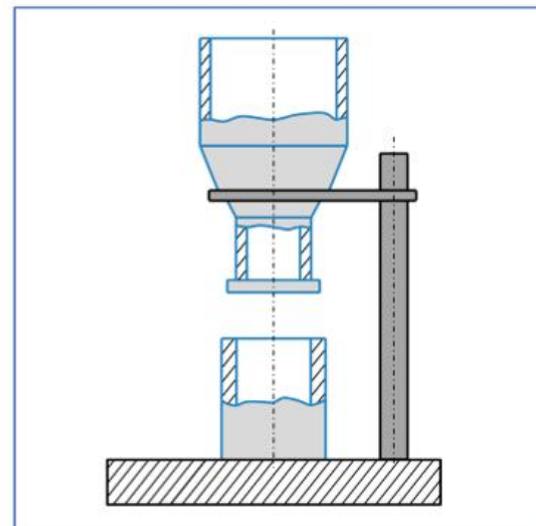
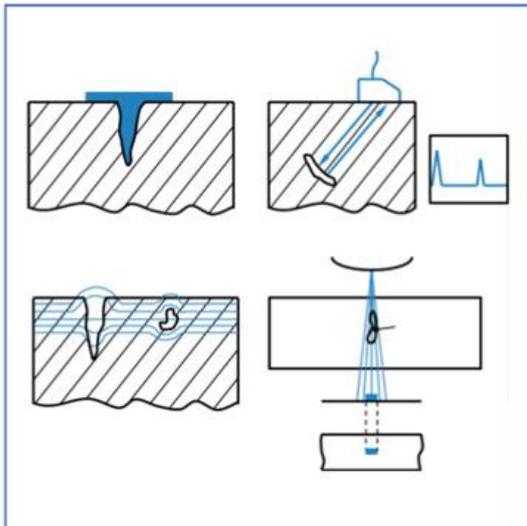
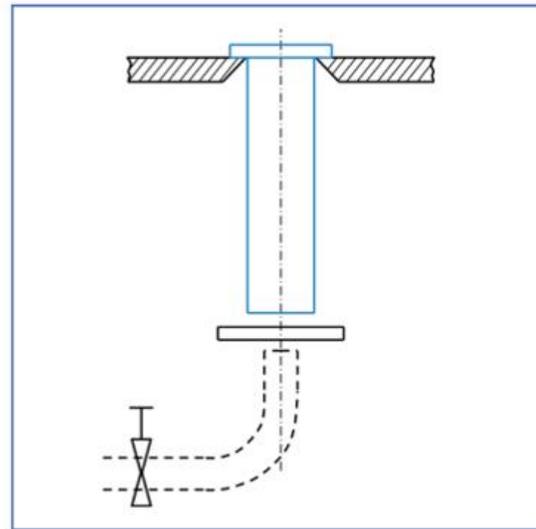
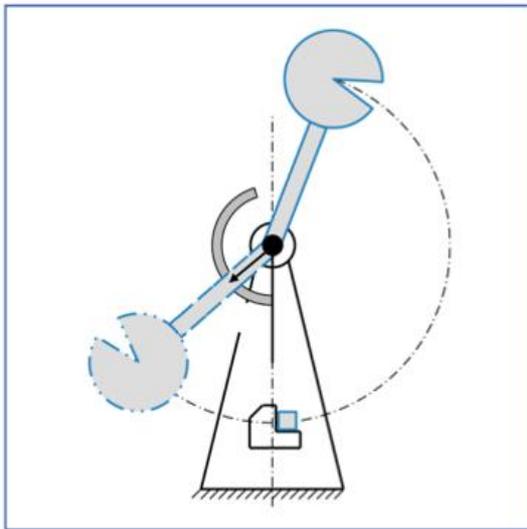


Der Werkstoffprüfer

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
1 Allgemeines Kapitel	1
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
2 Fachrichtung Metalltechnik	17
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

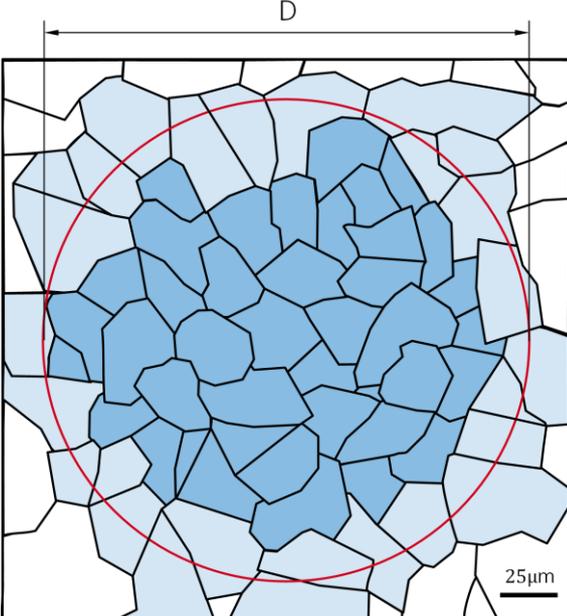
2.19	Einachsiger Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung gemäß DIN EN ISO 204:2009	54
2.20	Relaxationsversuch unter Zugbeanspruchung gemäß DIN EN 10319-1:2003	57
2.21	Dauerschwingversuch gemäß DIN 50100:2016-12	58
3	Fachrichtung Wärmebehandlungstechnik	64
3.1	Wärmebehandlung von Stahl gemäß DIN EN 10052:1993	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 Verschleißschuttschichten 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	α -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>Flächenausählverfahren (schematisch)</p> <p>Anmerkung: Die Norm empfiehlt mindestens 50 Körner im Kreis</p>	Gesamtanzahl der Körner $N = n_1 + \frac{n_2}{2}$	
	Tatsächliche Kreisfläche $A_K = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	
	Mittlere Kornfläche $a = \frac{A_K}{N}$	Mittlerer Korndurchmesser $\bar{d} = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$
	Korngrößenkennzahl (G liegt zwischen -7 und 17) $G = \frac{\lg m}{\lg 2} - 3$	
	Anzahl Körner je Probenfläche im untersuchten Bereich [Körner/mm²] $m = 8 \cdot 2^G$	

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

Tatsächlicher Kreisdurchmesser:

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

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

Tatsächliche Kreisfläche bestimmen:

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

Mittlere Kornfläche bestimmen:

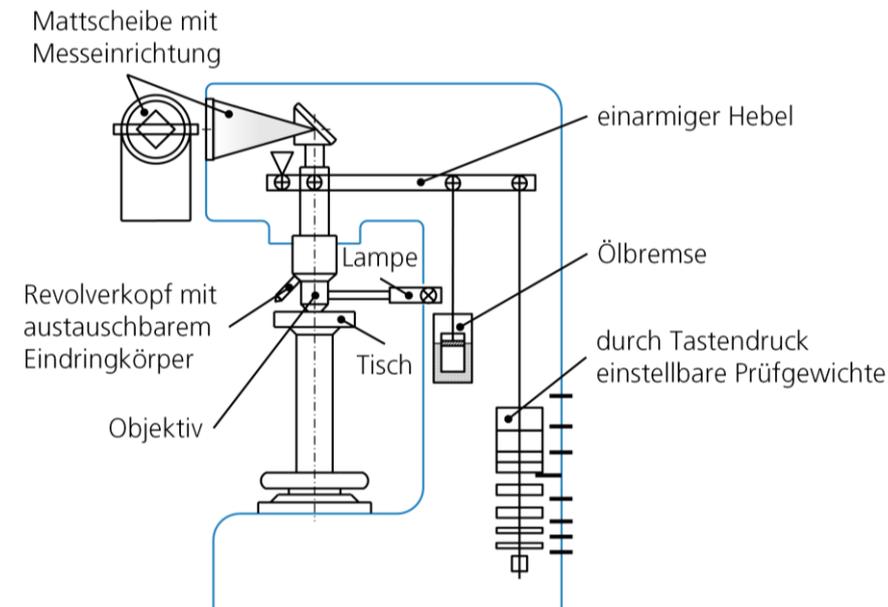
$$a = \frac{A_K}{N} = \frac{39760,78 \mu\text{m}^2}{54,5 \text{ Körner}} = 729,55 \mu\text{m}^2 \text{ je Korn}$$

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 Eindrucksfläche.



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:

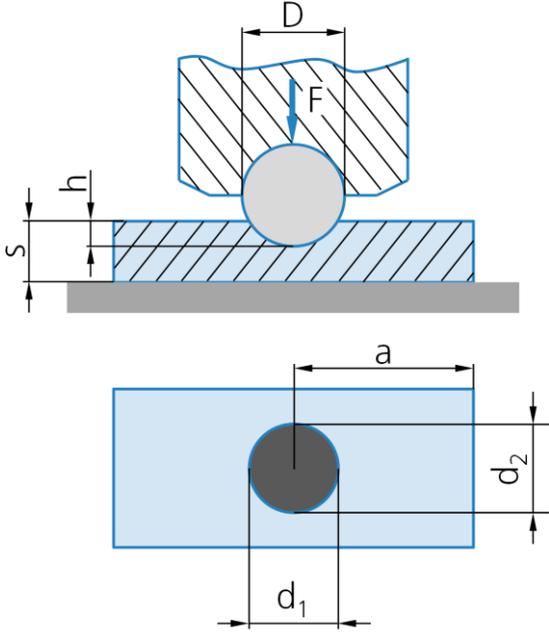
Für die Umwertung wurde zur Vereinfachung aus der Norm DIN EN ISO 18265 ein mittlerer linearer Faktor ermittelt.

Formelzeichen

τ_{aB}	Scherfestigkeit [N/mm ²]
σ_{bF}	Biegefließgrenze [N/mm ²]
$R_{p0,2}$	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>$\geq 2,5 \cdot d$</td> <td>$\geq 3 \cdot d$</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)</p> <p>F Prüfkraft [N]</p> <p>D Prüfkugeldurchmesser 1, 2,5, 5 oder 10 [mm]</p> <p>d Mittlerer Eindrucksdurchmesser [mm]</p> <p>h Eindringtiefe [mm]</p> <p>a Randabstand [mm]</p>	<p>0,102</p> <p>BG</p> <p>d₁, d₂</p> <p>N/A</p> <p>s</p>	<p>Umrechnungsfaktor von kp (Kilopond) in Newton</p> <p>Beanspruchungsgrad</p> <p>Einzelmesswerte des Eindrucksdurchmessers [mm]</p> <p>not available (nicht verfügbar)</p> <p>Mindestdicke der Probe [mm]</p>				

Härte wärmebehandelter Stähle

Zementit Fe₃C (Spiegeleisen)



1200 HV0,2

30CrMoV9 Nitrierschicht



1500...1800 HV0,025

20NiCrMo2-2 vergütet
Unterer Bainit



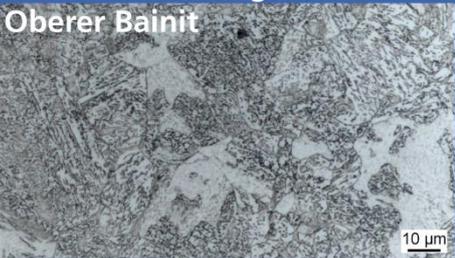
470 HV1 / 45 HRC

C64 gehärtet, Martensit



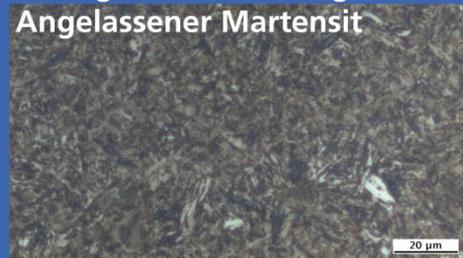
790 HV0,3

18CrNiMo7-6 vergütet
Oberer Bainit



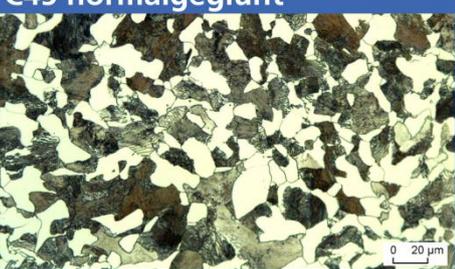
320...350 HV

C100 gehärtet und angelassen
Angelassener Martensit



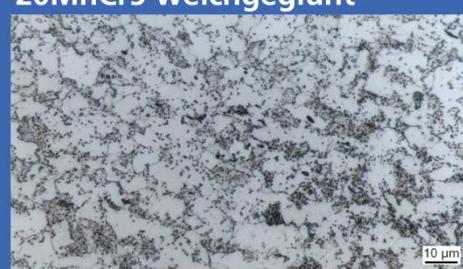
570 HV0,3

C45 normalgeglüht



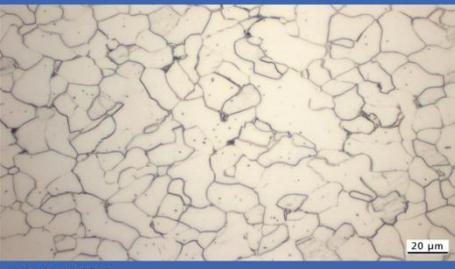
260 HV

20MnCr5 weichgeglüht



200 HV0,1

S235

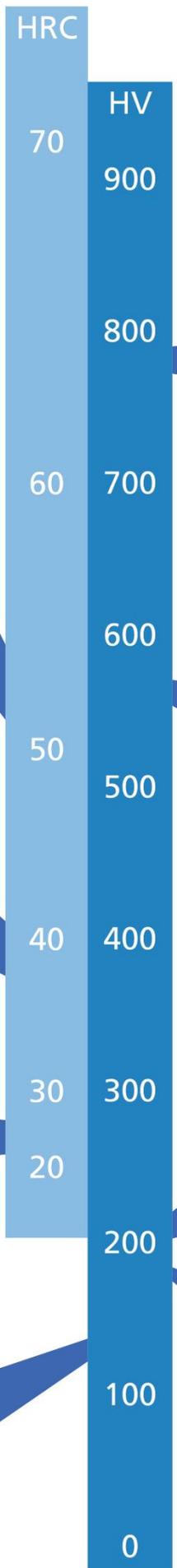


130 HV

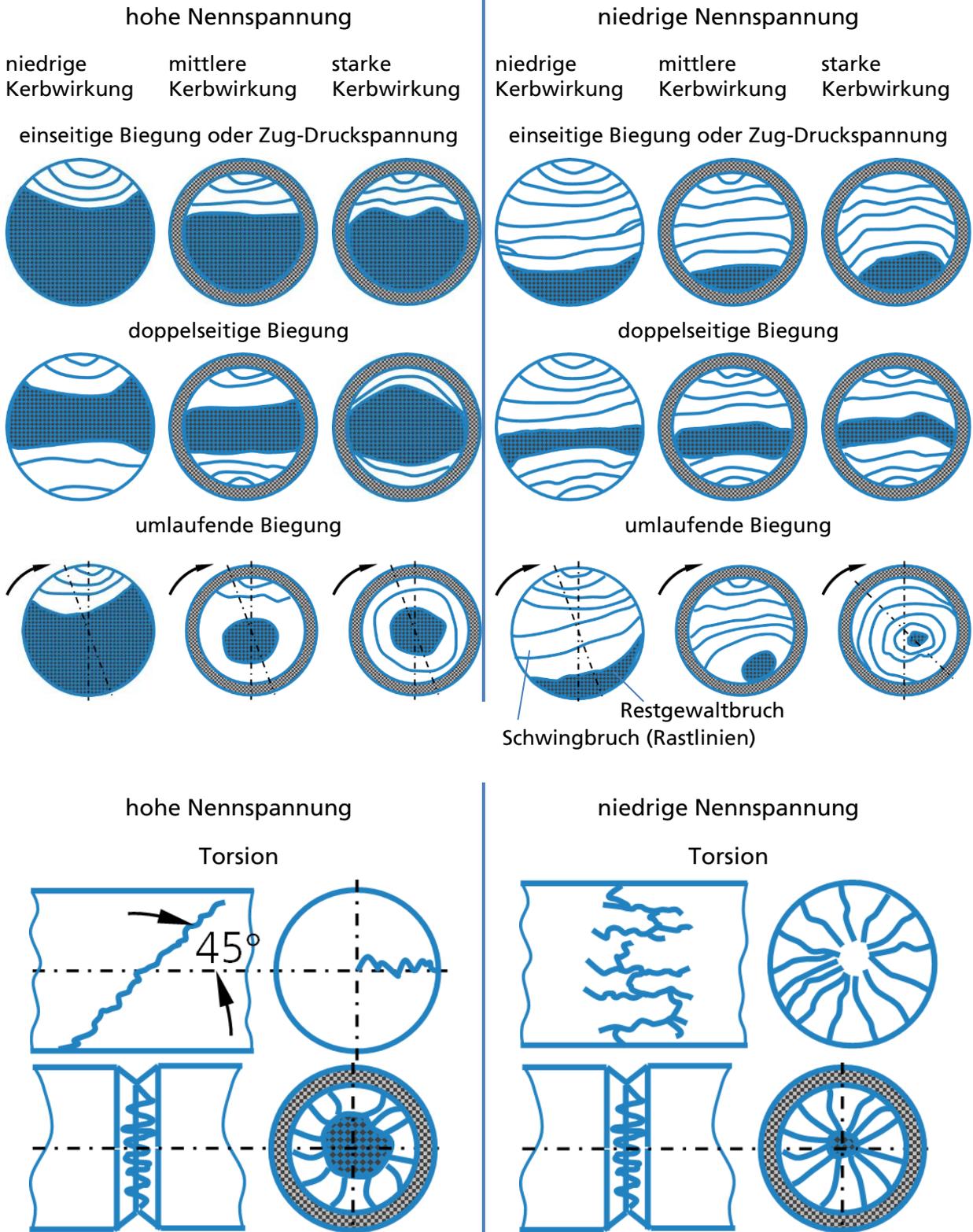
1.4404 Austenit



190 HV1

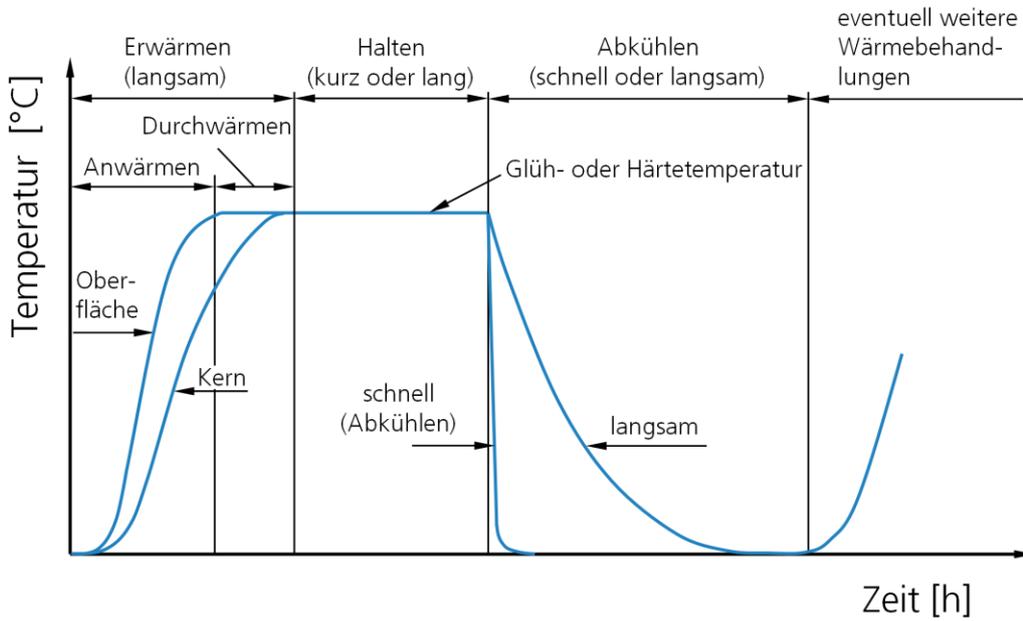


Schwingbrüche



Schematischer Aufbau verschiedener Schwingbrüche.

3 Fachrichtung Wärmebehandlungstechnik Heat treatment technology



Prinzipieller Ablauf einer Wärmebehandlung.

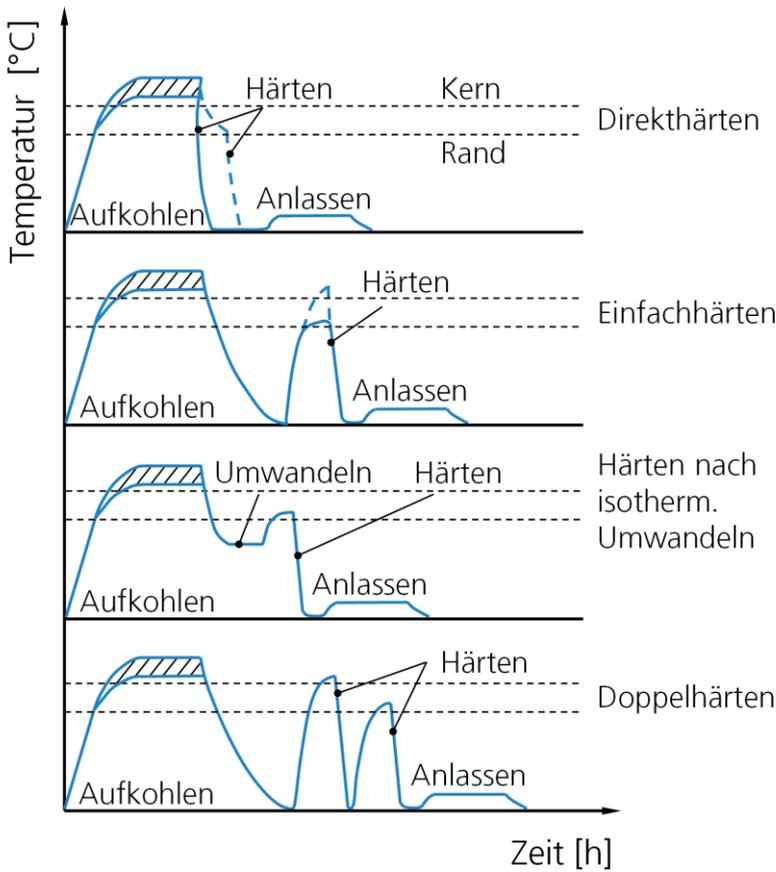
3.1 Wärmebehandlung von Stahl gemäß DIN EN 10052:1993 Heat treatment of steel according to DIN EN 10052:1993

		<p>Normalglühen Wärmebehandlung, bestehend aus Austenitisieren und anschließendem Abkühlen an ruhender Luft.</p>
		<p>Weichglühen Wärmebehandlung zum Vermindern der Härte eines Werkstoffes auf einen vorgegebenen Wert.</p>
		<p>Spannungsarmglühen 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 'Übergangszahl β ' (transition number) and 'Diffusionskoeffizient D' (diffusion coefficient) are also indicated.

Ecken und Querschnittsübergänge werden stärker aufgekohlt. Grund ist die gleichzeitige Eindiffusion von zwei Richtungen (größere Oberfläche).

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

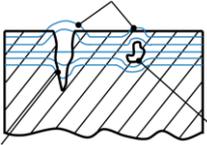
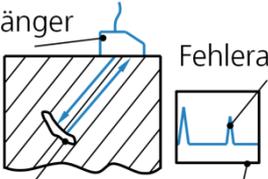
4 Fachrichtung Systemtechnik

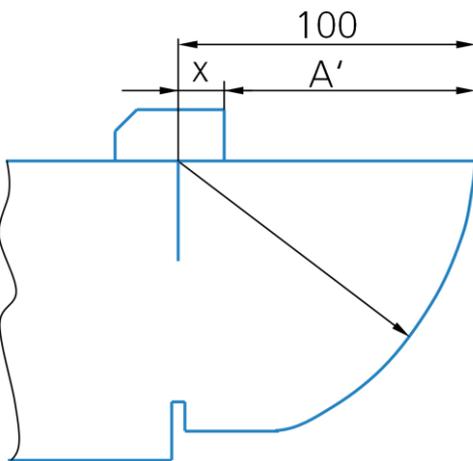
Systems Engineering

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



Schematische Darstellung zur Bestimmung des x-Maßes am K1.

Lage des Schallaustrittspunktes (x-Maß)

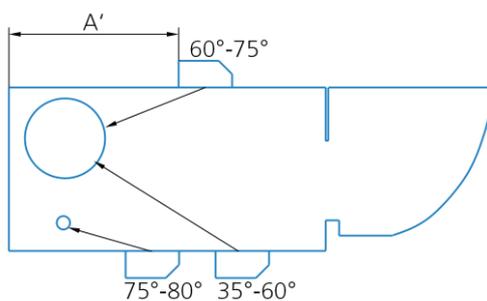
Bei der Kontakttechnik und vernachlässigbarem, dünnem Koppelpalt sind Schallein- und -austrittspunkt identisch. Der Schallaustrittspunkt ist bei Einzelschwingerprüfköpfen der Ort an der Sohle, an dem der Hauptstrahl des Schallbündels austritt.

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 α am K1.

Einschallwinkel α

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

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

Einteilung	Thermoplaste	Duroplaste	Elastomere
Bearbeitung	warm umformbar schweißbar im Allgemeinen klebbar	nicht umformbar nicht schweißbar klebbar zerspanbar	nicht umformbar nicht schweißbar klebbar zerspanbar bei tiefen Temperaturen
Verarbeitung	Spritzgießen Spritzblasen Extrudieren	Pressen Spitzpressen Spritzgießen, Gießen	Pressen Spritzgießen Extrudieren
Recycling	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>Polykondensation:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Polykondensation verläuft in Stufen und mit Abspaltung von Nebenprodukten. <p>Bei der Polykondensation entstehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Polyamide (PA) Polyester (PES) Formaldehydharze 	<p>Polymerisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Polymerisation verläuft stufenlos und ohne Abspaltung von Nebenprodukten. <p>Bei der Polymerisation entstehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Polyethen (PE) Polypropen (PP) Polystyrol (PS) Polyvinylchlorid (PVC) Polyacrylnitril (PAN) Polytetrafluorethen (Teflon) Polyacrylate
<p>Polyaddition:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Polyaddition verläuft auch in Stufen, aber ohne Abspaltung von Nebenprodukten. <p>Bei der Polyaddition entstehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Epoxidharze Polyurethane Polyharnstoffe 	<p>Je nach Reaktionsmechanismus unterscheidet man verschiedene Arten der Polymerisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> Radikalische Polymerisation Ionische Polymerisation Ziegler-Natta-Polymerisation, hierbei entstehen die räumlich gleichmäßig aufgebauten Polymere.

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

Young's modulus calculation of glass-fibre reinforced plastics

<p>E-Modul von GFK</p> $E_c = v_m \cdot E_m + v_f \cdot E_f$	<p>Thermische Leitfähigkeit von GFK</p> $\lambda_c = v_m \cdot \lambda_m + v_f \cdot \lambda_f$
<p>Formelzeichen</p> <p>E_c E-Modul von GFK</p> <p>E_f E-Modul Glas [72,4·10³ MPa]</p> <p>E_m E-Modul Polyester [6,9·10³ MPa]</p>	<p>v_f Volumenanteil Glas [60%]</p> <p>λ_f thermische Leitfähigkeit von Glas [0,97 W/m·K]</p> <p>λ 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 α	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 tiefe (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 α	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



schmitz-metallographie.de
ISBN 978-3-00-054275-6