

„Grundlagen der Härteprüfung“

**Zwick/Roell
Ulm, 13.10.2016**

- mach mal eben ´nen Eindruck ...
- **Überblick Härteprüfverfahren**
- **Beachtenswertes**
- **Klassische Verfahren**
- **Martenshärte**
- **Dynamische Verfahren**

„ ... mach mal eben `nen Eindruck ... „

So oder so ähnlich kommt der ein oder andere zum Prüfer und möchte die Härte geprüft haben.

Doch **was ist Härte** und wann setze ich **welches Verfahren** wie ein und was ist alles zu **beachten**?

Der erste Teil der Frage ist schnell beantwortet:

"Härte ist der Widerstand, den ein Werkstoff dem Eindringen eines anderen (härteren) Körpers entgegensetzt"!

Den hinteren Teil der Frage wollen wir für die Prüfung metallischer Werkstoffe beantworten.

Statische Härteprüfverfahren

Mit optischer Auswertung:

- **Brinell:** seit 1900, vorgestellt von Brinell, DIN EN ISO 6506
- **Vickers:** seit 1925 (Name der engl. Fa. Vickers),
vorgestellt von Smith und Sandland, DIN EN ISO 6507
- **Knoop:** seit 1939, vorgestellt von Knoop, Emerson & Peters,
BS EN ISO 4545

Über die Eindringtiefe:

- **Rockwell:** seit 1922, vorgestellt von Rockwell, DIN EN ISO 6508
- **Martens:** seit 1995 (Universalhärte), seit 2003: DIN EN ISO 14577

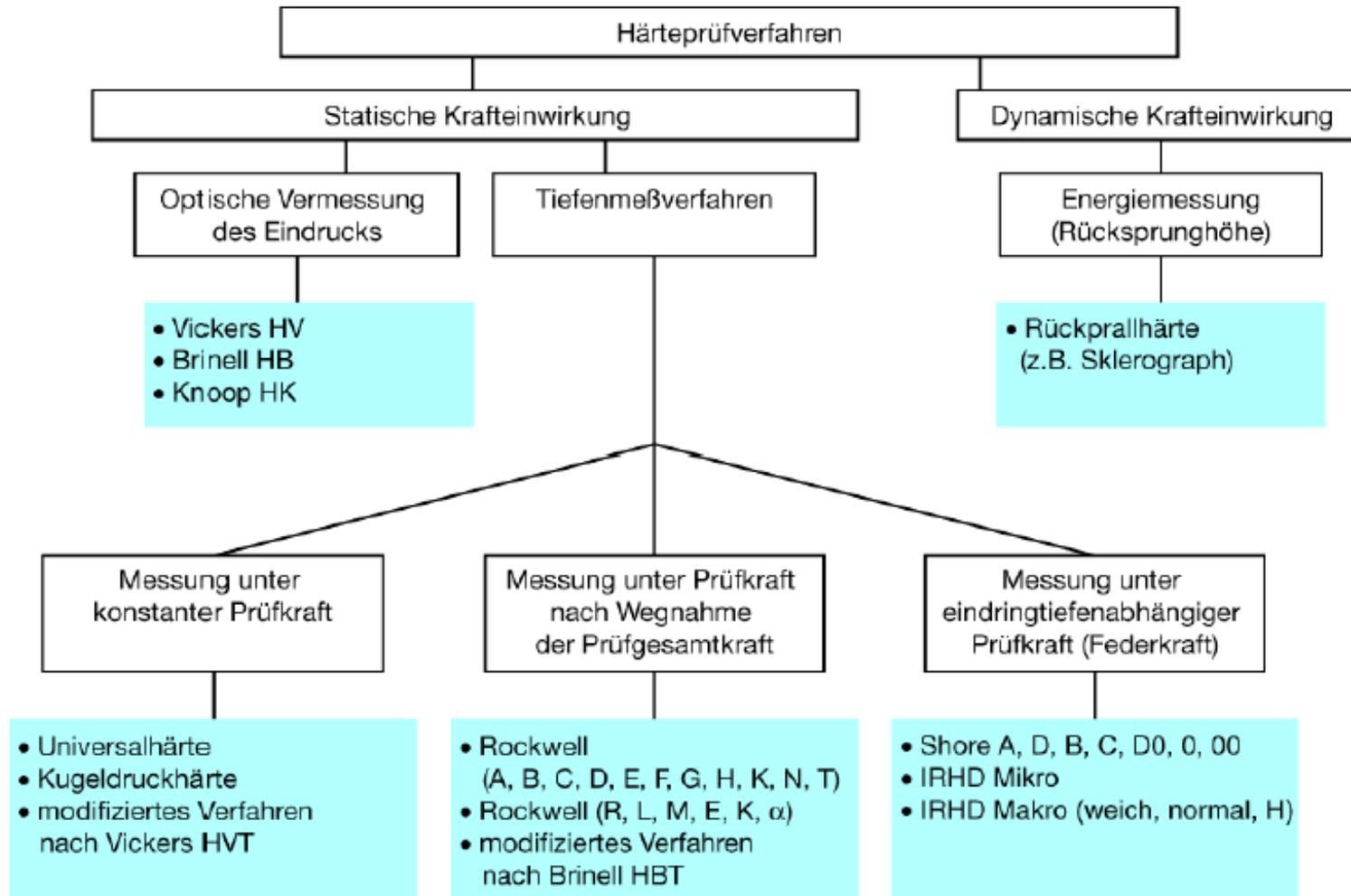
Dynamische Härteprüfverfahren

Verfahren mit Verformungsmessung:

- Schlaghärteprüfung nach Baumann
- Schlaghärteprüfung nach Poldi

Verfahren mit Energiemessung:

- Shore-Härteprüfung
- Rückprall-Verfahren



Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Für alle Prüfverfahren gilt:

- Die **Prüffläche** muß **frei von Zunder, Fremd- und Schmierstoffen** sein & eine Beschaffenheit aufweisen, die ein einwandfreies Ausmessen des Eindruckes ermöglicht, bzw. **keinen Einfluß** auf die Tiefenmessung oder, bei der Rückprallhärteprüfung auf die Rückpralleigenschaft hat.
- Je kleiner die Prüfkraft um so aufwendiger die **Probenvorbereitung!**
- Die Prüffläche muß eben sein und rechtwinklig zur **Krafteinwirkung** liegen. Normalerweise wird dies durch Planparallelität zwischen Prüffläche & Rückseite, bzw., wenn man die Probe einspannt, Rechtwinkligkeit der Flanken erreicht.
- Die **Rockwellprüfung** kann auch an **zylindrischen Flächen**, die **Vickersprüfung** dazu noch an **kugeligen Flächen** unter Beachtung von **Korrekturwerten** durchgeführt werden (HRC auch an Kugel)

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Das Aufbringen der Prüfkraft soll stoß- und erschütterungsfrei in den unten angegebenen Zeitspannen erfolgen.

Verfahren	Kraftaufbringung	Haltezeit
Brinell:	2 - 8 sec.	10 - 15 sec. (i.d.R.)
Vickers:	2 - 8 sec. (i.d.R.)	10 - 15 sec. (i.d.R.)
Knoop:	2 - 8 sec.	10 - 15 sec
Rockwell: Vorkraft	max. 2 sec.	3 (1 – 4) sec.
Hauptkraft	1 – 8 sec. (Praxis: 2-3 sec.)*	5 (2 – 6) sec.**

*(HRN- und HRTW max. 4 sec.) ** oder mit Zeitangabe

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Die zulässigen Eindruckabstände sind einzuhalten:

Verfahren	Eindruck - Probenrand	Eindruck - Eindruck
Brinell:	$2,5 * d$	$3*d$
Vickers:	$2,5 * d$ bzw. $3 * d$	$3 * d$ bzw. $6 * d$ (Leichtmetalle, Pb, Sn)
Knoop:	wie bei Vickers wobei die kurze Diagonale zugrunde gelegt wird	
Rockwell:	mind. 1 mm	mind. 1,5mm (i.d.R.)
	nach neuester Norm: $2,5d$ bzw. $3d$	

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Die Mindestprobendicke ist einzuhalten:

Brinell:	mind. $8 \times h$, s. Tabelle in DIN EN ISO 6506-1, Anhang B
Vickers:	$1,5 \times d$ bzw. Nomogramm in DIN EN ISO 6507-1
Knoop:	$1/3 \times d$
Rockwell:	beim Diamantkegel 10-fache Eindringtiefe beim kugeligen EDK 15-fache Eindringtiefe siehe auch Tabellen in DIN EN ISO 6508-1, Anhang B

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Brinell (1):

- Immer dann, wenn **größere Bauteile** vorliegen, eine **Oberflächenzerstörung** keine Rolle spielt, die **Prüffläche** nicht aufwendig vorbereitet werden soll oder kann und die Härte bis ca. 500 HB liegt, wird dieses Verfahren genutzt.
- Auch bei **inhomogenen Werkstoffen** und bei **großen Teilen**, wie Halbzeuge, Schmiedestücke, Schienen etc. ist Brinell die 1. Wahl.
- Brinell ist das **einzigste Verfahren zur Prüfung von Gußeisen** wobei der Kugeldurchmesser nicht $< 2,5$ mm sein soll.

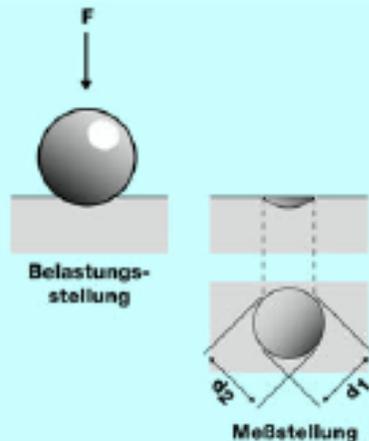
Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Brinell (2):

- Es soll immer der **größtmögliche Kugeldurchmesser** genutzt werden.
- Die Prüfkraft ist so zu wählen, daß der **Eindruckdurchmesser d** zwischen 0,24 und 0,6 D (Kugeldurchmesser) liegt. Dies ist i. d. Regel gewährleistet, wenn der **Beanspruchungsgrad** für die verschiedenen Werkstoffe beachtet wird.
- Stahl hat z. B. einen **Beanspruchungsgrad** von 30. Es ergibt sich aus $D^2 * 30$ die Prüfkraft, z. B.: $F = 10^2 * 30 = 3000 \text{ kg} * 9,80665 = 29420 \text{ N}$

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Brinell (3):



Meßgröße

Brinellhärte HB. Gemessen werden zwei zueinander senkrecht stehende Durchmesser des bleibenden Prüfeindrucks an der Probenoberfläche.

Definition

$$HB = 0,102 F/A$$

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

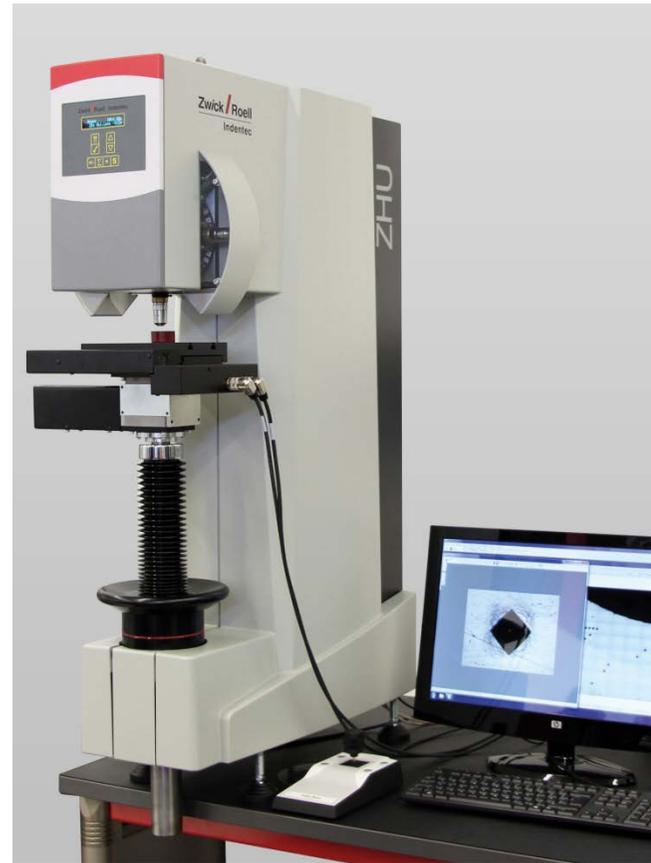
F ... Prüfkraft in N

A ... Eindruckoberfl. in mm^2

D ... \emptyset der Prüfkugel in mm

d ... arithmet. Mittelwert aus zwei gemessenen Eindruckdurchmessern in mm

Universelle Härteprüfgeräte ZHU250 und ZHU 250CL



Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Vickers (1):

- Die **Geometrie der Vickerspyramide** (136° Flächenwinkel) wurde so gewählt damit bis zu Härtewerten von ca. 400 eine gute Übereinstimmung mit dem Brinellverfahren gegeben ist.
- Eingeteilt wird die Vickersprüfung in **Mikro** < 0,1 kg, **Kleinlast** 0,2 - 3 kg und **Makrobereich** > 5 kg.
- Die Vickershärte ist bei Prüfkräften < 50N **prüfkraftabhängig**, d. h. mit immer kleiner werdenden Prüfkräften werden die Härtewerte für den selben Werkstoff größer. Prüfkräfte > 50N sind **prüfkraftunabhängig** und somit untereinander vergleichbar.

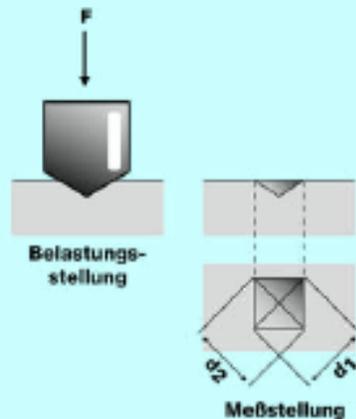
Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Vickers (2):

- **Anwendung** findet die Vickersprüfung bei **kleineren und dünnen Werkstücken**, Werkstoffen mit höherer Härte und überall dort wo zum einen eine möglichst **geringe Oberflächenbeeinträchtigung** erwünscht ist und zum anderen die Eindrücke eng aneinander gesetzt bzw., über eine kurze Strecke mehrere Eindrücke gesetzt werden müssen, wie bei der **Prüfung von Schweißverbindungen** und **Härteverläufen** an oberflächengehärteten Bauteilen.
- Im Mikrobereich lassen sich sogar einzelne **Gefügebestandteile** prüfen.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Vickers (3):



Meßgröße

Vickershärte HV. Gemessen werden die Längen beider Diagonalen des bleibenden Prüfeindrucks.

Definition

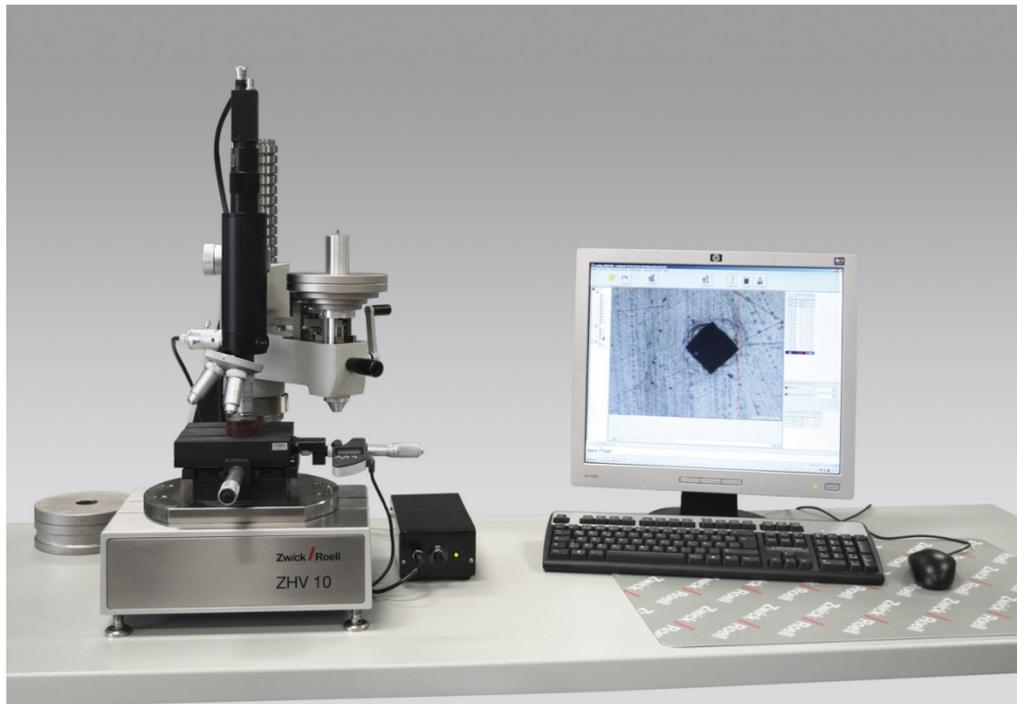
$$HV = 0,102 F/A$$
$$= 0,1891 F/d^2$$

F ... Prüfkraft in N

A ... Eindruckoberfläche in mm^2

d ... arithmetischer Mittelwert der Diagonalenlängen in mm

Vickershärteprüfgeräte ZHV10 und ZHV30



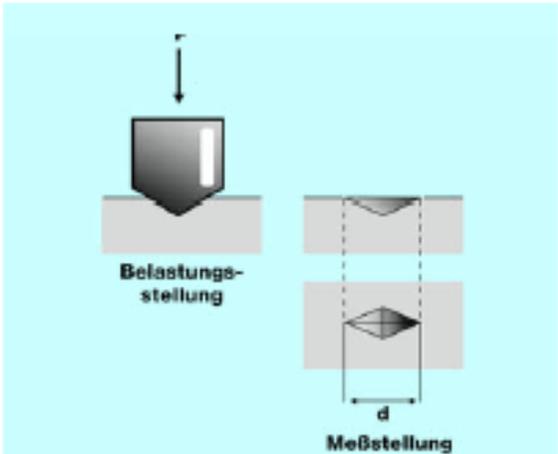
Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Knoop (1):

- Das Knoopverfahren ist dem Vickersverfahren sehr ähnlich, da eine **rhombische Diamantpyramide** zum Einsatz kommt.
- Es ist ein **reines Kleinlast-/ Mikrohärteprüfverfahren** mit einer Prüflast von max. 10N. Es kommt dann zum Einsatz wenn sehr **dünne Folien oder Schichten** zu prüfen sind, da die Eindringtiefe des Knoopdiamanten nur ca. 2/3 der des Vickersdiamanten beträgt.
- Die **Neigung der Rißbildung** ist wegen der anderen Eindringkörperform gegenüber dem Vickersverfahren deutlich geringer.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

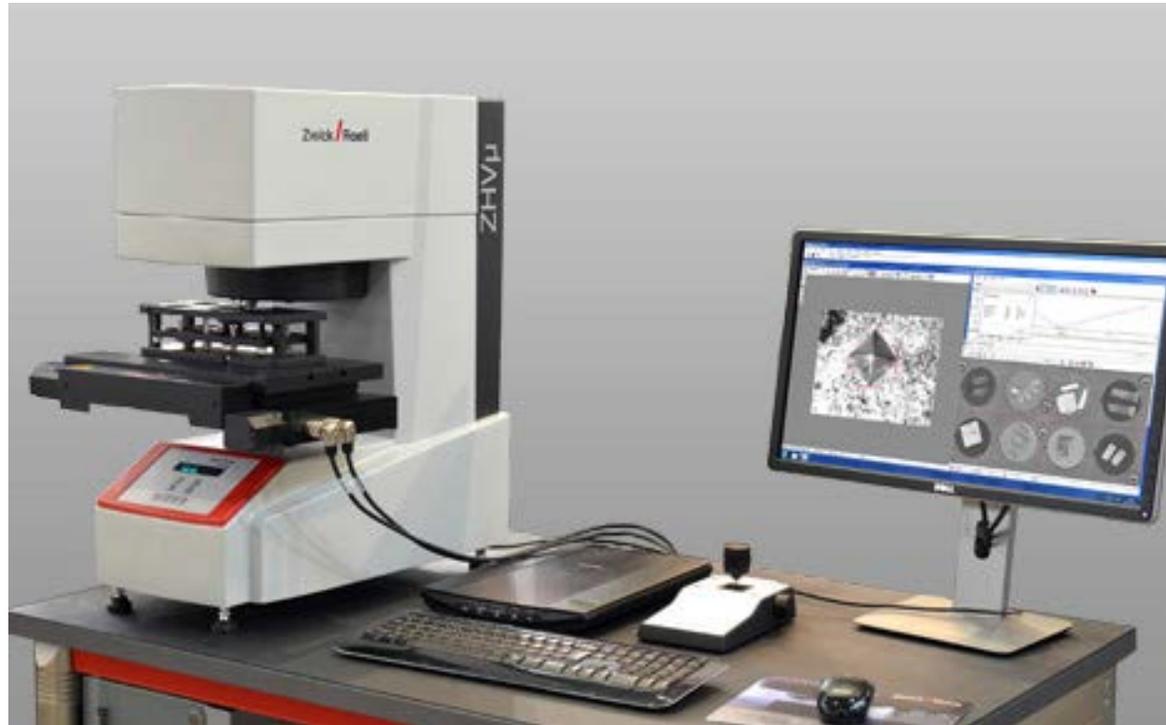
Prüfung nach Knoop (2):



Meßgröße
Knoophärte HK. Gemessen wird die Länge der langen Diagonalen des bleibenden Prüfeindrucks.

Definition
 $HK = 0,102 F/A$
 $= 1,451 F/d^2$
F ... Prüfkraft in N
A ... Projektionsfläche des Prüfeindrucks in mm²
d ... Länge der langen Eindruckdiagonale in mm

Knoop- und Vickershärteprüfgerät ZHV μ -a



Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Rockwell (1):

- Die Rockwellprüfung kommt dort zum Einsatz, wo **schnelle Ergebnisermittlungen** und ein **einfaches Prüfverfahren** wichtig sind.
- Auch bei **rauen Umgebungsbedingungen** und bei **automatisierten Prüfabläufen** ist die Rockwellprüfung sehr geeignet, da die optische Meßeinrichtung entfällt.
- Entgegen den optischen Verfahren wird bei der Rockwellprüfung der **Härtewert über die Eindringtiefe** ermittelt, was zum einen den Vorteil der **Unabhängigkeit vom Prüfer** hat und eine **schnelle Durchführbarkeit** auf Grund geringerer Probenvorbereitung und des Wegfalls der optischen Ausmessung hat, zum anderen den **Nachteil** hat, daß die Werte nicht reproduzierbar sind.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Rockwell (2):

- Für die **verschiedenen Einsatzbereiche** gibt es **verschiedene Rockwellverfahren** die sich durch **Prüflast, Eindringkörper** und **Skaleneinteilung** unterscheiden.
- So finden die Superrockwellverfahren z.B. bei der Prüfung dünner Bleche oder oberflächengehärteter Teile Verwendung.

Rockwell A + C werden bei gehärteten, HRB bei weicheren Stählen verwendet.

Die hier **gebräuchlichsten Verfahren** sind C, A, B, sowie die **Superrockwellverfahren** 15, 30, 45 N+T.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

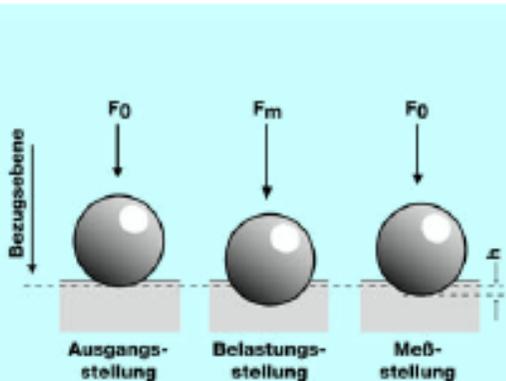
Prüfung nach Rockwell (3) Auszug aus VDI/VDE 2616, Tabelle 2 :

Tabelle 2. Prüfverfahren nach Rockwell und ihre Anwendungsgebiete

Prüfverfahren	Eindringkörper	Prüfvorkraft F_0 in N	Prüfzusatzkraft F_1 in N	Prüfgesamtkraft F in N	Definition des Härtewertes	Härtebereich		Anwendungsbereich
						in HV 30	in HR..	
HRA	Diamantkegel	98,07	490,3	588,4	$HRA = 100 - \frac{h}{0,002}$	240 bis 1100	60 bis 88 HRA	Gehärtete und gehärtet angelassene Stähle mit geringer Dicke bzw. dünneren Randschichten als nach HRC prüfbar. Geringere Werkstoffbeanspruchung u. Probenbeschädigung als bei HRC. Hartmetalle
HRD	Diamantkegel	98,07	882,6	980,7	$HRD = 100 - \frac{h}{0,002}$	240 bis 940	40 bis 77 HRD	Oberflächengehärtete Teile mit mittleren Härteschichten
HRC	Diamantkegel	98,07	1372,9	1471	$HRC = 100 - \frac{h}{0,002}$	240 bis 1000	20 bis 70 HRC	Gehärtete und gehärtet angelassene Stähle (Werkzeuge, hochfeste Baustähle)

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Rockwell (4):



Meßgröße
Rockwellhärte HR. Gemessen wird die Eindringtiefe h in mm.

Definition
 $HR = N - h/S$
 N ... Zahlenwert (für jedes Rockwell-Verfahren festgelegt)
 h ... bleibende Eindringtiefe in mm
 S ... Skalenerwert in mm
Dieser Wert ist die Eindringtiefenänderung in mm, die einer Rockwelleinheit entspricht.

Rockwellhärteprüfgeräte der ZHR-Reihe 4150AK und 8150SK



Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Martens (1):

- Die **Martens- (früher Universalhärte-) prüfung** nimmt noch eine Sonderstellung (da relativ neu) unter den Härteprüfverfahren ein.
- Es ist für **alle Werkstoffe**, von Gummi über Kunststoff, NE-Metallen, Stahl bis hin zu sehr harten Werkstoffen wie Glas und Keramik gleichermaßen gut geeignet.
- Der große Unterschied zu den klassischen Verfahren besteht darin, daß die **Härte unter Last** gemessen wird.

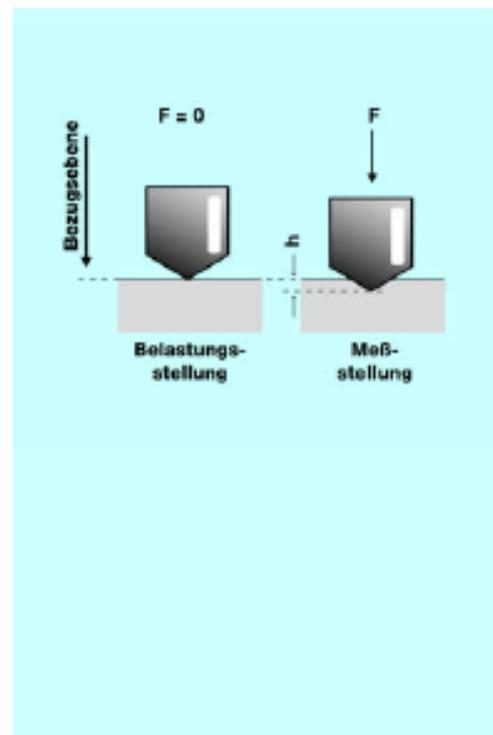
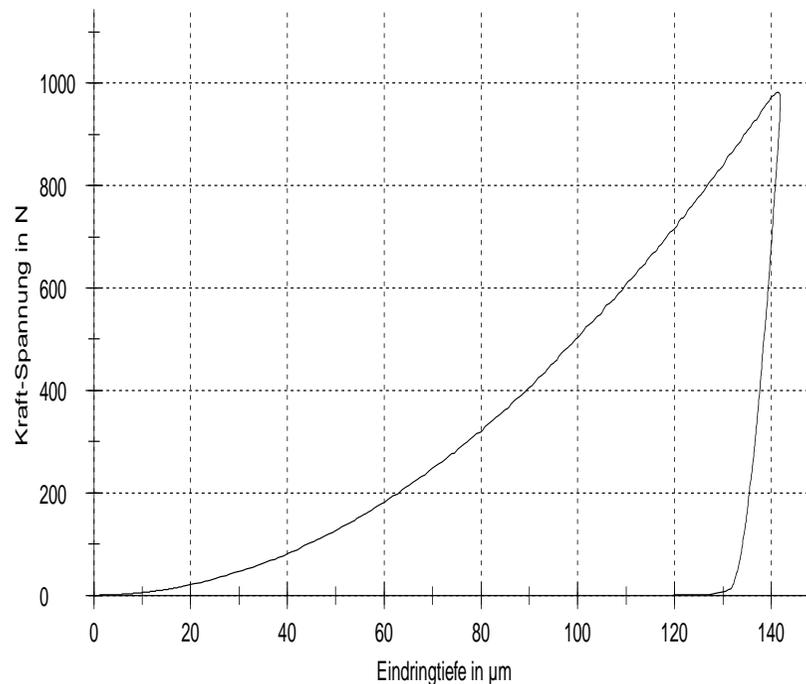
Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Martens (2):

- Aus der aufgezeichneten **Kraft-/ Eindringtiefenkurve** läßt sich zu jedem Zeitpunkt des Versuches der Härtewert ermitteln.
- Versuche haben ergeben, daß sich **Nitrierhärteiefen** mit dem Martensverfahren ermitteln lassen. Hierdurch entfällt die Zerstörung des Bauteils und die Herstellung eines Querschliffes mit anschließender Härteverlaufskurvenermittlung.
- Als **weitere Daten** lassen sich ermitteln: Verformung bei Kontakteinwirkung - Martenshärte HM (oder HM_s), bleibende Verformung (plastisch) - Eindringhärte H_{IT} , Elastizität - Eindringmodul E_{IT} , Viskoelastizität - Eindringkriechen C_{IT} (oder Eindringrelaxation R_{IT})

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Prüfung nach Martens (3):



Meßgröße

Universalhärte HU. Gemessen wird die Eindringtiefe h unter Prüfkraft.

Definition

$$HU = F/A = F / (26,43 h^2)$$

HU ... Härtewert in N/mm^2

F ... Prüfkraft in N

A ... Eindruckoberfläche unter Prüfkraft in mm^2

h ... Eindringtiefe unter Prüfkraft in mm

Martenshärteprüfgerät ZHU0,2/Z2,5, rechts eingebaut in „heißer Zelle“



Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Dynamische Härteprüfverfahren:

- Die dynamischen Härteprüfverfahren finden dort Anwendung, wo das zu prüfende Werkstück auf Grund seiner Größe **nicht zu einem stationären Härteprüfgerät** gebracht werden kann,

... die Härte eines Teiles im **eingebauten Zustand** geprüft werden soll, oder einfach auf **Baustellen**.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Dynamische Verfahren mit Verformungsmessung (1):

- Diese Verfahren werden nur noch recht **selten** angewendet.
- Der sogenannte **Baumann-Hammer** arbeitet nach dem Prinzip, daß eine Schlagenergie auf eine Kugel aufgebracht wird.
- Der Eindruck wird vermessen und über Vergleichstafeln wird der zugehörige **Brinellhärtewert** ermittelt.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Dynamische Verfahren mit Verformungsmessung (2):

- Der **Poldihammer** arbeitet mit einem Vergleichsstab bekannter Brinellhärte und leitet den Härtewert HBP(oldi) aus den mit einem Schlag im Prüfling und im Vergleichsstab erzeugten Härtewerten ab.



Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Dynamische Verfahren mit Energiemessung (1):

- Die **Shore-Härteprüfung** arbeitet nach dem Fallhammerprinzip und verwendet einen gehärteten Stahl als Bezugsbasis für die max. mögliche Rücksprunghöhe.
- Bei der **Rückprallhärteprüfung** wird ein Schlagkörper mit einer Federkraft auf die Probenoberfläche katapultiert und prallt von dort zurück. Dabei ist die **Rückprallgeschwindigkeit härteabhängig**. Aus dem Verhältnis aus Aufprall- und Rückprallgeschwindigkeit, die berührungslos durch einen elektromagnetischen Sensor im Gerät ermittelt werden, wird die **Leebhärte** (DIN 50156) abgeleitet, die auf
- andere Härteverfahren umgewertet werden kann.

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

Dynamische Verfahren mit Energiemessung (2):

- Zu berücksichtigen ist, daß das **Werkstück eine gewisse Masse** und eine gewisse Wandstärke haben muß, da sonst durch die Schlagenergie das Werkstück zum Schwingen angeregt wird und dadurch den Schlagkörper in seinem Rückprallverhalten beeinflusst. Diese Werte findet man in der Norm.

Bsp: der gebräuchlichste Schlagkörper D: 5kg und 25mm Wanddicke

Welches Verfahren - Was ist zu beachten?

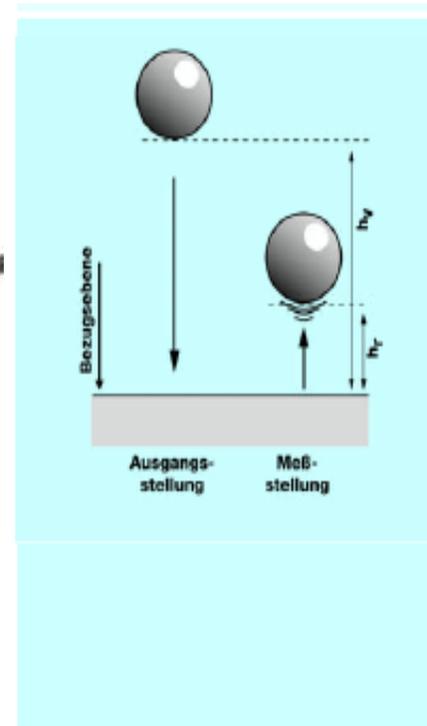
Dynamische Prüfverfahren:



Sklerograph



Rebound mini



Meßgröße

Rückprallhärte. Gemessen wird die Aufprallgeschwindigkeit v_a und die Rückprallgeschwindigkeit v_r (bzw. -höhe) des Schlagkörpers.

Definition

$$\text{Rückprallhärte} = c \cdot v_r / v_a$$

c ... Konstante

v_r ... Rückprallgeschwindigkeit des Schlagkörpers

v_a ... Aufprallgeschwindigkeit des Schlagkörpers

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit