

aussehen abgeleiteter Rückschluss auf Gefügeänderung im Stabe als Folge der oft wiederholten Anstrengungen nicht zulässig ist.

339. Die Frage, ob und in welchem Maasse eine sonstige Aenderung der Materialeigenschaften als Folge des Dauerversuches eintritt, kann nur in der früher besprochenen Weise (325) durch wiederholte Untersuchung nach geschehener Anstrengung entschieden werden. Auch Bauschinger hat diesen Weg betreten und sowohl die von ihm aufgestellten, früher (Abschnitt i 2) besprochenen Gesetze als auch seine neueren Versuchsergebnisse lassen eine Veränderung der *P*-Grenze, der Dehnungszahl *a* und der *S*- und *B*-Grenze vermuthen. Leider kann man aus seinen Dauerversuchen (*L* 2, *H*. 13), bei denen die Stäbe mitten im Dauerversuch zur Feststellung der Veränderungen mehrfachen Streckungen ausgesetzt wurden, den Einfluss der Zeit nach dem Strecken auf die Veränderungen (Gesetz *c*, S. 208) der Materialeigenschaften nicht ausscheiden. Diese Aenderungen spielen sich im Stabe, wengleich in anderem Maasse, sicher auch dann ab, wenn der Stab nicht in Ruhe bleibt (Abs. 53), sondern weiter dem Dauerversuch unterworfen wird.

340. Auch die Brucherscheinungen bei Dauerversuchen mit nicht gleichmässig gefügten Körpern, z. B. von Schweisseisen u. s. w., sind meistens charakteristisch, indessen würde ihre Aufzählung mehr in eine Sonderabhandlung über die Dauerversuche überhaupt oder über die Eigenschaften bestimmter Materialien gehören. Auf die oben beschriebenen Erscheinungen bin ich hier nur so ausführlich eingegangen, um den inneren gesetzmässigen Zusammenhang aller unter den Absätzen 117—128, 210, 211, 272—276 beschriebenen Brucherscheinungen noch einmal hell zu beleuchten.

k. Härteprüfung.

341. Die Härte eines Materiales ist eine Eigenschaft, die der Maschinenbauer häufig in Anspruch nimmt, die er zuweilen hoch schätzt, wenn er auch nur selten versucht, sie zu messen. Die Technologen haben sich von jeher lebhaft mit dieser Eigenschaft beschäftigt und haben häufig versucht, die Härte der Materialien durch das Maass festzustellen. Die Mineralogen bestimmen regelmässig die Härte ihrer Stoffe. Man sollte also glauben, dass der Begriff der Härte, auch für unsere praktischen Zwecke ausreichend, so vollkommen klar festgestellt sei, wie es z. B. bei der Festigkeit, Elasticität u. s. w. der Fall ist. Aber für keine Eigenschaft der Materialien trifft diese Voraussetzung weniger zu, als auch heute noch für die Härte und die Zähigkeit.

Man hat die Härte zu allen möglichen Eigenschaften in Beziehung gebracht und daher versucht, ihr Maass durch das Maass dieser Eigenschaften auszudrücken. Man findet auf diesem Gebiete in der Literatur sehr viel Unklarheit und sehr stark widerstrebende Anschauungen. Manche Vorstellungsweisen haben sich aber so sehr eingebürgert, dass man sie häufig durcheinander benutzt und für das gleiche Material, je nach den Umständen, einmal den einen, das andere mal den anderen Maassstab anzulegen pflegt, was natürlich zuweilen Verwirrung schafft. Dieser Zustand ist eben nur deshalb möglich, weil es zur Zeit in der Technik noch keine ausreichende und allgemein anerkannte Begriffsfestlegung für die Eigenschaft

der Härte giebt. Auch ich vermag sie nicht zu bieten und werde mich daher darauf beschränken, die verschiedenen Vorstellungen und darauf gegründeten Messverfahren kurz zu besprechen.

342. Am meisten verbreitet ist die Begriffsfestlegung:

Härte¹⁾ ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen [härteren] Körpers entgegensetzt.

Diese Auslegung wird in der einen oder der anderen Auffassung den meisten in Vorschlag gebrachten Härtemessverfahren zu Grunde gelegt.

343. Die grösste Verbreitung hat das Verfahren der Mineralogen, welche die Härte des zu untersuchenden Körpers relativ zu der als bekannt angenommenen Härte bestimmter Mineralien feststellen, indem sie das Probestück mit scharfen Ecken dieser Körper zu ritzen suchen oder diese Körper mit den Ecken des Probestückes ritzen. Hierbei findet natürlich nur ein Vergleich, eine Einordnung des fremden Körpers nach seiner Härte zwischen zwei bekannte Körper verschiedener Härte statt. Um diese Einordnung in einheitlicher Weise ausführen zu können, hat man sogenannte Härteskalen gebildet, z. B. die sehr viel benutzte Härteskala von Mohs, indem man bekannte Mineralien, die leicht in nahezu gleichem Zustande zu bekommen sind, durch gegenseitiges Ritzen ihrer Härte nach ordnete und die einzelnen Stufen mit Nummern bezeichnete. Die Mohssche Skala lautet:

1. Talk	}	mit dem Fingernagel ritzbar.
2. Steinsalz [oder Gips]		
3. Kalkspath —	}	Härte einer Kupfermünze.
4. Flussspath		
5. Apatit	}	ein biegsamer eiserner Nagel hat Härte 4,5.
6. Orthoklas [Feldspath]		
7. Quarz [Feuerstein]	}	gewöhnliches Fensterglas hat Härte 5,5. eine Feile hat Härte 6,5.
8. Topas		
9. Korund	}	ritzen Glas. schneiden Glas.
10. Diamant		

Ein untersuchter Körper gehört beispielsweise zur Härtestufe 5, wenn er von Feldspath geritzt wird, aber alle vorhergehenden Körper der Skala ritzt. In feiner Schrift gab ich nach Leunis andere Körper an.

344. Für Metalle hat Dumas eine ähnliche Skala aufgestellt. Aber man darf es wohl aussprechen, dass uns Techniker das mineralogische Verfahren bei der Härtebestimmung von Metallen im Stich lässt, weil es sehr schwer ist, hierfür eine Skala festzustellen, die einen unveränderlichen Maassstab gewährt. Denn ist es schon sicher, dass die gleichen Mineralien der Mohsschen Skala in Stücken von verschiedener Herkunft nicht ganz gleiche Härte haben, so ist von den Metallen bekannt, dass sie nur sehr schwer rein zu bekommen sind, und dass ihre Härte selbst in reinem Zustande durch Art und Umfang der voraufgehenden mechanischen Behandlung verändert werden kann. Die geringfügigste chemische Veränderung kann aber schon sehr erhebliche Aenderungen in der Härte herbeiführen. Würde dies nicht der Fall sein, so dürfte sich

¹⁾ Schon im Absatz 5 S. 5 ist darauf aufmerksam gemacht, dass ein Gegensatz zwischen Härte und Weichheit nicht besteht. Demgemäss wird letztere hier auch nicht besonders behandelt. Die Weichheit ist ein milderer Grad von Härte und muss daher in gleicher Weise ausgedrückt werden.

schon längst für Metalle eine ähnliche Härteskala eingebürgert haben, wie für die Minerale.

345. Die Härte der Metalle ist ganz besonders von der chemischen Zusammensetzung abhängig, dies ist in hervorragendem Maasse beim Eisen der Fall, dessen Härte und Härbarkeit bekanntlich in aussergewöhnlichem Maasse durch den Kohlenstoffgehalt beeinflusst wird. Weil nun diese Thatsache im Eisenhüttenfache jeden Tag hervortritt, ist es zur Gewohnheit geworden, auch dann von weichem oder hartem Eisen [Stahl] zu reden, wenn man an die mechanische Härte unmittelbar gar nicht denkt, sondern eigentlich nur die chemische Zusammensetzung im Auge hat. Im Besonderen nennt man Eisen oder Stahl weich, wenn verhältnissmässig wenig Kohlenstoff zugegen oder hart, wenn der Kohlenstoff reichlicher vorhanden ist; freilich trifft die Thatsache fast immer zu, dass der Widerstand des Eisens gegen Formänderung beim Schmieden, Hämmern, Feilen oder bei sonstiger Bearbeitung mit dem Kohlenstoffgehalt zunimmt, das kohlenstoffreichere Material also härter erscheint. Man hat aus den vorerwähnten Gründen namentlich für den Werkzeugstahl sogenannte Härteskalen nach wachsendem Kohlenstoffgehalt geordnet aufgestellt.

346. Weil wieder die elektrische Leitungsfähigkeit, die Magnetisirbarkeit, das Aufnahmevermögen für Magnetismus und andere Eigenschaften abhängig sind von der chemischen Beschaffenheit und wie diese parallel gehen mit der Härte, so hat es auch nicht an Vorschlägen gefehlt, die Härteordnung des Eisens aus dem elektrischen, thermoelektrischen oder magnetischen Verhalten zu bestimmen. v. Waltenhofen, v. Kerpely, Barus u. A. m. (*L 196; 197, S. 37; 198*).

347. Ferner hat man durch Erfahrung oft gefunden, dass feste Körper in der Regel zugleich hart zu sein pflegen, und deswegen hat sich die Gewohnheit eingebürgert, nach den Ergebnissen des Festigkeitsversuches ebenfalls ohne weiteres von harten und weichen Metallen zu sprechen.

348. Dass diese Zustände im praktischen Leben dazu beitragen müssen, die schon bestehenden Schwierigkeiten der Begriffsfeststellung für die Härte zu vermehren, liegt auf der Hand; aber man wird diese bereits sehr fest eingewurzelten Gewohnheiten nicht mehr ändern können und wird mit ihnen rechnen müssen. Dazu kommt nun noch der Umstand, dass unter passender Veränderung der zu Anfang gegebenen landläufigen Begriffserklärung für die Härte im mechanischen Sinne eine grosse Menge von Vorschlägen für die Methode der Härtemessung gemacht ist, so dass es mir unmöglich wird, auf alle einzeln einzugehen. Ich will mich vielmehr damit begnügen, eine Uebersicht über die verschiedenen Verfahren zu geben und nur die Hauptgesichtspunkte besprechen, die für den einen oder andern meiner Leser vielleicht von Werth werden könnten.

Die meisten der vorgeschlagenen Härtemessverfahren kann man in folgende Gruppen einordnen:

- I. Die Härte wird durch Eindringen eines zweiten Körpers bestimmt,
 - A. indem der eindringende Körper seinen Ort auf der zu prüfenden Körperfläche nicht ändert, Eindringungsverfahren;
 - B. indem der eindringende Körper sich gegen den zu prüfenden Körper verschiebt, ihn ritzt, Ritzverfahren.

II. Die Härte wird aus den Festigkeitseigenschaften des Materiales abgeleitet.

Bei Gruppe IA kann man folgende Untergruppen bilden:

1. Eindruckverfahren. Ein Stempel wird durch ruhigen Druck in das zu prüfende Material eingetrieben, und hierbei wird entweder
 - a) die Eindringungstiefe bei stets gleichem Druck, oder
 - b) der zur Erzeugung einer bestimmten Eindringungstiefe erforderliche Druck gemessen.
2. Einhiebverfahren. Ein Stempel wird durch fallendes Gewicht in das zu prüfende Material eingetrieben und hierbei entweder
 - a) die Eindringungstiefe bei gleicher Schlagleistung, oder
 - b) die zur Erzeugung einer bestimmten Eindringungstiefe erforderliche Schlagleistung gemessen.

Bei Gruppe IB kann man folgende Untergruppen bilden:

1. Die relative Härte wird mit Hülfe einer Reihe von verschiedenen harten Probekörpern festgestellt.
2. Ein ritzender Körper wird gegen das Probestück gedrückt und hierbei entweder
 - a) der Druck gemessen, welcher nöthig ist, um für die Wege- oder Zeiteinheit einen bestimmten Theil des Probekörpers fortzuarbeiten, oder
 - b) der Verlust wird gemessen, den das Material durch den ritzenden Körper bei bestimmter Belastung in der Wege- oder Zeiteinheit erleidet, oder
 - c) der Druck wird bestimmt, welcher eben noch ausreicht, um an dem Probekörper eine Spur von bestimmter Breite zu hinterlassen, oder
 - d) die Spurbreite wird gemessen, welche unter einer bestimmten Belastung des ritzenden Körpers erzeugt wird.

349. Bei den Eindringungsverfahren, Gruppe IA, werden in der Regel Stempel aus hartem Stahl benutzt, denen von den einzelnen Forschern verschiedene Formen gegeben worden sind. Die Form der Stempel, ihre Härte, die Beschaffenheit ihrer Oberflächen, die Art des Eintreibens u. a. m. ist bei diesen Versuchen von Einfluss, und man kann mit zwei Apparaten oder Verfahren gleicher Art bei demselben Körper nur dann dieselben Gütezahlen finden, wenn die maassgebenden Theile der Apparate und die Versuchsausführung in allen Fällen genau gleich sind. Da aber der Stempel Abnutzungen unterworfen ist und es praktisch schwer ist, Stempel von durchweg gleicher Härte zu erzeugen, so ist es bei allen diesen Verfahren nothwendig, sich eine Reihe von Probekörpern zu halten und zwischen den einzelnen Härteprüfungen immer wieder auf diese Körper zurückzugehen, um sich von dem Unverändertsein der Stempel zu überzeugen. Man giebt den Stempeln natürlich solche Formen, dass sie durch Nachschleifen jederzeit genau wieder hergestellt werden können. Man hat dann sein Hauptaugenmerk auf eine zweckmässige und ganz gleichmässige Härtung der Stempel zu legen. Die gebräuchlichsten Stempelformen sind in Fig. 238 abgebildet (*L 189. 192. 199—201*).

Bei der Form *a* misst man die Länge des Eindruckes, bei *b* dessen Durchmesser, bei *c* und *ca* wird bei Anwendung der Kugelfläche (Auerbach) der Druck bestimmt, der angewendet werden muss, damit bei spröden Körpern ein Sprung, oder bei zähen Körpern gerade der erste bleibende

Eindruck erzeugt wird. In der Charlottenburger Anstalt wurden von Rudeloff, unabhängig von Föppl [der dieses Verfahren zuerst veröffentlichte], an Stelle der Kugelflächen Auerbachs, gekreuzte Cylinder benutzt, Fig. 239 *ca*. Ich selbst benutzte noch früher, zum Vergleich von Messerschneiden untereinander, unmittelbar die gekreuzten Klingen, also Cylinder mit sehr kleinem Halbmesser. Bei Form *d* wird die Eindringungstiefe festgestellt und auch wohl der hieraus berechnete Rauminhalt der verdrängten Masse als Maass für die Härte benutzt [United States Ordnance Department]. Calvert und Johnson nahmen diejenige Belastung des Stempels *d* an, die ihn bei bestimmten Abmessungen in einer halben Stunde um ein bestimmtes Maass [3,5 mm] eindringen machte. Keep benutzte einen Stempel *e*, dessen untere Fläche 100 kleine Pyramiden trug und auf den ein Schlagmoment von 288 kg cm [25 Pfd. aus 1 m Höhe] ausgeübt wurde. Dieser Stempel wurde nun so an das Probestück angesetzt, dass mit je

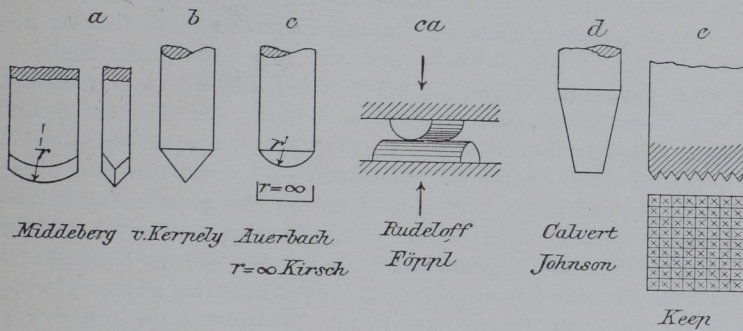


Fig. 239.

dem Schläge die Zahl der auftreffenden Pyramidenspitzen grösser, also deswegen die Eindringungstiefe geringer wurde, bis zuletzt die Eindrücke äusserst schwach werden.

350. Bei den Einbiebverfahren [Gruppe IA_2 Abs. 348], welche ohne Zweifel praktisch die einfachsten sind, hat man ausser auf die bereits besprochenen Fehlerquellen noch darauf zu achten, dass die Wirkungen der schlagenden und der widerstehenden Massen bei den Apparaten in gleichen Verhältnissen zu einander stehen, dass streng genommen also auch die Probestücke nahezu gleiche Massenverhältnisse zum Apparat haben, wenn nicht dessen Massen an sich gross sind. Nur bei Innehaltung aller dieser Vorsichtsmaassregeln können mit verschiedenen Apparaten gleicher Art gewonnene Ergebnisse mit einander verglichen werden. Auch die Massen der Unterlagen, auf denen die Apparate stehen, müssen ebenfalls beachtet werden, wenn diese widerstehenden Massen nicht an sich schon den angreifenden sehr wesentlich überlegen sind; sie sind zweckmässig zu befestigen.

351. Auch bei der Gruppe *IB*, bei den Ritzverfahren, ist in allen Fällen das Versuchsergebniss durchaus abhängig von den besonderen Bedingungen, unter denen die einzelnen Vorrichtungen arbeiten. Die Stichel wirken z. B. auf weiche, bleiähnlich sich bearbeitende Körper ganz anders als auf harte, spröde Körper. Dies tritt ganz besonders deutlich bei dem Verfahren der Härtebestimmung durch Abschleifen [Hauenschild, Bau-

schinger, Smith u. A.] hervor; bei diesem Verfahren arbeitet gewissermaassen nicht ein einziger Stichel, sondern unzählige von mannigfachster Form. Das weiche Blei schleift sich unter Umständen schlechter als harter Stahl (*L* 218).

Die ritzende [schneidende] Wirkung des Stichels ist sehr stark von seiner Form, Härte, Art der Anstellung, Geschwindigkeit der Bewegung und sonstigen äusseren Umständen abhängig. Man muss auch für die Apparate dieser Gruppe vollständige Uebereinstimmung der Vorrichtungen und Verfahren verlangen, wenn an mehreren Orten übereinstimmende Ergebnisse erhalten werden sollen.

352. Bei allen bisher besprochenen Verfahren wird mehr oder minder ausschliesslich die Härte der Körperoberfläche bestimmt, sie haben den Umstand gemein, dass sie ein Maass für die Härte an sich überhaupt nicht liefern können; vielmehr kommt es innerhalb der einzelnen Bestimmungsarten immer wieder auf die einfache Vergleichung des Widerstandes hinaus, den verschiedene Körper irgend einem für alle Körper gleichen Angriffsverfahren entgegensetzen, und die Ergebnisse verschiedener Verfahren sind daher mit einander nicht ohne weiteres zu vergleichen. Es kann sogar vorkommen, dass die für eine Reihe von Körpern gefundenen Härtefolgen bei den verschiedenen Verfahrensarten ganz verschieden und selbst widersprechend ausfallen. Einzelne dieser Verfahren sind aber leicht und bequem durchführbar, und sobald sie für das gleiche Material dauernd gleiche Werthe liefern, kann es für unsere Zwecke schliesslich ganz gleichgültig sein, ob wir das Ergebniss mit mehr oder minder Recht als einen Maasswerth für die Eigenschaften der Härte im streng wissenschaftlichen Sinne ausgeben dürfen oder nicht. Wenn wir mit unserem Verfahren nur das praktische Ziel erreichen, einen neuen, aber zuverlässigen Vergleichsmaassstab für verschiedene Materialien unter einander zu gewinnen, und wenn das Ergebniss geeignet ist, uns über den Grad der technischen Brauchbarkeit des Materiales für bestimmte Zwecke zu belehren, so hat es volle Berechtigung. Die Methode wird um so brauchbarer sein, je mehr die Härteordnung, in welche sie die Körper bringt, mit unseren durch eine Summe von Thatsachen gewonnenen und uns in Fleisch und Blut übergegangenen, aber in Summe nicht nach dem Maasse ausdrückbaren Erfahrungen übereinstimmt. Die Mohssche Skala giebt eine Härtefolge der Körper, die dieser Forderung genügt, sie hat sich allgemein eingebürgert; daher muss man von irgend einer Härtebestimmungsform verlangen, dass sie mindestens nicht in Widerspruch zur Mohsschen Skala geräth. Es kommt also, nachdem die Härte in absolutem Maass zur Zeit nicht ausgedrückt werden kann¹⁾, schliesslich darauf hinaus, das Verfahren so auszubilden, dass innerhalb der Mohsschen Skala feinere Härteunterschiede mit Sicherheit erkannt werden können.

353. Wie wir sahen, zielten alle bisher geschilderten Verfahren auf

¹⁾ Auerbach nimmt dies für sein auf die Hertzsche Begriffserklärung (*L* 202) gegründetes Verfahren allerdings in Anspruch, aber das Verfahren ist in der Auerbachschen Form für unsre praktischen Zwecke sehr wenig brauchbar. Vielleicht lässt sich mit dem Rudeloff-Föpplischen Verfahren besser arbeiten; wenigstens sind bei ihm die Probekörper leicht herzustellen und gestatten ohne Schwierigkeit eine mehrmalige Wiederholung des Versuches mit den gleichen Körpern.

die Feststellung der Oberflächenhärte ab, und man war in Erkennung dieses Umstandes zuweilen auch bemüht, die Härte des Gesamtkörpers begrifflich festzustellen. Hierbei ging man zumeist von den Festigkeitseigenschaften der Körper aus und versuchte die Härte aus den beim Festigkeitsversuch gewonnenen Ergebnissen abzuleiten [Hauptgruppe II der Härteprüfungsverfahren]. Reiser (*L 204*, S. 6) definiert unter Berufung auf Ledebur, z. B.:

„Härte ist der Widerstand, welchen ein Körper sowohl dem Eindringen eines anderen festen Körpers — Bohren, Sägen, Feilen — als auch einer bleibenden Formänderung durch Druck oder Zug entgegensetzt.¹⁾ Mit der Härte steigt die Elasticitätsgrenze, so dass Körper, deren Elasticitätsgrenze hoch liegt, auch bedeutende Härte zeigen. Liegen in diesem Falle auch die Elasticitätsgrenze und Festigkeit nahe bei einander, so ist der Körper hart und spröde, z. B. weisses Roheisen; liegt dagegen zwischen Elasticitätsgrenze und Festigkeit noch ein grosser Zwischenraum, so ist der Körper hart und zäh.“²⁾

Auch Auerbach, Hartig, Kirsch u. A. wollen die Elasticitätsgrenze³⁾ als Maass für die Härte angewendet wissen, und Kirsch kommt sogar in Folge dieses Strebens dahin, dass er soviel besondere Härten eines Materiales annimmt, als er Beanspruchungsweisen kennt. Man sieht leicht ein, in welchem Maasse die Sache sich verwickelt.

354. Ich will bei der Definition von Reiser-Ledebur einen Augenblick verweilen, um die Gründe vorzuführen, die es mir unmöglich machen, mich der Anschauung anzuschliessen, dass Härte durch die Elasticitätsgrenze allein gemessen werden könne. Reiser erkennt zunächst im zweiten Theil seines ersten Satzes zwei Härten an, eine die durch Druck und eine die durch Zug wachgerufen wird. „Mit der Härte steigt die Elasticitätsgrenze“, sagt Reiser. Da nun Gusseisen, wie viele andere Materialien, keine vollkommene Elasticität besitzt, die Elasticitätsgrenze, wie wir sie definirten, nämlich σ_P , oder die Elasticitätsgrenze der älteren Definition, nämlich die Spannung σ_E , die zuerst eine bleibende Formänderung erzeugt, beim Gusseisen sehr niedrig liegt, so wäre Gusseisen kein harter Körper. Da nach

¹⁾ In „Stahl und Eisen“ 1894 S. 479 sagt Ledebur: „Unter der Bezeichnung „Härte“ lässt sich ebensowohl der Widerstand eines Körpers gegen Zerspaltung [z. B. beim Bohren] als auch die Sprödigkeit verstehen, welche der Körper an den Tag legt, wenn er irgendwie auf Festigkeit beansprucht und dadurch einer Formänderung unterworfen wird. In der letzteren Auslegung bildet demnach Härte den Gegensatz zur Geschmeidigkeit.“

Ich liess einige Worte gesperrt drucken, um die Vielheit in dieser Erklärung und die Schwierigkeit, sie sich zum klaren Verständniss zu bringen, hervortreten zu lassen. Härte wäre also Sprödigkeit. Im Sprachgebrauch ist Sprödigkeit das Gegentheil von Zähigkeit. Ein zäher Körper kann hiernach nicht hart sein. Manganstahl lässt sich zu einer Schleife, also in ausserordentlich hohem Maasse biegen und ist so hart, dass er mit schneidenden Werkzeugen nicht bearbeitet werden kann.

²⁾ In der zweiten Auflage seines Werkes (*L 204*) liess Reiser diese Definitionen fallen.

³⁾ Praktischer würde es immerhin sein, an Stelle der Elasticitätsgrenze, also von σ_E oder σ_P , die Streckgrenze σ_S einzuführen, weil diese sich leichter bestimmen lässt und auch bislang in der Praxis meistens unter der Bezeichnung Elasticitätsgrenze verstanden wird. Dann hat man aber keine neue Eigenschaft, sondern nur eine neue Bezeichnungsweise für eine altbekannte Eigenschaft des Materials.

Reiser der Zwischenraum zwischen σ_B und σ_P (bezw. σ_E) entscheidend für die Benennung „zäh“ und „spröde“ sein soll, so würde, da für Gusseisen $\sigma_B - \sigma_P$ gross ist, Gusseisen ein weicher und zugleich zäher Körper sein; das widerspricht offenbar unserer Erfahrung.¹⁾ Auf Druck geprüft würde Gusseisen aber noch viel weicher erscheinen, weil σ_B ganz erheblich grösser als σ_P und dabei σ_P (bezw. σ_E) ebenso wie σ_P sehr niedrig, wenn nicht bei Null liegt. Ganz abgesehen von diesem Umstande, tritt folgendes Hinderniss auf. Die Elasticitätsgrenze in unserem Sinne, nämlich σ_P , ist schon recht schwierig genau zu bestimmen, aber noch viel umständlicher und schwieriger ist die Spannung beim Eintritt der bleibenden Formänderung festzustellen; soll man hierbei die elastischen Nachwirkungen vorübergehen lassen? oder soll man ihren Betrag als bleibende Formänderung in Rechnung stellen? In der That werden hierin von den Autoren Spielräume gewährt, indem sie einen gewissen Betrag von bleibender Formänderung zulassen; aber hierdurch wird die Grenze kaum fester, ihre Bestimmung praktisch kaum erleichtert.

355. Wollen uns die Vertreter für die Elasticitätsgrenze als Härtemaass auch die Benutzung der *P*-Grenze [oder noch besser der *S*-Grenze] einräumen, so wird die Schwierigkeit keine geringere. Für Gusseisen und die Materialien ohne *P*-Grenze bleiben die bereits geschilderten Umstände bestehen. [Für Gusseisen würde σ_S nahezu mit σ_B zusammenfallen; nur σ_S würde einigermaassen sicher zu bestimmen sein.] Man denke aber nur an die bereits besprochenen Versuche Bauschingers über die Veränderung der Elasticitätsgrenze durch Ueberanstrengung (Abschnitt *i* 2 S. 207)! Welche von den vielen *P*-Grenzen [oder *S*-Grenzen], die künstlich erzeugt werden können, soll als Härtemaassstab angenommen werden? oder soll man sich auch die Härte des Materiales als im gleichen Maasse wie σ_P schwankend denken? Alle Verfahren, die auf Bestimmung der Elasticitäts- oder Streckgrenze als Maass für die Härte hinausgehen, haben mit den genannten Schwierigkeiten zu kämpfen, wenn sie theoretisch auch noch so gut begründet sind. Will man aber schon auf diese Weise einen Maassstab für die Härte bilden, so erscheint es mir praktischer, hierbei von der *S*-Grenze auszugehen. Man würde dann nicht einen besonderen Versuch für die Härtebestimmung nöthig haben, sondern könnte die Ergebnisse der Festigkeitsversuche ohne weiteres benutzen, um den Grad der Zughärte, der Druckhärte, der Biegehärte u. s. w. anzugeben, und hätte dadurch den Vorzug, dass man alle älteren Versuchsergebnisse, bei denen ja die „Elasticitätsgrenze“ in der That meistens unserem σ_S entspricht, sogleich an den neuen Maassstab anschliessen könnte. Aber welchen Gewinn hätten wir hieraus für die Erkenntniss der Materialeigenschaften?

356. Für die praktische Materialprüfung kommt noch ganz etwas anderes hinzu. Alle diese Verfahren setzen im Grunde genommen homo-

¹⁾ Es dürfte aber auch zu Widersprüchen mit den Anschauungen des gewöhnlichen Lebens führen, wollte man die absolute Grösse der Differenz $\sigma_B - \sigma_P$ [oder $\sigma_B - \sigma_S$] als Maassstab für die Einreihung aller Materialien nach ihrer Zähigkeit (in Reisers Sinne) benutzen. Offenbar wird hieran auch nicht gedacht worden sein; man hat die Definition vielmehr in erster Linie den bekannten Konstruktionsmaterialien angepasst.

gene Körper voraus. Wir haben aber, namentlich unter den Metallen, nur sehr wenige wirklich homogene Körper. Bleiben wir beim Gusseisen! Gusseisen besteht, wie bekannt, aus einem Zellwerk einer härteren Legirung zwischen Eisen, Kohlenstoff und anderen Elementen und aus einer weicheren Eisenmasse mit Kohlenstoffausscheidungen, die sich als Kern in den Zellen befindet. Prüft man also Gusseisenstücke auf Druck zwischen Flächen, so ist es selbstverständlich, dass der Widerstand des härteren Zellwerkes in anderem Maasse wachgerufen wird, als derjenige der eingelagerten weichen, gewissermaassen zur Versteifung des Gerippes dienenden Masse. Alle Methoden der Härteprüfung, die mit Endflächen an den Stempeln arbeiten, bestimmen daher in ihrem jeweiligen eigenen Sinne die mittlere Härte [dasselbe gilt natürlich für alle Ergebnisse des Festigkeitsversuches] des von Zellwerk und Füllmasse gebildeten Körpers. Alle Verfahren, die mit schneidenförmigen oder spitzen Stempeln arbeiten, bestimmen, je nachdem wie der Stempel zufällig trifft, die Härte des Zellwerkes oder die Härte der Füllmasse, wenn der Stempel nicht tief in den Probekörper eingetrieben wird. Wird aber der Stempel einigermaßen tief eingetrieben, so tritt der voraufgehend erläuterte Fall ein.

357. Alle bis jetzt aufgeführten Umstände und besonders die Ueberlegung, dass es wünschenswerth sein muss, die Kenntniss der Materialeigenschaften durch von einander möglichst unabhängige Verfahren zu erweitern, haben mich veranlasst, bei Konstruktion eines Härteprüfers für die Versuchsanstalt zu Charlottenburg (*L 188*) auf das Ritzverfahren zurückzugreifen und in Ausbildung des Turnerschen Verfahrens (*L 203*) die Ritzung mit einem Diamanten *D*, Fig. 240 mit kegelförmiger Spitze von nahezu 90° Spitzenwinkel vorzunehmen, unter dem das Probestück mit einem Schlittenwerk *S* langsam verschoben wird. Der Diamant *D* ist an einem Waagebalken *w* befestigt und kann durch Verschieben des Laufgewichtes *L* nach und nach belastet oder entlastet werden. Turner hat den Versuch in der Weise ausgeführt, dass er den Diamanten belastete, so dass er einen deutlichen Strich beschrieb. Unter Entlastung von Stufe zu Stufe zog er Strich neben Strich, bis diese Striche dem blossen Auge verschwanden, um dann wieder stufenweise zu belasten, bis die Striche wieder erkennbar wurden. Als Maassstab für die Härte benutzte er die mittleren Belastungen des Diamanten in Grammen, welche gerade den Strich verschwinden und wieder erscheinen machten. Da es aber praktisch schwer ist, diese Thatsache zuverlässig festzustellen, weil Uebung und Sehschärfe des Beobachters, Güte der Beleuchtung u. s. w. von Einfluss auf das Ergebniss sind, so habe ich das Verfahren dahin abgeändert, dass ich entweder die Belastung des Diamanten in Grammen als Härtemaassstab wählte, die eine bestimmte Strichbreite z. B. $10\mu = 0,01\text{ mm}$ erzeugte, oder zur Vereinfachung des Verfahrens auch den reciproken Werth der Strichbreite in μ annahm, die unter einer bestimmten Belastung des Diamanten erzeugt wurde.

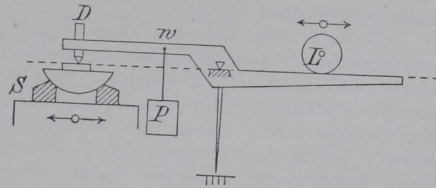


Fig. 240.

a. Der erstere Maassstab ist theoretisch einwandfreier, weil die Strichbreiten

nicht so sehr durch die Unvollkommenheiten des Diamanten beeinflusst sind. Es ist nämlich sehr schwer, Diamanten von tadelloser Form zu erhalten, da die Spitzen durch Spalten des rohen Diamanten und Abschaben der scharfen Kanten mit Diamantsplittern hergestellt werden; vollkommen geschliffene Spitzen würden sehr teuer werden.¹⁾ Unter dem Mikroskop zeigt eine Diamantspitze Rauheiten und Höcker, wie in Fig. 241 *a* übertrieben gezeichnet, und die Strichbreite b kann daher bei verschiedener Belastung nicht immer proportional zur Eindringtiefe t werden. Nimmt man nun aber immer gleiche Eindringungstiefe als Maasswerth an, so werden die Kanten des Striches immer von den gleichen Stichelstellen erzeugt, die Striche haben immer gleiches Querschnittsprofil.

Ich muss aber auch noch darauf aufmerksam machen, dass bei manchen Materialien sich neben dem Strich ein Wulst bildet, in Fig. 241 *b* übertrieben ge-

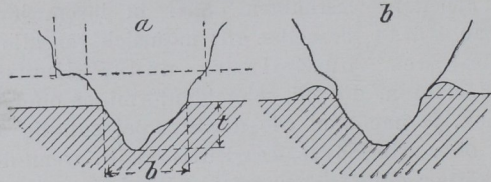


Fig. 241.

zeichnet, der die Messung der wahren Strichbreite zuweilen sehr schwierig, wenn nicht unmöglich macht. Gelingt es nicht, durch geeignete Veränderung der Beleuchtung des Objektes unter dem Mikroskop sich ein Urtheil über die Grösse des begangenen Fehlers zu bilden, so wird man das Prüfungsergebniss als ein angenähertes zu betrachten haben, das die Härte zu klein liefert. Gleiche Materialien werden immer gleiche Erscheinungen zeigen und daher auch stets an gleicher Stelle eingeordnet werden.

Streng lässt sich die zum Eindringen bis auf das vorgeschriebene Maass erforderliche Belastung durch Ausprobiren nicht bestimmen, das würde zu langwierig und umständlich werden. Man geht daher so vor, dass man nahezu die Belastung wählt, die die erforderliche Strichbreite giebt und nun in Gruppen immer fünf Striche zieht, indem man von Gruppe zu Gruppe die Belastung stufenweis ändert, bis in die Gruppen die gewünschte Strichbreite sicher eingeschlossen ist. Dann werden die mittleren Strichbreiten aus den einzelnen Gruppen mit den entsprechenden Belastungen als Ordinaten und Abscissen aufgetragen; aus den Schaulinien wird nun durch Einzeichnen der Ausgleichlinie diejenige Belastung bestimmt, die die Strichbreite 10μ erzeugt haben würde. Die Strichbreiten müssen natürlich unter mikroskopischer Vergrösserung mit dem Mikrometer genau ausgemessen werden.

b. Etwas schneller und einfacher kommt man zum Ziel, wenn man den reciproken Werth der unter einer bestimmten Belastung erzeugten Strichbreite als Härtemaassstab wählt; dies ist für praktische Zwecke, bei denen es sich um schnellen Vergleich mehrerer Proben von bekanntem Material handelt, auch ganz ausreichend. Man zieht dann bei der als Einheit gewählten Belastung (10 oder 20 gr) vielleicht 10 oder 15 Striche und stellt die mittlere Strichbreite fest. Will man stets in dieser Weise vorgehen, so lässt sich Apparat und Verfahren viel einfacher gestalten.

c. Die Methode, die Härte nach meinem Vorschlage durch Ritzung zu bestimmen, hat neben ihrer Einfachheit, wie mir scheint, den Vorzug, dass sie häufig auch die Gleichförmigkeit der Struktur der geritzten Körper beurtheilen lässt. Bei Gusseisen dringt z. B. der Diamant auf dem harten Netzwerk weniger tief ein als in die weiche Füllmasse, und der Unterschied in den Strichbreiten giebt zugleich ein Maass für die Härteunterschiede dieser beiden Materialbestandtheile.

¹⁾ Man würde aber auch durch das Schleifen keine absolute Gleichheit verschiedener Diamanten erzielen, weil sie unter einander verschiedene Härte haben, und weil wahrscheinlich auch die Härte eines Diamanten nach den verschiedenen Richtungen verschieden sein wird. Mit Iridium überzogene Stahlspitzen haben sich nicht bewährt.

Es kommen aber auch Körper mit zelligem Gefüge vor, deren harte Bestandtheile zugleich so spröde sind, dass sie unter dem Diamanten wegbröckeln, namentlich wenn sie zugleich porös sind, so dass die Diamantspitze gewissermaßen in die Poren hineinfällt und dann bei der Weiterführung des Stückes die Zellwänden durchbricht (Bimstein). Für solche Körper kann die Ritzmethode mit Spitzen keinen Maassstab für die Härte liefern. Man müsste dann den Vergleich schon mit einem schneidenförmigen Stichel ausführen, der in die Poren nicht eindringt.

d. Harte pulverförmige Körper prüft man auf ihre Härte am einfachsten, indem man sie in Kork eindrückt und mit ihnen Körper verschiedener Härte zu ritzen sucht.

e. Mikroskopisch kleine Flächen kann man auch nach dem Vorgange von Behrens (L 195) mit verschiedenen harten Nadeln anstechen und so auf ihre Härte prüfen.

f. Ich will übrigens nicht verhehlen, dass über die Zulässigkeit des Ritzverfahrens zur Bestimmung der Härte die Meinungen ausserordentlich getheilt sind (L 147—149; 188—195). Um stark wissenschaftlich veranlagte Gemüther ferner nicht mehr in Aufregung zu versetzen, wird es daher gut sein, durch die Bezeichnungweise anzudeuten, dass ich keinen Anspruch darauf mache, das Härteproblem in ihrem Sinne gelöst zu haben. Um keinen Zweifel bestehen zu lassen, schlage ich vor, die durch die Ritzmethode bestimmte Härtestufe des Materiales als seine **Ritzhärte** und in der Abkürzung mit \mathfrak{H}_r zu bezeichnen. Ich werde also, wo es sich in Zukunft um Härtegrade handelt, die mit meinem Apparat bestimmt sind, nur von der Ritzhärte des Materiales reden.

358. Eine Reihe von Metallen ergab folgende Ritzhärten:

Tabelle 27. Ritzhärte verschiedener Materialien im Vergleich zur Mohsschen Skala.

Art der Körper	Zusammensetzung	Ritzhärte	Mohs
Schellack	—	15,0—17,8	—
Blei	Pb	16,8	1,5
Zinn	Sn	23,4—28,2	2—3
Legirung	CuSn ₅ ; 97:903	36,4	2—3
"	CuSn ₄ ; 119:881	37,8	2—3
Kupfer	Cu	34,3—39,8	3
Zink	Z	42,6	—
Legirung	CuSn ₃ ; 152:848	30,0 u. 44,6*)	2—3
"	CuSn ₂ ; 212:788	21,8 u. 48,7*)	2—3
Messing	—	44,7—52,8	—
Nickel	Ni	55,7	—
Legirung	CuSn; 350:650	— u. 62,5*)	3—4
"	Cu ₂₅ Sn; 932:68	67,5	3
Stahl, weich	—	70,8—76,5	—
Legirung	Cu ₁₀ Sn; 890:110	78,0	3
"	Cu ₂₀ Sn; 915:85	81,6	3—4
"	Cu ₁₀ Sn; 843:157	82,5	3—4
"	Cu ₂ Sn; 482:518	83,0	4
"	Cu ₅ Sn; 729:271	100,0	4—5
"	Cu ₁ Sn; 683:317	102,0	4—5
"	Cu ₃ Sn; 618:382	110,0	4—5
Glas	—	135,5	5—5,5
Stahl, hart	—	137,5—141,0	6—6,5

Man kann die in der Tabelle zusammengestellten Versuchsergebnisse benutzen, um den Maassstab für die Ritzhärte \mathfrak{H}_r mit der Mohsschen Skala \mathfrak{H}_m zu vergleichen und bekommt dann etwa die in Fig. 242 dargestellten Verhältnisse.

359. Die Körper, deren Härte man bestimmen soll, haben nun aber nicht immer solche Formen, dass man sie bequem unter einen Apparat

*) Harte und weiche Stellen.

bringen kann. Der Versuchsanstalt zu Charlottenburg wurde z. B. von einem Hüttenwerk die Aufgabe gestellt, Kalanderwalzen aus Hartguss, die in verschiedenen Fabriken im Betriebe waren, hinsichtlich ihrer Härte zu vergleichen. Dies konnte natürlich nur auf einem Umwege erreicht werden. Zu dem Zweck liess ich eine Reihe von Stahlmeisseln gleicher Form Fig. 243 herstellen und härtete sie in verschiedenem Maasse. Die

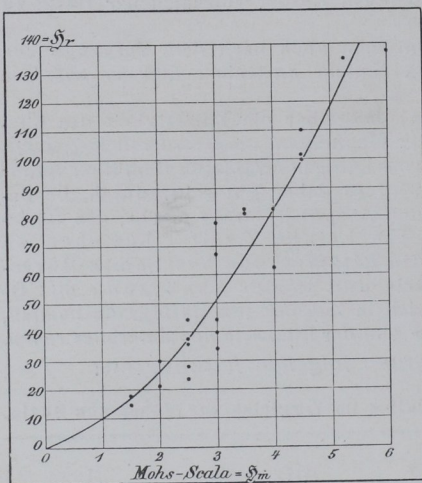


Fig. 242.

Härtestufen der Meissel stellte ich durch das vorhin besprochene Prüfungsverfahren, durch Ritzen fest. Ausserdem verschaffte ich mir eine Reihe von Hartgussproben, ähnlicher Art wie das Material der Walzen. Durch gegenseitiges Ritzen dieser Stücke stellte ich ihre Härtefolge ebenfalls fest. Mit den gleichen Stücken ritzte ich nun die Walzenoberfläche und konnte deren Härte also nach meinen Probekörpern ordnen.

Ausserdem wurde versucht, mit den Meisseln unter Anwendung ganz leichter Schläge Einbiege in die Walzenoberflächen zu machen. Dabei

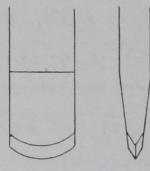


Fig. 243.

wurde festgestellt, welche von den nach ihrer Härte geordneten Meisseln noch Eindrücke in die Walzenflächen machten, ohne ihre Schneide zu verändern und welche Nummern eine stumpfe Schneide bekamen. Auf diese Weise war es möglich, auch die Walzen nach ihrer Härte mit einander zu vergleichen. Selbstverständlich ist dies nur eine rohe Methode, aber man kann von ihr in der Praxis immerhin Gebrauch machen.

1. Zähigkeit und Sprödigkeit.

360. Ebenso wenig wie für die Härte, ist es bis jetzt gelungen für die Zähigkeit und Sprödigkeit eine vollkommen zutreffende Begriffs-erklärung oder Maasszahl zu finden.

Im praktischen Leben wird ein Körper als zähe bezeichnet, wenn er bei grossem Widerstande möglichst grosse Formänderungsfähigkeit zeigt, und als spröde, wenn er schon bei geringen Gestaltsänderungen, namentlich bei plötzlicher Inanspruchnahme, zerbricht. Zähigkeit und Sprödigkeit sind durchaus nicht, wie es auf den ersten Blick scheint, unvereinbar mit einander. Pech ist, wie schon mehrfach hervorgehoben, bei langsamer Formänderung zähe, aber bei stossweisser Beanspruchung sehr spröde. Als Maasswerthe für die Zähigkeit und Sprödigkeit sind verschiedene Grössen vorgeschlagen worden.

361. Eine Reihe von Forschern will den Unterschied zwischen Streckgrenze [von ihnen meistens Elasticitätsgrenze benannt] und Bruchgrenze als Maasswerth für die Zähigkeit benutzen [Reuleaux,