

Werkstofftechnik

Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Institut Werkstoffwissenschaften

2. Semester

Dieses Script ist eine Mitschrift der Vorlesung von Frau Dr. Simmchen, geschrieben von Philipp Ivić (philipp.ivic@gmx.net) im SS 2006 an der TU Dresden. Das Script erhebt weder Anspruch auf Vollständigkeit noch Richtigkeit der in ihm angegebenen Informationen. Ich übernehme keine Haftung für Schäden irgendwelcher Art (schlechte Noten, evtl. sogar Exmatrikulation etc.), die durch eventuell falsche Informationen aus diesem Script entstanden sind.

Letzte Änderung: 12. Juli 2006

Originallink: <http://vuk.homeftp.org/uni/>

Prüfungsvoraussetzung: Praktika (Zustandsdiagramme, Gefügeuntersuchung, Härteprüfung, Zugversuch)

Vorbereitung Praktikum: www.tu-dresden.de/mw/iww/iww.html

Praktikumsgebäude: Schumannbau, Westhof, A20-A29
Gruppeneinteilung vor erstem Praktikum, SCHU/A20

Praktikumsgruppe/Zeit: Mi, 19. Oktober, 12.10 - 12.40 Uhr

Bei Verhinderung: SCH/A29, Fr. Galle, Hr. Sadowski (Mo 8.30 – 9.15, Fr. 14.30 – 15.30)

Skript: www.tu-dresden.de/mwiww/wz.html → Lehre

Literatur: Simmchen/Riehle - „Grundlagen der Werkstofftechnik“

Stadium des Ermüdungsvorganges

1. Herausbildung der Ermüdungsstruktur

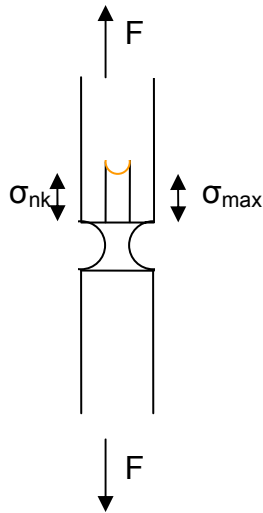
- anrissfreie Phase

Bsp: zyklische Wechselbeanspruchung

Spannungsamplitude: σ_a

$\sigma_a < R_e$

realer Werkstoff: Kerben



$$\frac{F}{A_{Kerb}} = \sigma_{Kerb} = \sigma$$
$$\sigma_{nenn} = \frac{F}{A}$$
$$\sigma_{nk} > \sigma_{nenn}$$
$$\sigma_{max} = f(r)$$

Erste Belastungszyklen

- Bewegung vorhandener Versetzungen
 - freie Versetzungen
 - losgerissene blockierte Versetzungen
- Bewegungen von Versetzungen → Neubildung von Versetzungen
- Versetzungen treffen auf Hindernis, z. B. Korngrenzen
- Wechselwirkungen mit anderen Versetzungen
- ➔ Mikroplastische Versetzung

Richtungswechsel der Belastung

- nicht alle Versetzungen wandern zurück
- Bewegung von Versetzungen auf benachbarten Gleitebenen
- Bildung neuer Versetzungen

Möglicher Eintritt einer Entfestigung oder Verfestigung

weitere Belastungszyklen

Versetzungsanhäufungen → Spannungen

Verformung beginnt in Nachbarkörnern

→ Bildung von Lüdersbändern

Mit zunehmender Zeit → gesamtes Volumen erfasst

➔ Verfestigung

Versetzungsanordnung:

- regellos
- netzartige Anordnungen → Zellstruktur oder allgemein Ermüdungsstruktur

Veränderungen an der Oberfläche:

Bildung von - Vertiefungen
- Erhöhungen

→ Entstehung von Extrusionen und Intrusionen (Ausgangspunkte für Risse)

2. Bildung von Anrissen - Rissentstehung

Verfestigung: Aufstau von Versetzungen

Submikroskopischer Riss

Bevorzugte Stellen für die Anrissbildung:

homogene Materialien: Grenze verformt/wenig verformte Körner

technischer Werkstoff: Korngrenzen, Phasengrenzen

Oberflächen: günstig orientierte Oberflächenkristallite, gut verformbar

Kerben, örtliche Beschädigung der Oberfläche

Poren in Gussstücken und Schweißnähten

3. Ausbreitung von Rissen

Risstadium 1: langsame Ausbreitung des Risses, „stabile Rissausbreitung“

10^{-5} bis 10^{-7} mm/Zyklus häufig 45° Winkel zur Zugrichtung $\tau = \frac{\sigma}{2}$

Risstadium 2: Rissausbreitung in Zugrichtung

→ Querschnitt wird Querschnitt des Bauteils stetig gemindert bis im Restquerschnitt Zugfestigkeit erreicht oder überschritten wird → Bruch durch instabile Rissausbreitung

Bildung von Ermüdungsstreifen

Abstand $0,1\mu\text{m}$ bis $1\mu\text{m}$. Jeder Schwingungsstreifen entsteht in einem Zyklus. Aber: nicht in jedem Zyklus ein Streifen.

3.1.6.2 Schwingbruch → s. Script Simmchen

3.1.6.3 Einflüsse auf das Werkstoffverhalten bei zyklischer Beanspruchung

Einfluss von Kerben

Beispiel:

Gekerbter Zugstab – statische Beanspruchung

Ungekerbter Stab: einachsiger Spannungszustand, Längsspannung σ_1 bei $\sigma_1 = R_e$ → plastische Verformung

Gekerbter Stab: mehrachsiger Spannungszustand, Kerbgrund $\sigma_1 \rightarrow \sigma_{\max}$

Kerbquerschnitt: $\sigma_1, \sigma_r, \sigma_U$ σ_r - Radialspannung; σ_U - Umfangsspannung

im Kerngrund: $\sigma_r = 0$ → ebener Spannungszustand

Vergleichsspannung

Fließkriterium nach TRESKA: $\sigma_1 = R_e$

Fließkriterium nach VON MISES: $\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_U)^2 + \sigma_1^2 + \sigma_U^2]} = R_e$

Folgen: σ_1 im Kerbgrund groß $\geq R_e$

Fließen

σ_1 im Restquerschnitt klein für Fließen größere Lastspannung erforderlich

Vergleich gekerbter – ungekerbter Stab

Ø Kerbquerschnitt = Ø glatter Stab

→ statische Festigkeit wird durch Kerben erhöht

Durch Kerben: Fließbehinderung im Bauteil (Spannungen können nur wenig durch Verformung abgebaut werden)

→ sprödes Werkstoffverhalten

Innere Kerben: Graues Gusseisen mit Lamellengraphit

Kennzeichnung der Kerbwirkung bei statischer Beanspruchung

$$\text{Kerbzahl } \alpha_K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nenn}}}$$

Zyklische Beanspruchung:

- Kerbwirkungszahl $\beta_K = \frac{\sigma_N}{\sigma_{NK}}$ σ_N – Schwingfestigkeit (Zeit-, Dauerfestigkeit)
 σ_{NK} – Schwingfestigkeit gekerbter Proben

$1 \leq \beta_K \leq \alpha_K$ β_K : Werkstoff, Kerbgeometrie, Belastungsfall

Einfluss von Eigenspannungen (Zug, Druck)

Druckeigenspannungen im Oberflächenbereich → Absenkung der resultierenden Spannung auf der Zugseite → Erhöhung der Schwingfestigkeit

Wirkung von Druckeigenspannungen abhängig von:

- Höhe der Eigenspannungen
- Verlauf der Eigenspannungen
- Tiefe der veränderten Zone
- Bauteilquerschnitt – Randzone

Praxis: Kugelstrahlen: Verfestigung im Oberflächenbereich, Druckeigenspannungen
Anwendung: Bauteile eines Flugzeugtriebwerkes

Oberflächenbehandlungsverfahren: Einsatzhärten
 Nitrieren
 Borieren

Einfluss von Form und Größe

Querschnittsform: - bei Zug-Druck-Beanspruchung nur geringer Einfluss
- bei Umlaufbiegung und Torsion Dauerfestigkeit kreisförmiger Probenquerschnitte etwas höher als die rechteckiger
- bei Wechselbiegung etwas niedrigere Festigkeiten bei runden Proben

- Spannungsgradient abhängig von Größe
- Unterschiedliche Größe: Werkstoff ist nicht gleich
- Oberflächenbehandlung: Randzone/Gesamtquerschnitt

Einfluss der Umgebung

Meist erhöhte Werkstoffschädigung

Zusammenfassung

Ermüdungsvorgang beeinflusst durch:

- Höhe der Beanspruchung
- Werkstoff
- Werkstoffzustand
- Oberflächenbeschaffenheit
- Umgebendes Medium
- Bauteilgeometrie

→ Ermüdungsprozess kommt zum Stillstand oder Bruch

Dauerfestigkeit wird herabgesetzt durch

- Oberflächenfehler wie Risse, Riefen, Verzunderung, eingewalzter Zunder
- Randentkohlung: Si-legierte Stähle
- Nichtmetallische Einschlüsse in Oberflächennähe bei vergüteten Stählen mit $R_m > 1200 \text{ MPa}$
- Scharfe Kantenübergänge
- Korrosion

Erhöhung der Dauerfestigkeit

- Verringerung der Oberflächenrauigkeit
- Kugelstrahlen
- Nitrieren

3.1.7 Werkstoffverhalten bei Verschleißbeanspruchung

3.1.7.1 Verschleißbegriff

Begriff (nach DIN 50 320, zurückgezogen): Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers.
Materialverlust an der Oberfläche.

Tribologie: Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung.

Umfasst das Gesamtgebiet von Reibung und Verschleiß einschließlich Schmierung, und schließt entsprechende Grenzflächenwechselwirkungen sowohl zwischen Festkörpern als auch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen ein.

Tribologische Wechselwirkung: Die tribologische Beanspruchung ist eine Beanspruchung, die durch Relativbewegung und Wechselwirkung von Oberflächen unter Einfluss von Kräften gekennzeichnet ist.

Verschleiß ist keine Werkstoffeigenschaft sondern eine Systemeigenschaft, die in der Regel unerwünscht ist. Ausnahme: Einlaufverschleiß (z. B. Turbine, ...)

Funktion des Tribosystems

Eingangsgrößen – Struktur des Tribosystems → Nutzgrößen und Verlustgrößen

Normalkraft	Grundkörper	Verschleiß
Relativgeschwindigkeit	Gegenkörper	Reibung
Temperatur	Zwischenstoff	
Bewegungsablauf	Umgebung	

	Stoffeigenschaften	
	Formeigenschaften	

	→ Wechselwirkungen	
	Verschleißmechanismen	

3.1.7.2 Verschleißmechanismen und Verschleißerscheinungsformen

Adhäsion

- Unmittelbare Berührung von Grund- und Gegenkörper an Mikrokontaktflächen
- Erhebliche mechanische Spannungen in den Kontaktbereichen unter der Einwirkung einer Normalkraft F_N
- Relativbewegung der Verschleißkörper → höhere Spannungen
- Elastische oder elastisch-plastische Verformungen der Rauheitshügel
- Adsorptions- und Reaktionsschichten an Oberfläche örtliche zerstört → atomarer Kontakt zwischen den Oberflächen entsteht
- Ausbildung atomarer Bindungen; bei metallischen Werkstoffen – metallische Bindung – zwischen den Verschleißpartnern – lokales Verschweißen
- Weitere Relativbewegung: Verbindung wird wieder getrennt

→ lose Verschleißpartikel (Kaltverfestigt, höhere Härte) → abrasiver Verschleiß

Erscheinungsformen: Fresser, Löcher, Kuppen, Materialübertrag

Vorkommen: Gleitlager, Kolben – Zylinder, Getriebe, ...

Lösung:

- Artfremde Werkstoffpaarungen (Metall, Keramik, Kunststoff)
- Heterogener Gefügebau (kein ferritisches oder austenitisches Gefüge) besser Ferrit/Perlit oder eingelagerte Carbide
- Hoher kovalenter Bindungsanteil, um geringe molekulare Wechselwirkungen zu erreichen (Hartstoffschichten) oder Hochpolymere

Abrasion

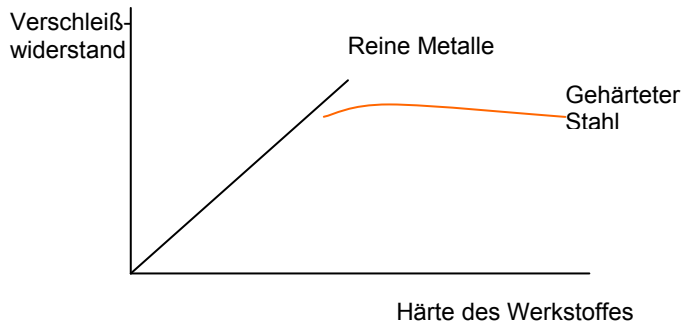
- Eindringen von härteren Rauigkeitshügeln des Gegenkörpers oder von härteren Partikeln aus dem Zwischenstoff in die Oberfläche des Grundkörpers bei gleichzeitiger Tangentialbewegung
- Bildung von Riefen

Erscheinungsformen: Riefen, Kratzer, Mulden, Wellen

Vorkommen: Bergbau, Erdbearbeitung, Kunststoffherstellung

Lösung:

- Hohe Härte bei ausreichender Zähigkeit
- Gummielastischer Werkstoff



Oberflächenverhüttung

Oberflächenbereich: Ermüdungsvorgänge

- Wechselnde mechanische Spannungen
- → örtlich plastische Verformung
- → Rissbildung und Risswachstum an und unter der Kontaktfläche
- Höchste Zugspannungen an der Oberfläche hinter dem Kontakt → Rissbildung
- Rissausbreitungsrichtung bei weiterer zyklischer Belastung senkrecht zur Oberfläche
- Zusätzliche Rissbildung unterhalb der Oberfläche, Rissausbreitung parallel zur Oberfläche mit großer Geschwindigkeit

Lösung

- Einsatz von Werkstoffen mit hoher Härte und großer Zähigkeit
- Risseinleitung durch Einstellung hoher Festigkeiten verzögern
- Verwendung homogener Werkstoffe bzw. von Werkstoffen mit fein verteilten und feinkörnigen harten Phasen

19.04.06

Tribochemische Reaktionen

- Entfernung von reaktionshemmenden Deckschichten
- Beschleunigung des Transports der Reaktionsteilnehmer
- Vergrößerung der reaktionsfähigen Oberfläche
- Temperaturerhöhung infolge Reibungswärme
- Entstehung von Oberflächenatomen mit freien Valenzen infolge von Gitterstörungen, die durch Deformation hervorgerufen werden
- Bildung von Reaktionsschichten
- Reaktionsschicht kann auch Schutzwirkung haben
- Schichtabplatzungen → kann abrasiven Verschleiß auslösen

Lösung

- Vermeidung von metallischen Werkstoffen, Einsatz von Keramik, hochpolymeren Werkstoffen
- Einsatz von Edelmetallen, die keine Reaktionsschichten bilden (z. B. bei Kontakten)

- Umgebungsmedien, die keine störenden chemischen Reaktionen bewirken

Erscheinungsform:

- Schichtenbildung, Partikelbildung

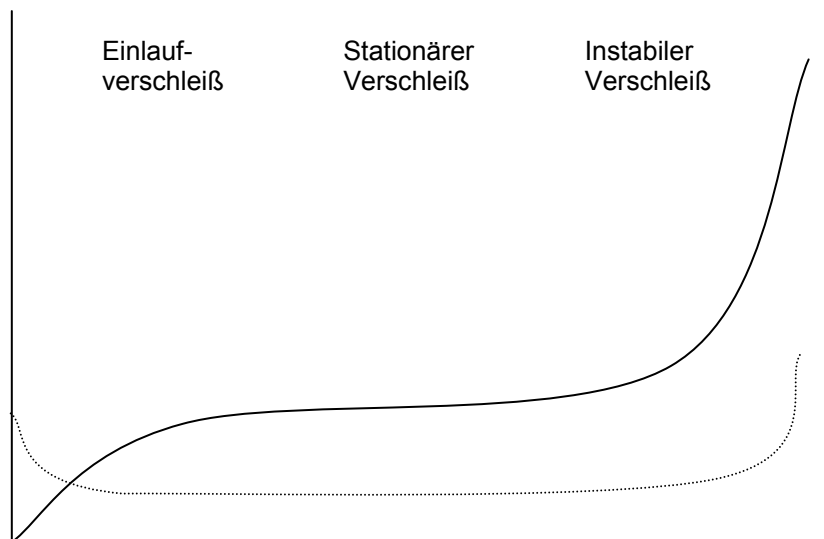
3.1.7.3 Verschleißarten

s. Tabelle Script Dr. Simmchen,

3.1.7.4 Verschleißprüfung

Betriebsversuche → Modellversuche

Verschleißmessgrößen



3.1.8 Werkstoffverhalten bei korrosiver Beanspruchung

3.1.8.1 Definitionen und Bedeutung der Korrosion

DIN EN ISO 8044 (1999) Korrosion von Metallen und Legierungen:

Physikochemische Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung, die zu einer Veränderung der Eigenschaften des Metalls führt und die zu erheblichen Beeinträchtigungen der Funktion des Metalles, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem diese einen Teil bilden, führen kann.

Diese Wechselwirkung ist oft elektrochemischer Natur.

- Korrosionsschäden an Bauteilen können auch in die Tiefe wirken
- Technische Sicherheit, Betriebszuverlässigkeit kann beeinträchtigt oder nicht mehr gewährleistet werden
- Umweltschäden (z. B. korrodierte Behälter oder Rohrleitungen, ...)

- eingeschränkte Nutzungsdauer

→ Schäden

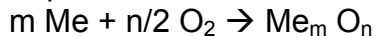
Notwendig: Wissen über Korrosionsprozesse und Korrosionsschutz

Ursache der Korrosion

treibende Kraft für eine Reaktion:

- Änderung der freien Enthalpie ΔG
- Freiwillige, spontane Reaktion – Abnahme der freien Enthalpie

Bsp.: Oxidation von Metallen:



ΔG^0 : Änderung der freien Enthalpie bei Bildung des Metalloxids

Oxid	ΔG^0 in kJ	bei Raumtemperatur unter Standardbedingungen
Ag ₂ O	-11,2	
Al ₂ O ₃	-1582,4	
Cr ₂ O ₃	-1058,1	
Cu	-129,7	
Fe	-245,1	
Fe ₂ O ₃	-1015,5	

- Bildung von dichten und fest haftenden Oxidschichten → weitere Reaktion mit Metall stark eingeschränkt

Praxis:

Korrosionserscheinungen, zurückzuführen auf

- Einsatz ungeeigneter Werkstoffe
- ungeeignete Werkstoffpaarungen
- nicht korrosionsgerechte Konstruktionen
- mangelhafte Pflege und Wartung

3.1.8.2 chemische Korrosion

Oxidation bei höheren Temperaturen

Metall – O₂ – Reaktion: Verzundern

Korrosionsprodukt: Zunder

Luft, Wasserdampf CO₂

Oxidation, wenn Sauerstoffpartialdruck größer als Gleichgewichtsdruck

Reaktion an Metalloberfläche: - Adsorption
 - Dissoziation
 - Ionisierung von O₂

Gleichzeitig: Bereitstellung von Metallionen und -elektronen → oxidische Erstbedeckung des Metalls

Teilschritte beim Schichtwachstum

- Reaktion an Grenzfläche Me/Oxid
Me-Ionen, Elektronen aus Metallgitter gehen ins Oxidgitter
- Diffusion von Metallionen und -elektronen durch die Oxidschicht

- Reaktionen an Grenzfläche Oxid/Gas
Sauerstoffatome → Oxidgitter
- Antransport von Sauerstoff durch Oxidschicht zur Metalloberfläche

Langsamster Teilschritt bestimmt Korrosionsgeschwindigkeit

Zndern von Eisen

Stahl auf niedrige Temperatur erwärmen → Bildung dünner Oxidschichten – Interferenzerscheinungen → Farben

200°C	blaugelb
220°C	strohgelb
240°C	braun
260°C	purpur
280°C	violett
300°C	kornblumenblau
320°C	hellblau
400°C	grau

Legierungselemente im Stahl: Cr – behindern die Oxidation

Schichtfolge bei Oxidation von Eisen

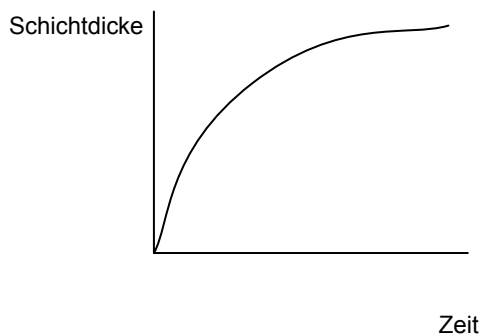
T > 570°C

Fe –	FeO –	Fe ₃ O ₄ –	Fe ₂ O ₃ –	O ₂
	Wüstit	Magnetit	Hämatit	
ca.	90%	7-10%	1-3%	

langsame Abkühlung: 4 FeO → Fe₃O₄ + Fe → Abplatzen der Zunderschicht

Schichtenwachstum: - lineares Wachstum mit Zeit
- parabolisches Wachstum mit Zeit

26.04.06



Oxidation der Legierungen

Behinderung des Wachstums: Cr, Al, Si
Cr₂O₃ + Fe₂O₃ Al₂O₃ SiO₂-Film

Praxis: Zunderbeständige Stähle

T bis 450° C – unlegierte Stähle
bis 550° C – niedriglegierte Stähle (Cr, Mo)
über 550° C – Cr-Al- oder Cr-Al-Si-Stähle

3.1.8.3 Elektrochemische Korrosion

3.1.8.3.1 Potenzialbildung

Bsp.: Metall in Flüssigkeit eintauchen

Bestreben: Me → positive Ionen in Lösung

Lösungsdruck → Überschuss an Elektronen auf Metalloberfläche
Überschuss an Ionen in Lösung

Folge: negativ geladene Oberfläche zieht Me^{z+} an.
Aufnahme von Elektronen → Me → „osmotischer Druck“

Großer Lösungsdruck: $Me \rightarrow Me^{z+} + ze$
Aufstau von Ionen → Vorgang wird gebremst

„dynamisches Gleichgewicht“: osmotischer Druck = Lösungsdruck

Übergang Me in Elektrolyt: positiver Strom
anodischer Strom (Elektronenlieferung)

Übertritt Me^{z+} in Metall: negativer Strom
kathodischer Strom

Aufladung der Oberfläche: elektrochemische Doppelschicht

Einstellung eines Potentials

Einzelpotential ist nicht messbar.

→ Bezugs elektrode Normalwasserstoffelektrode 0V

Bsp.: Cu und Zn

Zn-Stab in $ZnSO_4$

Cu-Stab in $CuSO_4$ + leitende Verbindung zwischen den Stäben: e^- wandern von Zn zu Cu → Konzentrationsänderung

Abweichung von Spannungsreihe

z. B. Bildung von Deckschichten

Oxidation: Elektronenabgabe

Reduktion: Elektronenaufnahme → Redoxreaktion

3.1.8.3.2 Wasserstoffkorrosion

Metall in saure, sauerstofffreie Lösung



Teilreaktionen

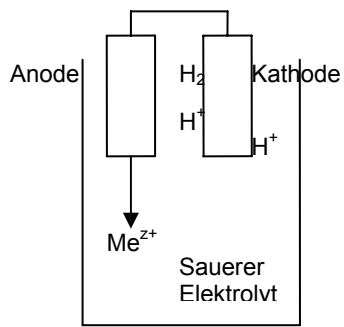
1. Anodische Metallauflösung: $Me \rightarrow Me^{z+} + ze$

2. Kathodische Metallabscheidung $Me^{z+} + ze^- \rightarrow Me$

3. Kathodische Wasserstoffabscheidung $zH^+ + ze^- \rightarrow z/2 H_2$

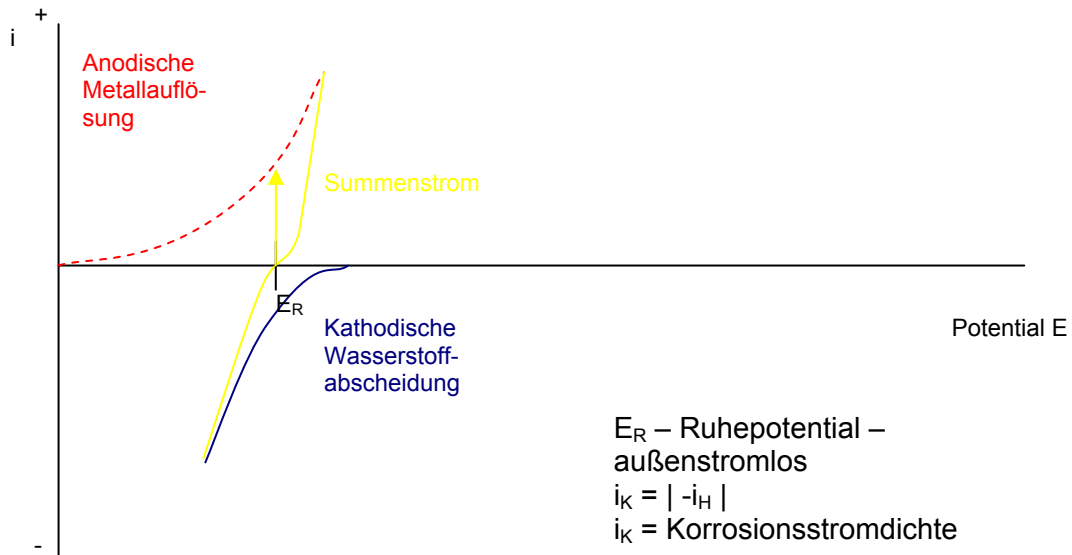
4. Anodische Wasserstoffionisation $z/2 H_2 \rightarrow zH^+ + ze^-$

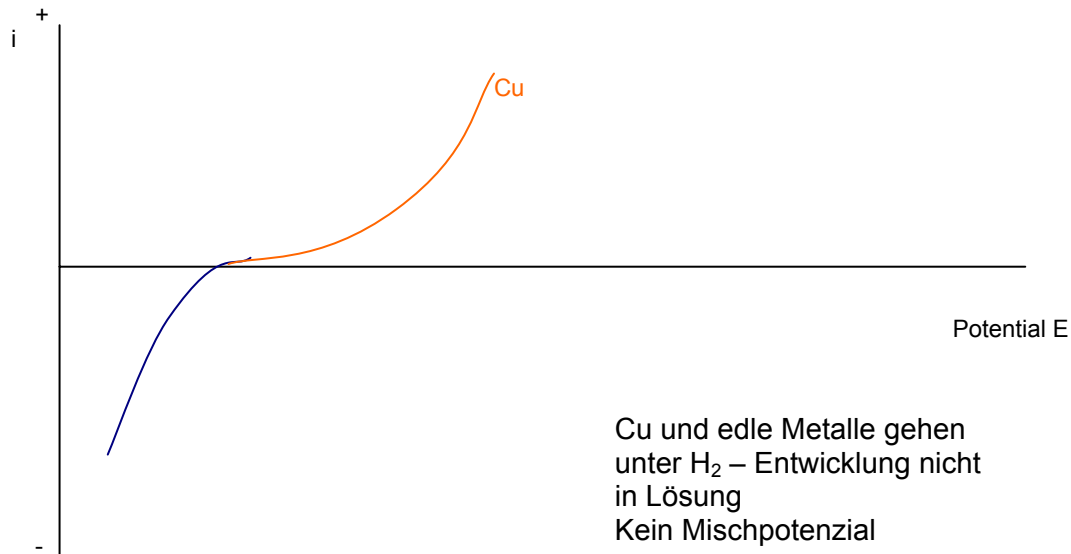
2. und 4. vernachlässigbar



Stromdichte – Potenzial-Kurve

Vorgabe: steigendes Potenzial → Messung des Stromes
 → Polarisation

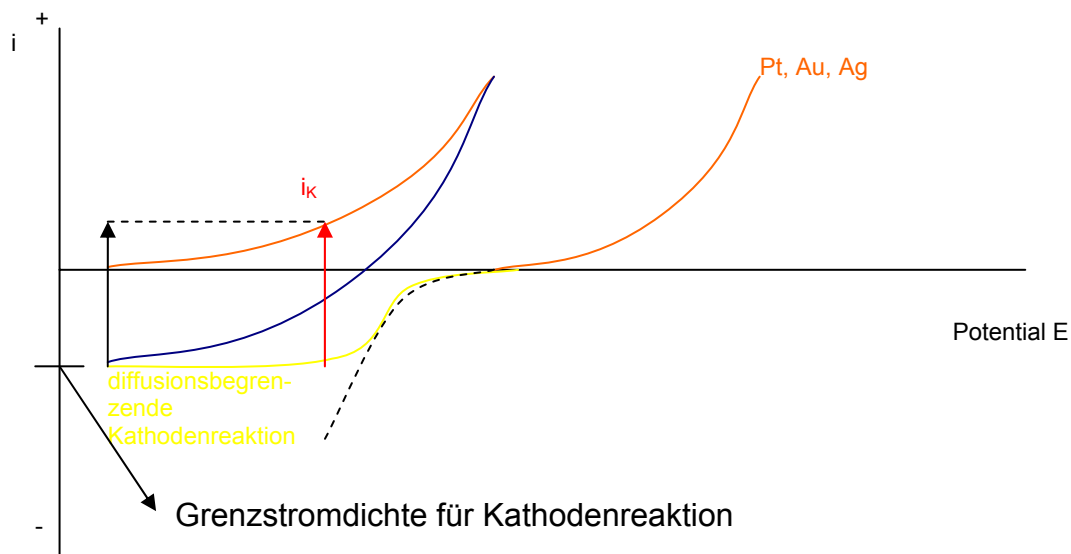
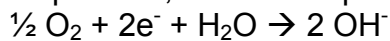




3.1.8.3.3 Sauerstoffkorrosionstyp

Alkalische, neutrale bis schwach saure Elektrolyte

Kathodenprozess, Reduktionsprozess



Grenzstromdichte abhängig von:

- O₂ – Konzentration
- Temperatur des Elektrolyts
- Elektrolytbewegung

Praxis: für elektrochemische Korrosion
2 Elektroden, leitend verbunden
unterschiedliche Potentiale
Elektrolyt

→ Korrosionselement

Beispiele für mögliche Korrosionselemente

- Verbindungsstellen von Metallen mit unterschiedlichem Potential
Bsp. Cu/Al, rostender Stahl/nicht rostender Stahl
- belüftete/nicht belüftete Bereiche, Spalten
- Ablagerungen von z. B. Korrosionsprodukten
- Temperaturunterschiede, Konzentrationsunterschiede in Elektrolyten
- Kristallgemische, Bsp. Messing α -MK und β -MK (unedler als α -MK)
- Korn-Korngrenze: Korngrenze meist unedler als Matrix
- Ausscheidungen mit anderem Potential als Matrix
- Verformte- nicht verformte Bereiche, verformte sind unedler

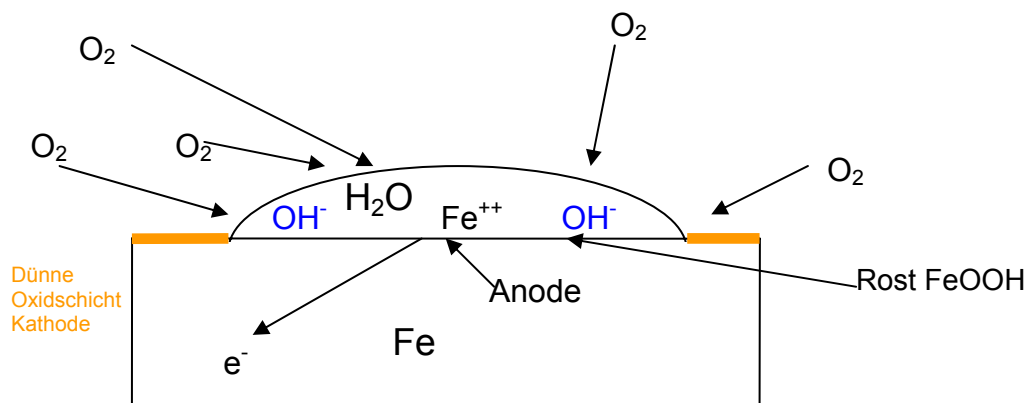
Stromdichte:

- Größe der Anodenfläche im Vergleich zur Kathodenfläche
- kritisch: kleine Anodenflächen

Lokalelement

- sehr kleine Elektrodenflächen

3.1.8.3.4 Rosten von Eisen



Anode: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

Kathode: $\text{O}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2(\text{OH})^-$ pH-Wert steigt

Bildung von $\text{Fe}(\text{OH})_2$

$\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1\text{e}^-$

Bildung von $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – Reaktion mit O_2

Wasserabspaltung FeO-OH in H_2O unlöslich

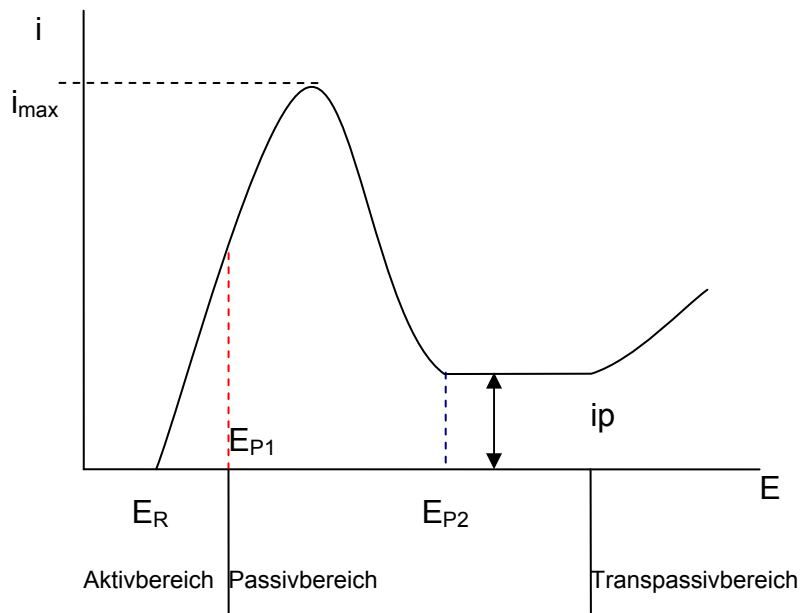
Zusammensetzung von Rost umgebungsabhängig

	Jährliche Rostverluste $\mu\text{m}/\text{Jahr}$
Europa	
Landluft	4...60
Stadtluft	30...70
Industrieluft	40...160
Meeresluft	64...170

3.1.8.3.5 Passivität

Höhere Beständigkeit von Metallen durch Deckschichtausbildung
z. B. durch $O_2 \rightarrow$ Bildung von Oxidschicht, dicht und fest haftend
von außen Schichtbildung herbeiführen: Bsp.: Fe in konzentrierte HNO_3

Anlegen einer Spannung in bestimmten Elektrolyten \rightarrow Wirkung Stromdichte-
Potential-
Kurve



E_{P1} : Bildung dünner porenfreier Deckschicht

E_{P1} : Stromdichte fällt von i_{max} zu i_p ab

E_D : Durchtrittspotential

Leicht passivierbare Metalle: Cr, Ni

Cr als Legierungselement z. B. in Stahl, ab 13 % Cr \rightarrow nicht rostend
Polarisation von Metallen ohne eigene Passivschicht

Praktische Beispiele für Korrosionselemente

Kontaktkorrosion

unedleres Metall geht in Lösung

Schutzschichten

- metallischer Überzug mit unedlem Metall, Bsp. Zink – Anode \rightarrow Lösung
Reaktion von Zn mit Atmosphäre
 1. Bildung von ZnO
 2. Zn (OH)₂
 3. Reaktion mit CO₂ \rightarrow Bildung eines nicht löslichen Zn-Carbonates
- metallischer Überzug mit edlem Metall
Weißblech: Zinnüberzug
Kratzer: Korrosionselement: Fe – Sn \rightarrow Fe geht in Lösung, kleine Anodenfläche \rightarrow Angriff in die Tiefe

belüftete - nicht belüftete Bereiche

z. B. Wasseransammlung in Mulden

belüftete Stellen bilden Kathode, schlecht belüftete bilden Anode

Bsp.: Wassertropfen auf Eisen, Rohrleitung mit Luftblase

Ablagerung von Korrosionsprodukten

Fremdstrom

vagabundierende Ströme

Kristallgemische

Reines Metall

Bsp.: Al

Edlere Verunreinigungen oder Legierungselemente

Al + Cu

Kohlenwerkstoff in Eisenwerkstoffen (Graphit im Gusseisen oder Zementit im Stahl oder Gusseisen)

Entzinkung von Messing

Cu-Zn-Legierung

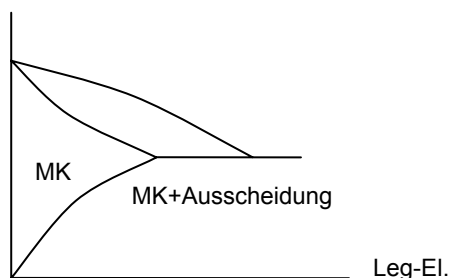
Hohe-Zn-Gehalte: α -MK-Kathode, β -MK-Anode \rightarrow β -MK geht in Lösung als Cu-Ionen und Zn-Ionen

Cu-Ionen gehen an Oberfläche und scheiden sich ab

Korn-Korngrenze

Ansammlung von Fremdatomen an KG

Ausscheidungen an KG



Bsp.: Al-Mg

β -Phase (unedel, Anode) – Al-MK

an KG-zusammenhängende Ausscheidungen

Auflösung entlang der Korngrenzen

Bsp.: Cr-Stahl oder Cr-Ni-Stahl

Cr-Carbidbildner \rightarrow Cr-Carbide

Carbide gehen an Korngrenzen (Cr-verarmter Bereich \rightarrow Anode \rightarrow Kornzerfall)

3.1.8.3.6 Korrosionsarten – Erscheinungsformen der Korrosion

Korrosionsvorgänge können zu unterschiedlichen Wirkungen führen

- Aufbau und Zusammensetzung des Werkstoffes
- Unterschiedliche Angriffsmedien
- Konstruktive Gestaltung des Bauteils

Lochfraß ist örtlich begrenzte Korrosion, Passivzustand wird aufgehoben, z. B. Cr-Ni-Stahl in Berührung mit Cl^- , Br^- , J^- ; Tiefenwachstum → Durchlöcherung
Abhilfe: Mo-legierter Cr-Ni-Stahl (V4A)

Spannungsrissskorrosion

zusätzlich mechanische Beanspruchung unter Zug
Eigenspannungen im Bauteil (z. B. durch Kaltumformung oder nach Schweißen) → plötzliches Aufreißen → plötzliches Versagen

Schwingungsrissskorrosion

zyklische Beanspruchung → Rissbildung
Zugbeanspruchung → Eindringen des Elektrolyts

10.05.06,
Sorry für heutige etwaige
Tippfehler, aber gestern
war Nachtwanderung ;-)

3.1.8.5 Korrosionsschutz

- Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit
- Vermeiden von Korrosionsschäden

Analyse des Gesamtsystems

- Ursachen
- Ökonomische Betrachtungen
- zeitlich begrenzter Schutz oder dauernd

Passiver Korrosionsschutz

Prinzip: Trennung der Werkstoffoberfläche und dem Medium

Schichten, Überzüge: - beständig
 - fest haftend
 - dicht

Metallische Überzüge

- Schmelztauchverfahren: Feuerverzinken, Feueraluminieren
- Galvanische Verfahren: Ni, Cr, Cd, Cu, Zn, Pb, Sn
- Chemische Verfahren: Ni
- Metallspritzen – Thermisches Spritzen: Zn, Al
- Auftragschweißverfahren
- Plattierverfahren
- Diffusionsverfahren: Zn, Cr, Al, Si

Anorganisch nichtmetallische Beschichtung

- Emaillieren Eisenwerkstoffe
- Brünieren Eisenwerkstoffe
- Phosphatieren Eisenwerkstoffe
- Chromatieren Eisenwerkstoffe, Aluminiumwerkstoffe
- Anodisieren Schutz für Aluminiumwerkstoffe

Organische Beschichtungen

- Streichen
- Tauchen
- elektrochemisches Tauchlackieren (KTL)

Aktiver Korrosionsschutz

Prinzip: Beeinflussen des jeweiligen Korrosionssystems – Medium – Werkstoff
(vorherige Analyse)

Medium

- Zusatz von Stabilisatoren → keine negative, korrosionsfördernde Veränderung des Mediums
- Entfernung aggressiver Bestandteile (z. B. Verringerung Sauerstoffgehalt, keine Chloridionen)
- Zusatz von Hemmstoffen – Inhibitoren (z. B. deckschichtbildende Stoffe wie Carbonate, Phosphate, Silicate → Kalkrostschichtbildung)

Werkstoff

- Legierungselemente zusetzen oder absenken von Legierungselementgehalt
- möglichst homogenes, spannungsfreies Gefüge
- richtige Wärmebehandlung, z. B. Ausscheidungen an Korngrenzen vermeiden
- optimaler Oberflächenzustand; Senkung Rauheit
- Konstruktive Gestaltung: keine Mulden, Spalten, Werkstoffpaarungen beachten → evtl. Korrosionsschutz vorsehen
- Korrosionsschutzgerechte Lagerung im Freien

Gesamtes Korrosionssystem

- Temperatur: absenken meist günstig
- Betriebsweise: kontinuierlich, zyklisch, Stillstand
- Kathodischer Schutz durch unedlere Metalle: Opferanode (Mg, Zn) oder Fremdatom (Gleichspannungsquelle und wenig lösliche Fremdstromanode) z. B. für Rohrleitungen, meist mit zusätzlichem passiven Korrosionsschutz
- Anodischer Schutz durch Passivierung

Werkstoffbezeichnungen

1. Stahlbezeichnungen

DIN EN 10027

Kurznamen nach mechanischen Eigenschaften
 Physikalischen Eigenschaften

Hauptsymbole

S Stähle für den allgemeinen Stahlbau
P Stähle für Druckbehälterbau
E Maschinenbaustähle

Ziffern

Mindeststreckgrenzwert in $\frac{N}{mm^2}$ für die kleinste Erzeugnisdicke

Bsp. S275

Zusatzsymbole

Angaben für Kerbschlagarbeit bei festgelegten Prüftemperaturen

Bsp.: S235JR (früher St 37-2) Stahl für Stahlbau, $R_e 235 \frac{N}{mm^2}$; 27 J bei +20 °C

S275J2C+N

C ... besondere Kaltumformbarkeit

N ... Normalgeglüht oder normalisierend gewalzt

früher: St 35 $R_{m-min} = 35 \frac{kp}{mm^2}$
StE360

Kurznamen nach chemischer Zusammensetzung

Unlegierte Stähle

C70	mit 0,7% Kohlenstoff
C70 D	Stahl zum Drahtziehen
C105U	U...Werkzeugstahl
C105S	S...für Federn

legierte Stähle bis (5% Legierungselement)

20MnCr5
0,2% C; 5/FAKTOR4=1,25% Mn; wie viel Cr ist nicht angegeben

Erste Zahl hinter Legierungselement bezieht sich auf erstes Legierungselement, zweite auf Zweites, ...

FAKTOR 4: Cr, Co, Mn, Ni, Si, W
FAKTOR 10: Al, Cu, Mo, Nb, Ti, V
FAKTOR 100: Ce, N, P, S
FAKTOR 1000: B

Hochlegierte Stähle

X5CrNi18-10
0,05% C; 18% Cr; 10% Ni

X...hochlegiert

Prinzipielle Schreibweise am Computer: immer alles ohne Leerzeichen

Schnellarbeitsstähle

HS6-5-3-8
% W MoV Co (Co wenn vorhanden)

2. Werkstoffnummern

1. XXXX

↓
Stahlgruppe

↘
jeweiliger Stahl

← Stahlschlüssel, der alle 3 Jahre neu rauskommt

Gusseisen

Graphitusbildung

früher	GG, GGI	- lamellar
	GGG	- globular
	GGV	- wurmförmig
	GG-15	- R_{m-min} in $\frac{kp}{mm^2}$

nach DIN EN 1560

Bsp.: EN-GJS-350-22U
EN-GJL-HB215

Werkstoffnummern:

EN-JS1081 1... Zugfestigkeit
 08... jeweiliger Werkstoff
 1... getrennt gegossenes Probestück

Kupferwerkstoffe

Kurznamen: chemische Zusammensetzung

CuZn37 37% Zink

Ziffern:

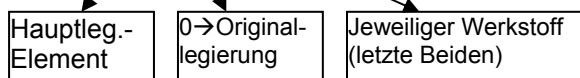
CW – Knetlegierung
CC – Gusslegierung

Al-Knetlegierung DIN EN 573
Al-Gusswerkstoffe DIN EN 1780

EN AW-ALMg1Si0,8CuMn

Ziffern

EN AW-XXXX



EN AW2024
EN AC-YYYY

17.05.06
dies
academicus →
frei

3.3 Werkstoffprüfung

3.3.1 Ziele und Aufgaben der Werkstoffprüfung

Prüfung von:

- Werkstoffen → Kenngrößen
- Produkten

24.05.06

Werkstoffdiagnostik:

- Stoffliche Zusammensetzung: z. B. chemische Analyse, Schleiffunkenprobe
- struktureller Aufbau z. B. Röntgenfeinstruktur
- Gefüge

Eigenschaftscharakterisierung

- Mechanische Eigenschaften – Festigkeitsprüfung
- Thermisch-mechanische Eigenschaften
- Korrosion
- Verschleiß
- Technologische Eigenschaften
- Verarbeitungseigenschaften: z. B. Gießbarkeit, Schweißbarkeit, Härbarkeit, Zerspanbarkeit, Umformbarkeit
- Physikalische Eigenschaften (magnetische, optische, elektrische)
- Chemische
- Biologische

Qualitätsprüfung – Qualitätsmanagement:

- Überwachung der Werkstoffbeschaffenheit (chemische Zusammensetzung, Gefüge, Härte usw.)
- Nachweis: Werkstofffehler, die bei Herstellung entstehen, durch zerstörungsfreie Verfahren, z. B. Ultraschall, Durchstrahlverfahren, Farbeindringverfahren, Ölkochprobe
- Eingangs-, Fertigungs-, Abnahme-, Wiederholungs- oder Produktverhaltensprüfung

Zuverlässigkeits- und Schadensanalyse

- Technische Diagnostik – demontagefreie oder demontagearme Betriebsüberwachung von Maschinen und Anlagen
- Kontrolle des Schädigungszustandes → Abschätzung der Restlebensdauer
- Schadensanalyse: → Ursachen für Schaden finden
- Werkstoffprüfung ist genormt: DIN, DIN EN, DIN EN ISO, SEW-Prüfblätter, TÜV, Richtlinien usw.

3.3.2 Festigkeitsprüfung

3.3.2.1 Zugversuch

Siehe auch Script erstes Semester
<http://vuk.homeftp.org/uni/>, Seite 3

DIN EN 10002-1
Probestäbe

3.3.2.2 Druckversuch (DIN 50106)

zylindrische Probe

$1 \leq h_0/d \leq 2$ Stähle d_e 10...30 mm
 $h_0/d_0 = 1,5$

S_0 – Spannung über Stauchung

Spröde Werkstoffe: bis zum Bruch

Verformbare Werkstoffe: bis erster Anriss

Druckfestigkeit: $\sigma_{dB} = F_B/S_0$

d...Druck

B...Bruch

Bei Metallen:

Gesamtstauchung $E_{dt} = 50\% \rightarrow \sigma_{d50}$

Quetschgrenze σ_{dF} , $\sigma_{d0,2}$

3.3.2.3 Biegeversuch

Keramik DIN EN 843

Biegefestigkeit: σ_{bB}

b...Biegung

$\sigma_{\max} = 8 * F_{\max} * \frac{L}{\pi * d_0^3}$ für kreisförmigen Querschnitt

$\sigma_{\max} = M_{b\max}/W$

σ_{bF} – Biegeflußspannung

f – Durchbiegung

3.3.2.4 Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung

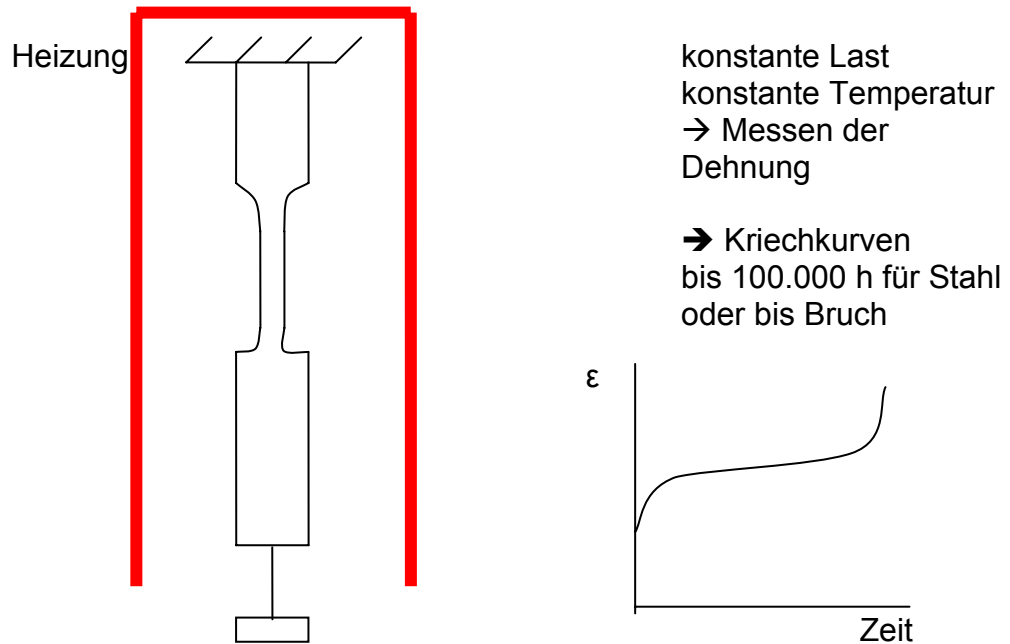
DIN EN 10291 + Beiblatt

Zeitdauer bei erhöhter Temperatur und statischer Beanspruchung bis

→ bestimmter Dehnung 0,2%, 1%

→ Bruch

Versuch: Zugproben



$R_{m/t/T}$ $R_{m/1000/650}$ $R_{px/t/T}$

3.3.2.5 Schwingfestigkeitsversuche

Dauerschwingversuch DIN 50100

Zeitablauf der Beanspruchung

Einstufen-, Mehrstufen-, Random-,
Betrieblastenversuch

Beanspruchungsart

Zug-Druck, Biegung, Umlaufbiegung, Torsion

Anzahl der Lastwechsel bis zum Bruch

niederzyklisch (LCF), hochzyklisch (HCF)

Spannungszustand

ein- oder mehrachsig

Prüffrequenz

niedrig (<5Hz), mittel (<30Hz), hoch (>30Hz)

Prüfobjekt

glatte oder gekerbte Proben, Formelement,
Bauteil, Baugruppe

Umgebungsbedingungen

hohe bzw. niedrige Temperatur,
Luftfeuchtigkeit, Vakuum, Medien, Strahlung

Wöhlerversuche

σ_0 – größte Spannung unabhängig vom Vorzeichen

σ_m – statische Vorspannung

$\sigma_m = 0,5 (\sigma_0 + \sigma_n)$

$\sigma_m = (\sigma_m + \sigma_a)$

$\sigma_m = +0,5 (\sigma_0 - \sigma_u)$

Spannungsverhältnis s: $R = \sigma_u / \sigma_0$

σ_a - Spannungsausschlag

31.05.06

Zugschwellbereich: $\sigma_u = 0$ $s=0 \dots <+1$

Wechselbereich: $\sigma_m = 0$ $s=-1$

$0 > s > -1$

Druckschwellbereich: $\sigma_u = 0$ $s=0$

$s < +1$

Wöhlerversuch

$\sigma_m = \text{konstant}$

$\sigma_0 < R_m \rightarrow N$ bis Bruch

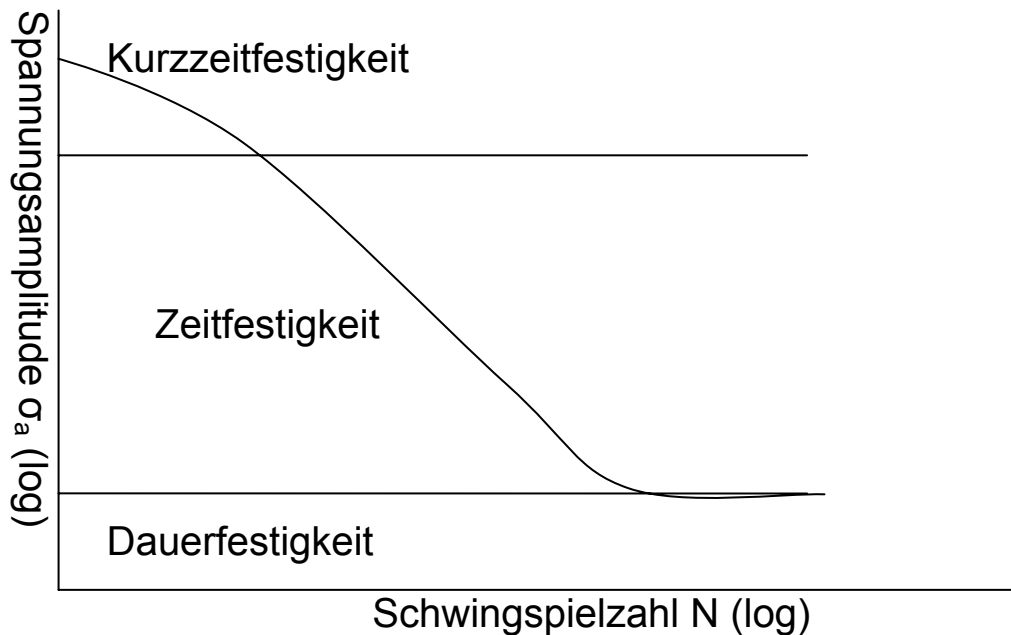
σ_0 absenken, bis kein Bruch auftritt: „Durchläufer“

→ Dauerschwingfestigkeit: σ_D

Größen, die an der Maschine eingestellt werden, haben kleine Indexbuchstaben, Ergebnisse große

Grenzschwingspielzahl: 10^6 ; $2 \cdot 10^6$; 10^7 für Stahl

Wöhlerkurve



Gestaltsfestigkeit

- Querschnittsübergänge
- Kerben
- Bohrungen
- Poren z. B. in Gussstücken

$$\beta_k = \frac{\sigma_{D_ungekerbt}}{\sigma_{D_ungekerbt}} > 1$$

Dauerfestigkeitsschaubilder SMITH

Abszisse: σ_m

Ordinate: σ_0 , σ_u

Vereinfachte Darstellung:

- Begrenzung: bis R_e
 - Geraden: im Bereich σ_w bis σ_{schwell}
 - Verlängern der Geraden bis Streckgrenze
- 3 Werte: R_e , Wechselfestigkeit, Zugschwellfestigkeit

α : Biegung $\alpha=36^\circ$
Zug-Druck $\alpha=40^\circ$
Torsion $\alpha=42^\circ$

$$\tau_w/R_m = 0,20 \text{ bis } 0,35$$

$$\sigma_{zdW}/R_m = 0,3 \text{ bis } 0,45$$

$$\sigma_{bW}/R_m = 0,4 \text{ bis } 0,55$$

$$\sigma_{ubW}/R_m = 0,46 \text{ bis } 0,63$$

- Auslegung mit Sicherheitsfaktor
- Auslegung „damage tolerant“

Bauteil mit Riss

Geschwindigkeit des Risswachstums: da/dN – Festlegung: Inspektion
Inspektionsintervalle (z. B. Flugzeuge)

3.3.3 Härteprüfung

1822 – MOHS

BRINELL: Hartmetallkugel bis 650 HBW

Dicke: $8 \cdot t$ Bsp.: $d=6\text{mm}$
 $D=10\text{mm}$ → 8mm Probendicke

VICKERS: Prüfkraft $< 5\text{N}$ → Härte kraftabhängig

Je kleiner F, umso größer Härte

Umwertung: Härte → Härte
→ Zugfestigkeit

allgemein: $HRC = 0,1 \cdot HB$; $0,1 \cdot HV$ grobe Angaben
 $HB = 0,95 \cdot HV$
 $R_m = c \cdot HB$ oder HV $[R_m] = \text{N/mm}^2$

$c=3,5$ für gegläute und vergütete Stähle

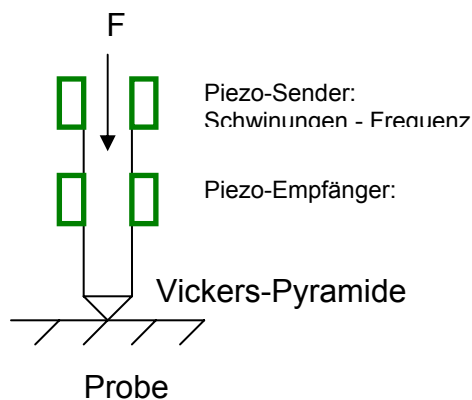
$c=5,5$ für Kupfer, Kupferlegierungen gegläut

$c=4,0$ für Kupfer, Kupferlegierungen kaltverformt

$c=3,7$ für Al, Al-Legierungen

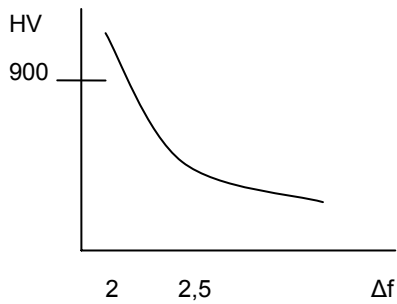
UCI-Verfahren

Ultrasonic-Contact-Impedance



$$\Delta f = E_{elast} \cdot \sqrt{A}$$

E_{elast} – E-Modul (muss bekannt sein)



3.3.4 Prüfung der Umformbarkeit

Fließspannung; Umformvermögen

- Vorausgegangene Verfestigung oder Entfernung
- Umformtemperatur
- Umformgeschwindigkeit
- $K_f = k * \varphi$ φ : logarithmische Formänderung
 n: Verfestigungsexponent
- Zugversuch nur kleine Umformgrade
- Stauchversuch: $k_f = \frac{F * h}{S_0 * h_0}$ keine Ausbauchung zulässig
 $\varphi = \ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$
- Torsionsversuch
- technologische Prüfverfahren
 Tiefziehfähigkeit, Streckziehfähigkeit
 - Werkstoffabhängig
 - Verfahrensabhängig
- Tiefungsversuch nach ERICHSEN DIN EN ISO 20482
- Zweiachsiger Spannungszustand
- höhere Umformgrade

Prüfprinzip: Stempel → in Blech gedrückt, v = 5 ... 20 mm/min

Tiefung nach Erichsen IE

07.06.06 Pfingstferien → frei

4 Wärmebehandlung

14.06.06

Ziel der Wärmebehandlung

Einstellung bestimmter Werkstoffeigenschaften, die für Verarbeitung oder Gebrauch maßgebend sind.

Aufgaben der Wärmebehandlung

- Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften durch bestimmte Glühverfahren (s. Praktikumsanleitung Wärmebehandlung)
- Einstellung von Gebrauchseigenschaften durch: Normalglühen, Härten, Vergüten

Ausnutzung der Wärmebehandlung:

Stahl, Gusseisen: Normalglühen, Härten und Vergüten

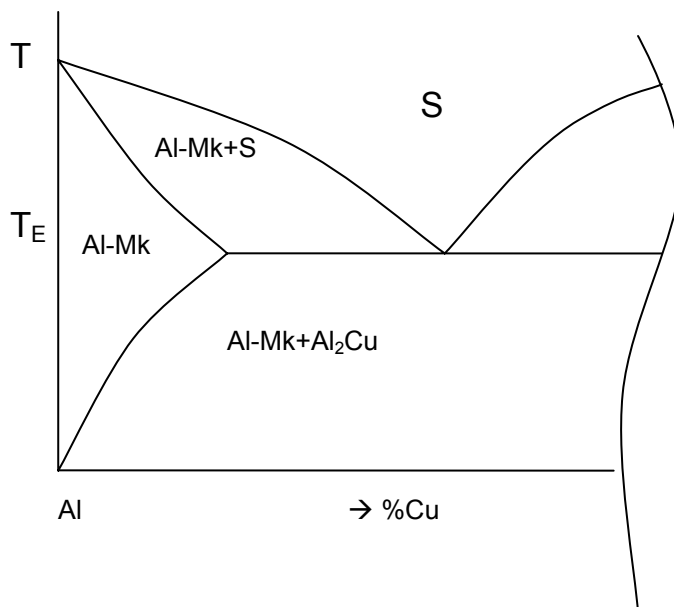
Beim Härten und Vergüten: zusätzlich Ausnutzung der unterschiedlichen Löslichkeit von Kohlenstoff im krz- und kfz-Gitter (kubisch-raum-zentriert, kubisch-flächen-zentriert)

- Wärmebehandlung des gesamten Bauteils → durchgreifende Wärmebehandlung
- Verfahren, bei denen nur die oberflächennahen Bereiche wärmebehandelt werden: z. B. Oberflächenhärten
- Verfahren, bei denen im oberflächennahen Bereichen die chemische Zusammensetzung verändert wird: thermochemische (Oberflächen)Behandlung

4.2 Ausscheidungshärten (Aushärten)

Ziel: Erhöhung der Festigkeit und Härte

Voraussetzung: Legierung, bei erhöhter Temperatur Mischkristalle
Mit abnehmender Temperatur abnehmende Löslichkeit



1. Lösungsglühen: homogener MK
z. B. AlCuMg₂
495°C ± 5K
2. Abschrecken
übersättigter MK
3. Auslagern beim Raumtemperatur
(kalt) oder bei erhöhter Temp.
(warm)

Abschrecken

Übersättigter MK

- Abkühlgeschwindigkeit ausreichend groß, damit Legierungselementatome in übersättigter Lösung im Mischkristall verbleiben
 - Diffusionsgesteuerte Ausscheidung der Gleichgewichtsphase unterdrücken
→ Abschrecken meist in Wasser oder durch Wasserdampfnebel
- Festigkeitserhöhung im abgeschreckten Zustand nur gering, Werkstoff ist gut verformbar

→ feine Ausscheidungen, behindern Versetzungsbewegung und führen somit zu Erhöhung der Festigkeit

Bezeichnung Aushärtungszustände

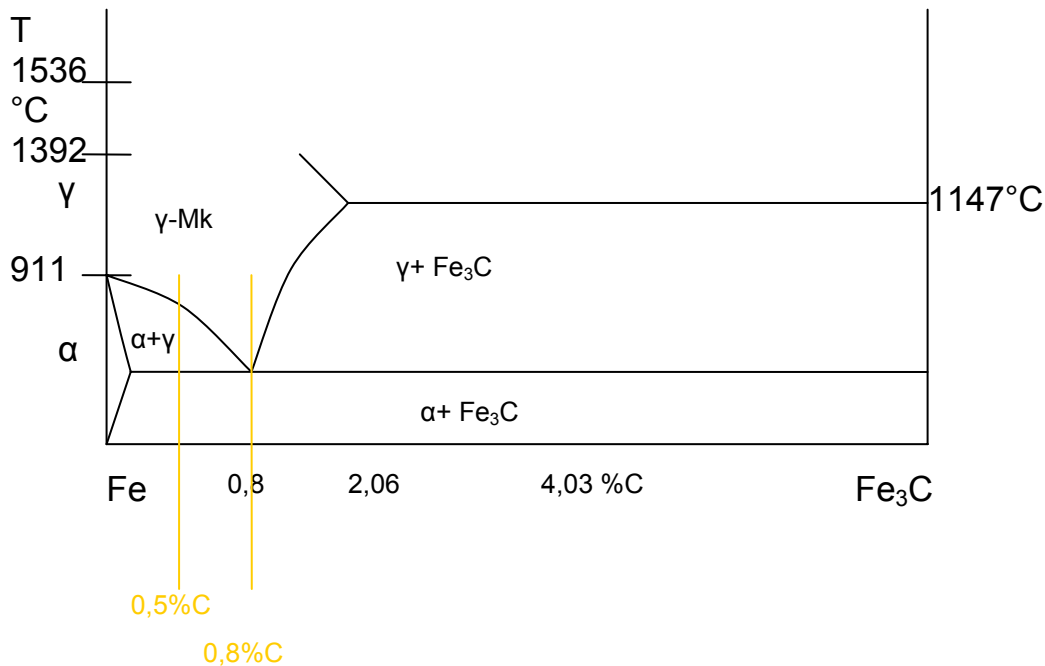
T3/T4

T6 warmausgelagert auf höchste Festigkeit

T7 warmausgelagert, überhärtet

4.3 Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen

4.3.1 Fe-C-Diagramm und Vorgänge beim langsamen Abkühlen



4.3.2 Vorgänge beim beschleunigten Abkühlen

Abkühlen aus dem γ -Gebiet

Perlitstufe: Diffusion von Fe, C, Leg.-Elementen

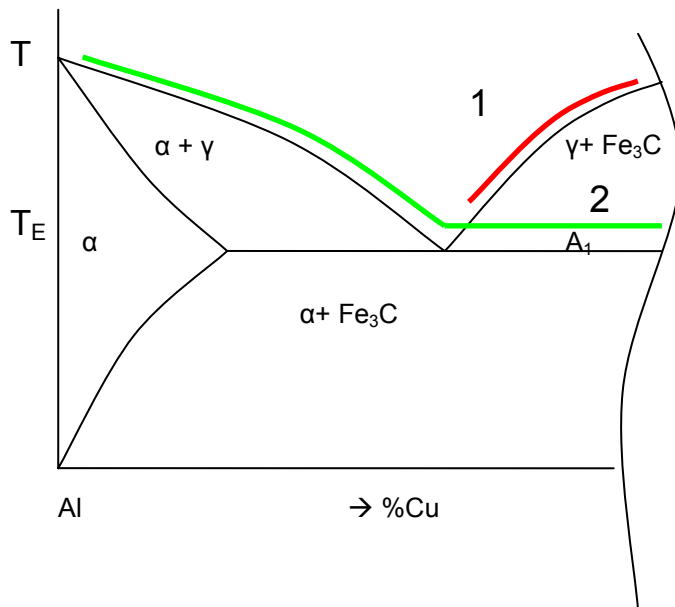
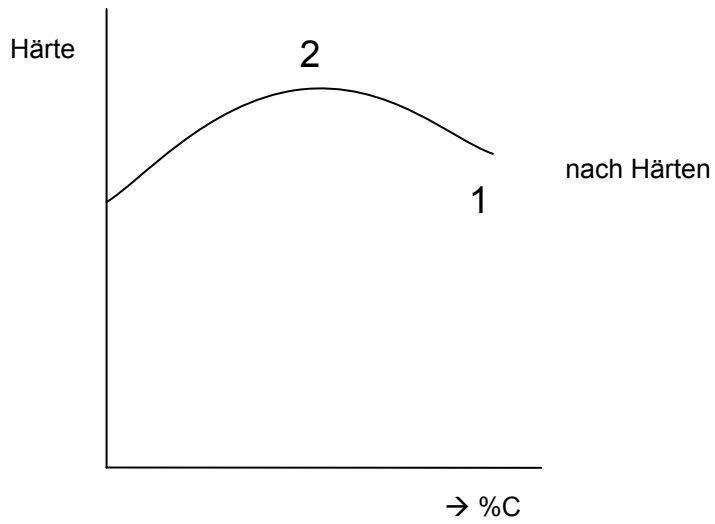
1. Diffusion von C im γ bis 450°C

Martensitstufe: keine Diffusion

$\gamma \rightarrow \alpha_{\text{übersättigt}}$

Beginn der Martensitbildung M_S

ab ca. 0,6% C bleibt bei RT Restaustenit \rightarrow Eigenschaften?

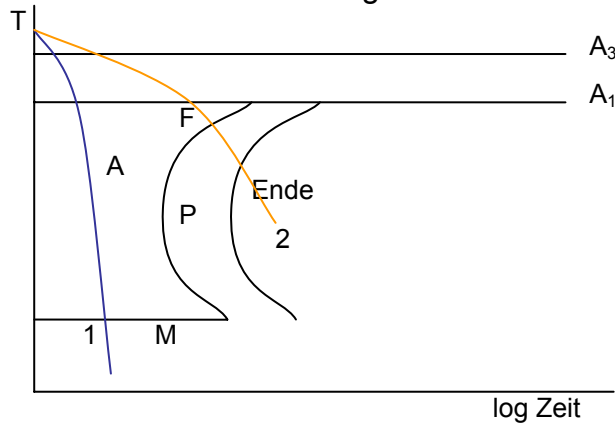


Zwischenstufe: Diffusion von C
 Gefüge: Bainit

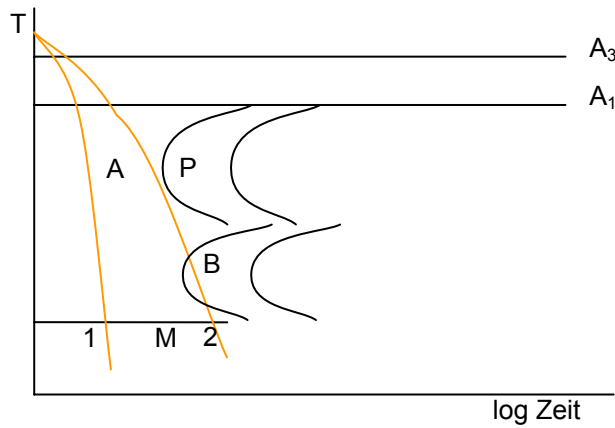
21.06.06

4.3.3 Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramme (ZTU)

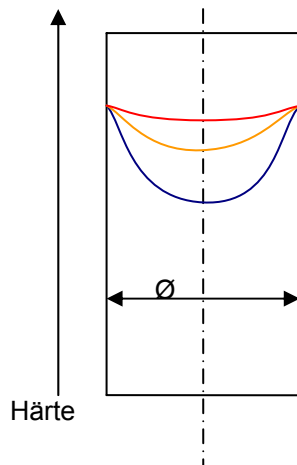
Kontinuierliche Abkühlung



- Chemische Zusammensetzung
- Härtetemperatur
- 1 – Martensit
- 2 – Ferrit+Perlit



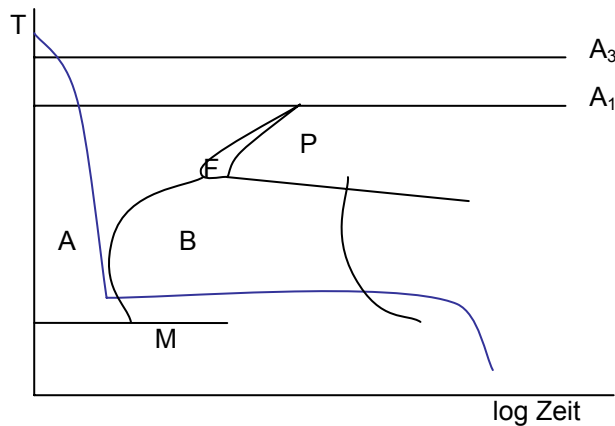
- 1 – Martensit
- 2 – Bainit+Martensit



Bei gleichem C-Gehalt
 unlegierter Stahl – Rand- oder Schalenhärter – Abkühlen in Wasser
 $\varnothing 10\text{mm}$ durchhärter
 niedriglegierter Stahl – Abkühlen in Öl
 hochlegierter Stahl – Abkühlen an Luft, „Lufthärter“

Isothermes ZTU-Diagramm

Abkühlen auf bestimmte Umwandlungstemperatur



- Zwischenstufenvergüten

4.3.4 Anlassen

- Verbesserung der Zähigkeit
- Abnahme der Härte

1. Anlassstufe ab 100°C

tetragonaler-Martensit → kubischer Martensit

Fe₂C → E-Carbid Ausscheidungen

Nur geringe Härteabnahme

2. Anlassstufe ab 200°C, bei legierten Stählen 280°C

Umwandlung des Restaustenits – Anstieg der der Sprödigkeit, „Anlasssprödigkeit“

3. Anlassstufe ab 300°C

Umwandlung von Fe₂C → Fe₃C

Härte nimmt mit zunehmender Temperatur ab

4.4 Wärmebehandlung

4.4.2 Härten

Wahl der Härtetemperatur

- Unlegierter Stahl bis 0,8%C 30-50K über A₃
- Unlegierter Stahl über 0,8%C 30-50K über A₁
- Legierte Stähle allgemein eine höhere Härtetemperatur

Wahl der Anlasstemperatur

- Härte und Zähigkeit für Gebrauch

Anlassen unmittelbar nach Abschrecken

4.4.3 Vergüten

300 bis maximal 600°C Anlasstemperatur

Kombination hoher Festigkeit + hoher Zähigkeit

Vorgänge im Gefüge: Carbidausscheidungen
Martensiterfall

Durchvergütung: gleiche Härte, Festigkeit über gesamtem Querschnitt

5 Konstruktionswerkstoffe

5.1 Stähle

Stahl: Eisen-Kohlenstoff-Legierung ohne oder mit Legierungselementen

Wirkung von Kohlenstoff

- erhöht die Festigkeit im geglühten Stahl
- entscheidend für die Steigerung der Härte und Festigkeit beim Härten
- erschwert Umformung
- verschlechtert Schweißbeignung

Wirkung von Legierungselementen:

- stellen bestimmte Gebrauchseigenschaften sicher, z. B. Korrosionsbeständigkeit
- beeinflussen Härbarkeit der Stähle
- erhöhen Festigkeit über Mischkristallhärtung
- erhöhen Festigkeit über Ausscheidungshärtung
- beeinflussen Schweißneigung
- verändern die Verarbeitungseigenschaften der Stähle

Gefüge von Stahl

Gleichgewichtsgefüge: Ferrit und Perlit

Ungleichgewichtsgefüge: Martensit, Bainit, Restaustenit

Gefügeeinstellung

- Stahlzusammensetzung
- Wärmebehandlung
- Thermomechanische Behandlung

Stahlbegleiter – Wirkung

Phosphor → Stahl wird spröder

Schwefel → Seigerungen, Sulfide (niedriger Schmelzpunkt T_S)

800 ... 1000°C Rotbruch

1200 ... 1400°C Heißbruch

Abbindung von Schwefel durch z. B. Mangan → MnS

wird verformt → Zähigkeit in Querrichtung wird verschlechtert

Sulfidformkontrolle: CaSi → harte Sulfide

S für bessere Zerspanbarkeit

Sauerstoff → Bildung von FeO, Abbindung von Sauerstoff: Beruhigen des Stahles, Mn, Si, Al

Oxide → Schlacke, Oxideinschlüsse

Wasserstoff → verzögerter Sprödbbruch
Stickstoff → Alterung des Stahles
Nitridausscheidungen
Aluminium → AlN → Feinkorn

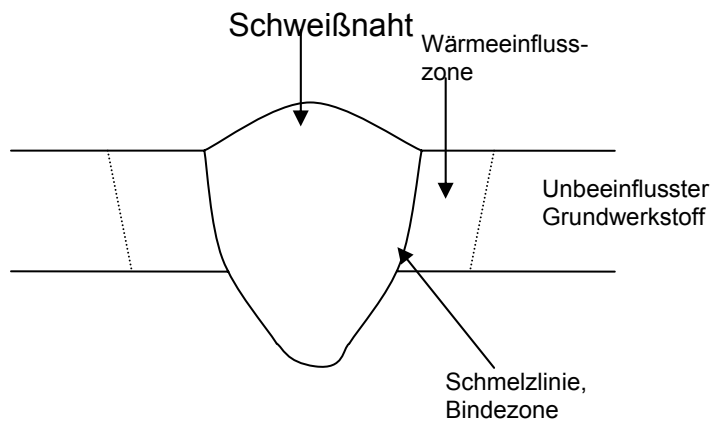
28.06.06
Dozentin
krank →
Ausfall

05.07.06

Anforderungen der Möglichkeiten der Festigkeit von Stahl s. Script Dr. Simmchen.

5.1.3 Allgemeine Baustähle

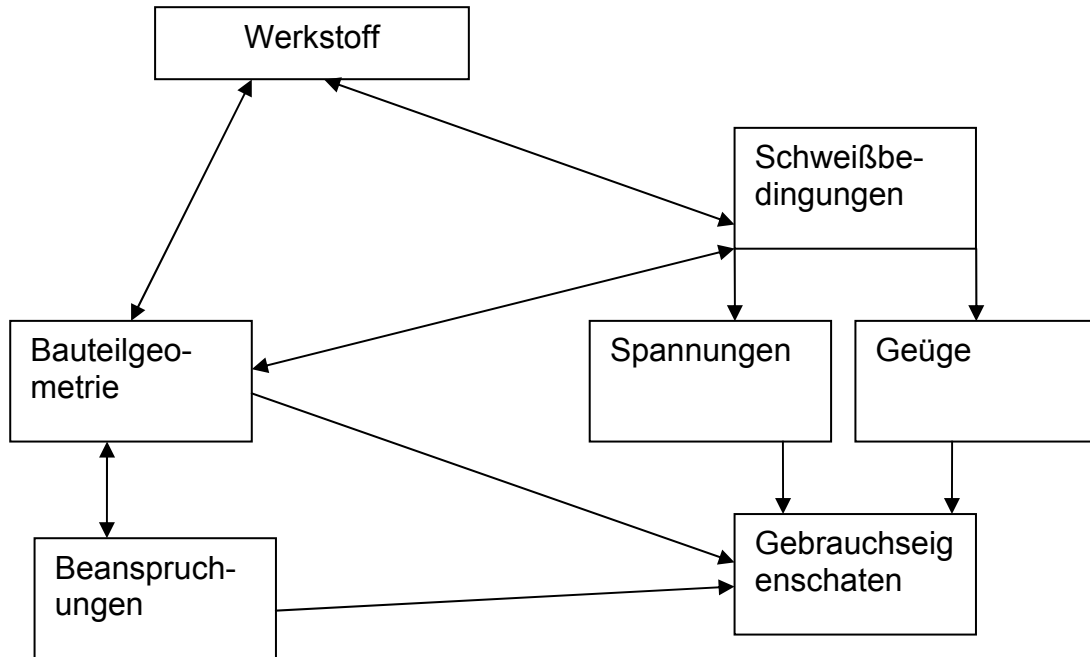
- Unlegierte Stähle
- nicht für Wärmebehandlung beim Verbraucher bestimmt, Verbraucher darf lediglich Spannungsarmglühen



Schweißen: in WEZ: Großkorn
 Martensit
 → Kaltrisse in Wt

Maßnahmen:

- C-Gehalt absenken auf ca. 0,22%
Relativ zäher martensit
Selbstanlassen
- CEV (Kohlenstoffäquivalent) – Einbeziehung der Legierungselemente
je nach Höhe: Vorwärmen mit bestimmten Temperaturen
- Nachträgliches Spannungsarmglühen



5.1.3 Höherfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle und hochfeste Stähle

- MK-Härtung Mn, Si
- Feinkorn AlN
- Ausscheidungshärtung: Mikrolegierungselemente Ti, Nb, V
- Normalgeglüht – N an Bezeichnung anfügen
- Thermomechanisch gewalzt – M an Bezeichnung anfügen → danach nicht mehr über 580°C erwärmen

Hochfeste Stähle: $R_e > 460 \text{ N/mm}^2$

Vergüten: C-Gehalt bis 0,2%, Abschrecken in Wasser

5.1.4 Einsatzstähle

C-Gehalt 0,10...0,2%

Stahlauswahl: Kerneigenschaften
C-Gehalt, Legierungselemente?

Einsatzhärten

1. Aufkohlen: Randkohlenstoffgehalt von ca. 0,8%
2. Härten: Rand: Martensitbildung
Kern: Umwandlungsgefüge
3. Entspannen: Anlassen

5.1.5 Vergütungsstähle

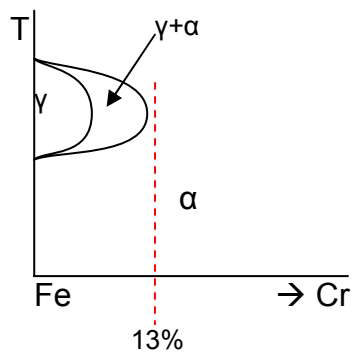
C-Gehalt 0,22...0,6%

Vergütungsfestigkeit → Anlassschaubilder (-diagramme)
Vergütungsfestigkeit über gesamten Querschnitt

Stahlauswahl abhängig von: Festigkeit, Zähigkeit
Durchmesser

5.1.6 Korrosionsbeständige Stähle

5.1.6.1 Ferritische Stähle



Keine Gitterumwandlung → nicht
härtbar
Weitere Elemente: Mo, Ni
Geringe C-Gehalte
Bildung von Ausscheidungen:
intermetallische Phasen, Karbide,
Nitride → Versprödung →
Absenkung Korrosionsbeständigkeit
krz-Gitter → keine
Tieftemperaturzähigkeit

5.1.6.2 Austenitische Stähle

γ-Gebiet wird erweitert bis Raumtemperatur

- nicht härtbar
- paramagnetisch

Legierungselemente: Cr (ab 18%), Ni (ab 8%), Mo (bis 2%)

Abbindung von C durch Ti, Nb

Auslagerung: R_{p1}

5.1.6.3 Martensitische Stähle

C-Gehalte erhöhen → Austenit bei höheren Temperaturen

Ausgang: 13%er Cr-Stahl

Bis 0,4%C → vergütet

Über 0,4%C → härten

5.2 Gusseisen

12.07.06

Gusseisen

- weißes Gusseisen (Fe_3C , metastabiles System):
 - Tempern
 - oxidierend: Weißer Temperguss GJMW (GTW)
 - neutral: Schwarzer Temperguss GJMB (GTS)
 - Hartguss GJH (GH)
- graues Gusseisen (Graphit, stabiles System):
 - Gusseisen mit Lamellengraphit GJL (GG(L))
 - Gusseisen mit Vermikulargraphit GJV (GGV)
 - Gusseisen mit Kugelgraphit GJS(GGG)

Tempern: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{Temperkohle}$

Matrixgefüge:

- ferritisch
- perlitisch
- austenitisch
- bainitisch

Typische Eigenschaften und Verwendung von Gusseisen mit Lamellengraphit

- Gute Gießbarkeit und Bearbeitbarkeit
- Gute Gleit- und Verschleißigenschaften \rightarrow Zahnräder, Bremstrommeln
- Günstige Festigkeitseigenschaften bei erhöhten Temperaturen \rightarrow Kolben für Verbrennungsmotoren, Kolbenringe, Motorblöcke
- Hohe Hitze- und Zunderbeständigkeit \rightarrow Glasformen
- Gutes Korrosionsverhalten \rightarrow Heizkörper
- Gutes Dämpfungsvermögen \rightarrow Werkzeugmaschinen, Getriebeteile

Einsatz von Gusseisen mit Kugelgraphit

Wenn höhere Festigkeit, insbesondere bei zyklischer Beanspruchung und höhere Plastizität gegenüber Gusseisen mit Lamellengraphit erwünscht sind und geringeres Dämpfungsvermögen ertragbar, dann Gebrauch von GJS
 \rightarrow Wasserrohre, Gasrohre, Zahnräder, Kurbelwellen, Walzen, Lagerdeckel, Laufräder für Pumpen, Verschleißplatten

5.3 Aluminiumwerkstoffe

5.3.1 Überblick

Eigenschaften:

Raumgitter:	kfz
Dichte:	$2,7 \text{ g/cm}^3$
Rekristallisationstemperatur:	$250 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$
Schmiedetemperatur:	$300 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$
Zugfestigkeit R_m :	$40 \dots 80 \text{ N/mm}^2$
Härte HB2,5:	$12 \dots 20$
E-Modul:	$6,5 \dots 7,2 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$

Ja, ich weiß, ist die gleiche Überschrift wie 5.3; but I'm not guilty

5.3.2 Aluminiumwerkstoffe

Reinaluminium

- Al_2O_3 -Schicht auf Oberfläche bewirkt Korrosionsbeständigkeit wird erhöht, Schicht erneuert sich von selbst
- Geringe Festigkeit
- Bsp.: Rohre, Lebensmittelindustrie

Festigkeit erhöhen:

- Zersetzungshärtung → Kaltumformung
- Feinkornhärtung: Verformung + Rekristallisation
- MK-Härtung: Legieren
 - Al-Mn Mn bis 1,5%
 - Al-Mg Mg bis 5,5%
- Ausscheidungshärtung:
 - AlMgSi – Mg_2Si -Phasen, Schweißgeeignet
 - AlCuMg, nicht ausreichend korrosionsbeständig beständig, nicht schweißbeständig, demage tolerant
 - AlZnMg
 - AlZnMgCu – hochfeste Legierung, nicht schweißgeeignet, schlechte Zähigkeit

Aluminiumgusslegierung

Standardgusslegierungen: AlSiMg, AlSiCu, AlMg

Gute mechanische Eigenschaften, z. T. gute Korrosionseigenschaften

Hochfeste Legierungen:

AlCuTi, AlCuTiMg, AlCuAg

Warmfeste Gusslegierung:

AlSuCu, AlCuNiCoZr (bei RT gute mechanische Eigenschaften bis maximal 230°C einsetzbar)

Druckguss

- Höchste Produktivität
- Geringste Bearbeitungszugaben
- Mindestwanddicke 1mm
- Schmelze reagiert beim Einspritzen in Form mit Luft → Oxid-, Lufteinschlüsse
- Rasche Erstarrung → feines Korn → hohe Festigkeit
- Druckgussteile nicht wärmebehandeln, schweißen oder als Sicherheitsbauteile einsetzen

Dimensionen auf Festigkeit – Vergleich Al-Werkstoff und Stahl

Fall 1: Abmessungsgleiche Bauteile

- Gleiche äußere Belastung
- Belastungen im elastischen Bereich
- Gleiche Festigkeit $R_{0,2}$ Al-Werkstoff und Stahl

→ elastische Dehnung
elastische Biegung
elastische Verdrehung } für Al 3 mal größer als für Stahl

Fall 2: Gleiche zulässige Dehnung – reine Zugbeanspruchung

Querschnitt $A_{Al} = 3 * A_{St}$

→ Kein Massevorteil für Al-Werkstoff

Fall 3: Biegebeanspruchung

- Biegeträger mit gleicher äußerer Belastung und gleicher elastischer Durchbiegung
- Gleiche Festigkeit $R_{0,2}$ Al-Werkstoff und Stahl

$$\text{Durchbiegung: } f = C_1 * F * \frac{l^3}{E * J}$$

mit: f – elastische Durchbiegung
F – Kraft
J – Trägheitsmoment
l – Konstruktionslänge

Verarbeitung von Aluminiumwerkstoffen

- Höhere Materialkosten
- Schwierigere und gewöhnungsbedürftige Verarbeitung
- Peinliche Sauberkeit beim Schweißen
- Geringe Wärme beim Richten
- Schrumpfverhalten und Schweißverzug
- Durchdachte Konstruktionen und Fertigungsabläufe
- Hoher Vorrichtungsaufwand
- Erfahrene Fertigungsfachleute
- Beherrschung von Schweißkantenversatz

Ende des Semesters, viel Spaß beim lernen und natürlich viel Erfolg bei den Prüfungen###