

HÄRTE

Härte ist der mechanische Widerstand,
den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt.

Zu den wichtigsten Eigenschaften der Steine zählt die Härte. Härte ist nicht nur der Widerstand gegen härtere Körper, sondern auch der Widerstand gegen weichere und gleich harte Körper. Die Definition der Härte ist eine andere als die der Festigkeit, welche die Widerstandsfähigkeit eines Stoffes gegenüber Verformung und Trennung zum Mittelpunkt hat.

Die Härte eines Körpers lässt Rückschlüsse auf vielerlei Eigenschaften zu, wobei sich diese nach der Art des Körpers richten. Ein Beispiel ist das Verschleißverhalten. Harte Brillengläser zerkratzen weniger, harte Zahnräder nutzen sich langsamer ab. Bei der Auswahl von Werkzeugschneiden wie Fräskopf oder Drehmeißel ist die Härte von besonderer Bedeutung, denn harte Schneiden bleiben länger scharf.

Vielfache Anwendung und je nach fachlichem Schwerpunkt andere Akzentsetzung findet der Begriff der Härte in der Festkörperphysik, der Materialwissenschaft bei der Analyse von Werkstoffen und in den Geowissenschaften bei der Charakterisierung von Gesteinen und Mineralen. Beide überschneiden sich diesbezüglich auch mit den Ingenieurwissenschaften, wobei die Härte vor allem in der Ingenieurgeologie eine größere Rolle spielt. Die Härte gehört mit der Risszähigkeit, Festigkeit, Duktilität, Steifigkeit, Dichte und der Schmelztemperatur zu den Werkstoffeigenschaften eines Werkstoffes.

Härte und Festigkeit

Die Härte eines Werkstoffs hat nur bedingt etwas mit der Festigkeit des Werkstoffs zu tun, auch wenn die Festigkeit die Prüfverfahren zur Härtemessung, die auf der Eindringtiefe verschiedener Prüfkörper beruhen, beeinflusst. Der Einfluss der Festigkeit kann durch die Messung auf dünnen Filmen zwar reduziert, aber nicht völlig vermieden werden.

In bestimmten Fällen steht die Härte eines Werkstoffs allerdings in einem umwertbaren Zusammenhang zur Werkstoff-Festigkeit. Dann kann durch die verhältnismäßig preiswerte Härteprüfung eine meist viel aufwendigere Zugprüfung ersetzt werden. Von praktischer Bedeutung ist die Möglichkeit, eine Umwertung der Brinell- oder Vickershärte auf die Zugfestigkeit von Baustählen vorzunehmen. Dadurch können beispielsweise bei Prüfungen an Stahlkonstruktionen Materialverwechslungen nachgewiesen werden.

Die meisten Materialien großer Härte haben auch eine hohe Sprödigkeit, sie lassen sich also kaum plastisch verformen und brechen plötzlich. Darauf beruht unter anderem die Technik des Glasschneidens.

Für die Konstruktion von Bauteilen müssen Härte und Zähigkeit sinnvoll ausgeglichen werden: Das harte, spröde Bauteil bricht leicht, wenn einmal eine Belastungsspitze auftritt. Zähes (also weniger hartes) Material würde dies schadlos oder nur mit geringen Folgen überstehen. Letzteres würde sich jedoch schnell abnutzen. Es wird daher oft angestrebt, einen großen Innenbereich (Kern) aus zähem, festem Werkstoff mit einer sehr harten Oberflächenschicht zu versehen. Diese bringt zwei Vorteile: Die Beständigkeit gegen Abnutzung nimmt zu und Anrisse können sich wesentlich schlechter bilden. Die eigentlichen Lasten werden im Innenbereich aufgenommen.

Härteprüfung und Härteskalen

Die Härte lässt sich nur durch den Vergleich von mehreren Werkstoffen oder Werkstoffzuständen ermitteln. Die Methoden der Härtebestimmung und damit auch der Charakter der Härte ist unterschiedlich.

Die Härte selbst übt einen erheblichen Einfluss auf die Verarbeitung und Verwendung des Steines aus, denn schließlich soll der geschliffene und gefasste Stein den Glanz seiner Flächen lange erhalten. Härte darf nicht mit Festigkeit, Zähigkeit oder Elastizität verwechselt werden. Härte ist daher nicht die Eigenschaft, die das Zerbrechen, Zerschlagen oder Zertrümmern verhindern würde.

Wenn man die Härte von einem Mineral oder Stein mit einem Härtestab prüfte, so wird man feststellen, dass die Eigenschaft der Härte, richtungsabhängig ist. Wir die auf allen Richtungen aufgetragen, und die so erhaltenen Endpunkte miteinander verbunden, erhält man so genannte Härtekurven. Da dies in sich geschlossene Linien sind, lassen sie daher auch eine bestimmte Symmetrie erkennen. Diese kann der Fläche der Symmetrie zugeordnet werden.

Bei Glas würde diese Erkenntnis nicht auftreten, da Glas in allen Richtungen die gleiche Härte zeigt.

Glas ist eine "feste Flüssigkeit" und besteht aus einem *"amorphen, nichtkristallinen Stoff"*, und bei dem gibt es keine Richtungsunterschiede. Die Härtekurve wäre folglich ein Kreis. Die Raumerfüllung ist bei den verschiedenen Mineralen sehr unterschiedlich. Die atomaren Teilchen wirken gegenseitig aufeinander ein und ziehen sich an. Die Anziehungskräfte, die sind um so größer, je geringer ihr Abstand voneinander ist. Diese Kräfte hängen aber auch von der elektrischen Ladung der atomaren Teilchen ab. Bei gleichem Teilchenabstand und gleichem Bauplan zweier Kristallarten ist diejenige härter, deren Teilchen die höhere elektrische Ladung tragen- d.h.. sich also stärker anziehen.

Merke:

Eine charakteristische Eigenschaft der Edelsteine ist ihre Härte. Sie kann definiert werden als Widerstand, den ein Mineral dem Ritzen durch ein anderes entgegensetzt. Bei der Schmuckherstellung ist die Härte von besonderer Bedeutung, da durch sie die Beständigkeit der Steine beim Tragen größtenteils gewährleistet wird.

Als typisches Beispiel für die Beziehung zwischen Härte und Raumstruktur (Kristallstruktur) ist das Mineral „**CYANIT**“, auch „**DISTHEN**“ genannt:

Der Name Cyanit stammt aus dem Griechischen κύανος (dunkles Metall, blauer Glasfluss, Email, Lasurstein, Kupferlasur, Bergblau, Ultramarin; nach Homer) und nimmt Bezug auf die vorwiegend blaue Farbe. Die Bezeichnung Disthen stammt ebenfalls aus dem Griechischen δις σθένος = zweifache Stärke und bezieht sich auf die starke Anisotropie der Härteeigenschaften.

Herausragende Eigenschaft des Cyanit ist seine extreme Anisotropie in Bezug auf seine Härte. Diese variiert zwischen 6 bis 7 in Richtung der b-Achse und 4,5 bis 5,5 in Richtung der c-Achse (Härteangaben nach Mohs). Als zweite besondere Eigenschaft ist die oft intensiv blaue Farbe zu nennen. Beide Eigenschaften führten in der Folge auch zur Namensgebung des Minerals.

Cyanit gehört mit einer Dichte von 3,56 bis 3,67 g/dm³ zu den Schwermineralen zusammen mit Anatas, Brookit, Epidot und anderen. Es ist in Fluorwasserstoffsäure (HF_{aq}) nur schwer löslich und schwach rot fluoreszierend.

Der Name Cyanit wurde dem Mineral 1789 von Abraham Gottlob Werner gegeben. Die Bezeichnung Disthen stammt von René-Just Haüy (1801).

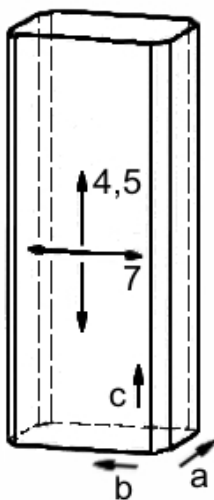
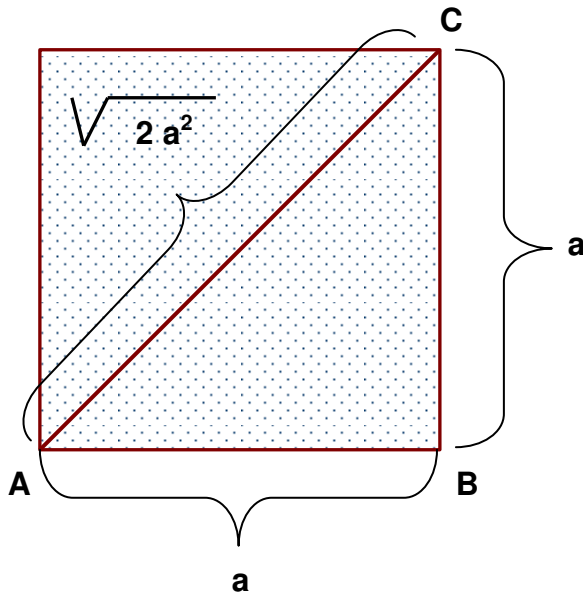


Abb.:
Darstellung der unterschiedlichen Ritzhärte bei Cyanit (Disthen) in Abhängigkeit von der kristallographischen Richtung. Zahlenangaben nach der Mohs'schen Härteskala.

Als Schmuckstein findet Cyanit eher selten Verwendung, da es wegen seiner ungewöhnlichen Härteeigenschaften und der vollkommenen Spaltbarkeit nur schwer zu schleifen ist. Aufgrund seiner Farbe kann es mit Aquamarin, Benitoit, Cordierit, Dumortierit, Saphir und blauem Turmalin (Indigolith) verwechselt werden.

Eine weitere Eigenschaft bei der Härteprüfung ist die **Härteanisotropie**. Der Diamant hat trotz seiner hohen Härte eine geringe Festigkeit. Er lässt sich leicht spalten und zu Bort zerstoßen. Dadurch dass Diamant nicht in allen Richtungen die gleiche Härte besitzt, ist es überhaupt möglich ihn zu schleifen und zu polieren.



Beispiel: **Härteanisotropie**

Auf der Diagonalen AC liegen die Atome weiter auseinander - als auf den Geraden AB oder BC . Während die Geraden AB und BC die Länge a haben, hat die Diagonale eine Länge von $\sqrt{2 a^2}$. Die Atome liegen in dieser Richtung also weiter auseinander. Die Härte ist in dieser Richtung geringer.

Härteprüfung nach Mohs

Harte Werkstoffe ritzen weiche. Diese Einsicht ist Grundlage der Härteprüfung nach Friedrich Mohs, die vornehmlich in der Mineralogie zum Einsatz kommt. Mohs, ein Geologe, ritzte verschiedene Minerale gegeneinander und ordnete sie so nach ihrer Härte. Durch das exemplarische Zuordnen von Zahlenwerten für ausgewählte Minerale entstand eine Ordinalskala, die Mohs-Skala, die in der Mineralogie und Geologie in weitem Gebrauch ist. Angaben zur Härte von Mineralen beziehen sich immer auf die *Mohs-Skala*, falls nichts anderes angegeben ist. Zum Vergleich aufgeführt ist die auch als absolute Härte bezeichnete Schleifhärte nach Rosiwal, die den Schleifaufwand des jeweiligen Stoffes charakterisiert und einen besseren Eindruck von den tatsächlichen Härteverhältnissen gibt. Beide Härteskalen sind einheitslos. Außerdem ist in der Tabelle die Härte nach dem Vickersverfahren angegeben. Sie gibt den besten Bezug auf die heute gängigen Härtemessverfahren wieder.

Mineral	Härte (Mohs)	absolute Härte	Vickershärte in HV	Bemerkungen
Talk	1	0,03	2,4	mit Fingernagel schabbar
Gips oder Halit	2	1,25	36	mit Fingernagel ritzbar
Calcit (Kalkspat)	3	4,5	109	mit Kupfermünze ritzbar
Fluorit (Flussspat)	4	5,0	189	mit Messer gut ritzbar
Apatit oder Mangan	5	6,5	536	mit Messer noch ritzbar
Orthoklas (Feldspat)	6	37	795	mit Stahlfeile ritzbar
Quarz	7	120	1120	ritzst Fensterglas
Topas	8	175	1427	
Korund	9	1000	2060	
Diamant	10	140.000	10.060	härtestes natürlich vorkommendes Mineral; nur von sich selbst und (unter Hitzeeinwirkung) von Bornitrid ritzbar (Inzwischen sind einige wenige, künstlich hergestellte, härtere Materialien bekannt, unter anderem: ADNR).

In der Werkstoffkunde, speziell bei den Metallen, werden vor allem Prüfverfahren eingesetzt, welche die Eindringhärte messen. Dabei werden genormte Prüfkörper unter festgelegten Bedingungen in das Werkstück gedrückt. Im Anschluss wird die Oberfläche oder Tiefe des bleibenden Eindruckes gemessen. Prinzipiell unterscheidet man statische und dynamische Härteprüfverfahren. Die dynamischen Prüfverfahren bringen die Belastung des zu prüfenden Teiles schlagartig auf; bei den statischen Verfahren ist die Belastung gleich bleibend oder allmählich zunehmend.

Bestimmung der Mohs'schen Härte an Rohsteinen

Eine der einfachsten mineralogischen Bestimmungsmethoden ist die Ermittlung der Ritzhärte nach Mohs. Zur Verfügung stehen muss dazu ein entsprechender Satz von Mineralen aus dem gesamten Bereich der Mohs'schen „Härteskala“.



Die Untersuchung erfolgt der Reihe nach mit den verschiedenen Mineralen oder Härtestiften, bis man feststellt, welches Material bzw. welcher Härtestift die Probe ritzt und welches Material von der zu untersuchenden Probe geritzt wird. Wird die zu

untersuchende Probe z. B. von Quarz (Härte 7) geritzt und die Probe hinterlässt Ritzspuren auf Orthoklas (Härte 6), so wird die Härte der Probe mit 6 bis 7 oder auch $6\frac{1}{2}$ angegeben. Zu beachten ist allerdings, dass es sich eindeutig um Ritzspuren und nicht um den Abrieb des Steins von der Härteskala handelt (mit dem Finger drüberwischen!).

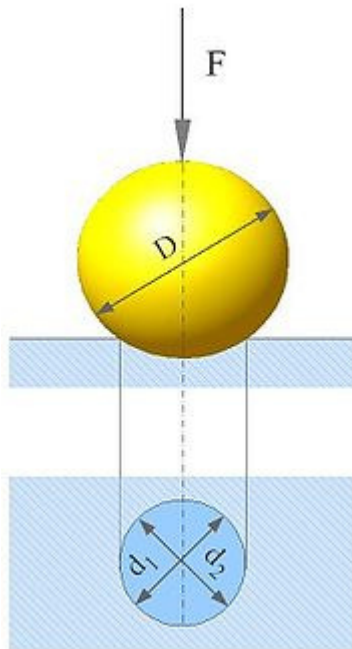
Bei Ritzproben muss auch beachtet werden, dass Minerale in verschiedenen Richtungen z. T. ganz unterschiedliche Härten aufweisen können.

Des Weiteren ist wichtig, die Untersuchung nur mit scharfkantigen Stücken auf unverwitterten Mineralflächen durchzuführen. Diese Methode ist nicht zerstörungsfrei und daher nur für Rohsteine anzuwenden.

Um in bestimmten Fällen dennoch eine Aussage über die Härte bei geschliffenen Steinen machen zu können, kratzt man das Material sehr vorsichtig an der Rondiste an. Dafür können entsprechende Feilen oder Härtestifte verwendet werden.

Mohshärtetabelle mit Vergleichsmineralien									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Talk	Gips	Calcit	Fluorit	Apatit	Orthoklas	Quarz	Topas Spinell	Korunde	Diamant
	Bernstein 2 - 2,5	Koralle, Malachit, Perlen 3 - 4		Lapislazuli Türkis 5 - 6		Aquamarin, Smaragd 7,5 - 8		Rubin, Saphir,	
				Opal, Hämatit 5,5 - 6,5		Granat, Turmalin, 7 - 7,5			
					Chrysopras, Achat, Jaspis, Jadeit, Peridot, Tansanit 6,5 - 7				

Härteprüfung nach Brinell



Kugelschlaghärteprüfgerät

Die vom schwedischen Ingenieur Johan August Brinell im Jahre 1900 entwickelte und auf der Weltausstellung in Paris präsentierte Methode der Härteprüfung kommt bei weichen bis mittelharten Metallen (DIN EN ISO 6506) wie zum Beispiel unlegiertem Baustahl oder Aluminiumlegierungen, bei Holz (ISO 3350) und bei Werkstoffen mit ungleichmäßigem Gefüge, wie etwa Gusseisen, zur Anwendung. Dabei wird eine Hartmetallkugel mit einer festgelegten Prüfkraft F in die Oberfläche des zu prüfenden Werkstückes gedrückt. Früher wurden als Eindringkörper neben den Kugeln aus Hartmetall auch Stahlkugeln verwendet. Nach dem letzten Stand der Normung ist eine Stahlkugel ab dem Jahr 2006 allerdings

nicht mehr zulässig. Die Norm schreibt jetzt für alle Stoffe Kugeln aus Sinterhartmetall vor. Die verwendeten Kugeln haben Durchmesser von 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, 2 mm und 1 mm.

Nach einer Belastungszeit von 10 bis 15 Sekunden für Stähle oder Gusseisen und 10 bis 180 Sekunden für Nichteisenmetalle oder deren Legierungen wird der Durchmesser des bleibenden Eindrucks im

Werkstück gemessen und daraus die Oberfläche des Eindrucks bestimmt. Der zu bestimmende Durchmesser d ist der Mittelwert zweier rechtwinklig zueinander liegenden Durchmessern d_1 und d_2 des bleibenden Eindrucks. Bei anisotroper Verformung wird der zur Berechnung der Härte nötige Durchmesser aus dem größten d_1 und kleinsten Durchmesser d_2 gemittelt.

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Das Verhältnis von Prüfkraft zur Eindruckoberfläche multipliziert mit dem Wert 0,102 bezeichnet man als die *Brinellhärte*.

Der angegebene Zahlenfaktor ist der Kehrwert von 9,81 und dient der Umrechnung der Krafteinheit Newton in die ältere Einheit Kilopond. Damit wird sichergestellt, dass Härtmessungen unter Verwendung moderner Einheiten dasselbe Resultat ergeben wie historische Werte, die auf heute veralteten Einheiten beruhen.

$$HBW = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

In obiger Formel ist die Kraft F in N, der Kugeldurchmesser D und der mittlere Eindruckdurchmesser d in mm einzusetzen.

Normgerechte Angabe der Brinellhärte: (nach DIN EN ISO 6506-1 Stand: 03/2006)

Neben dem Härtewert muss auch das verwendete Verfahren, der Kugeldurchmesser und die Prüfkraft immer mit angegeben werden.

Bsp.: 345 HBW 10/3000

wobei:

345 = Härtewert

HBW = Prüfverfahren*

10 = Kugeldurchmesser D in mm

3000 = Belastung (Kraft F) in Kilopond kp

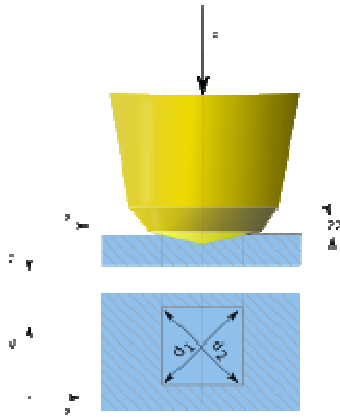
Bei einer Belastung die länger als 15 s dauert muss die Belastungszeit ebenfalls angegeben werden. Bsp.: 210 HBW 5/750/60

*Bem.: Angaben wie HB oder HBS sind laut aktueller Norm nicht mehr zulässig (siehe DIN EN ISO 6506-1:2005 Stand: 03/2006 Kap 4.1 „Formelzeichen und Abkürzungen“)

Eine Abwandlung der Brinellprüfung ist die Prüfung mit dem Poldihammer, bei welcher der Eindruck der Kugel durch einen undefinierten Hammerschlag von Hand erzeugt wird. Wegen der schlagartigen Belastung handelt es sich um ein dynamisches Härteprüfverfahren. Dabei dringt die Kugel rückseitig in einen Metallstab mit definierter Härte ein. Aus dem Verhältnis der beiden Eindruckdurchmesser kann dann die Härte des Prüflings berechnet werden. Die Methode hat den Vorteil, dass mit ihr beliebig gelagerte Prüflinge und verbaute Bauteile vor Ort geprüft werden können. Die auf diese Weise ermittelten Härtewerte stimmen zwar nicht exakt mit den statisch ermittelten Härtewerten überein, für die in der Industrie gestellten Ansprüche sind sie jedoch in den meisten Fällen ausreichend. Die Bezeichnung „Poldi“ stammt vom gleichnamigen Stahlwerk im tschechischen Kladno, wo diese Prüfmethode entwickelt wurde.

Bei un- und niedriglegierten Stählen kann aus der Brinellhärte mit gewisser Toleranz die Zugfestigkeit (R_m) des Werkstoffes abgeleitet werden. $R_m \approx 3,5 \cdot HBW$

Härteprüfung nach Vickers



Vickers-Härteprüfung

Der *Brinellprüfung* sehr ähnlich ist die im Jahr 1925 von Smith und Sandland entwickelte und nach der britischen Flugzeugbaufirma Vickers benannte Härteprüfung, die zur Prüfung harter und gleichmäßig aufgebauter Werkstoffe dient, aber auch zur Härteprüfung dünnwandiger oder oberflächengehärteter Werkstücke und Randzonen eingesetzt wird. Sie ist in der Norm nach DIN EN ISO 6507^[1] geregelt. Im Gegensatz zur Rockwellprüfung wird eine gleichseitige Diamantpyramide mit einem Öffnungswinkel von 136° unter einer festgelegten Prüfkraft in das Werkstück eingedrückt. Aus der mittels eines Messmikroskops festgestellten Länge der Diagonalen des bleibenden Eindrucks wird die Eindruckoberfläche errechnet. Das Verhältnis von Prüfkraft in der Einheit Kilopond zur Eindruckoberfläche (d in Millimetern) ergibt mit dem Faktor 0,1891 multipliziert die Vickershärte (HV).

Die Härteprüfung nach Vickers ist in drei Bereiche zu unterteilen:

1. Vickers-Härteprüfung: $F = 49 \text{ N}$
2. Vickers-Kleinkraftprüfung: $F = 1,961 \text{ N} - 49 \text{ N}$
3. Vickers-Mikrohärteprüfung: $F = 0,09807 \text{ N} - 1,961 \text{ N}$

$$HV = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

dabei ist

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Normgerechte Angabe der Vickershärte:

Neben dem Härtewert muss auch das verwendete Prüfverfahren und die Prüfkraft immer mit angegeben werden.

Bsp.: 610 HV 10

wobei:

610 = Härtewert

HV = Verfahren

10 = Prüfkraft F in Kilopond

Die Vickersprüfung wird normalerweise an einem festen Prüfgerät durchgeführt, welches nicht wackelt oder gestört werden kann. Für Prüfungen an sehr großen und/oder festen Bauteilen gibt es auch tragbare Härteprüfgeräte, die magnetisch oder mechanisch auf dem Prüfstück befestigt werden.

Die Härteprüfung nach Vickers gehört zu den Zerstörungsfreien Prüfungen und ist daher sehr vielseitig einsetzbar. Vor allem bei Bauteilen, die nicht beschädigt werden dürfen.

Anwendung findet die Vickershärte beispielsweise in der Angabe „45H“ bei Gewindestiften mit Innensechskant oder „14H“ und „22H“ bei Gewindestiften mit Schlitz sowie in der Zahntechnik bei Dentallegierungen. (Die Festigkeitsklassen 14H, 22H, 33H und 45H erhält man durch Division durch 10, sie entsprechen also Vickershärten HV (min.) von 140, 220, 330 und 450.)

Dentallegierungen

Die Härte zahntechnischer Metalle wird nach Vickers bei Edelmetalllegierungen mit der Prüfkraft HV5 (entspricht 50 Newton) und bei NEM-Legierungen mit HV10 gemessen.

Für Dentallegierungen werden drei Härtewerte unterschieden:

- w = weich; Härte der Legierung im Anlieferungszustand bzw. nach dem Weichglühen
- a = ausgehärtet; Härte der Legierung nach einer gezielten Wärmebehandlung = „vergüten“
- g/b = Selbstvergütung: Härte der Legierung, die durch langsames Abkühlen nach dem Guss erreicht werden kann

Bei der Prüfdurchführung ist darauf zu achten, dass die Haltezeit der Prüfkraft 10–15 s beträgt. Die Probe muss fest eingespannt und die Prüffläche absolut parallel zum Prüfkörper sein. Verschmutzungen etc. sind zu entfernen. Die Prüfung war erfolgreich, wenn die Kanten des Eindrucks gleichmäßig und die Pyramidenspitze mittig abdrückt sind. In der Praxis ist es zu empfehlen mehrere Eindrücke durchzuführen, den max. und min. Wert dieser Messungen außer Acht zu lassen und den Mittelwert aus den verbliebenen zu ermitteln.

Härteprüfung nach Knoop

Eine Sonderform der Vickers-Härteprüfung ist die nach dem amerikanischen Physiker und Ingenieur **Frederick Knoop** benannte Härteprüfung (DIN EN ISO 4545 - Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Knoop). Die in der Vickers-Prüfung gleichseitige Diamantspitze hat in der Knoop-Prüfung eine rhombische Form. Die Spitzenwinkel betragen $172,5^\circ$ für die lange und 130° für die kurze Seite. Es wird nur die lange Diagonale des Eindrucks ausgemessen. Die Knoop-Prüfung findet häufig Anwendung bei spröden Materialien wie zum Beispiel **Keramik** oder **Sinterwerkstoffen**; bei der Härtemessung an Schichtsystemen stellt sie die genaueste Messmethode dar.

$$HK = 1,451 \frac{F}{l_D^2}$$

Härteprüfung nach Rockwell

Es existieren mehrere von dem amerikanischen Ingenieur und Firmengründer Stanley Rockwell im Jahre 1920 entwickelte Härteprüfverfahren, die für bestimmte Einsatzbereiche spezialisiert sind. Die unterschiedlichen Verfahren werden mit der Einheit HR und einer anschließenden Kennung gekennzeichnet; Beispiele für eine Rockwellbezeichnung sind HRA, HRB, HRC^[2] oder HR15N, bei Härteprüfung an Blechen bis zu einer Dicke von 0,20 mm HR15T und darüber hinaus HR30Tm.

Die Rockwellhärte eines Werkstoffes ergibt sich aus der Eindringtiefe eines Prüfkörpers bei Anlegen einer bestimmten Vor- und Prüfkraft. Prüfkörper, -kräfte, -dauer und Einheitenberechnungsformeln sind in der Norm ISO 6508-1 (DIN EN 10109) festgelegt. Mit einer vorgegebenen Prüfkraft wird der Prüfkörper in die Oberfläche des zu prüfenden Werkstückes vorbelastet. Die Tiefe des Eindringens des Prüfkörpers bei Vorlast dient hierbei als Bezugsebene. Danach wird der Eindringkörper über einen Zeitraum von mindestens zwei Sekunden und maximal sechs Sekunden mit der Hauptlast belastet. Anschließend wird diese wieder entfernt, so dass nur noch die Vorlast wirksam ist. Die Differenz der Eindringtiefen vor und nach Auflegen der Hauptlast ist das Maß für die Rockwellhärte des Werkstoffes.

Die Rockwelleinheiten errechnen sich nach einer (je nach angewandter Normskale unterschiedlichen) Formel aus der Eindringtiefe. Die Eindringtiefe des Prüfkörpers wird mit einer Messuhr festgestellt, die mit der Prüfspitze verbunden ist.

Beim Verfahren nach Skale C (Einheit HRC) wird ein kegelförmiger Prüfkörper aus Diamant mit einem Spitzenwinkel von 120° und einer abgerundeten Spitze mit einem Radius von 0,2 mm verwendet (das C steht dabei für das englische Wort *cone* für „Kegel“). Dieses Prüfverfahren kommt vor allem bei sehr harten Werkstoffen zum Einsatz. Als weitere Rockwelleindringkörper werden Hartmetallkugeln mit einem Durchmesser von 1,5875 Millimetern (HRB, HRF, HRG) oder 3,175 Millimetern (HRE, HRH und HRK) verwendet.

Versuchsablauf:

1. Vorkraft aufgeben (bei HRA, HRB, HRC usw.: 10 kp; bei HRN und HRT: 3 kp)
2. Messuhr nullen
3. Hauptkraft zusätzlich aufgeben (z. B. HRB = 90 kp, HRC = 140 kp)
4. Einwirkdauer hängt vom Kriechverhalten des Stoffes ab:
2 s – 3 s → für Metalle ohne zeitabhängiges plastisches Verhalten
3 s – 6 s → für Metalle mit zeitabhängigem plastischen Verhalten
5. Hauptkraft aufheben
6. Härtewert an der Messuhr ablesen
7. Vorkraft aufheben

Die Rockwellprüfung ist sehr schnell, stellt aber hohe Ansprüche an die Einspannung des Prüflings im Prüfgerät. Sie ist ungeeignet für Prüflinge, die im Prüfgerät elastisch nachgeben, zum Beispiel Rohre.

Beispiele für Rockwell-Härten:

- eine Welle in einem Getriebe kann beispielsweise eine Härte von 48 HRC haben,
- eine Edelstahl-Messer Klinge „Nirosta“ die Härte 53 HRC,
- eine Messer Klinge aus japanischem Ao-Gami-Stahl (Blaupapier-Stahl) die Härte bis zu 61 HRC,
- eine aus Shiro-Gami-Stahl (Weißpapier-Stahl) sogar eine Härte bis zu 65 HRC.

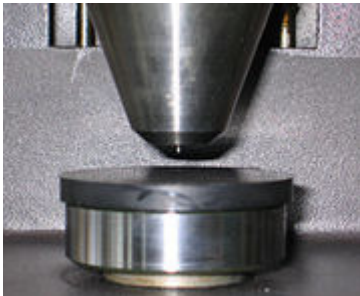
Oberhalb von ca. 70 HRC enden in aller Regel die Möglichkeiten zur spanenden Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide von Oberflächen (Drehen, Bohren, Fräsen); härtere Oberflächen müssen geschliffen werden (Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide).

Messbereich: Für das Verfahren zulässige Härtewerte müssen $20 < \text{HRC} < 70$ liegen.

Härteprüfung nach Shore



Handmessgerät zur Härteprüfung von Elastomeren: Rechts unten die Nadel zur Penetration



6 mm hohe Gummiplatte im Messgerät, darüber die penetrierende Nadel

Für Elastomere

Die Shore-Härte, benannt nach Albert Shore, ist ein Werkstoffkennwert für Elastomere und Kunststoffe und ist in den Normen DIN 53505 und DIN 7868 festgelegt. Das Kernstück des Shore-Härte-Prüfers besteht aus einem federbelasteten Stift aus gehärtetem Stahl. Dessen Eindringtiefe in das zu prüfende Material ist ein Maß für die entsprechende Shore-Härte, die auf einer Skala von 0 Shore (2,5 Millimeter Eindringtiefe) bis 100 Shore (0 Millimeter Eindringtiefe) gemessen wird. Eine hohe Zahl bedeutet eine große Härte. Bei einem Shore-Härteprüfgerät ist eine Zusatzeinrichtung notwendig, die die zu messende Probe mit einer Kraft von 12,5 Newton bei Shore-A bzw 50 Newton bei Shore-D auf den Messtisch andrückt. Bei der Bestimmung der Shore-Härte spielt die Temperatur eine höhere Rolle als bei der Härtebestimmung metallischer Werkstoffe. Deshalb wird hier die Solltemperatur von 23 °C auf das Temperaturintervall von ± 2 K beschränkt. Die Materialdicke sollte im Bereich von 0 bis 50 Shore mindestens 9 Millimeter, bei härteren Substanzen mindestens 6 Millimeter betragen.

- Shore-A wird angegeben bei Weich-Elastomeren nach Messung mit einer Nadel mit abgestumpfter Spitze. Die Stirnfläche des Kegelstumpfs hat einen Durchmesser von 0,79 Millimetern, der Öffnungswinkel beträgt 35°. Auflagegewicht: 1 kg, Haltezeit: 15 s

- Shore-D wird angegeben bei Zäh-Elastomeren nach Messung mit einer Nadel, die mit einem 30° Winkel zuläuft und eine kugelförmige Spitze mit einem Radius von 0,1 Millimetern hat. Auflagegewicht: 5 kg, Haltezeit: 15 s

Eine messtechnisch ähnliche Methode ist die Ermittlung der **IRHD** = „International Rubber Hardness Degree“, im Deutschen auch **Mikrohärte** genannt.

Für Metalle

Dieses Verfahren basiert auf dem Prinzip, dass eine auf das Werkstück fallende Kugel (oder ein Schaft mit Kugelspitze) mehr oder weniger abprallt, je nach der Härte des Werkstückes und der Fallhöhe. Dieses Verfahren wird wenig angewendet da, obwohl es ein sehr simples Verfahren ist, die Präzision sowohl von der Masse des Werkstücks (bei kleinen Werkstücken kann es leicht zum Verrutschen kommen) als auch von der perfekten Senkrechte der Fallachse abhängt. Die Härtemessung wird in Shore-Punkten ausgedrückt und ist nur für große geschliffene Zylinder genormt.

Buchholz-Härte

Die Buchholz-Härte wird für Lacke verwendet, und kann nur bei glatten, mindestens (10 µm + Eindringtiefe) dicken, nicht elastischen Lacken verwendet werden. Zur Bestimmung der Buchholz-Härte nach DIN 53 153, ISO 2815 wird der Buchholz-Härteprüfer, der aus einem runden, spitzen Rad (= Doppelkegelstumpf) und einem Beschwerungsgewicht besteht, für 30 Sekunden auf die waagrechte Oberfläche gestellt, und anschließend die Eindringlänge mit einem 20-fach vergrößerndem Mikroskop vermessen. Die Buchholz-Härte ergibt sich dann mit folgender Formel:

$$\text{Eindruckwiderstand(Buchholz)} = \frac{100 \text{ mm}}{\text{Eindrucklänge}}$$

Zur besseren Erkennbarkeit der Länge wird die Eindruckstelle mit einer Lampe im Winkel von 30° zur Ebene senkrecht zur Eindruckstelle beleuchtet, wodurch sich die Eindruckstelle sehr hell vom restlichen Lack abhebt.

Barcol-Härte

Die Barcol-Härte ist eine Härteskala für glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK). Nach der Norm DIN EN 59 wird sie wie auch die Shore-Härte unter Zuhilfenahme eines Handmessgerätes und eines Kegelstumpfes mit einer flachen Spitze bestimmt.

Martens-Härte

Das Martens-Härteverfahren ist nach dem deutschen Physiker Adolf Martens benannt worden und wird auch als instrumentierter Eindringversuch bezeichnet. Im Jahre 2003 wurde die Universalhärte in Martenshärte umbenannt. Das Verfahren ist in der DIN EN ISO 14577 (Metallische Werkstoffe - Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter) genormt.

Bei diesem Verfahren wird während der Belastungs- und Entlastungsphase kontinuierlich die Kraft und die Eindringtiefe gemessen. Die Martenshärte (HM) wird definiert als das Verhältnis der Maximalkraft zu der dazugehörigen Kontaktfläche und in der Einheit Newton pro Quadratmillimeter angegeben.

Anders als bei den Vickers- oder dem Brinellverfahren wird nicht nur das plastische Verhalten des Werkstoffes bestimmt, sondern es können aus der gewonnenen Messkurve auch weitere Werkstoffparameter wie zum Beispiel der Eindringmodul (Elastischer Eindringmodul – E_{IT}), das Eindringkriechen (C_{IT}) sowie plastische und elastische Verformungsarbeiten bestimmt werden.

Als Eindringkörper sind folgende Formen am gebräuchlichsten: die Vickerspyramide (siehe Vickersverfahren), eine Hartmetallkugel, ein kugeliges Diamant-Eindringkörper und der Berkovich-Eindringkörper. Der Berkovich-Eindringkörper hat eine Spitze wie ein regelmäßiges Tetraeder mit Flankenwinkel 65° . Der Umriss der Eindrücke ist typischerweise etwa dreieckig. ^[3]

Die Umrechnung der Eindringtiefe zur Kontaktfläche muss für jede Eindringkörperform bestimmt werden. Die Kontaktfläche wird für Vickers- und Berkovich-Körper durch das Produkt aus dem Quadrat der Eindringtiefe und der Konstanten 26,43 errechnet.

Spezielle Härteprüfverfahren

Daneben sind einige spezielle Härteprüfverfahren üblich:

- die Universalhärteprüfung ist im Jahre 2003 in Martenshärte umbenannt worden und in der Norm DIN EN ISO 14577 (Metallische Werkstoffe - Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter) festgelegt
- Beim Kugeleindruckversuch nach EN ISO 2039-1 für Kunststoffe wird mit Kugeln von 5,0 mm Durchmesser, einer Vorlast von 9,8 N und Prüflasten von 49,0, 132, 358 oder 961 N gearbeitet. Die gemessene Eindringtiefe muss dabei im Bereich zwischen 0,15 mm und 0,35 mm liegen. Hieraus wird eine reduzierte Prüfkraft und schließlich die *Kugeleindruckhärte HB* in N/mm^2 berechnet bzw. aus einer Tabelle abgelesen.

Maßeinheiten

Die Mohssche Härte und die absolute Härte sind einheitenlose Größen.

Die aus physikalischer Sicht richtige Einheit der Härteprüfung nach Vickers und Brinell wäre $1 N/m^2$ bzw. $1 N/mm^2$. Es muss jedoch beachtet werden, dass diese Prüfverfahren zu Beginn der 20. Jahrhundert entwickelt wurden und seit dem in immer ausführlicheren Normen standardisiert und internationalisiert wurden. Dies hat eine für den Physiker etwas abstrakte Schreibweise der Härtewerte und Einheiten zu Folge. Als Einheit der Härte wird die Abkürzung des Prüfverfahrens sowie die Prüfbedingungen angegeben.

Einige Beispiele sollen dies verdeutlichen:

- Härteprüfung nach Vickers:
610 HV 10
wobei:
610 = Härtewert
HV = Verfahren
10 = Prüfkraft in Kilopond
- Härteprüfung nach Brinell:
345 HBW 10/3000
wobei:
345 = Härtewert
HBW = Prüfverfahren (Angaben wie HB, HBS sind veraltet.)
10 = Kugeldurchmesser D in mm
3000 = Prüfkraft in Kilopond
Bei einer Belastung die länger als 15 s dauert muss die Belastungszeit ebenfalls angegeben werden. Bsp.: 210 HBW 5/750/60
- Härteprüfung nach Rockwell:
58 HRC
wobei:
58 = Härtewert
HRC = Prüfverfahren
- Von Newton und Kilopond:
Früher wurde die Kraft in Kilopond gemessen. Ein Kilopond entsprach der Gewichtskraft eines Kilogramms. Die Umstellung der Einheit der Kraft von Pond auf die Einheit Newton hatte eine Korrektur der Formeln zur Errechnung der Härte-
werte zur Folge. Diese Korrektur ist im Artikel bereits berücksichtigt. Wird beim
Ermitteln des Härtewerts die Krafteinheit Newton und der Korrekturfaktor verwen-
det ist das Ergebnis das selbe wie mit der Verwendung der Krafteinheit Kilopond.
Dies hat den Vorteil, dass alte Härte-
werte, welche zu „Kilopondzeiten“ ermittelt
wurden, weiterhin gültig sind.
Bei der Angabe der Prüfverfahrens wird weiterhin Kilopond verwendet, weil dies
praktischer ist, da gerade Zahlen verwendet werden können.

Härten und Spanen

Die Härte von Stählen kann während der Fertigung beeinflusst werden – siehe auch Härten.

Oberhalb einer Härte von ungefähr 70 (Rockwellhärte HRC) enden in aller Regel die Möglichkeiten zur spanenden Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide von Oberflächen, also durch Drehen, Bohren oder Fräsen. Härtere Oberflächen müssen geschliffen werden, man spricht dabei von Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide.

Umwertung

Im Umgang mit den verschiedenen Härteprüfverfahren ist es oft nötig den gemessenen Härtewert eines Verfahrens in den eines anderen Verfahrens oder der Zugfestigkeit umzuwerten. Aus diesem Grund wurden auf der Basis einer Vielzahl von Vergleichsmessungen empirische Werte ermittelt, Umwertungstabellen erstellt und in der entsprechenden Norm (EN ISO 18265 (Früher DIN 50150)) standardisiert.

Wichtig: für die verschiedenen Werkstoffe gelten unterschiedliche Tabellen. Die nachstehenden Umwertungstabellen können folglich nur als Orientierung angesehen werden. Für eine normgerechte Umwertung ist die entsprechende Norm heran zu ziehen.

Umwertung	Faktor
$HB \Leftrightarrow HV$	$HB \approx 0,95HV$
$HRB \Leftrightarrow HB$	$HRB \approx 176 - \frac{1165}{\sqrt{HB}}$
$HRC \Leftrightarrow HV$	$HRC \approx 116 - \frac{1500}{\sqrt{HV}}$
$HV \Leftrightarrow HK$	$HV \approx HK$ (im Kleinlastbereich)
$R_m \approx cHB$	
Stahl (krz - Fe-Matrix)	3,5
Cu und Cu-Legierung gegläht	5,5
Cu und Cu-Legierung kaltverformt	4,0
Al und Al-Legierung	3,7

Umwertungstabelle¹ für Zugfestigkeit, Brinell²-, Rockwell-, Vickershärte:

¹Gültig für unlegierte und niedriglegierte Stähle. Für Vergütungs-, Kaltarbeits-, Schnellarbeitsstähle sowie für verschiedenen Hartmetallsorten die anderen Tabellen der Norm DIN 50150 verwenden. Gerade bei hochlegierten oder kaltverfestigten Stählen sind hohe Abweichungen zu erwarten

²Die Durchmesserangabe bei der Brinellhärte bezieht sich auf eine 10 mm Prüfkugel.

Zugfestigkeit	Brinellhärte	Rockwellhärte			Vickershärte
MPa	HB	HRC	HRA	HRB	HV
-	-	68	86	-	940
-	-	67	85	-	920
-	-	66	85	-	880
-	-	65	84	-	840
-	-	64	83	-	800
-	-	63	83	-	760
-	-	62	83	-	740
-	-	61	82	-	720
-	-	60	81	-	690
-	-	59	81	-	670
2180	618	58	80	-	650

2105	599	57	80	-	630
2030	580	56	79	-	610
1955	561	55	78	-	590
1880	542	54	78	-	570
1850	517	53	77	-	560
1810	523	52	77	-	550
1740	504	51	76	-	530
1665	485	50	76	-	510
1635	473	49	76	-	500
1595	466	48	75	-	490
1540	451	47	75	-	485
1485	437	46	74	-	460
1420	418	45	73	-	440
1350	399	43	72	-	420
1290	380	41	71	-	400

1250	370	40	71	-	390
1220	376	39	70	-	380
1155	342	37	69	-	360
1095	323	34	68	-	340
1030	304	32	66	-	320
965	276	30	65	-	300
930	276	29	65	105	290
900	266	27	64	104	280
865	257	26	63	102	270
835	247	24	62	101	260
800	238	22	62	100	250
770	228	20	61	98	240
740	219	-	-	97	230
705	209	-	-	95	220
675	199	-	-	94	210

640	190	-	-	92	200
610	181	-	-	90	190
575	171	-	-	87	180
545	162	-	-	85	170
510	152	-	-	82	160
480	143	-	-	79	150
450	133	-	-	75	140
415	124	-	-	71	130
385	114	-	-	67	120
350	105	-	-	62	110
320	95	-	-	56	100
285	86	-	-	48	90
255	76	-	-	-	80