σ	Spannung	N/m^2 | Pa	$\sigma = \frac{F}{S_o}$	$\sigma = E\varepsilon$
ε	Dehnung	-	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o}$	
τ	Schubspannung	N/m^2 | Pa	$\tau = \frac{F}{S_o}$	$\tau = G\gamma$
γ	Scherung	-	$\gamma = \tan\alpha$	$\gamma = \frac{\Delta y}{h}$
E	Elastizitätsmodul E-Modul	N/m^2 | Pa	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$	$E = 2(1+\nu)G$
G	Schubmodul	N/m^2 | Pa	$G = \frac{\tau}{\gamma}$	$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

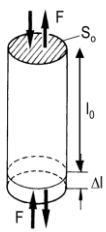
E-Modul entspricht der Steifigkeit eines Werkstoffes

Schmelztemp. Hoch = hoher E-Modul

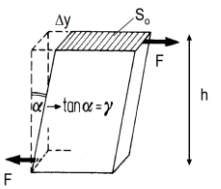
Stahl	210 GPa
Aluminium	72 GPa
Titan	110 Gpa

Zusammenhang E & G:
E = 2(1+ν)G
Poisson-Zahl = Querkontraktionszahl

einachsige Belastung

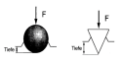


Scherung



Rockwell

-Tiefe wird gemessen
-Geringer Zeitaufwand
-Preiswerte Prüfgeräte
-Fehler durch Verlagerung der Probe unter Prüflast



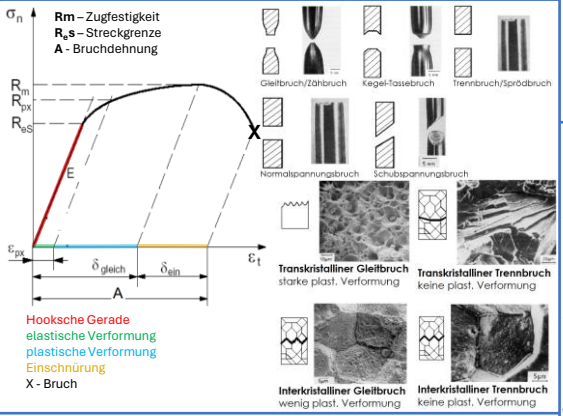
Brinell

- Mit einer Kugel aus Hartmetall wird auf Probe gedrückt
- Der Durchmesser des Kugeleindrucks ergibt die Härte (d = (d1+d2) /2)
- Für grobkörnige Werkstoffe
- Auch für rauhe Werkstattbedingungen
- Teure Prüfmaschinen bei hoher Prüflast

$$HB = 0{,}102\,\frac{2F}{\pi D\left(D-\sqrt{D^2-d^2}\right)}$$

Vickers

-Diamantpyramidenspitze wird auf Probe gedrückt
-Diagonalen werden gemessen
-Anwendbar auf sehr grossen Härtebereichen
- Hoher Zeitaufwand



Rm – Zugfestigkeit
R_es – Streckgrenze
A - Bruchdehnung

Hookesche Gerade
elastische Verformung
plastische Verformung
Einschnürung
X - Bruch

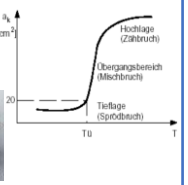
- E-Modul = Widerstand gegen elastische Verformung
- Streckgrenze (R_{eS}) = Widerstad gegen mikroskopische plastische verformung
  - R_{eH} = obere Streckgrenze
  - R_{eL} = untere Strackgrenze
- R_{px} = Widerstand gegen überschreiten plastischer Verformung von ξ_p [x %]
- Zugfestigkeit (R_m) = Widerstand gegen einsetzen von Bruch
- Bruchdehnung (A) = εp des gebrochenen Stabes = $[(L_B - L_O)/L_O]$ 100%
- A_5 = Bruchdehnung des kleinen Proportionalstabes mit $L_O = 5\,DO$
- A_{10} = Bruchdehnung des grossen Proportionalstabes mit $L_O = 10\,D_O$
- Bruchdehnung -> Gleichmassdehnung und Einschnürdehnung -> $A = \delta_{gleich} + \delta_{ein}$.
- An gebrochener Probe: Brucheinschnürung (Z) = $[\Delta S/S_O]$ 100 %; S: Querschnittsfläche

- Beurteilung der Zähigkeitseigenschaften von Werkstoffen
- ferritisch-perlitische Stähle zeigen Steilabfall der Kerbschlagzähigkeit(Tieftemperaturversprödung), austenitische Stähle nicht
- Auftreffgeschwindigkeit: $m \cdot g \cdot h_1 = 1/2 \cdot m \cdot v^2$
- Kerbschlagarbeit: $W = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$
- a_k = Kerbschlagarbeit/Kerbquerschnitt = W/A_k [J/cm²]

Spröd-Duktil-Übergangstemperatur

- T=$T_Ü$, wenn $a_k = 20$ J/cm²
- T=$T_Ü$, wenn Zähbruchanteil an Bruchfläche 50% beträgt

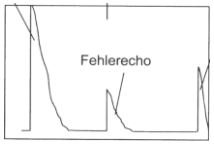
mehr c -> flächere Kurve
mehr Mn -> steilere Kurve
↑ Korngrösse -> Kurve nach rechts



Durchstrahlungsprüfung(Röntgen):
Schwächung der Röntgenstrahlung entsprechend den Dicken- und Dichteverhältnissen
- flächige & Voluminöse Fehler
- alle Werkstoffe
- Fehlergrösse: 0.1 mm

Wirbelstromprüfung: Wechselstrom (meist 10 kHz – 1 MHz)
- alle Fehler
- nur elektrisch leitende Werkstoffe
- Fehlergrösse: 0.01 mm

Ultraschall
- Ultraschall im MHz-Bereich (meist 1 - 5 MHz)
- Schwinger aus Bariumtitanat oder Bleizirkonattitanat -> Schutzkappe
- Vergleichsproben notwendig
- **Longitudinalwellen** (Druck- / Komressionswellen) fest, flüssig und gasförmige Medien
- **Transversalwellen** (Schub- / Schwerwellen) nur in festen Medien
- Flächige Fehler senkrecht zu E, Voluminöse Fehler
- grosse Eindringtiefe (bis 300 mm)
- schalldurchlässige Werkstoffe
- Fehlergrösse: 0.001 mm
- Fehlertiefe: $t_L = 2X/v_{schall}$



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_{Medium\,i}}{c_{Medium\,ii}}$$

E: Elastizitätsmodu ρ: Dichte
G:Schubmodul μ: Querkontraktionszahl

C = f * λ $\quad C_L \approx 2 * C_T$

Fehlererkennbarkeit -> Reflektor min. λ/2

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \qquad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1}{2(1+\mu)}}$$

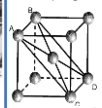
Farbeindringprüfung PT
1. Reinigen der Oberfläche
2. Aufbringen Eindringmittel (Mineralöl Basis, additive rot, fluoreszierend), gutes Kriechvermögen
3. Zwischenreinigen (Wasser, Lösungsmittel, Emulgatoren)
4. Entwickler auftragen
   (Trockenentwickler (feines Pulver), Nassentwickler (feines Pulver in Lösungsmittel))
- Entwicklungsdauer = Einwirkdauer
- Fehlergrösse: 0.01 mm

Magnetpulverprüfung MT
- Prüfmittel: Eisenoxid
  Nasspulver (in Wasser/Öl, Kleine Korngrösse, 0.1 – 30 μm)
  Trockenpulver (grosse Korngrösse, 60 – 300 μm, kann auch bei 250-400°C erfolgen)
- nur ferromagnetische Werkstoffe
- Fehler muss quer zur Richtung des Magnetfeldes liegen
- Tiefe des Defekts muss min. 3x Rautiefe sein
- Fehlergrösse: 0.001 mm

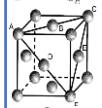
Thermografieprüfung TT
- Arbeitsabstand (Kurz- / Langwellig)
- Spektrale Empf.: Wellenlänge innerhalb von 3 - 5 μm, 8 - 14 μm (Infrarot 750 nm – 1mm)
- Therm. Auflösung: NETD 1/100 -> 0.1K für Intervall 10K
- Ortsauflösung IFOV: 1.5 mrad = 1m Messabstand -> 1.5mm/px
- fps: SlowScan (< 1 Hz), Echtzeitgeräte (> 20 Hz)

Schwarzer Strahler = idealer Absorber	ε = 1
Grauer Strahler	ε = zwischen 0 & 1
Weisser Strahler	ε = 0

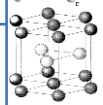
Kristallstrukturen
- Kristallin, geom. regelmässige Atomanordnung (Metalle, Legierungen, Keramiken, Halbleiter)
- Teilkristallin (Polymerwerkstoffe, nichtmetallische Werkstoffe)
- Amorph, geom. unregelmässige Atomanordnung (Gläser, metall. Gläser, Polymerwerkstoffe)



kubisch-raumzentriert: (krz), duktil
12 Gleitebenen: beste Verformbarkeit (6 Gleitebenen, 2 Richtungen)
Bsp: Cr, Mo, W, V, β-Ti, α-Fe, δ-Fe
können mehrere Kristallstrukturen einnehmen
Stapelfolge: ABABAB



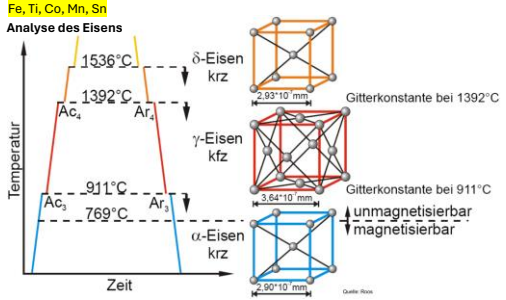
kubisch-flächenzentriert: (kfz), duktil
12 Gleitebenen: mittlere Verformbarkeit (4 Gleitebenen, 3 Richtungen)
Bsp: Al, Ni, Cu, Ag, Au, γ-Fe
Stapelfolge: ABCABC



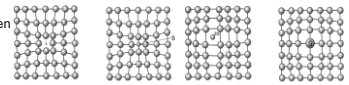
hexagonales Gitter (hex), spröde
3 Gleitebenen: Schlechte Verformbarkeit
Bsp: Mg, Cd, Zn, α-Ti
Stapelfolge: ABA...

Allotropie (Fähigkeit andere Gitterstrukturen einzunehmen)
Fe, Ti, Co, Mn, Sn

Analyse des Eisens



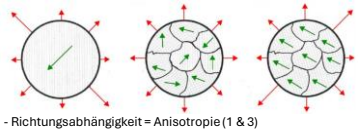
Gitterfehler
- idealkristalle: ohne Gitterstörungen
- realkristalle: mit Gitterstörungen



0D - Fehler (Punktfehler)
- Leerstelle (fehlende Atome)
- grossers/kleineres Substitutionsatom
- Zwischengitteratom
-> Wird mehr Kraft benötigt, die Gitterdeformation zu überwinden = höhere Festigkeit

1D - Fehler (Linienfehler = Versetzungen)
- Eingeschobene Halbebene verzieht das Gitter
- entsteht durch plastische Verformung und Kristallisation (auch bei Zugversuch)
- verschwinden beim Weichglühen
- Versetzungen können sich gegenseitig blockieren
-> Kaltverfestigung (Walzen) Festigkeit erhöht sich, Zahigkeit nimmt ab

2D - Fehler (Flächenfehler) **kleinwinkel: <15°**
- Gitterstrukturen passen nicht überein (Stapelfehler, Zwillingsgrenzen, Winkelfehler)



- anisotropie einkristallin
- isotrop polykristallin
- anisotropie polykristallin

- Richtungsabhängigkeit = Anisotropie (1 & 3)
- mechanische Eigenschaften in alle Richtungen gleich = Isotropie

kohärent (Gleitebenen sind passend)
teilkohärent (Gleitebenen passen nur teilweise)
inkohärent (Gleitebenen sind nicht passend)

3D - Fehler (Gitterfehler)
- Poren
- Lunker (= Hohlraumbildung durch Schwund beim Abkühlen einer Schmelze)
- Risse
- Einschlüsse (= Ansammlungen von Leerstellen)
- Ausscheidungen (= Verbindungen mit Fremdatomen)

Festigkeitssteigernde Mechanismen

Mischkristallverfestigung (0D): Atome der u legierenden Elemente sind grosser oder Kleiner -> Gitter wird verzerrt und Versetzungen werden behindert
Kaltverfestigung (1D): Versetznge gezielt (Bsp Kaltwalzen) eingebracht -> hindern sich gegenseitig am wandern
Verfestigung durch Konrverfeinerung (2D): Korngrenzen hindern das gleiten der Atome -> mehr Körner = höhere Festigkeit
Ausscheidungshärtung (3D): ausgeschiedene Teilchen verhindern Wandern der Verstzungen
Umformen wird je nach Temp. während dem Verfahren in Warm & Kaltumformen unterschieden
Warmumformung = T > 0.4 * T_s
Kaltumformung = T < 0.4 * T_s

Legierungsbildung
- erhöhung der Festigkeit, Steigerung Korrosionswiderstand & Verschleisswiderstand

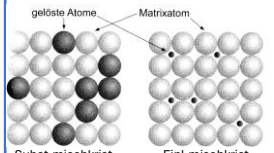
Phase:
- kristallographisch einheitliche Struktur
- chemisch homogener Bereich

homogene Legierung:
- nur eine Phase (Kristallart)

heterogene Legierung:
- mehrere Phasen (Kristallarten)

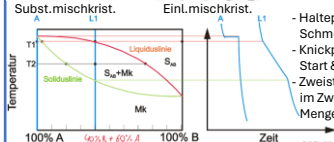
vollständige Unlöslichkeit:
- Gemisch der reinen Kristalle der Komponenten liegt vor (= zwei Phasen)

vollständige Löslichkeit:
- Atome beider Komponenten kristallisieren in ein- und demselben Kristallgitter -> Bildung eines Mischkristalls
- zwei Typen von Mischkristallen:
  - Substitutionsmischkristall
  - Einlagerungsmischkristall



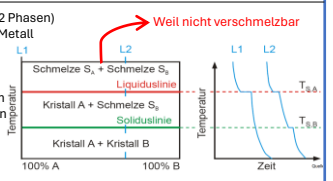
vollständige Löslichkeit flüssig & fest
Sub: Bsp: Cu – Au, α-Fe – Cr, γ-Fe – Ni
- beide Komponenten gleichen Gittertyp
- ca. gleich grosse Atom-Ø: D1/D2 = 0,86 < 1,0

Einl:
- Atome sitzen auf Zwischengitterplätzen
- Einlagerung nur, wenn die Atome viel kleiner als Wirtsgitteratome: D1/D2 < 0,58



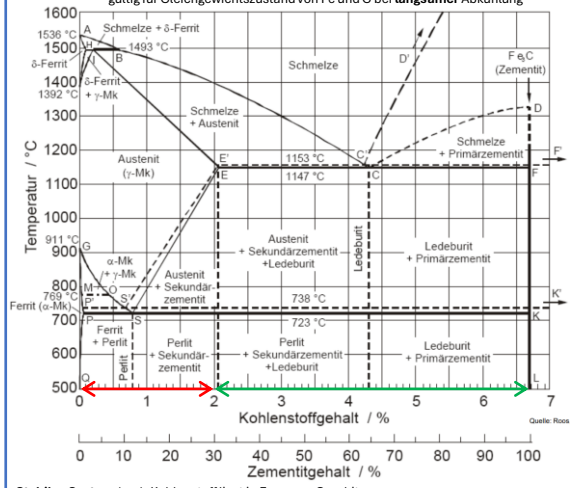
- Haltepunkte:
  Schmelzpunkt der reinen Komponenten
- Knickpunkte:
  Start & Ende Erstarrungbereich der Legierung
- Zweistoffsystem:
  im Zweiphasengebiet ändern sich nur Mengenanteile, nicht die Zusammensetzung

Vollständig Unlöslich flüssigen & fest (2 Phasen)
- Schichtung flüssige Komp. (leichteres Metall schwimmt auf schwererem)
- **Liquiduslinie**:
  trennt flüssige von Erstarrungsbereich
- **Soliduslinie**: trennt Erstarrungsbereich von Bereich mit nur noch festen Phasen



Eisen / Stahl **Stahl: 7.8 g/cm³, Ts= 1500°C, E = 210 GPa**
Reineisen: < 0.1% C -> krz, Ferrit
Stahl: 0.1 – 2% C, max 1% Mn -> kfz, Austenit
Gusseisen: 2 – 6.7% C

gültig für Gleichgewichtszustand von Fe und C bei **langsamer** Abkühlung



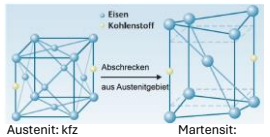
Stabiles System (- - -): Kohlenstoff liegt in Form von Graphit vor
Metastabiles System (—): Kohlenstoff liegt in Form von Fe3C (= Zementit) vor

Ferrit (magnetisch)
zwischen Raumtemp. und Schmelztemp. nur eine Phase (α - MK)
- **krz**-Gitter
- geringe Löslichkeit von C; max. Löslichkeit bei 723°C: 0,02% C
- vielfach mit ausgeprägter Streckgrenze (wegen C-Atomen im Versetzungsbereich)
- bei Raumtemp. stabile Phase des Stahls = α - MK
- Steilabfall Kerbschlagzähigkeit in Abhängigkeit der Temp. (Sprödbruch bei tiefen Temp.)

Perlit
Eutektoide Umwandlung bei 0,8 Gew.-% C / 723°C
Austenit ⇔ Perlit = α - MK (Ferrit) + Fe3C (Zementit)

Austenit (nicht magnetisch)
zwischen Raumtemp. und Schmelztemp. nur eine Phase (γ - MK)
- **kfz**-Gitter
- hohe Löslichkeit von C
- wegen kfz-Gitter gut kaltverformbar (12 Gleitsysteme)
- hohe Duktilität und keinen Steilabfall in der Kerbschlagzähigkeit (bei tiefen Temp.)
- höhere thermische Ausdehnung als Ferrit
- schlechtere Temperaturwechselbeständigkeit

Martensit (> 0.2% C und Abschrecken)
(Ungleichgewichtszustand
- nicht im Eisen-Kohlenstoffdiagramm enthalten
- mit C übersättigter, verzerrter α-Mischkristall
- sehr hohe Härte/Festigkeit



Austenit: kfz — Martensit: verzerrt krz -> trz

Chromstahl (Korrosionsbeständig)
- **Cr-Gehalt > 12%**, wenn Cr homogen verteilt
- Cr23C6-Ausscheidungen an Korngrenzen: interkristalline Korrosion

Eigenschaft	Legierungselement										
	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	Si	Mn	S	P
Zugfestigkeit	↑	↑	–	↑	↑	↑	↑	↑	↑	–	↑
Streckgrenze	↑	↑	–	↑	↑	↑	↑	↑	↑	–	↑
Kerbschlagzähigkeit	↓	–	↓	–	↑	↓	↑	↓	–	↓	↓
Verschleißfestigkeit	↑	↓	–	↑	↑	↑	↑	↓	↓	–	–
Warmumformbarkeit	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	–
Kaltumformbarkeit	–	–	–	↓	–	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Zerspanbarkeit	–	↓	–	–	–	↓	↓	↓	↑	↑	↑
Warmfestigkeit	↑	↑	–	↑	↑	↑	↑	↑	–	–	–
Korrosionsbeständigkeit	↑	–	–	–	↑	–	–	–	–	↓	–
Härtetemperatur	↑	–	–	↑	↑	–	↑	↑	↓	–	–
Härtbarkeit/ Vergütbarkeit	↑	↑	–	↑	↑	↑	↑	↑	↑	–	–
Nitrierbarkeit	↑	–	↑	↑	↑	–	↑	↓	↑	–	–
Schweißbarkeit	↓	↓	↑	–	↑	–	↓	–	↓	↓	↓

Schwefel: spröde,niedriger Schmelzpunkt **Chrom min 12%:** korrosionsbeständigkeit
-scheidet sich bevorzugt an Korngrenzen aus
->Mn zufügen um Schwegel zu binden
->Bildung von Mangansulfiden: Bildung kurzer Späne
Phosphor: reichert sich während Erstarrung in Restschmelze an und verdrängt den Kohlenstoff
-phosphorreiches,zeiliges Gefüge in C-reichen Gebieten
-Herabsetzung der Zähigkeit
Stickstoff: Hemmung der Versetzungsbewegung
-Verminderung der Bruchdehnung und Abnahme der Kerbschlagarbeit

Buchstabe	Bedeutung	Zahl	Bedeutung	Zusatz	Bedeutung
P	Druckbehälter	355	Mindeststreck-grenze [Nmm^{-2}]		Kerbschlag-arbeit [J] bei 20°C (=R)
S	Allg. Stahlbau			JR	27
L	Rohrleitungsbau			KR	40
E	Maschinenbaustahl			LR	60
B	Betonstahl				

ohne Wärmebehandlung

Buchstabe	Bedeutung	Zahl	Bedeutung	Zusatz	Bedeutung
C	Unlegierter Stahl mit mittlerem Mangangehalt unter 1%	35	35 : 100 = 0,35 = mittlerer C-Gehalt [%]	E	Vorgeschr. max. S-Gehalt
		10	= 0,1% C	S	Federn
		110	= 1,1% C	T	Werkzeuge
				W	Schweißen
				G	Andere Merkmale

unlegiert mit Wärmebehandlung

Zahl	Bedeutung	Buchstaben	Bedeutung	Zahl	Bedeutung
11	11 : 100 = 0,11 = mittlerer C-Gehalt [%]		Elementbe-zeichnung gemäß PSE		LE-Gehalt [%]
	Legierter Stahl mit einem Gehalt an Legierungs-elementen < 5%	Mo	= Molybdän	0,7	Achtung:
		Cr	= Chrom	0,5	Faktor beachten!
		V	= Vanadium	0,4	

niederlegiert mit Wärmebehandlung

Faktor	Legierungselemente
4	Cr, Co, Mn, Ni, Si, W
10	Al, Be, Cu, Mo, Nb, Nb, Pb,Ta, Ti, V, Zr
100	Ce, N, P, S
1000	B

Faktoren

11MoCrV7-2-4

0,11 % C
7:10 = 0,7% Mo
2:4 = 0,5% Cr
4:10=0,4% V

Zahl	Bedeutung	Buchstaben	Bedeutung	Zahl	Bedeutung
20	20 : 100 = 0,20 = mittlerer C-Gehalt [%]	Cr	Elementbe-zeichnung gemäß PSE = Chrom	13	LE-Gehalt [%] Kein Faktor!

hochlegiert mit Wärmebehandlung

Bsp. X20Cr13 X = Hochlegiert wenn Legierungselemente > 5%

DIN Werkstoffnummern (7-stellig): n.XX YY (ZZ)

n ... Werkstoffhauptgruppe: 0 = Roheisen, 1 = Stahl,
2 = andere Schwermetalle
3 = Leichtmetalle

XX = Legierungsgruppennummer,

YY = Zählnummer (ZZ für weitere Unterteilungen)

Stähle 1.00 und 90 ..... Grundstähle (unlegiert, ohne spez. Gebrauchseigenschaften)
1.01 - 09, 91 - 99 Qualitätsstähle mit spez.Gebrauchseigenschaften
1.10 - 19 ..... Edelstähle (eingestellte Zusammensetzung; P, S < 0,035 %)
1.20 - 29 ..... Werkzeugstähle (verschleißbeständig, Sekundärzementit) z.B.: 1.2080 = X210Cr12
1.40 - 49 ..... Chem.beständige Stähle, z.B.: 1.4724 = X10CrAl13

Aluminium 2,7 g/cm³, Ts: 660°C, E = 70 GPa
- kfz -> gut verformbar
- gute Korrosionsbeständigkeit (schützende Al2O3 Deckschicht)
- Al2O3 zählt zu den stabilsten chemischen Verbindungen in Natur
- sehr hoher Energieaufwand zur Reduktion notwendig
- hohe Wärmeleitfähigkeit
- dritthäufigstes Element

Aluminiumwerkstoffe: Reinaluminium | Aluminiumlegierungen | Aluminium-Sinterwerkstoffe

Aluminiumlegierungen: Knetlegierungen | Gusslegierungen

Gusslegierungen		Knetlegierungen	
aushärtbar	nicht aushärtbar	aushärtbar	nicht aushärtbar
Al-Cu-Mg Al-Zn-Mg Al-Mg-Si Al-Zn-Mg-Cu	Al-Mg Al-Mn Al-Mn-Mg Al-Mn-Cu	Al-Si-Mg Al-Si-Cu-Mg	Al-Si Al-Mg

Gusslegierungen		Knetlegierungen	
Bezeichnung	Legierungselement	Bezeichnung	Legierungselement
1XXX0	Keines	1XXX	Keines
2XXX0	Cu	2XXX	Cu
4XXX0	Si	3XXX	Mn
5XXX0	Mg	4XXX	Si
7XXX0	Zn	5XXX	Mg
		6XXX	Mg + Si
		7XXX	Zn

1XXX – 7XXX Festigkeit: weich – hoch
Verformbarkeit nimmt ab
Zugfestigkeit, Härte, Sprödheit nimmt zu

mehr Legierungselemente
- schweissen wird schwieriger
- weniger korrosionsbeständig

Aushärtbare Legierung Festigkeitserhöhung
- Kaltverfestigung
- Feinkornhärtung
- Mischkristallverfestigung

nicht aushärtbare Legierungen
- Kaltverfestigung
- Verformen unterhalb der Rekristallisationstemp. zum einbringen von Versetzungen

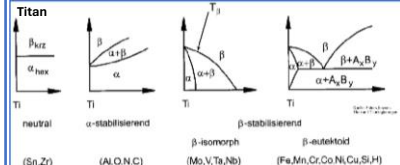
Extrusion
≈ 500°C , 50 - 2000 mm/s

Gussverfahren
- Druckguss
- Kokillenguss
- Sandguss

Anz. Bauteile → Gewicht

F	herstellungszustand
O	weichgeglüht
T	wärmebehandelt auf andere Zustände
T1	abgeschreckt aus Warmumformtemp. und kaltausgelagert
T4	lösungsgeglüht und kaltausgelagert
T6	lösungsgeglüht und warmausgelagert
T7	lösungsgeglüht und überhärtet/stabilisiert

Titan



- E 115 GPa
- 4.5g/cm3
- Ts 1668°C
- Gittertyp hdp,krz
- sehr gute Korrosionsbeständigkeit (TiO_2 Deckschicht)
- ausgezeichnete Biokompatibilität -> Implantat-werkstoff

a-Legierung (Grad 1-4): Implantate, Grad 2 für Dental, hexGitter
(a-b)Legierung: Luftfahrt, Medizinaltechnik, Streckgrenze 1000Mpa, zweiphasig, Ti6Al4V

	α	α+β	β
Dichte	+	+	–
Festigkeit	–	+	++
Duktilität - Zähigkeit	–/+	+	+/–
Bruchzähigkeit	+	–/+	+/–
Zeitstandfestigkeit	+	+/–	–
Korrosionsverhalten	++	+	+/–
Oxidationsverhalten	++	+/–	–
Schweißbarkeit	+	+/–	–
Kaltverformbarkeit	– –	–	–/+

Metastabile b-Legierung
-Aushärtbar
-Streckgrenze 1400MPa
-Luftfahrt
-Umformung bei Raumtemperatur dank krz
-höhere Dichte als a und ab

Magnesium 1.74 g/cm³, Ts = 650° C, E = 45 Gpa, Gittertyp: hdp
- geringe Korrosionsbeständigkeit (leicht besser mit Fe, Cu, Ni)
- gut giessbar, schlecht kaltumformbar
- leichtestes Konstruktionsmetall
- Lebensdauer hoch Werkzeuge, Bauteile
- >0.8 mm Wandstärke

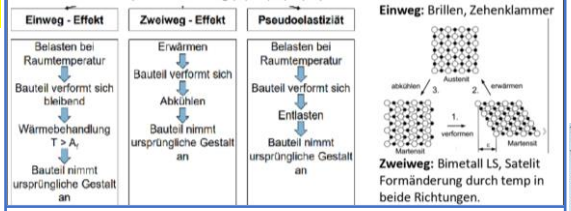
Wichtigste Gussleg.
Mg-Al-Zn: AZ91
Mg-Al-Mn: AM50, AM60

Kurzbuchstabe	Legierungselement	Kurzbuchstabe	Legierungselement
A	Aluminium	N	Nickel
B	Wismut	P	Blei
C	Kupfer	Q	Silber
D	Cadmium	R	Chrom
E	Seltene Erden	S	Silizium
F	Eisen	T	Zinn
H	Thorium	W	Yttrium
K	Zirkon	Y	Antimon
L	Lithium	Z	Zink
M	Mangan		

Kupfer 8.93 g/cm³, Ts = 1083° C, Gittertyp: kfz
- gut Umformbar, gute Korrosionsbeständigkeit (Patina)
- nach Silber beste Leitfähigkeit -> hängt von Reinheitsgrad ab

Messing: CuZn10 : Cu mit 10 Gew.-% Zink (Zn)
Bronze: CuSn6: Cu mit 6 Gew.-% Zinn (Sn)
Rotguss: CuSn5Zn5Pb5-C: Cu mit 5 Gew.-% Sn + 5 Gew.-% Zn + 5 Gew.-% Pb

Smart Materials
Voraussetzungen: Legierungen die martensitische Umwandlung zeigen = Mischkristalle von Elementen mit Allotroper Umwandlung (Ti,Mn,Fe,Co,Sn)

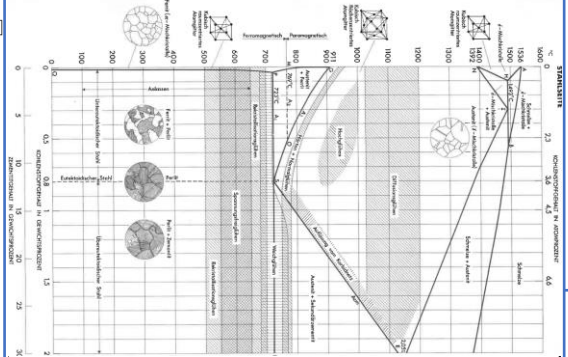


Einweg: Brillen, Zehenklammer

Zweiweg: Bimetall LS, Satelit Formänderung durch temp in beide Richtungen.

Wärmebehandlung
- Herabsetzung oder Steigerung von Härte und Festigkeit
- Verbesserung von Zähigkeit und Umformbarkeit
- Verbesserung der Bearbeitbarkeit (Drehen, Fräsen, etc.)
- Bildung eines homogenen Gefüges
- Abbau von Eigenspannungen

	Weichglühen	Normalglühen	Rekristall. Glühen	Spannungsarmglühen
Spanende Bearbeitung verbessern				
Gefügezustände erzeugen				
Festigkeit erhöhen o. verringern				
Kaltverformung hellen				
Ändern der Korngrösse				
Spannung beseitigen				



Unterschied Rekr. und Spannungsam: beim Rekr. wurde vorher umgeformt, beim anderen nicht.

Glühbehandl.	Zweck	Temp	Eigenspann.	Gefüge
Weichgl.	Härte - | Bruchd. +	723 °C (A1)	viel weniger	Perlit
Spann.arm	Int. Spann. lösen	550-650°C	Weniger	Nein
Rekristall.	Kaltumf. rückgängig	>0.4 Ts [K]	=0MPA (keine)	Ja

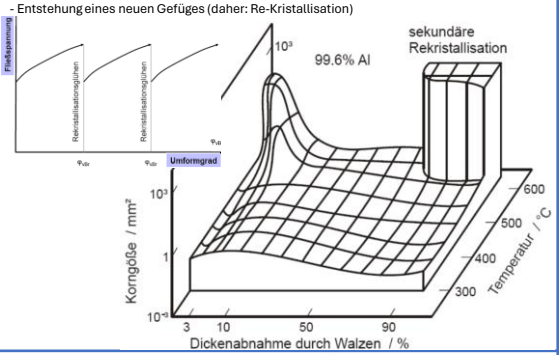
Weichglühen
- Vermindern der Härte, Verbessern der Zerspanbarkeit
- z. B. Stahl: T < A1 (723°C) mit langsamem Abkühlen

Glühen dicht unter AC1-> von lamellarem ferritisch/perlitisch in Körniges Gefüge

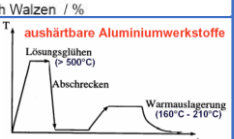
Spannungsarmglühen
- Abbau von eigenspanungen
- bei Stahl: Glühung bei 550°C...650°C mit langsamem Abkühlen

Rekristallisation: (min Temp. = 0.4 Ts)
- hebt die Kaltverfestigung auf und reduziert die Fliessspannung
- zur Erreichung hoher Umformgrade sind mehrere Glühungen notwendig

Ablauf:
- Keimbildung neuer, versetzungsarmer Körner
- Wachstum auf Kosten der Nachbarkörner (hohe Versetzungsdichte)
- Entstehung eines neuen Gefüges (daher: Re-Kristallisation)



Ausscheidungshärten (Aluminium und Rostfrei)
- zweite Phase wird ausgeschieden
- Festigkeit steigt
- Widerstand für Versetzungsbewegung

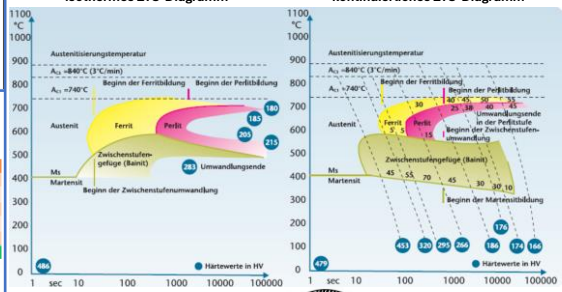


Härten
- harte, verschleissbeständige Oberfläche
- Erhöhung der statischen und dynamischen Festigkeit
- min 0,2..0,3% C bei unlegierten Stählen

Abkühlgeschw: $\frac{\Delta T emp.}{\Delta t} = -xx\ K/s$

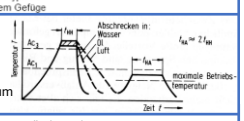
Ablauf:
- Austenitisieren (Erhitzen und Halten auf Härtetemperatur)
- Abschrecken

isothermes ZTU-Diagramm **kontinuierliches ZTU-Diagramm**



Beim abschrecken wird das kfz Gitter in ein trz Gitter (feinnadeliger Martensit) umgewandelt.

Vergüten (= Härten + Anlassen)
Stahl aus nur Martensit -> spröde -> Vergüten
- C-Atome ausdiffundieren
  Härteabnahme und Zunahme der Zähigkeit
- Gitterbereiche werden entspannt -> wandeln in ferrit um



Oberflächenhärten (zäher Kern hohe Oberflächenhärte): 2 Möglichkeiten

Temp. > A3 nur im Randbereich
- Induktionshärten (locale Härtung)
- Flammhärten, Laserhärten

Martensit am Rand, ferrit+Perlit im inner

Diffusion von C, N in den Randbereich
- Aufkohlen -> Einsatzhärten
- Karbonitrieren
- Nitrieren

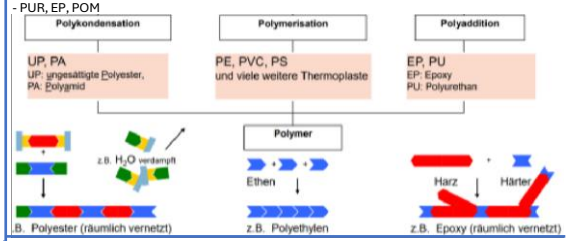
Kunststoffe
Makromolekulare Werkstoffe, die organische Gruppen enthalten und durch Synthese („künstlich") hergestellt werden. Molekülkette durch chemische Reaktion vieler Monomere
Anzahl der in Molekülkette = Polymerisationsgrad (n = 100...100'000)
- wichtigste Elemente: C und H, auch O, N, S
- kleine Dichte (0.9 – 2.2 g/cm³)
- niedriger E-Modul

Herstellung: Raffinerie und Synthese
- Erdölverarbeitung in der Raffinerie -> **Destillieren** (wichtigstes Destillat für Herstellung: Naphta)
  -> **Steamcracker** (in Ethylen, Propylen usw. thermisch aufspalten)
  -> **Synthetisieren** (Monomere zu Molekülketten verknüpfen)

Polymerisation
- Aufbrechen der C=C-Doppelbindung mit einem Katalysator
- PS, PVC, PMMA, PE, POM, PTFE, PP

Polykondensation
- Verknüpfung von Molekülen mit Abspaltung eines niedermolekularen Stoffs
- PA, PC, PET, PF, UF, UP

Polyaddition
- Bildung von Makromolekülen durch Reaktion zweier Partner oder Umlagerung von Atomen im Molekül ohne Abspaltung von Nebenprodukten
- PUR, EP, POM



Kunststofftypen: Elastomer, Duromer, Thermoplast

Kurzzeichen	Bezeichnung	Typ
ABS	Acryl-Butadien-Styrol	T (Thermoplast)
BR	Butadien-Rubber	E (Elastomer)
CR	Chlorbutadien-Rubber	E
EP	Epoxid	D (Duroplast)
EPM	Ethylen-Propylen-Elastomer	D und E
IR	Isoprene-Rubber	E
MF	Melamin-Formaldehyd	D
NBR	Acrylnitril-Butadien-Rubber	E
NR	Natural Rubber	E
PA	Polyamid	T
PBTP	Polybutylenterephthalat	T
PC	Polycarbonat	T
PE	Polyethylen	T
PETP	Polyethylenterephthalat	T

Kurzzeichen	Bezeichnung	Typ
PET	Polyethylenterephthalat	T
PF	Phenol-Formaldehyd	D
PI	Polyimid	D.T
PMMA	Polymethylmethacrylat	T
POM	Polyoxymethylen	T
PS	Polystyrol	T
PP	Polypropylen	T
PTFE	Polytetrafluorethylen	T
PVC	Polyvinylchlorid	T
PUR	Polyurethan	D
SAN	Styrol-Acryl-Nitril	T
SBR	Styrol-Butadien-Rubber	E
SI	Silikon	D
UF	Harnstoff-Formaldehyd	D
UP	Ungesättigte Polyester	D.T

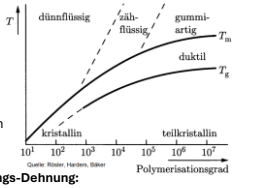
Elastomer (Gummi)
- Grundsätzlich unvernetzt, können durch Vulkanisieren vernetzt werden
- Einsatz zwischen Glastemp und Zersetzungstemp.

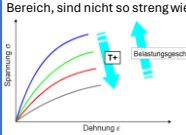
Duromer (Duroplast oder Kunstharz)
- fest vernetzt
- Formgebung nur im unvernetzten Zustand möglich

Thermoplast (Plastomere)
- unvernetzt
- schmelz und schweissbar
- löslich, quellbar und gut verarbeitbar

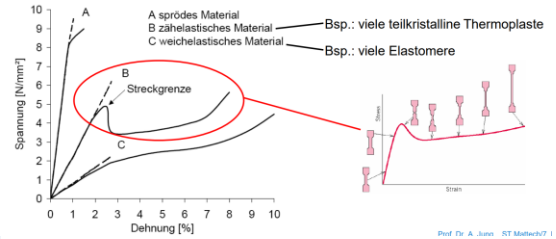
Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen

Glas- /Schmelztemperatur
je kürzer die Kettenlänge der Moleküle (Polymerisationsgrad), desto schwächer ist die Bindung und desto geringer ist die Glas-und Schmelztemp. Die Moleküle haben unterschiedliche Kettenlängen, deshalb erstrecken sich die Temperaturgrenzen über einen Bereich, sind nicht so streng wie bei Metallen.





Spannungs-Dehnung:
Mech. Eigenschaften sind von Zeit, Temperatur, Belastungsgeschw. und Feuchtigkeit (vor allem Thermoplaste) abhängig.



Molekülänge kann bei Herstellung gesteuert werden. Molekulargewicht M sagt aus, wie viel ein Mol der Makromoleküle wiegt. Je höher M, desto höher ist die Zugfestigkeit.