

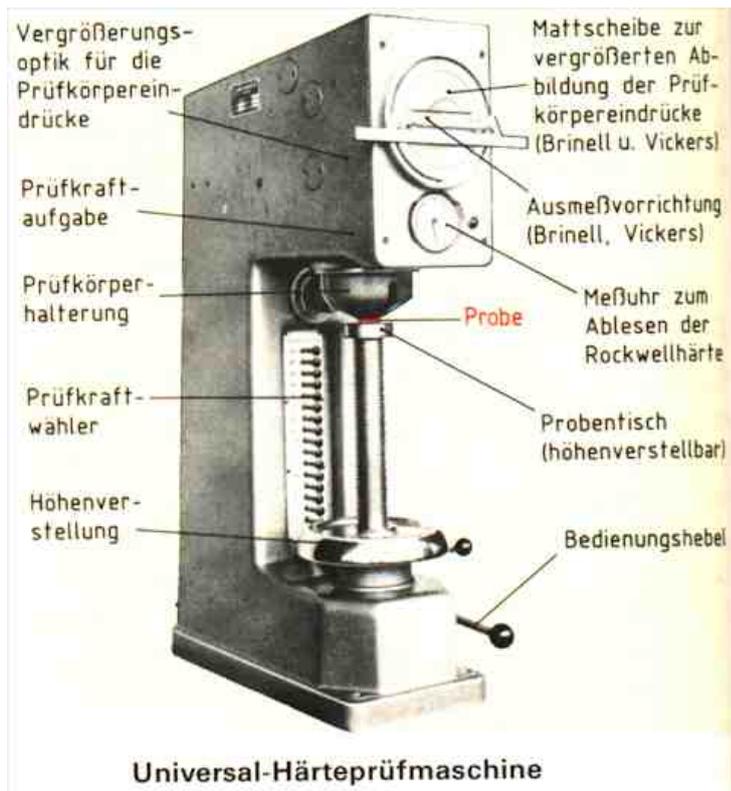
## Härteprüfung

Mohs führte 1811 ein Ritz-Verfahren zur Prüfung der Härte von Mineralien ein. Er ordnete zehn Mineralien derart in eine Härteskala ein, daß jedes Mineral vom folgenden geritzt wird, das vorhergehende dagegen selbst zu ritzen vermag:

	1	Speckstein	Talc	$Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$
(Aluminium)	2	Gips	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
	3	Kalkspat	Calcite	$CaCO_3$
	4	Flußspat	Fluorite	$CaF_2$
(Weicher Stahl)	5	Apatit	Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl)$
(Tafelglas)	6	Feldspat	Orthoclase feldspar	$KAlSi_3O_8$
	7	Quarz	Quartz	$SiO_2$
	8	Topas	Topaz	$Al_2SiO_4(F,OH)$
(Gehärteter Stahl)	9	Korund	Corundum	$Al_2O_3$
(Hartmetall)	10	Diamant	Diamond	C

Zieht man die Vickershärte als Vergleichsmaßstab heran, so ergibt sich, daß der Unterschied zwischen Stufe 9 und 10 fünfmal so groß ist wie der Unterschied zwischen Stufe 1 und 9. Die Härteskala von Mohs konnte sich nur in der Mineralogie behaupten. Für die Härteprüfung von Metallen ist sie zu grob. Auch andere Ritzhärte-Prüfverfahren (z.B. nach Martens) haben keine große Verbreitung gefunden.

Heute bezeichnet man als Härte *den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen entgegensetzt.*



Dementsprechend wird bei den gebräuchlichsten Härteprüfverfahren ein harter Prüfkörper senkrecht zur Oberfläche der Probe in diese eingedrückt. Unter dem eindringenden Prüfkörper bildet sich in der Probe ein dreiaxiger Spannungszustand aus. Dadurch erklärt es sich, daß sich einerseits auch in so spröden Werkstoffen wie gehärtetem Stahl bleibende Eindrücke ohne Rißbildung erzeugen lassen, daß aber andererseits in weichen Werkstoffen die Verformung bereits bei einer Flächenpressung zum Stillstand kommt, welche hoch über der für den einachsigen Spannungszustand gültigen Fließgrenze des nunmehr kaltverfestigten Werkstoffs liegt.

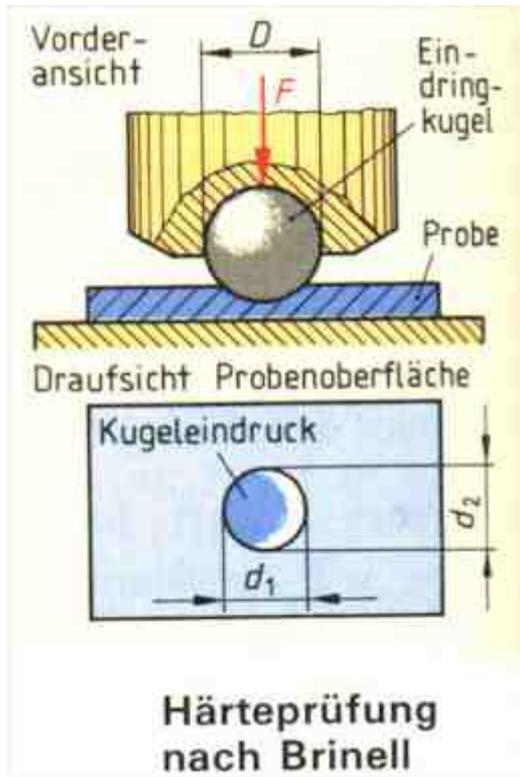
Die große Bedeutung der Härteprüfung liegt darin, daß die Härte eine den Behandlungszustand der Metalle kennzeichnende, in weiten Grenzen veränderliche Eigenschaft ist, daß sie sich leicht und schnell (oft ohne besondere Probenahme) ermitteln läßt, daß das geprüfte Teil dabei meistens nicht unbrauchbar wird ("bedingt zerstörungsfrei") und daß in gewissen Grenzen ein Rückschluß auf die Zugfestigkeit möglich ist.

Es wird nur ein Kennwert ermittelt, die Härtezahl. Sie ist abhängig vom Prüfverfahren. Ein Probe kann also je nach dem angewandten Prüfverfahren ganz verschiedene Härtewerte aufweisen. Im Prüfergebnis ist daher die Angabe des Prüfverfahrens erforderlich.

Die Prüfverfahren unterscheiden sich durch die Gestalt (Pyramide, Kegel, Kugel) und durch den Werkstoff des Eindringkörpers (Stahl, Hartmetall, Diamant) sowie durch die Größe der Belastung 0,02 - 30.000 N) und durch ihre Art (langsam "statisch", stoßartig "dynamisch").

## Härteprüfung nach Brinell

Nach DIN 50 351



Im Jahre 1900 führte der Schwede Brinell auf der Pariser Weltausstellung ein neues Härteprüfverfahren vor. Danach wird eine Stahlkugel vom Durchmesser  $D$  mit einer Prüfkraft  $F$  senkrecht in die ebene, metallisch blanke Oberfläche der Probe eingedrückt. Nach Entlasten wird der Eindrucksdurchmesser  $d$  auf 1/100 mm genau ausgemessen (bei unrundem Eindruck wird der Mittelwert aus zwei senkrecht aufeinanderstehenden Durchmessern gebildet) und die Brinellhärte (mit  $D$  und  $d$  in mm) errechnet:

$$HB = \frac{\text{Prüfkraft}}{\text{Eindruckoberfläche}} = \frac{F}{A} = \frac{F}{0,5 \cdot \pi \cdot D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Vor Einführung der SI-Einheit "Newton" (N) wurde die Prüfkraft  $F$  in kp eingesetzt, so daß sich als Einheit der Brinellhärte  $\text{kp/mm}^2$  ergab. Da nach internationaler Vereinbarung bei Einführung der Einheit Newton die Zahlenwerte der verschiedenen Härteprüfverfahren unverändert bleiben sollen, gilt nunmehr die Berechnungsformel

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A}$$

mit  $F$  in Newton. Der Härtewert wird vor das Kurzzeichen  $HB$  gesetzt; eine Einheit wird nicht mehr angegeben.

Meistens erspart man sich das Ausrechnen und entnimmt die Härtezahl einer Tabelle, welche die bereits errechneten Brinellhärten für alle in 1/100 mm gestuften Eindrucksdurchmesser

enthält. Für jede Kombination aus Prüfkraft und Kugeldurchmesser gibt es eine eigene Tabelle.

Bis zu einer Brinellhärte 400 HB können gehärtete Stahlkugeln verwendet werden. (Genormt sind als Durchmesser die Maße 10, 5, 2,5 und 1 mm.) Darüber hinaus beginnt ihre elastische Abplattung zu stören, indem diese einen Eindruck mit geringerer Tiefe, aber größerem Durchmesser bedingt und dadurch eine zu geringe Brinellhärte vortäuscht. Für härtere Proben ist daher entweder eine Hartmetallkugel zu benutzen, da sie sich weniger abplattet (Wolframkarbid ...  $E = 720000 \text{ N/mm}^2$ ), oder es ist ein anderes Prüfverfahren (z.B. Vickers) zu wählen. Die Prüfkraft ist stoßfrei (z.B. durch eine Ölbremse gesteuert) in etwa 10 Sekunden aufzubringen. Sie soll dann weitere 10 Sekunden wirken, bei weichen, stark fließenden Werkstoffen wie Blei und Zink jedoch mindestens 30 Sekunden (bis zu mehreren Minuten).

Der Abstand der Eindruckmitte vom Probenrand (Gefahr des Ausbeulens) oder von der Mitte eines anderen Eindrucks (Einfluß der Kaltverfestigung) soll mindestens  $2 \cdot d$  betragen.

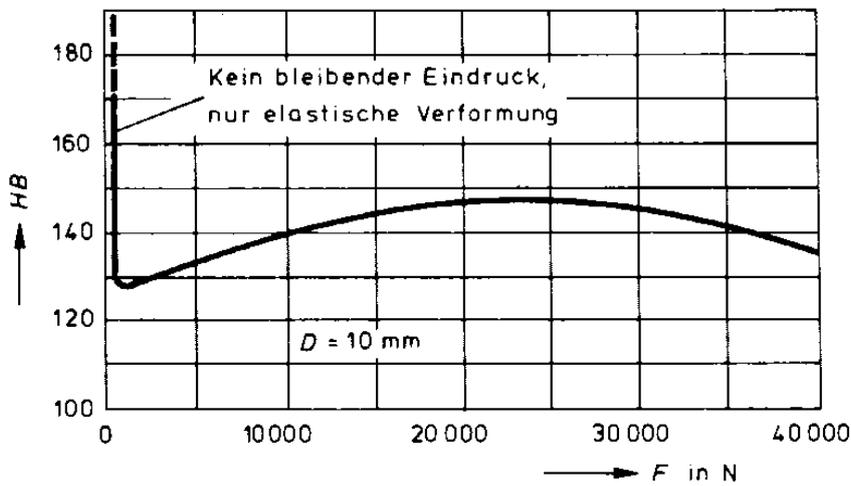
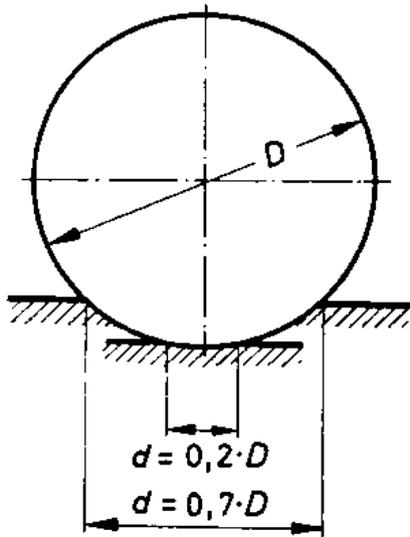
Kugelmesser und Prüfkraft sind so zu wählen, daß auf der Rückseite der Probe keinerlei Verformung zu erkennen ist. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Probendicke  $s_{\min} = 17 \cdot \text{Kugleindringtiefe}$  ist (für Schiedsversuche vorgeschrieben). Für die meisten Fälle der Praxis genügt aber eine Probendicke  $s = 10 \cdot \text{Kugleindringtiefe}$ , obgleich auf der Probenrückseite sichtbar sind und die Härtewerte meßbar beeinflußt werden.

Bei Prüfen dünner Bleche sollte man ein anderes Prüfverfahren wählen und sich nicht mit der Bildung von Paketen behelfen, da in einer dünnen Probe der Werkstoff leichter auf der Unterlage wegfließt und dadurch eine kleinere Brinellhärte vortäuscht.

Der Eindruckdurchmesser soll nicht kleiner sein als  $0,2 \cdot D$  (unscharfer Rand; schlecht meßbar) und nicht größer als  $0,7 \cdot D$  (seitliches Wegquetschen des Werkstoffs)

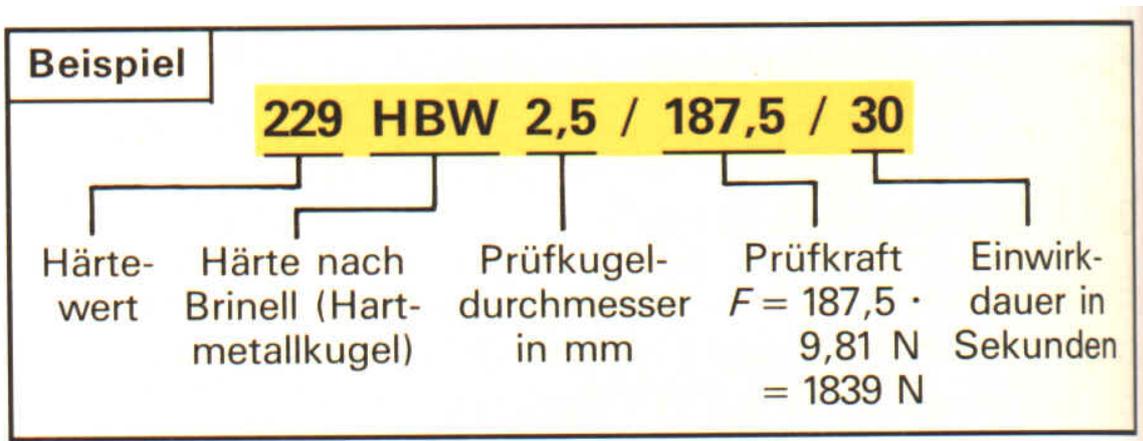
Bedingt durch diese Forderung, haben sich für die einzelnen Werkstoffe gewisse Kombinationen aus Prüfkraft und Kugeldurchmesser eingeführt.

Kugeldurchmesser D	0,102 · Prüfkraft F/N für die Belastungsgrade 0,102*F [N] D <sup>2</sup> [mm <sup>2</sup> ]				
	30	10	5	2,5	1,25
in mm					
10	3000	1000	500	250	125
5	750	250	125	62,5	31,25
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625	7,8125
1	30	10	5	2,5	1,25



*Brinellhärte in Abhängigkeit von der Prüfkraft bei gleichbleibendem Kugeldurchmesser*

Es hat sich gezeigt, daß die Brinellhärte von der Prüfkraft abhängig ist. Das heißt: die Prüfung ein und der selben Probe kann sowohl bei Durchmesser als auch bei gleicher Prüfkraft mit verschiedenen Kugeldurchmessern zu unterschiedlichen Brinellhärten führen.



Ungefähr gleiche Brinellhärten ergeben sich dagegen, wenn die Quotienten aus Prüfkraft und Quadrat des Kugeldurchmessers  $F/D^2$  gleich sind (d.h. bei gleicher "Flächenpressung" ), wie das folgende Beispiel einer Prüfung von weichem Stahl bestätigt:

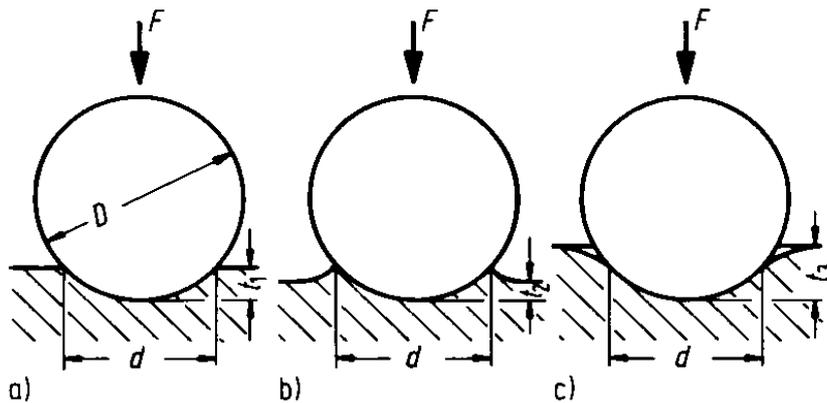
D [mm]	$0,102 \cdot F$ [N]	A [mm <sup>2</sup> ]	Ergebnis
10	3000	21,00	143 HB
10	1000	7,60	132 HB 1000
5	750	5,25	143 HB 5/750
5	250	1,90	132 HB 5/250

In der Prüfkraft-Tabelle ergeben also jeweils nur die vier Kombinationen mit gleichen Belastungsgraden  $x$  (senkrechte Spalten) gleiche Härtewerte.— Die Normen bestimmen, daß dem Zeichen HB der Kugeldurchmesser in mm anzufügen ist, sofern er nicht 10 mm beträgt, sodann - durch Schrägstrich getrennt — der mit 0,102 multiplizierte Zahlenwert der Prüfkraft  $F$  in N, sofern er nicht 3000 beträgt, und schließlich — nach neuem Schrägstrich — die Einwirkungszeit der Prüfkraft, sofern sie nicht 10...15 s beträgt. Aus diesen Angaben läßt sich jedesmal leicht der Belastungsgrad

$$HB = \frac{0,102 \cdot F \text{ [N]}}{D^2 \text{ [mm}^2\text{]}}$$

errechnen.

Vergüteter Stahl	400 HB
St 70, normalgeglüht	215 HB
GG 20	210 HB
CuZn37F41	115 HB 1000
GK-AlSiMg a	90 HB 5/250
GD-Zn A14	70 HB 5/125/30
Al 99, 5F13	35 HB 2,5/15,625/30
LgPbSn 10	23 HB 5/62,5/180



### **Veränderung der Eindringtiefe**

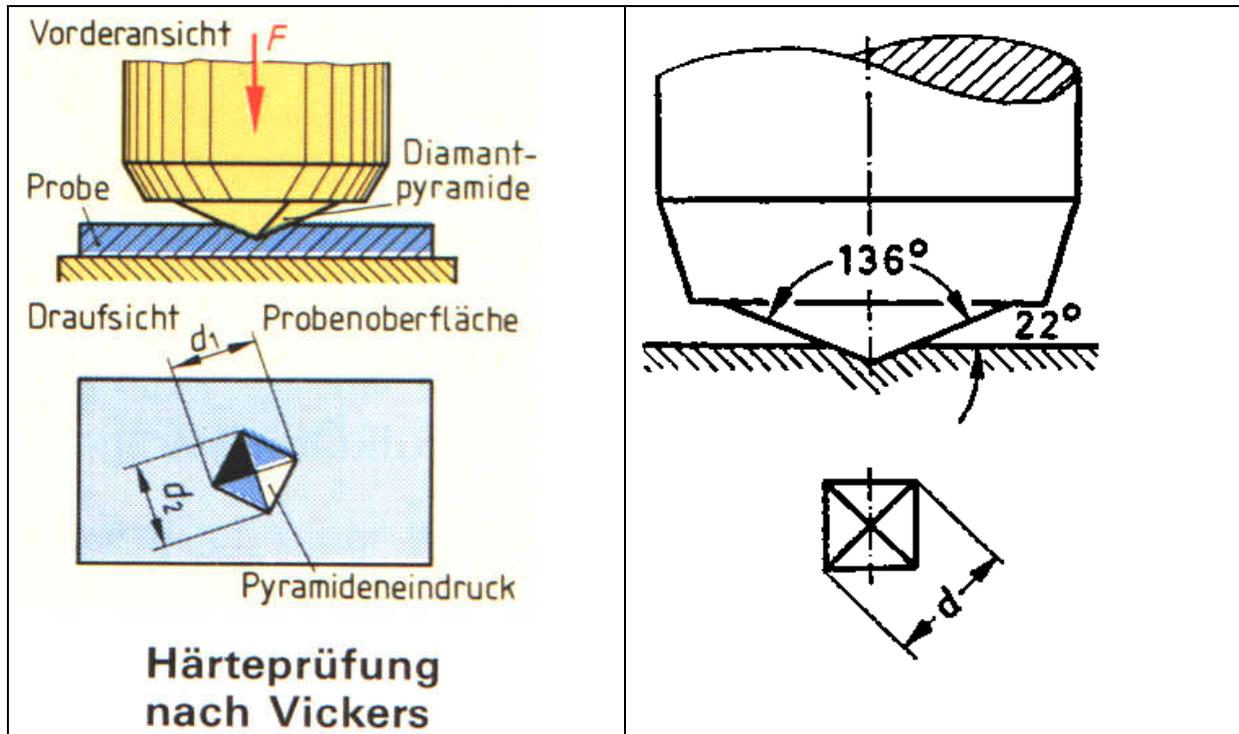
- a) normale Eindringtiefe  $t_1$**
- b) verringerte Eindringtiefe  $t_2$  durch Wulstbildung**
- c) vergrößerte Eindringtiefe  $t_3$  durch Einziehen**

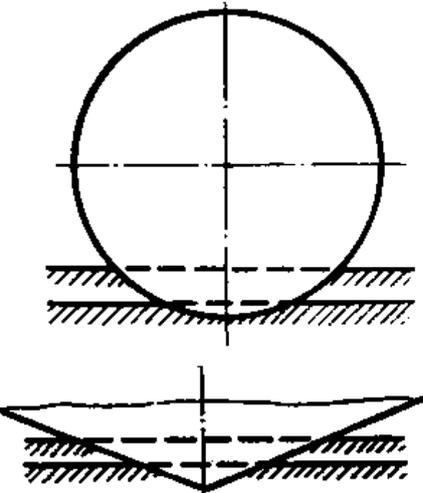
In der Absicht, den Zugversuch durch die billigere Härteprüfung zu ersetzen, fand Brinell zwar keine allgemein gültige, feste Beziehung zwischen Härte und Zugfestigkeit, aber doch eine brauchbare Verhältniszahl, die im Lauf der Jahre durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt und verbessert wurde.

Für die meisten Stähle gilt mit praktisch ausreichender Genauigkeit  $R_m$  ca.  $(3,5 \cdot \text{Brinellhärte})$   $\text{N/mm}^2$ , und zwar bis  $R_m = 1400 \text{ N/mm}^2$ . Dann wird der Faktor größer und erreicht mit  $R_m = 2100 \text{ N/mm}^2$  den Faktor 4,0. Auch für andere Werkstoffe hat man Umrechnungsfaktoren ermittelt. So gilt für 30 mm dicke Probestäbe aus Grauguß  $R_m$  ca.  $(\text{Brinellhärte} - 120) \text{ N/mm}^2$ . Die Anwendung einer dieser angenäherten Beziehungen ersetzt aber nicht den Zugversuch. Vielmehr ist die errechnete Zugfestigkeit mit einem Vermerk zu versehen, z.B. "errechnet aus der Härte".

## Vickers Härteprüfung

Nach DIN 50 133



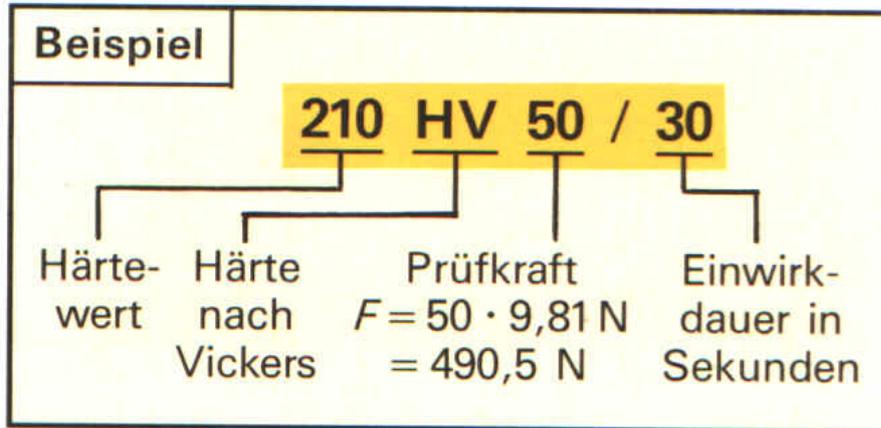
<p><b>Gegenüberstellung Vickers — Brinell</b></p> 	<p>Da die Ermittlung der Brinellhärte über 400 HB wegen der Abplattung der Prüfkugel Schwierigkeiten macht, wurde 1925 nach Ideen von Smith und Sandland in den englische Vickerswerken ein Härteprüfverfahren entwickelt, bei dem als Eindringkörper eine vierseitige regelmäßige Diamantpyramide mit <math>136^\circ</math> Spitzenwinkel zwischen den gegenüberliegenden Flächen benutzt wird (die Spitze ist nicht abgerundet und erscheint selbst unter dem Mikroskop als Spitze). Im übrigen zeigt der Vickersversuch große Ähnlichkeit mit dem Brinellversuch: Die Pyramide wird mit einer Prüfkraft <math>F</math> senkrecht in die Probe eingedrückt. Dann werden die Eindruckdiagonalen <math>d</math> auf.</p>
---	---

0,002 mm genau gemessen, ihr Mittelwert gebildet und die Vickershärte (auch "Pyramidenhärte" genannt (mit  $d$  in mm und  $F$  in N) errechnet

$$HV = \frac{0,102 \cdot F \cdot \cos(22^\circ)}{d^2} = \frac{0,102 \cdot F \cdot 1,8544}{d^2}$$

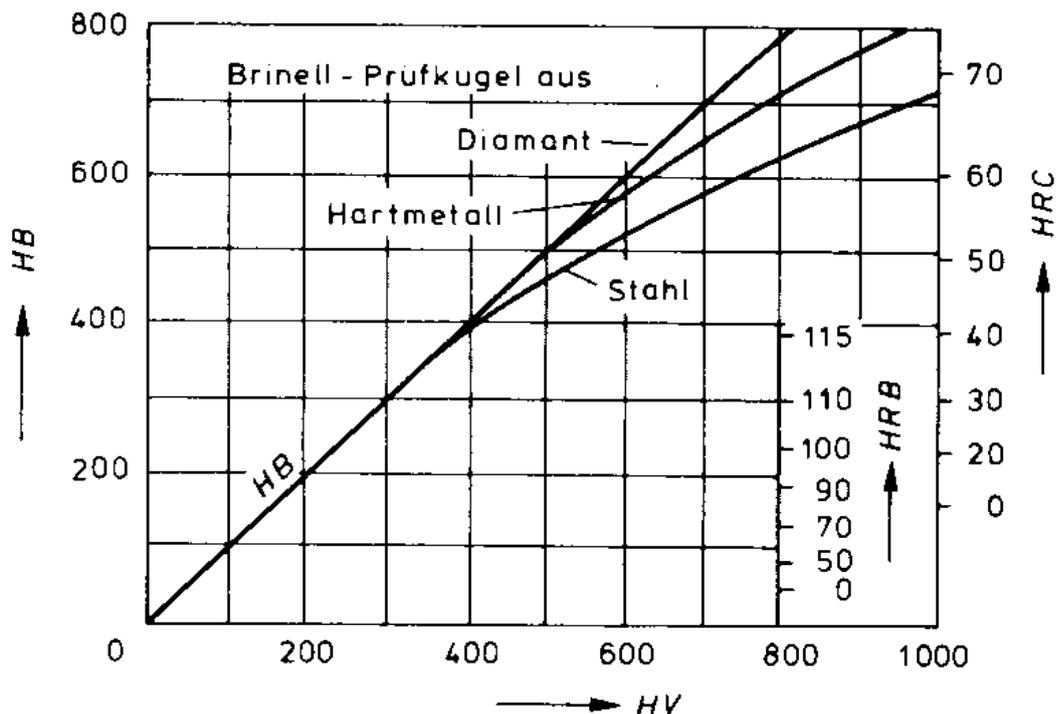
Auch beim Vickersverfahren soll nach DIN durch den Faktor 0,102 erreicht werden, daß die Härtewerte trotz Einführung der Einheit Newton unverändert bleiben.

Praktisch liest man auch die Vickershärte unmittelbar nach der Eindruckdiagonalen aus einer Tafel ab.



Die Pyramidenflächen verschiedener großer Eindrücke schließen immer den gleichen Winkel mit der Oberfläche der Probe ein. Daher haben auch sehr kleine Eindrücke einen scharfen, gut erkennbaren Rand. — Sodann liefert im Gegensatz zur Kugel eine Pyramide bei verschiedenen Prüfkraften geometrisch ähnliche Eindrücke. Daher kommt es, daß z.B. unter der Doppelten Prüfkraft auch die doppelte Eindruckoberfläche erzeugt wird, der Härtewert also gleich bleibt: Die Vickershärte ist unabhängig von der Prüfkraft. Allerdings gilt dies nur für große Prüfkraften herab bis etwa 50 N. Mit kleiner werdenden Prüfkraft zeigen sich folgende Abweichungen:

- Die Streuung zwischen den Ergebnissen mehrerer Einzelmessungen steigt merklich an. Bei einer Prüfkraft von 20 ... 2 ... 0,2 N ist eine Streuung von 4 ... 8 ... 16 % als normal anzusehen.
- Das Verhältnis des Bleibenden (gemessenen) Eindrucks zum gesamten (plastisch + elastisch) Eindruck wird immer kleiner. Die Härte steigt daher (scheinbar) an. Gegenüber dem Härtewert bei einer Prüfkraft von 100 N muß man bei einer Prüfkraft von 20 ... 2 ... 0,2 N mit einer Erhöhung der mittleren Härte von etwa 6 ... 12 ... 24 % rechnen.
- In einem Prüfbereich von 3 N herab bis auf 0,1 N kann sich das Verhältnis Eindruckdiagonale/Korngröße bemerkbar machen. Eine große Eindruckdiagonale erfaßt mehrere Körner, so daß die Härte des Vielkristalls gemessen wird, in dem sich die Kristallite beim Gleiten gegenseitig behindern. Dagegen wird mit sehr kleinen Eindruckdiagonalen, die sehr viel kleinere Einkristallhärte ermittelt; der Härteabfall kann über 50% betragen.



*Vergleich Brinellhärte — Vickershärte (durch Diagramm) und Brinellhärte — Rockwellhärte (durch Skalen)*

Die Vorteile der Vickershärteprüfung bestehen also darin, daß man mit einer Diamantpyramide sowohl weiche als auch harte Werkstoffe (z.B.: Hartmetall) prüfen kann, daß der kleine Pyramideneindruck die Probe weniger beschädigt als ein Kugleindruck und daß man mit Hilfe kleiner Prüfkraften bzw. Eindrücke auch sehr dünne Schichten und Folien (z.B.: eine 0,1 mm starke Nitrierschicht) prüfen kann (sog. "Kleinlasthärteprüfer", 3 . . . 100 N), mit Hilfe eines Mikroskops sogar einzelne Gefügebestandteile, z.B. die unterschiedliche Härte der Lamellen im Perlit oder der Gefügebestandteile in weichfleckigem Stahl ("Mikrohärteprüfer", 0,002 . . . 1 N). Dagegen eignet sich der Brinellversuch besser für heterogene Gefüge wie Grauguß, wenn man mit Sicherheit die mittlere Härte bestimmen will und nicht die Härte eines zufällig erfaßten Gefügebestandteils.

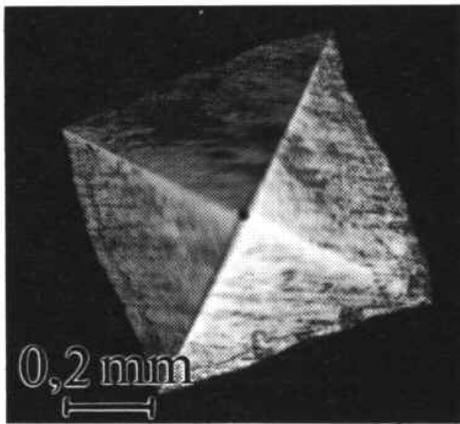
Durch die Wahl des Spitzenwinkels von  $136^\circ$  wurde erreicht, daß die Vickershärte bis zu 300 HV mit der Brinellhärte übereinstimmt. Mit weiter ansteigender Härte beginnt die Brinellhärte hinter der Vickershärte zurückzubleiben.

Als Regelprüfkraften gelten 98,1; 294,3 und 588,6 N. Der Härtewert wird vor das Kurzzeichen HV gesetzt; eine Einheit wird nicht angegeben. — Dem Kurzzeichen HV ist mit der mit 0,102 multiplizierte Zahlenwert der Prüfkraft  $F$  in N anzufügen. An diesen wird, durch einen Schrägstrich getrennt, die Lasteinwirkungszeit in s angehängt, sofern sie von der Regel abweicht. Beispiel: 220 HV 10/60 die Härte 220 wurde mit einer Prüfkraft (10/0,102) N = 98,1 N bei einer Einwirkungszeit von 60 s ermittelt. Aus der Härteangabe kann man die Eindruckdiagonale und damit die Eindringtiefe errechnen. (Die Eindringtiefe beträgt ca.  $1/7$  der Eindruckdiagonalen.) Im allgemeinen werden die Prüfkraft und damit die Eindruckdiagonale so groß wie möglich gewählt (genauer meßbar; besserer Gefügemittelwert). Dem entgegen steht die Forderung, daß nach dem Versuch auf der Rückseite der Probe keine Durchdrückstelle sichtbar ist bzw. daß eine zu prüfende

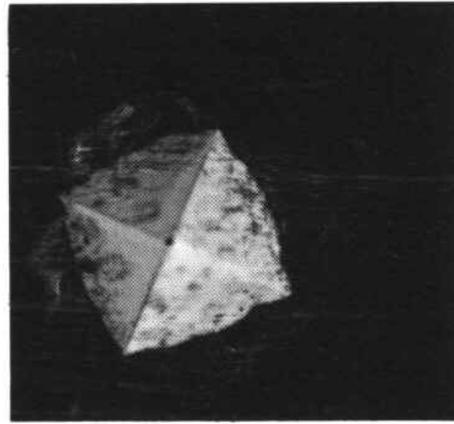
Härtenschicht nicht eingedrückt ist. Die Eindruckdiagonale soll daher nicht größer als  $\frac{2}{3}$  der Proben- bzw. Schichtdicke sein. Ferner muß bei gewölbten Probeoberflächen die Eindruckdiagonale so klein gegenüber dem Krümmungsradius gehalten werden, damit ihre Verzerrung nicht zu Täuschungen führt (Anhaltswerte sind in den Normen angegeben).

Die Prüfkraft soll innerhalb 15 Sekunden aufgebracht werden und in der Regel weitere 30 Sekunden wirken; bei weichen Werkstoffen länger, bei Stahl größerer Härte als 140 HV nur 10 Sekunden.

Der Abstand der Eindruckmitte vom Rand der Probe oder vom Rand des nächsten Eindrucks soll mindestens  $3 \cdot d$  betragen.



a)



b)

### *Veränderung von VICKERSEINDRÜCKEN*

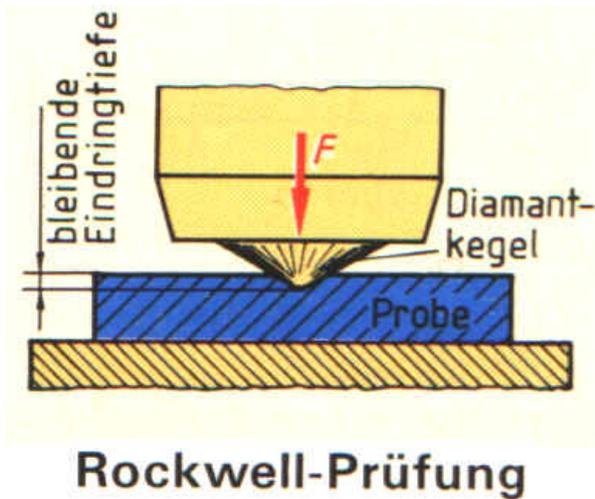
*a) kissenförmiger Eindruck in weichgeglühtem Werkstoff*

*b) tonnenförmiger Eindruck in kaltverfestigtem Werkstoff*

Die grundsätzlichen Versuchsbedingungen (blanke Oberfläche der Probe; stoßfreies Aufbringen der Prüfkraft usw.) sind die gleichen wie beim Brinellversuch. Der Diamant ist vor Stoß und Schlag zu schützen und von Zeit zu Zeit optisch auf Form und Zustand zu untersuchen. Bei der Prüfung von sehr harten Werkstoffen wie Hartmetall sind kleine Prüfkräfte zu verwenden, um den Diamanten zu schonen.

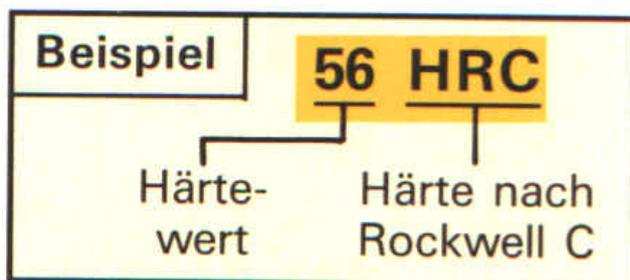
## Rockwell Härteprüfung

Nach DIN 50 103



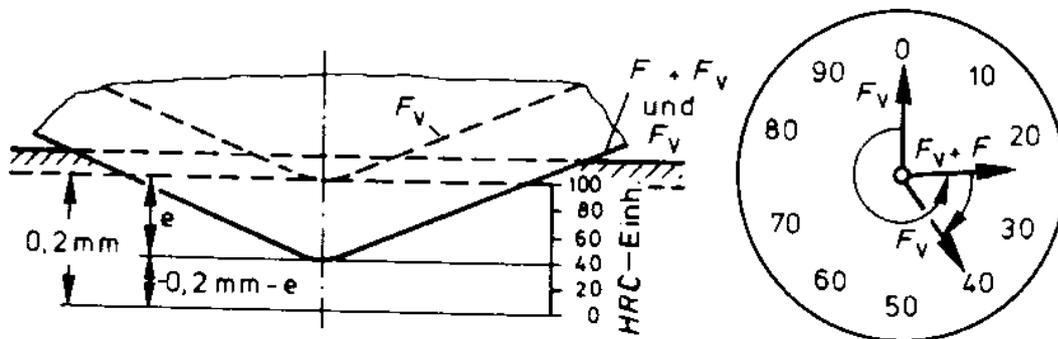
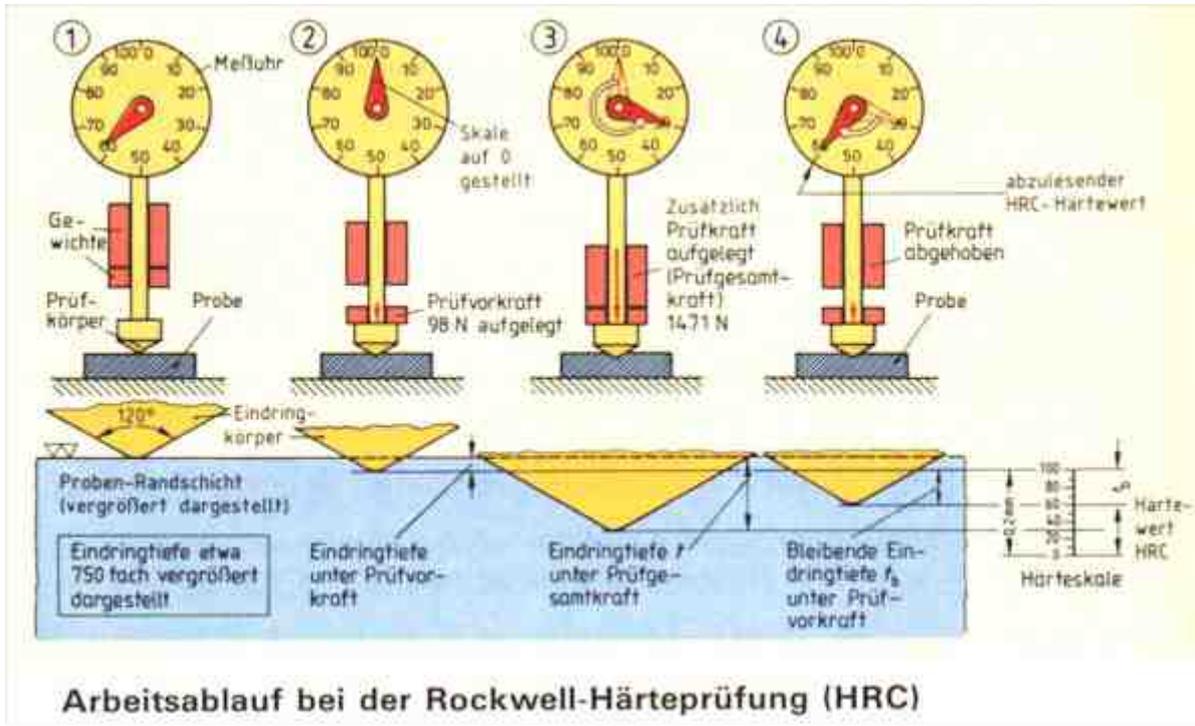
Schon 1908 veröffentlichte Ludwik den Vorschlag die Eindringtiefe eines Diamantkegels zur Beurteilung der Härte eines Werkstoffs heranzuziehen und dabei den Einfluß der Probenoberfläche durch Aufbringen einer Prüfvorkraft auszuschalten. Es ist das Verdienst des Amerikaners Rockwell, auf dieser Idee aufbauend, 1931 ein brauchbares Härteprüfgerät entwickelt zu haben, welches wegen der Einfachheit seiner Durchführung schnell Eingang in die Industrie fand.

Der Vorteil des Rockwellversuches gegenüber dem Brinell- und Vickersversuch liegt in der Schnelligkeit seines Ablaufes: Beim Belasten kann man an der Bewegung des Meßuhrzeigers das Eindringen des Prüfkörpers in die Probe verfolgen. Sobald der Zeiger stillsteht, darf man entlasten, ohne etwa noch eine weitere, vorgeschriebene Eindringzeit abwarten zu müssen. Ein noch größerer Zeitgewinn ergibt sich daraus, daß man, ohne einen Eindruck auszumessen oder eine Tabelle zu benutzen, auf der Meßuhr direkt die Eindringtiefe bzw. die Härte abliest.



Dagegen hat das Rockwellverfahren folgende Nachteile: Die Dicke der Probe soll Mindestens das Zehnfache der Eindringtiefe betragen. Das entspricht zwar der auch beim Vickersverfahren gültigen Bedingung, aber beim Vickersverfahren lassen sich auch sehr kleine Eindrücke genau ausmessen, während das beim Rockwellverfahren nicht der Fall ist; denn die Eindringtiefe beträgt nur einen Bruchteil des Eindruckdurchmessers bzw. der Eindruckdiagonalen. Für sehr dünne Proben bzw. Schichten ist daher das Vickersverfahren besser geeignet. Zwar hat man, um diesen Nachteil zu beseitigen, in Amerika eine ganze Reihe von Rockwellverfahren mit verschiedenen Lasten und Eindringeinheiten entwickelt, in

Deutschland sind aber nur die beiden nachstehend beschriebenen Verfahren genormt worden, von denen auch nur das Rockwell-C-Verfahren weitere Verbreitung gefunden hat.



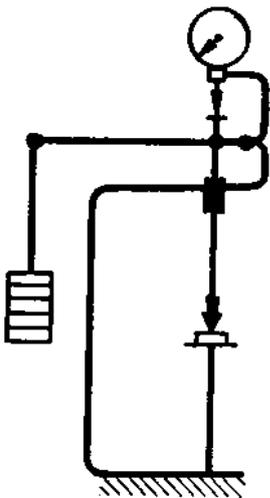
$F_v = \text{Vorlast}$        $F = \text{Hauptlast}$

$$\frac{0,2 \text{ mm} - e}{0,002 \text{ mm}} = \frac{0,2 \text{ mm} - 0,12 \text{ mm}}{0,002 \text{ mm}} = \frac{0,08}{0,002} = 40 \text{ HRC}$$

### Vorgänge bei der Rockwell-C-Prüfung

Beim Rockwell-C-Verfahren wird als Eindringkörper ein Diamantkegel (C = cone = Kegel) mit einem Spitzenwinkel von 120° und einem Abrundungsradius von 0,2 mm benutzt. Zunächst wird ein Prüfling von 98,1 N aufgebracht und das Zifferblatt der Meßuhr so gedreht, daß ihr Zeiger auf Null steht. Dadurch wird das Spiel in der Maschine und vor allem der Einfluß der Probenoberfläche ausgeschaltet. Dann wird zusätzlich die Prüfkraft von 1373 N aufgebracht. Dabei läßt sich das Eindringen des Diamanten an der Bewegung des Zeigers verfolgen, da die Zahlen auf der Meßuhr nicht die Eindringtiefe angeben, sondern gleich die

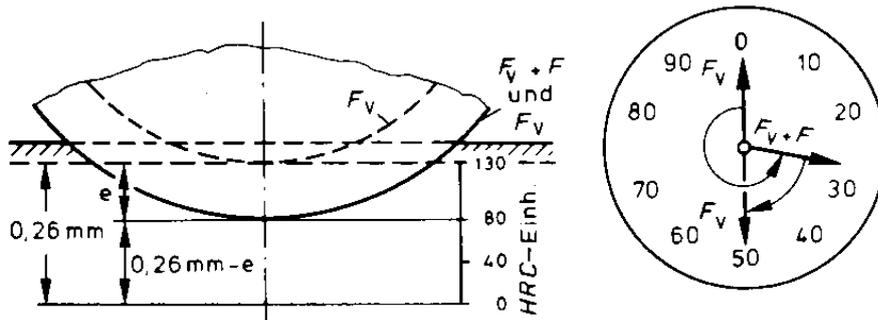
Härtezahlen, muß sich der Zeiger beim Eindringen des Diamanten entgegengesetzt zum Zählsinn drehen. Die Meßuhr zeigt aber auch die Verformungen von Maschine und Probe an und täuscht dadurch eine zu große Eindringtiefe vor. Darum wird vor dem Ablesen erst die Prüfkraft wieder abgenommen. Die Meßuhr zeigt dann nur denjenigen Weg an, den der Diamant auf Grund bleibender Verformung zurückgelegt hat, also seine bleibende Eindringtiefe. Alle anderen, elastischen Verformungen sind wieder herausgefedert. dabei macht die Rückfederung im Eindruck so wenig aus (ca. 1/10 Rockwelleinheit), daß sie im Bild nicht berücksichtigt wurde. Dagegen kann die elastische Verformung einer Probe aus Stahlblech (z.B. Sägeblatt) 50 . . . 100 Rockwelleinheiten ausmachen. Auf jeden Fall muß vermieden werden, daß sich der Probe unter der Prüfkraft zusätzlich zum Eindruck bleibend verformt (z.B. durch Biegung), weil dann das Ergebnis falsch wird.



### **Einfluß elastischer Verformungen**

Nun wird aber die Eindringtiefe  $e$  nicht mit der Härte der Proben größer, sondern mit ihrer Weichheit. Rockwell hat daher auf Grund von Erfahrungen die Eindringtiefe  $e = 0,2$  mm als Grenzwert mit der Härte Null bestimmt und die Eindringtiefe von  $e = 0,2$  mm bis  $e = 0$  in hundert gleiche Teile zu je  $0,002$  mm entsprechen 100 HRC-Einheiten geteilt. Damit erhielt er sinnfällig mit der Härte ansteigende Härtezahlen. -- Die Rockwellhärte ist dimensionslos. An Werkstoffen geringerer Härte als 160 HB läßt sich keine Rockwell-C-Härte ermitteln, weil der Diamant unter der Prüfkraft tiefer als  $0,2$  mm in die Probe eindringt. In diesen Fällen läßt sich aber das Rockwell-B-Verfahren anwenden.

Beim Rockwell-B-Verfahren wird als Eindringkörper eine gehärtete Stahlkugel (B...ball = Kugel) von  $1/16'' = 1,59$  mm Durchmesser benutzt und als Gesamtkraft  $98,1 + 882$ , N aufgebracht. Grundsätzlich spielen sich dabei die gleichen Vorgänge ab wie beim Rockwell-C-Versuch, und die Prüfung läßt sich auf der gleichen Maschine durchführen, nachdem der Diamant gegen die Kugel ausgewechselt wurde. Rockwell hat aber, um auch weiche Werkstoffe zu erfassen, beim HRB-Verfahren als Grenzwert mit der Härte  $HRB = 0$  die Eindringtiefe  $e = 0,26$  mm bestimmt und dementsprechend die Eindringtiefe von  $e = 0,26$  mm bis  $e = 0$  in 130 gleiche Teile zu je  $0,002$  mm, also in 130 HRB Einheiten geteilt. Beim Eindringen der Kugel um  $0,26$  mm würde sich der Zeiger um 130 HRB-Einheiten links herum drehen und bei 70 stehen bleiben. Diese Stellung entspräche der Härte  $HRB = 0$ . Zählt man nun von 70 ausgehend rechts herum die Härteeinheiten, so bedeutet die 0 bereits 30 HRB, die 10...40 HRB usw., die 50 also 80 HRB, wie es das Beispiel verlangt. -- Es ist also zweckmäßig, vor Aufgabe der Prüfkraft das Zifferblatt so zu drehen, daß der Zeiger auf 30 steht.



$$\frac{0,26 \text{ mm} - e}{0,002 \text{ mm}} = \frac{0,26 \text{ mm} - 0,1 \text{ mm}}{0,002 \text{ mm}} = \frac{0,16}{0,002} = 80 \text{ HRB}$$

### Vorgänge bei der Rockwell-B-Prüfung

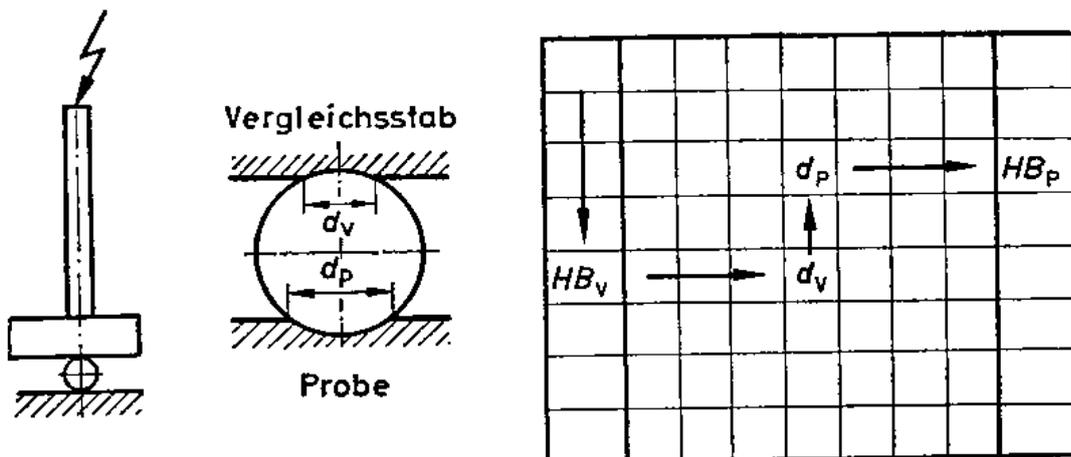
Die Entfernung der Mitte eines Kugel- oder Diamantendrucks von der Mitte des nächsten Eindrucks oder vom Rand der Probe soll mindestens 3 mm betragen. -- Der Krümmungsradius gewölbter Proben soll nicht unter 5 mm liegen. -- Im übrigen gelten grundsätzlich die gleichen Versuchsbedingungen wie beim Brinell- und Vickersverfahren.

In den Normen wird empfohlen, den Rockwell-B-Versuch nur im Bereich 35...100 HRB anzuwenden (...Kugelabplattung!) und den Rockwell-C-Versuch nur im Bereich 20...67 HRC.

Von einer Umrechnung der Rockwellhärte in Brinellhärte oder Zugfestigkeit soll im allgemeinen abgesehen werden. In roher Annäherung gilt für Werkstoffe größere Härte als 200 HB die Beziehung

$$HRC \approx \frac{HB}{10}$$

### Schlaghärteprüfung mit dem Poldihammer



### *Poldihammer mit Auswertungstabelle (schematisch)*

Der auf der Poldihütte in Kladno bei Prag entwickelte Poldihammer besteht aus einer Hülse, in der durch leichten Federdruck ein beweglicher Schlagbolzen gegen einen seitlich eingeschobenen Vergleichsstab quadratischen Querschnitts und dieser wiederum gegen eine lose gefaßte, gehärtete Stahlkugel von 10 mm Durchmesser gedrückt wird.

Zur Härteprüfung wird das Gerät senkrecht auf die Prüffläche gestellt, sodann wird dem Schlagbolzen ein kräftiger Schlag mit einem Handhammer von ca. 1 kg versetzt. Dabei drückt sich die Kugel sowohl in die Probe als auch in den Vergleichsstab ein. Da die Härte  $HB_v$  des Vergleichsstabes bekannt ist, läßt sich die Härte  $HB_p$  der Probe errechnen:

$$HB_p = HB_v \cdot \frac{\sqrt{D^2 - d_v^2}}{\sqrt{D^2 - d_p^2}}$$

Praktisch entnimmt man den Härtewert einer Tabelle. Jeder Vergleichsstab kann auf zwei (nicht gegenüberliegenden) Flächen je etwa 20 Eindrücke aufnehmen.

Vorzüge des Poldihammers: leicht, handlich, in jeder Lage benutzbar; billig.

Ein genauer Vergleich der "Poldihärte" mit der im statischen Versuch ermittelten Brinellhärte ist nicht möglich, denn die langzeitige Druckbeanspruchung unter der Brinellpresse wirkt sich anders aus als die kurzzeitige Schlagbeanspruchung unter dem Poldihammer. Bei diesem sind außerdem die Druckkräfte auf Vergleichsstab und Probe nicht ganz gleich. Schlaghärteprüfer sind daher als einfacher Ersatz für statischer Pressen gedacht und kommen beim Prüfen schwerer Guß- und Schmiedestücke sowie Stangen im Werkstofflager zur Anwendung.

### Baumann-Hammer

Der Baumann-Hammer wird mit seinem in einer Prüfkugel von 5 mm Durchmesser endenden Schlagbolzen senkrecht auf die Prüffläche aufgesetzt und so stark angedrückt, daß sich der Schlagbolzen in das Gerät hineinschiebt, dabei eine Druckfeder mit Schlagring aufzieht, und nach Erreichen einer bestimmten Endstellung wieder auslöst. In diesem Moment schnell die Feder den Schlagring gegen einen Bund des Schlagbolzens, dessen Kugel sich dabei in die Probe eindrückt. Der unbestimmte Hammerschlag wird also durch einen Schlag bestimmter Stärke ersetzt, so daß sich die Benutzung eines Vergleichsstabes erübrigt. Der Eindruckdurchmesser, mit einer Lupe ausgemessen, ergibt nach einer Eich-tabelle angenähert die Brinellhärte der Probe. Vor- und Nachteile sind im übrigen denen des Poldihammers vergleichbar.

### Rücksprunghärteprüfung nach Shore (Shore-Skleroskop)

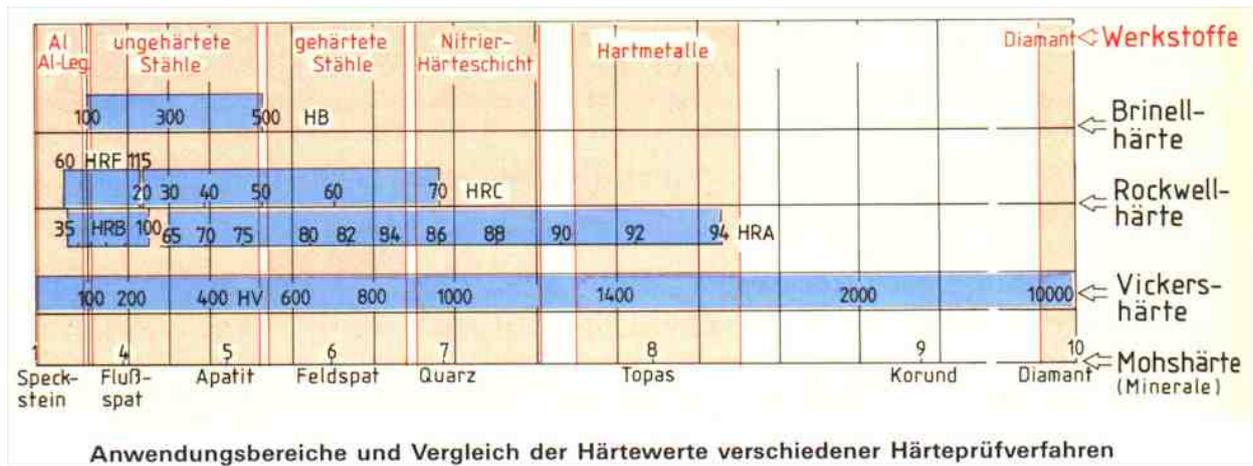
Das Wesen der Rücksprunghärteprüfung liegt darin, daß die Härte der Probe nach ihrer Elastizität beurteilt wird und ihre bleibende Verformung (Eindruck) nur eine geringe, indirekte Rolle spielt.

Bei der Härteprüfung mit einem Shore-Skleroskop (skleros = hart) neuerer Ausführung fällt in einem genau senkrecht ausgerichteten Glasrohr ein Fallhammer von 0,2 N mit abgerundeter Diamantspitze aus 112 mm Höhe frei auf die Prüffläche. Beim Aufprall wird durch einen Teil der Fallenergie je nach Höhe der Elastizitätsgrenze der Probe in dieser ein stets sehr kleiner, bleibender Eindruck erzeugt. Der Rest der Energie wird in elastische Verformung von Probe und Fallhammer umgesetzt und sofort wieder als kinetische Rücksprungenergie an den Fallhammer zurückgegeben, der durch eine Spreizvorrichtung in seiner höchsten Rücksprunglage festgehalten wird. Je härter die Probe, desto größer die Rücksprunghöhe. Bei den üblichen Skleroskopen ist die Rücksprungskala in 130 gleiche Teile eingeteilt (aber nicht in mm). Für Eichzwecke gilt: Unlegierter eutektoidischer, glashart gehärteter Stahl hat die Shore-Härte 100 (Skalenteile Rücksprunghöhe).

Zwar gibt es Vergleichstabellen, aber eine allgemein gültige Beziehung zur Brinellhärte besteht nicht. Trotzdem findet das Shore-Skleroskop weitgehend Anwendung, um durch Vergleichsmessungen die Gleichmäßigkeit von Wärmebehandlungen zu überprüfen. Der kleine bleibende Eindruck stört in der Regel nicht und läßt sich notfalls mit einem Schabestrich beseitigen. Ein Vorteil des Verfahrens liegt auch in der Kürze der Versuchszeit, wodurch es sich besonders zur Härteprüfung an warmen Teilen eignet.

## Vergleich der Härteprüfverfahren

Verfahren	Eindringkörper	Vor- und Nachteile	Anwendung
<b>Brinell HB</b>	Stahlkugel 	Genau, reproduzierbare Werte Nur für weiche und mittelharte Werkstoffe	Geglühter und vergüteter Stahl Leichtmetalle, Schwermetalle
<b>Vickers HV</b>	Diamantpyramide 	Universell einsetzbare Härteprüfung Für mittelharte und harte Werkstoffe	Gehärteter Stahl, gehärtete Randschichten, Gefügebestandteile
<b>Rockwell HRC HRA</b>	Diamantkegel 	Direkte Anzeige des Härtewertes Für harte Werkstoffe	Gehärtete Stähle und Legierungen, Hartmetalle
	<b>HRB HRF</b> Stahlkugel 	Direkte Anzeige des Härtewertes Für mittelharte und weiche Werkstoffe	Ungehärtete Stähle, CuZn-Legierungen



## Schrifttum

- Domke, Wilhelm: Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung. 10. Ver. Auflage 1986, 1994
- Cornelson Verlag, Berlin ISBN 3-7736-1220-6 Fachkunde Metall, A-51. Auflage 1993, Europa-Lehrmittel
- Bargel, Hans-Jürgen et al.: Werkstoffkunde. VDI Verlag 1994. ISBN 3-18-401125-9