

Werkstofftechnik für Techniker

<http://paranoia.scienceontheweb.net/paranoia> – <mailto:paranoia@hush.com>

2001 – 22. August 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Intro	4
1.1	Welche Werkstoffe kennen Sie?	4
1.2	Auswahl des Werkstoffs	4
1.3	Belastungen am Beispiel eines Achsschenkels	5
2	Werkstoffkennwerte	6
2.1	Begriffe	6
2.1.1	Festigkeit	6
2.1.2	Zähigkeit	6
2.1.3	Sprödigkeit	6
2.1.4	Elastisch vs. plastisch	6
2.2	Zugversuch	8
2.2.1	Zug-Druck-Prüfmaschine	8
2.2.2	Proben	8
2.2.3	Durchführung – Laborgerecht	8
2.2.4	Ablauf	9
2.2.5	Auswertung	10
2.2.6	Beispiel	10
2.2.7	Lösung	10
2.2.8	Stahl ohne ausgeprägte Streckgrenze	10
2.2.9	Kaltverfestigung	11
2.3	Kerbschlag-Biegeversuch	12
2.3.1	Kerbschlag-Maschine	12
2.3.2	Durchführung	12
2.3.3	Typische Versuchsabläufe	12
2.3.4	Anwendungsbereich: Kaltzäher Stahl	13
2.3.5	Fragen	14
2.4	Härteprüfung	15
2.4.1	Aufbau einer Härteprüfmaschine	15
2.4.2	Ablauf der Prüfung	15
2.4.3	Fragen	16
2.5	Gefügeuntersuchung im Röntgengoniometer	17

2.5.1	kubisch primitiv - kp	17
2.5.2	kubisch raumzentriert - krz	17
2.5.3	kubisch flächenzentriert - kfz	17
2.5.4	hexagonal - hex	18
2.5.5	Parerga und Paralipomena	18
2.5.6	Fragen	19
2.6	Gefügeuntersuchung unter dem Mikroskop	20
2.6.1	Stahl mit weniger als 0,05 % C	20
2.6.2	Stahl mit 0,4% C	20
2.6.3	Stahl mit 0,8% C	20
2.6.4	Stahl mit 0,9 bis 2,06 % C	21
2.6.5	Eisen mit 4,0% C	21
2.6.6	Eisen mit 4,6% C	21
2.6.7	Eisen mit 6,5% C	21
2.6.8	Fragen	22
3	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	23
3.1	Staunen im Tabellenbuch	23
3.2	Zeichnen des Fe-C-Diagramms	23
3.3	Aufgabe	23
3.4	Das Märchen von der Austreibung des Kohlenstoffs	26
3.5	Fragen	26
4	Vorwort zu den Referaten	27
4.1	Bewertungstabelle	27
4.2	Die Zeit dazwischen	27
5	Referate1 in Gruppen zu 3 - Wärmebehandlung	28
6	ZTU-Schaubilder	29
6.1	ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung	29
6.2	Isotherme ZTU-Schaubilder	31
7	Referate2 in Gruppen zu 2 - Stahlsorten	33
8	Dauerfestigkeit - 2 b done	34
8.1	Belastungsfälle	34
8.1.1	Statisch	34
8.1.2	Schwellend	34
8.1.3	Schwingend	34
8.1.4	Stochastisch	34
8.2	Versagensmechanismen	34
8.2.1	Kriechen	34
8.2.2	Altern	34
8.2.3	Rißwachstum	34

8.2.4	Kerbwirkung	34
8.3	Werkstoffe	34
8.3.1	Kerbempfindlichkeit	34
8.3.2	Oberflächenverdichtung	34
8.3.3	Vergüten	34
8.3.4	Gestaltung	34
9	Referate3 - Einzelarbeit. Klasse: Termin:	35

Disclaimer

Wissen ist zum Teilen da. Ich teile mein Wissen mit Ihnen, lieber Kollege.

Ich bin aber nicht perfekt. Unter paranoia@hush.com
nehme ich dankbar Ihre Verbesserungsvorschläge entgegen.

*

Legal Blurb: Alle Informationen in diesem Dokument sind falsch,
unvollständig, irreführend, irrelevant und / oder funktionieren einfach
nicht.

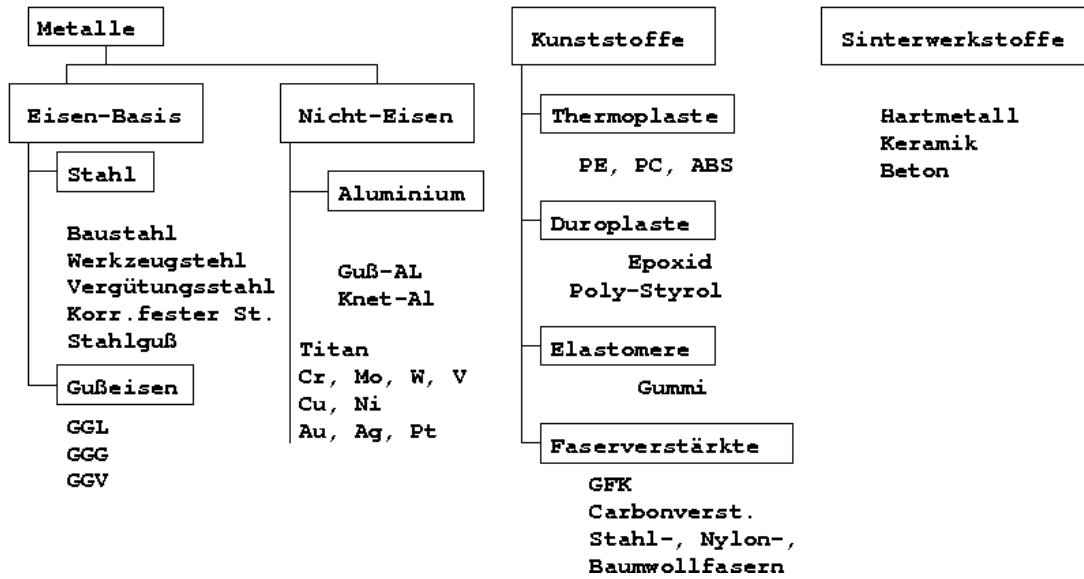
Wenn Sie es trotzdem benutzen, und es geht dabei etwas kaputt, ist das
Ihr Problem, nicht meins.

*

Bitte teilen Sie meine Web-Adresse nicht Ihren Schülern mit.

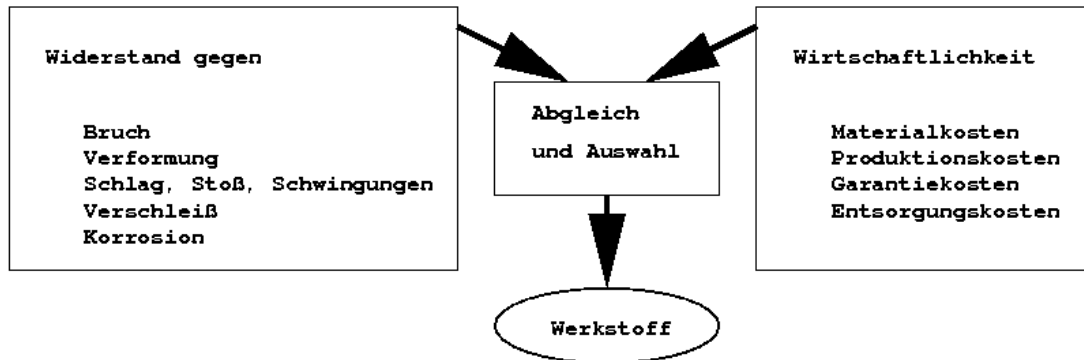
1 Intro

1.1 Welche Werkstoffe kennen Sie?



1.2 Auswahl des Werkstoffs

Werkstofftechnik behandelt die Kunst der Werkstoffauswahl.



Die WSTechnik ist in stetem Fluß. Kontinuierlich werden alte Werkstoffe durch neue ersetzt (substituiert).

Manche neuen Werkstoffe ermöglichen vorher nicht dagewesene Anwendungsmöglichkeiten, zB Nickelbasislegierungen in modernen Turbodieseln.

1.3 Belastungen am Beispiel eines Achsschenkels

Ein Achsschenkel verbindet bei Fahrzeugen Radlager und Karosserieteile, stützt den Stoßdämpfer und trägt die Bremse.

Anforderungen an Achsschenkel

=====

- o steif
- o zäh
- o fest
- o leicht
- o Produktionstechnisch:
 - lackierbar
 - spanbar
 - gießbar oder schmiedbar
 - wärmebehandelbar
- o beständig gegen
 - Chemie:
 - o Öl, Benzin, Bremsflüssigkeit
 - o verdünnte Schwefelsäure (Regen)
 - o Luft
 - o Wasser (Pfützen, Salzwasser (Winter), Scheibenwaschwasser)
 - Kälte (bis -60°C)
 - Wärme (bis 600°C)
 - Temperaturschock ($600 \rightarrow 200^{\circ}\text{C}$)
 - schlagartige Belastung
 - stoßartige Belastung

2 Werkstoffkennwerte

Werkstoffe kennen wir in vielen verschiedenen Formen, als Halbzeug (zB U-Profil) und Fertigteil (zB Achsschenkel).

Damit wir qualifiziert aussuchen können, müssen wir die Art und die Stärke der Belastung kennen (das lernen wir in Mechanik) und Werkstoffe aussuchen, die diese Belastungen ertragen können.

2.1 Begriffe

2.1.1 Festigkeit

Festigkeit ist der Widerstand eines Werkstoffs gegen Werkstofftrennung (Bruch).
Sie wird in $\frac{N}{mm^2}$ gemessen.

2.1.2 Zähigkeit

Zähigkeit ist, wenn ein Werkstoff sich bei Überlastung bleibend verformt, bevor er zerbricht.
Sie kann nicht gemessen werden, aber Bruchdehnung und Streckgrenzenverhältnis ermöglichen den Vergleich verschiedener Werkstoffe.

Beispiel Wenn ein Auto gegen eine Wand fährt, soll der Vorderwagen die kinetische Energie aufnehmen und das Fahrzeug zum Stillstand bremsen, bevor die Fahrgastzelle und die darin befindlichen Passagiere verformt werden.

2.1.3 Sprödigkeit

Sprödigkeit ist das Gegenteil von Zähigkeit, d.h. wenig Verformung und wenig Energieaufnahme vor dem Bruch.

Sprödigkeit ist i.d.R. unerwünscht, Zähigkeit ist erwünscht.

Leider haben zähe Werkstoffe meistens niedrige Festigkeiten.

Werkstoffe, die in beiden Disziplinen gut sind, sind meistens teurer.

2.1.4 Elastisch vs. plastisch

Elastizität ist, wenn ein Werkstoff nach der Belastung wieder in seine ursprüngliche Form zurückgeht.
Plastizität (Plastische Verformung) ist, wenn ein Werkstoff nach der Belastung NICHT wieder in seine ursprüngliche Form zurückgeht.

Beispiele Nur-elastische Werkstoffe sind spröde: Glas, Stein, gehärteter Stahl.

Nur-plastische Werkstoffe sind selten: gekauter Kaugummi.

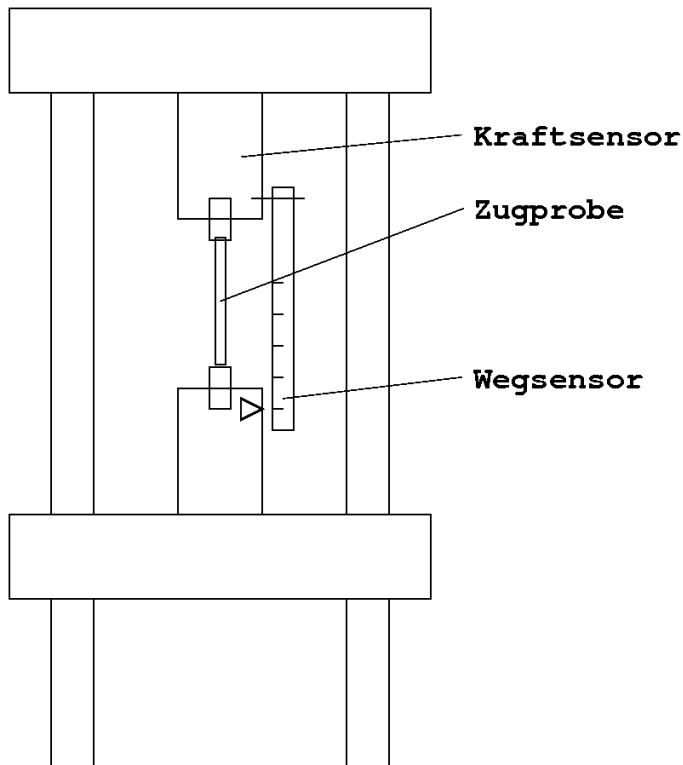
Stahl verhält sich bei Belastung zunächst elastisch: Werkzeugmaschinen, die schneiden müssen, oder Autos, die plötzlich mit Passagieren beladen werden, kehren nach Belastung in ihre ursprüngliche Form zurück.

Bei Überlastung wird er plastisch. Überlastung beschert uns verbogene Werkzeugmaschinen oder Autos. Der Vorteil liegt darin, daß die Passagiere idR nicht mit verformt werden, und daß keine scharfkantigen Werkzeugmaschinen-Splitter in der Gegend herumfliegen.

2.2 Zugversuch

Bei Zugversuch wird ein Bauteil *langsam* durch *Zugspannungen* zerstört.

2.2.1 Zug-Druck-Prüfmaschine



Einfache Zug-Druck-Prüfmaschinen messen die Kraft, indem sie einen Zeiger analog zum hydraulischen Druck der Maschine bewegen.

Zur Messung des Weges wird am unteren Teil der Maschine eine Papierrolle drehbar befestigt, auf der das Diagramm mit einem Kugelschreiber aufgezeichnet wird. Die Papierrolle wird über eine Kette vom oberen Teil der Maschine gedreht.

2.2.2 Proben

Die Proben sind genormt. Es gibt u.a. Formen für Blech und Rundstahl.

An den Enden sind sie dicker, dort werden sie eingespannt. In der Mitte sind sie dünner, dort gehen sie kaputt.

2.2.3 Durchführung – Laborgerecht

1. probe vorbereiten: an den enden plattklopfen
2. probe in halter legen und anschrauben
3. schleppzeiger auf 0
4. hauptschalter ein
5. rücklauf U zu
6. feinststeuerung langsam. wenns zu ist: 4,25 halbe umdrehungen auf.

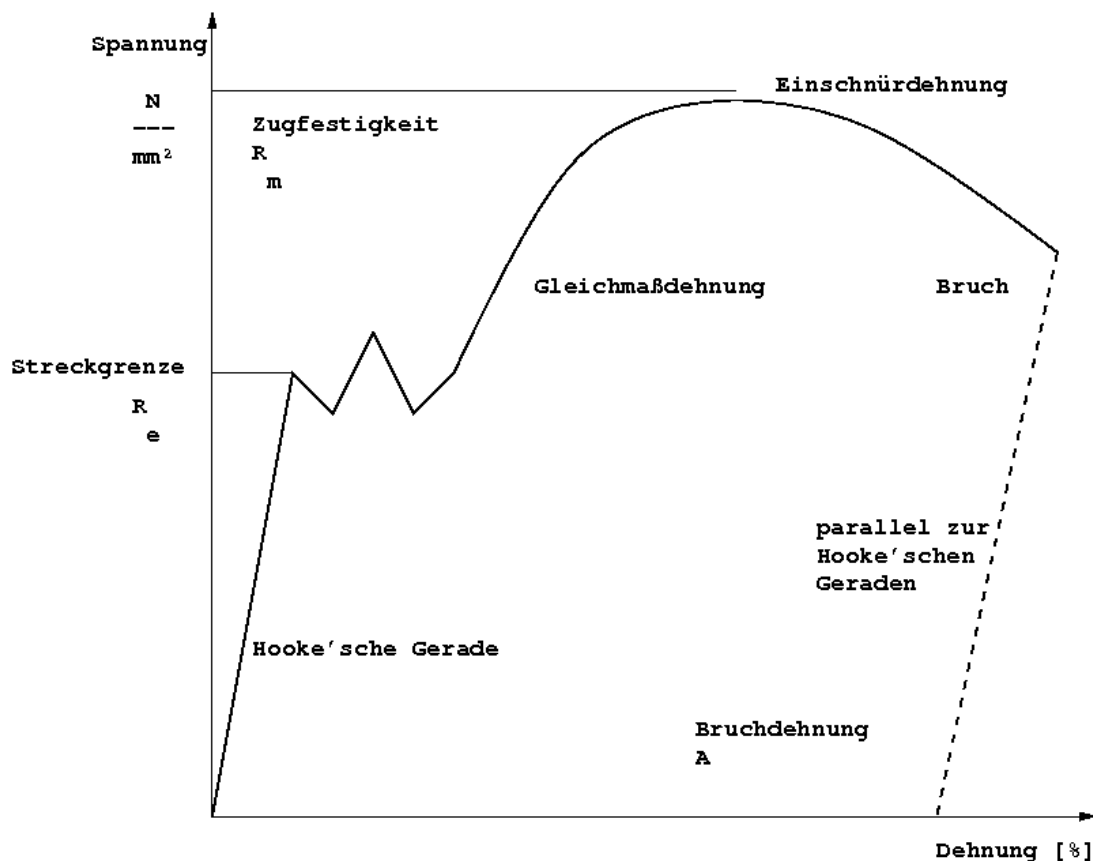
7. 3 scheiben, gibt meßbereich $ABC = 4000 \text{ kp} = 40000 \text{ N}$
8. grüner schalter
9. langsam zerreißen
10. kaputte probe rausnehmen
11. pumpe aus
12. rücklauf aufdrehen und offen lassen: maschine fährt runter.
13. hauptschalter aus

2.2.4 Ablauf

Die Probe wird eingespannt. Dann stellt man die Maschine an, und sie zieht mit wachsender Kraft an der Probe.

Stahlprobe (mit ausgeprägter Streckgrenze):

1. **Elastischer Bereich:** Bei Zunahme der Kraft um X % nimmt auch die Probenlänge um X % zu. Der entsprechende Bereich in Kraft-Weg-Diagramm ist eine Gerade (die "Hooke'sche Gerade").



2. **Gleichmaßdehnung:** Ab einer bestimmten Kraft kann die Probe nicht mehr dagegenhalten und beginnt, auf der gesamten schlanken Länge länger und dünner zu werden. Im Diagramm sehen wir Zacken. Der Weg nimmt zu, die Kraft bleibt ungefähr konstant. Nach der anfänglichen Streckung kann die Probe wieder mehr Kraft aufnehmen.
3. **Einschnürdehnung:** Die Probe schnürt sich an einer Stelle ein. Die Kraft wird geringer.
4. **Bruch:** Knack.

2.2.5 Auswertung

Niemand interessiert sich für die maximale Kraft oder die Verlängerung der Probe in mm. Wir interessieren uns nur für die entsprechenden Spannungen und Dehnungen.

$$\text{Spannung} = \frac{\text{Kraft}}{\text{QuerschnittsFlaeche}}$$

$$\text{Dehnung} = \frac{\text{Laengenaenderung}}{\text{UrsprungsLaenge}} * 100\%$$

Als Fläche nehmen wir die Querschnittsfläche vor Beginn des Versuchs.

Als Ursprungslänge nehmen wir die Länge des schlanken Teils der Probe.

2.2.6 Beispiel

In der Ausgangsprüfung eines Walzwerks wird aus frisch geliefertem Stahl eine Probe genommen und zu einer Zugprobe gedreht.

Durchmesser des schlanken Teils d : 8mm

Länge des schlanken Teils l : 100 mm

In der Prüfmaschine werden folgende Daten erhalten:

Kraft nach Einspannen der Probe F_0 : 0 N

Kraft bei Ende des elastischen Bereiches F_{el} : 15000 N

Maximale Kraft F_{max} : 25000 N

Kraft vor Bruch F_B : 20000 N

Länge des schlanken Teils nach Bruch: 117 mm

Durchmesser der Bruchfläche: 6mm

Berechnen Sie die berechenbaren Größen.

Überlegen Sie, als was man das noch verkaufen kann.

Zeichnen Sie das zugehörige Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

2.2.7 Lösung

Querschnittsfläche $Q = \pi * d^2 / 4 = 50.265 \text{ mm}^2$

Streckgrenze $R_e = F_{el} / Q = 298 \text{ N} / \text{mm}^2$

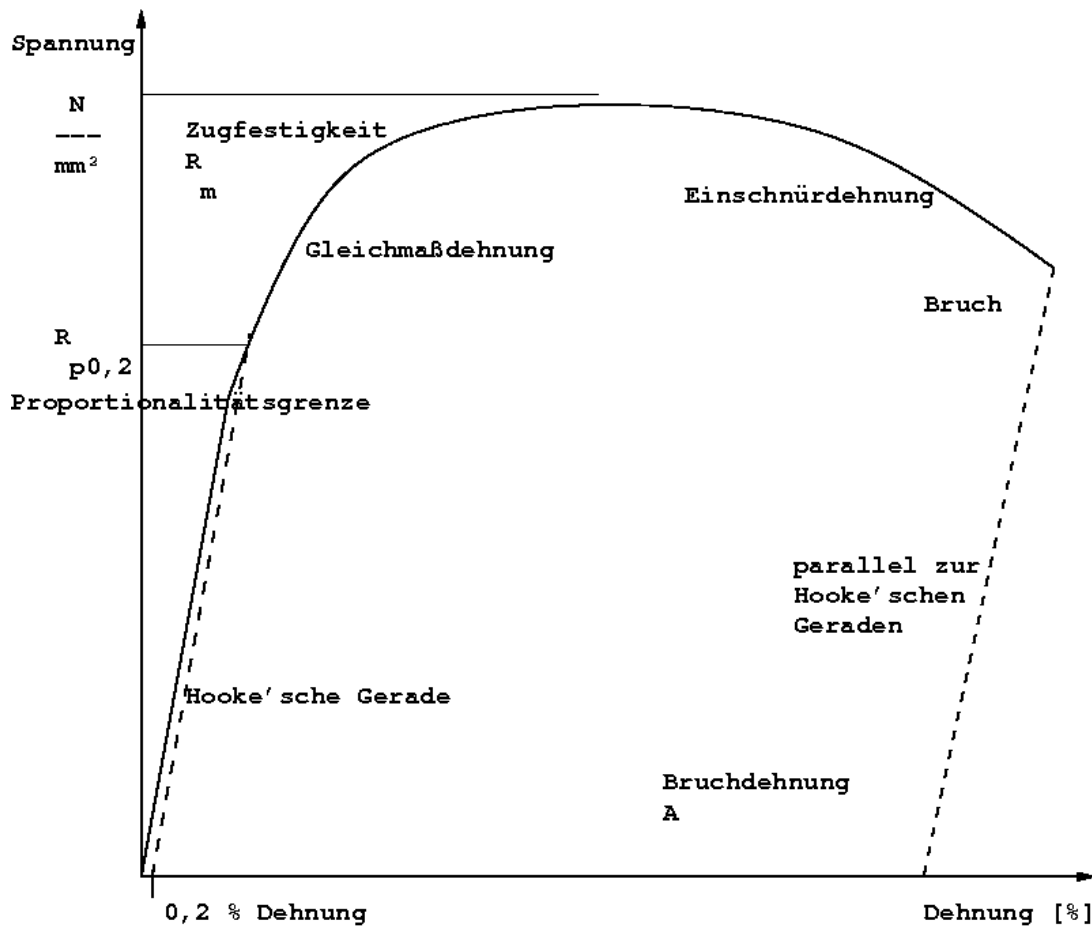
Zugfestigkeit $R_m = F_{max} / Q = 497 \text{ N} / \text{mm}^2$

Bruchdehnung $A = (117 - 100) / 100 = 17 \%$

Kann man als St 50 / 1.0050 / S295JR verkaufen.

2.2.8 Stahl ohne ausgeprägte Streckgrenze

Manche Stähle haben keine Streckgrenze. Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm sieht so aus:



Durch jahrelange Versuche fand man heraus, daß die Spannung bei 0,2 % bleibender Dehnung einen funktionierenden Ersatzwert für R_e gab.

2.2.9 Kaltverfestigung

Kaltverfestigung ist, wenn die Festigkeit bei langsamer Verformung in kaltem Zustand^a zunimmt.

^ad.h. unterhalb der Rekristallisationsgrenze = Schmiedetemperatur

2.3 Kerbschlag-Biegeversuch

Bei Kerbschlag-Biegeversuch wird ein Bauteil *schnell* durch *Biegespannungen* zerstört.

Gemessen wird die Energie, die eine Probe beim Zerschlagen aufnimmt. Sie ist ein Maß für die Zähigkeit bei schlagartiger Belastung.

2.3.1 Kerbschlag-Maschine

Die Maschine besteht aus

- Ständer,
- 20-kg-Hammer,
- Probenaufnahme,
- Schleppzeiger und Skala.
- Bremse.

2.3.2 Durchführung

Der Hammer wird nach oben geschwenkt und arretiert.

Die Probe wird in die Halterung gelegt.

Die Proben sind genormt: quadratischer Querschnitt, Rund- oder Spitzkerbe (s. Tabellenbuch).

Der Hammer wird ausgelöst, durchquert die Probe und schwingt auf der anderen Seite hoch. Dabei nimmt er den Schleppzeiger mit.

Wenn er genauso hoch schwingt wie er vorher war, hat er unterwegs 0 Energie verloren. Wenn er weniger hochschwingt, hat er Energie an die Probe abgegeben.

Die Skala ist freundlicherweise in J (Joule) geeicht.

2.3.3 Typische Versuchsabläufe

1. Gehärteter Stahl.

Der Hammer trifft mit einem TANG auf die Probe. Sie zerfliegt in tausend Splitter. Anzeige: 0 Joule.

Auswertung: Gehärteter Stahl ist spröde.

2. St 37.

Der Hammer trifft mit einem BANG auf die Probe. Sie wird durchgezogen und landet verbogen in der Ecke. DUSCH.

Anzeige: mehr als 0 Joule.

Auswertung: St 37 ist zäher als gehärteter Stahl.

3. Ck45.

Der Hammer trifft mit einem POCK auf die Probe und bleibt dort liegen.

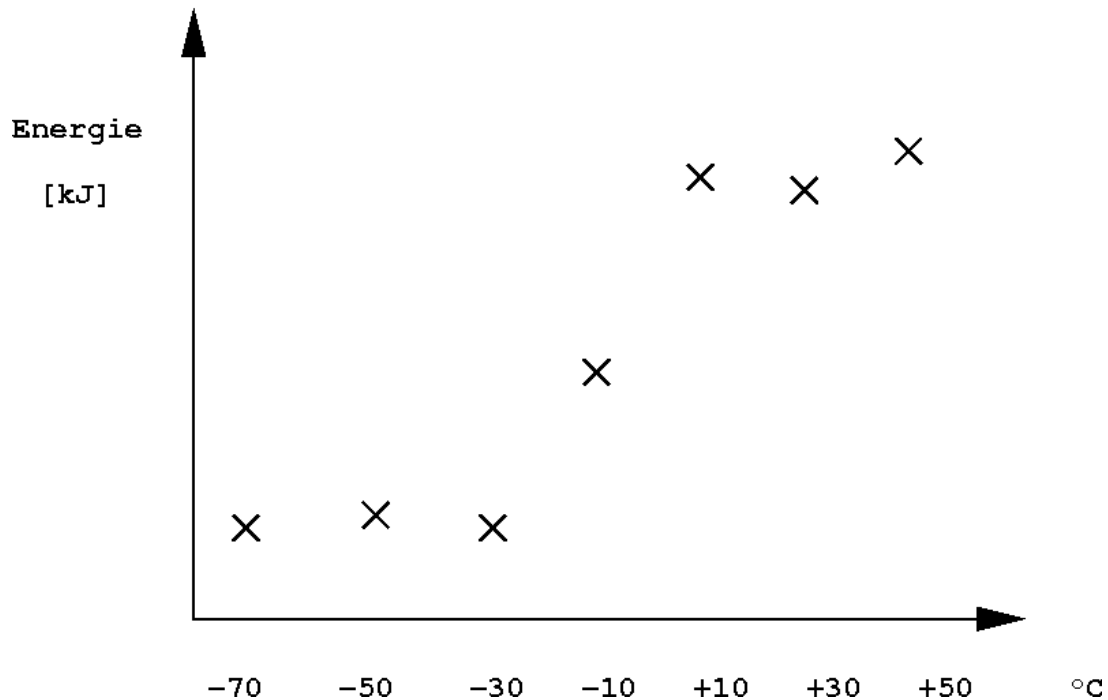
Die Probe wird NICHT durchgezogen, sondern um 45° gebogen, und fällt aus der Halterung.

Man soll sie nicht sofort anfassen, denn sie ist heiß.

Auswertung: Ck45 ist unglaublich zäh.

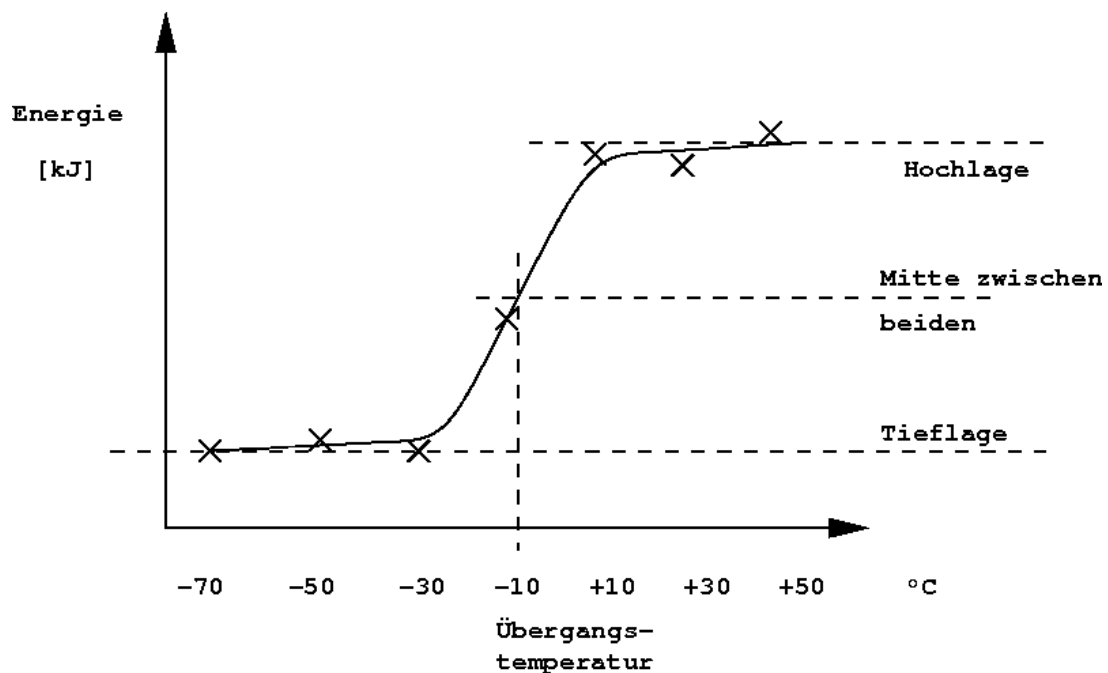
2.3.4 Anwendungsbereich: Kaltzäher Stahl

Unlegierter Baustahl zeigt von 0 bis 200^o C konstante Kerbschlag-Energie und auch von -50 bis -90^o C:



Die hohen Werte heißen Hochlage, die tiefen Werte heißen Tieflege.

Die Temperatur in der Mitte zwischen Hochlage und Tieflege heißt Übergangstemperatur. Unterhalb der Übergangstemperatur soll man den Stahl nicht mehr einsetzen.



Kaltzähe Stähle sind meistens kfz, nickel-legiert, teuer und haben Übergangstemperaturen von -100 bis -270^oC.

2.3.5 Fragen

- Kann man St 37 mit Übergangstemperatur $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ einsetzen als ...
 - ... Querlenker am Vorderrad?
Bedenken Sie, daß bei nächtlichen Fahrten durch die sibirische Steppe ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) auch mal gefrorene Wölfe auf der Straße liegen.
 - ... Kurvenstück am Druckreduzierer für flüssigen Stickstoff?
Druckreduzierer sind auch im Sommer mit einer dicken Eisschicht überzogen.
 - ... tragendes Profil an einer Brücke übers Kattegatt?
- Was ist der Unterschied zwischen Hochlage und Tieflage?
- Der Hammer schwingt durch und zeigt 0 Joule. War die Probe schlagzäh?

2.4 Härteprüfung

Die Härte wird in der Wareneingangskontrolle oder nach einer Wärmebehandlung (Härten) geprüft.

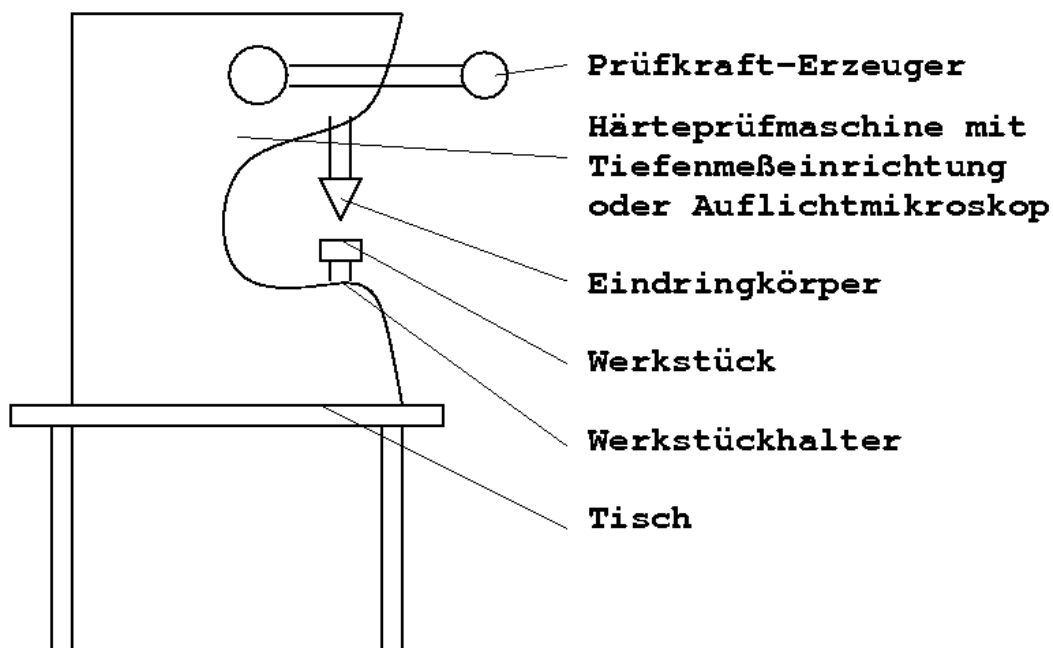
Def.:
Härte ist der Widerstand eines Werkstoffs gegen das Eindringen eines Prüfkörpers.

Entsprechend der verschiedenen Härten von Werkstoffen (von Kaugummi über Stahl bis zu Diamant) gibt es verschiedene Härte-Prüfverfahren.

Wir werden uns folgende näher ansehen:

- Brinell-Härte HB;
- Rockwell-Härte mit Kugel (Ball, HRB) und Kegel (Cone, HRC);
- Vickers-Härte HV.

2.4.1 Aufbau einer Härteprüfmaschine



2.4.2 Ablauf der Prüfung

1. Vorbereiten des Werkstücks;
2. Eindringen eines *genormten* Prüfkörpers mit einer *genormten* Kraft für eine *genormte* Zeit in das Werkstück;
3. Auswerten und Dokumentieren der Prüfung.

Brinell Auswertung: Es werden zwei Durchmesser des Eindrucks der Kugel gemessen. Hieraus wird das arithmetische Mittel bestimmt. Die Härte ergibt sich aus:

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

Rockwell Durchführung: Der Prüfkörper wird zunächst mit einer *genormten* Vorkraft aufs Werkstück gedrückt. Dabei wird die Meßuhr auf 0 gestellt.

Dann wird für 5 bis 15 Sekunden mit der Prüfkraft gedrückt.

Dann geht man zurück auf die Vorkraft und liest von der Meßuhr die entstandene Tiefe des Eindrucks h ab.

Auswertung:

$$Kugel : HRB = 100 - \frac{h}{0,2\mu m}$$

$$Kegel : HRC = 130 - \frac{h}{0,2\mu m}$$

Vickers Der Prüfkörper ist eine vierseitige Pyramide aus Diamant mit 136° Spitzenwinkel.

Auswertung : Man mißt beide Diagonalen des quadratischen Eindrucks mit dem Auflichtmikroskop, bildet das arithmetische Mittel und rechnet:

$$HV = 0,102 * \frac{Pruefkraft}{EindruckFlaeche} = 0,189 * \frac{PruefKraft}{(diagonale)^2}$$

2.4.3 Fragen

1. Wodurch unterscheiden sich HRC und HB?
2. Was ist Härte?
3. Bei welchen Härte-Prüfverfahren wird die Eindringtiefe zur Auswertung herangezogen?
4. Wie groß ist der Spitzenwinkel der Pyramide bei welchem Verfahren?

2.5 Gefügeuntersuchung im Röntgengoniometer

Bei der Untersuchung im monochromatischen Röntgengoniometer unter Ausnutzung des Compton-Effekts und der 3-D-Kristallstruktur-Beschreibungssprache namens Miller'sche Indices interessieren uns nur die Ergebnisse.

2.5.1 kubisch primitiv - kp

Im kubisch primitiven Gitter sitzt an jeder Würfecke ein Atom.

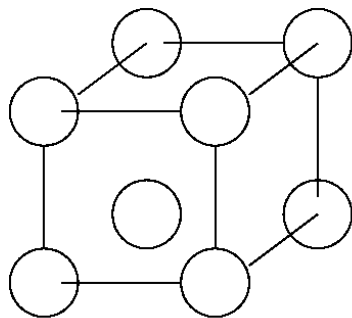
Praktische Beispiele : keine.

2.5.2 kubisch raumzentriert - krz

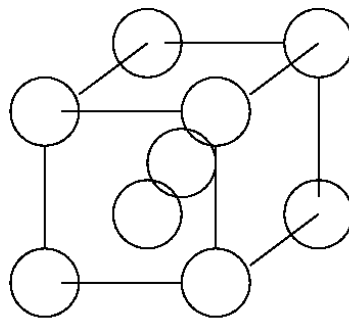
Im krz Gitter sitzt an jeder Ecke ein Atom, und eins sitzt in der Mitte.

Beispiel: α -Eisen, auch Ferrit genannt.

Damit alle Atome Platz finden, müssen die Ecken-Atome etwas auseinanderrücken.



kp
kubisch primitiv



krz
kubisch raumzentriert

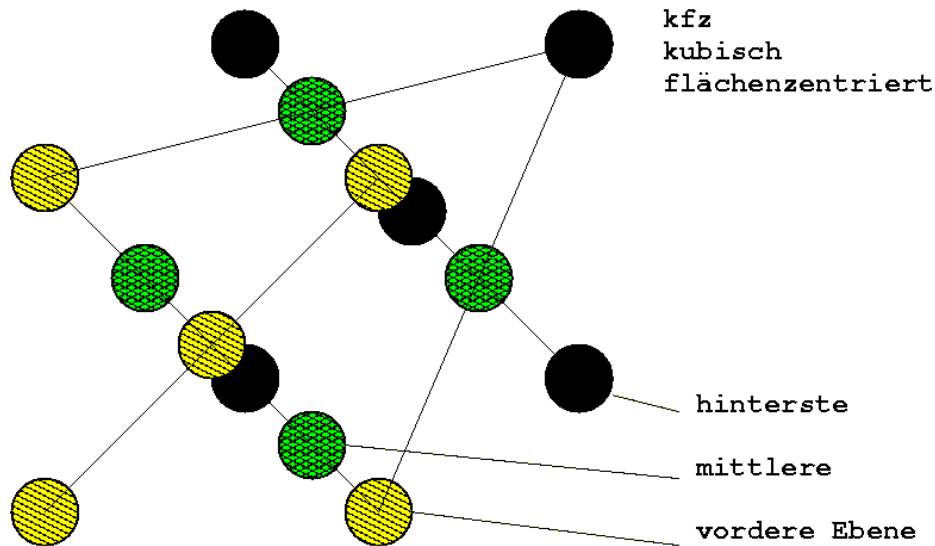
2.5.3 kubisch flächenzentriert - kfz

Im kfz Gitter sitzt an jeder Ecke ein Atom, und jeweils eins sitzt in den Flächenmitten.

Beispiel: γ -Eisen, auch Austenit genannt.

Damit alle Atome Platz finden, müssen die Ecken-Atome noch etwas mehr auseinanderrücken.

Zufällig wird der Platz zwischen zwei Ecken-Atomen dabei knapp groß genug für ein Kohlenstoff-Atom.



2.5.4 hexagonal - hex

Im hex Gitter liegen dichtest gepackte Atom-Schichten in der Stapelfolge ABABAB... aufeinander.

Beispiel: γ -Titan, Grafit.

	Gitter		
	kubisch-flächenzentriert	kubisch-raumzentriert	hexagonal
E-Zelle und Gleitebenen			
Gleitebenen	4	4 1)	1
Gleitmöglichkeiten Kaltformbarkeit Metalle	12 sehr gut Al, γ -Fe, Cu, Pb	8 gut α -Fe, Cr, Mo, V	3 gering Mg, Zn, Ti

2.5.5 Parerga und Paralipomena

Aus praktischen Versuchen sowie der Betrachtung der Gleitebenen erkennt man:

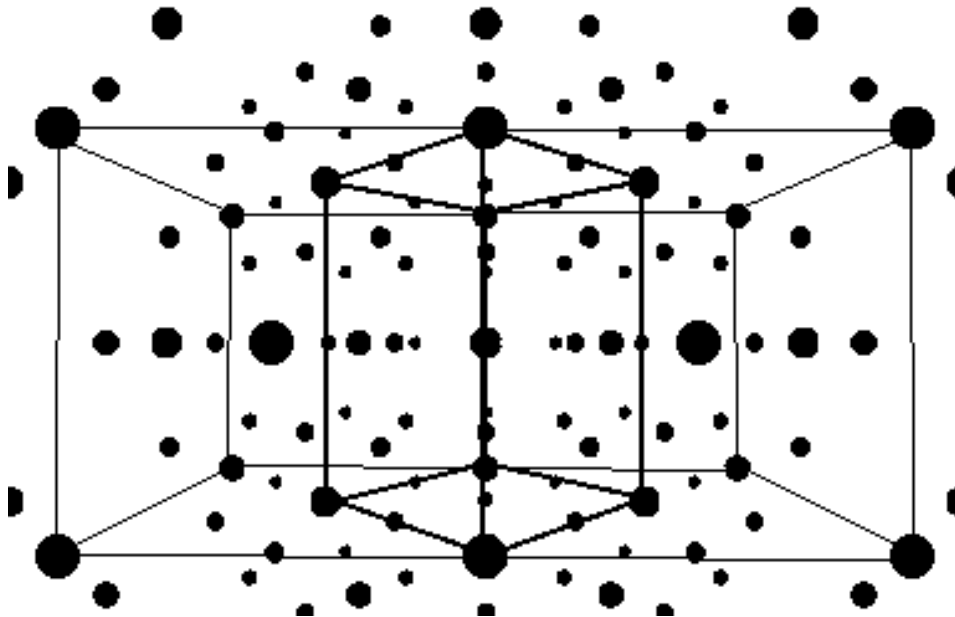
hex ist das sprödeste, kfz das zähste der Kristallgitter.

Aus stereoskopischen Betrachtungen erkennt man:

Das kfz-Gitter besteht (wie hex) auch aus dichtest gepackten Atom-Schichten, allerdings mit der Stapelfolge ABCABC...

2.5.6 Fragen

0. Enthält ein kfz Raumgitter ein orthogonales rz Gitter?



1. Wo gibt es kp Kristalle in der Natur?
2. Ordnen Sie drei Kristallgitter aufsteigend nach Zähigkeit.
3. Welches Kristallgitter kann gut Kohlenstoff lösen? Warum?
4. (Transfer:) Welche Möglichkeiten hat der Kohlenstoff, wenn ein kfz Gitter plötzlich krz wird? ¹

¹Lösung:

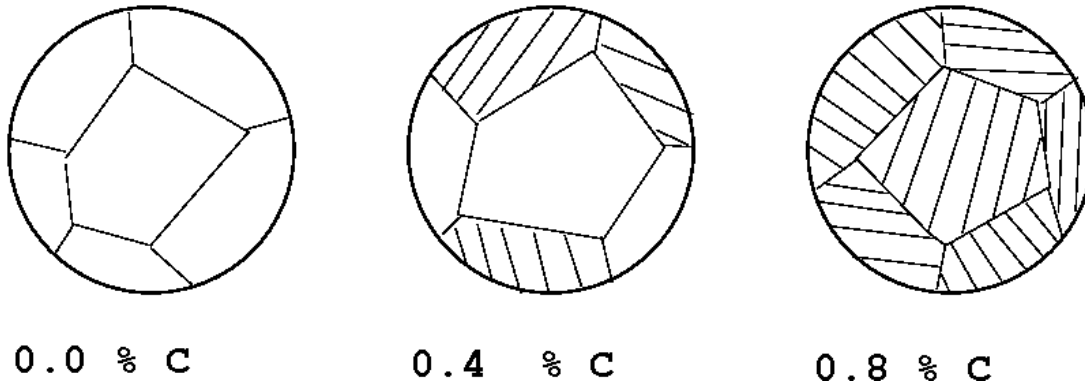
- bei ganz langsamer Abkühlung (zB Gießen):
Kohlenstoff sondert sich ab und bildet C-Inseln oder C-Ghettos. ZB Lamellen in GGL.
- bei normal schneller Abkühlung (= "technisch schnelle Abkühlung"):
C einigt sich mit Fe über Siedlungsgebiete, so daß Fe- und C-Zeilen sich abwechseln. ZB Perlit (aber mit Fe_3C -Zeilen).
- bei schneller Abkühlung ("Abschrecken"):
Kohlenstoff kann nicht weg und verspannt das krz Gitter. ZB in Martensit.

2.6 Gefügeuntersuchung unter dem Mikroskop

Um zu erkennen, wieso sich die Stahlsorten so stark in ihren Eigenschaften unterscheiden, hat man sie aufgeschnitten, geschliffen, poliert, angeätzt und unters Mikroskop gelegt.

Das ist bereits eine Kunst für sich. Besonders beim Ätzen muß man vorher wissen, was sichtbar gemacht werden soll, damit man das richtige Ätzmittel nimmt.

Wir wollen das aber dem Labor überlassen und uns die Ergebnisse für unlegierten Stahl selbst anschauen.



2.6.1 Stahl mit weniger als 0,05 % C

Wir sehen im Mikroskop lauter etwa gleichgroße, metallisch blanke Körner.

Das Röntgenlabor berichtet, die einzelnen Körner seien perfekte Kristalle mit einem Atomabstand von ca. 10 nm (Nanometer). Sie seien kubisch raumzentriert angeordnet. Ferrit halt.

2.6.2 Stahl mit 0,4% C

Im Mikroskop erscheinen viele etwa gleichgroße Körner. Die eine Hälfte ist gestreift, die andere nicht.

Das Röntgenlabor berichtet:

„Die ungestreiften Körner sind Ferrit.

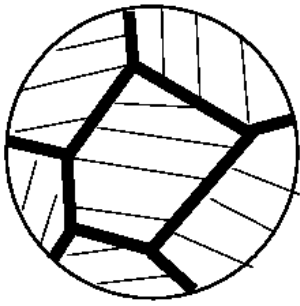
Die gestreiften Körner bestehen aus vielen Lagen von abwechselnd Ferrit und Zementit.

Zementit ist eine steinartige Substanz mit einem sehr komplizierten Raumgitter. Es ist hart und spröde, besteht aus Fe_3C und kommt nur in technisch schnell abgekühltem Stahl vor.

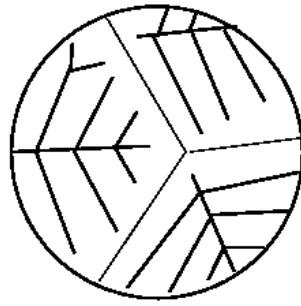
Die Schichten sind so dünn und so gleichmäßig, daß Körner aus diesem Material quasi-isotrop wirken. Aufgrund ihres perlmuttartigen Glanzes (bei passender Ätzung) werden sie Perlit genannt.“

2.6.3 Stahl mit 0,8% C

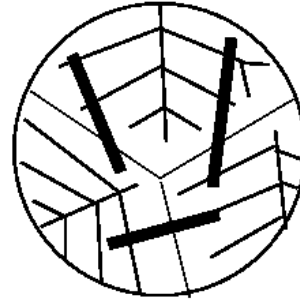
Alle Körner sind in verschiedenen Richtungen gestreift. 100% Perlit.



2.0 % C



4.3 % C



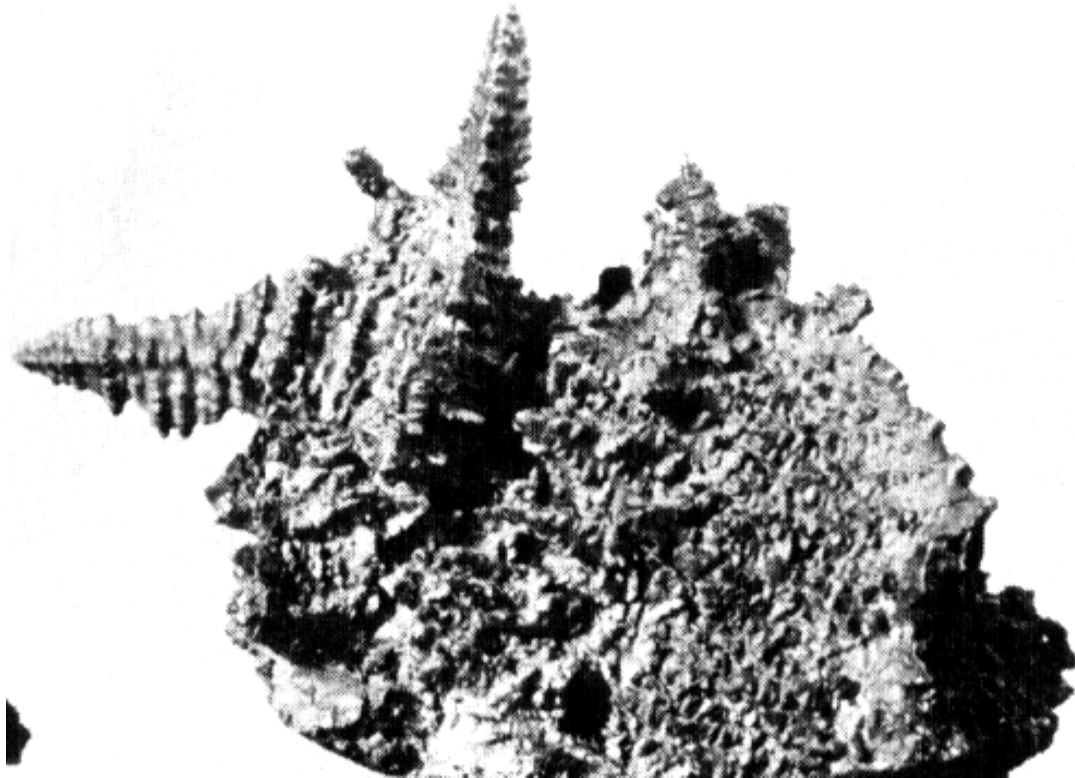
6.5 % C

2.6.4 Stahl mit 0,9 bis 2,06 % C

Alle Körner sind aus Perlit. Die Korngrenzen werden deutlich sichtbar und bestehen aus Zementit.

2.6.5 Eisen mit 4,0% C

Besteht aus tannenbaumartigen Kristallgebilden mit ein wenig Perlit. Gefüge mit tannenbaumartigen Kristallen darin heißt Ledeburit.



2.6.6 Eisen mit 4,6% C

Besteht aus viel Ledeburit und wenig Zementitnadeln.

2.6.7 Eisen mit 6,5% C

Besteht aus ganz wenig Ledeburit und vielen Zementitnadeln.

Den Rest der Stunde entwickeln wir die Gefügezusammensetzung von unlegiertem Eisen mit 0 bis 6,67% C. Die Skala für den C-Anteil soll dabei linear sein.

2.6.8 Fragen

Welches Gefüge hat...

1) Eisen mit 4,3 % C?

2) Eisen mit 0,2% C?

3) Eisen mit 2,06% C?

4) Ferrit ist weich. Zementit ist hart und existiert nur dort, wo genug C im Eisen ist. Raten Sie qualifiziert, welchen Einfluß ein höherer C-Gehalt auf Härte, Festigkeit und Zähigkeit hat.

5) Welches Gefüge erwarten Sie bei Raumtemperatur und

a) 0,5 % C? b) 1,0 % C? c) 3 % C? d) 4 % C?

6) Welchen C-Anteil erwarten Sie bei Raumtemperatur und

a) 20 % Ferrit, 80 % ? b) gleich viel Ferrit wie Ledeburit ? c) 80 %
Ledeburit und % Zementit?

3 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

3.1 Staunen im Tabellenbuch

Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm sagt uns, in welchem Gefüge und Zustand ein Gemisch aus Fe und C bei welcher Temperatur vorliegt.

Es wurde erhalten aus den Abkühlungskurven von Probestäben und der mikroskopischen Untersuchung von heißen, geschliffenen Proben.

Es sagt uns zB:

Bei 723°C und $0,05\% \text{ C}$ besteht das Material aus 100% Ferrit.

Bei 800°C und $0,8\% \text{ C}$ besteht das Material aus 100% Austenit.

Gefügebild Austenit: zahlreiche, runde Körner, teilweise mit Zwillingsstreifen.

Bei 1300°C und $4,3\% \text{ C}$ ist das Material flüssig.

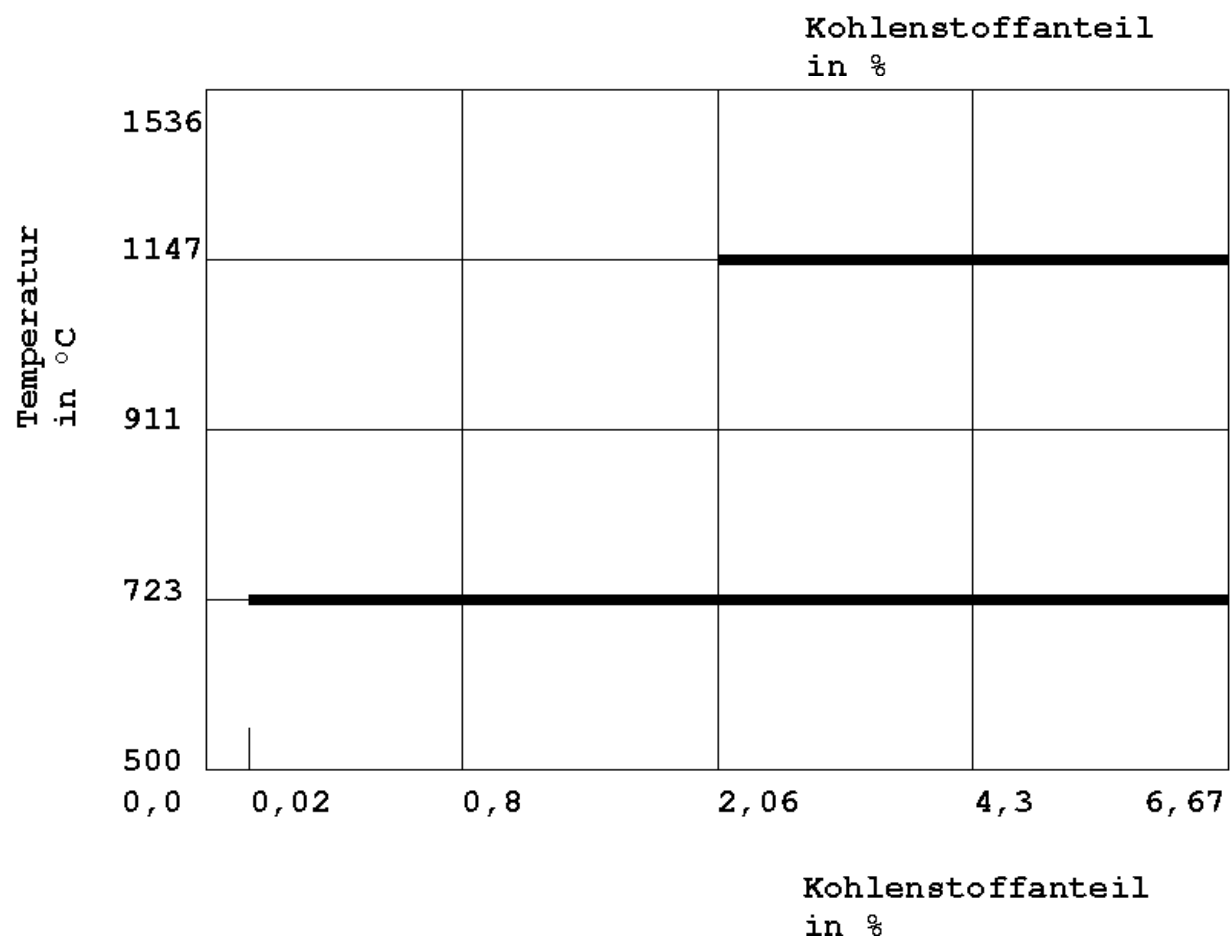
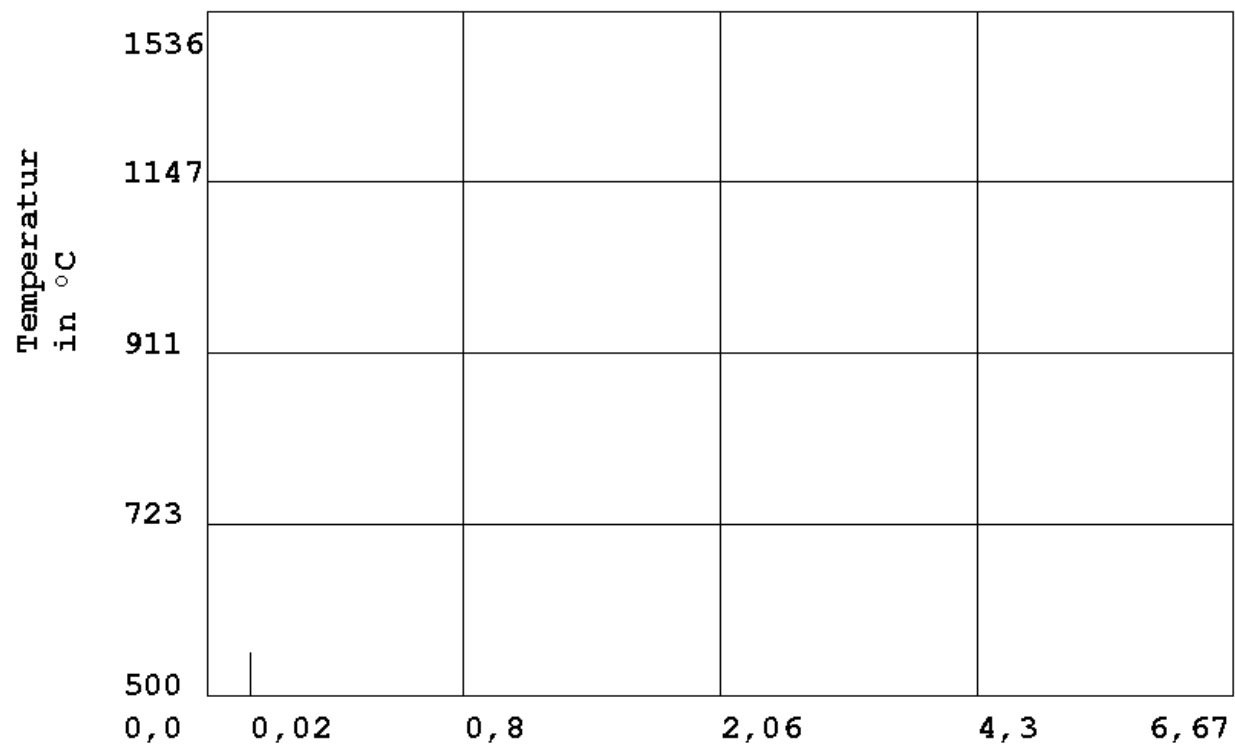
3.2 Zeichnen des Fe-C-Diagramms

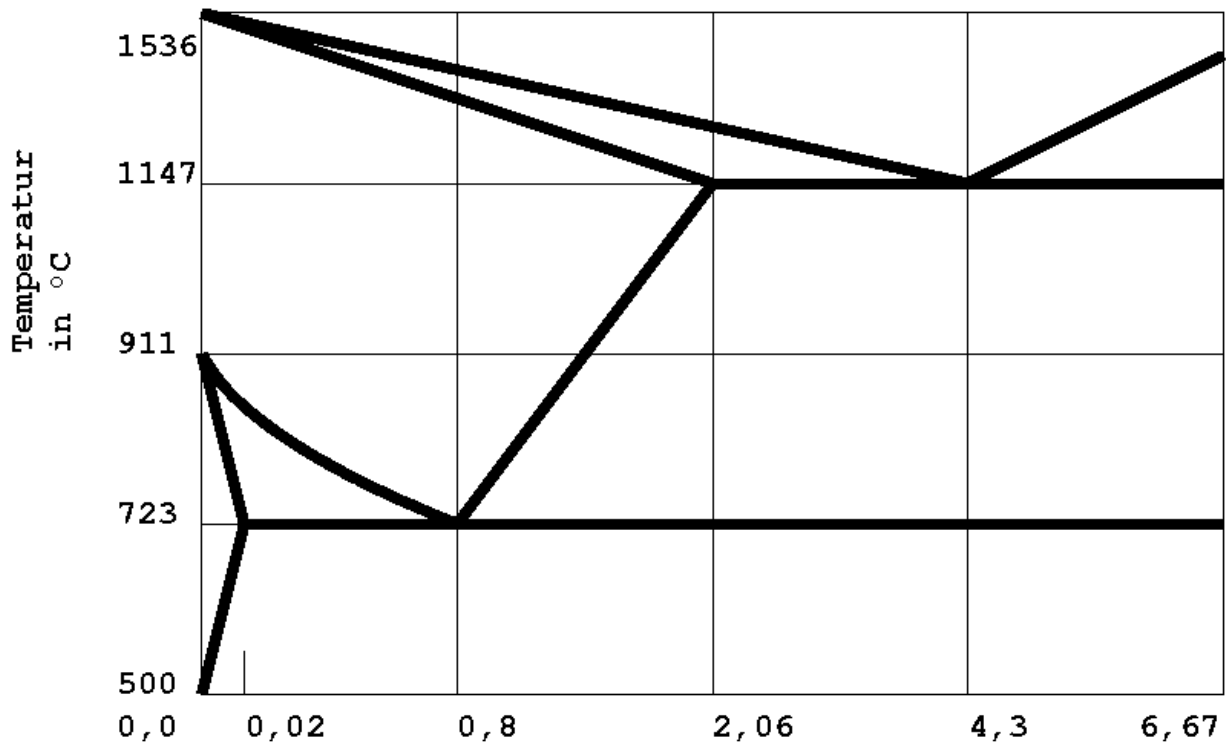
Hinweis: Wir verwenden die vereinfachte Version, ohne die δ -Ecke links oben.

- Kasten Breite x Höhe anlegen. Je drei waagrechte und drei senkrechte Linien eintragen, gibt 16 Kästchen.
- Achsen beschriften.
Die Achsen sind nicht linear beschriftet! Aber dafür kann man den α -Bereich besser sehen. 1147 erinnert irgendwie an Kölnisch Wasser. 911 erinnert an den Porsche. Die anderen Zahlen müssen wir uns so merken.
- Zwei horizontale Linien. Die untere endet bei $0,02\% \text{ C}$.
- Der Rest geht in einem Zug.
Die GS-Linie ist die einzige krumme Linie.
- Die 100-%-Gebiete bunt anmalen und beschriften.

3.3 Aufgabe

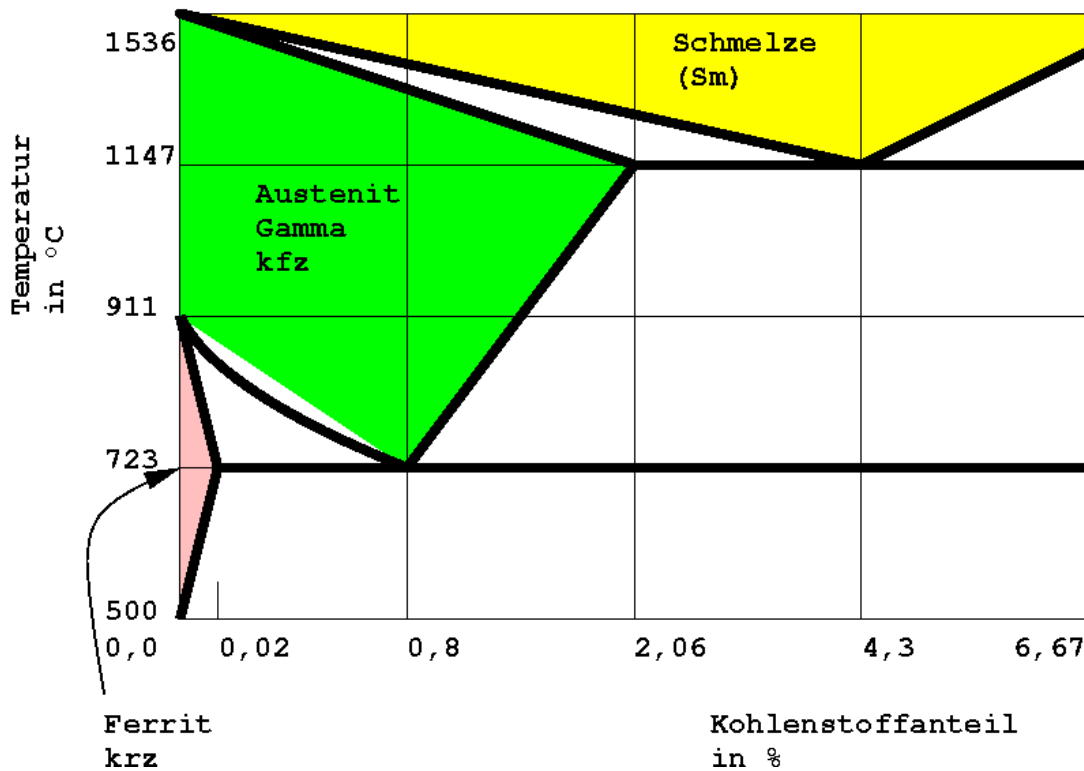
Zeichnen Sie es dreimal: a) $20 \times 16 \text{ cm}$, b) $12 \times 12 \text{ cm}$, c) $8 \times 16 \text{ cm}$. Dann können Sie es auswendig.





die GK-Linie ist die
einzige krumme Linie

Kohlenstoffanteil
in %



Soliduslinie, Liquiduslinie, Eutektikum und Eutektoid bunt anmalen.

Schmelzpunkte sind dort, wo Liquidus- und Solidus-Linie zusammentreffen. Bunt anmalen.

Übergangsbereiche beschriften und zweifarbig schraffieren.

Perlitbereich und Ledeburitbereich markieren.

3.4 Das Märchen von der Austreibung des Kohlenstoffs

1. Erläutern: Umwandlungen bei Abkühlung eines 0,4%-C-Stahles;
2. Prüfung: Umwandlungen bei 0% C und 0,8% C von den Studierenden erläutern lassen;
3. Erläutern: Umwandlungen bei Abkühlung eines 1,4%-C-Stahles;
4. Prüfung: Umwandlungen bei 1,2% C und 2,0% C von den Studierenden erläutern lassen;
5. Erläutern: Ledeburit, Dendriten, Zementitnadeln $> 4,3\%$ C;
6. Prüfung: Gefügezusammensetzung von 0..6,67% C.

Die Studierenden haben Schwierigkeiten mit *jeder* Schreibweise, also Zahlen und grafische Darstellung entwickeln *lassen*.

Gefügebilder wiederholen.

3.5 Fragen

- 1) Was unterscheidet Austenit, Ferrit, Perlit, Zementit und Ledeburit? (Tabelle)
- 2) Malen Sie alle Bereiche des Fe-C-Diagramms braun an, wo Zementit vorkommt.

4 Vorwort zu den Referaten

Der *Leitfaden Referate* findet sich unter

paranoia.scienceontheweb.net/paranoia/leitfaden.pdf

4.1 Bewertungstabelle

Wir legen eine Tabelle an, wer/welche Gruppe welches Referat hat. Hierfür kann man eine Kopie des Inhaltsverzeichnisses verwenden.

Oben in der Tabelle tragen wir das Ausgabedatum und das Abgabedatum (mit Uhrzeit) ein. Typischer Zeitraum: 2 Wochen.

1. Spalte: Name des Referates.
2. Spalte: Ein zufällig gewählter Buchstabe. Ich habe einen vorgeschlagen.
Die Studierenden wählen ihre Referate anhand dieses Buchstabens, d.h. ohne das Thema zu kennen. Wenn diese Methode für alle verwendet wird, wird das Thema meist angenommen.
Bsp.: Bei 8 Referaten kommen dort in zufälliger Reihenfolge die Buchstaben A bis H hinein.
3. Spalte: Initialen der Gruppenmitglieder. Manager unterstreichen.
4. Spalte: Note Ausarbeitung, ggf mit Abzug für verspätete Abgabe.
5. Spalte: Note Präsentation.
6. Spalte: Gesamtnote.

4.2 Die Zeit dazwischen

Diese Woche ist Referate-Ausgabe. In zwei Wochen ist Referate-Abgabe.

Bleibt die Frage: Was machen wir im Zeitraum dazwischen?

Vorschlag Referate1: Ausgabe der Referate nach/in der ersten Stunde zum Fe-C-Diagramm ODER Wiederholung ODER Laborbesichtigung.

Vorschlag Referate2: ZTU-Diagramme.

Vorschlag Referate3: Dauerfestigkeit (Studierende zeigen sich mit diesem Thema normalerweise überfordert).

5 Referate1 in Gruppen zu 3 - Wärmebehandlung

Es gilt der *Leitfaden Referate* von <http://paranoia.scienceontheweb.net/paranoia/> .
3 Zusammenfassungen und 3mal Fragen und Antworten sind ein MUSS. Immer. Sie werden sie zur Klausurvorbereitung noch brauchen.

Heben Sie die Gliederung deutlich hervor. Bsp.: "Das war die Einführung. Fragen? (1 - 2 - 3 - 4 - 5) - Nein??
Dann lassen Sie uns sehen, wie man's macht..."

Sprechen Sie über das Vorher, das Während und das Nachher.

Wir betrachten nur unlegierte Stähle, d.h. die "Stahlecke" des Fe-C-Diagramms.

Heben Sie Wichtiges deutlich hervor. Sie haben folgende Möglichkeiten:

- Unterstreichen oder Einrahmen. Gerne in bunten Farben;
- Wiederholungen. Bsp.:
 "Ich erzähle Ihnen jetzt, warum gute Spanbrüchigkeit bei automatisierten Fertigungsanlagen wichtig ist..."
 "Spanbrüchigkeit bei automatisierten Fertigungsanlagen ist wichtig, weil..."
 "Ich habe Ihnen gerade erzählt, daß gute Spanbrüchigkeit..."
- Medienwechsel: Folie, Tafel, Musterstücke, Auf- und Zudecken, andere kreative Methoden...

Definieren Sie Fachwörter. Definitionen sind wichtig. Heben Sie sie hervor.

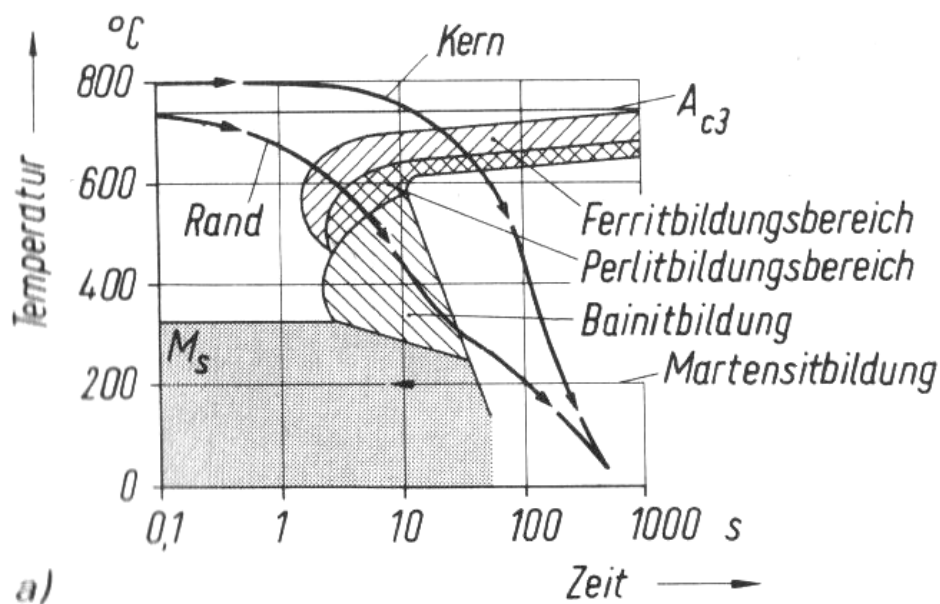
Klasse:

Abgabetermin:

Nummer	Buchstabe	Thema	Autor	Ausarbeitung	Präsentation	Gesamt
1	G	Normalglühen Zweck - Entziehendes Gefüge - Innere Vorgänge - kugelige Einformung des Korngrenzementits - Durchführung				
2	A	Diffusions- und Grobkornglühen Unterschied von Block- und Kristallseigerung				
3	C	Weichglühen				
4	F	Spannungsarmglühen				
5	B	Härten Zweck - entstehendes Gefüge - Innere Vorgänge - Abkühlmedien - Härterisse				
6	E	Anlassen Zweck - Anlaßstufen - Anlaßsprödigkeit - Se- kundärhärtung (= Ausscheidungshärtung)				
7	D	Vergüten Zweck - Durchführung - Beispiele für Werkstoffe und Teile				

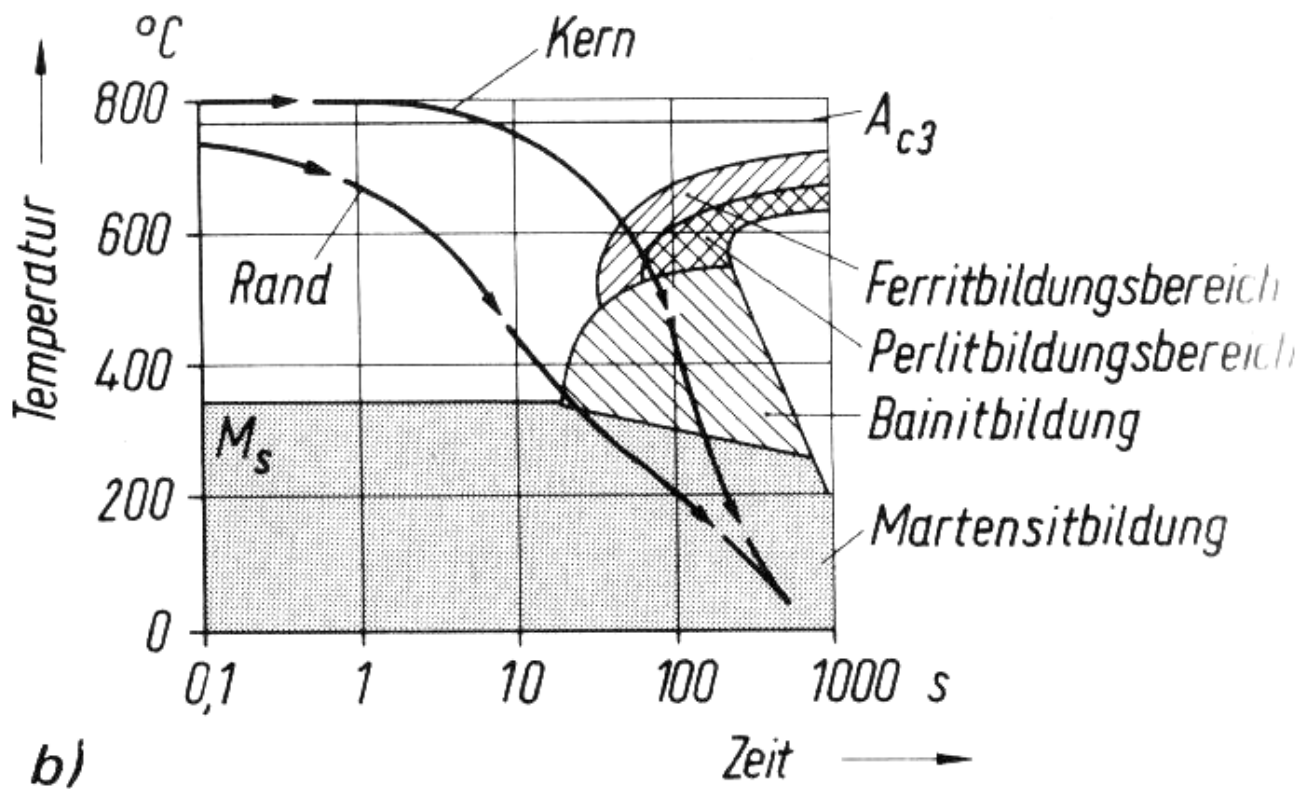
6 ZTU-Schaubilder

6.1 ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung



- Werkstoff = unlegierter Edelstahl Ck45.
- Die Zeitachse ist logarithmisch geteilt.
- Es sind zwei Kurven eingetragen, beide für ein Teil von 95mm Durchmesser, das in Wasser abgeschreckt wird.
- Eine ist für den Randbereich, eine für den Kern.
- Wir erwarten, daß der Rand schneller abkühlt als der Kern, und prüfen dies durch das Herausgreifen einiger Werte nach.
- Der Kern kühlt langsam ab, bildet zunächst Ferrit und dann Perlit.
Bei Raumtemperatur besteht er aus ca. 50 % Ferrit, 50% Perlit. Wie normal. Als wäre er nicht abgeschreckt worden.
- Der Rand wandelt sich teilweise in Ferrit, dann teilweise in Perlit. Der restliche Austenit (ca 50%) wandelt sich in Bainit (Zwischenstufengefüge).
Feinkörniges (unteres) Bainit hat gute Zähigkeit bei hoher Streckgrenze.

Fazit: Unlegierter Stahl kann bei großem Durchmesser nicht durchvergütet werden - mit etwas Pech nicht mal gehärtet.



- Werkstoff = legierter Edelstahl 41 Cr 4 (1% Cr).
- Es sind dieselben zwei Kurven eingetragen. Dieselbe Wärmebehandlung
- Die Flächen liegen aber anders.
- Der Kern wird zu wenig Ferrit, viel Bainit, wenig Martensit.
- Der Rand wird zu 100% Martensit.

Fazit: Legierter Stahl kann bei großem Durchmesser durchvergütet werden - mit allen erfreulichen Eigenschaften.

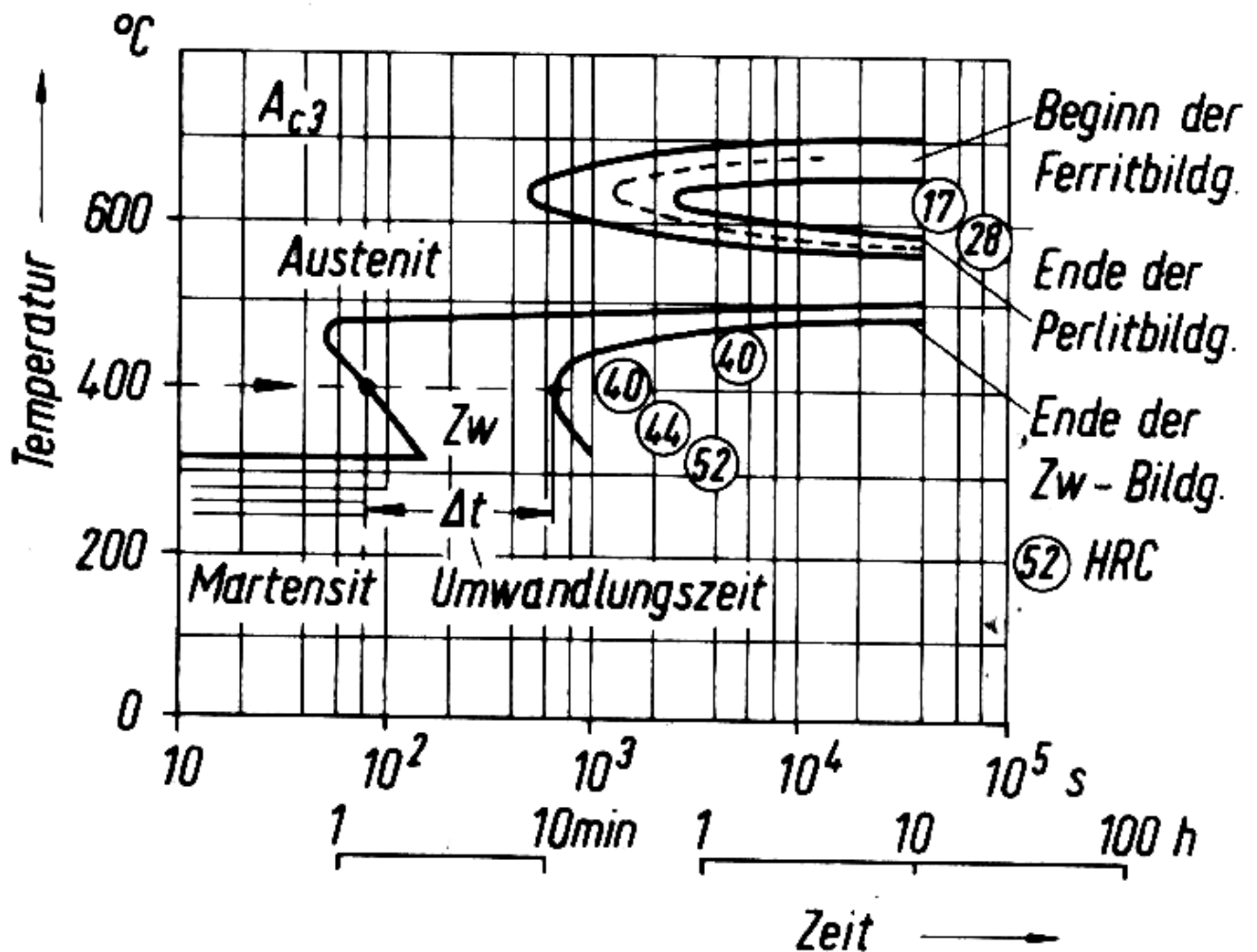
Das gelöste Cr behindert die C-Atome beim Diffundieren und Perlit-Bilden. Deshalb bleiben sie zwangsgelöst und bilden schließlich Martensit.

6.2 Isotherme ZTU-Schaubilder

Werkstoff = 36 Cr Ni Mo 4.

Der Werkstoff wird nicht auf Raumtemperatur abgeschreckt, sondern schnell auf eine höhere Temperatur abgekühlt und dann hiergehalten.

Dabei benutzt man zB 400 Grad Celsius heiße Bäder aus flüssigem Salz. Wasser wäre bei dieser Temperatur bereits verdampft.



- Beispiel : 400 Grad Celsius.
- Das Diagramm wird von links nach rechts gelesen.
- Der Werkstoff wird auf 400 Grad C zu 100 % Bainit.
- Das Verfahren heißt auch Bainitisieren.
- In diesem Diagramm wird die erzielbare Härte mit angegeben.

7 Referate2 in Gruppen zu 2 - Stahlsorten

Definieren Sie.

Suchen Sie sich zwei oder drei Beispiele. Vergleichen Sie sie mit dem Muster-Werkstoff St-50.

Nennen Sie Eigenschaften, die den Werkstoff gegen andere Werkstoffe gut aussehen lassen. Nennen Sie Anwendungsbeispiele. Stellen Sie im Vortrag die Anwendungsbeispiele *sehr anschaulich* dar:

Weniger gut: "Vergütungsstähle werden für Achsen, Wellen, Kipphebel, Zahnräder, Schneidwerkzeuge und andere, dynamisch hochbelastete Bauteile eingesetzt."

Besser: "Sie kennen Kurbelwellen in Automotoren? Diese haben hohe Belastungen: heißes Öl mit Wasser und Säure darin, Temperaturen von -50 bis +200 Grad, mal Zug-, mal Schubbelastung, Vibrationen, große Massenkkräfte etc. Dabei sollen sie zuverlässig halten, denn wenn sie kaputtgehen, geht der ganze Motor auch kaputt, und das wird dann richtig teuer.

Damit das nicht passiert, nehmen wir als Werkstoff Vergütungsstahl oder Guß (zB GGG-40). Guß hat dabei zwar die Vorteile ..., aber auch die Nachteile..."

Erläutern Sie ruhig und kompetent die alten und neuen Werkstoff-Bezeichnungen und Werkstoffnummern.

Klasse:

Abgabetermin:

Nummer	Buchstabe	Thema	Autor	Ausarbeitung	Präsentation	Gesamt
1	H	Baustahl und Feinkorn-Baustahl Preis, Verarbeitbarkeit, Kaltzähigkeit				
2	D	Einsatzstahl und Einsatzhärten				
3	A	Warmfester Stahl – Drei Einsatzgebiete + Schadensausmaße am plakativen Beispiel. Anforderungen. Maßnahmen (Wärmebehandlung, C- und Cr-Gehalt).				
4	I	Vergütungsstahl – Einfluß von Mn-Gehalt				
5	E	Kalt- und Warmarbeitsstähle, HSS				
6	B	Qualitäts- und Edelstähle Treffen Sie eine geschickte Auswahl.				
7	K	Korrosionsfeste Stähle – Korrosion : Ursachen, Arten, Wirkung. 4 Arten der Vorbeugung.				
8	F	Austenitische und Ferritische Stähle Einfluß von hohem Cr- und Ni-Gehalt				
9	C	Werkstoff Grauguß – globular lamellar vermicular Re Rm A Gießen Spanen Schwingungsdämpfen				
10	G	Gießen von Grauguß – Modell Sand Kerne Erstarren Speiser Schwinden Rütteln Putzen Gußhaut				
11	J	Hartmetalle und Sintermetalle – Einsatzgebiete, Herstellung, Alleinstellungsmerkmale				

8 Dauerfestigkeit - 2 b done

8.1 Belastungsfälle

8.1.1 Statisch

8.1.2 Schwellend

8.1.3 Schwingend

8.1.4 Stochastisch

8.2 Versagensmechanismen

8.2.1 Kriechen

8.2.2 Altern

8.2.3 Rißwachstum

8.2.4 Kerbwirkung

8.3 Werkstoffe

8.3.1 Kerbempfindlichkeit

8.3.2 Oberflächenverdichtung

8.3.3 Vergüten

8.3.4 Gestaltung

9 Referate3 - Einzelarbeit. Klasse:

Termin:

A..V	Thema	wer	A	P	G
	Stahlerzeugung – Hochofen, Roheisen, frischen, Stahl, legieren, walzen				
	Korrosion – Problembeschreibung (volkswirtschaftlich), Grundtypen der Korrosion, Vermeidung				
	Aluminium-Legierungen – Eigenschaften; Verhalten bei Wärme, Kälte, aggressiven Medien, dynamischer Belastung; Anwendbare Produktionsverfahren (incl. Oberflächenbehandlung); Stellung zum Werkstoff Stahl; 3 Beispiele: 1x Knet-, 2x Guß-Al incl. Legierungselemente.				
	Aluminium-Härten – Zweck, Ablauf, Innere Vorgänge, häufige Legierungselemente, 2 Beispiele, Ausscheidungshärtung beim Stahl.				
	Leichtmetalle ohne Aluminium – Herstellung. Eigenschaften im Vergleich zu Alu und GFK. Verarbeitung. Verwendung im konstruktiven Ingenieurbau.				
	Thermoplaste und Duroplaste – 3x Poly..., teilkristallin vs. amorph. 4 Beispiele. Vergleich mit Stahl und Alu. Kriechen, Vorteile. Nachteile. Recycling.				
	Faserverstärkte Kunststoffe – Zweck. Erzielte Eigenschaften: erfreuliche und unerfreuliche. Bindung von Kunststoff und Faser. Gestalt der Fasern. Anordnung der Fasern. Fertigungsverfahren. Recycling.				
	Gummi – Herstellung und Verarbeitung. Vergleich zu Konkurrenten. 10 grelle Beispiele aus Ingenieurbau, Message : Ohne Gummi geht es nicht.				
	Umformen – Zweck, 1.2 Beispiele, Verwendbare Werkstoffe, Umformtemperaturen, Gefügebildung, Vergleich Spanen				
	Spanen – Spanbildung, Einfluß der Schneidengeometrie auf die Spanbildung, Schneidwerkstoffe, Kühlschmiermittel, Vergleich Umformen, Wirtschaftlichkeit				
	Fügen ohne Schweißen – Nieten Kleben Clinchen FügenDurchUmformen. Autos Boote Flieger (Überschall-) Brücken. Wirtschaftlichkeit				
	Schweißen – Schweißprozeß : (Erwärmung, Schutzgas, Zusatzwerkstoff). Schweißbare Werkstoffe. Lichtbogen-Hand-, Schutzgas-, WIG-, Kunststoff-Schweißen. Vorteile und Nachteile				
	Oberflächentechnik – Lackieren, Galvanisieren, Nitrieren, Borieren. – Jeweils: Zweck, Rang innerhalb anderer Fertigungsverfahren Vorteile und Nachteile gegen andere Verfahren, Unerwünschte Nebeneffekte, Werkstoffkennwerte,				
	Laser in der Fertigung – Trennen, Fügen, Umformen, Spanen, Oberflächentechnik. Greifen Sie je ein Verfahren heraus, vergleichen Sie mit herkömmlichen Verfahren, diskutieren Sie Wirtschaftlichkeit, Flexibilität, Gefüge, ...				
	Zeitstandfestigkeit bei Wärme – Problem erläutern, Kenngrößen, Maßnahmen und Werkstoffe				
	Verbundwerkstoffe im Schiffbau. – Problem: Mast, Ruder, Schwert. Lösungen: Holz? GFK? Laminierendes Holz? Stahl? Faserverstärkter Beton? –				
	Dauerfestigkeit – Problem erläutern, Kenngrößen, Maßnahmen und Werkstoffe				
	Wirbelstromverfahren – Definition: Fehler, Funktionsprinzip, Vorteile und Nachteile gegen andere Prüfverfahren, Auswertung und Dokumentation				
	Farbeindringverfahren und Magnetpulverprüfung				
	Ultraschallprüfung – Funktionsprinzip, Automatisierung, Vorteile und Nachteile gegen andere Prüfverfahren,				
	Röntgen-Prüfung – Gesundheit. Definition: Fehler, Vorteile und Nachteile gegen andere Prüfverfahren				
	Schallemissionsanalyse – wo, wie, warum, Auswertung, Dokumentation				