

Kurzzusammenfassung zum Thema Härteprüfung an metallischen Werkstoffen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1 Definition Härte	2
1.2 Einflüsse auf die Härte eines Werkstoffs	2
1.3 Festigkeit, Zähigkeit und Elastizitätsmodul in Bezug zur Härte	3
1.3.1 Definition Festigkeit	3
1.3.2 Definition Zähigkeit	3
1.3.3 Definition Elastizitätsmodul	4
1.4 Warum wird eine Härteprüfung durchgeführt?	4
1.5 Einflüsse auf die Ergebnisse bei der Härteprüfung	4
1.6 Was ist bei der Härteprüfung zu beachten?	5
1.7 Qualifikation vom Prüfpersonal	5
1.8 Dokumentation bei der Härteprüfung	6
2. Klassische Härteprüfverfahren	6
2.1 Brinellhärte HBW (DIN EN ISO 6506)	6
2.2 Vickershärte HV (DIN EN ISO 6507)	7
2.3 Rockwellhärte HRA, HRB, HRC (DIN EN ISO 6508)	8
2.4 Martenshärte (Universalhärte) HU (DIN EN ISO 14577)	9
3. Mobile statische bzw. dynamische Härteprüfungen	10
3.1 Poldi- Hammer	10
3.2 Rückprall – Härte (DIN 50156)	11
3.3 UIC – Verfahren (DIN 50159)	12
3.4 TIV Optisches Through-Indenter-Viewing-Verfahren	13
3.5 Andere mobile Härteprüfverfahren (diese sind hier nicht beschrieben)	13
4. Gegenüberstellung der mobilen Härteprüfverfahren	14
5. Vergleich bzw. Umwertung der verschiedenen Härtewerte	16

1. Einleitung

1.1 Definition Härte

Härte ist der **mechanische Widerstand**, den ein Körper dem Eindringen eines anderen (härteren) Körpers entgegensetzt. Die Härte ist keine physikalische Größe, sondern eine Kenngröße.

In der Werkstoffkunde, speziell bei den Metallen, werden vor allem Prüfverfahren eingesetzt, welche die Eindringhärte messen. Sie basieren im Allgemeinen darauf, dass ein harter Prüfkörper einer bestimmten geometrischen Form durch eine definierte Kraft in die Prüfstückoberfläche gedrückt wird. Im Anschluss wird die projizierte **Oberfläche** oder die **Tiefe** des bleibenden Eindrucks gemessen. Die Größe oder die Tiefe des Eindrucks in Bezug auf die angewendete Prüfkraft ist eine Kenngröße für die Werkstoffhärte. Prinzipiell unterscheidet man in **dynamische** und **statische** Härteprüfverfahren. Die **dynamischen** Prüfverfahren bringen die Belastung des zu prüfenden Teiles schnell bzw. **schlagartig** auf, bei den **statischen** Verfahren ist die Belastung **gleich bleibend** oder **allmählich zunehmend**. Die statischen Verfahren sind deshalb genauer.

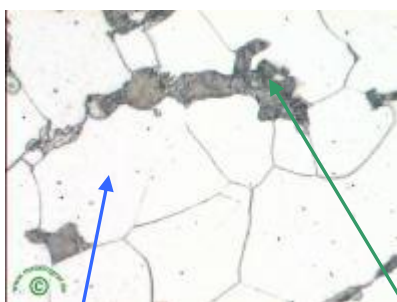
*Bei den meisten Härteprüfverfahren wird nach der Belastung nur der bleibende Eindruck - die **plastische Verformung** – bewertet. Ein eventuell elastisch verformter Anteil wird fälschlicher Weise vernachlässigt.*

1.2 Einflüsse auf die Härte eines Werkstoffs

Folgende Änderung bei einem Werkstoff führen in der Regel auch zur Änderung der Härte:

- Änderung der **Struktur** – z. B. durch Umformung
- Änderung des **Gefüges** – z. B. durch Wärmebehandlung
- Änderung der **chemischen Zusammensetzung**

Gefügebeispiele



Quelle: www.metallografi.de

Untereutektoider Stahl mit einem niedrigen Kohlenstoffgehalt von ca. 0,10 %. Aufgrund dessen ist ein hoher Ferritanteil und nur wenig Perlit vorhanden.

Ferrit

Perlit



Quelle: www.metallografi.de

Stahl mit ca. 0,40 % Kohlenstoff. Das Gefüge besteht zu ca. 50 % aus Ferrit und zu 50 % aus Perlit

Ferrit

Perlit

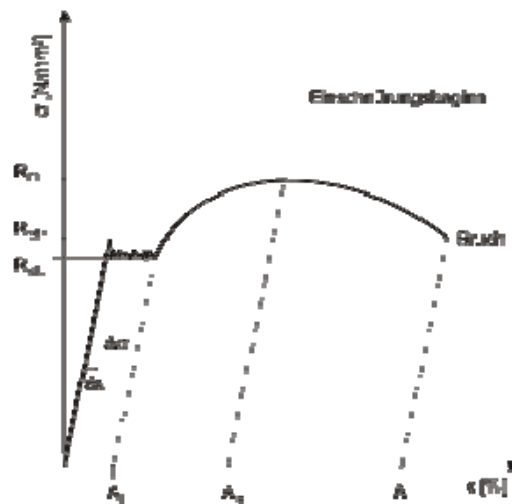
1.3 Festigkeit, Zähigkeit und Elastizitätsmodul in Bezug zur Härte

1.3.1 Definition Festigkeit

Festigkeit ist der mechanische Widerstand, den ein Werkstoff einer äußeren Belastung (z. B. Zug, Druck oder Biegung) entgegensetzt.

Die Festigkeit eines Werkstoffes wird bei einem Zugversuch ermittelt.

$$\sigma = F/A \text{ in N/mm}^2$$



Quelle: Wikipedia

Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Ein Zusammenhang zwischen der Härte und der Zugfestigkeit eines Werkstoffes ist nur bedingt herzustellen. Solche Vergleiche sollten immer kritisch betrachtet werden.

Bei **un- und niedrig legierten** Stählen mit **krz- Fe- Matrix** kann aus der **Brinellhärte HBW** mit gewisser Toleranz die **Zugfestigkeit R_m** des Werkstoffes abgeleitet werden.

$$\text{Zugfestigkeit } R_m \approx 3,5 \times \text{HBW}$$

1.3.2 Definition Zähigkeit

Zähigkeit ist der Widerstand eines Werkstoffes gegen Rissausbreitung und Bruch.

Dabei wird die eingebrachte Energie in plastische Verformung umgewandelt.

Die Kerbschlagzähigkeit wird mit einem Kerbschlagbiegeversuch ermittelt.

Die im Kerbschlagbiegeversuch ermittelte Kerbschlagarbeit **W** geht ebenso wie die Verformungskennwerte **A** (Bruchdehnung) und **Z** (Brucheinschnürung) aus dem Zugversuch nicht direkt in die Festigkeitsberechnung ein. Daher ist mit Hilfe dieser Größen nur eine qualitative Aussage bzw. eine Klassifizierung bezüglich des **Energieabsorptionsvermögens** des Werkstoffes möglich.

$$W = m \cdot g \cdot (h' - h) \text{ in Nm (Joule)}$$

Ein **direkter Zusammenhang** zwischen der Härte und der Zähigkeit **gibt es nicht**.

Man kann aber davon ausgehen, dass Werkstoffe mit **geringer Zähigkeit** (spröde Werkstoffe) meist **höhere Härtewerte** haben.

Die plastische Deformation bei Härteeindrücken erfolgt unter großem allseitigem Druck, der das Auftreten von Bruchmechanismen verhindert. Aussagen über die Bruchzähigkeit sind deshalb aufgrund von Härtewerten nicht möglich.

1.3.3 Definition Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul (E- Modul) ist als Steigung im Spannungs-Dehnungs-Diagramm innerhalb des linearen Elastizitätsbereichs definiert. Dieser lineare Bereich wird auch als Hooksche Gerade bezeichnet.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \text{const.} \quad \text{in N/mm}^2$$

Häufig wird der Elastizitätsmodul mit anderen Materialkennwerten in Verbindung gebracht. Dies ist jedoch nicht einfach:

- Der E-Modul **hat keinen strengen Bezug zur Härte** des Materials
- Der E-Modul hat keinen strengen Bezug zur Streckgrenze R_e des Materials
- Der E-Modul hat keinen strengen Bezug zur Zugfestigkeit R_m des Materials

Ein einfacher Baustahl hat (fast) den gleichen E-Modul wie ein hochlegierter hochfester rostfreier Edelstahl.

Es gibt aber einen generellen Trend:

- Der E-Modul eines Metalls **steigt mit seiner Schmelztemperatur**.

Außerdem gilt:

- Der E-Modul von kubisch raumzentrierten (krz) Metallen ist (bei vergleichbarer Schmelztemperatur) höher als der von kubisch flächenzentrierten.

Der Grund für die Zusammenhänge ist, dass sowohl der E-Modul als auch die Schmelztemperatur der Metalle von der Kraft-Abstands-Kurve der Atome abhängig sind.

1.4 Warum wird eine Härteprüfung durchgeführt?

Mit der Härteprüfung können die charakteristischen mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen und Bauteilen einfach und schnell ermittelt werden. Durch eine Härteprüfung wird das Prüfstück in seiner weiteren Verwendbarkeit meist nicht beeinträchtigt. Deshalb kann die Härteprüfung in den meisten Anwendungen als zerstörungsfreie Prüfung angesehen werden.

Bei der Qualitätssicherung kann sie durch Prüfung der Einhaltung von geforderten Spezifikationen, sinnvoll angewendet werden. So kann mittels Härteprüfung z. B. eine Gleichmäßigkeit der Wärmebehandlung, bei Schweißnähten eine ausreichende Vorwärmung bzw. eine ordnungsgemäße Wärmenachbehandlung überprüft werden. Bedingt kann die Härteprüfung auch als Werkstoffverwechslungsprüfung eingesetzt werden.

1.5 Einflüsse auf die Ergebnisse bei der Härteprüfung

Folgende Eigenschaften des Prüfstücks können Einfluss auf die Härteprüfung haben:

- die **Oberfläche**
- die **Masse** und die **Geometrie**
- **Schwingungen** im System
- die **magnetische Eigenschaften** im System
- die **Temperatur**

1.6 Was ist bei der Härteprüfung zu beachten?

Wenn man bei der Härteprüfung verlässliche Prüfergebnisse erzielen will, muss man die Prüfaufgabe umfassend betrachten und die erforderlichen Maßnahmen anwenden.

Die Prüfstück**oberfläche** muss **plan** und ausreichend **glatt** bearbeitet sein.

Das heißt, je nach Prüfverfahren, beschleifen mit einer **180 - 320 Körnung, ISO N7, (Rt 10 µm, Ra 2 µm)**. Dabei ist darauf zu achten, dass die Oberflächenhärte durch Überhitzung oder durch Kaltverfestigung nicht beeinträchtigt wird.

Der Eindringkörper muss **lotrecht** zur Prüfstückoberfläche positioniert sein.

Für die Prüfaufgabe muss ein angepasstes **Prüfverfahren**, ein geeigneter **Eindringkörper** (Kugeldurchmesser), eine geeignete **Prüfkraft** und ggf. ein geeigneter **Justierkörper** ausgewählt werden.

Die Auswahl des **Prüfverfahrens** richtet sich z. B. nach folgenden Kriterien:

- zu erwartende Härte (bei geringen Härten mit HBW oder HV, bei höheren Härten mit HRC)
- Zugänglichkeit am Prüfstück (kann ich den Eindringkörper senkrecht zur Oberfläche platzieren)
- Prüfaufgabe z. B. Prüfung einer WEZ (hier kommt nur Pyramide zu Einsatz)
- Prüfstückdicke bzw. -masse (sie muss ausreichend sein, oder Masse ankoppeln)
- Werkstoff vom Prüfstück (un- niedrig- oder hochlegiert, krz oder kfz, Zähigkeit)

Die Auswahl vom **Eindringkörper** (Kugeldurchmesser) und der Prüfkraft richtet sich nach der zu erwartenden Härte.

Wenn das Härteprüfgerät für einen anderen Werkstoff justiert werden muss, dann muss der **Justierkörper** - für die Härteprüfung am Prüfstück - repräsentativ sein.

Das heißt, gleicher Werkstoff mit gleicher Wärmebehandlung und gleiche Dicke / Masse.

1.7 Qualifikation vom Prüfpersonal

Das Prüfpersonal muss wie folgt qualifiziert sein:

- gute Kenntnisse von den üblichen klassischen und mobilen Härteprüfverfahren. Das heißt, das Prüfprinzip sowie die Einsatzgrenzen der verschiedenen Härteprüfverfahren müssen bekannt sein
- Kenntnisse der DIN-, EN-, ISO- Normen, in denen Härteprüfungen behandelt sind
- Grundkenntnisse über Arten der Wärmebehandlung
- Kenntnisse von den zerstörenden Prüfungen wie Zugversuch und Kerbschlagbiegeversuch
- Kenntnisse über die mechanischen Eigenschaften wie Streckgrenze, Zugfestigkeit Bruchdehnung und Zähigkeit
- eine umfassende Einweisung für das eingesetzte Härteprüfgerät
- der Inhalt der Bedienungsanleitung für das eingesetzte Härteprüfgerät muss bekannt sein
- die mechanischen, die chemischen und die magnetischen Eigenschaften sowie der Wärmebehandlungszustand vom Prüfobjekt müssen bekannt sein

Diese Kenntnisse sollten möglichst durch einen Kurs und einer Prüfung bei der DGzFP nachgewiesen sein. Alternativ kann die Qualifikation auch vom Auftraggeber geprüft werden.

1.8 Dokumentation bei der Härteprüfung

Zur Dokumentation einer Härteprüfung sind im Protokoll grundsätzlich folgende Angaben erforderlich (siehe auch Forderungen in Prüfanweisung):

- Prüfobjekt, Größe/Abmessung/Masse, Werkstoff, Wärmebehandlungszustand, Grundwerkstoff, Schweißnaht, WEZ, Oberflächenzustand
- Prüfgerät, Prüfprinzip (ggf. Norm), Prüfsonde/Eindringkörper, Justier- bzw. Vergleichskörper
- Prüflast, ggf. Lasteinwirkzeit
- Prüfergebnis¹⁾, Prüfer, Qualifikation des Prüfers, Prüfdatum und Unterschrift

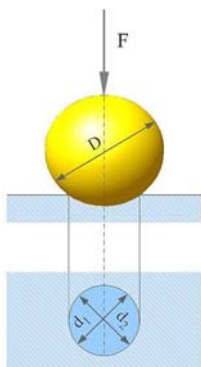
¹⁾Wenn eine Umwertung der Härtewerte vorgenommen wurde, dann muss grundsätzlich angegeben werden, mit welchem Prüfverfahren die direkten Härtewerte ermittelt wurden.

2. Klassische Härteprüfverfahren

Die klassischen Härteprüfverfahren sind genormt. Die Prüfgeräte sind in der Regel so gebaut, dass sie in ihrer Bauweise sehr steif ausgeführt sind und dass eine zur Prüfstückoberfläche senkrechte Eindruckposition gewährleistet ist.

2.1 Brinellhärte HBW (DIN EN ISO 6506)

Die Härteprüfung nach Brinell ist ein statisches Verfahren, bei dem eine Hartmetallkugel (Durchmesser 10 mm, 5 mm, 2,5 mm oder 1,0 mm) mit einer definierten Kraft F auf eine vorbereitete (plan und glatt geschliffen) Oberfläche des zu prüfenden Werkstückes gedrückt wird. Sie kommt bei weichen bis mittelharten Metallen wie zum Beispiel unlegiertem Baustahl und bei Werkstoffen mit ungleichmäßigem Gefüge, wie etwa Gusseisen, zur Anwendung.



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

Quelle: Wikipedia

Nach einer Belastungszeit von 10 bis 15 Sekunden wird der Durchmesser des bleibenden Eindrucks im Werkstück gemessen und daraus die Oberfläche des Eindrucks bestimmt. Bei den klassischen stationären Härteprüfgeräten wird zum Vermessen der beiden Durchmesser, die Eindrucksfläche in vergrößerter Form auf eine Mattscheibe projiziert.

Der zu bestimmende Durchmesser d ist der Mittelwert zweier rechtwinklig zueinander liegenden Durchmessern d_1 und d_2 des bleibenden Eindruckes.

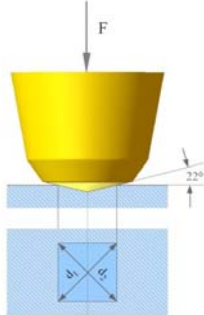
$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Der Eindruckdurchmesser d soll zwischen $0,2 \times D$ und $0,7 \times D$ sein. Die **Mindestdicke** vom Prüfstück muss mindestens das **10 fache der Eindringtiefe** sein.

Bsp.: **345 HBW 2,5/62,5** wobei: **345** = Härtewert, **HB** = Prüfverfahren, **W** = Hartmetallkugel, **2,5** = Kugeldurchmesser D in mm, **62,5** = Belastung (Kraft F) in Kilopond kp

2.2 Vickershärte HV (DIN EN ISO 6507)

Die Härteprüfung nach Vickers ist ein statisches Verfahren, bei dem eine gleichseitige Diamantpyramide mit einem Öffnungswinkel von 136° unter einer festgelegten Prüfkraft in das Werkstück eingedrückt wird. Dieses Verfahren wird zur Prüfung von harten und gleichmäßig aufgebauten Werkstoffen angewendet. Es wird aber auch zur Härteprüfung dünnwandiger oder oberflächengehärteter Werkstücke eingesetzt.



Quelle: Wikipedia

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

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

Aus der mittels eines Messmikroskops festgestellten Länge der Diagonalen des bleibenden Eindrucks wird die Eindruckoberfläche errechnet. Das Verhältnis von Prüfkraft in der Einheit Newton zur Eindruckoberfläche (d in Millimetern) ergibt mit dem Faktor 0,1891 multipliziert die Vickershärte (HV).

Bei den klassischen stationären Härteprüfgeräten wird zum Vermessen der beiden Diagonalen, die Eindrucksfläche in vergrößerter Form auf eine Mattscheibe projiziert.

Bsp.: **610 HV 10** wobei: **610** = Härtewert, **HV** = Verfahren, **10** = Prüfkraft **F** in Kilopond

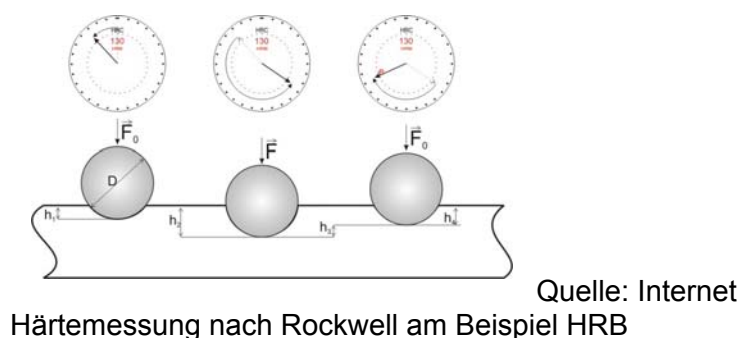
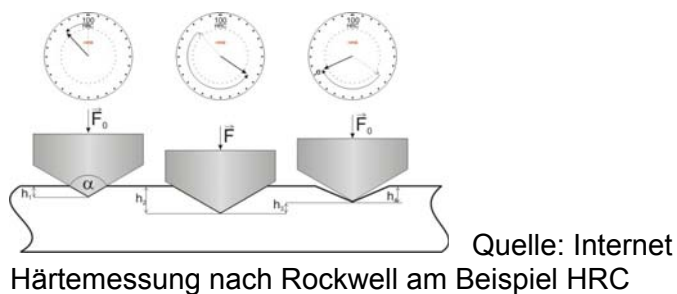
Die **Mindestdicke** vom Prüfstück muss mindestens das **1,5-fache der Eindruckdiagonale** bzw. das **10-fache der Eindringtiefe** sein.

2.3 Rockwellhärte HRA, HRB, HRC (DIN EN ISO 6508)

Die Rockwellhärte HRC eines Werkstoffes ergibt sich aus der **Eindringtiefe** eines kegelförmigen Prüfkörpers aus Diamant. Sie ist in der Norm DIN EN ISO 6508 (DIN EN 10109) festgelegt und wird mit HRC abgekürzt; das C steht dabei für das englische Wort *cone* für „Kegel“. Mit einer festgelegten Prüfkraft wird dieser Kegel, der einen Spitzenwinkel von 120° und eine abgerundete Spitze mit einem Radius von 0,2 mm besitzt, in die Oberfläche des zu prüfenden Werkstückes vorbelastet. Die eingedrungene Tiefe des Eindringkörpers 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 Tiefen vor und nach Auflegen der Hauptlast ist das Maß für die Rockwellhärte des Werkstoffes. Die Eindringtiefe des Diamantkegels wird direkt mit einer Messuhr, die mit der Prüfspitze verbunden ist, festgestellt. Auf der Skala der Uhr kann man die Härtewerte in Rockwelleinheiten (HRC) unmittelbar ablesen.

Dieses Prüfverfahren kommt vor allem bei sehr harten Werkstoffen zum Einsatz. Als weitere Rockwelleindringkörper werden Kegel aus Sinterhartstoff (HRA) und Hartmetallkugeln (HRB) verwendet.

58 HRC wobei: **58** = Härtewert, **HRC** = Prüfverfahren



Zeichen Begriffe

α Winkel des Diamantkegels

D Kugeldurchmesser

F_0 Prüfvorkraft

F_1 Prüfkraft

F Gesamtprüfkraft = $F_0 + F_1$

h_1 Eindringtiefe in mm unter der Prüfkraft F_0

h_2 Eindringtiefe in mm unter der Prüfkraft F

h_4 bleibende Eindringtiefe in mm, gemessen nach Kraftminderung von F auf F_0

h_3 Rückfederung der Probe $h_3 = h_2 - h_4$

e bleibende Eindringtiefe, ausgedrückt in Einheiten von 0,002 mm; $e = h_4 / 0,002$

2.4 Martenshärte (Universalhärte) HU (DIN EN ISO 14577)

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 wird zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter eingesetzt.

Bei diesem Verfahren werden 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 wird in der Einheit N/mm² angegeben.

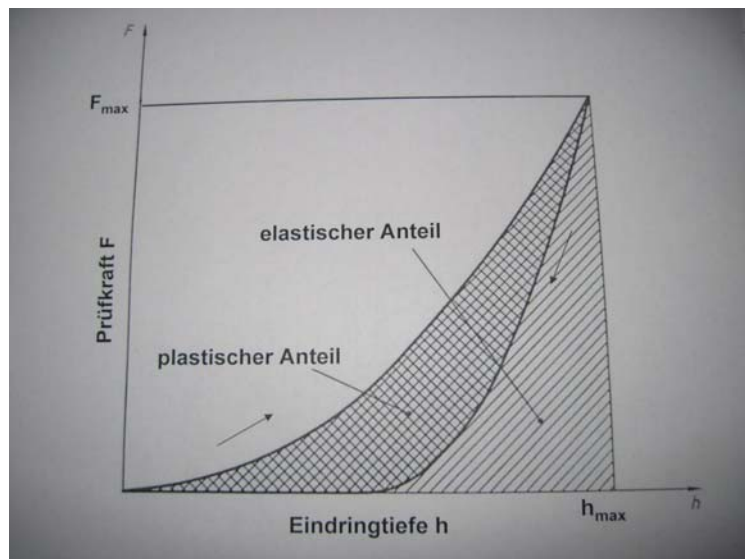
Anders als bei den Vickers- oder dem Brinellverfahren wird der **Härtewert aus plastischer und elastischer Deformierung ermittelt**. Es wird also nicht nur das plastische Verhalten des Werkstoffes bestimmt, sondern es können aus der gewonnenen Messkurve auch weitere Werkstoffparameter wie zum Beispiel der Eindringmodul, das Eindringkriechen 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 ist eine Diamantpyramide mit einer gleichseitigen dreieckigen Grundfläche. Der Öffnungswinkel der Pyramide beträgt 65°.

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

$$HM = \frac{F}{A} = \frac{F}{26,43 h^2} \quad \begin{array}{l} HM = \text{Martenshärte in N/mm}^2, F = \text{wirkende Kraft in N} \\ A = \text{Kontaktoberfläche in mm}^2; h = \text{Eindringtiefe in mm} \end{array}$$

Bsp.: **HM 100/20** wobei **HM** = Prüfverfahren, **100** = Prüfkraft in N, **20** = Lasteinwirkzeit in s



Quelle: Internet

Schematisches Kraft-Eindringtiefen-Diagramm

3. Mobile statische bzw. dynamische Härteprüfungen

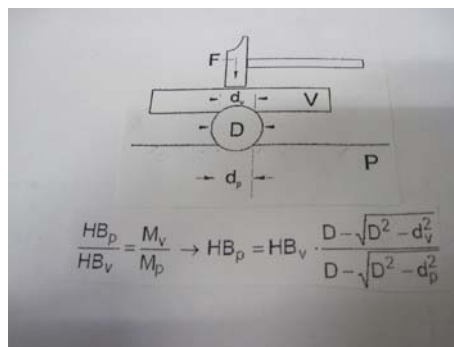
Viele Werkstücke können aufgrund ihrer Abmessung und ihres Gewichts nicht mit konventionellen stationären Härteprüfgeräten geprüft werden. Deshalb wurden verschiedene Methoden entwickelt, um diesem Problem abzuweichen. Sie unterscheiden sich in der **Art der Lastaufbringung** (statisch oder dynamisch), der **Art der Messung** (nach Entlastung, nach Teilentlastung oder während der Belastung), nach **Art der Messgröße** (dem Kugeldruckdurchmesser - Brinell, der Diagonalenlänge - Vickers, der Eindringtiefe – Rockwell und Martenshärte, der Frequenzverschiebung – UIC Verfahren oder nach dem elektrischer Widerstand - Esatest) und nach Art der Eindringkörpergeometrie (Kugel, gleichseitige oder ungleichseitige Pyramide oder Kegel).

Ein allgemeines Problem bei der mobilen Härteprüfung ist, dass lotrechte positionieren vom Schlagbolzen bzw. der Prüfsonde zum Prüfstück. Die Abweichung von der Lotrechten wird am Prüfergebnis nur beim Through-Indenter-Viewing-Verfahren (TIV) erkannt. Bei allen anderen Verfahren werden diese Fehlmessungen nicht erkannt.

3.1 Poldi- Hammer

Der Poldi- Hammer ist ein dynamisches Verfahren. Er besteht aus einem in einer Hülse geführten Schlagbolzen, der unten eine gehärtete Stahlkugel ($D = 10 \text{ mm}$) trägt. Zwischen Schlagbolzen und der Kugel wird in einer Aufnahme ein Vergleichsstab mit bekannter Härte eingeführt.

Der Poldi- Hammer wird lotrecht auf das Prüfstück aufgesetzt. Durch einen Schlag mit einem Hammer wird die Kugel gleichermaßen in das Prüfstück und rückseitig in den Vergleichsstab eingedrückt. Dabei entstehen im Prüfstück und im Vergleichsstab Eindrücke, die mit einer Lupe (Fadenleser) vermessen werden. Aus dem Verhältnis der beiden Eindruckdurchmesser wird mittels einer einfachen Formel die Härte vom Prüfstück als Brinell- Härte berechnet, denn die beiden Eindruckdurchmesser verhalten sich wie die Härten von Prüfstück und Vergleichsstab.



Quelle: Wikipedia

Mit der o. g. Formel bzw. aus Vergleichstabellen lässt sich die Härte einfach bestimmen. Die Kraftaufbringung mittels eines kurzen Hammerschlags wirkt sich geringfügig anders aus als eine zeitlich längere Kraftaufbringung mittels eines statischen Verfahrens. Auch die Druckkräfte im Prüfstück und im Vergleichskörper sind nicht exakt gleich. Deshalb stimmt die mit dem Poldi- Hammer ermittelte Härte nicht exakt mit den statisch ermittelten Härtewerten überein, sie ist aber für die meisten Ansprüche ausreichend genau.

In den Vergleichstabellen für die Vergleichsstäbe können auch Umwertungen zwischen Brinell- Härte und der Zugfestigkeit vorgenommen werden.

Geeignet zur Prüfung:

Diese Verfahren ist für un- und niedriglegierte Werkstoffe und für Wanddicken $> 20 \text{ mm}$ sowie einer Masse $> 5 \text{ kg}$ geeignet. Nicht geeignet für austenitische, rostfreie, kaltgehärtete oder unmagnetische Stähle.

3.2 Rückprall – Härte (DIN 50156)

Das Rückprallhärteverfahren ist ein dynamisches Verfahren. Es wurde von Leeb entwickelt und wird deshalb auch Leeb- Härte bzw. L- Härte genannt. Es arbeitet nach dem Prinzip der Energieumwandlung von einer potentiellen bzw. kinetischen Energie in Verformungsenergie. Das Schlaggerät mit Hartmetallkugel muss **senkrecht** auf die zu prüfende Oberfläche aufgesetzt werden. Je nach erforderlicher Schlagenergie bzw. der Größe des Eindringkörpers, gibt es unterschiedliche Schlagkörper. Neben der Umwandlung in Verformungsenergie wird beim Auftreffen des Prüfkörpers auf das Prüfstück auch in **Schallenergie umgewandelt**. Diese bleibt beim Rückprallverfahren **fälschlicher Weise unberücksichtigt**.

Empfehlenswert ist – wenn erhältlich - ein Stativ, mit dem eine senkrechte Position vom Schlaggerät zum Prüfstück ermöglicht wird.

Beim Rückprallhärteverfahren werden zwei physikalische Schlussfolgerungen angewandt:

- a. Beim Fallhärteprüfer misst man die Rückprallhöhe (W_p)

Eine Fallstange mit einer Hartmetallkugel wird in einer Führung in vertikaler **Senkrechtposition** auf die Oberfläche vom Prüfstück aufgesetzt und aus einer definierten Höhe fallen gelassen. Dabei wird die Rückprallhöhe ermittelt. Die Differenz zwischen der Ausgangshöhe zur Rückprallhöhe ergibt sich aus der Verformungsenergie, die beim Aufschlagen vom Fallstab das Prüfstück verformt hat. Aus dem Verhältnis zwischen h_R / h_A wird der L- Wert berechnet, der in Tabellen in Härtewerte umgewertet wird. Da die Härteprüfung nach dem Rückprallverfahren vom Elastizitätsmodul des Werkstoffes abhängig ist, muss für die Umwertung vom L-Wert die entsprechende Tabelle angewendet werden.

$$\text{L- Härte} = h_R / h_A; \quad (\Delta W_p = W_{pA} (mgh_A) - W_{pR} (mgh_R))$$

Trifft der Fallstab auf **weiches Material**, dann wird **viel Verformungsenergie** verbraucht und die Fallstab prall nicht so weit zurück – die Differenz zwischen h_A und h_R ist größer. Trifft der Fallstab auf **hartes Material**, dann wird **weniger Verformungsenergie** verbraucht und die Fallstab prall entsprechend weit zurück – die Differenz zwischen h_A und h_R ist kleiner.

Geeignet zur Prüfung:

Das Rückprallverfahren ist bei Verwendung der entsprechenden Umwertungstabellen bzw. nach Justierung für alle metallischen Werkstoffe und für Wanddicken > 25 mm bzw. einer Masse > 5 Kg ohne Ankopplung geeignet.

Vorzugsweise wird es zur Härteprüfung an massiven Bauteilen eingesetzt.

- b. man misst die Rückprallgeschwindigkeit (W_k)

Ein Kolben mit einer Hartmetallkugel wird in einem Führungsrohr **senkrecht** auf die Oberfläche vom Prüfstück aufgesetzt und aus einer definierten Höhe fallen gelassen. Dabei wird die Rückprallgeschwindigkeit ermittelt. Die Differenz zwischen der Geschwindigkeit die der Kolben kurz vor dem Auftreffen auf dem Prüfstück hat und der Rückprallgeschwindigkeit, ergibt sich aus der Verformungsenergie, die beim Aufschlagen vom Kolben, das Prüfstück verformt hat. Aus dem Verhältnis zwischen V_R / V_A wird der L- Wert berechnet, der in Tabellen in Härtewerte umgewertet wird. Ist eine Prüfung in vertikaler Senkrechtposition nicht möglich, dann gibt es in den Tabellen Korrekturfaktoren mit denen die Abweichung zur Senkrechten in etwa korrigiert werden kann. Da die Härteprüfung nach dem Rückprallverfahren vom Elastizitätsmodul des Werkstoffes abhängig ist, muss für die Umwertung vom L-Wert die entsprechende Tabelle angewendet werden.

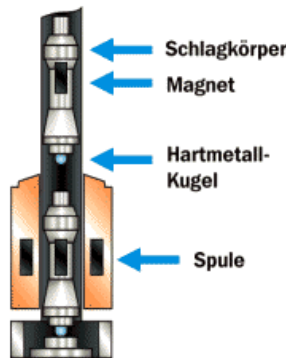
$$\text{L- Härte} = V_R / V_A \times 1000; \quad (\Delta W_k = W_{kA} (1/2 mV_A^2) - W_{kR} (1/2 mV_R^2))$$

Trifft der Kolben auf **weiches Material**, dann wird **viel Verformungsenergie** verbraucht und die Kolben prall nicht so schnell zurück – die Differenz zwischen V_A und V_R ist größer.
 Trifft der Kolben auf **hartes Material**, dann wird **weniger Verformungsenergie** verbraucht und die Kolben prall entsprechend schneller zurück – die Differenz zwischen V_A und V_R ist kleiner.

Geeignet zur Prüfung:

Das Rückprallverfahren ist bei Verwendung der entsprechenden Umwertungstabellen bzw. nach Justierung für alle metallischen Werkstoffe und für Wanddicken > 25 mm bzw. einer Masse > 5 kg ohne Ankopplung geeignet.

Vorzugsweise wird es zur Härteprüfung an massiven Bauteilen eingesetzt.



Schlaggerät für Rückprallhärte Quelle: Krautkramer

3.3 UIC – Verfahren (DIN 50159)

Das UIC- Verfahren ist ein Quasi-statisches Verfahren. Es arbeitet nach dem Prinzip der Frequenzverschiebung. Hier wird eine Prüfsonde mit Pyramide mittels definierter Federkraft lotrecht auf die Prüfstückoberfläche gedrückt. Es werden jedoch nicht wie bei Vickers die Diagonalen des Prüfeindrucks optisches vermessen, sondern die entstehenden Prüfeindrucksflächen werden durch messen der Verschiebung einer eingeleiteten Ultraschallfrequenz unter Prüfkraft elektronisch erfasst.

Wird die Pyramide bei **harten Werkstoffen** nur gering in die Oberfläche eingedrückt, so ergibt sich nur eine **geringe Verschiebung der Resonanzfrequenz**.

Wird die Pyramide bei **weichen Werkstoffen** tiefer in die Oberfläche eingedrückt, so ergibt sich eine **größere Verschiebung der Resonanzfrequenz**.

Je nach Prüfanforderung gibt es bzgl. der Prüflast (1N bis 98N) unterschiedliche Prüfsonden. Empfehlenswert ist ein Stativ, mit dem eine senkrechte Position der Prüfsonde zum Prüfstück ermöglicht wird.

Diese Frequenzverschiebung ist proportional zur Größe des Pyramideneindrucks.

Sie ist vom Elastizitätsmodul des Werkstoffes abhängig. Die Frequenzverschiebung ist eine Funktion vom effektiven Elastizitätsmodul und der Größe des Prüfeindrucks.

$$\Delta f = f(E_{\text{eff}}, A)$$

Geeignet zur Prüfung:

Das Prüfverfahren darf bei Werkseinstellung der Prüfgeräte, nur bei un- und niedriglegierten Werkstoffen eingesetzt werden. Für hochlegierte Werkstoffe müssen die Prüfgeräte an Proben mit bekannter Härte justiert werden. Dann ist es für alle metallischen Werkstoffe geeignet. Die Mindestdicke vom Prüfstück, ohne Ankopplung ist 3 mm. Die Mindestmasse ohne Ankopplung ist 300 g. Da der Prüfeindruck durch eine Pyramide erfolgt, ist das Prüfverfahren besonders für die Härteprüfung an Schweißnähten und deren WEZ sowie an Werkstoffen mit feinkörnigem Gefüge geeignet. Das Prüfverfahren ist auch für Prüfstücke mit geringer Wanddicke geeignet. Genauere Angaben sind der Bedienungsanleitung der Hersteller zu entnehmen. Durch den punktförmigen Prüfeindruck ist – wie auch beim klassischen Vickers- Verfahren - eine größere Streuung der Prüfergebnisse zu erwarten.

3.4 TIV Optisches Through-Indenter-Viewing-Verfahren

Das optische Through-Indenter-Viewing-Verfahren (TIV) ist ein statisches Härteprüfverfahren. Es arbeitet nach dem klassischen Prinzip nach Vickers. Die Prüfsonde mit Diamantpyramide wird durch eine definierte Federkraft lotrecht auf das Prüfstück gedrückt. Mit einer CCD- Kamera, die durch die Diamantpyramide hindurch blickt, kann man gleichzeitig den Eindruck am Prüfstück über ein Display, kontinuierlich wachsen sehen. Sobald die erforderliche Prüfkraft erreicht ist, wird das Bild vom Eindruck über die Prüfsonde zum Gerät übertragen und automatisch ausgewertet. Mit Hilfe einer speziellen Software wird als erster Schritt die Umrandung des Eindrucks bestimmt. Aus den Schnittpunkten mit den auf dem Display abgebildeten Kanten des Eindrucks (Diamantpyramide mit Dachwinkel 136°) werden dann die Längen der beiden Diagonalen des Eindrucks ermittelt. Der Mittelwert der beiden Diagonalen dient zur Berechnung des Härtewerts gemäß Vickersdefinition.

Ein wesentlicher Punkt bei der Härteprüfung ist der exakte Prüfeindruck im Prüfstück. Dieser Eindruck wird beim Through-Indenter-Viewing-Verfahren (TIV) im Display optisch angezeigt. **Die optische Überprüfung der Form des Eindrucks erlaubt, wie bei den klassischen Härteprüfverfahren, eine zuverlässige Aussage über die Qualität des Prüfergebnisses.** Dabei können auch die Güte der Oberfläche, das Gefüge vom Werkstoff und andere Effekte, die die Messung beeinträchtigen können, erkannt werden. Das Prüfergebnis kann bei Bedarf auch manuell, indem man die Umrandung des Eindrucks per Hand anpasst, ausgewertet werden. Empfehlenswert ist ein Stativ, mit dem eine lotrechte Position der Prüfsonde zum Prüfstück ermöglicht wird.

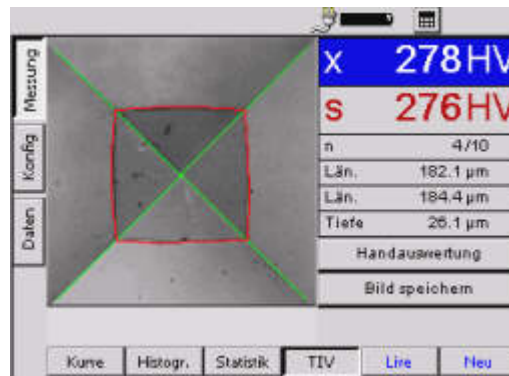
Als **Nachteil** muss man das **Display** nennen. **Bei hellem Tageslicht kann der abgebildete Prüfeindruck im Display schlecht erkannt werden.** Somit ist dann eine Bewertung des Prüfeindrucks nicht möglich. Eine Nachbesserung in diesem Punkt ist notwendig.

Geeignet zur Prüfung:

Das Prüfverfahren kann **ohne Justierung** bei allen metallischen Werkstoffen, und für alle Wanddickenbereiche (Wanddicke > 10-facher Eindringtiefe) eingesetzt werden. Dieses Verfahren ist nicht nur unabhängig von der Prüfposition und -richtung, sondern auch von der Masse, dem Werkstoff und der Geometrie des Prüfstücks.



Das Through-Indenter-Viewing-Verfahren (TIV)



Im Display abgebildeter Prüfeindruck Quelle Krautkramer

3.5 Andere mobile Härteprüfverfahren (diese sind hier nicht beschrieben)

Prüfzwingen – mit Kugel (in Anlehnung nach Brinell)

Scherkraft- Härteprüfer – mit Kugel (in Anlehnung nach Brinell)

Dynatest - mit Kugel (in Anlehnung nach Rockwell)

Computest – (in Anlehnung nach Rockwell)

Equostat – mit Kegel (in Anlehnung nach Rockwell)

Esatest – mit Kegel (in Anlehnung nach Martens)

4. Gegenüberstellung der mobilen Härteprüfverfahren Quelle: Verfasser

Härteprüfverfahren	Poldi-Hammer	Rückprallverfahren	UCI- Verfahren MIC 10	TIV- Verfahren
Verfahrensprinzip	abgewandelte Brinellprüfung	Leeb / Rückprall nach DIN 50156	UCI (U ltrasonic C ontact I mpedance), nach E DIN 50159	TIV Through Indender V iewing – Härteprüfung nach Vickers unter Prüfkraft, konform zu DIN EN ISO 6507
Belastungsart und -größe	Schlag mit einem Hammer	dynamisch	quasi-statisch; HV0,1 bis HV10	statisch, HV1 oder HV5
Eindringkörper	10 mm Stahlkugel	Kugel aus Hartmetall, Diamant oder Keramik	Vickersdiamant	Vickersdiamant
Größe des Eindrucks	abhängig von der Schlagkraft, 2 – 4 mm	abhängig von Eindringkörper, Schlagenergie und Materialhärte	identisch zur Vickersprüfung, abhängig von Prüfkraft und Härte	identisch zur Vickersprüfung, abhängig von Prüfkraft und Härte
Platzierungsgenauigkeit	manuell einsehbar	manuell / Führungshilfen zur senkrechten Positionierung	manuell / Führungshilfen zur senkrechten Positionierung	manuell / Führungshilfen zur senkrechten Positionierung
Messgröße	Vergleich zwischen Eindruckdurchmesser auf Prüfteil und Vergleichsstab	Rückprallgeschwindigkeit bzw. Rückprallhöhe des Schlagkörpers	Frequenzverschiebung eines Schwingerstabes mit Vickersdiamant unter Prüfkraft	Längen der Diagonalen (Vickers) unter Prüfkraft
Kennwert aus Messgröße	Brinellhärte in HB	Geschwindigkeitsverhältnis nach und vor dem Aufprall mal 1000 in HL ; bzw. Höhenverhältnis nach und vor dem Aufprall in HL	Proportionalität der Frequenzverschiebung zur Kontaktfläche, Rückführung in HV - Werte	HV gemäß Vickersdefinition
Messbereich (Härtebereich)	100 HB bis ca. 400 HB	150 bis 1000 HL	20 HV bis 1740 HV (werkstoffabhängig)	30 HV bis 1000 HV
Prüfbare Werkstoffe	alle Werkstoffe im angegebenen Härtebereich außer austenitische Stähle	alle plastisch verformbaren Werkstoffe im relevanten Härtebereich	alle Werkstoffe im angegebenen Härtebereich, vergleichendes Verfahren	alle Werkstoffe im angegebenen Härtebereich
Art der Kalibrierung	Kalibrierung auf Härtevergleichsplatten	das Gerät kann mit Hilfe von Härtevergleichsplatten verifiziert werden	Kalibrierung auf Härtevergleichsplatten	Kalibrierung auf Härtevergleichsplatten

Härteprüfverfahren	Poldi-Hammer	Rückprallverfahren	UCI- Verfahren MIC 10	TIV- Verfahren
Oberflächengüte und Planheit	eben und blank, mindestens 240er Körnung	die Oberflächenrauigkeit soll besser als Ra = 2 µm sein (ISO N7)	Empfehlung: 320er Körnung, abhängig von Prüfkraft und Härte	Empfehlung: 320er Körnung
Geometrie (z. B. Wanddicke, Rohrdurchmesser)	Mindestdicke 20 mm	Mindestdicke ohne Ankopplung 25 mm , mit Ankopplung auch dünnere Proben möglich	Mindestdicke 3 mm (ohne Ankopplung), mit Ankopplung auch bei dünneren Wanddicken anwendbar	Mindestdicke des Prüfteils: 10-fache der Eindringtiefe ,
Masse des Prüfteils	mindestens 5 kg Masse	mindestens 5 kg , mit Ankopplung auch 2 kg möglich	mindestens 300 g (ohne Ankopplung), mit Ankopplung auch bei leichteren Bauteilen anwendbar	unabhängig von der Masse
Unterlage (Ankopplung)	Nicht notwendig, da die Masse > 5 kg	stabile Unterlage zur Reduzierung von Probenschwingungen	stabile Unterlage zur Reduzierung von Probenschwingungen	stabile Unterlage zur Vermeidung von Deformationen
Prüfrichtung	Richtungsunabhängig	mit Korrekturfaktoren der HL- Werte sind alle Prüfrichtungen möglich	unabhängig von der Prüfrichtung bei > 10 N	unabhängig von der Prüfrichtung
Zugänglichkeit	Höhe ca. 500 mm	mittels Einsatz verschiedener Schlaggeräte wird ein gute Zugänglichkeit erreicht	mittels Einsatz verschiedener Sonden wird ein gute Zugänglichkeit erreicht	Sondenhöhe ca. 215 mm
Temperatur	ohne Einfluss	Betriebstemperatur 0 – 40°C	Betriebstemperatur 0 – 40°C	Betriebstemperatur 0 – 50°C
Schwingungszustand des Prüfgegenstandes	ohne Einfluss	kann die Messung beeinflussen	kann die Messung beeinflussen	kein Einfluss , solange die statische Prüfkraft aufgebracht werden kann
Magnetische / Elektrische Felder	ohne Einfluss	kann die Messung beeinflussen	kann die Messung beeinflussen	ohne Einfluss
Messunsicherheit (Wiederholungsgenauigkeit unter idealisierten Bedingungen, z. B. an Härtevergleichsplatte)	Ablesegenauigkeit beim Vermessen der Eindruckdurchmesser	+/- 6 HL max. Abweichung des Mittelwertes aus 5 Messungen vom Sollwert der Härtevergleichsplatte	+/- 3,6% max. Abweichung des Mittelwertes aus 5 Messungen vom Sollwert der Härtevergleichsplatte	+/- 3,6% max. Abweichung des Mittelwertes aus 5 Messungen vom Sollwert der Härtevergleichsplatte
Umwertung möglich	Sollte vermieden werden, Umwertabelle in Festigkeit wird mitgeliefert	Tabelle vorhanden, E-Modul ist zu berücksichtigen	Umwertung nach DIN EN ISO 18265 und ASTM E 140 im Prüfgerät vorhanden; E-Modul ist zu berücksichtigen	Umwertung nach DIN EN ISO 18265 und ASTM E 140 im Prüfgerät vorhanden

5. Vergleich bzw. Umwertung der verschiedenen Härtewerte

In DIN 50150 (neu EN ISO 18265) ist ein Vergleich zwischen der Zugfestigkeit und den Härtewerten nach HBW, HV, HRA, HRB und HRC aufgeführt (siehe folgende Tabelle). Diese Angaben haben Unsicherheiten und sind deshalb kritisch zu betrachten. Einen Einfluss auf die ermittelten Härtewerte hat nicht nur die Zugfestigkeit vom Werkstoff, sondern auch das Verhältnis zwischen der Streckgrenzen (R_e) und der Zugfestigkeit (R_m). Auch der Elastizitätsmodul und die Zähigkeit eines Werkstoffes haben Einfluss auf die Prüfergebnisse und somit auch auf die Umwertbarkeit von Härtewerten. Deshalb ist es durchaus möglich, dass man mit den o. g. Prüfverfahren am gleichen Prüfstück unterschiedliche Härtewerte erzielt.

Wenn bei Härtewerten eine Umwertung vorgenommen wurde, dann muss grundsätzlich darauf hingewiesen werden, mit welchem Prüfverfahren die direkten Härtewerte ermittelt wurden.

Umwertungstabelle¹ für Zugfestigkeit, Brinell²-, Rockwell-, Vickershärte DIN 50150:

¹Gültig für unlegierte und niedriglegierte Stähle

Bei hochlegierten oder kalt verfestigten Stählen sind hohe Abweichungen zu erwarten

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

Zugfestigkeit	Brinellhärte	Rockwellhärte			Vickershärte
MPa	HBW	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
MPA	HBW	HRC	HRA	HRB	HV
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

Quelle: DIN 50150