

Stoff hat dann eben nach der Ritzprobe nicht eine, sondern mehrere Härten, und es ist nicht ersichtlich, welche von diesen in Vergleich mit der Kugeldruckhärte gesetzt werden soll, die doch den durchschnittlichen Widerstand der verschiedenen Gefügebestandteile gegenüber dem Eindringen der Kugel mißt. Es ist nicht zu vergessen, daß die Ritzbreite ihrer Größenordnung nach wesentlich kleiner sein kann als die Breite der einzelnen Gefügebestandteile, während der Eindruckdurchmesser bei der Kugelprobe selbst bei so geringer Eindringtiefe wie  $h = 0,05$  mm bei einer 5 mm-Kugel doch immerhin etwa 1 mm beträgt, so daß in der Mehrzahl der Fälle mehrere Gefügebestandteile dem Druck gleichzeitig ausgesetzt sind. Man erhält somit bei der Kugeldruckprobe den durchschnittlichen Widerstand der einzelnen Gefügebildner, bei der Ritzprobe in der Regel die Einzelwiderstände. Beispiele hiefür s.  $L_4$  93.

### b) Kugelfallprobe.

352. Der Gedanke, die zur Härteprüfung verwendete Stahlkugel in den zu prüfenden Stoff nicht einzudrücken, sondern auf den Stoff aus einer bestimmten Höhe auffallen zu lassen und die Höhe des Rücksprungs als Maßstab für die „Härte“ zu benutzen, scheint von mehreren Seiten gefaßt worden zu sein. Dem Verfasser ist bekannt geworden, daß z. B. Tingberg bereits vor mehreren Jahren eine auf diesem Grundgedanken beruhende Vorrichtung zur Härteprüfung benutzte, aber die Veröffentlichung unterließ.

Seit 1907 kommen Vorrichtungen von Shore ( $L_4$  94) in den Handel, bei denen der Rücksprung eines auf den zu prüfenden Stoff auffallenden Hämmerchens zur Bemessung der Härte verwendet wird. Das Hämmerchen hat etwa 2,6 g Gewicht; es trägt an seinem unteren Ende einen kleinen Diamant  $Di$  (Abb. 422), der unten nach einem flachen Kugelabschnitt  $K$  von nicht bekannt gegebenem Halbmesser abgeschliffen ist. Der wirksame Teil ist also ein Teil einer Diamantkugel, die durch das eiserne Hämmerchen  $H_a$  belastet ist. Das Hämmerchen ist in einem polierten Glasrohr, hinter dem eine Skala angebracht ist, luftdicht geführt. Durch eine besondere Vorrichtung, die durch einen Druckball aus Gummi betätigt wird, kann der in seiner höchsten Lage durch einen Greifer festgehaltene Hammer ausgelöst und zum freien Fall gebracht werden. Der Rücksprung wird an der Glas-skala abgelesen. Hierauf wird durch einen Saugball aus Gummi und besondere Zwischenvorrichtungen über dem Hammer Luftverdünnung erzeugt, so daß dieser gehoben und wieder von dem Greifer festgehalten wird. Die Fallhöhe des Hammers beträgt 250 mm. Die Skala für die Bemessung des Rücksprungs hat eine willkürliche Teilung, deren Beziehung zum gewöhnlichen Längenmaß nicht bekannt gegeben ist. Die Höhe des Rücksprungs des Hammers beim Auftreffen auf eine Probe gehärteten Werkzeugstahls (Kohlenstoffstahl von nicht bekannt gegebener Zusammensetzung) ist gleich 100 gesetzt und in 100 gleiche Teile geteilt. Nach oben ist die Skala mit der gleichen Teilung bis zum Teil 140 verlängert.

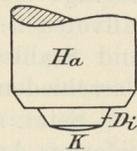


Abb. 422.

Dem Härteprüfer wird eine Platte des betreffenden gehärteten Stahles beigegeben, die bei der Prüfung den Rücksprung 100 ergeben soll. Erreicht der Hammer diesen Rücksprung nicht mehr, so ist dies ein Zeichen dafür, daß die Diamantkugel  $K$  nicht mehr in Ordnung ist.

Das zu prüfende Material muß eine ebene Fläche erhalten, auf die die Kugel auftrifft. Die Fläche braucht aber nur klein zu sein.

Der Härteprüfer kann auch an einem ausschwenkbaren Arm befestigt und auf größere Werkstücke aufgesetzt werden, deren Härte zu prüfen ist. Voraussetzung ist natürlich, daß die Oberfläche dieser Werkstücke nicht etwa durch

chemische Einflüsse (z. B. Entkohlung durch Glühen) verändert ist, andernfalls muß diese veränderte Oberfläche erst durch Feilen oder Schleifen entfernt werden.

Da die Skalenteilung der Shoreschen Härteprüfer und der Punkt 100 der Skala willkürlich und somit nicht jederzeit nachprüfbar sind, so kann Eichung der Vorrichtung nicht erfolgen. Die Übereinstimmung der mit verschiedenen Härteprüfern gewonnenen Ergebnisse hängt lediglich von der Sorgfalt des Lieferers der Vorrichtung ab. Für den Empfänger besteht keine Möglichkeit, sich davon zu überzeugen, ob seine Ergebnisse mit denen übereinstimmen, die auf anderen Härteprüfern derselben Bauart erhalten werden. Die dem Apparat beigegebene gehärtete Probestahlplatte ändert daran nichts, da ebenfalls nicht feststellbar ist, inwieweit die an verschiedene Stellen gelieferten Probeplatten in der Art des Materials und in der Art der Härtung übereinstimmen.

Ein solcher Zustand mag wohl vom geschäftlichen Standpunkt des Lieferers der Vorrichtung begreiflich erscheinen, läuft aber dem wichtigsten Grundsatz des Materialprüfungswesens entgegen. Dieser fordert, daß alle Vorrichtungen Anschluß haben müssen an anerkannte Maßsysteme und daß dieser Anschluß unabhängig vom Lieferer jederzeit nachgeprüft werden kann.

Die Shoreschen Arbeiten haben die Anregung gegeben, daß man sich mit der Frage näher befaßt, welchen Aufschluß der Rücksprung über die Eigenschaften des zu prüfenden Materials liefert (*L<sub>4</sub> 98 bis 101*). Aus den oben angegebenen Gründen wandte man sich hierbei sehr bald von der Anwendung des Diamant-hämmerchens mit der willkürlichen Abrundung und von der Shoreschen willkürlichen Skala ab. Man verwendete als auftreffende Masse Stahlkugeln und maß die Rücksprunghöhe in der üblichen Längeneinheit (mm oder cm). Die Stahlkugeln lassen sich in sehr gleichmäßiger Weise im Massenbetrieb herstellen. Solange die Kugel nicht bleibende Formänderung erleidet, kommt für den Kugelfallversuch nur der Elastizitätsmodul ihres Materials in Betracht, der ja bei Eisen- und Stahlsorten verhältnismäßig geringen Schwankungen selbst bei ziemlichen Verschiedenheiten im Material und in der Vorbehandlung unterliegt.

Setzt man voraus, daß von der gesammten durch die fallende Kugel gelieferten Arbeit  $A = PH$  (worin  $P$  das Gewicht und  $H$  die Fallhöhe der Kugel ist) nichts auf Erschütterungen, Reibung usw. verwendet wird, so ergibt sich

$$A = A_e + A_p.$$

Hierbei ist  $A_e$  die gesamte elastische Formänderungsarbeit, welche elastische Formänderung des Probestücks und der Kugel herbeiführt. Ihr proportional ist die Rücksprunghöhe  $H_1$  der Kugel.  $A_p$  ist die zur bleibenden Formänderung aufgewendete Arbeit, wobei vorausgesetzt ist, daß die Kugel beim Fallversuch keine bleibende Formänderung erleidet. Mithin muß sein

$$PH = PH_1 + A_p$$

und daraus

$$H_1 = H - \frac{A_p}{P} \dots \dots \dots (31)$$

Je größer die auf bleibende Formänderung verwendete Arbeit wird, um so kleiner wird der Rücksprung  $H_1$  bei unveränderten Werten von Fallhöhe  $H$  und Kugelgewicht  $P$ . Wird keine bleibende Formänderung hervorgebracht, ist also  $A_p = 0$ , so müßte  $H_1 = H$ , d. h. der Rücksprung gleich der Fallhöhe sein. Bei metallischen Stoffen kommt dies nicht vor, da hier auch bei Verwendung sehr kleiner Fallhöhen  $H$  meßbare bleibende Formänderungen eintreten (Schneider, *L<sub>4</sub> 101*) und auch sonst bei Abwesenheit bleibender Formänderungen verschiedene unkontrollierbare Einflüsse, wie Erschütterungen des zu prüfenden Stoffes und seiner Unterlage usw., die Rücksprunghöhe verkleinern.

Wird bleibende Formänderung erzeugt, so gestalten sich die Verhältnisse verwickelter. Die Rücksprunghöhe ist dann in noch nicht völlig aufgeklärter Weise abhängig von dem Elastizitätsmodul des zu prüfenden Stoffes und des Stoffes der Kugel, von der Lage der Quetschgrenze und von der Widerstandsarbeit des zu prüfenden Materials gegenüber bleibender Formänderung, von der gesamten Fallarbeit der auftreffenden Kugel, von der Masse und der Art der Auflagerung des zu prüfenden Stoffes, von der Beschaffenheit der Oberfläche der Probe usw.

Es erscheint etwas gewagt, eine so verwickelte Funktion als „Härte“ des Materials zu bezeichnen. Es ist ohne weiteres zu erwarten, daß die durch den Rücksprung gekennzeichneten Eigenschaften des Stoffes nicht unmittelbar mit den Eigenschaften vergleichbar sein werden, die die Kugeldruckprobe mißt. Dies geht aus der folgenden, der Arbeit Fréminvilles (*L<sub>4</sub> 98*) entnommenen Übersicht hervor. Die Ergebnisse wurden mit Stahlkugeln von 16 mm Durchmesser und etwa 16 g Gewicht bei einer Fallhöhe  $H = 1000$  mm gewonnen.

	Rücksprung $H_1$ in mm
Gußeisen . . . . .	350—500
Weiches Flußeisen . . . . .	300—380
Kautschuk . . . . .	400
Marmor . . . . .	500
Glas . . . . .	890
Gehärteter Werkzeugstahl . . . . .	930

Hier wird also ein Material wie Kautschuk in seiner „Härte“ dem Guß- und Flußeisen gleichgesetzt, trotzdem daß man in dem Kautschuk mit dem Finger einen Eindruck hervorrufen kann, was bei den beiden Eisensorten schwer möglich erscheint. Die übliche Begriffserklärung der Härte als der Widerstand gegenüber dem Eindringen eines fremden Körpers paßt in diesem Falle ganz und gar nicht auf die durch den Rücksprung gemessene Eigenschaft. Auffällig erscheint auch die Nähe der beiden Stoffe Marmor und Glas in der obigen Reihenfolge, da doch aus der Mineralogie bekannt ist, welcher großer Härteunterschied zwischen Glas und Marmor besteht.

Der Grund für die eigenartige Einreihung der Stoffe nach obiger Zusammenstellung liegt in der großen Verschiedenheit ihres Widerstandes gegenüber elastischer Formänderung, die sich im Rücksprung der Kugel überwiegend kundgibt und die Unterschiede in der Härte ganz überdeckt.

Beim Vergleich von Stoffen, deren Widerstand gegenüber elastischer Formänderung, wie er sich z. B. im Elastizitätsmodul ausdrückt, verhältnismäßig wenig verschieden ist, tritt der Einfluß der verschiedenen Härte auf den Rücksprung in den Vordergrund. In solchen Fällen kann dann der Rücksprung bis zu einem gewissen Grade als Maßstab für die Härte dienen. Ein solcher Fall liegt z. B. vor bei abgeschreckten und bis zu verschiedenen Graden angelassenen Stählen, deren Elastizitätsmodul untereinander wenig verschieden ist. Sie ordnen sich deswegen bezüglich des Rücksprungs bei der Kugelfallprobe in derselben Reihenfolge ein, wie bei der Kugeldruckprobe.

Die folgende Tabelle XXXIV, die bezüglich der Kugelfallprobe den Angaben Shores (The Shore Scleroscope, Aug. 1910, 4. Aufl.) selbst, und bezüglich der Kugeldruckhärte den Angaben von Brinell (*L<sub>4</sub> 88*) entlehnt ist, bestätigt das oben Gesagte. Die Prüfung auf Rücksprunghöhe gibt bei den einzelnen untersuchten metallischen Stoffen nur ein verschwommenes Bild von dem Grad der Härte, während die Kugeldruckprobe die Stoffe in derselben Reihenfolge gibt, wie sie uns von der Erfahrung her geläufig ist.

Tabelle XXXIV.

Stoff	Brinellzahl		Rücksprung in Teilung der will- kürlichen Skala nach Shore
	$\xi_P$	bei Druck $P$ kg	
Blei . . . . .	5,7	200	2—5
Zinn . . . . .	14,5	500	8
Lagerweißmetall (Babbitt) . .	23,0	500	4—9
Zink . . . . .	46,0	500	8
Gold . . . . .	48,0	500	5
Silber . . . . .	59,0	500	6,5
Messing . . . . .	63,0	500	7—35
Kupfer . . . . .	74,0	500	6
Flußeisen mit etwa 0,15% C .	100,0	3000	22
Werkzeugstahl mit etwa 1% C	260,0	3000	30—35
Desgl. gehärtet . . . . .	627,0	3000	100

Aus den angegebenen Gründen wird im besonderen Teile dieses Bandes die mit dem Shoreschen Härteprüfer oder mit anderen Kugelfallvorrichtungen gemessene Rücksprunghöhe nur dann angegeben werden, wenn Angaben über die Härte nach anderen Verfahren fehlen.

### c) Die Bearbeitbarkeit durch schneidende Werkzeuge.

#### 1. Abhängigkeit der Bearbeitbarkeit von der Härte und der Geschmeidigkeit<sup>1)</sup>.

**353.** Die Mehrzahl der Werkstücke aus metallischen Stoffen bedarf zur endgültigen Formgebung der Nachbearbeitung mittels schneidender Werkzeuge, wobei ein Teil des Stoffes in Form von Spänen vom Werkstück entfernt wird.

Je nachdem, ob die Beseitigung eines bestimmten Metallvolumens durch Zerspanen größeren oder geringeren Aufwand an Zeit, maschineller Arbeit und Werkzeugen erfordert, nennt man den Stoff schwer oder leicht bearbeitbar. Es fragt sich nun, in welcher Beziehung der Grad der Bearbeitbarkeit eines Stoffes zu seiner Ritz- oder Kugeldruckhärte steht. Hier gibt bereits die Erfahrung gewisse Anhaltspunkte. So ist z. B. das reine Aluminium schwerer bearbeitbar als Flußeisen, obwohl die Kugeldruckhärte des Aluminiums  $\xi_{200}$  nach Brinell nur 38, die des kohlenstoffarmen Flußeisens  $\xi_{3000}$  etwa 100 beträgt. Daraus ist zu schließen, daß außer der Härte, also dem Widerstand gegenüber dem Eindringen eines fremden Körpers, bei der Bearbeitbarkeit durch schneidende Werkzeuge noch andere Einflüsse mitwirken müssen.

Um hierüber Aufschluß zu erlangen, ist es wichtig, sich wenigstens in groben Umrissen ein Bild von dem Vorgang des Spanabhebens zu verschaffen, der in erster Linie durch die Arbeiten von Thieme (*L<sub>4</sub> 102, 103*) aufgeklärt worden ist. Danach ist dieser Vorgang ein Druckversuch nach Art der Abb. 423. Die Druckkraft  $P$  greift außerhalb des Schwerpunkts der Fläche  $CEE_1C_1$  an.  $S$  bedeutet das Werkzeug, das ersetzt gedacht ist durch ein Prisma aus Werkzeugstahl. Die Brustfläche ist  $Br$ , die Rückenfläche  $R$ . In Wirklichkeit würde ein Werkzeug das Aussehen von Abb. 424 haben. Der Einfachheit halber ist in Abb. 423 der Brustwinkel  $\beta$  (vgl. Abb. 424) gleich  $90^\circ$  und der Ansatzwinkel  $\alpha$  (vgl. Abb. 424) gleich Null gesetzt.  $W$  sei das zu bearbeitende Werkstück, von dem ein Teil von der Breite  $b$  und der Tiefe  $t$  weggespannt werden soll. Das

<sup>1)</sup> Unter Geschmeidigkeit soll die Fähigkeit eines Stoffes, sich kaltrecken (293) zu lassen, verstanden werden. Der Grad der Geschmeidigkeit ist um so größer, je weiter das Kaltrecken ohne Zerstörung des Zusammenhanges getrieben werden kann.