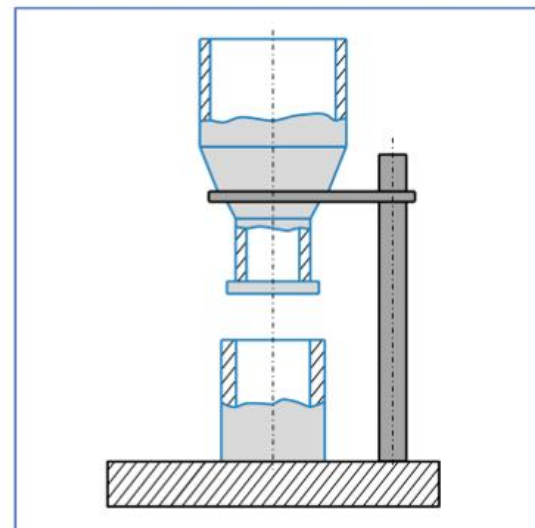
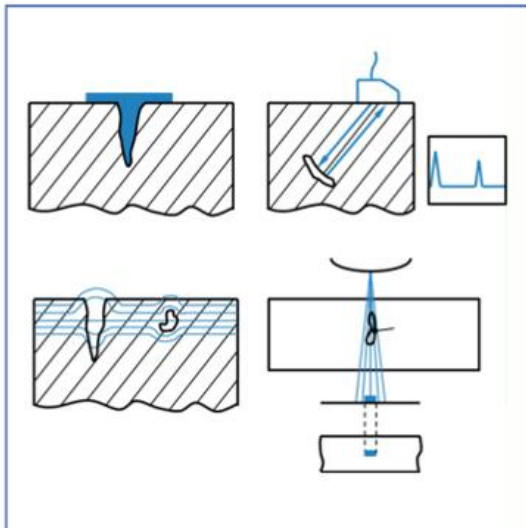
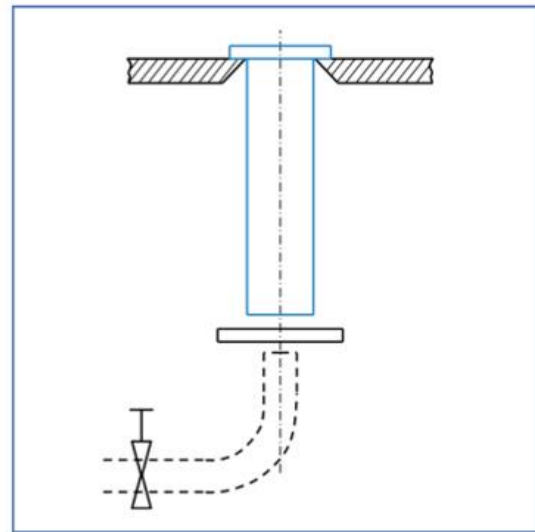
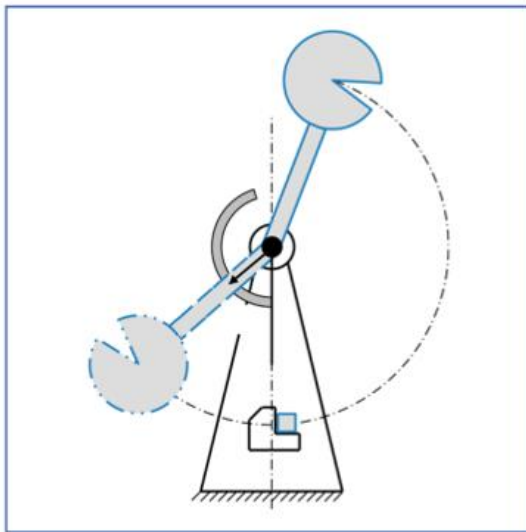


# Der Werkstoffprüfer

Robert Füllmann



---

---

# Der Werkstoffprüfer

Formelsammlung für den Ausbildungsberuf Werkstoffprüfer/-innen

Diese Formelsammlung beinhaltet fachspezifische Formeln der Fachrichtungen Metalltechnik,  
Wärmebehandlungstechnik, Systemtechnik und Kunststofftechnik.

**Autor**

Robert Füllmann

Herausgeber:

**Schmitz**  
Metallographie GmbH

Schmitz-Metallographie GmbH  
Kaiserstraße 100  
52134 Herzogenrath

info@schmitz-metallographie.de  
www.schmitz-metallographie.de

Printed in Germany

Gedruckt auf holz- und säurefreiem Papier, 100% chlorfrei gebleicht

2. erweiterte Auflage, 2017

ISBN 978-3-00-054275-6

## **Vorwort und Danksagung**

### *Preamble and Acknowledgement*

Liebe (angehende) Kolleginnen und Kollegen,

unsere erste Auflage war bereits nach rund einem halben Jahr vergriffen. Das hat uns gleichermaßen überrascht und gefreut. Wir konnten viel positives Feedback sammeln und haben vertiefende Fachgespräche mit Anrufern quer durch die Republik geführt. Das war die Motivationsgrundlage für die Erweiterung der Formelsammlung – Ihnen/Euch allen vielen Dank.

In die 2. Auflage wurden neue Normen eingearbeitet (z.B. Zugversuch, Dauerschwingversuch, Magnetpulverprüfung und Weitere) und folgende Kapitel ergänzt:

- Dichtebestimmung nach Archimedes
- Korngrößenbestimmung (völlig überarbeitet und erweitert mit Beispielen)
- Eindruckversuch nach Buchholz
- Brucharten von Klebeverbindungen
- Schematisches Aussehen von Schwingbrüchen
- Beispielbilder zu Gefüge vs. Härte
- Ätzmittelübersicht
- Wirkungsweise von Kohlenstoff und Begleitelementen in Stählen
- Ultraschallprüfung (Schallaustrittspunkt, Einschallwinkel, Sprungschallweg und Fokus ergänzt)

Mein besonderer Dank gilt Manuela Aring, die unzählige Skizzen gezeichnet und Formeln eingepflegt hat. Beate Balzer danke ich für die akribischen Korrekturdurchläufe.

Der wichtigste Dank gilt aber meiner Frau Claudia für das mir entgegengebrachte Verständnis und den Verzicht auf viel gemeinsame Zeit!

Dieses Buch widme ich meinem Freund und Kollegen Stefan Lindlohr.

*Robert Füllmann*

Herzogenrath, im Juni 2017

# Inhaltsverzeichnis

## Table of Contents

Der Werkstoffprüfer	I
Vorwort und Danksagung	I
<b>1 Allgemeines Kapitel</b>	<b>1</b>
1.1 Wichtige Einheiten	1
1.2 Kesselformel	1
1.3 Thermospannung	2
1.4 Reißlänge	2
1.5 Metallographie	3
1.6 Messung der flächenbezogenen Masse von Beschichtungen gemäß DIN EN ISO 10111:2001	12
1.7 Dichtebestimmung nach Archimedes	13
1.8 Statistik	15
1.9 Begriffe in der Qualitätstechnik	16
1.10 Kohlenstoffäquivalent	16
1.11 Wirksumme PREN - Beständigkeit hochlegierter Stähle gegen Lochfraß	16
<b>2 Fachrichtung Metalltechnik</b>	<b>17</b>
2.1 Zusammenhang zwischen Festigkeiten und Härte / Härteprüfung – Umwertungstabelle für Zugfestigkeit, Brinell-, Rockwell-, Vickershärte	17
2.2 Härteprüfung nach Brinell gemäß DIN EN ISO 6506-1:2015	19
2.3 Härteprüfung nach Vickers gemäß DIN EN ISO 6507-1:2006	21
2.4 Härteprüfung nach Rockwell gemäß DIN EN ISO 6508-1: 2016-12	23
2.5 Härteprüfung nach Knoop gemäß DIN EN ISO 4545:2006	28
2.6 Härteprüfung nach Leeb gemäß DIN EN ISO 16859-1:2016-02	29
2.7 UCI-Härteprüfung gemäß DIN 50159-1:2015	30
2.8 Instrumentierte Eindringprüfung (Martenshärte) gemäß DIN EN ISO 14577-1:2015	31
2.9 Eindruckversuch nach Buchholz gemäß DIN EN ISO 2815:2003	35
2.10 Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892-1:2017-02	36
2.11 Druckversuch gemäß DIN EN ISO 50106:2016-11	42
2.12 Kerbschlagbiegeversuch gemäß DIN EN ISO 148-1:2011-01	44
2.13 Ringzugversuch gemäß DIN EN ISO 8496:2013	47
2.14 Ringaufdornversuch gemäß DIN EN ISO 8495:2013	48
2.15 Hydraulischer Ringaufweitversuch gemäß DIN EN 10275:1999	49
2.16 Aufweitversuch an Muttern gemäß DIN EN ISO 10484:2004	50
2.17 Ringfaltversuch gemäß DIN EN ISO 8492:2013	51
2.18 Einfacher Verwindeversuch gemäß DIN ISO 7800:2012	52

2.19	Einachsiger Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung gemäß DIN EN ISO 204:2009	54
2.20	Relaxationsversuch unter Zugbeanspruchung gemäß DIN EN 10319-1:2003	57
2.21	Dauerschwingversuch gemäß DIN 50100:2016-12	58
3	Fachrichtung Wärmebehandlungstechnik	64
3.1	Wärmebehandlung von Stahl gemäß DIN EN 10052:1993	64
3.2	Erwärm- und Verweildauer bei Wärmebehandlungen	66
3.3	Vickers-Härte unterschiedlicher Gefügebestandteile	67
3.4	Kristallgitterarten	68
3.5	Packungsdichte von Kristallgittern	69
3.6	Bindungsarten in Kristallgittern	70
3.7	Kohlenstoff im Eisengitter	71
3.8	Werkstoffnormung, Faktoren für Kurzbezeichnungen	72
3.9	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (metastabil)	73
3.10	Bestimmung der Entkohlungstiefe gemäß DIN EN ISO 3887:2003	77
3.11	Ermittlung der Oberflächenhärte und Randschichthärtungstiefe SHD gemäß DIN EN 10328:2005	79
3.12	Einsatzhärten gemäß DIN 17022-3:1989-04	80
3.13	Ermittlung der Nitrierhärte (NHD) nach DIN 17022-4:1998-01	83
3.14	Stirnabschreckversuch nach Jominy gemäß DIN EN ISO 642:1999	84
3.15	Thermoelemente	85
3.16	Volumenschwindung	86
3.17	Ritztest-Ermittlung der Verbundhaftung nach DIN EN ISO 20502:2016-11	86
3.18	Kalottenschleifverfahren gemäß DIN EN ISO 26423:2016-11	87
3.19	Schichthaftung von Verschleißschichten mittels Rockwell-C Test gemäß VDI-Richtlinie 3198:1992	88
3.20	Wirkungsweise von Kohlenstoff und Begleitelementen in Stählen	89
4	Fachrichtung Systemtechnik	90
4.1	Einteilung der zerstörungsfreien Prüfverfahren	90
4.2	Sichtprüfung	92
4.3	Eindringverfahren mit farbigem Eindringmittel gemäß DIN EN ISO 3452-1:2014	94
4.4	Magnetpulverprüfung gemäß DIN EN ISO 9934-1:2017-03	96
4.5	Ultraschallprüfung gemäß DIN EN ISO 16828:2014-06	97
4.6	Röntgenprüfung gemäß DIN EN ISO 5579:2014-04	104
4.7	Wirbelstromprüfung gemäß DIN EN ISO 15549:2011	106
5	Fachrichtung Kunststofftechnik	109
5.1	Übersicht der Kunststoffe	109
5.2	Einteilung der Polyreaktionen	111
5.3	Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), E-Modul-Berechnung	111

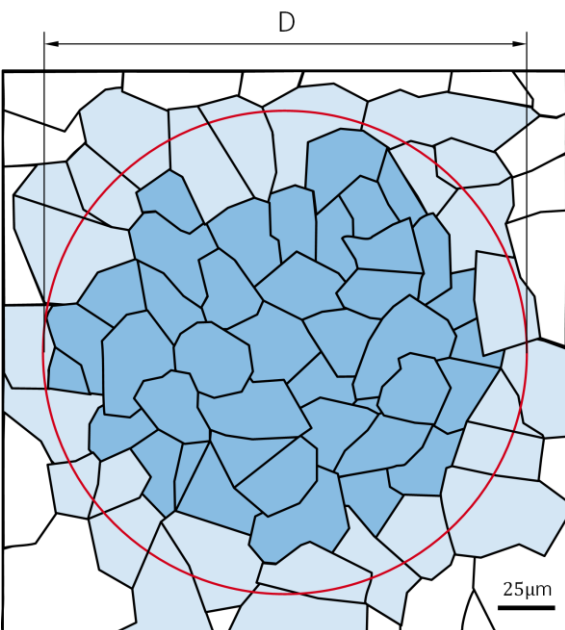
---

5.4	Zugversuch gemäß DIN EN ISO 527:2012-06	112
5.5	Bestimmung der Schüttguteigenschaften gemäß DIN EN ISO 60/61:2000	115
5.6	Bestimmung der Rieselfähigkeit gemäß DIN EN ISO 6186:1998	116
5.7	Druckversuch an Kunststoffen gemäß DIN EN ISO 604:2003-12	117
5.8	Biegeversuch gemäß DIN EN ISO 178:2013-09	118
5.9	Schlagbiegeversuch nach Charpy gemäß DIN EN ISO 179:2010-11	119
5.10	Schlagzugversuch gemäß DIN EN ISO 8256:2005-05	120
5.11	Durchstoßversuch gemäß DIN EN ISO 6603-1:2000-10	121
5.12	Fallbolzenversuch zur Prüfung von Schweißverbindungen gemäß DIN EN ISO 6603-1:2000	121
5.13	Einteilung der Härteprüfverfahren	122
5.14	Härteprüfung nach Barcol gemäß DIN EN 59:2016-06	124
5.15	Kugeleindruckversuch gemäß DIN EN ISO 2039-1:2003-06	124
5.16	Bestimmung der Eindringhärte (Shore-Härte) gemäß DIN ISO 7619-1:2012-02	126
5.17	$\alpha$ -Rockwell-Härte gemäß DIN EN ISO 2039-2:1999	127
5.18	Klebeverbindungen - Brucharten	128
5.19	Bestimmung der Schmelze-Massefließrate (MFR) und der Schmelze-Volumenfließrate (MVR) von Thermoplasten gemäß DIN EN ISO 1133-1:2011	129
	Sachwortverzeichnis	130

## Mikrophotographische Bestimmung der erkennbaren Korngröße gemäß DIN EN ISO 643:2012

Grain size determination according to DIN EN ISO 643:2012

### Flächenausählverfahren

 <p><b>Flächenausählverfahren (schematisch)</b></p> <p>Anmerkung: Die Norm empfiehlt mindestens 50 Körner im Kreis</p>	<b>Gesamtanzahl der Körner</b> $N = n_1 + \frac{n_2}{2}$	
	<b>Tatsächliche Kreisfläche</b> $A_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	
	<b>Mittlere Kornfläche</b> $a = \frac{A_K}{N}$	<b>Mittlerer Korndurchmesser</b> $\bar{d} = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$
	<b>Korngrößenkennzahl (G liegt zwischen -7 und 17)</b> $G = \frac{\lg m}{\lg 2} - 3$	
	<b>Anzahl Körner je Probenfläche im untersuchten Bereich [Körner/mm<sup>2</sup>]</b> $m = 8 \cdot 2^G$	

#### Beispiel zur Bestimmung des mittleren Korndurchmessers (siehe Grafik oben)

Ganze und halbe Körner zählen: 
$$N = n_1 + \frac{n_2}{2} = 41 + \frac{27}{2}$$

Tatsächlichen Durchmesser D messen:  $\varnothing 45 \text{ mm}$

Linienlänge Maßstab messen:  $25 \text{ } \mu\text{m}$  entspricht  $5 \text{ mm}$

Tatsächlicher Kreisdurchmesser:

$$D = \frac{\text{Maßstabslänge}}{\text{Linienlänge}} \cdot \text{tatsächlicher Durchmesser}$$

$$= \frac{25 \text{ } \mu\text{m}}{5 \text{ mm}} \cdot 45 \text{ mm} = 225 \text{ } \mu\text{m}$$

Tatsächliche Kreisfläche bestimmen:

$$A_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 225^2 \text{ } \mu\text{m}^2}{4} = 39760,78 \text{ } \mu\text{m}^2$$

Mittlere Kornfläche bestimmen:

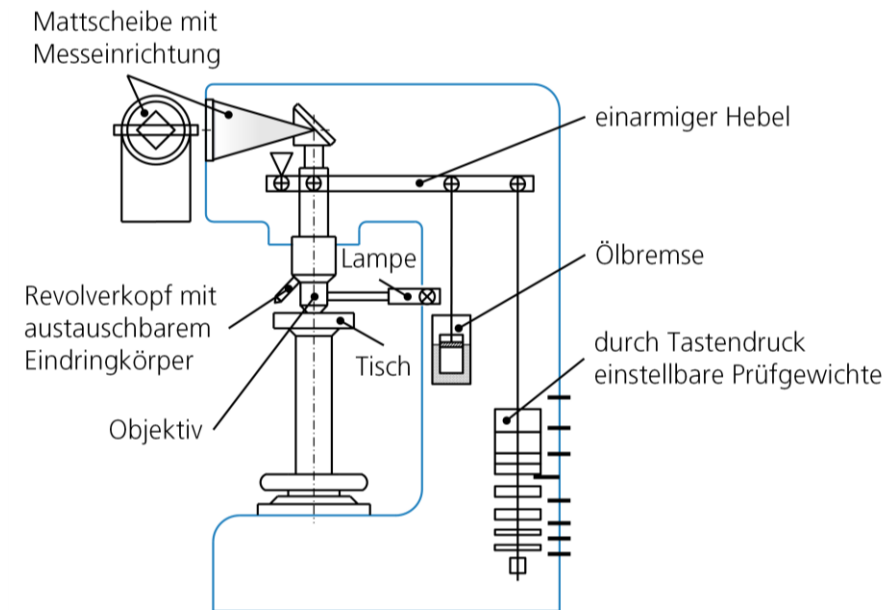
$$a = \frac{A_K}{N} = \frac{39760,78 \text{ } \mu\text{m}^2}{54,5 \text{ Körner}} = 729,55 \text{ } \mu\text{m}^2 \text{ je Korn}$$

## 2 Fachrichtung Metalltechnik

### Mechanical Engineering

#### Definition der Härte:

Härte ist der Widerstand, den ein Prüfkörper dem Eindringen eines härteren Körpers entgegensetzt. Die Härte errechnet sich ganz allgemein aus dem Quotienten Prüfkraft durch Eindrucksoberfläche.



Schematischer Aufbau eines Universalhärteprüfers (Brinell, Vickers, Rockwell).

### 2.1 Zusammenhang zwischen Festigkeiten und Härte / Härteprüfung – Umwertungstabelle für Zugfestigkeit, Brinell-, Rockwell-, Vickershärte

*Correlation between strength and hardness / Hardness test – conversion table tensile strength, Brinell-, Rockwell-, Vickershardness*

<p>Scherfestigkeit vs. Zugfestigkeit</p> $\tau_{aB} \approx 0,8 \cdot R_m$	<p>Biegefließgrenze vs. 0,2%-Dehngrenze</p> $\sigma_{bF} \approx 1,2 \cdot R_{p0,2} \quad \text{bei Stahl}$
<p>Zugfestigkeit vs. Härte</p> $R_m \approx c \cdot HBW$ <p>c = 3,5    Stahl, un- bzw. niedriglegiert                  c = 5,5    Cu und Cu-Legierung gegläht                  c = 4,0    Cu und Cu-Legierung kaltverformt                  c = 3,7    Al und Al-Legierung</p>	



**Umwertung Härte verschiedener Skalen**

$HB = c \cdot HV$

$c = 0,95^*$

Stahl, un- bzw. niedriglegiert

$c = 0,90 \pm 0,021^*$

Cu, rein

$c = 0,87 \pm 0,007^*$

CuZn-Legierung

$c = 0,95 \pm 0,00015^*$

Al + Legierungen

$HRB \approx 176 - \frac{1165}{\sqrt{HB}}$

$HRC \approx 116 - \frac{1500}{\sqrt{HV}}$

$HV \approx HK$  (im Kleinlastbereich)

Anmerkung:

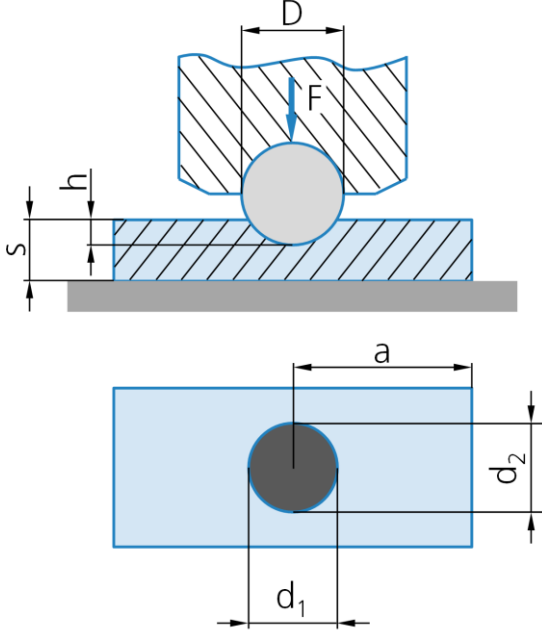
Für die Umwertung wurde zur Vereinfachung aus der Norm DIN EN ISO 18265 ein mittlerer linearer Faktor ermittelt.

**Formelzeichen**

$\tau_{aB}$	Scherfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{bF}$	Biegefließgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]
$R_{p0,2}$	Dehngrenze bei 0,2% plastischer Dehnung [MPa]
$R_m$	Zugfestigkeit [MPa]
HBW	Härte nach Brinell (Wolframkugel)
HB	Härte nach Brinell
HV	Härte nach Vickers
HK	Härte nach Knoop
c	Umrechnungsfaktor


## 2.2 Härteprüfung nach Brinell gemäß DIN EN ISO 6506-1:2015

*Brinell hardness testing according to DIN EN ISO 6506-1:2015*

<p>Härte nach Brinell</p> $HBW = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	 <p>Schematische Darstellung der Brinellhärteprüfung.</p>					
<p>Eindrucksdurchmesser d</p> $d = \sqrt{D^2 - \left(D - \frac{2 \cdot F \cdot 0,102}{D \cdot \pi \cdot HBW}\right)^2}$						
<p>Eindringtiefe h</p> $h = \frac{1}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$						
<p>Prüfkugeldurchmesser D</p> $D = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F}{\sqrt{0,102 \cdot 4 \cdot F \cdot \pi \cdot HBW - d^2 \cdot \pi^2 \cdot HBW^2}}$						
<p>Mindestdicke der Probe</p> $s_{\min} \geq 8 \cdot h$						
<p>Beanspruchungsgrad BG</p> $BG = 0,102 \cdot \frac{F}{D^2}$	<p>Zulässiger Eindrucksdurchmesser</p> $0,24D < d \leq 0,6D$					
<p>Bezeichnung der Brinellhärte</p> <p>„325 HBW10/3000/20“</p> <p>325: Messergebnis          HBW: Härte nach Brinell          10: Prüfkugeldurchmesser          3000: Prüfkraft in kp          20: Einwirkdauer der Prüfkraft in Sekunden, wenn nicht 10-15 s</p>	<p>Abstandsbedingungen</p> <table border="0"> <tr> <td>Randabstand</td> <td>Eindrucksabstand</td> </tr> <tr> <td><math>\geq 2,5 \cdot d</math></td> <td><math>\geq 3 \cdot d</math></td> </tr> </table>		Randabstand	Eindrucksabstand	$\geq 2,5 \cdot d$	$\geq 3 \cdot d$
Randabstand	Eindrucksabstand					
$\geq 2,5 \cdot d$	$\geq 3 \cdot d$					
<p>Formelzeichen</p> <p>HBW Härte nach Brinell (W=Hartmetallkugel)          F Prüfkraft [N]          D Prüfkugeldurchmesser 1, 2,5, 5 oder 10 [mm]          d Mittlerer Eindrucksdurchmesser [mm]          h Eindringtiefe [mm]          a Randabstand [mm]</p>	<p>0,102          BG          d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>          N/A          s</p>	<p>Umrechnungsfaktor von kp (Kilopond) in Newton          Beanspruchungsgrad          Einzelmesswerte des Eindrucksdurchmessers [mm]          not available (nicht verfügbar)          Mindestdicke der Probe [mm]</p>				

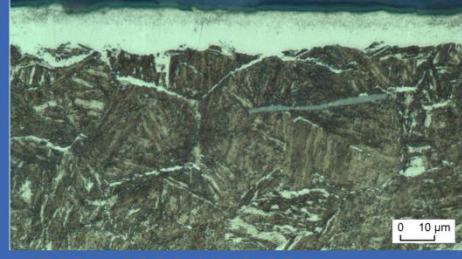
# Härte wärmebehandelter Stähle

Zementit Fe<sub>3</sub>C (Spiegeleisen)



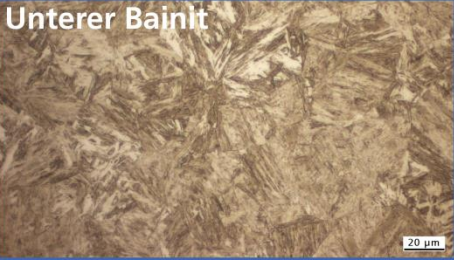
1200 HV0,2

30CrMoV9 Nitrierschicht



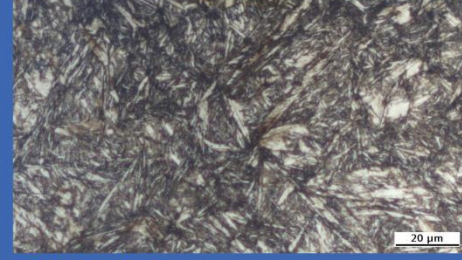
1500...1800 HV0,025

20NiCrMo2-2 vergütet  
Unterer Bainit



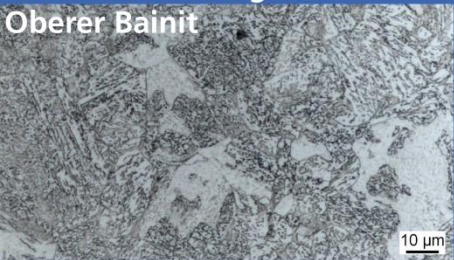
470 HV1 / 45 HRC

C64 gehärtet, Martensit



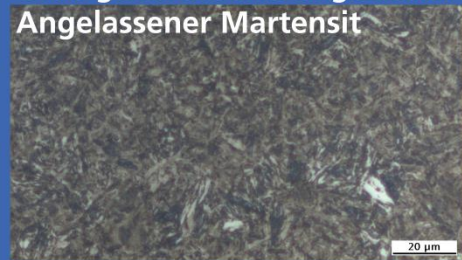
790 HV0,3

18CrNiMo7-6 vergütet  
Oberer Bainit



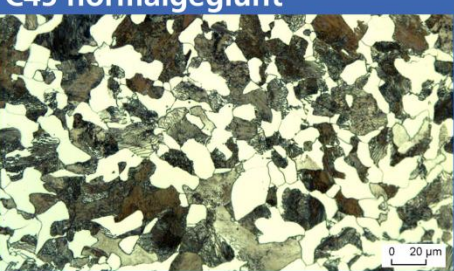
320...350 HV

C100 gehärtet und angelassen  
Angelassener Martensit



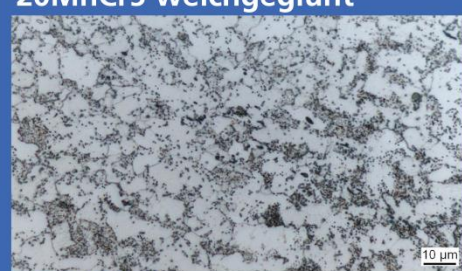
570 HV0,3

C45 normalgeglüht



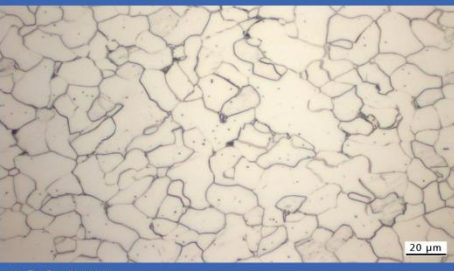
260 HV

20MnCr5 weichgeglüht



200 HV0,1

S235

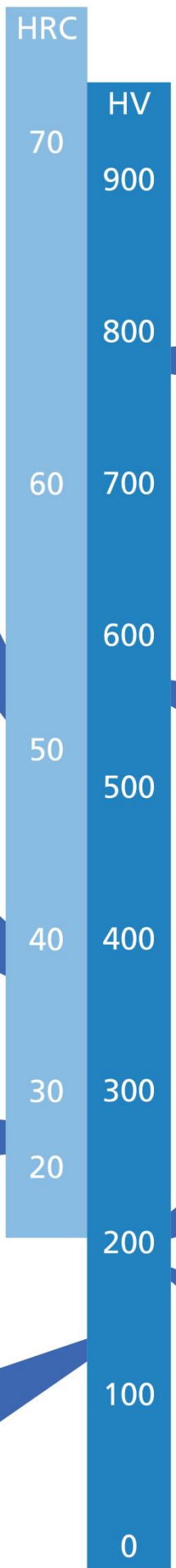


130 HV

1.4404 Austenit



190 HV1



### Schwingbrüche

hohe Nennspannung

niedrige Nennspannung

niedrige Kerbwirkung    mittlere Kerbwirkung    starke Kerbwirkung

niedrige Kerbwirkung    mittlere Kerbwirkung    starke Kerbwirkung

einseitige Biegung oder Zug-Druckspannung

einseitige Biegung oder Zug-Druckspannung



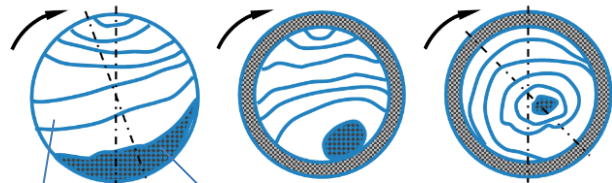
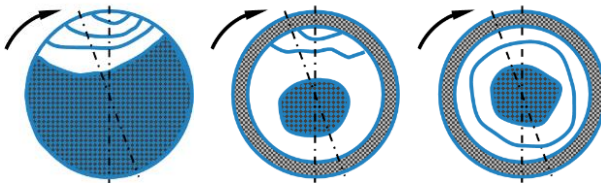
doppelseitige Biegung

doppelseitige Biegung



umlaufende Biegung

umlaufende Biegung



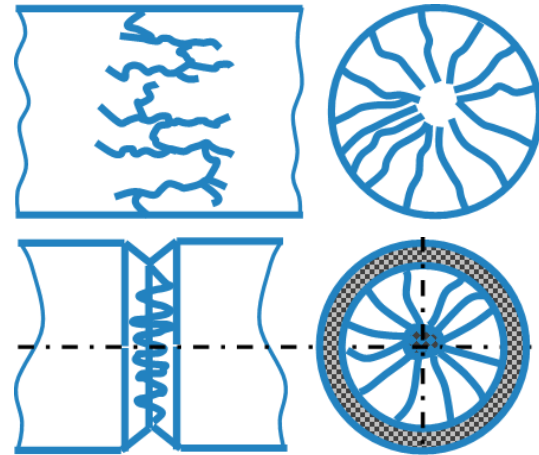
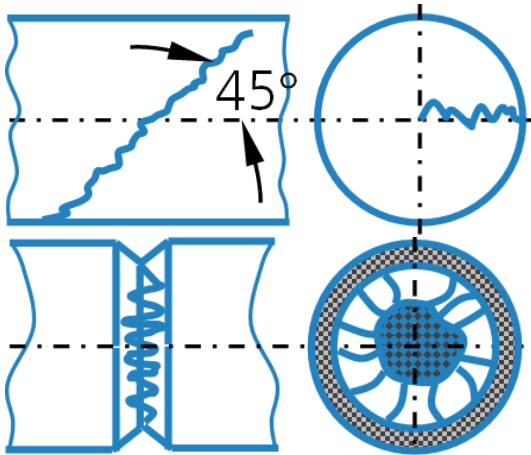
Restgewaltbruch  
Schwingbruch (Rastlinien)

hohe Nennspannung

niedrige Nennspannung

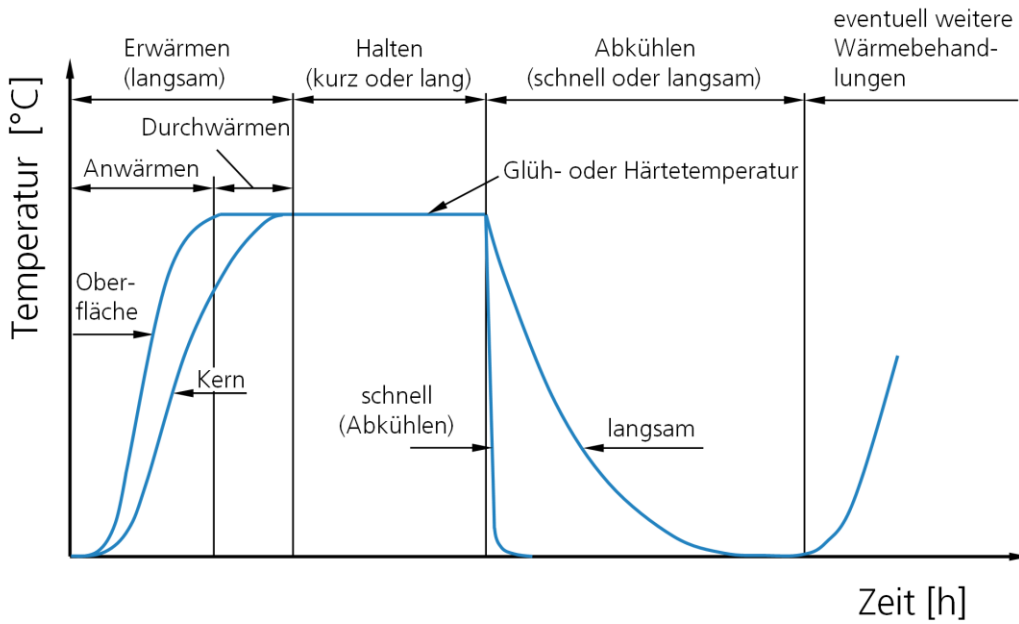
Torsion

Torsion



Schematischer Aufbau verschiedener Schwingbrüche.

### 3 Fachrichtung Wärmebehandlungstechnik Heat treatment technology



Prinzipieller Ablauf einer Wärmebehandlung.

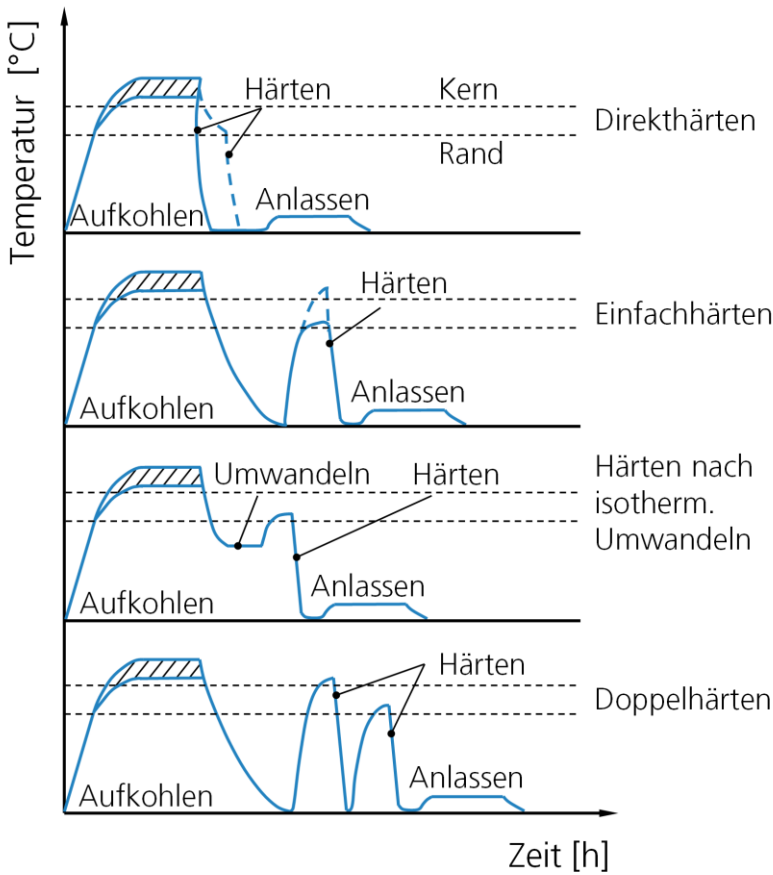
#### 3.1 Wärmebehandlung von Stahl gemäß DIN EN 10052:1993 Heat treatment of steel according to DIN EN 10052:1993

		<p><b>Normalglühen</b> Wärmebehandlung, bestehend aus Austenitisieren und anschließendem Abkühlen an ruhender Luft.</p>
		<p><b>Weichglühen</b> Wärmebehandlung zum Vermindern der Härte eines Werkstoffes auf einen vorgegebenen Wert.</p>
	<p>Glühen</p>	<p><b>Spannungsarmglühen</b> Wärmebehandlung, bestehend aus Erwärmen und Halten bei ausreichend hoher Temperatur und anschließendem zweckentsprechenden Abkühlen, um innere Spannungen ohne wesentliche Änderung des Gefüges weitgehend abzubauen.</p>

### 3.12 Einsatzhärten gemäß DIN 17022-3:1989-04

*Case hardening according to DIN 17022-3:1989-04*

Das Einsatzhärten besteht aus Aufkohlen oder Carbonitrieren mit anschließendem Härten, was auf vier unterschiedliche Weisen erfolgen kann.



Mögliche Verfahrensabläufe für das Härten aufgekohlter Teile nach DIN EN 10052.

The diagram illustrates the process of gas carburizing. It shows a cross-section of a workpiece with a 'Werkstückoberfläche' (workpiece surface) and an 'Adsorptionsschicht' (adsorption layer). 'Aufkohlungsmittel' (carburizing medium) is shown entering the surface. The process involves 'Eindringen' (penetration) and 'Diffundieren' (diffusion) of carbon into the workpiece. The transition zone is labeled 'Übergangszahl  $\beta$ ' and the diffusion coefficient is 'Diffusionskoeffizient D'. The text explains that corners and cross-section transitions are carburized more strongly due to simultaneous diffusion from two directions.

**Vorgänge beim Gasaufkohlen (schematisch).** [Quelle: Stahl-  
Informations-Zentrum Merkblatt 452]


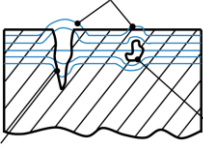
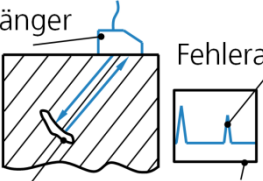
## 4 Fachrichtung Systemtechnik

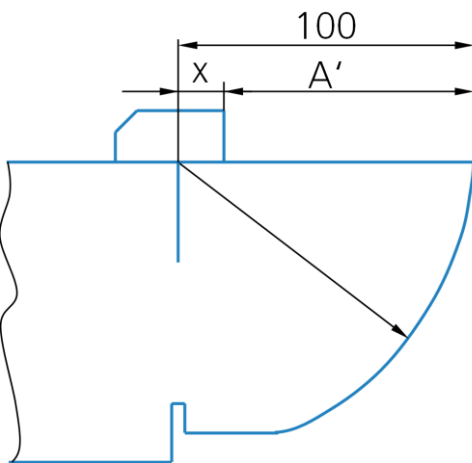
### Systems Engineering

Die nachfolgende Übersicht zeigt die in der Formelsammlung behandelten ZfP-Verfahren.

#### 4.1 Einteilung der zerstörungsfreien Prüfverfahren

*Nondestructive test procedure*

<p>vom Entwickler herausgezogenes Prüfmittel</p>  <p>Oberflächenriss</p>	<p><b>Eindringverfahren mit farbigem Eindringmittel</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vorreinigen</li> <li>2. Auftragen der Prüfflüssigkeit und Eindringen durch Kapillarwirkung</li> <li>3. Zwischenreinigen und Trocknen</li> <li>4. Auftragen des Entwicklers der gleichen Produktfamilie und Inspektion</li> </ol>
<p>Magnetischer Streufluss</p>  <p>Oberflächenriss Fehler dicht unter der Oberfläche</p>	<p><b>Magnetische Streufluss-Verfahren</b></p> <p><b>Prüfvorgang</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Magnetisieren des Werkstückes durch <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jochmagnetisierung oder</li> <li>▪ Spulenmagnetisierung oder</li> <li>▪ Stromdurchflutung</li> </ul> </li> <li>2 Nachweis des im Bereich des Fehlers austretenden magnetischen Streuflusses durch Magnetpulver</li> </ol>
<p>Winkelprüfkopf Sender – Empfänger</p>  <p>Fehleranzeige Bildschirm</p> <p>Fehler</p>	<p><b>Ultraschallprüfung</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Einschallen des Ultraschalles mit Hilfe eines Normalprüfkopfes (senkrechte Einschallung) oder eines Winkelprüfkopfes</li> <li>2 Reflektion der Schallwellen an Grenzschichten/Imperfektionen oder Abnahme des durchlaufenden Schalles</li> <li>3 Auswertung der Schallsignale</li> </ol>



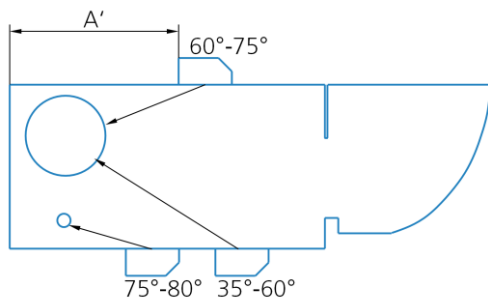
**Schematische Darstellung zur Bestimmung des x-Maßes am K1.**

**Lage des Schallaustrittspunktes (x-Maß)**

Bei der Kontakttechnik und vernachlässigbarem, dünnem Koppelpalt sind Schallein- und -austrittspunkt identisch. Der Schallaustrittspunkt ist bei Einzelschwingerprüfköpfen der Ort an der Sohle, an dem der Hauptstrahl des Schallbündels austritt.

Die Lage des Schallaustrittspunktes wird mit dem x-Maß angegeben, dem Abstand zur Prüfkopfvorderkante. Das x-Maß kann am Kalibrierkörper Nr.1 bestimmt werden.

- 1 Der Prüfkopf wird über dem Mittelpunkt des Kreisbogens (Sägeschnitt) aufgesetzt und die Anzeige optimiert. Die Anzeige ist maximal, wenn der Schallaustrittspunkt genau auf dem Kreismittelpunkt steht.
- 2 Der Abstand A' wird von der Prüfkopfvorderkante zur Vorderkante des K1 gemessen. Das x-Maß ist  $x = 100 \text{ mm} - A'$
- 3 Das Ergebnis ist auf ganze mm zu runden und zu protokollieren (Messgenauigkeit  $\pm 1 \text{ mm}$ ).



**Schematische Darstellung zur Bestimmung von  $\alpha$  am K1.**

**Einschallwinkel  $\alpha$**

Der Einschallwinkel kann ebenfalls am Kontrollkörper Nr. 1 bestimmt werden. Je nach Nennwinkel des Prüfkopfes wird entweder die 3 mm oder die 50 mm Bohrung angeschallt.

- 1 Der Prüfkopf wird in der entsprechenden Position aufgesetzt und die Anzeige optimiert.
- 2 Der Abstand A' ist, wie in der Abbildung dargestellt, zu messen.
- 3 Bei A' + x wird der Winkel, wie in der Abbildung dargestellt, an der eingravierten Skala abgelesen (gradzahlig) und protokolliert.



## 5 Fachrichtung Kunststofftechnik

### *Plastics engineering*

#### 5.1 Übersicht der Kunststoffe

##### *Plastics – an overview*

<b>Allgemeine Eigenschaften</b>	<b>Vorteile:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ geringe Dichte</li> <li>▪ elektrisch isolierend</li> <li>▪ wärme- und schalldämmend</li> <li>▪ dekorative Oberfläche</li> <li>▪ kostengünstige Formgebung</li> <li>▪ witterungs- und chemikalienbeständig</li> </ul>	<b>Nachteile:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ im Vergleich zu Metallen geringere Festigkeit und Wärmebeständigkeit</li> <li>▪ zum Teil brennbar</li> <li>▪ zum Teil unbeständig gegen Lösungsmittel</li> <li>▪ nur begrenzt wiederverwertbar</li> </ul>
---------------------------------	--	--

Einteilung	Thermoplaste	Duroplaste	Elastomere
<b>Bearbeitung</b>	warm umformbar schweißbar im Allgemeinen klebbar	nicht umformbar nicht schweißbar klebbar zerspanbar	nicht umformbar nicht schweißbar klebbar zerspanbar bei tiefen Temperaturen
<b>Verarbeitung</b>	Spritzgießen Spritzblasen Extrudieren	Pressen Spitzpressen Spritzgießen, Gießen	Pressen Spritzgießen Extrudieren
<b>Recycling</b>	gut recycelbar	nicht recycelbar evtl. als Füllstoff verwertbar	nicht recycelbar

## 5.2 Einteilung der Polyreaktionen

*Classification polymer reaction*

Kunststoffe entstehen aus "Polyreaktionen", bei denen einzelne Moleküle, sogenannte "Monomere" (griech. monos = einzeln, meros = Teilchen), zu "Polymeren" (griech. polys = viel) reagieren.

Es gibt drei verschiedene Reaktionstypen, in die die Polyreaktionen unterteilt werden.

<p><b>Polykondensation:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Polykondensation verläuft in Stufen und mit Abspaltung von Nebenprodukten.</li> </ul> <p><b>Bei der Polykondensation entstehen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Polyamide (PA)</li> <li>Polyester (PES)</li> <li>Formaldehydharze</li> </ul>	<p><b>Polymerisation:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Polymerisation verläuft stufenlos und ohne Abspaltung von Nebenprodukten.</li> </ul> <p><b>Bei der Polymerisation entstehen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Polyethen (PE)</li> <li>Polypropen (PP)</li> <li>Polystyrol (PS)</li> <li>Polyvinylchlorid (PVC)</li> <li>Polyacrylnitril (PAN)</li> <li>Polytetrafluorethen (Teflon)</li> <li>Polyacrylate</li> </ul>
<p><b>Polyaddition:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Polyaddition verläuft auch in Stufen, aber ohne Abspaltung von Nebenprodukten.</li> </ul> <p><b>Bei der Polyaddition entstehen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Epoxidharze</li> <li>Polyurethane</li> <li>Polyharnstoffe</li> </ul>	<p>Je nach Reaktionsmechanismus unterscheidet man verschiedene Arten der Polymerisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Radikalische Polymerisation</li> <li>Ionische Polymerisation</li> <li>Ziegler-Natta-Polymerisation, hierbei entstehen die räumlich gleichmäßig aufgebauten Polymere.</li> </ul>

## 5.3 Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), E-Modul-Berechnung

*Young's modulus calculation of glass-fibre reinforced plastics*

<p><b>E-Modul von GFK</b></p> $E_c = v_m \cdot E_m + v_f \cdot E_f$	<p><b>Thermische Leitfähigkeit von GFK</b></p> $\lambda_c = v_m \cdot \lambda_m + v_f \cdot \lambda_f$
<p><b>Formelzeichen</b></p> <p><math>E_c</math> E-Modul von GFK</p> <p><math>E_f</math> E-Modul Glas [72,4·10<sup>3</sup> MPa]</p> <p><math>E_m</math> E-Modul Polyester [6,9·10<sup>3</sup> MPa]</p>	<p><math>v_f</math> Volumenanteil Glas [60%]</p> <p><math>\lambda_f</math> thermische Leitfähigkeit von Glas [0,97 W/m·K]</p> <p><math>\lambda</math> thermische Leitfähigkeit von Polyester [0,17 W/m·K]</p>

## Sachwortverzeichnis

Abbildungsvergrößerung .....	7	CEV-Formel .....	16
Abkohlung.....	77	Charpy-Schlagzähigkeit.....	120
Abkühlkurve Reineisen .....	72	CHD .....	81
Adhäsionsbruch .....	128	Dauerschwingversuch .....	58
Alterung, Metalle .....	65	Dehngrenze.....	36
Andreaskreuz.....	3	Dehnungsverteilung entlang einer Zugprobe .....	40
Arbeitsvermögen.....	44	Dichte des Tränkstoffgehaltes .....	13
Ätzmittelneutralisation .....	5, 7	Diffusionsglühen.....	65
Ätzmittelübersicht.....	4	Druckfestigkeit .....	42
Aufhärbarkeit .....	84	Druckspannung .....	42
Aufkohlungstiefe At, Berechnung.....	82	Druckvorrichtung.....	42
Aufspaltung Welle.....	99	Durchlaufspule .....	108
Aufweitversuch an Muttern .....	50	Durchstoßversuch .....	121
Ausbauchung.....	42	Durchstrahlungsprüfung .....	91, 104
Auskohlung .....	77	Duroplaste.....	109
Barcol-Härteprüfer.....	124	Duroplaste, fadenförmig .....	110
Beleuchtungsgesetz.....	92	Echo, Reflexion Innenwand .....	100
Belichtungszeit.....	104	Eichen .....	16
Benetzbarkeit von Eindringmitteln .....	95	Eigenfrequenz .....	98
Biegefließgrenze .....	17	Eindringhöhe (Kapillarrohr).....	95
Biegeversuch an Kunststoffen .....	118	Eindringtiefe .....	107
Bildgüte .....	105	Eindringverfahren .....	90, 94
Bildqualität.....	104	Eindruckversuch nach Buchholz.....	35
Bindungsarten.....	70	einfacher Verwindeversuch .....	52
Brechungsgesetz .....	98	Einhärbarkeit .....	84
Brechungsindex.....	93	Einhärtetiefe .....	81
Brinellhärteprüfung .....	19	Einheiten .....	1
Bruchdehnung .....	36	Einsatzhärten.....	65, 80
Bruchdehnungsindizierung .....	37	Einsatzhärtungstiefe.....	81
Brucheinschnürung .....	36	Einschallwinkel $\alpha$ .....	101
Bruchverlegung.....	40		

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm .....	73	Härtbarkeitsberechnung, Einsatzhärten ...	81
EKD, Temperaturen und Konzentrationen	75	Härte.....	17
Elastizitätsmodul .....	37	Härte, Definition .....	17
Elastomere.....	109	Härten.....	65
Elastomere, fadenförmig .....	110	Härteprüfverfahren an Kunststoffen, Einteilung .....	122
elektrische Durchflutung .....	106	Härteskalenvergleich .....	24
elektrische Leitfähigkeit.....	106	hdp-Gitter .....	68
Empfindlichkeit .....	105	Hebelgesetz.....	11
Entkohlung .....	77	hexagonal dichteste Packung .....	68
Entkohlungstiefe .....	78	Hookesches Gesetz.....	54
Erwärm- und Verweildauer, Wärmebehandlung.....	66	Induktionsformel .....	96
Fallbolzenversuch .....	121	Instrumentierte Eindringprüfung .....	31
Farbeindringverfahren .....	90, 94	Jominy .....	84
Feldstärke .....	96	Justieren.....	16
Fernfeld .....	98	Kalibrieren.....	16
Flächenauszahlverfahren .....	8	Kalibrierung, direkt und indirekt.....	22
Flächenbezogene Masse von Beschichtungen .....	12	Kalottenschleifverfahren .....	87
Fließgrenze .....	60	Kerbempfindlichkeit.....	120
Fokus.....	102	Kerbschlagbiegeprobe, Metall.....	45
Frequenz.....	97	Kerbschlagbiegeprüfgerät .....	44
Frequenzverschiebung.....	30	Kerbschlagbiegeversuch, Metalle.....	44
Füllfaktor .....	115	Kerbschlagenergie .....	44
Funktionelle Entkohlungstiefe.....	77	Kerbschlagzähigkeit.....	44
Gasaufkohlen .....	80	Kesselformel.....	1
Gesamtentkohlungstiefe .....	77	kfz-Gitter.....	68
Gestaltfestigkeit.....	60	Knetwerkstoffe.....	31
Gfk, E-Modulberechnung .....	111	Knoop - Härteprüfung .....	28
Grenzschichtbruch .....	128	Kohäsionsbruch.....	128
Grenzwinkel, Totalreflektion.....	98	Kohlenstoff im Eisengitter .....	71
Grobkornglühen .....	66	Kohlenstoffäquivalent .....	16
gummielastische Werkstoffe.....	31	Kontrast .....	104

Kontrastverhältnis .....	92	Metallographie .....	3
Konzentrationen in Legierungen .....	7	MFR und MVR .....	129
Korngrößen Kennzahl .....	8	Mischbruch .....	128
Kraft-Verlängerungs-Diagramm .....	36	Mischungsgleichung .....	3
Kreisschnittverfahren .....	8	Mischungskreuz .....	3
Kriechdehnung .....	54	Mischungstemperatur .....	3
Kriechgrenze .....	56, 60	mittlerer Korndurchmesser .....	8
Kriechkurve .....	57	Molmasse .....	73
Kristallgitter .....	68	Nahfeldlänge .....	97
krz-Gitter .....	68	Neutralisation von Ätzmitteln .....	5
Kubisch-flächenzentriert .....	68	Nitrieren .....	65
Kubisch-raumzentriert .....	68	Nitrierhärte (NHD) .....	83
Kugeleindruckhärte .....	125	Normalglühen .....	64
Kugeleindruckversuch .....	124	Oberflächenhärte, Ermittlung .....	79
Kugelkalottenschleifverfahren .....	87	Ohmsches Gesetz .....	106
Kunststoffe, Übersicht .....	109	Packungsdichte, Gitter .....	69
KV-T-Diagramm .....	46	Pendelschlagwerk .....	44
Lastverhältnis .....	59	peritektische Ecke .....	75
Lebensdauer .....	60	Polyaddition .....	111
Leeb Härteprüfung .....	29	Polykondensation .....	111
Leuchtdichte .....	92	Polymerisation .....	111
Lichtmikroskop, Auflösungsvermögen .....	11	Polyreaktionen .....	111
Lichtmikroskop, Gesamtvergrößerung .....	11	PREN-Formel .....	16
Linienschnittverfahren .....	9	Profildraht .....	52
Lunkerbildung .....	86	Projektionsabstand .....	100
Magnetische Feldstärke .....	106	Prüfmittelsystem .....	94
magnetische Flussdichte .....	96	PVD und CVD Rockwell-C-Prüfung .....	88
magnetischer Fluss .....	96	Querkontraktionszahl .....	37
magnetischer Kraftfluss .....	106	Quetschgrenze .....	42
Magnetpulverprüfung .....	90, 96	Randschichthärtungstiefe .....	79
Martenshärteprüfung .....	31	Randschichthärtungstiefe (SHD) .....	83
Massenanteil .....	73		

Reduzierte Prüfkraft, Kugeleindruckversuch .....	125	Schlagbiegeversuch nach Charpy .....	119
Reflektionsfaktor .....	97	Schlagzugversuch .....	120
Reflexion Innenwand .....	100	Schlagzugzähigkeit bzw. Kerbschlagzugzähigkeit .....	120
Reflexionskontrast .....	92	Schmelze-Massefließrate .....	129
Reißlänge .....	2	Schmelze-Volumenfließrate .....	129
Rekristallisationsglühen .....	65	Schrägschliff .....	4
relative Permeabilität .....	106	Schüttdichte .....	115
relativer Fehler .....	16	Schüttguteigenschaften .....	115
Relaxationsversuch .....	57	Schwindung .....	86
Rieselfähigkeit .....	116	Schwingbrüche .....	62
Ringaufdornversuch .....	48	Schwingspielzahl .....	60
Ringaufweitversuch .....	49	Scratchtest .....	86
Ringfaltversuch .....	51	Sehwinkel .....	93
Ringzugversuch .....	47	SHD .....	79
Ritztest .....	86	Shore-Härte .....	126
Rockwell .....	23	Sichtprüfung .....	92
Rockwellhärte $\alpha$ .....	127	Spannungsarmglühen .....	64
Rockwellhärteprüfung .....	23	Spannungs-Dehnungs-Diagramm, Hauptvarianten .....	38
Röntgenabsorptionsgesetz .....	104	Spannungs-Dehnungs-Diagramm, Kunststoff .....	112
Röntgenprüfung .....	91, 104	Spannungs-Dehnungs-Diagramm, wahr ..	38
Schallaustrittspunkt (x-Maß) .....	101	spezifischer elektrischer Widerstand .....	106
Schalldruck .....	99	Sprungabstand .....	98
Schallfeld .....	97	Sprungschallweg $s_p$ und Sprungabstand $a_p$ .....	102
Schallgeschwindigkeiten und Schallwellenwiderstand in verschiedenen Medien .....	103	Statistik .....	15
Schallwellenwiderstand .....	97	Stauchgrenze .....	42
Schärfe .....	105	Stirnabschreckversuch .....	84
Scherfestigkeit aus Härte .....	17	Streckgrenze .....	36
Schichtdicke .....	87	Streckgrenzenverhältnis .....	36
Schichthaftungstest .....	88	Streckungsgrad .....	9
Schlagarbeit .....	120		

Stromdurchflutung.....	96	Werkstoffnormung, Faktoren für Kurzbezeichnungen.....	72
Tabelle der Fe-C-Phasen .....	76	Werkstoffverhalten und Härteeindruck, Kunststofftechnik .....	123
Tastspule .....	108	Winkelberechnung, Kerbschlagenergie ....	45
Thermische Analyse.....	72	Wirbelstromerzeugung .....	106
Thermoelemente.....	85	Wirbelstromprüfung .....	91, 106
Thermoplaste.....	109	Wirksamkeit, Korrosion .....	16
Thermoplaste, amorph .....	110	Wirkungsweise von Kohlenstoff und Begleitelementen in Stählen .....	89
Thermoplaste, teilkristallin .....	110	Wöhlerkurve.....	60, 61
Thermospannung.....	2	Wöhlerversuch.....	61
Totalreflektion, Grenzwinkel.....	98	Zeitbruchdehnung .....	54
Traversengeschwindigkeit.....	36	Zeitbrucheinschnürung .....	54
UCI-Härteprüfung .....	30	Zeitdehngrenze.....	56
Ultraschall Winkelprüfkopf .....	97	Zeitschwingfestigkeit .....	60
Ultraschallprüfung.....	90, 97	Zeitstandfestigkeit .....	56
Umwertung .....	18	Zeitstandschaubild, Zeitdehnlinienschaubild .....	55
Universalhärteprüfer.....	17	Zeitstandsversuch.....	54
V2A-Beize .....	5	Zugfestigkeit aus Härte .....	17
Vergrößerung, ZfP.....	93	Zugprobe, Dehnungsverteilung .....	40
Vergüten .....	65	Zugprobe, geprüft .....	39
Vickers-Härte unterschiedlicher Gefügebestandteile .....	67	Zugprobenformen, Kunststoffe .....	114
Vickershärteprüfung.....	21	Zugprobenformen, Metalle .....	39
Volumenkonstanz .....	38	Zugprüfmaschine.....	36
Volumenschwindung.....	86	Zugversuch, Kunststoffe.....	112
Vorlaufstreckenlänge in Wasser .....	102	Zugversuch, Kunststoffe- Prüfgeschwindigkeit .....	113
Wahre Spannung .....	38	Zugversuch, Metalle.....	36
Wärmebehandlung .....	64		
Wasservorlaufstrecke.....	99		
Weichglühen.....	64		
Wellenlänge.....	97		

### **Der Werkstoffprüfer**

Diese Formelsammlung richtet sich an Werkstoffprüfer und Metallographen. Sie fasst die Formeln, Begriffe, Messprinzipien und Prüfverfahren aus den geltenden Normen zusammen, ergänzt um weitere Informationen und mathematische Hilfsmittel, die in der beruflichen Praxis des Werkstoffprüfers unverzichtbar sind. Abgedeckt werden alle vier Fachrichtungen des Ausbildungsberufs: Metalltechnik, Wärmebehandlungstechnik, Systemtechnik und Kunststofftechnik.

### **Der Autor**

M.Sc. Robert Füllmann, Jahrgang 1981, studierte nach seiner Ausbildung zum Werkstoffprüfer (Fachrichtung Metalltechnik) Metallurgie und Werkstofftechnik sowie Gießereitechnik. Bereits parallel zum Studium baute er die Schmitz-Metallographie GmbH auf, die heute sowohl Werkstoffuntersuchungen und Schadensanalysen durchführt als auch Metallographiebedarf vertreibt. Er ist Mitglied im Prüfungsausschuss der IHK Aachen und gibt selbst als Berufsschullehrer seine Erfahrungen an Werkstoffprüfer-Auszubildende weiter, wobei auch die Idee zum vorliegenden Buch entstand.

### **Gefügedatenbank**

Die kostenlose Gefügedatenbank auf der Firmenwebseite stößt mittlerweile auf reges Interesse bei Fachkollegen und Auszubildenden:  
[www.schmitz-metallographie.de](http://www.schmitz-metallographie.de)



[schmitz-metallographie.de](http://schmitz-metallographie.de)  
ISBN 978-3-00-054275-6