauschbarer Fertigung (Gewindetoleranzen) nicht erreicht werden. Im übrigen ist solch ein schlotterndes Gewinde weitaus besser, als ein scheinbar zügiges, das an den Spitzen trägt.

Es nützt auch nichts, wenn das Gewinde nach der Gut-Lehrmutter oder dem Gut-Lehrdorn zügig angepaßt wird. Nach zahlreichen Untersuchungen¹ sind bei der Massenfertigung die Steigungs- und Winkelfehler so groß, daß diese Zügigkeit doch nur eine scheinbare ist. Eine Gewindeprüfung ist nur dann richtig, wenn die Gutlehre sich ohne Zwang anwenden läßt, — sie darf aber schlottern! — und die Ausschullehre sich nicht über- oder einführen läßt. Es darf wohl behauptet werden, daß die Gewindeprüfung in dieser Form sich seit der Schaffung der Gewindetoleranzen (etwa 1923) im Grundsätzlichen durchaus bewährt hat.

Der Gut-Gewindelehrdorn für die Prüfung der Werkstückmutter schließt die ganze Form ein und sichert somit die Austauschbarkeit. Das gleiche kann von der Lehrmutter (Gut-Gewindelehrring) gesagt werden, die jedoch immer mehr durch Gut-Gewinderachenlehren ersetzt wird, die entweder mit gezahnten Backen oder mit profilierten Rollen versehen sind. Obwohl die Gewinderachenlehre als Gutlehre keine vollkommene Formprüfung ergibt, haben sich Anstände bei der Benutzung sehr selten gezeigt. Das wird wohl daran liegen, daß neuzeitliche Maschinen und Werkzeuge die Fertigung eines in praktischen Grenzen runden Gewindes ermöglichen. Man sollte daher nur in ganz besonderen Ausnahmefällen auf die Lehrmutter zurückgreifen, bei dünnwandigen Teilen, die durch die Gewinderachenlehre elastisch verformt werden oder dann, wenn mit der Gewindeprüfung andere Messungen verbunden werden müssen, wie bei einem identischen Gewinde.

Muß ein Gewinde in einem besonderen Falle spielfrei gehen, so sollte man sich nicht damit begnügen, in der Zeichnung seine diesbezügliche Forderung an die Werkstatt kundzutun, sondern auf konstruktive Mittel sinnen, die den Spielausgleich herbeiführen können. Ein einfaches Mittel besteht in der Anordnung einer einstellbaren Gegenmutter, in anderen Fällen wird die Mutter geschlitzt und wie eine Spannpatrone zusammengezogen. Ferner kann das Spiel durch Anordnung einer Feder ausgeschaltet werden, die bewirkt, daß das Gewinde stets an der gleichen (rechten oder linken) Flanke anliegt.

Nicht nur bei Gewinden, sondern in allen Fällen, in denen der Kon-

¹ Schrifttum Nr. 7.

strukteur Spielfreiheit verlangt, muß er die konstruktiven und fertigungs-technischen Voraussetzungen dafür schaffen. Bei der Mengen- oder Massenfertigung auf der Grundlage des Austauschbaues gibt es kein einziges Maß, das ohne irgendeine (geschriebene oder ungeschriebene) Toleranz gefertigt werden kann, und sei sie noch so klein.

Identische Gewinde. Schraubt man beispielsweise eine Mutter gegen den Bund einer Welle und verlangt nun, daß Nuten in dem Bund und in der Mutter einander gegenüberstehen, so muß das Gewinde an beiden Werkstücken „identisch“ geschnitten werden, d.h. das Ende des (verlängert gedachten) Gewindes der Welle, unmittelbar am Bund¹, und das Ende des Muttergewindes, unmittelbar an der Stirnfläche, müssen zu der Nut in der Welle bzw. in der Mutter den gleichen Winkel ein-

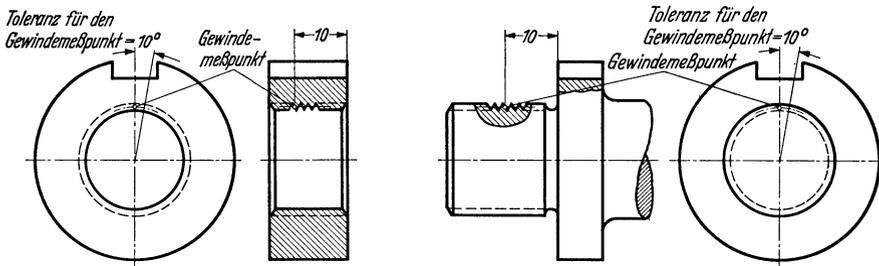


Abb. 62. Identisches Gewinde, Bemaßung.

schließen. Soll dieses Gebilde austauschbar sein, so muß dieser Winkel in der Zeichnung maßlich festgelegt sein. Ein Beispiel zeigt Abb. 62. Es ist unvorteilhaft, den Gewindemeßpunkt an das Ende des Gewindes zu verlegen, weil er dort in Wirklichkeit nicht vorhanden ist, sondern man wählt einen beliebigen Abstand, z.B. 10 mm. Der Gewindemeßpunkt liegt auf dem Flankendurchmesser und ist durch zwei Größen bestimmt: den Abstand (10 mm) und den Winkel zum Ausgangspunkt, d.i. in dem gewählten Beispiel die Mitte der Nut. Die Verhältnisse liegen ähnlich wie beim Kegel, und es wird zweckmäßig nur eine von den beiden Bestimmungsgrößen toleriert.

Die Lehren werden vorteilhaft ähnlich dem jeweiligen Gegenstück ausgebildet, die Lehrmutter für den Bolzen erhält ein lehrenhaltiges Gewinde und eine dazu entsprechend stehende Nut. Die Toleranz wird durch Verbreiterung der Nut oder durch Marken an der Lehre angegeben.

¹ Hiermit ist, genauer ausgedrückt, der Punkt gemeint, der der Bezugsebene (Stirnfläche des Bundes), der Zylinderfläche, deren Durchmesser gleich dem Flankendurchmesser ist und deren Achse mit der Werkstückachse zusammenfällt, und der beim Anziehen der Schraubenverbindung zum Tragen kommenden Gewindeflanke (Schraubenfläche) gemeinsam ist.

Bei dieser Art Lehrlung empfiehlt sich die Tolerierung des Winkels. Ebensogut kann man auch nur den Abstand des Gewindemeßpunktes mit einer Toleranz versehen.

Bezüglich der Größe der Toleranz ist es ratsam, sich durch eine einfache Rechnung klarzumachen, wieviel eine bestimmte Winkeltoleranz an der Flanke, in Millimeter, ergibt. Identische Gewinde machen in der Mengenfertigung stets erhebliche Schwierigkeiten und sollten daher möglichst vermieden werden.

Die Prüfung des Gewindemeßpunktes an einem Gewindelehndorn für identisches Gewinde wird am besten auf dem Zeißschen Universal-Meßmikroskop in folgender Weise vorgenommen:

Bestimmung des Flankendurchmessers in bekannter Weise mit Meßschneiden, sowie der Lage der Gewindeachse,

Einstellung der Lehre auf die richtige Winkelstellung zum Bezugspunkt (z. B. mit dem optischen Teilkopf),

Anlegen von Schneiden an die Bezugsfläche und an die Bezugsgewindeflanke und Messung des Abstandes; hierbei muß die optische Achse des Mikroskopes von der Lehrenachse um den halben Flankendurchmesser abstehen.

e) **Winkel.** Die in Abb. 55 und 56 gezeigte Art der Winkelmessung in Toleranzen mit starren Lehren läßt sich sinngemäß auf andere Winkelmessungen übertragen. Bei der Messung muß wie beim Kegel darauf geachtet werden, daß die Winkellehre nicht schief, sondern in der richtigen Ebene angelegt wird; sonst wird das Meßergebnis verfälscht.

Winkel-Toleranzmessungen können auch mit beweglichen Zeigerlehren ausgeführt werden, die zwei Toleranzmarken erhalten.

Teilungswinkel von Lochkreisen werden im dritten Teil bei der Besprechung der Lochmittenlehren behandelt.

f) **Formen.** Eine „Form“ ist meist aus Geraden und Kurvenstücken zusammengesetzt und erscheint meist an einem prismatischen oder an einem Drehkörper. Die am häufigsten benutzte Kurve ist der Kreisbogen, da er am einfachsten zu fertigen ist¹. Aber auch andere Kurven kommen vor, Evolvente, Zykloide, Spirale usw. Bei einfachen Flächen, Ebene, Zylinder, Kugel, ist die Anzahl der Kurvenelemente gleich eins, und die Abweichungen von der „geometrischen Form“ wurden bereits erörtert.

Die Prüfung einer zusammengesetzten Form mit Meßmikroskop oder Projektionsapparat wurde bereits besprochen, außerdem können zahlreiche Formen mit Endmaßen, Dornen, Drähten usw. genau vermessen werden. Diese Verfahren können nur beim Lehrenbau, nicht aber bei der Mengenfertigung angewendet werden, da sie zu zeitraubend sind und geschulte Leute voraussetzen.

Bei der Gerätfertigung werden Formen am häufigsten mit Blechlehren geprüft. Ist die Form in einem Werkzeug enthalten (Formstahl, Formfräser), so begnügt man sich vielfach mit einer Werkzeuglehre, die zur Fertigung und Überwachung des Werkzeuges dient.

¹ Siehe S. 1.

Bei Werkzeuglehren sind häufig korrigierte Formen notwendig, vor allem bei hinterdrehten Fräsern und Formstählen, bei denen der Spanwinkel von Null abweicht. Die durch das Schrägstellen der Schneide entstehende Profilverzerrung muß bei der Formlehre berücksichtigt werden, wenn es nicht möglich ist, die Lehre so anzulegen, wie sie in das Werkstück hineinschneidet.

Die Formlehren dieser Art beruhen auf der Lichtspaltprüfung, die außerordentlich empfindlich sein kann. Außerdem ist es in den wenigsten Fällen möglich, eine Formlehre als Grenzlehre auszubilden. Deshalb sollte ihre Anwendung überhaupt nach Möglichkeit eingeschränkt werden. Kann eine Formlehre nicht entbehrt werden, so ist eine gründliche Unterweisung des Mannes an der Werkzeugmaschine und des Prüfers erforderlich. Über die Größe des Lichtspaltes können sehr leicht Täuschungen entstehen, und es besteht die Gefahr, daß brauchbare Werkstücke verworfen werden. Man kann sich manchmal dadurch helfen, daß man die Meßflächen recht breit macht. Dadurch wird zwar der Lichtspalt schwerer erkennbar, aber auch die Messung schwierig und noch unzuverlässiger.

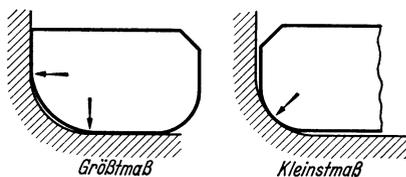


Abb. 63. Grenzprüfung einer Rundung.

Ein Beispiel für die Grenzprüfung einer Rundung zeigt Abb. 63. Die Lehre enthält das Kleinstmaß und Größtmaß der Rundung. Links ist das Größtmaß an das Werkstück angelegt, es muß in der Ecke Licht zeigen oder im Grenzfall auf der ganzen Länge der Meßfläche lichtsicht anliegen. Rechts ist das Kleinstmaß angelegt, es muß zumindest in der Ecke anliegen und kann wiederum im Grenzfall lichtsicht sein. Statt mit dem Lichtspalt kann die Prüfung auch durch Schaukeln der Lehre um die Anlagestellen vorgenommen werden.

Hier, wie bei Anwendung aller Blechlehren, kommt es auf das richtige Ansetzen der Lehre an: die Lehrenebene muß mit beiden Ebenen des Werkstückes einen rechten Winkel bilden.

Im Beispiel (Abb. 63) ist die Lage der Rundung dadurch festgelegt, daß sie in die geraden Stücke der Form tangierend übergehen soll. In Abb. 64 ist die Mitte der Rundung besonders bemaßt und die Größe des Halbmessers toleriert. Die Prüfung einer solchen Form könnte etwa mit einer Lehre nach Abb. 65 vorgenommen werden; das Werkstück ist gestrichelt eingezeichnet. Der Mittelpunkt der Rundung ist durch die Buchse *B* verkörpert, die von den Anlageleisten mit Lehrengenaugigkeit den Abstand 35 bzw. 21 hat. In diese Buchse wird die links in Ansicht dargestellte Schwenklehre mit

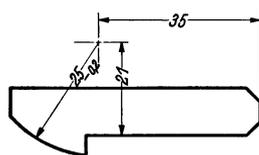


Abb. 64. Tolerierte Form, Werkstück.

ihrem Mittelzapfen eingeführt; sie weist auf der einen Seite das Gutmaß 25, auf der anderen Seite das Ausschußmaß 24,8 auf.

Es wäre unzweckmäßig, die Koordinaten 35 und 21 auch noch zu tolerieren, weil dadurch die zu messende Rundung eine doppelte Toleranz erhält. Die Verhältnisse liegen wieder ähnlich wie beim Kegel (Abb. 57), entweder werden die Koordinaten des Mittelpunktes oder nur der Halbmesser toleriert. Im vorliegenden Beispiel ist mit Rücksicht auf die

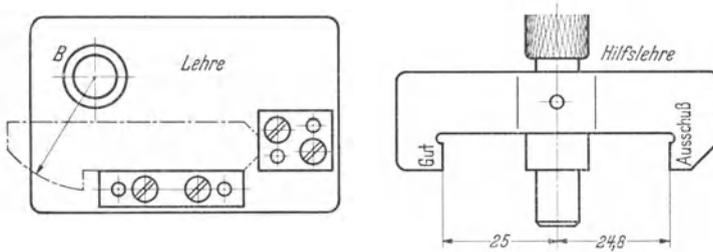


Abb. 65. Lehre für tolerierte Form nach Abb. 64.

Lehrenkonstruktion die Tolerierung des Halbmessers vorzuziehen. Wenn es sich um eine Innenrundung (Kehle) handelt, deren Mitte festgelegt ist, so kann bei kleinen Abmessungen statt der Schwenklehre auch ein abgesetzter Dorn benutzt werden; die (dünnere) Gutseite muß an der Rundung vorbeigehen, die (dickere) Ausschußseite muß anstoßen.

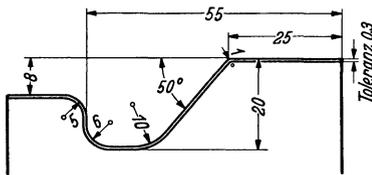


Abb. 66. Formtoleranz.

Es ist vorgeschlagen worden, für verwickeltere zusammengesetzte Formen ein Toleranzfeld, etwa nach Abb. 66 anzugeben; die Messung dieser Toleranz stößt aber oft auf Schwierigkeiten; sie ist einwandfrei und in einfacher Weise nur mit dem Projektionsapparat nach einem Auf-

riß des Toleranzfeldes möglich. Bei Anwendung starrer Lehren wird für die Ausschußprüfung eine große Zahl von Einzellehren nötig, die keineswegs einfach zu entwerfen und anzuwenden sind. Denn nach der schon öfter erwähnten Grundregel des Lehrenbaues darf die Ausschußprüfung sich jeweils nur auf ein Maß erstrecken.

Man hat sich in einigen Fällen auch schon dadurch geholfen, daß man dem Messenden einen Spion — ein dünnes Blech oder ein Stück Draht — zu der Formlehre gab; dieses Hilfsmittel durfte sich an keiner Stelle in den Spalt zwischen Werkstück und Lehre einführen lassen. Das Verfahren versagt aber bei kleinen Toleranzen. Es wurde auch versucht, die zulässige Größe des Lichtspaltes durch einen beigegebenen Musterlichtspalt von bestimmter Breite zu beherrschen, jedoch bleibt die Beurteilung der Lichtspaltbreite auch dann noch in gewissem Grade individuell.

Eine andere Möglichkeit besteht in dem Vergleichen mit einem Musterstück nach dem Kopierverfahren. Der Unterschied zwischen Musterstück und Werkstück wird an einer Meßuhr, einem Minimeter od. dgl. angezeigt. Das Verfahren hat sich für Nockenwellen und auch für verwickelte Flächen (Propeller), die punktweise angetastet werden, bewährt.

Eine weniger scharfe Formprüfung ist durch Vergleich mit einem Markenriß der Form in natürlicher Größe möglich, sofern die Gestalt des Werkstückes das Auflegen auf eine Platte, die den Riß trägt, gestattet. Bei genügend großem Toleranzfeld (mindestens etwa 0,4 mm) ist es sogar möglich, einen Toleranzriß aufzubringen.

g) **Symmetrien.** Das Wesen der Symmetrietoleranz wurde im ersten Teil¹ beschrieben und eine Art der Eintragung in die Gerätezeichnung vorgeschlagen. Ein Beispiel zeigt Abb. 67.

Die Welle $10 \text{ } \varnothing \text{ h}6$ soll demgemäß zur Welle $30 \text{ } \varnothing \text{ h}6$ nicht mehr als 0,05 un-symmetrisch, d. h. in diesem Falle außermittig liegen. Hierbei bezieht sich die Symmetrietoleranz sinngemäß nicht nur auf die Zeichenebene, sondern auf jede beliebige durch die Achse gehende Ebene.

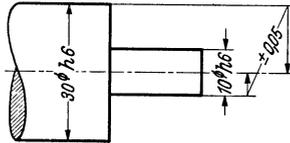


Abb. 67. Symmetrietoleranz.

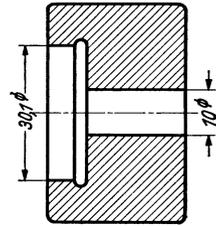


Abb. 68. Symmetriehohr.

Um an einem Werkstück nach Abb. 67 die Symmetrieabweichung zu prüfen, kann man so vorgehen, daß man es in einem der beiden tolerierten Durchmesser, z. B. $10 \text{ } \varnothing \text{ h}6$, zentrisch drehbar aufnimmt, den andern Durchmesser ($30 \text{ } \varnothing \text{ h}6$) mit einer Meßuhr oder einem Minimeter antastet und die Ausschläge des Zeigers beim Drehen beobachtet. Der Unterschied zwischen dem größten und dem kleinsten angezeigten Wert gibt den doppelten Istwert der Außermittigkeit an.

Will man statt dieses umständlichen und nicht immer anwendbaren Verfahrens eine Festmaßlehre benutzen, so kann eine Konstruktion nach Abb. 68 gewählt werden. Die Bohrung 10 hat das Größtmaß der Toleranz $10 \text{ h}6$, sie wird zuerst auf den Wellenzapfen aufgeschoben. Beim weiteren Zusammenschieben greift die Bohrung 30,1 über die Welle $30 \text{ } \varnothing \text{ h}6$. Die Zahl 30,1 ergibt sich aus dem Größtmaß von $30 \text{ h}6$ plus der Gesamt-Symmetrietoleranz: $2 \cdot 0,05$. Eine einfache Überlegung zeigt, daß die Bohrung 30,1 sich überführen läßt, wenn die Toleranz $\pm 0,05$ nicht überschritten ist; selbstverständlich auch unter der Voraussetzung,

¹ Siehe S. 8.

daß die beiden Passungen nicht das Größtmaß überschreiten; zu diesem Zweck müssen sie vorher besonders geprüft worden sein.

Liegen die Werkstücke nahe an der Ausschußgrenze, sind sie also kleiner, als bei der Berechnung der Lehre zugrunde gelegt wurde, so kann die Bohrung 10 der Lehre auf dem Zapfen $10 \varnothing h6$ wackeln, dadurch und durch das vergrößerte Spiel (gegenüber dem rechnermäßigen) zwischen $30 \varnothing h6$ und 30,1 ist eine Überschreitung der vorgeschriebenen Toleranz möglich, ohne daß sie beim Messen bemerkt wird.

Ferner können die beiden Wellenteile auf Kosten der zulässigen Außermittigkeit zueinander schiefe stehen. Außerdem hängt die Genauigkeit der Messung sehr von der tragenden Länge der beiden Bohrungsteile ab. Entsteht infolge der Ausnutzung der Toleranzen Spiel zwischen Lehre und Werkstück, so kann die Lehre auf dem Aufnahmezapfen $10 \varnothing h6$ verkanten und dadurch das Meßergebnis verfälschen.

Es ist wichtig, sich über diese Auswirkungen und unvermeidlichen Überschreitungen der gewollten Toleranz im klaren zu sein. In den meisten Fällen wird sich allerdings zeigen, daß die Symmetrietoleranz-Überschreitungen infolge Ausnutzung der Passungstoleranzen ungefährlich für die Brauchbarkeit und Austauschbarkeit sind.

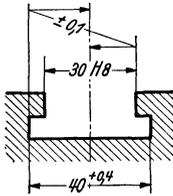


Abb. 69.
Symmetrietoleranz
an einer T-Nut.

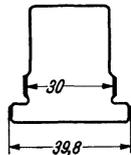


Abb. 70.
Symmetrielehre
für eine T-Nut.

Ein anderes Beispiel für eine Symmetrietoleranz zeigt Abb. 69, die zugehörige Lehre ist in Abb. 70 dargestellt. Die Aufnahme mit Gutmaß (entsprechend $10 h6$ in Abb. 67) erfolgt im (genaueren) Maß $30 H8$, die Toleranz ist im Maß 39,8 enthalten. Es ist auch möglich, die Symmetrietoleranz zu verteilen: 29,9 und 39,9, um das Einführen der Lehre zu erleichtern, doch ist dann stärkeres Verkanten der Lehre im Werkstück möglich.

Auch bei dieser Lehre sind Überschreitungen der gleichen Art möglich, wie bei Abb. 67 und 68. Die Lehre darf nicht aus zu dünnem Blech gefertigt werden, um das Ecken beim Verschieben in der T-Nut zu verhüten.

h) **Verzahnungen.** Es gibt im Handel eine große Anzahl von Meßgeräten zum Prüfen von Verzahnungen, die die Bestimmungsgrößen einer Verzahnung¹, Teilung, Zahndicke, Zahnform, Schlag und Unrund-

¹ Unlängst ist von der Fachgruppe Werkzeugmaschinen ein Merkblatt „Stirnradfehler“ herausgegeben worden, in dem die Begriffe eindeutig festgelegt werden und die Grundlage für die Schaffung von Zahnradtoleranzen gegeben ist. Das Blatt kann vom Beuth-Verlag, Berlin SW 19, Dresdener Str. 97, bezogen werden. Eine Erläuterung dazu findet sich in „Werkstattstechnik und Werksleiter“ 1936, S. 531.

heit, einzeln oder zu mehreren gleichzeitig zu prüfen gestatten. Sie brauchen hier im einzelnen nicht beschrieben zu werden. Ein gewisser Mangel haftet jedoch fast allen bisherigen Prüfverfahren an: bei schnelllaufenden Zahnrädern kann einwandfreies, geräuscharmes Arbeiten mit Sicherheit nur beim Laufen unter Last festgestellt werden. Deshalb wird bei führenden Zahnradfabriken möglichst sorgfältig gefertigt, verhältnismäßig wenig gemessen und die gefertigten Getriebe werden durch einen Probelauf geprüft, bei dem sie mit einem hierfür besonders entwickelten Gerät abgehört werden. Erst wenn sich dabei Störungen zeigen, werden weitere Einzelmessungen angestellt, um der Fehlerquelle auf die Spur zu kommen.

5. Meßunsicherheit.

Es wurde bereits erörtert, wie die einzelnen Meßverfahren in bezug auf die Brauchbarkeit und Austauschbarkeit der Werkstücke zu beurteilen sind. Bei jeder Messung muß sich der Messende aber auch darüber klar sein, welche Zuverlässigkeit dem Meßergebnis zukommt. Es hat keinen Zweck, mit dem Holzmaßstab Zehntelmillimeter zu schätzen, weil der Holzmaßstab selbst Fehler von der Größenordnung 1 mm aufweisen kann. In diesem Falle ist der Ablesefehler kleiner als der Fehler des Meßgerätes. Es hat auch keinen Zweck, Bruchteile von Skalenteilen zu schätzen, wenn die Unsicherheit nahe an einen Skalenteil heranreicht.

Die Meßunsicherheit hat bei den verschiedenen Meßgeräten vielfältige Ursachen; diese können hier nur im Hinblick auf das Messen in der Werkstatt, aber keineswegs erschöpfend behandelt werden.

Die Streuung macht sich dann bemerkbar, wenn die gleiche Messung mehrmals ausgeführt wird, es zeigen sich geringe Unterschiede in den Meßergebnissen. Bei Meßgeräten, die von subjektiven Einflüssen nicht ganz frei sind, wird die Gesamtstreuung größer, wenn die messende Person nicht immer die gleiche ist. Die Streuung setzt sich dann zusammen aus der dem Meßgerät eigenen Streuung und der Streuung der persönlichen Meßfehler.

Der Fehler ist die Abweichung der Anzeige von dem wahren Wert der Meßgröße. Bei Istmaß-Geräten kann der Fehler gleichmäßig, stetig wachsend oder abnehmend, periodisch oder auch unregelmäßig schwankend sein. Fehler und Streuung zusammen sollen nicht größer sein als höchstens 1 Skt, vor allem weil die bei wissenschaftlichen Messungen übliche Benutzung von Fehlertafeln oder -kurven in der Werkstatt undenkbar ist.

Nimmt man als einfachstes Beispiel das Messen einer runden Welle mit einer handelsüblichen Rachenlehre, so zeigen sich folgende Quellen der Meßunsicherheit:

1. die Herstellungstoleranz der Lehre, auf die sich auch die Herstellungstoleranz des Meßgerätes auswirkt, mit der die Lehre geprüft wird, sowie die Meßunsicherheit, die dieser Prüfung anhaftet;
2. die Abnutzung der Lehre;
3. die elastische Aufbiegung der Rachenlehre infolge des Meßdruckes;
4. die elastische Verformung der Werkstück- und Lehrenfläche infolge des Meßdruckes, die Abplattung;
5. die Maßänderung durch Einfluß der Temperatur;
6. der Berührungsfehler, der dadurch entsteht, daß die Werkstück- und Lehrenflächen nicht unmittelbar metallisch aneinanderliegen, sondern durch eine Luft- oder Schmiermittelschicht voneinander getrennt sind.

Für die Herstellungstoleranzen und zulässigen Abnutzungen normaler Lehren sind in den Normen für DIN- und ISA-Toleranzen Zahlenwerte festgelegt. Für andere Toleranzen werden die Werte zweckmäßig durch Wahl des nächsthöheren Wertes gefunden. Die ISA-Toleranzen bieten eine so reiche Auswahl an Toleranzwerten, sowohl nach der Größe wie nach der Lage zur Null-Linie, daß es sich empfiehlt, alle Toleranzen dem ISA-System zu entnehmen, auch wenn nicht mit genormten Lehren gemessen werden kann. Damit sind Herstellungstoleranz und zulässige Abnutzung unmittelbar gegeben. Sie sind im Durchschnitt etwas kleiner, als bei den DIN-Toleranzen, entsprechend den Fortschritten der Lehrentechnik.

Nicht festgelegt sind Abweichungen von der geometrischen Form, d. s. bei Rachenlehren Abweichungen von der Parallelität und Ebenheit der Meßflächen. Donath¹ hat festgestellt, daß diese bei den meisten Erzeugnissen der deutschen Lehrenindustrie verhältnismäßig klein sind. Sie dürfen keinesfalls zu einer Überschreitung der Herstellungstoleranz an irgendeiner Stelle führen. Durch die Abnutzung wird die Unparallelität vergrößert, die Lehre erhält eine „Vorweite“.

Als Faustformel kann man sich merken, daß die Toleranz der Lehre etwa ein Zehntel der Werkstücktoleranz beträgt, bei kleinen Toleranzen mehr, bei großen weniger.

Durch die zulässige Abnutzung, die bei DIN stets, bei ISA in einzelnen Fällen zu einer Überschreitung des Werkstück-Toleranzfeldes führt, wird bei abgenutzten Lehren der vom Konstrukteur geforderte Sitzcharakter gefälscht, Spielsitze werden enger, Preßsitze fester.

Die Abnutzung der Ausschußseite wird im allgemeinen vernachlässigt, weil ja die Ausschußseite meist nicht hinüber- oder hineingeht. In den Normen ist daher eine zulässige Abnutzungsgrenze nur für die Gutseiten angegeben.

¹ Schrifttum Nr. 9.

Diese Veränderung des Sitzcharakters hat jedoch kaum eine praktische Bedeutung, weil, wie auf S. 24 an Hand der Theorie gezeigt wurde, die Grenzfelder der Toleranz eine sehr geringe Häufigkeit aufweisen. Die Praxis hat bisher im wesentlichen der Theorie recht gegeben.

Mit Verkleinerung der Herstellungstoleranz wächst der Preis nach einer Kurve, wie sie Abb. 12 zeigt.

Eine Verkleinerung des Abnutzungsfeldes hat eine linear verhältnisgleiche Verkürzung der Lebensdauer zur Folge, wenn nicht durch andere Maßnahmen (z. B. abnutzungsfestere Werkstoffe) der Abnutzung entgegengearbeitet wird.

Die elastische Aufbiegung (3.) der gebräuchlichen Rachenlehren hat Donath¹ eingehend untersucht. Sie ist recht beträchtlich. Man hat sie durch folgende Definition für das Maß einer Rachenlehre soweit wie möglich unschädlich zu machen versucht.

„Als Arbeitsmaß einer Rachenlehre gilt der Durchmesser derjenigen Meßscheibe, über die sie, leicht gefettet und dann sorgfältig abgewischt, aus dem Zustande der Ruhe durch die Gebrauchsbelastung² gerade noch hinübergleitet.“

Wird beim Prüfen des Werkstückes mit der Rachenlehre in der gleichen Weise vorgegangen, so ist der Meßdruck und damit die Aufbiegung in beiden Fällen (annähernd) gleich. Sinngemäß müßten Rachenlehren für Toleranzen an flachen Werkstücken mit Endmaßen, statt mit Meßscheiben³ geprüft werden.

Bei Berücksichtigung und praktischer Anwendung der Definition des Maßes einer Rachenlehre wird auch die Abplattung (4.) an der Berührungsstelle praktisch gleich und ausgeschaltet.

Der Einfluß der Temperatur (5.) wurde auf S. 3 besprochen.

Der eigentliche Berührungsfehler (6.), die Schicht zwischen den metallischen Flächen ist sehr klein. Er hängt von der Art der Zwischenschicht (Luft oder Fett, verschiedene Fettkonsistenz), vom Meßdruck, der Größe der Fläche und von der Oberflächengüte ab. Bei angesprengten Endmaßen beträgt dieser Berührungsfehler Bruchteile von μ , bei wenigen guten Oberflächen ist er größer.

Die Meßunsicherheit ist vorstehend für die Messung einer Welle mit der Rachenlehre besprochen. Sie wird selbstverständlich anders, sowohl der Art als auch der Größenordnung nach, wenn beispielsweise Lehr-, Kugelendmaße, Flachlehren usw. betrachtet werden.

Für den Praktiker in der Werkstatt haben Herstellungstoleranz,

¹ Schrifttum Nr. 9.

² Weicht die Gebrauchsbelastung vom Eigengewicht der Lehre ab, so muß sie auf der Lehre in Gramm angegeben werden.

³ Um die Anzahl der Meßscheiben einzuschränken, können an die eine Meßfläche der Rachenlehre Endmaße angesprengt und dann die Prüfung mit einer entsprechend kleineren Meßscheibe ausgeführt werden.

Abnutzung, Temperatur und Meßdruck (richtige Anwendung der Lehre!) die ausschlaggebende Bedeutung.

6. Ausführung der Lehren.

a) **Werkstoffe.** Um die Abnutzung zu verringern, werden die Meßflächen, An- und Auflageflächen und sonstigen der Abnutzung beim Gebrauch unterworfenen Stellen gehärtet. French und Herschmann¹, McPharlin² und Nieberding³ haben festgestellt, daß mit der größten Oberflächenhärte keineswegs auch immer die geringste Abnutzung verbunden ist. In einzelnen Fällen hat sich sogar gezeigt, daß „feilweiche“ Flächen, d. s. solche, bei denen die Feile noch angreift, eine längere Lebensdauer haben als härtere. Doch empfiehlt es sich wegen der Gefahr der Beschädigung durch Anstoßen oder Zerkratzen nicht, derart weiche Flächen vorzusehen. Nur wenn es sich um fertigungstechnisch besonders schwierige Formen an Lehren handelt und gleichzeitig die Abnutzungsflächen groß sind, können Meßflächen weich bleiben; meist wird dann Stahl von 60—70 kg/mm² Festigkeit benutzt. Hierbei spielt auch die Anzahl der zu prüfenden Werkstücke eine Rolle, und es ist ratsam, beim Entwurf einer „weichen“ Lehre besonders darauf zu achten, daß mechanische Beschädigungen nicht leicht vorkommen können.

Das merkwürdige Verhalten mancher Stähle in bezug auf die Abnutzung wird so erklärt, daß aus einem harten, spröden Werkstoff mikroskopisch kleine Teilchen beim Hinübergleiten eher herausgerissen werden, als wenn diese Teilchen in einem zäheren Grundwerkstoff eingebettet sind. Sehr großen Einfluß auf die Abnutzung hat auch der Werkstoff des zu prüfenden Stückes. Am unangenehmsten in dieser Hinsicht verhalten sich hartes Messing, Bronze und Leichtmetalle. Bei Aluminiumlegierungen werden kleinste Teilchen losgelöst, die sofort oxydieren und einen sehr harten Schleifstaub aus Aluminiumoxyd bilden. Auch der Meßdruck beeinflußt die Abnutzung; Gewindelehrdorne nutzen sich um ein Vielfaches schneller ab als glatte Lehrdorne, weil (neben dem Gleitweg) der Meßdruck infolge der Keilwirkung der Gewindegänge erheblich größer ist.

Bei Widia konnte Nieberding bei seinen Versuchen praktisch keine Abnutzung feststellen. Man kann die Lebensdauer der mit Widia bestückten Lehren auf mindestens das 10—20fache gegenüber den Lehren aus Kohlenstoffstahl annehmen. Der Verwendung von Widia stehen der hohe Preis entgegen, der durch die lange Lebensdauer ausgeglichen wird, und die Schwierigkeit der Bearbeitung. Doch ist es gelungen, aus anderen Hartmetallen sogar Gewindelehrdorne herzustellen; dies ist mit Widia bisher noch nicht möglich.

¹ Schrifttum Nr. 12—14.

² Schrifttum Nr. 27.

³ Schrifttum Nr. 28.

Bei Lehren und insbesondere bei Endmaßen wird vom Werkstoff verlangt, daß er homogen, gut härtbar, widerstandsfähig gegen Abnutzung und Korrosion ist und den gleichen Ausdehnungsbeiwert wie Stahl hat und sich gut bearbeiten und polieren läßt. Die wichtigste Forderung ist die der Maßbeständigkeit. Durch den Härtevorgang werden innere Spannungen hervorgerufen, die sich allmählich auslösen und im Verein mit langsamen Gefügeänderungen Verformungen der gehärteten Stücke bewirken, die sich erst im Laufe der Zeit bemerkbar machen. Die Verringerung dieser Erscheinungen ist bei den einzelnen Lehrenherstellern der Gegenstand kostspieliger Versuche und großer Erfahrungen und so kommt es, daß die Ansichten über die geeigneten Lehrenwerkstoffe sehr auseinandergehen.

Es sind in der Hauptsache zwei Arten zu unterscheiden, der niedriggekohlte Einsatzstahl und der hochgekohlte Durchhärter mit oder ohne Legierungsbestandteile. Einsatzstähle entsprechen im allgemeinen etwa St C 10.61 bis St C 16.61; die Einsatztiefe richtet sich nach der Größe des Teiles, sie muß mindestens so groß sein, daß nach dem Fertigstellen der Lehre noch eine genügend dicke Schicht für die Abnutzung zur Verfügung steht, jedoch muß bei dünnen Teilen ein zäher Kern vorhanden sein. Häufig wird auch Nitrierhärtung angewandt, die sich gut bewährt hat, vor allem, weil das spannungserzeugende Abschrecken wegfällt.

Der Vorzug der Einsatzstähle liegt im geringeren Härteverzug und in der Möglichkeit, Stellen, die weich bleiben sollen, abzudecken. Andererseits wird ein inhomogenes Gebilde erzeugt, das zu nachträglichen Gefüge- und Formänderungen neigt. Durchhärtende Stähle haben meist hohen Kohlenstoffgehalt (um 1%), als sehr vorteilhaft hat sich ein Cr-Zusatz von 1—2% erwiesen. Er erzeugt größere Härte, ermöglicht dadurch geringere Abkühlgeschwindigkeit (Ölhärtung) und geringeren Verzug. Bei durchhärtenden Stählen ist es wichtig, daß durch die Formgebung Härterissen möglichst vorgebeugt wird, vor allem durch Vermeidung starker und schroffer Querschnittübergänge.

Um die nachträglichen Formänderungen, das Altern, auf ein Mindestmaß zu beschränken, werden die gehärteten Lehrenteile künstlich gealtert. Dies geschieht durch mehrstündiges Erwärmen auf Temperaturen von 100—200°, am besten, wenn dies möglich ist, in Verbindung mit einer halbjährigen Lagerung. Auch hierbei, wie bei der Wahl und Behandlung der Werkstoffe, spielt die eigene Erfahrung mit einem bestimmten Werkstoff eine große Rolle.

Bis vor kurzem wurde die Härte der Meßflächen vorwiegend mit der Feile geprüft, ein Verfahren, das zwar dem Hersteller im vorgearbeiteten Zustande der Lehre einen Anhalt gibt, dem Benutzer dagegen, der ohnehin nur an der Kante oder in der Nähe der Meßfläche nachprüfen kann,

kaum etwas über den Abnutzungswiderstand des gekauften Erzeugnisses aussagt.

In jüngster Zeit sind Geräte auf den Markt gekommen — z. T. auf Anregung des Verfassers —, die, wie es scheint, brauchbare Härteprüfverfahren für Lehren ermöglichen. Eine Diamantpyramide wird mit verhältnismäßig geringem Druck ohne Vorbelastung in die Meßfläche eingedrückt, das Bild des Eindruckes vergrößert projiziert und die Diagonale des Eindruckes gemessen. Tafeln ermöglichen die Umrechnung auf Rockwell-, Brinellhärte und Festigkeit. Die Streuungen der Meßergebnisse halten sich in erträglichen Grenzen und, was das wichtigste ist, die Eindrücke sind mikroskopisch klein, die Beschädigung der Meßfläche also erträglich. Es wurde festgestellt, daß die Aufwulstung infolge des günstigen Einflusses der mehr schneidenden Pyramide im Gegensatz zum mehr drückenden Kegel bei einer Last von 15 kg unter 1μ liegt, also keine nennenswerte Maßveränderung hervorruft, zumal der entstandene Wulst sich beim Gebrauch sehr schnell abnutzt¹.

In Verbindung mit geeigneten Einspanngeräten ist bei zahlreichen Lehrenformen eine brauchbare Messung der Oberflächenhärte möglich, und es besteht keine Gefahr infolge zu hoher Belastung die Einsatzschicht zu durchbrechen. Wird sie dennoch durchbrochen und werden folglich zu geringe Werte angezeigt, so war die Einsatzschicht nicht dick genug; man hat also gleichzeitig die Möglichkeit einer groben Prüfung der Einsatztiefe.

Recht gut bewährt hat sich bei entsprechender Ausführung das Verchromen der Meßflächen, doch ist es nicht leicht, eine genügend dicke, haltbare Cr-Schicht aufzubringen, besonders bei nicht ganz einfachen Formen, weil dann die Schicht ungleichmäßig dick wird. Auch zum Aufarbeiten abgenutzter Lehren ist das Verfahren geeignet.

Es möge noch erwähnt werden, daß alle Lehrenteile entmagnetisiert sein müssen, um das Anhaften kleiner Eisenspäne und Zerkratzen der Meßflächen zu vermeiden und um das Ineinanderstecken zusammengehörender Teile (z. B. Hilfsdorne) zu erleichtern.

b) Oberflächengüte. Die für die Feinmeßflächen notwendige Oberflächengüte wird durch Polieren auf Gußeisen oder Kupfer mit Polierstoffen (Polierrot, Pariser Blau, Chromoxyd) erzeugt. Das Polieren mittels Schwabbelzscheibe und ähnliche Verfahren wie in der Metallverarbeitung ist unzulässig, da es geometrisch ungenaue Flächen erzeugt.

Mit dem Polieren wird das Justieren verbunden; hierbei wird nicht nur das genaue Maß, sondern auch Parallelität, Ebenheit usw. erzeugt. Der Arbeitsgang konnte bislang durch keine maschinenmäßigen Hilfsmittel vollkommen ersetzt werden, er erfordert hohe Handgeschicklichkeit, feines Meßgefühl und eine bestimmte Veranlagung.

¹ Hersteller: Hessenmüller & Wolpert, Ludwigshafen a. Rh., Gg. Reicherter, Eßlingen.

Es ist mit viel Verständnis und Liebe zur Sache bei sorgfältiger Menschenauswahl gelungen, in verhältnismäßig kurzer Zeit Leute aus ganz anderen Berufen soweit zu bringen, daß sie einfache Lehren in recht guter Ausführung herstellen konnten. Hierbei verblieben von 70 ausgesuchten Leuten etwa 10 in der Lehrwerkstatt.

Die hohe Oberflächengüte ist notwendig, weil dann, wenn beide Teile — Werkstück und Lehre — rauh sind, das Meßgefühl ganz außerordentlich beeinträchtigt wird. Ferner läßt sich eine weniger gute Meßfläche nicht so genau messen und nutzt sich infolge der „Berge und Täler“ schneller ab. Bei groben Toleranzen genügt Feinschleifen mit Schleifscheiben von der Körnung 200 und darüber.

Die Kanten der Meßflächen werden meist mit dem Ölstein leicht gebrochen, wenn nicht die Konstruktion größere Fasen erfordert.

Die Oberflächengüte der übrigen Lehrenflächen ist der Gegenstand großer Meinungsverschiedenheiten. Von der einen Seite wird darauf hingewiesen, daß in der Werkstatt ein sauber gearbeitetes Meßgerät sorgfältiger behandelt wird als ein ruppig aussehendes; andererseits muß gesagt werden, daß im modernen Maschinenbau nicht für das Auge, sondern in erster Linie technisch richtig und wirtschaftlich konstruiert wird, ebenso wie ionische Säulen an Dampfmaschinen längst der Vergangenheit angehören, und daß die gute Behandlung der Betriebsmittel nichts weiter erfordert als eine entsprechende Erziehung der Arbeiterschaft.

Skalenflächen und Markenfenster dürfen keinen Glanz zeigen, die Strichrichtung darf nicht parallel zu den Markenstrichen verlaufen. Hierfür hat sich eine matte Verchromung ausgezeichnet bewährt, soweit nicht die Bauart der Lehre, wie bei Schieblehren, dies verbietet.

c) Paßstifte. Zum Festlegen der einzelnen Lehrenteile gegeneinander werden zylindrische Paßstifte benutzt. Kegelige Stifte haben sich nicht bewährt, weil der einwandfreie Sitz bei geringen Winkelabweichungen in Frage gestellt ist und die Gefahr besteht, daß der Stift nicht fest genug eingetrieben wird, wenn etwas zu tief gerieben worden ist. Der gute Sitz der Paßstifte ist sehr wichtig für die Maßbeständigkeit der Lehre und wird nach besonderen Verfahren sorgfältig nachgeprüft.

d) Schutzüberzüge. Neben metallischen Überzügen (Verchromen) werden Farben und Lacke zum Schutz gegen Rosten und zur Kennzeichnung der Lehrenarten benutzt. Einbrennlacke können im allgemeinen wegen der hierzu notwendigen Erwärmung nicht benutzt werden. Zur Kennzeichnung werden beispielsweise die rote Farbe bei Ausschußlehren, andere Farben für die verschiedenen Gütegrade (Edel-, Fein-, Schlicht- und Grobpassung) verwendet. Die Lacke und Farben müssen so hart werden, daß bei gewöhnlichem Gebrauch mechanische Beschädigungen und Abgreifen nicht eintreten.

e) Beschriftung. Das Maß der Lehre, der Verwendungszweck (Nummer), die Bezugstemperatur, Hersteller und Eigentumsvermerke werden auf die Lehre geschriftet. Die Beschriftung wird durch Gravieren (nur bei weichen Teilen) oder Ätzen aufgebracht. Das Beschriften mit Schlag-

buchstaben oder durch Pressen oder Walzen erzeugt Spannungen und Maßveränderungen und wird daher in guten Lehrenwerkstätten nicht angewendet. Markenstriche werden entweder geätzt oder mit dem Stichel oder Diamant gezogen. Für Mengenfertigung von Teilungen ist ein photographisches Verfahren im Gebrauch, das auch für die Beschriftung benutzt werden kann und praktisch verzugfrei arbeitet.

7. Allgemeine Richtlinien für den Entwurf von Lehren.

Die wichtigsten allgemeinen Gesichtspunkte, die beim Entwurf einer Lehre beachtet werden müssen, sind folgende:

- a) Fertigung,
- b) Wärmebehandlung,
- c) Vermessung der Lehre,
- d) Handhabung,
- e) Lebensdauer,
- f) Instandhaltung und Nacharbeit.

a) **Fertigung.** Zur Einrichtung einer Lehrenwerkstatt gehören:

Werkzeugmaschinen: Mechanikerdrehbänke, z. T. mit Leitspindel; bei größeren Stückzahlen der gleichen Lehrenart Revolverdrehbänke; Universalfräsmaschinen; Bohrmaschinen; Hobelmaschinen, insbesondere Kurzhobler; Stoßmaschinen; Flächenschleifmaschinen; Rundschleifmaschinen; Innenschleifmaschinen; Lehrenbohrwerke oder statt dessen sehr genaue Kreuzschlitten und Rundtische in Verbindung mit sehr guten oder besonders hergerichteten Senkrecht-Fräsmaschinen; Gewindeschleifmaschinen; Rachenlehrenschleifmaschinen; Läppmaschinen; Graviermaschinen für Beschriftung; Teilmaschinen.

Vorrichtungen: Möglichst vielseitige Zusatzeinrichtungen zu Werkzeugmaschinen, verstellbare Aufspannwinkel, Aufspannböcke, Magnetfutter, Teilköpfe, Spanndorne, Spannfutter usw.

Werkzeuge: Handelsübliche und genormte Maschinen- und Handwerkzeuge.

Meßeinrichtungen: Handelsübliche Meßgeräte aller Art, insbesondere für jeden Lehrenbauer ein Satz Endmaße, ferner Dorne, Winkel, Meßmikroskope, Schieb- und Schraublehren, Meßuhren, ebene Platten, Härteprüfgeräte usw.

Sonstige Einrichtungen: Härtereie mit Härte-, Glüh- und Anlaßöfen, Bottiche für Abschreckflüssigkeit sowie Ätzeinrichtungen usw.

Mit diesen Einrichtungsmitteln in größerer oder geringerer Vollständigkeit hat der Lehrenkonstrukteur zu rechnen und darüber hinaus möglichst keine Ansprüche zu stellen, denn Sonderwerkzeuge oder -vorrichtungen werden bei Einzelfertigung ganz dem Preis der Lehre zugeschlagen. Es wird sich nicht immer vermeiden lassen, daß einfache

Hilfsmittel für die Fertigung oder Vermessung besonders angefertigt werden: ein Aufnahmedorn, ein Meßklotz, eine Anreißvorrichtung, ein Aufriß auf einer Zinkplatte für das Projektionsverfahren. Diese Hilfsmittel werden aufbewahrt und bei Gelegenheit wieder benutzt.

Nach Möglichkeit muß auf maschinenmäßige Bearbeitung Bedacht genommen werden, doch wird im Lehrenbau viel — manchmal noch zu viel — Handarbeit ausgeführt. Lehren, zumal Sonderlehren, werden meist in Einzel-, selten in Reihenfertigung hergestellt. Deshalb muß ein ganz anderer Maßstab angelegt werden als etwa an massenfertigungsreife Gerätteile, und man wird nicht eine Lehre für den Gebrauch auch nur um eine Kleinigkeit unzuweckmäßiger entwerfen, nur um einen Feilstrich zu sparen. Während man bei Massenfertigung anstrebt, daß die Teile möglichst fertig von der Maschine kommen und als einzigen Handarbeitsgang das Entgraten zuläßt, wird im Lehrenbau die Handarbeit nie ganz entbehrt werden können.

Für die fertigungstechnische Beurteilung eines einzelnen Lehrenteiles muß in noch viel stärkerem Maße als bei Gerätteilen darauf hingewiesen werden, daß der hohe Preis seinen Grund in der Genauigkeit hat. Ebenso wie auf den Schneiden der Werkzeuge der Erfolg eines Unternehmens beruht, stellen die Meßflächen der Lehren einen großen Teil des aufgewendeten Kapitals für eine Fertigungseinrichtung dar, sie sind aber auch ausschlaggebend für die Genauigkeit und Güte der Erzeugnisse.

Es ist also vom fertigungstechnischen Standpunkt aus zu unterscheiden zwischen der Formgebung der Meßflächen und der der übrigen Flächen. Das gleiche wie für Meßflächen gilt in diesem Zusammenhang natürlich auch für Funktionsflächen, wie Lagerstellen für Hebel, Markenrisse, Teilungen, die genau ausgeführt sein müssen.

An den teuersten Stellen der Lehre lohnt sich einige Überlegung, wie mit vorhandenen Genauigkeits-Schleifmaschinen und geringer Justierarbeit auszukommen ist, anstatt sich ganz auf die Kunst des hochwertigsten Arbeiters, den es gibt, zu verlassen.

Der einfachste Aufbau einer Lehre und die einfachste Gestaltung der Einzelteile ermöglichen nicht nur einfache Fertigung und große Genauigkeit, sondern ergeben meist auch meßtechnisch die beste Konstruktion. Bekanntlich ist es sehr oft leichter, eine sinnreiche, verwickelte Einrichtung zu ersinnen, als mit den einfachsten Mitteln das gewollte Ziel zu erreichen.

Ein Mittel zur Vereinfachung der Einzelteile und der Meßflächen ist die Unterteilung. Wie weit damit gegangen werden darf, ist Sache des konstruktiven Gefühls und der Erfahrung; ein Aufbau aus allzu vielen Stücken macht das Ganze unstarr.

Die Unterteilung ist zu empfehlen, wenn dadurch eine große Anzahl von Meßflächen an einem Teil vermindert und somit die Ausschußgefahr an einem hoch-

wertigen Teil verringert wird oder wenn an Herstellungsgenauigkeit gespart wird. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn an der Lehre Abb. 40 die Leisten aufgeschraubt, nach Endmaßen auf den genauen Abstand gebracht und dann durch Paßstifte gesichert werden. Die Fertigung dieser Lehre aus einem Stück dagegen würde viel mehr hochwertige Genauigkeitsarbeit erfordern.

Die Schwierigkeiten wachsen nicht nur mit kleiner werdender Herstellungstoleranz, sondern auch mit der Größe der Meßflächen. Es ist sehr schwierig, große Flächen genau eben herzustellen, weil auch bei vorzüglicher Kühlung während des Schleifens eine geringe Erwärmung nicht zu vermeiden ist, die Verziehen zur Folge hat, und weil die Teile beim mechanischen oder magnetischen Aufspannen stets geringen elastischen Formänderungen unterliegen; beim Aufhören der Spannkraft wird die eben geschliffene Fläche uneben. Spannt man beispielsweise eine Platte auf den Magnettisch einer Flächenschleifmaschine, so würde das „Verspannen“ nur dann nicht eintreten, wenn sowohl der Magnettisch, als auch die Unterseite des Werkstückes vollkommen eben wäre. Jenes wird bei guten Maschinen mit möglichster Vollkommenheit angestrebt, dieses ist unmöglich, denn es soll ja erst auf der anderen Seite der Platte eine genaue Ebene

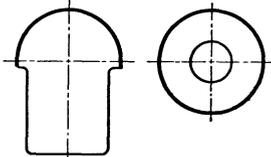


Abb. 71. Rundungslehre.

erzielt werden. Dreht man nach dem Schleifen die so verworfene Platte um und schleift die andere Fläche, so machen sich die durch das Verspannen hervorgerufenen Unebenheiten wiederum mehr oder weniger bemerkbar. Deshalb können große Flächen nur durch Schaben (Handarbeit) eben gefertigt werden.

Zur Abhilfe empfiehlt es sich, große Flächen an den Stellen auszusparen, wo die Fläche nicht gebraucht wird. Der Arbeitsaufwand für die Aussparungen steht in keinem Verhältnis zu den erwähnten Schwierigkeiten und Kosten.

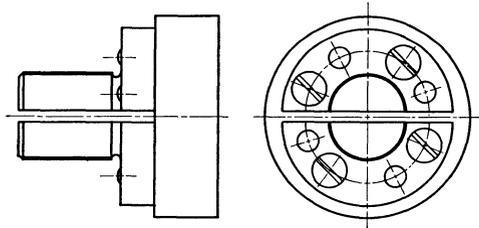


Abb. 72. Formlehre für ein Langloch.

Abb. 71 zeigt links eine Rundungslehre, die viel Handarbeit nötig macht, rechts eine vereinfachte Form, die auf der Rundschleifmaschine fertiggestellt werden kann und zudem den Vorteil längerer Lebensdauer hat.

Abb. 72 stellt eine Formlehre für ein Langloch dar, deren Meßflächen gleichfalls auf der Rundschleifmaschine erzeugt werden; die beiden Meßstücke werden auf der Grundplatte genau ausgerichtet und dann verstiftet. Wollte man die Lehre aus einem Stück fertigen, so wäre die gleiche Genauigkeit nicht erreichbar und der Preis betrüge das Vielfache gegenüber der dargestellten Ausführung.

Besonders unangenehm sind Durchbrüche und geschlossene Formen, die genau sein müssen, aber mit der Schleifscheibe nicht zugänglich sind. Abb. 73 stellt links eine geschlossene Vierkantlehre aus einem Stück dar. Die Ausführung rechts sieht zwar verwickelter aus, die Meßflächen können aber mit der Schleifscheibe bearbeitet und die Lehre dann mit Hilfe einer Gegenlehre oder Endmaßen zusammengesetzt werden.

Wenn bis an einen Ansatz heran geschliffen werden muß, so tritt in der Kehle eine stärkere Erwärmung auf, die eine Verminderung der Härte zur Folge haben kann. Die Kante des Schleifrades nutzt sich schnell ab und die Fläche wird ungenau und unsauber. Ferner sind Abweichungen von der geometrischen Form die Folge, weil das letzte Stück vor der Kehle nicht in der gleichen Weise vom Schleifrad bestrichen wird wie die übrige Fläche, infolgedessen bleibt hier mehr Werkstoff stehen.

Deswegen müssen Meßflächen, soweit irgend möglich, freigearbeitet werden, damit die Scheibe auslaufen kann. Die Freiarbeitung soll möglichst groß sein (Abb. 74—76). Beim Schleifen der Stirnfläche in Abb. 75 links besteht die Gefahr, daß die Zylinderfläche des Zapfens verletzt wird.

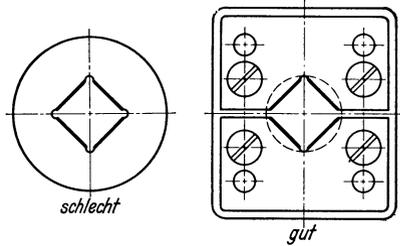


Abb. 73. Gutlehre für Vierkantzapfen.

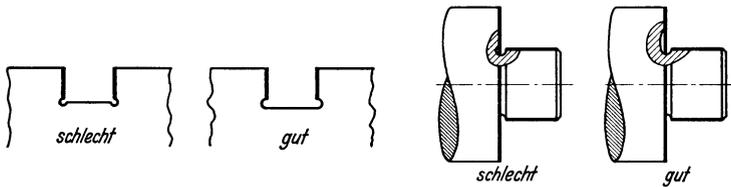


Abb. 74. Freiarbeitung an Meßrachen.

Abb. 75. Freiarbeitung an einem Dorn.

Müssen an Meßflächen die Kanten stark gebrochen werden, so ist eine Fase besser als eine Rundung, denn diese erfordert sorgfältige Arbeit am Übergang von der Rundung zur Meßfläche, damit die Meßfläche nicht verletzt wird.

Bei großen Lehren, die wegen der Handhabung leicht sein sollen, kann oft mit Vorteil eine Schweißkonstruktion gewählt werden. Doch ist hierbei einige Vorsicht geboten, wenn es sich um kleine Herstellungstoleranzen handelt. Die durch das Schweißen erzeugten Schrumpfspannungen können nur sehr schwer wieder vollkommen beseitigt werden, selbst wenn es möglich ist, die Schweißgruppe zu glühen. Die Spannungen lösen sich beim Lagern oder beim Gebrauch allmählich aus und rufen Maßänderungen hervor. Die Gasschmelzschweißung eignet sich wegen der größeren Schrumpfung am wenigsten für Lehren. Die Lichtbogen-schweißung mit nackter Elektrode ist vielfach mit gutem Erfolg an-

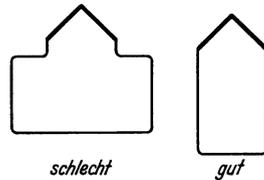


Abb. 76. Freier Auslauf für die Schleifscheibe.

gewendet worden. Leider liegen planvolle Versuche über die Maßänderungen geschweißter Lehrenkonstruktionen noch nicht vor.

b) Wärmebehandlung. An schroffen Querschnittübergängen treten beim Härten infolge der verschiedenen Abkühlgeschwindigkeit große

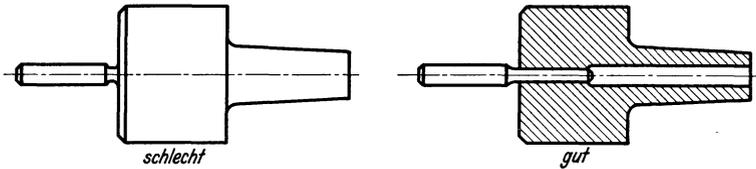


Abb. 77. Vermeidung schroffer Querschnittübergänge an gehärteten Teilen.

innere Spannungen und häufig Brüche auf. Ein Beispiel für eine unvorteilhafte Konstruktion und einen Vorschlag zur Abhilfe zeigt Abb. 77. Von scharfkantigen Ecken und Kanten gehen häufig Spannungsrisse aus

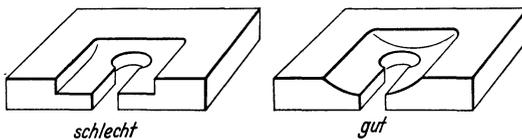


Abb. 78. Vermeidung von scharfen Ecken.

(Abb. 78 links). Die Härtespannungen sind oft auch durch Nachbehandlung kaum zu beseitigen und führen manchmal erst nach längerem Lagern oder

beim Gebrauch zum Bruch, ohne daß äußere mechanische Beanspruchungen den Anlaß dazu geben.

Muß an einem Teil nach dem Härten und Schleifen eine weitere Bearbeitung vorgenommen, z. B. ein Stiftloch gebohrt und gerieben werden, so kann dies dadurch ermöglicht werden, daß Einsatzstahl verwendet und die aufgekohlte Schicht vor dem Härten an der Bearbeitungsstelle weggearbeitet wird.

Ein Paßstift darf nicht zu nahe an die Meßfläche gerückt werden, weil dadurch deren Genauigkeit beeinträchtigt und Nacharbeit erforderlich wird. Manchmal kann der Gerätkonstrukteur helfen, indem er am Gerätteil Platz für ein genügend großes Meßstück schafft.



Abb. 79. Anreißen von Markenstrichen nach Endmaßen ohne Gegenlehre.

c) Vermessung der Lehre. Die Herstellungstoleranz, die einen großen Teil der Meßfehler ausmacht, ist unmittelbar von der Möglichkeit abhängig, die Lehre mit einfachen und genauen Hilfsmitteln zu messen. Das meistbenutzte und beste Meßmittel für Lehren ist das Parallelendmaß. Abb. 79 zeigt, wie eine Tiefenlehre durch Anbringen eines Durchbruches für die unmittelbare Messung mit Endmaßen eingerichtet werden kann. Ohne den Durchbruch müßten eine oder zwei Gegenlehren angefertigt werden; diese weisen größere Toleranzen auf als Endmaße.

Bei einer Lehre, deren Meßfläche ein Stück von einem Zylinder bildet, ist es wertvoll, wenn zum Messen der Gegenpunkt stehenbleibt (Abb. 80). Häufig ist die Schaffung von besonderen Hilfsmeßflächen zweckmäßig, die nur der besseren Messung der Lehre selbst dienen, sowie die Ver-

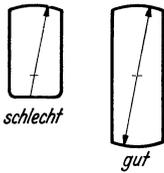


Abb. 80. Gegenpunkt beim Rundschleifen.



Abb. 81. Verlängerung der Meßfläche.

längerung von Meßflächen über das für den Gebrauch notwendige Maß hinaus (Abb. 81).

Kommt man ohne eine besondere Gegenlehre oder Einstell-Lehre nicht aus, so genügt für Grenzlehren nur eine Gegenlehre, wenn sie so gestaltet wird, daß die Grenzwerte mit Hilfe von Endmaßen gebildet werden (Abb. 82).

d) Handhabung. Eine Lehre soll so einfach und mühelos zu handhaben sein, daß das Meßergebnis schnell, sicher und ohne Ermüdung beim Messen vieler Stücke erzielt wird.

Das Werkstück oder die Lehre muß sich schnell und einfach in die Meßstellung bringen lassen und ebenso schnell und ohne zu klemmen oder zu ecken wieder entfernen lassen. In besonderen Fällen werden Handgriffe oder Ausbevorrichtungen vorgesehen. Das Einführen großer Lehdorne oder Zentrierungen macht wegen des Eckens oft Schwierigkeiten und ist daher möglichst zu vermeiden. Bei kleinen Hilfslehren empfiehlt es sich oft, eine Vor-Führung anzubringen, wie in Abb. 83 angedeutet. Die Messung beginnt erst, nachdem die Flachlehre genügend Führung am Meßklotz hat.

Häufig werden mehrere Messungen in einer Lehre vereinigt. Es wird an Meßzeit gespart, wenn Gut- und Ausschußseite hintereinanderliegen (Abb. 84).

Die Vereinigung zahlreicher Meßstellen zu einer Lehre empfiehlt sich nur, wenn die Stückzahl der Werkstücke nicht so groß ist, daß für jedes Maß ein Prüfer eingesetzt werden muß. Bei schwankender Fertigungs-

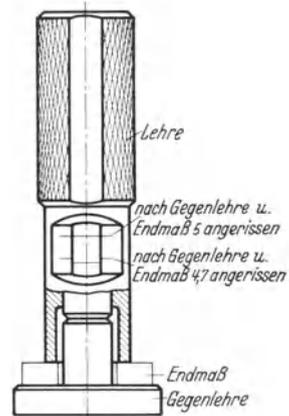


Abb. 82. Eine Gegenlehre statt zwei.

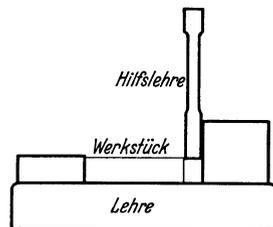


Abb. 83. Ausrichten der Hilfslehre an der verlängerten Meßfläche.

ziffer werden am besten Einzellehren vorgesehen, die bei Bedarf in Haltern zusammengesetzt oder, wenn es sich um leichte Werkstücke handelt, auf dem Tisch zweckmäßig angeordnet und befestigt werden können.

Lehren, die an der Maschine oder am Arbeitsplatz benutzt werden, enthalten selbstverständlich nur die Meßstellen, die der einzelne Arbeiter braucht. Die Vielfachlehren für die Revision dürfen nicht zu umfangreich sein, damit nicht einzelne Meßstellen ausgelassen oder vergessen werden; außerdem ist zu bedenken, daß bei Ausfall einer solchen Lehre nicht so schnell Abhilfe geschaffen werden kann, wie wenn nur eine Einzellehre unbrauchbar geworden wäre.



Abb. 84. Gut- und Ausschußseite in einem Rachen vereinigt.

Gehören zu einer Lehre mehrere Hilfslehren (Dorne, Flachlehren usw.), so macht man sie entweder gleich oder, wenn dies nicht möglich ist, so deutlich verschieden, daß Verwechslungen ausgeschlossen sind. Bei der Unterscheidung der einzelnen Meßstellen (z. B. Gut und Ausschuß) sollte man sich nicht auf die Beschriftung der

Lehre beschränken, sondern grob wahrnehmbare Merkmale anbringen (vgl. S. 54 u. 55, Abb. 46 u. 47, B). Ebenso wichtig sind Hinweise auf die Anwendung der Lehre, z. B. die Kenntlichmachung von Anlage- und Auflageflächen; hierbei genügt jedoch eine entsprechende Aufschrift.

Vorkehrungen, die die falsche Anwendung der Lehre verhindern, brauchen nur in besonders gelagerten Fällen getroffen zu werden, denn es kann bei Massenfertigung mit richtiger Anwendung gerechnet werden, wenn der Messende eingehend unterwiesen worden ist.

Lose Lehrenteile, Hilfsdorne, Hilfsmaße usw. brauchen nicht unbedingt vermieden zu werden, wie dies beim Vorrichtungsbau häufig angestrebt wird.

Lehren, die zum Messen in der Hand gehalten werden, dürfen nicht zu schwer und unhandlich, aber auch nicht zu klein sein, um das Meßgefühl nicht zu beeinträchtigen und den Messenden nicht vorzeitig zu ermüden. Hierzu gehört auch, daß ein Griff angebracht wird, an dem die Lehre bequem und sicher festgehalten werden kann. Für kleine Werkstücke, die an feststehender Lehre geprüft werden, und für scharfkantige Stücke sind geeignete Halter vorzusehen.

Schließlich soll eine Lehre so ausgebildet sein, daß sie möglichst unempfindlich gegen mechanische Beschädigungen ist und nicht schon beim Weglegen auf empfindliche Kanten zu liegen kommt. Sehr gut bewährt haben sich zum Ablegen, auch an der Werkbank, Holzklötze mit entsprechenden Aussparungen. Diese Klötze tragen zu sorgsamer Behandlung der kostspieligen Meßgeräte bei und sind mehr wert als eine blanke und teure Oberfläche an Stellen, wo sie nicht nötig ist.

Die Meßsicherheit wird durch die Bauart der Lehre sehr stark beeinflußt. Eine Lehre, die so kleine Auflageflächen hat, wie in Abb. 85 dargestellt, kann kein genaues Meßergebnis zeigen. Der Messende ist fast ausschließlich auf die Lichtspaltprüfung angewiesen, zu diesem

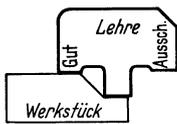


Abb. 85. Lehre mit einer zu kleinen Auflagefläche.

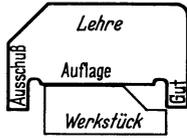


Abb. 86. Lehre mit großer Auflagefläche.

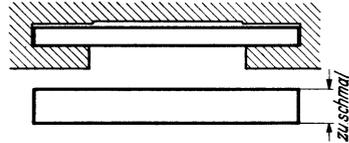


Abb. 87. Unzweckmäßige Lehre für T-Nut.

Zweck müssen Werkstück und Lehre in Augenhöhe gebracht werden; wegen der weiten Entfernung der zu messenden Flächen voneinander macht sich eine etwa vorhandene Unparallelität der Werkstückflächen störend bemerkbar. Die Lehre nach Abb. 86 dagegen nutzt die ganze vorhandene Auflage am Werkstück aus; beim Verschieben der Lehre wird das Anstoßen mit dem Tastsinn erkannt.

Mit der Lehre nach Abb. 87 soll die Breite einer T-förmigen Nut geprüft werden. Die viel zu schmale Lehre eckt beim Hindurchschieben und ermöglicht nicht eine genaue und schnelle Prüfung. Wird die Lehre nach

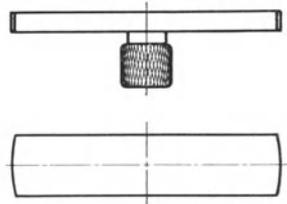


Abb. 88. Schwenklehre für T-Nut.

Abb. 88 ausgebildet, so läßt sie sich an jeder Stelle des Werkstückes mühelos einschwenken. (Sie prüft aber nicht die Geradheit der Führung.)

Für lose Lehrenteile, besonders Hilfsdorne, die beim Meßgang eingeführt oder hin- und herbewegt werden müssen, ist eine ausreichende Führung vonnöten, die mindestens $1,5$ bis $2 \cdot d$ (d = Durchmesser oder Dicke) betragen muß.

Abb. 89 zeigt, wie bei einer großen Rachenlehre die Meßsicherheit dadurch erhöht werden kann, daß die Stirnfläche des Werkstückes als Auflage für die Lehre benutzt wird. Die Lehre wird aufgelegt und über das Werkstück herübergezogen.



Abb. 89. Große Rachenlehre mit Auflageflächen.

Um zu verhindern, daß Späne oder Schmutzteilchen das Meßergebnis fälschen, müssen alle Auflage-, Anlage- und Meßflächen zugänglich, sichtbar und leicht zu reinigen sein. Es sei an die Möglichkeit erinnert, von der im Vorrichtungsbau oft Gebrauch gemacht wird, Nuten vorzusehen, in denen sich Späne und Schmutz ohne Schaden ansammeln können.

Kleine Werkstücke und solche, die mit der Hand nicht sicher in der

Meßlage gehalten werden können, müssen festgespannt werden. Hierzu können Exzenter, Schraube, Keil usw. benutzt werden. Die Spannmittel dürfen nicht zu kräftig sein, damit Lehre und Werkstück nicht verformt werden. Aus diesem Grunde werden beispielsweise Schraubengriffe häufig ohne Kordelung ausgeführt.

Paßstifte zum Festlegen von angeschraubten Einzelteilen werden möglichst weit auseinandergesetzt.

Die Lehre nach Abb. 90 ist nur für sehr große Toleranzen geeignet, weil infolge der starken Abrundung des Werkstückes der Vergleich mit den Markenstrichen der Lehre sehr ungenau wird. Im übrigen darf vom Messenden nicht allzu genaues Sehen verlangt werden, besonders sollen Markenstriche nicht zu dicht beieinanderstehen; wird die Aufmerksamkeit in irgendeiner Weise zu scharf angespannt, so sind vorzeitige Ermüdung und Meßunsicherheit die Folgen.

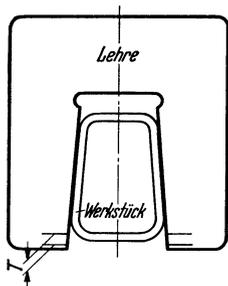


Abb. 90. Werkstück mit stark gerundeten Kanten.

Zur Vermeidung des schädlichen Einflusses der Körperwärme werden besonders bei großen Lehren Verkleidungen aus Holz an den Griffstellen angebracht.

e) **Lebensdauer.** Die beste Maßnahme, um die Lebensdauer der Lehren zu erhöhen, ist sachgemäße Behandlung, und das ist eine Frage der Erziehung derjenigen, die mit den Lehren umgehen.

Eine Lehre wird unbrauchbar durch Abnutzung der Meßflächen oder beweglichen Teile oder durch mechanische Beschädigung, Verbiegen oder Abbrechen von Teilen.

Das bereits mehrfach erwähnte Härten, Verchromen, oder die Verwendung von Hartmetallen für Meßflächen, erhöht nicht allein die Abnutzungsfestigkeit, sondern auch die Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigung der Oberfläche.

Daneben kann auch der Konstrukteur zur Erhöhung der Lebensdauer beitragen. Je kleiner die Meßfläche ist, desto schneller nutzt sie sich ab. Deshalb werden sehr kleine Meßflächen möglichst so ausgebildet, daß sie schnell ersetzt werden können. (Außerdem sind sehr kleine Meßflächen auch schwieriger zu fertigen.) Gleitende Reibung bewirkt schnellere Abnutzung als rollende. Ein gutes Beispiel bietet die Gewinderollenlehre, die ein Mehrfaches an Lebensdauer gegenüber der Gewinderachenlehre hat (abgesehen von der viel größeren Meßfläche). Ihr einziger Nachteil ist, daß sich durch Zufall einzelne Stellen des Rollenumfanges und der Flanke stärker abnutzen können und diese Stellen bei der Nachprüfung schwer zu erkennen sind. Doch hat sich dieser Nachteil bisher noch nicht störend bemerkbar gemacht.

Gewindelehrdorne nutzen sich vorn am schnellsten ab. Bildet man den Gewindekörper so aus, daß er auf dem Griff umgedreht werden kann, so kann die Lehre länger benutzt werden.

Wird beim Messen die ganze Länge der Lehre eingeschraubt, so muß man sich darüber klar sein, daß durch die sich nach vorn bis zur Abnutzungsgrenze verjüngende Lehre größere Steigungsfehler nicht erkannt werden.

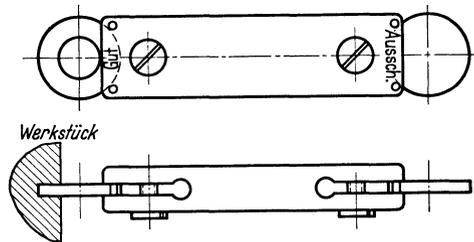


Abb. 91. Grenzlehre für die Breite einer Scheibenfedernut.

Abb. 91 zeigt eine Lehre für die Breite einer Scheibenfedernut, die einfach zu fertigen ist und bei der die Meßstücke nach der Abnutzung mehrmals versetzt werden können. Die Bohrung gibt an der Gutseite ungefähr die Tiefe der Nut an, bis zu der sich die Lehre einführen lassen muß. Abb. 92 zeigt, wie bei vereinfachter Fertigung die Meßfläche und damit die Abnutzungsfläche vergrößert werden kann.

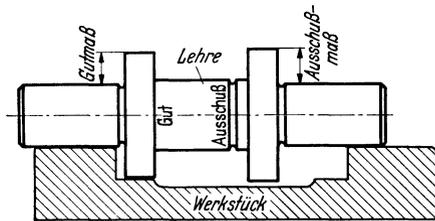


Abb. 92. Tiefenlehre.

Dünne Zapfen und Dorne brechen beim Gebrauch leicht ab. Bei Abb. 93 ist auf den Schleifeinstich verzichtet und ein großer Übergang auf den dickeren Durchmesser geschaffen.

Abb. 94 zeigt einen von den vielen bekannten Haltern für dünne Lehrdorne, die sich gut bewährt haben; der Meßdorn ist ein Stück Draht mit genauem Durchmesser, das billig ist und schnell ersetzt werden kann.

f) Instandhaltung und Nacharbeit. Bohrungen für Hilfsdorne und bewegliche Teile werden mit Rücksicht auf die Instandsetzung mit gehärteten Buchsen versehen. Die

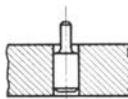


Abb. 93. Befestigung eines dünnen Zapfens.

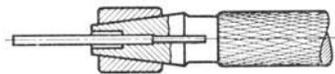


Abb. 94. Halter für dünnen Lehrdorn.

Buchsen haben auch den Vorzug, daß der Lehrenkörper an der Stelle nicht gehärtet und nicht gleich verworfen zu werden braucht, wenn eine Bohrung „verrutscht“ ist, der Lehrenbauer kann sich dann durch Größerbohren helfen.

Paßstifte setzt man nicht in Sacklöcher, weil dadurch das Auseinandernehmen erschwert wird. Muß der Stift aufsitzen, so bohrt man das Loch mit einem kleineren Durchmesser durch.

Rachenlehren werden durch Beitreiben mit leichten Hammerschlägen und Nachjustieren instand gesetzt. Liegen „Gut“ und „Ausschuß“ hintereinander, so muß allerdings die weniger abgenutzte Ausschußseite ebenfalls nachjustiert werden. Enthält eine Lehre mehrere Rachen, wie

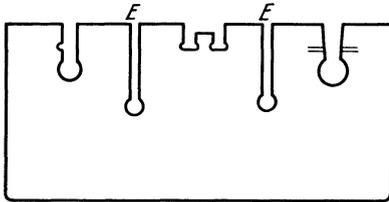


Abb. 95. Mehrfachlehre mit Einschnitten *E* zwischen den Rachen.

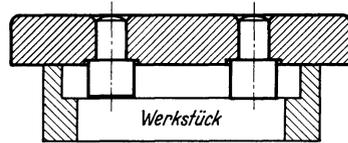


Abb. 96. Instandhaltung der Lehre, Zapfen sind versenkt angeordnet.

Abb. 95, so werden zwischen den Rachen Einschnitte vorgesehen, um jeden Rachen für sich instand setzen zu können.

Bei der Tiefenlehre (Abb. 96) sitzen die Stifte in Senkungen auf; nach dem Herausdrücken der Stifte können Lehrenplatte und Stifte sehr oft nachgearbeitet werden.

III. Anhang: Ausgewählte Abschnitte aus dem Lehrenbau.

1. Lehrenarten.

Die Arbeitslehre wird an der Werkzeugmaschine oder an der Werkbank gebraucht. An jedem Arbeitsplatz müssen Lehren für diejenigen tolerierten Maße vorhanden sein, die an diesem Arbeitsplatz entstehen. Meist werden nur für tolerierte Maße, Formen und für solche Maße Arbeitslehren vorgesehen, die sich nicht mit handelsüblichen Meßmitteln prüfen lassen. Die Arbeitslehre muß sich in dem Fertigungszustand, den das Werkstück an dem betreffenden Arbeitsplatz erreicht, anwenden lassen. Oft ist es notwendig, daß sie sich zur Prüfung des Werkstückes in eingespanntem Zustand eignet; dies ist aber nicht immer erforderlich und durchführbar. Beispielsweise wird bei Fräsvorrichtungen ein Probestück gefertigt, herausgenommen, geprüft und dann, soweit nötig, die Einstellung der Maschine berichtigt. Die früher häufig benutzten Einstellanschläge und Hilfsmeßflächen an Vorrichtungen werden nur noch selten angewandt. Nach beendeter Einstellung dient die Lehre nur zur Überwachung der Maschine und des Abnutzungszustandes der Werkzeuge.

Zu den Arbeitslehren zählen auch die Vormaßlehren, die eine Bearbeitungszugabe für spätere Arbeitsgänge: Reiben, Schleifen, Zieh-schleifen, Läppen usw. berücksichtigen.

Nach mehreren Arbeitsgängen kommt das Werkstück in die Zwischenrevision, die bei wertvollen Teilen verhindern soll, daß entstandener Ausschuß weiter bearbeitet wird, und nach Fertigstellung in die Werks-

oder Endrevision. Hier erfolgt die Prüfung mit Revisionslehren, für die zumeist Arbeitslehren benutzt werden, die bereits etwas abgenutzt sind, aber die Abnutzungsgrenze noch nicht erreicht haben. Durch diese Maßnahme soll verhindert werden, daß Stücke, die mit der Arbeitslehre für gut befunden wurden, von der Revision als der Nacharbeit bedürftig zurückgewiesen werden.

Abb. 97 zeigt ein Beispiel aus dem ISA-Toleranzsystem für die Lage und Größe der Herstellungstoleranz und mittleren Abnutzung der Arbeitslehren. Es sei angenommen, daß die Arbeitslehre sich bis auf das Maß, das der Stelle *a* entspricht, abgenutzt habe und die Revisionslehre bei *b* liege. Der Lehrdorn *a* ist also dicker als der Lehrdorn *b*; läßt sich *a* in eine Bohrung einführen, so geht *b* bestimmt hinein. Bei Rachenlehren liegen die Verhältnisse spiegelbildlich: die Rachenlehre wird durch Abnutzung größer.

Werden besondere Revisionslehren gebaut, so können mehrere Maße in einer Lehre vereinigt werden. Auf die Anwendungsmöglichkeit am eingespannten Werkstück braucht hierbei natürlich keine Rücksicht genommen zu werden. Mitunter läßt sich die Arbeitslehre an dem inzwischen weiter bearbeiteten Stück nicht mehr anwenden, dann muß eine besondere Revisionslehre vorgesehen werden.

Unter Hilfslehren versteht man lose Teile von Lehren aller Art, die beim Meßgang gebraucht werden: Hilfs-Lehrdorne, -Flachlehren usw. (Beispiele zeigen die Abb. 65 und 83.)

Mit Werkzeuglehren werden Werkzeuge: Reibahlen, Gewindewerkzeuge, Formfräser, Formstähle und Werkzeuge für spanlose Formung geprüft. Oft kann dann auf die Messung des fertigen Werkstückes verzichtet werden, oder es braucht nur noch die richtige Lage der Form am Werkstück nachgeprüft zu werden.

Für die Nachprüfung der Erzeugnisse durch den Besteller bedient man sich meist der Revisionslehren der herstellenden Firma. Nur bei der Wehrmacht sind besondere Abnahmelehren in großem Umfange vorgesehen. Sie sind Eigentum des Bestellers und die Abnahme erfolgt durch besondere Abnahmestellen. Die Maße der Abnahmelehren sind im DIN-Passungssystem genormt. Sie entsprechen in neuem Zustand den abgenutzten Arbeitslehren, dadurch werden Auseinandersetzungen zwischen Werksrevision und Abnahme vermieden.

Bei der amtlichen Abnahme von Munition wird außerdem eine Gutlehre I ver-

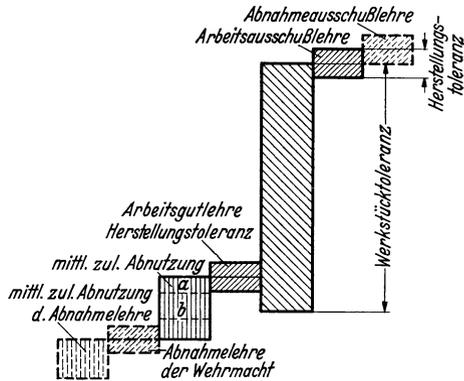


Abb. 97. Herstellungstoleranz und Abnutzung der Lehren, ISA-Toleranzsystem, 5.—8. Qualität, Bohrungslehren.

wendet, die innerhalb des Toleranzfeldes liegt und zur Schonung der Gutlehre II, der eigentlichen Abnahmelehre, dient. Dadurch wird erreicht, daß nur ein Teil der Werkstücke mit der Gutlehre II in Berührung kommt, und diese sich nicht so schnell abnutzt, wie es bei den harten Werkstücken zu erwarten wäre.

Im ISA-Toleranzsystem sind Abnahmelehren nicht enthalten, die Abnahmelehren der Wehrmacht liegen in neuem Zustand an der Abnutzungsgrenze der Arbeitslehren (Abb. 97). Ihre mittlere zulässige Abnutzung beträgt $\frac{3}{2} H$ ($H =$ Herstellungstoleranz). Abnahmelehren werden nur im Abnahmeraum benutzt, sie können demgemäß Vielfachlehren sein und entsprechen dem Fertigungszustand der Werkstücke.

Nicht zu verwechseln mit Revisionslehren sind die Prüflehren.

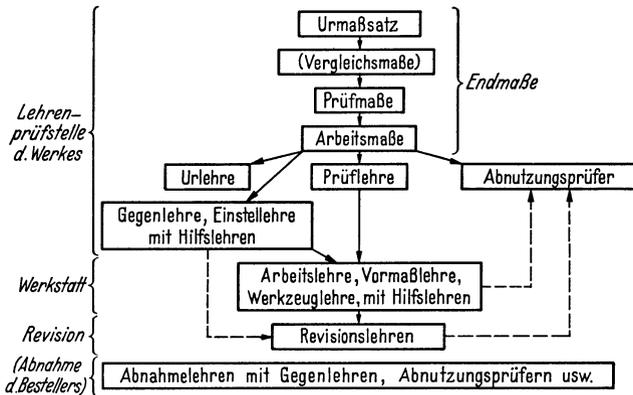


Abb. 98. Lehrenarten.

Sie dienen zum Prüfen der Arbeits-, Revisions- und Abnahmelehren. Zu ihnen gehören die (genormten) Meßscheiben zum Prüfen von Rachenlehren.

Enthält die Prüflehre die Maße der abgenutzten Lehre, so bezeichnet man sie auch als Abnutzungsprüfer. Durch besondere Abnutzungsprüfer wird die Nachprüfung der Lehren, die ja in regelmäßigen Zeitabständen stattfinden soll, erleichtert. Geht der Abnutzungsprüfer hinein oder hinüber, so muß die Lehre instandgesetzt oder ausgeschieden werden. Zahlenwerte für die Lage und Größe der Herstellungstoleranz von Prüflehren sind durch das Normblatt DIN 7162 gegeben.

Nahe verwandt mit der Prüflehre ist die Gegenlehre. Sie dient nicht etwa zur Prüfung des Gegenstückes, sondern zur erleichterten Fertigung oder schnelleren und besseren Vermessung der Lehre und ist besonders dann am Platze, wenn eine größere Anzahl gleicher Lehren gebraucht wird. Die Gegenlehre hat in den wesentlichen Punkten die Form des Werkstückes. Sie kann ferner zur Feststellung benutzt werden, ob eine Lehre, die verschickt oder rauh behandelt wurde, noch in Ordnung

ist. Zu den Gegenlehren gehört auch die Einstellehre, wie sie beispielsweise zum Einstellen von Gewinderachenlehren oder Lehrschrauben benutzt wird.

Läßt sich die Gegenlehre schlecht vermessen, oder sind wegen sehr großen Lehrenbedarfes mehrere Gegenlehren erforderlich, so wird häufig eine Urlehre vorgesehen: eine Gegenlehre zur Gegenlehre.

Die Frage, in welchem Umfange Lehren der verschiedenen Arten (Abb. 98) vorzusehen sind, läßt sich in allgemeiner Form kaum beantworten. Sie hängt vom Umfang und der Art der Fertigung, dem zu erwartenden Lehrenverschleiß, der verlangten Genauigkeit, dem Zustand des Maschinenparks, der Fertigkeit der Arbeiterschaft, der Wichtigkeit der einzelnen Maße für die Brauchbarkeit des Gerätes und manchen anderen Bedingungen ab. Auf Arbeitslehren kann wohl oft verzichtet werden, wenn die Genauigkeit des Werkstückes durch eine Vorrichtung, die laufend überwacht wird, vollkommen sichergestellt ist. Während manche Betriebe auch für sehr grobe Toleranzen und für untoleriertere und unwichtige Maße Lehren einsetzen, lassen andere solche Maße mit handelsüblichen Meßmitteln prüfen. Entscheidend ist hier nur die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, Sicherheit und Zeitersparnis auf der einen, Ersparnis an teuren Sonderlehren auf der anderen Seite.

Abnutzungsprüfer sind dann angebracht, wenn die Prüfung der Lehre nicht einfach ist oder es auf sehr schnelle Prüfung ankommt; Voraussetzung ist aber ein Umfang der Fertigung, der den Verbrauch mehrerer Lehren erwarten läßt. Gegenlehren können die Konstruktion, die Fertigung und die Vermessung der Lehre außerordentlich erleichtern.

2. Meßgefühl.

Beim Vorgang des Messens wird durch den Messenden eine Relativbewegung zwischen Werkstück und Meßgerät bewirkt. Die Art dieser Bewegung beeinflußt die Genauigkeit des Meßergebnisses und ist in hohem Grade von der Person des Messenden abhängig. Je nach der Art des Meßgerätes macht sich der subjektive, von den Eigenschaften des Messenden abhängige Einfluß mehr oder weniger stark geltend. Das Streben der Meßgerätkonstrukteure ist seit langem auf die möglichst vollkommene Ausschaltung der subjektiven Einflüsse, der Erfahrung, Übung und angeborenen Geschicklichkeit des Messenden gerichtet. Vollkommen wird dies nie gelingen. Es wäre nur möglich bei ausschließlicher Anwendung vollselbsttätiger Meßgeräte, wie sie beispielsweise bei der Fertigung von Infanterie-Patronenhülsen angewendet werden. Doch auch diese Maschinen sind durch die Verschiedenheit der inneren Reibungsverhältnisse und der Federn nicht vollkommen objektiv.

In erster Linie wird beim Messen der Tastsinn benutzt. Er zeigt an, welche Kraft nötig ist, um einen Lehdorn in eine Bohrung einzuführen

und um ihn darin zu bewegen, oder mit welcher Umfangskraft eine Schraublehre zuge dreht wird. Er zeigt auch an, ob eine Tiefenlehre nach Abb. 46 oder 47 sich beim Übergleiten über die (gerundete) Werkstückkante von der Auflagefläche abhebt oder nicht. Ferner wirkt der Gesichtssinn mit, die Sehschärfe bei der Lichtspaltprüfung und beim Vergleichen zweier Kanten oder Marken, das Augenmaß beim Einführen eines Dornes parallel zur Bohrungssachse oder beim Überführen einer Rachenlehre.

Die objektivste Messung ist die mit einer Meßuhr, einem Minimeter od. dgl., oder einem Optimeter, weil der Meßdruck am Taststift vom Meßgerät herkommt. Allerdings ist der Meßdruck bei den meisten dieser Meßgeräte nicht über den ganzen Meßbereich gleichmäßig. Größere Fehler können aber dadurch entstehen, daß der Messende mit Hilfe der Abhebevorrichtung den Taststift mit verschieden großer Wucht auf das Werkstück fallen läßt, anstatt ihn gleichmäßig leicht aufsitzen zu lassen. Noch ein anderer subjektiver Einfluß macht sich bemerkbar. Das Werkstück muß in die richtige Lage zur Meßrichtung gebracht werden, so daß bei einem runden Körper ein Durchmesser und nicht eine Sehne gemessen wird und bei einem rechteckigen Körper entsprechende Punkte angetastet werden und nicht übereck geprüft wird. Dieses Suchen des höchsten oder tiefsten Punktes erfordert Handgeschicklichkeit und Übung.

Beim Messen einer Bohrung mit einem festen Stichmaß oder Innenmikrometer wird das Meßgerät zunächst mit einem Ende in der Bohrung aufgesetzt; dann wird versucht mit dem anderen Ende möglichst in der Durchmesser ebene durchzuschwenken. Hat die Bohrung genau das Maß des Stichmaßes, so ist das Durchschwenken bei leichter Berührung nur dann möglich, wenn das Stichmaß genau in der Durchmesser ebene geschwenkt wird; die geringste Abweichung nach rechts oder links (Sehne) führt zum Anstoßen an der Bohrung. Es muß also durch Probieren die Lage gefunden werden, in der sich das Stichmaß am leichtesten durchschwenken läßt. Hierbei kann das Augenmaß zu Hilfe genommen werden. Ferner kann die Bohrung in einer Schräglage (kurz vor dem Durchgang) rechts und links angetastet und daraus die Mittelstellung durch Augenmaß oder mit dem Tastsinn gefunden werden. Bei diesem Vorgang, dem Suchen der Durchmesser ebene, muß der höchste Punkt gesucht werden.

Beim zweiten Vorgang, dem Durchschwenken, muß der tiefste Punkt gesucht werden, in dem die Meßfläche entweder frei durchgeht oder die Bohrung gerade berührt. Diese Vereinigung zweier entgegengesetzter Suchvorgänge macht das Messen mit einem Stichmaß oder Innenmikrometer so schwierig. Leichter ist das Messen mit einem Kugelmessendmaß, bei dem der Kugelhalbmesser mit dem Bohrungshalbmesser

zusammenfällt. Dadurch wird beim Aufsetzen die Lehre in die Durchmesserebene ausgerichtet, und zwar um so vollkommener, je breiter die Auflage ist.

Von dieser Möglichkeit des „Ausrichtens“ der Lehre nach einer Richtfläche kann bei vielen Sonderlehren mit Vorteil Gebrauch gemacht werden. Dadurch wird der Messende von störenden Einflüssen freigemacht, und er kann seine ganze Aufmerksamkeit auf den eigentlichen Meßvorgang (beim Stichmaß das Durchschwenken) lenken. Werden beispielsweise die Lehren nach Abb. 46 und 47 aus zu dünnem Blech gefertigt, so muß beim Messen darauf geachtet werden, daß die Lehre nicht um die Auflage schaukelt; ist die Auflagefläche aber breit genug, so wird die Ebene der Lehre von selbst immer parallel zur Längsachse des Werkstückes liegen, ohne den Tastsinn und das Augenmaß hierfür besonders in Anspruch zu nehmen.

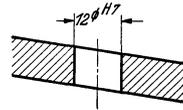


Abb. 99. Schräge, tolerierte Bohrung, schwierige Fertigung und Prüfung.

In diesem Zusammenhang verdienen die vielfach benutzten dünneren Ansätze und Zapfen an glatten und Gewindelehndornen, die zum Vorführen dienen, Erwähnung. Eine Werkstückbohrung nach Abb. 99 ist nicht nur sehr schwierig zu fertigen, sondern macht auch erhebliche Meßschwierigkeiten, weil das Gefühl für achsenparalleles Einführen der Lehre verloren geht.

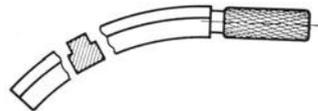


Abb. 100. Lehre für bogenförmige T-Nut, Griff liegt nicht in der Richtung, in der die Lehre eingeführt wird.

Aus dem gleichen Grunde wird der Griff an der Lehre nach Abb. 100, mit der eine bogenförmige T-Nut geprüft werden soll, besser fortgelassen, weil er nicht parallel zur Einführungsrichtung der Lehre liegt. Auch die rechtwinklige Lage des Griffes zur Bewegungsrichtung, wie in Abb. 101, ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

Die Empfindlichkeit des Tastsinnes für geringe Kraftunterschiede beim eigentlichen Meßvorgang hängt in erster Linie von der Veranlagung und Übung des Messenden, dem Meßgefühl, ab. Das Meßgefühl kann aber auch durch die Bauart der Lehre beeinträchtigt werden. Muß beim Messen eine große Kraft zum Halten der Lehre oder des Werkstückes oder für einen anderen Zweck aufgewendet werden, so wird dadurch die Feinheit des Tastsinnes beeinträchtigt. Es ist nicht möglich, mit einem Finger Unterschiede von wenigen Gramm festzustellen, wenn gleichzeitig mit der gleichen oder auch der anderen Hand Kräfte von mehreren Kilogramm ausgeübt werden müssen. Daraus folgt für den Lehrenkonstrukteur, daß das Werkstück auf die feststehend angebrachte Lehre zu be-



Abb. 101. Lehre, bei der der Griff senkrecht zur Bewegungsrichtung steht.

wegt werden muß, wenn es nicht möglich ist, die Lehre leichter zu bauen als das Werkstück. Die gleichen Überlegungen haben bedeutende Meßgerätfabriken zum Bau von Lehrdornen in besonders leichter Ausführung gebracht, die sich im Gegensatz zu der genormten schweren Bauart (50—100∅) besonders für kleine Toleranzen ausgezeichnet bewährt haben. Die Lehren sind zur Gewichtsverminderung einseitig ausgeführt (Gut- und Ausschußseite getrennt) und weitgehend ausgespart. Der Schwerpunkt liegt so, daß die Lehre kein Übergewicht nach einem Ende zu besitzt; sie liegt trotz des verhältnismäßig kurzen Griffes gut in der Hand.

Ein dankenswerter Versuch, den subjektiven Anteil zu vermindern, ist bei der „Definition des Maßes einer Rachenlehre“ (S. 73) gemacht worden, wie sie bei den ISA-Passungen festgelegt wurde und in ähnlicher Form bereits für die DIN-Passungen aufgestellt war. Die Lehre soll nicht mit Muskelkraft übergeführt werden, sondern durch ihr (gleichbleibendes) Eigengewicht aus dem Zustande der Ruhe (Vermeidung der kinetischen Energie) hinübergleiten. Leider läßt sich das Verfahren nur anwenden, wenn die Welle zum Messen in waagerechte Lage gebracht werden kann.

Ein weiterer Versuch ist der an Meßmaschinen mit Schraubenspindel angebrachte Meßdruckanzeiger und die bei Schraublehren gebräuchliche Gefühlsratsche. Diese hat jedoch einige Mängel. Die Feder der Ratsche und die Reibung sind Schwankungen unterworfen. Ferner macht sich die Oberflächengüte des Werkstückes und die Größe der Berührungsfläche auf den Grad des Zuschraubens störend bemerkbar. Am stärksten ist wohl der Einfluß der Geschwindigkeit, mit der die Schraube zuge dreht wird. Viele geübte Meßtechniker benutzen daher bei genauen Messungen die Ratsche nicht, sondern drehen gefühlsmäßig möglichst stets mit gleicher Kraft an und prüfen dann durch Schwenken der Lehre um den feststehenden Amboß die Kraft, die zum Hinübergleiten nötig ist (starre Rachenlehre!) und machen dadurch die (ebenfalls stark subjektive) Gegenprobe.

3. Parallaxe.

Liegen bei Strichmessung Teilung und Zeiger nicht in der gleichen Ebene, und befindet sich das beobachtende Auge nicht in der Ebene, die durch den Zeigerstrich geht und auf der Teilungsebene senkrecht steht, so treten beim Ablesen Parallaxenfehler auf (Abb. 102). Zur Ausschaltung der Parallaxe ist bei vielen Meßgeräten (Flüssigkeits-Druckmesser, elektrische Meßgeräte) ein Spiegel so angeordnet, daß bei richtiger Augenstellung die Flüssigkeitskuppe oder die Marke am Zeiger sich mit ihrem Spiegelbild deckt. Bei Werkstattmeßgeräten der hier besprochenen Art ist dies Verfahren noch nicht angewendet worden.

Eine Vorstellung von der Größe des Parallaxenfehlers gibt folgende:

einfache Überlegung. Die Dicke eines Noniusfensters oder Zeigerendes (δ in Abb. 102) sei 0,25 mm; dann hat eine Abweichung des Auges um 20 mm nach der Seite (bei 250 mm Sehabstand) einen Ablesefehler von 0,02 mm zur Folge. Dies ist eine mit dem Auge erkennbare Abweichung.

Zur Vermeidung des Parallaxenfehlers muß bei Meßgeräten mit Zeigerablesung die Teilung so angeordnet sein, daß der Ablesende das Auge mühelos in die richtige Stellung zur Teilung bringen kann. Vielfach wird aus diesem Grunde das anzeigende Gerät (Meßuhr, Mikrotast usw.) nach hinten geneigt angeordnet. Bei der Schieblehre und der Schraublehre bilden Teilungs- und Zeigerebene einen möglichst stumpfen Winkel zueinander, und das Noniusfenster oder die Teilungstrommel ist so zugeschärft (Abb. 102), daß die

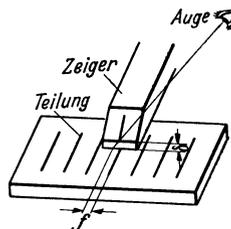


Abb. 102. Parallaxe, f = Ablesefehler.

Strichenden angenähert in die Ebene der Hauptteilung fallen. Am besten wäre es, wenn die Teilungen unmittelbar nebeneinander in einer Ebene lägen. Bei der Schraublehre ist dies nicht möglich, bei der Schieblehre ist es deswegen nicht zu empfehlen, weil sich die Kanten der Hauptteilung beim Gebrauch verrunden und die Strichenden dann nicht mehr aneinanderstoßen. Dadurch treten Schätzungsfehler auf, die auch durch geschicktes Ablesen nicht mehr ganz vermeidbar sind (Abb. 103). Außerdem lassen sich werkstattmäßig die Striche in der Nähe einer Kante nicht ganz sauber und gleichmäßig ausführen, ein Mangel, der bei dieser Anordnung zweimal, bei der allgemein gebräuchlichen dagegen nur einmal, am Noniusfenster, in Erscheinung tritt.

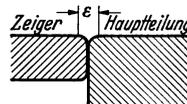


Abb. 103. Schätzungsfehler.

Liegen die Kanten so geschützt, daß ein Verwischen der Striche und ein Verrunden der Kanten nicht eintreten kann, so werden Teilung und Zeiger in eine Ebene gelegt.

Auch bei optischen Geräten: Lupen, Mikroskopen, Fernrohren gibt es eine Parallaxe. Eine gute Optik darf beim Bewegen des Auges vor dem Okular keine Verschiebung zwischen dem Objekt und den im Okular angebrachten Marken zeigen.

4. Hebelübertragungen.

Bei der Übertragung oder Übersetzung eines Meßwertes durch einen gleicharmigen oder ungleicharmigen Hebel können durch unzuweckmäßige Konstruktion oder fehlerhafte Ausführung Fehler entstehen. Da bei Lehrenkonstruktionen Hebel als Meßwertträger oft mit Vorteil benutzt werden, sollen die Fehlerquellen nach ihrer Art und Größe untersucht werden.

Übertragungs- oder Übersetzungsfehler können nur wirksam werden, wenn Istmaße abgelesen werden. Wird die Meßuhr in Abb. 104 mit einer Gegenlehre oder Endmaßen auf Null eingestellt und dann die Abweichung vom eingestellten Maß für jedes Werkstück abgelesen, so würde eine fehlerhafte Konstruktion oder Fertigung des

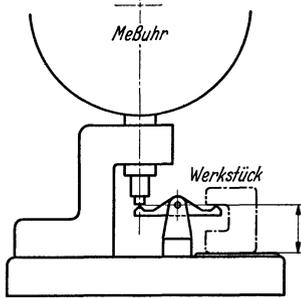


Abb. 104. Hebelübertragung.

Hebels Meßfehler zur Folge haben. Werden dagegen beide Grenzwerte mit Gegenlehren oder Endmaßen eingestellt (Toleranzmarken), und beim Messen nur die Feststellung gemacht, ob das Werkstück innerhalb der Toleranz liegt oder nicht, so sind Hebelfehler unschädlich; von der Möglichkeit des Ablesens von Zahlenwerten an der Meßuhr wird kein Gebrauch gemacht, sie wird als Festmaß-Lehre benutzt.

Bei einem Meßwerk werden die einzelnen Glieder als Träger des Meßwertes nicht formschlüssig miteinander verbunden, sondern die stete Berührung durch schwache und möglichst gleichmäßige Federkraft bewirkt (Kraftschluß). Die Federkraft soll schwach sein, um Verbiegung und Abnutzung klein zu halten, sie soll über den ganzen Weg möglichst gleichmäßig sein, um die Abplattung an den Berührungsstellen und die Verbiegung stets gleich zu erhalten. Die Federkraft muß andererseits so groß sein, daß sichere Berührung und Mitnahme gewährleistet sind.

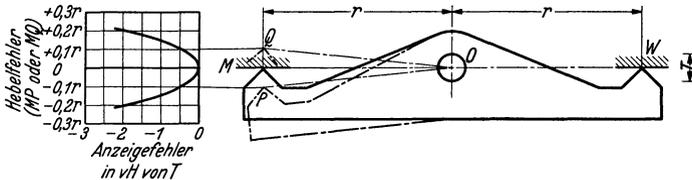


Abb. 105. Fehlerhafte Anzeige infolge Knickung der Hebelachse.

Auf die gute Lagerung von Meßwerkhebeln muß besonderer Wert gelegt werden, damit der Lagerzapfen in der Lagerbohrung möglichst wenig wandern kann. Spitzenlagerung empfiehlt sich wegen der schwierigen Fertigung und der starken Abnutzung nur bei Hebeln, die ganz besonders leichtgängig sein müssen. Im allgemeinen wird bei Lehren mit einer spielarmen, kräftigen und langen Zapfenlagerung auszukommen sein. Durch verschiedene Kraft- und Reibungsverhältnisse an den Hebelenden kann bei größerem Lagerspiel eine schädliche Drehpunktverlagerung eintreten.

Zunächst sei als theoretische Grundlage der Hebel mit Spitzen oder

Schneiden betrachtet, wie er in Abb.105 vergrößert dargestellt ist. Auf der Werkstückseite W bewirke eine Toleranz T verschieden hohe Stellungen der (stets waagerechten) Fläche W . Damit eine gleichgroße (oder bei ungleichen Hebelarmen r verhältnisgleiche) Bewegung der Fläche M auf der Meßseite (links) erzielt wird, muß die Verbindungslinie Schneide—Drehpunkt—Schneide MOW

eine Gerade sein und nicht ein gebrochener Linienzug, wie z. B. QOW und POW . Das Schaubild zeigt die Fehlergröße in vH. der Toleranz als Funktion der Knickung. Der Meßfehler wächst angenähert mit dem Quadrat des Hebelfehlers. Das Schaubild gilt auch für ungleicharmige Hebel und für beliebige Größe der (symmetrisch zur Grundstellung W liegenden) Toleranz. In Abb. 106 ist die Kurve in vergrößertem Maßstab (dick ausgezogen) herausgezeichnet. Die dünn gezeichneten Kurven stellen die Fehler bei positiver oder negativer Lage des Istwertes (im Beispiel $+ 0,05$ und $- 0,05$ des Hebelarmes) zur Grundstellung dar. Für die Praxis interessieren nur diese Kurven, da nach dem eingangs Ausgeführten die vorliegende Untersuchung nur für Istmaß-Lehren von Bedeutung ist; sie weichen von der für symmetrische Toleranz angegebenen Kurve nur unwesentlich ab. Die Abweichung wird größer mit wachsendem $\frac{T}{r}$, d. h. mit wachsendem Schwenkwinkel.

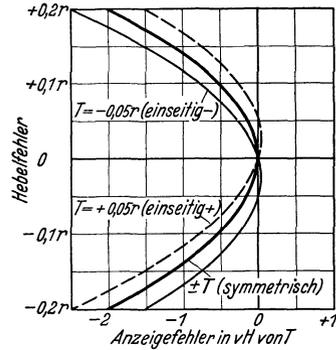


Abb. 106. Fehlerhafte Anzeige infolge Knickung der Hebelachse bei symmetrischer und bei einseitiger Abweichung von der Nullstellung.

Man könnte auf den Gedanken kommen, die Unsymmetrie des geknickten Hebels durch eine Verlagerung des Drehpunktes¹ zu beseitigen, wie Abb. 107 zeigt. Eine symmetrisch zu dieser (dick gezeichneten) Grundstellung liegende Toleranz würde als Ganzes verhältnisgleich übertragen werden, ein Istwert dagegen zeigt immer noch Fehler, die aber im Verhältnis viel kleiner sind, wie der Vergleich der Abb. 108 mit der im gleichen Maßstab gehaltenen Abb. 106 zeigt. Der Fehler kann hierbei auch positiv werden: es wird ein zu großer Wert angezeigt.

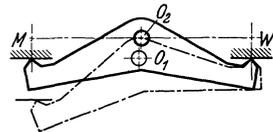


Abb. 107. Angenähertes Ausgleich des Hebelfehlers durch Verlagerung des Drehpunktes.

Ein weiterer Fehler kann dadurch entstehen, daß ein Tastbolzen auf der Werkstück- oder Meßseite schief steht (Abb. 109). Die Fehlergröße ist die gleiche wie bei geknicktem Hebel nach Abb. 105. Daraus folgt, daß

¹ Oder der Nullstellung.

eine Hebelknickung durch entsprechende Schiefstellung eines Taststiftes ausgeglichen werden kann und umgekehrt¹. Ferner kann das Schiefstehen des einen Tastbolzens durch ebensolches Schiefstellen des anderen ausgeglichen werden.

Ein Hebel überträgt einen Meßwert verhältnisgleich, wenn es eine Stellung des Hebels gibt, in der die Bewegungsrichtungen der (parallelgeführten) Zu- und Ableitung auf den Verbindungslinien Drehpunkt—Schneide senkrecht stehen. Dies gilt auch für jeden beliebigen Winkelhebel.

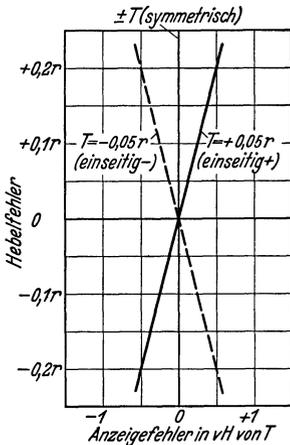


Abb. 108. Anzeigefehler eines durch Drehpunktverlagerung korrigierten geknickten Hebels.

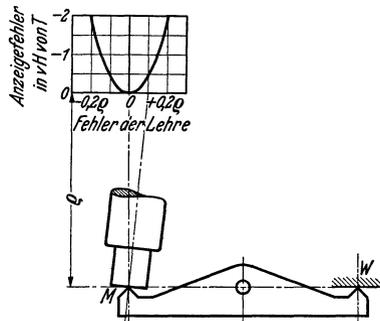


Abb. 109. Fehlerhafte Anzeige infolge Schiefstehens des Meßbolzens.

Ein Schiefstehen des einen Tastbolzens aus der Zeichenebene heraus könnte durch gleichgroßes Schiefstellen des anderen Tastbolzens in der gleichen oder entgegengesetzten Richtung ausgeglichen werden.

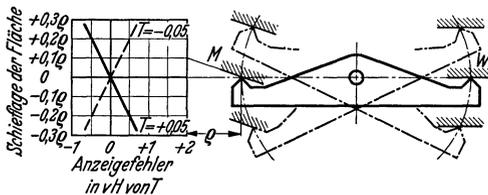


Abb. 110. Fehlerhafte Anzeige infolge Schiefelage der Tastfläche.

hat. Demgemäß wären wiederum Ausgleichsmöglichkeiten denkbar. Ebenso ließe sich der Fehler durch entsprechende (symmetrische) Schiefheit der anderen Schneidenanlage ausgleichen. Er ist aber recht klein,

¹ Dann wird aus dem geraden Hebel ein Winkelhebel.

und die genügend genaue Fertigung der Schneidenanlagen macht keine Schwierigkeiten.

Bei Meßwerken werden Schneiden soweit wie möglich vermieden, weil eine theoretisch genaue Schneide nicht herstellbar und auch nicht haltbar ist. Man geht daher nach Möglichkeit noch einen Schritt weiter und sieht eine genügend große Rundung als Anlage vor (Abb. 111). Wie die Darstellung zeigt, geht die Wirkungslinie in jeder Hebelstellung durch den Mittelpunkt der Rundung, das ist die Stelle, an der

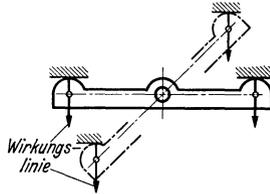


Abb. 111. Hebel mit zylindrischen Anlageflächen.

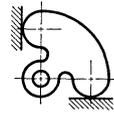


Abb. 112. Winkelhebel in Nierenform.

sich bei den vorhergehenden Betrachtungen die Schneide befand. Die genannten Bedingungen für verhältnismäßige Meßwertübertragung müssen demnach so abgewandelt werden, daß sie sich auf die Mittelpunkte der Rundungen beziehen. Die Rundungen können beliebig groß und auch am gleichen Hebel verschieden groß sein. Bei kleinen Winkelhebeln entsteht eine Nierenform (Abb. 112). In Abb. 113 sind die Rundungen nicht ausgearbeitet, sondern an den Hebelenden runde Stifte eingesetzt. Dies hat den Vorzug, daß die Rundungen genauer herstellbar sind.

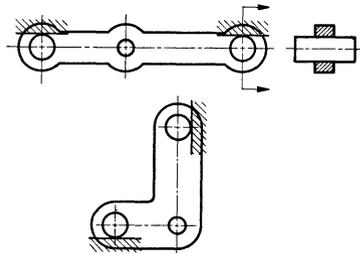


Abb. 113. Hebel mit eingesetzten Stiften.

In Abb. 114 ist gezeigt, wie sich ungefähr eine Schneide abnutzt und man erkennt, daß die entstehende Rundung einer Hebelknickung gleichkommt und einen entsprechenden Fehler zur Folge hat.

Welchen Fehler eine ungenaue Rundung erzeugt, zeigt Abb. 115. Als Beispiel ist bei den angenommenen Größenverhältnissen eine Abplattung der Kuppe von 1 und 2 mm im Sehnenmaß gewählt.

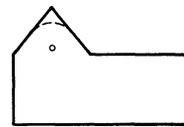


Abb. 114. Abnutzung der Schneide.

Die Fehler im Übersetzungsverhältnis, die von Fehlern der Hebelarmlänge herrühren, brauchen nicht besonders untersucht zu werden; sie sind unmittelbar verhältnismäßig dem Hebelfehler.

Aus den bisher angestellten Überlegungen geht hervor, daß eine Hebelkette nach Abb. 116 für Istmaß-Lehren nur sehr bedingt zu gebrauchen ist. Das Schaubild links zeigt die fehlerhafte Meßwertübertragung.

Wenn die Hebelkette aus der gezeichneten Lage ausschwenkt, so wird die wirksame Länge des langen Armes am ersten (rechten) Hebel verkürzt, die Wirkungs-

linie rückt schneller an den Drehpunkt heran, als am kurzen Hebelarm. Gleichzeitig wird die wirksame Länge des kurzen Armes am zweiten Hebel größer. Beides trägt zu einer beträchtlichen Verkleinerung des Gesamtübersetzungsverhältnisses beim Ausschwenken bei.

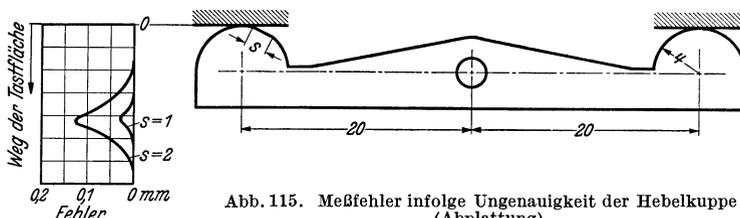


Abb. 115. Meßfehler infolge Ungenauigkeit der Hebelkuppe (Abplattung).

Wenn es auf Istmaße ankommt, muß die Anordnung nach Abb. 117 gewählt werden, bei der zwischen beide Hebel ein parallelgeführter Übertragungsstift *Z* geschaltet ist.

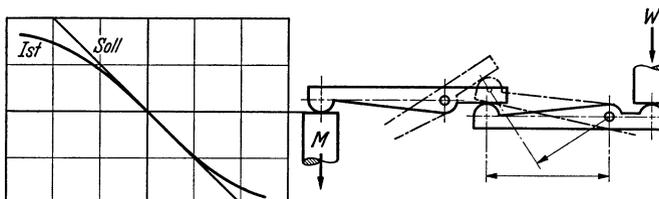


Abb. 116. Fehlerhafte Hebelkette.

Eine andere Möglichkeit der Meßwertübertragung besteht darin, daß man den Hebel mit ebenen Flächen und die Taststifte mit Rundungen versieht. Dies hat bei der Konstruktion nach Abb. 118 zur Folge, daß das Hebelverhältnis $a : b$ sich beim Ausschwenken in $a_1 : b_1$ ändert, wobei a_1 kleiner als a und b_1 größer als b ist. Die Einrichtung ist für Istmaße nicht zu gebrauchen.

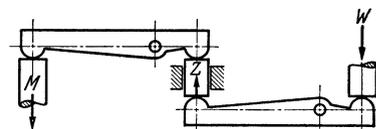


Abb. 117. Richtig arbeitende Hebelkette.

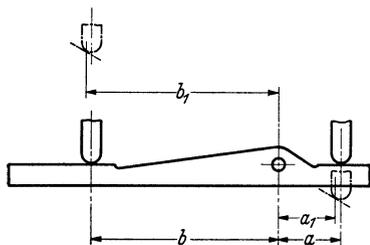


Abb. 118. Fehlerhafter Hebel.

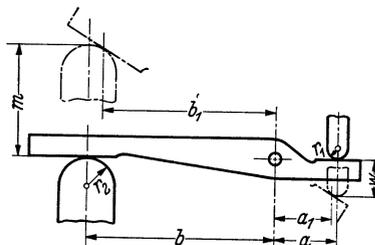


Abb. 119. Verhältnismäßig arbeitender Hebel.

Der Fehler wird bei Abb. 119 vermieden. Hierbei müssen die Hebelflächen in einer Ebene liegen, die durch die Drehachse geht, und die Tast-

stiftrundungen müssen sich wie die Hebelarme verhalten ($r_1 : r_2 = a : b$), damit die Verhältnisgleichung erfüllt wird:

$$a : b = a_1 : b_1 = w : m.$$

Die Anordnung hat den Nachteil, daß, um die Berührung aufrechtzuerhalten, zwei Federn notwendig sind, die gegeneinander arbeiten.

5. Lochmittenabstände.

a) **Tolerierung der Gerätezeichnung.** Die richtige Tolerierung von Lochabständen erfordert eine rechnerische Toleranzuntersuchung, damit der im einzelnen Fall beabsichtigte Zweck erreicht wird. Es lassen sich jedoch gewisse Richtlinien aufstellen und damit die jedesmalige Wiederholung der Rechnung vermeiden.

Die Toleranz für einen Lochabstand hängt in vielen Fällen von dem Kleinstspiel zwischen Bohrung und Gegenstück (Bolzen, Schraube, Niet, Welle, Zapfen) ab.

Im folgenden sind einige grundsätzliche und häufig wiederkehrende Fälle unterschieden. Die zugehörigen Bilder zeigen, zur Verdeutlichung übertrieben dargestellt, äußerste Auswirkungen der Toleranzen.

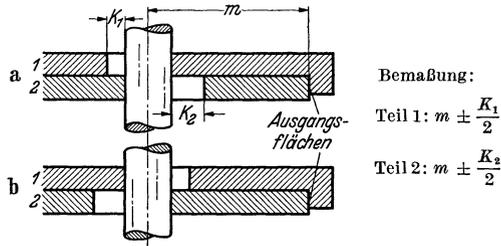


Abb. 120. Lochabstand von einer Fläche aus, $t = \frac{1}{2} K$

Die meisten Fälle von

Lochmittenmaßen lassen sich auf diese Beispiele zurückführen.

1. Zwei Platten, Bleche, Flanschen oder ähnliche Bauteile sollen mit je einer oder zwei (aufeinander senkrecht stehenden) Seitenflächen gleich liegen oder so aneinanderliegen, wie in Abb. 120. Sie enthalten eine oder mehrere Bohrungen, in die nach dem Zusammensetzen ohne Nacharbeit Bolzen gesteckt werden sollen.

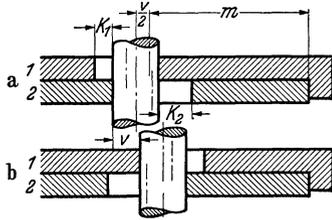
Die Bemaßung aller Bohrungen muß in diesem Fall an jedem der beiden Teile von der Ausgangsfläche ausgehen. Schreibt man \pm -Toleranzen, so ist die Austauschbarkeit gesichert, wenn für die Größe der Toleranz $\pm t^1$ bei jeder einzelnen Bohrung die Bedingung erfüllt ist: $t \leq \frac{K}{2}$ (K = Kleinstspiel zwischen Bohrung und Bolzen).

Wird dagegen die Bedingung: $t \leq \frac{K}{2}$ nicht bei jedem Werkstück für sich erfüllt — etwa weil die Kleinstspiele verschieden sind, die Toleranzen aber gleich sein sollen —, so muß die Gleichung erfüllt sein:

$$t_1 + t_2 \leq \frac{1}{2} (K_1 + K_2),$$

¹ Das Toleranzfeld ist dann also gleich $2t$!

d. h. die Summe der Toleranzen t muß gleich der halben Summe der Kleinstspiele sein, oder: Die Angabe einer größeren Toleranz als $t = \frac{1}{2} K$ bei dem einen Werkstück geht auf Kosten der Toleranz des anderen, wenn die Austauschbarkeit gesichert sein soll. Bei Auswirkung der Toleranzen bleibt dann der Werkstück-



Bemaßung:
 Teil 1: $m \pm \left(\frac{K_1}{2} + \frac{v}{2} \right)$
 Teil 2: $m \pm \left(\frac{K_2}{2} - \frac{v}{2} \right)$

Abb. 121. Lochabstand von einer Fläche aus, $t \pm \frac{1}{2} K$

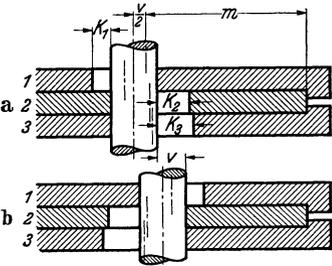
bolzen nicht an der gleichen Stelle, sondern seine äußersten Stellungen unterscheiden sich um v , d. i. die doppelte Toleranzüberschreitung (Abb. 121).

Dies gilt sinngemäß auch, wenn drei Werkstücke übereinanderliegen: Wird bei einem der drei Stücke die rechnermäßige größtzulässige To-

leranz $t = \frac{1}{2} K$ überschritten, so müssen bei den beiden anderen die Toleranzen je um den Betrag der Überschreitung verkleinert werden (Abb. 122).

2. Zueinander zentrierte Flanschen enthalten kreisförmig angeordnete

Bohrungen, durch die ohne Nacharbeit Bolzen gesteckt werden sollen (Abb. 123).



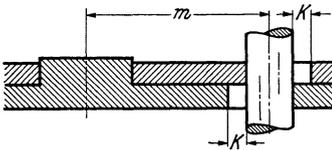
Bemaßung:
 Teil 1: $m \pm \left(\frac{K_1}{2} + \frac{v}{2} \right)$
 Teil 2: $m \pm \left(\frac{K_2}{2} - \frac{v}{2} \right)$
 Teil 3: $m \pm \left(\frac{K_3}{2} - \frac{v}{2} \right)$

Abb. 122. Lochabstand von einer Fläche aus, 3 Stücke aufeinander, $t \pm \frac{1}{2} K$

Die Bemaßung erfolgt zweckmäßig vom Mittelpunkt des Lochkreises aus als Halbmesser; die Toleranz ist sinngemäß die gleiche wie bei 1.

Durch die Angabe des Halbmessers und nicht

des Durchmessers wird für die Fertigung und Lehrung auf die Zentrierung als Ausgang hingewiesen. Bei Angabe des Durchmessers muß außerdem eine Symmetrietoleranz eingetragen werden.



Bemaßung: $m \pm \frac{K}{2}$

Abb. 123. Zentrierte Lochkreise, $t = \frac{1}{2} K$

In Abb. 123 und den folgenden ist auf die Darstellung der extremen Toleranzauswirkung in umgekehrter Richtung (+ statt -, bzw. - statt +), auf die Berücksichtigung verschiedener Kleinstspiele sowie auf die Erörterung der Überschreitung der

Formel: $t = \frac{1}{2} K$ an einem der Teile verzichtet, weil diese Fragen hier in der gleichen Weise beantwortet werden können, wie es bereits gezeigt wurde.

Der eine geometrische Ort für die Bohrungsmitte ist der vorstehend

angegebene Lochkreishalbmesser, der zweite ist die Lochteilung; hierfür gilt in mm, die zweckmäßig auf Bogenmaß umgerechnet werden, die gleiche Toleranz wie für den Lochkreishalbmesser. Es wird später gezeigt werden, daß bei den gebräuchlichen Lehren die Lochteilung mit erfaßt wird, auch ohne daß eine Winkeltoleranz besonders angegeben ist; deswegen wird häufig auf ihre Angabe verzichtet.

Die Größe der zulässigen Toleranz t wird von einem etwa vorhandenen Spiel in der Zentrierung nicht beeinflußt.

3. Unzentrierte Flanschen enthalten kreisförmig angeordnete Bohrungen, in die ohne Nacharbeit Bolzen gesteckt werden sollen (Abb. 124).

Die Bemaßung kann in der gleichen Weise erfolgen, wie bei Abb. 123, ebensogut kann der Durchmesser angegeben werden, der die doppelte Toleranz erhält; für die Teilung gilt in jedem Falle die einfache Toleranz $t \leq \frac{1}{2}K$.

4. Zwei Bleche mit je zwei Bohrungen sollen, aufeinandergelegt, in beliebiger Lage zueinander das Durchstecken von Bolzen ermöglichen (Abb. 125).

Die Bemaßung erfolgt von Lochmitte

zu Lochmitte, die Toleranz kann doppelt so groß sein, wie in den bisher besprochenen Fällen, nämlich $t \leq K$, oder, wenn die Kleinstspiele verschieden sind, bei jedem Stück $t \leq \frac{1}{2}(K_o + K_m)$.

5. Zwei Bleche mit je mehreren Bohrungen sollen, aufeinandergelegt, das Durchstecken von Bolzen gestatten (Abb. 126).

Die Bemaßung erfolgt von einer beliebigen Ausgangsbohrung aus nach den übrigen Lochmitten; für die Größe der Toleranz gilt wieder: $t \leq \frac{1}{2}K$.

Das Schnittbild 126 gleicht in seinem linken Teil vollkommen der Abb. 125. Für das Maß m wäre nach 4. : $t \leq K$ zu setzen. Dann dürfte aber das Maß n in der oberen Platte nicht unterschritten und in der unteren Platte nicht überschritten werden, oder umgekehrt, wenn die Toleranzen zufällig in entgegengesetzter Richtung ausgenutzt worden wären. Die scheinbare Schwierigkeit liegt allein in den Mängeln der maßlichen Ausdrucksmittel begründet. Die Maße m und n gehen näm-

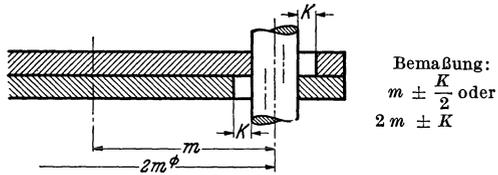


Abb. 124. Unzentrierte Lochkreise

$$t = \frac{1}{2}K \text{ für Halbmesser}$$

$$t = K \text{ für Durchmesser.}$$

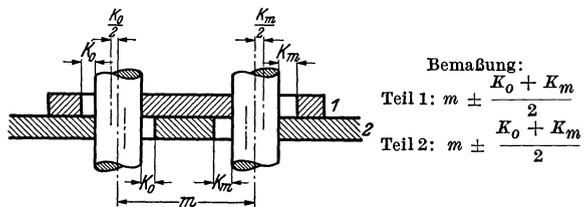


Abb. 125. Lochabstand von einer Bohrung aus

$$t = \frac{1}{2}(K_o + K_m)$$

$$t = K.$$

lich nach dem Wortlaut der Zeichnung von der Mitte der linken Bohrung aus, und man müßte demgemäß das Bild so zeichnen, wie es in der unteren Hälfte angedeutet ist. Dann sieht man ohne weiteres, daß $t \leq \frac{1}{2} K$ sein muß. Daß die Ausgangsbohrungen der Werkstücke genau übereinanderliegen, ist jedoch nicht notwendig,

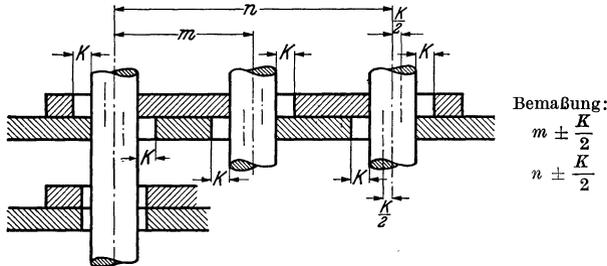


Abb. 126. Mehrere Lochabstände von einer Bohrung aus
 $t = \frac{K}{2}$

und es wird später gezeigt werden, daß eine richtig entworfene Lehre, abweichend vom Wortlaut der Zeichnung, das Gewollte mißt.

Für die Abweichung einer Lochreihe von der Geraden oder auch für die rechtwinklige Lage mehrerer Bohrungen zueinander werden meist auf der Zeichnung zulässige Abweichungen nicht besonders angegeben. Hierfür gelten stillschweigend die gleichen Toleranzen in mm, wie für die Abstände.

6a). Zapfenschlüssel und zugehöriges Lochpaar sollen zusammensteckbar sein (Abb. 127).

Die Bemaßung erfolgt von Zapfen zu Zapfen und von Loch zu Loch. Die Größe der Toleranz ist wieder $t \leq \frac{1}{2} K$.

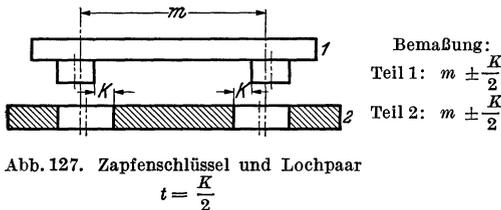


Abb. 127. Zapfenschlüssel und Lochpaar
 $t = \frac{K}{2}$

b) Zapfenschlüssel mit mehr als zwei Zapfen und zugehörige Lochreihe sollen zusammensteckbar sein.

Die Bemaßung erfolgt von einem Ausgangszapfen bzw. einer Ausgangsbohrung aus.

Bezeichnet man diese mit 1 und die übrigen mit 2, 3, 4, . . . , so ergeben sich nach dem ersten Hauptsatz zwischen 2 und 3, 3 und 4, 2 und 4 usw. Summentoleranzen von $\pm 2t$. Folglich muß t von vornherein halb so groß wie im Fall 6a gewählt werden, nämlich: $t \leq \frac{1}{4} K$.

7. Eine Symmetrietoleranz für eine abgesetzte Bohrung, zu der eine abgesetzte Welle passen soll, kann man als eine Abstandstoleranz mit dem Nennmaß Null auffassen. Es ergibt sich das gleiche wie unter 6a, oder, wenn die Kleinstspiele verschieden sind, $t \leq \frac{K_1 + K_2}{4}$ (Abb. 128).

Nach diesen Überlegungen kann in den scheinbar vorhandenen Wirrwarr von Beziehungen zwischen t und K Ordnung gebracht und es können Regeln aufgestellt werden, die leicht zu behalten sind und eine mehr oder weniger schematische Behandlung von Mittentoleranzen ermöglichen. Der Kernpunkt des Problems war bereits beim Fall 6 b gestreift worden: Die Beziehung zwischen zwei beliebigen Mitten, die sich bei der jeweils gewählten Art der Maßangabe ergibt. Vergleicht man Abb. 125 mit dem rechten Teil von Abb. 126, so erkennt man die Ähnlichkeit. Nach den beiden Hauptsätzen ergibt sich in Abb. 126: $(n \pm \frac{K}{2}) - (m \pm \frac{K}{2}) = (m - n) \pm K$; in Abb. 125 war gleichfalls $t = K$ erkannt worden. Eine Betrachtung der übrigen Fälle, in denen es sich um Durchgangslöcher und durchgesteckte Bolzen handelt, in dieser Richtung führt zum gleichen Ergebnis.

Für die Beziehung zwischen festen Zapfen und zugehörigen Bohrungen ergibt sich für zwei beliebige Mitten stets die Forderung: $t \leq \frac{K}{2}$.

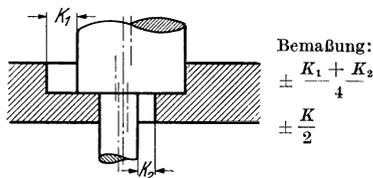


Abb. 128. Symmetrietoleranz.

Man kann also die Frage nach der richtigen Tolerierung von Mittenabständen wie folgt beantworten:

An jedem Werkstück darf die Abstandstoleranz $\pm t$ zwischen zwei beliebigen Mitten

a) bei „Bohrungen und losen Bolzen“ den Wert $t = K$,

b) bei „Bohrungen und festen Zapfen“ den Wert $t = \frac{K}{2}$ nicht übersteigen. Überschreitungen dieser Werte an einem Stück müssen an allen anderen Stücken durch Unterschreitungen ausgeglichen werden.

Bei allen übrigen Lochabständen, die sich nicht hierauf zurückführen lassen, und bei denen keine zwangsläufige Abhängigkeit zwischen Kleinstspiel und Toleranz besteht, wie z. B. Getriebegehäuse, Hebelbohrungen, Teilscheiben usw. sind technische Überlegungen und notfalls Toleranzuntersuchungen notwendig.

b) Lehren. Die Achse einer Bohrung ist etwas Gedachtes und deshalb muß beim Prüfen eines Maßes, das sich auf eine Bohrungsmitte bezieht, auf das körperlich Vorhandene, die Bohrungswandung, übergegangen werden. Das gleiche trifft auf die Zapfenmitte zu, bei der sich die Messung auch auf die Zylinderfläche beziehen muß. Deshalb ergeben sich für Zapfenmittellehren sinngemäß spiegelbildliche Verhältnisse.

Das einfachste Meßverfahren nach Abb. 129, bei dem von einem eingesteckten zylindrischen oder kegeligen Dorn aus die Maße a und c mit gebräuchlichen Meßmitteln gemessen werden, und ähnliche Verfahren

brauchen hier in Bezug auf Durchführung und Fehlerquellen nicht erörtert zu werden, weil sie nur für behelfsmäßige Messungen in Betracht kommen, nicht aber bei der Mengenfertigung.

Mit der Lehre nach Abb. 130 wird im Grunde nur das Maß a in Abb. 129 gemessen. Der Dorn erhält das Kleinstmaß der Bohrung,

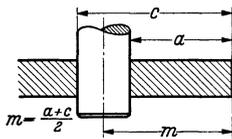


Abb. 129. Messung eines Lochabstandes mit Dorn und Schieblehre und Tiefenlehre.

könnte aber ebensogut kleiner sein, wenn nicht dadurch die Gefahr des Eckens der Lehre größer würde. Die Lehre wirkt wie eine Rachenlehre und die Rachenweite entspricht dem Größt- und Kleinstmaß des Lochabstandes, abzüglich dem Dornhalbmesser. Liegt der Bohrungsdurchmesser nahe dem Ausschußmaß, so geht die Ausschußseite hinüber, obgleich die Toleranz zahlenmäßig

noch nicht überschritten ist. Um das zu verhindern, muß die Ausschußseite um die halbe Bohrungstoleranz enger gefertigt werden. Das hat aber die Möglichkeit einer Toleranzüberschreitung nach Minus zur Folge,

wenn der Bohrungsdurchmesser an der Gutseite liegt.

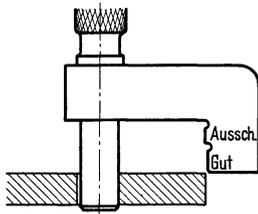


Abb. 130. Starre Lochabstandlehre.

Damit sind wir beim Kernproblem aller starren Lochmittenlehren angelangt: der Auswirkung der Bohrungstoleranzen auf die Abstandtoleranz. Eine ganz korrekte und gleichzeitig elegante und einfache Meßmöglichkeit für Lochmittentoleranzen gibt es nicht, soweit es um die Erfüllung des Wortlautes der Zeichnung geht. Aber es wird sich zeigen,

daß die meist gebräuchliche und beste Form der Lochmittenlehren, die in Abb. 131 dargestellt ist, die wirklichen Anforderungen viel besser trifft, als die Ziffer der Toleranzvorschrift es auszudrücken vermag.

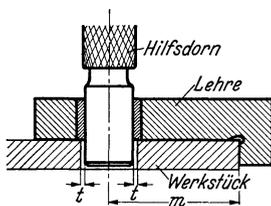


Abb. 131. Lochabstandlehre mit Hilfsdorn.

Die Lehrenplatte wird auf das Werkstück gelegt und an der Ausgangsfläche (rechts) angeschlagen. Im genauen Abstand m von der Anschlagleiste befindet sich eine gehärtete Buchse, in die ein Hilfsdorn ohne Spiel paßt. Der Hilfsdorn ist um $2t$, also um die Gesamttoleranz, dünner als das Kleinstmaß der Werkstückbohrung. Wie man aus der Abbildung ohne weiteres erkennt, kann die Bohrung nach

jeder Seite um den Betrag t abweichen. Ist die Abweichung größer, so läßt sich der Hilfsdorn nicht in die Bohrung einschieben und dadurch wird die Toleranzüberschreitung beim Meßvorgang sinnfällig angezeigt. Hierbei muß nur darauf geachtet werden, daß sich die Lehre nicht von der Anschlagleiste abhebt.

Bei der Bemaßung des Hilfsdornes wird vom Kleinstmaß der Bohrung (Gutmaß) ausgegangen. Ist die Bohrung aber größer als dieses, so hat sie mehr „Bewegungsfreiheit“ um den Hilfsdorn herum; die Zeichnungstoleranz wird zahlenmäßig überschritten. Ein Blick auf die Abb. 120—126 lehrt aber, daß t größer sein dürfte, wenn das Spiel größer wäre. Das Spiel wird dadurch größer, daß die Bohrung sich der Ausschußgrenze nähert. Entspricht, wie bei der Lehre Abb. 131, die Vergrößerung der Abstandtoleranz genau der Vergrößerung des Spieles, so ist der reibungslose Zusammenbau gesichert. Der Durchmesser des Hilfsdornes ist gleich dem Größtmaß des Werkstückbolzens, und wenn jener sich einführen läßt, geht dieser auch hinein. Die Lehre mißt die Maße a und c in Abb. 129 gleichzeitig.

Es empfiehlt sich, nach Möglichkeit, wie in Abb. 131, den Hilfsdorn zuerst in die Lehre einzuführen und ihn dann in die Werkstückbohrung eintreten zu lassen. Geht man umgekehrt vor, so hat zunächst der Hilfsdorn in der Werkstückbohrung Luft und das Einführen in die genau passende Lehrenbuchse macht Schwierigkeiten; insbesondere an den Toleranzgrenzen geht das Meßgefühl verloren. Bei dem gewählten Beispiel kann der Hilfsdorn sogar in der Lehre steckenbleiben und braucht beim Messen nur verschoben zu werden.

Das Beispiel Abb. 131 ist für die Frage der Lehrenersparnis lehrreich. Auf die Gutleitung der Bohrungsdurchmessers kann oft verzichtet werden, denn der Hilfsdorn muß hineingehen, damit das Stück für brauchbar erklärt wird. Eine Unterschreitung des Kleinstmaßes der Bohrung ist möglich, sie geht aber auf Kosten der Mittentoleranz und beeinträchtigt meist nicht die Brauchbarkeit des Stückes. Die Ausschußlehre der Bohrung braucht nur vorgenommen zu werden, wenn es auf einen den gegebenen Toleranzen entsprechend guten Sitz des Bolzens in den Bohrungen ankommt. Demnach wird in vielen Fällen die Anwendung der Lochmittenlehre genügen.

Versieht man diese Lochabstandlehre mit einer zweiten Anschlagfläche (Abb. 132), so können beide Koordinaten in einem Meßgang geprüft werden. Bedingung ist nur, daß beide Maße m und n die gleiche Toleranz t haben, denn die Verkleinerung des Hilfsdornes hängt in beiden Richtungen von der jeweiligen Toleranz ab, und eine Verschiedenheit würde einen ovalen Hilfsdorn bedingen. Die Forderung gleicher Toleranz in beiden Richtungen deckt sich mit den Anforderungen des Zusammenbaues.

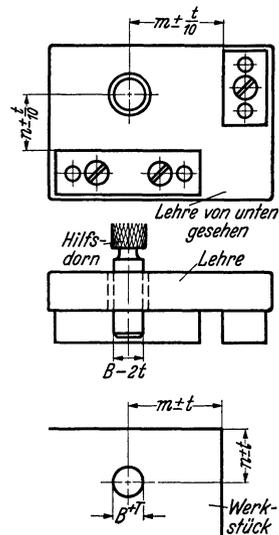


Abb. 132. Lochmittenlehre für zwei rechtwinklige Koordinaten.

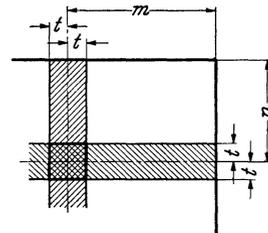


Abb. 133. Quadratisches Toleranzfeld.

Nach dem Wortlaut der Gerätzzeichnung ist auch diese Lehre nicht einwandfrei. Die Toleranzen von m und n dürfen nach einem Grundsatz des Lehrenbaues, jede für sich, voll ausgenutzt werden. In Abb. 133 sind die Toleranzfelder für m und n vergrößert dargestellt, und man erkennt, daß für die Lochmitte ein quadratisches Toleranzfeld entsteht. Aus Abb. 134 geht hervor, daß die Lehre nur ein kreisförmiges Toleranzfeld zuläßt, und dieses (in Abb. 134 gestrichelt) darf auch nicht überschritten werden, wenn der Zusammenbau ohne Nacharbeit gesichert sein soll. Wiederum erfüllt die Lehre die technische Forderung besser, als es die Gerätzzeichnung ausdrückt, diesmal mit einer Einschränkung der Zeichnungsangabe.

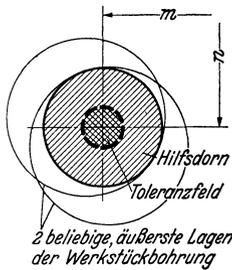


Abb. 134. Kreisförmiges Toleranzfeld. Die Mittelpunkte aller Werkstückbohrungen in äußerster Lage liegen auf einem Kreis.

Stehen die beiden koordinierten Maße nicht senkrecht aufeinander — z. B. weil die Ausgangsflächen schiefwinklig stehen —, so entsteht nominell ein rhombenförmiges Toleranzfeld; die Lehre der beschriebenen Art läßt aber nur ein solches von der Größe des eingeschriebenen Kreises zu.

Mit der gleichen Lehrenart können auch mehrere Löcher auf ihre richtige Lage geprüft werden, wenn nur die Lochmittensmaße von den gleichen Flächen ausgehen. Diese Bemaßungsart entspricht der Aufnahme in der Vorrichtung und die vielfach noch übliche Angabe von Kettenmaßen ist demgemäß sowohl in vorrichtungs- als auch in lehrtechnischer Hinsicht unzuweckmäßig.

Grundsätzlich kann der Hilfsdorn auch als fester Zapfen ausgebildet werden, hierbei muß aber auf gute Führung an der Anschlagfläche im Augenblick des Eintauchens in die Bohrung geachtet werden. Bei den bisher gewählten Werkstücken empfahl sich dies Verfahren nicht mit Rücksicht auf die Gefahr des Verkantens der Lehre.

Schief gebohrte Löcher werden von Lehren dieser Art dann zurückgewiesen, wenn an einer Stelle der Bohrung die Toleranz (im oben besprochenen Sinne) überschritten und dadurch der Zusammenbau in Frage gestellt wird.

Anstatt von Flächen auszugehen, kann auch von einer Ausgangsbohrung aus gemessen werden. Die Lehre wird in diesem Loch mit einem Zapfen aufgenommen, der das Kleinstmaß des Werkstückes hat. Die übrigen Zapfen werden um $2t$ dünner ausgeführt. Dann entspräche das Werkstück dem unteren Teil von Abb. 126. Die Austauschbarkeit wird aber ebenfalls gewährleistet, wenn alle Zapfen gleich gemacht werden (Gutmaß minus $2 \cdot t$), und somit dem Wortlaut nach eine Überschreitung der Zeichnungstoleranz zugelassen, aber den praktischen Bedürfnissen besser Rechnung getragen wird. Außerdem wird durch diese Maßnahme das Einführen einer mit festen Zapfen versehenen Lehre erleichtert.

Bei Lehren für Zapfenabstände und bei Symmetrielehren für abgesetzte Wellen werden die Buchsen der Lehre um den gleichen Betrag größer, als die Zapfen einer Lochmittenlehre kleiner ausgeführt werden müßten, z. B. an der Lehre zum Schlüssel in Abb. 127 erhalten beide Buchsen den Durchmesser: Zapfendurchmesser $+ \frac{1}{2} K$.

Aus den im vorstehenden über Lochmittenlehren (zu denen auch die Zapfenmittenlehren im besprochenen Sinne zu rechnen sind) angestellten Betrachtungen geht folgendes hervor:

Wenn der Konstrukteur in einer Gerätezeichnung die Mitten von Bohrungen oder Zapfen durch je zwei tolerierte Maße von der Form $m \pm t$ festlegt, so meint er damit, daß um jede ideelle Mitte ein kreisförmiges Toleranzfeld vom Halbmesser t zulässig ist, weil nur durch dieses die Austauschbarkeit der Teile sichergestellt ist. Überschreitungen dieses Toleranzfeldes sind nach Maßgabe der Ausnutzung der Durchmesser-toleranz zulässig. Die angegebene Toleranzschreibweise ist gleichbedeutend mit der Bemerkung auf der Zeichnung: „Die Abstände der Bohrungen müssen der Lehre Nr. . . . entsprechen.“

Die beschriebene Mittenlehre läßt alle Abweichungen der verschiedensten Arten zu, die den Zusammenbau nicht gefährden.

Die Toleranz, mit der Lochmittenlehren gemeinhin ausgeführt werden, beträgt etwa ein Zehntel der Werkstücktoleranz für den Loch- oder Zapfenabstand. Die Zapfendurchmesser werden mit einer Toleranz gefertigt, die in gleicher Weise wie beim Grenzlehrdorn der Bohrungstoleranz entspricht.

Für nicht zu große Maße (bis 100 mm) haben Versuche gezeigt, daß beim Werkstück in der Mengenfertigung mit einer guten Vorrichtung Toleranzen von $\pm 0,05$ eingehalten werden können. Kleinere, bis zu $\pm 0,02$, erfordern außergewöhnliche Maßnahmen und vor allem sorgfältige Überwachung und Instandhaltung der Betriebsmittel. Den angegebenen Zahlen entsprechen Lehrentoleranzen von $\pm 0,005$ bis $\pm 0,002$.

Schrifttum.

1. AWF Nr. 227, Das Messen in der Werkstatt. Berlin: Beuth-Verlag.
2. AWF Nr. 950, Eigenschaften der Meßgeräte. Berlin: Beuth-Verlag.
3. AWF Nr. 951, Parallel-Endmaße. Berlin: Beuth-Verlag.
4. AWF Nr. 952, Meßuhren. Berlin: Beuth-Verlag.
5. Becker, Plaut und Runge, Anwendungen der mathematischen Statistik auf Probleme der Massenfabrikation. Berlin: Julius Springer, 1927.
6. Berndt, Technische Winkelmessungen. Werkstattbücher Heft 18. Berlin: Julius Springer, 1930.
7. —, Die deutschen Gewindetoleranzen. Berlin: Julius Springer, 1929.
8. Berndt-Schulz, Grundlagen und Geräte technischer Längenmessung. Berlin: Julius Springer, 1929.
9. Donath, Beiträge zur Bestimmung des Maßes von Rachenlehren. Dresden: Diss., 1935.
10. Daeves, Praktische Großzahlforschung. Berlin: VDI-Verlag, 1933.
11. Damm, Grundlagen, Mittel und Beispiele zweckmäßiger Werkstattmeßverfahren. Berlin: VDI-Verlag, 1931.
12. French, Wear Testing of Metals. Amer. Soc. Test. Mater. 1927.
13. French and Herschman, Recent Experiments relating to the Wear of Plug Gages. Trans. Amer. Soc. Stl. Treat. 1927.
14. —, Wear of Steels with Particular Reference to Plug Gages. Trans. Amer. Soc. Stl. Treat. 1927.
15. Gramenz, Passungen, DIN-Buch 4. Berlin: Beuth-Verlag, 1934.
16. ISA 3, Das ISA-Toleranzsystem, Schlußbericht-Entwurf. Dezember 1935.
17. Kienzle, Der Austauschbau. Berlin: Julius Springer, 1923.
18. —, Das ISA-Toleranzsystem. Werkst.-Techn. und Werksleiter, 1935, H. 18, S. 354.
19. —, Eingegrenzte Werkstück-Abmessungen. ZVVDI, Bd. 80, H. 9, S. 225.
20. —, Der heutige Stand der Toleranz- und Prüfsysteme für Werkstückabmessungen. Werkst.-Techn. und Werksleiter, 1936, H. 23, S. 501.
21. —, Feste Lehren im ISA-System, Werkst.-Techn. und Werksleiter, 1936, H. 23.
22. Kirner, Die Passung der Wälzlager. Stuttgart: Konrad Wittwer, 1925.
23. Koch & Kienzle und Huchtemann, Messen und Meßgerät. Leipzig: Rösch & Winter.
24. Kohlweiler, Statistik im Dienste der Technik. München und Berlin: R. Oldenbourg, 1931.
25. Kühn, Toleranzen. H. 206 der Forschungsarbeiten des VDI.
26. Kurrein, Meßtechnik, Werkstattbücher Heft 2. Berlin: Julius Springer, 1932.
27. Mc Pharlin, The Relation of Finish to Life of Plug Gages. Amer. Mach. Vol. 65, 1927.
28. Nieberding, Abnutzung von Metallen unter besonderer Berücksichtigung der Meßflächen von Lehren. VDI-Verlag, 1930.
29. Plaut, Fabrikationskontrolle at Grund statistischer Methoden.
30. Schmidt, Die Abnutzung von Lehren. Würzburg: Konrad Tritsch.

Stichwortverzeichnis.

Die **fettgedruckten Zahlen** geben die Seiten an, auf denen die Begriffe erklärt sind.

Abmaß 6.

- e, absolute Beträge der 22.
- Abnutzung 75, 86, 87.
- und Meßunsicherheit 72, 74.
- , zulässige 72, 90.
- sgrenze 89, 90.
- sprüfer 90, 91.
- Abplattung und Meßunsicherheit 72.
- Altern 75.
- Aluminium 74.
- Anpassen 19.
- Aufbiegung und Meßunsicherheit 72, 73.
- Augenmaß 92, 93.
- Ausdehnungsbeiwert 75.
- Ausgangsfläche bei Maßeintragung 15.
- Ausschußlehre 5, 47 ff.
- Ausschußmaß 5.
- Außermittigkeit 69, 70.
- Aussuchen zusammenpassender Stücke 18.
- Austauschbarkeit 19, 101 ff., 109.

Berührungsfehler und Meßunsicherheit 72, 73.

- Beschriftung 77.
- Betriebseinrichtungen 1.
- Blechlehren und Formen 66.
- Bohrlehre 1.
- Brinellhärte 76.
- Brinelllupe 43.
- Bronze 74.
- Buchsen für Hilfsdorne 87.

Cadmium 3.

Compar 38.

DIN-Passungssystem 5, 8, 89, 94.

DIN-Toleranzen 72.

Ebenheit 72, 76.

Edelpassung 5.

Einheitsbohrung 9, 10, 31.

Einheitswelle 9, 10, 31.

Einsatzstahl 75.

Einschnitte 88.

Einzeltoleranzen, Aufteilung in 23, 31.

Endmaß, Kugel 47, 73, 92.

—e, Parallel- 49, 50, 66, 73, 75, 82.

—e, Winkel- 50.

Endtoleranz 22.

Farben 77.

Fehler, Meß- 71, 96 ff.

— -tafel 71.

Feinpassung 5.

Fernrohr 41, 95.

Fertigung der Geräte 1.

— der Lehren 78.

Flachpassungen 51 ff.

Form, geometrische 46, 66, 72, 81.

— (Toleranzfeld) 68.

— -grenzprüfung 43, 67 ff.

— -messung 66 ff.

Funktion und Toleranz 11 ff.

— -lehre und Einzeltoleranzen 16.

Genauigkeit der Meßinstrumente 35 ff.

Geräte, Fertigung der 1.

—, Gestaltung der 1.

Geräteteil 1

Gerätzeichnungen 1.

Gesichtssinn 92.

Gewinde 62 ff.

—, identisches 64 ff.

—, spielfreies 64 ff.

—, zügig gehendes 64.

—s, Messung des dichtenden 62.

—s, — — kegeligen 62.

— -meßpunkt 65, 66.

— -rollenlehre 86.

Gleichdick 48, 58.

Grenzfelder bei Toleranzen 23 ff.

—n, Zusammentreffen von 25.

Grenzmaß 4.

—, oberes 5.

—, unteres 5.

Grobpassung 5.

Größtmaß 5.

- Größtspiel 5.
 Größtübermaß 6.
 Grundmaß 7.
 Gutmaß 5.
 Gütegrad (DIN-Passungen) 5, 9.
 — (Gewinde) 63.
- Haarlineal** 44, 50, 56.
Hauptsatz, erster 21, 26, 104, 105.
 —, zweiter 23, 28, 105.
 —es, Umkehrung des ersten 23.
Härte, Oberflächen- 74.
 —n der Lehren 82.
 —n der Meßflächen 86.
Härteprüfung bei Lehren 76.
Hebel 37, 95 ff.
 —, Winkel- 98.
 — -übertragung 95 ff.
 — — und Festmaße 96 ff.
 — — — Istmaße 96 ff.
Herstellungsgenauigkeit 4.
Herstellungstoleranz der Lehren 57, 72, 73, 80, 81, 82, 89, 90.
 — und Meßunsicherheit 72.
 — — Preis 73.
Hilfsdorne, Buchsen für 87.
- Interferenz** 43.
ISA-Grundtoleranzen (Zahlentafel) 10.
 — Passungssystem 3, 5, 9, 47, 72, 89, 90, 94.
 — (Qualität) 5, 9, 10, 89.
 — Toleranzen 6, 72.
Istmaß 4, 96.
IT (= Internationale Toleranz) 9.
- Kegel** 3, 57 ff.
 — Bemaßung 59 ff.
 — -ige Stifte 77.
 — -messung mit Tiefenmesser 62.
Keil 38.
Kennzeichnung der Lehrenarten 77.
Kleinstmaß 5.
Kleinstspiel 5.
Kleinstübermaß 6.
Kollimator 41.
Kopierverfahren 69.
Korrosion 75.
Körperwärme 86.
Kurzzeichen 8, 9, 10, 51.
- Lack** 77.
Längenmaße 2, 16, 32.
- Lehre, Abnahme** 89, 90.
 —, Arbeits- 88 ff.
 —, Ausschuß- 5, 47 ff.
 —, Einstell- 91.
 —, Einzel- 84.
 —, feste 32 ff.
 —, Festmaß- 32, 33, 54, 96.
 —, Flach- 47, 73.
 —, Form- 45, 67, 68, 80.
 —, Fühler- 50.
 —, Gebrauchsbelastung einer 73.
 —, Gegen- 90, 91.
 —, Gut- 5, 46 ff.
 —, Hilfs- 89.
 —, Istmaß- 32, 33.
 —, Prüf- 90.
 —, Revisions- 89, 90.
 —, Schieb- 36, 77, 95.
 —, Schraub- 38, 92, 94, 95.
 —, Schwenk- 55, 67.
 —, Symmetrie- 69, 109.
 —, Tiefen- 54 ff., 82, 92.
 —, Ur- 91.
 —, unverstellbare 33.
 —, Verkantung einer 46, 70.
 —, verstellbare 33, 34.
 —, Vielfach- 84, 90.
 —, Vormäß- 34, 88.
 —, Vorweite einer 72.
 —, Werkzeug- 89.
 —, Winkeltoleranz- 61.
 —, Zeiger 66.
- Lehrenarten** 88 ff.
 —, Kennzeichnung der 77.
- Lehren, Ausführung der** 74 ff.
 —, Beschriftung der 77.
 — -bohrmaschine 39, 78.
 —, Entmagnetisieren der 76.
 —, Entwurf von 78.
 —, Fertigung der 78.
 — für Lochmitten 105 ff.
 —, Gewicht der 84, 94.
 —, Handhabung der 83.
 —, Härten der 82.
 —, Härteprüfung der 76.
 —, Herstellungstoleranz der 57, 72, 73, 80, 81, 82, 89, 90.
 —, Instandhaltung der 87.
 —, Justieren der 76, 79, 88.
 —, Lebensdauer der 86.
 —, Maßbeständigkeit der 77.
 —, Nacharbeit der 87.

- Lehren, Oberflächengüte der 76.
 —, Oberflächengüte der 76.
 —, Polieren der 76.
 —, Schutzüberzug der 77.
 —, Sonder- 34, 35, 40, 41, 93.
 — und Temperatur 3, 72 ff.
 —, Verchromen der 77.
 —, Verkleidung an 86.
 —, Vermessung der 82, 90, 91.
 —, Wärmebehandlung der 82.
 Lehrenwerkstatt, Einrichtung einer 78.
 Lehren, Werkstoffe der 74 ff.
 Leichtmetalle 74.
 Lichtspalt 45, 67, 68, 92.
 Lichtstrahl 43.
 Lichtwellen 3, 43.
 Lochabstandmaße und Fertigungsrichtung 8.
 Lochmittenabstände 101.
 Lochreihe, Maßangabe bei 14.
 Luftschicht 72.
 Lupe 41, 95.

 μ 2.
 Markenrisse 36, 69.
 Markenstriche 77, 78, 86.
 Maß 4.
 Maße, freie Bau- 18.
 —, Hilfs- 18.
 —, Ketten- 14, 108.
 —, nichttolerierete 18, 20, 91.
 —, Tolerieren der 16 ff.
 —, Zweck und Wichtigkeit der 17 ff.
 Maßeinheiten 2.
 Maßeintragung, Ausgangsfläche bei 15.
 — bei Geräten 10 ff.
 — und Reihenfolge und Art der Fertigungsgänge 14.
 Massenfertigung, Prüfung bei 19.
 Maßstab 35.
 Meßdraht 50.
 Meßdruck 3, 40, 72 ff., 92.
 Meßdruckanzeiger 94.
 Messen 32, 34.
 Meßfehler 71, 96 ff.
 Meßflächen, Härten der 86.
 —, Unterteilung der 79.
 —, Verchromen der 76, 86.
 Meßgefühl 56, 91, 107.
 Messing 74.
 Meßinstrumente, Genauigkeit der 35 ff.
 Meßkugel 50.
 Meßmaschinen 40, 94.
 Meßmaschine von Zeiß 43.
 Meßmikroskop 66.
 Meßscheibe 50, 73, 90.
 Meßsicherheit 85.
 Meßstellen, Vereinigung mehrerer 83.
 Meßuhr 38, 40, 45, 51, 56, 69, 92, 95, 96.
 Messung, Flach- 51 ff.
 —, Flankendurchmesser- 62.
 —, Form- 66 ff.
 —, Gewinde 62 ff.
 —, Kegel- 57 ff.
 —, Strich- 35, 94.
 —, — mit Übersetzung 37 ff.
 —, Symmetrie- 69 ff.
 —, Tiefen- 8, 54 ff., 62.
 —, Vergleichs- mit Übersetzung 50.
 —, — ohne Übersetzung 43 ff.
 — von Verzahnungen 70.
 —, Winkel- 66.
 Meßunsicherheit 3, 71 ff., 86.
 Meßverfahren, besondere 51 ff.
 Mikrolux 43, 45, 51.
 Mikrometer, Innen- 92.
 Mikron 2.
 Mikroskop 39, 41, 43, 50, 66, 95.
 Mikrotast 56, 95.
 Minimeter 38, 69, 92.

 Nacharbeit der Geräte 19.
 — der Lehren 87.
 Neigung 4.
 Nennmaß 6.
 Nitrierhärtung 75.
 Nonius 36, 95.
 Nulllinie 8, 9, 72.

Oberflächengüte 73, 94.
 — der Lehren 76, 77.
 Oberflächengüte 74 ff.
 Oberflächenzeichen 21.
 Optimeter 42, 45, 51, 92.

 Paarung 10, 31.
 Parallaxe 94, 95.
 Parallelendmaße 49, 50, 66, 73, 75, 82.
 Parallelität 72, 76.
 — (Toleranz) 16.
 Parallelreißer 50.
 Passameter 41.
 Paßeinheit (PE) 9.
 Passimeter 41.
 Paßstifte 77, 86, 87.

- Paßtoleranz 6.**
 Passung **5.**
 —en, Flach- 51 ff.
 —swesen **4, 5.**
 Platten, ebene 50.
 Polieren der Lehren 76.
 Polierstoffe 76.
 Preis und Toleranz 19, 20, 73.
 Projektion 43.
 —sapparat 51, 66, 68.
 Prüfen **32.**
 Prüfung bei Massenfertigung 19.
- Qualität (ISA) 5, 9, 10, 89.**
- Radialschlag (Toleranz) 16.**
 Ratsche 40, 94.
 Rechtwinkligkeit (Toleranz) 16.
 Rockwellhärte 76.
- Sacklöcher 87.
 Schlag bei Zahnrädern 70.
 Schlichtpassung 5.
 Schmiermittelschicht 72.
 Schmutznuten 85.
 Schraube 38.
 Schweißkonstruktion 81.
 Sehschärfe 92.
 Senkungen 88.
 Sitz **6, 9.**
 Sitz, Übergangs- 6, 9.
 —, Preß- 6, 9, 72.
 —, Spiel- 6, 9, 72.
 Sollmaß **4.**
 Spannmittel 86.
 Spannungsrisse 82.
 Sphärometer 38.
 Spiel **5.**
 —-freiheit und Massenfertigung 65.
 —-schwankung **6.**
 Spion 50, 68.
 Stahl 74.
 —, durchgehärteter 75.
 —, Einsatz- 75.
 Steigungsfehler 87.
 Stichmaß 92, 93.
 Stirnschlag (Toleranz) 16.
 Streuung bei Messungen 71.
 Strichmessung 35, 94.
 — mit Übersetzung 37 ff.
 Symmetrie 69.
- Taster 50.**
 Tastsinn 44, 91, 92, 93.
 Tebo-Lehre 47.
 Teilkopf, optischer 33, 43.
 Teilung bei Verzahnungen 70
 —swinkel 66.
 Temperatur und Lehren 3, 72 ff.
 Toleranz **4, 72, 91.**
 — der Zusammenbaumaße 13.
 —, End- **22.**
 Toleranzen, Aufteilung in Einzel- **23.**
 —, Ermittlung von — durch Versuche
 30 ff.
 —, Grenzfelder bei 23 ff.
 — eines Kegels 59.
 —, Schreibweise der 6.
 —, Überbestimmung von 29.
 —, werkstattübliche 20.
 —, zu kleine 19.
 Toleranzfeld **5, 22, 24, 68, 69, 72, 90,**
108, 109.
 Toleranzgleichungen, Behandlung der
 28.
 Toleranz, Größe der 19, 109.
 —, Herstellungs- der Lehren 57, 72, 73,
 80, 81, 82, 89, 90.
 Toleranzkette 21 ff., 25.
 —-kette, Auswirkungen einer 23.
 Toleranzkurzzeichen 8, 9, 10, 51.
 Toleranzriß 69.
 Toleranz, Summen- **22, 104.**
 —, Symmetrie- 8, 30, 69, 70, 102, 104,
 105.
 — und Funktion 11 ff.
 — und Preis 19, 20, 73.
 —-untersuchungen 20 ff., 25, 101, 105.
 — von Lochmittenlehren 109.
 — von Lochmittenabständen bei Ge-
 räten 101, 105.
 —-wesen **4.**
 —, Winkel- 16, 66, 103.
 Tolerieren der Maße 16 ff.
 —, Über- **29.**
- Unrundheit bei Zahnrädern 70.
 Urmeter 2.
 Übermaß **6.**
 Übersetzung 37, 95 ff.
- Verchromen der Lehren 77.
 — der Meßflächen 76, 86.
 Vergleichsmessung mit Übersetzung 50.

- Vergleichsmessung ohne Übersetzung
43 ff.
- Verkanten einer Lehre 46, 70.
- Verteilungskurve, Gaußsche 24.
- Verzahnungen 70.
- Wasserwaage 41.
- Wärme, Körper- 86.
- Werkstoffes, Maßbeständigkeit des 75.
- Widia 74.
- Winkel 50, 66.
- Winkelendmaße 50.
- Winkelhebel 98.
- -maße 2, 3, 32, 33.
- -messer, optischer 33, 43.
- -messer, Universal 33, 37.
- Zahndicke 70.
- Zahnform 70.
- Zahnräder 40, 71.
- Zirkel 50.

Meßgeräte im Industriebetrieb. Von Guido Wunsch, Berlin, und Hans Rühle, Berlin. Mit 371 Textabbildungen. VII, 315 Seiten. 1936. Gebunden RM 26.70

Technische Winkelmessungen. Von Prof. Dr. G. Berndt, Dresden. Zweite, verbesserte Auflage. („Werkstattbücher“, Heft 18.) Mit 124 Abbildungen im Text und 34 Zahlentafeln. 76 Seiten. 1930. RM 1.80

Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen. Von Prof. Dr. G. Berndt, Dresden. Mit einem Anhang von Priv.-Doz. Dr. H. Schulz, Berlin. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 581 Textabbildungen. XII, 374 Seiten. 1929. Gebunden RM 39.15

Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen. Im Auftrage von Ludw. Loewe & Co. A.-G., Berlin, bearbeitet von Prof. Dr. G. Berndt, Dresden. Mit 395 Abbildungen im Text und 287 Tabellen. XVI, 657 Seiten. 1925. Gebunden RM 32.40
Erster Nachtrag. Mit 102 Abbildungen im Text und 79 Tabellen. X, 180 Seiten. 1926. Gebunden RM 14.17

Namen- und Sachverzeichnis. Herausgegeben auf Anregung und mit Unterstützung der Firma Bauer & Schaurte, Neuß. III, 16 Seiten. 1927. RM 0.90

Die deutschen Gewindetoleranzen. Von Professor Dr. G. Berndt, Dresden. Mit einem Geleitwort von Dr.-Ing. e. h. W. Hellmich. Mit 61 Abbildungen im Text und 70 Zahlentafeln. VIII, 179 Seiten. 1929. RM 14.85; gebunden RM 16.65

Maschinentechnisches Versuchswesen. Von Prof. Dr.-Ing. A. Gramberg, Obering. und Direktor bei der IG-Farbenindustrie, Höchst. Erster Band: Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle. Zum Gebrauch an Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Sechste, vielfach erneuerte und umgearbeitete Auflage. Mit 395 Abbildungen im Text. XV, 488 Seiten. 1933. Gebunden RM 24.—
Zweiter Band: Maschinenuntersuchungen und das Verhalten der Maschinen im Betriebe. Ein Handbuch für Betriebsleiter, ein Leitfaden zum Gebrauch bei Abnahmeversuchen und für den Unterricht an Maschinenlaboratorien. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 327 Figuren im Text und auf 2 Tafeln. XVIII, 601 Seiten. 1924. Gebunden RM 18.—

Fertigungsvorbereitung als Grundlage der Arbeitsvorbereitung. Bearbeitet von C. W. Drescher, Obmann des Ausschusses für Arbeitsvorbereitung beim Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung, in Gemeinschaft mit K. Hoffmann, E. Rösner, G. Krause, F. Kreide, W. Schmidt, H. H. Exner, (AWF-Schrift 247.) Mit 161 Abbildungen im Text. VI, 255 Seiten. 1932. Gebunden RM 16.50

Die Grundzüge der Werkzeugmaschinen und der Metallbearbeitung. Von Prof. F. W. Hülle. In zwei Bänden.

Erster Band: Der Bau der Werkzeugmaschinen. Siebente, vermehrte Auflage. Mit 536 Textabbildungen. IX, 287 Seiten. 1931.
RM 7.—; gebunden RM 8.25

Zweiter Band: Die wirtschaftliche Ausnutzung der Werkzeugmaschinen. Vierte, vermehrte Auflage. Mit 580 Abbildungen im Text und auf einer Tafel sowie 46 Zahlentafeln. VIII, 309 Seiten. 1926.
RM 8.10; gebunden RM 9.45

Elemente des Vorrichtungsbau. Von Oberingenieur E. Gempe. Mit 727 Textabbildungen. IV, 132 Seiten. 1927. RM 6.07; geb. RM 6.97

Vorrichtungen im Maschinenbau nebst Anwendungsbeispielen aus der Praxis. Von Oberingenieur Otto Lich. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 656 Abbildungen im Text. VII, 500 Seiten. 1927. Gebunden RM 23.40

Zeitsparende Vorrichtungen im Maschinen- und Apparatebau. Von O. M. Müller, Beratender Ingenieur, Berlin. Mit 987 Abbildungen. VIII, 357 Seiten. 1926. Gebunden RM 14.—

Der Vorrichtungsbau. Von F. Grünhagen.

1. Teil: Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 280 Abbildungen im Text und 3 Normentafeln. 62 Seiten. 1932. RM 2.—

2. Teil: Typische Einzelvorrichtungen. Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen. Kritische Vergleiche. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 138 Abbildungen im Text. 59 Seiten. 1936. RM 2.—

3. Teil: Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen. Mit 104 Abbildungen im Text. 52 Seiten. 1930. („Werkstattbücher“, Heft 33, 35 und 42.) RM 1.80

Der Austauschbau und seine praktische Durchführung. Bearbeitet von zahlreichen Fachgelehrten. Herausgegeben von Dr.-Ing. Otto Kienzle. Mit 319 Textabbildungen und 24 Zahlentafeln. VIII, 320 Seiten. 1923. Gebunden RM 7.65

Kontrollen der Betriebswirtschaft. Bearbeitet von zahlreichen Fachgelehrten. Herausgegeben von Dr.-Ing. Otto Kienzle. Mit 321 Textabbildungen. VII, 379 Seiten. 1931. Gebunden RM 23.85

(„Schriften der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure“, Bd. I und VIII.)