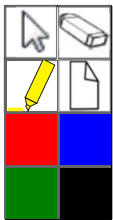


Materialien für Implantate - Metallische Werkstoffe

WiSe 2017/2018

Michael Seidenfuß



Nasennebenhöhlenstents

- Röhrchen zum Offenhalten von Gefäßen und Hohlorganen
- Temporäre Implantate
- Eisen (metallischem Glas) → PLA

Dentale Abutments

- Verbindungsteil für Zahnimplantat
- Dauerimplantate
- Titan, Aluminiumoxidkeramik

Osteotomieimplantat

- Zahnimplantat
- Temporäre Implantate
- Titan, Zirkonoxid

Kardiovaskuläre Stents

- Herzgefäßröhrchen
- Temporäre Implantate
- Edelstahl, Co-Cr Legierungen

Knochenschrauben

- Temporäre Implantate
- Titan oder rostfreiem Stahl

Cochlea-Implantat

- Hörprothese
- Dauerimplantat
- Austenitischer Stahl, Titan, Gold

Schulterendoprothesen

- Dauerimplantate
- Titanlegierungen

Spondylodese

- Dauerimplantate
- Titan, Edelstahlschrauben

Knochenmarknägel

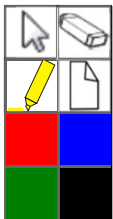
- Temporäre Implantate
- Inertem Titan

Knieendoprothesen

- Dauerimplantate
- Titan- oder Cobalt-Chrom Legierungen

Osteosyntheseplatten

- - Verbindung zwischen zwei Knochen
- Temporäre Hilfsmittel
- CoCrMo-Legierungen, Stahl, Ti-Legierungen

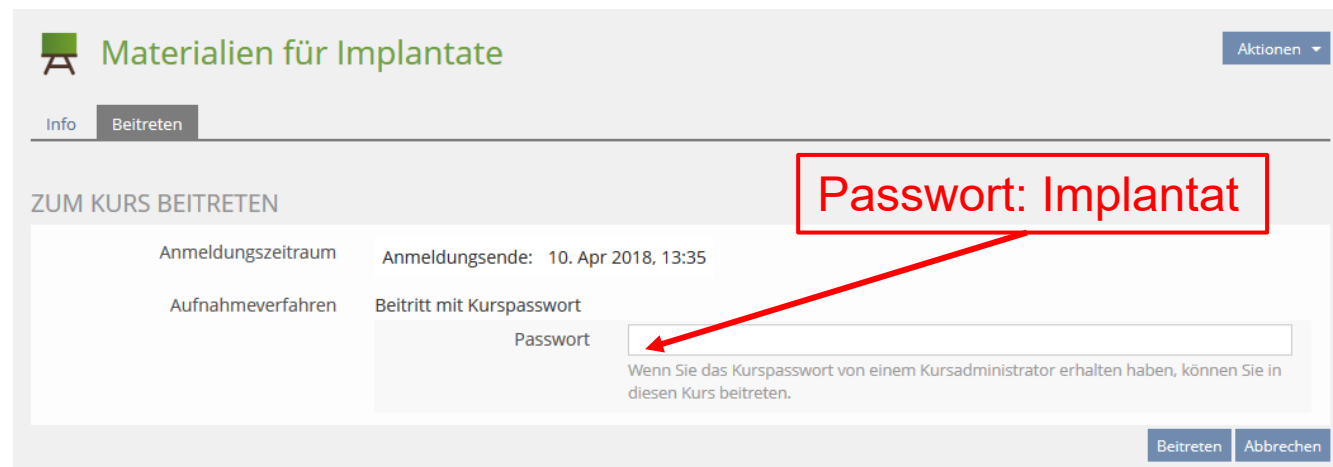


Für Stuttgarter Studierende

- Anmeldung im Ilias
 - MAGAZIN => Magazin Einstiegsseite
 - Ingenieurwissenschaften
 - Medizintechnik
 - Lehrveranstaltungen WS 17/18
 - „Materialien für Implantate“
 - Beitreten und Folien herunterladen

Für Tübinger Studierende

- Anmeldung im Tübinger Ilias
 - „Angebote anderer Hochschulen“ o.Ä. auswählen
 - „Materialien für Implantate“ suchen
 - Beitreten und Folien herunterladen



The screenshot shows the Ilias interface for the course 'Materialien für Implantate'. The page has a header with the course title and an 'Aktionen' dropdown. Below the header, there are tabs for 'Info' and 'Beitreten'. The main content area is titled 'ZUM KURS BEITRETEN' and contains a registration form. The form includes fields for 'Anmeldungszeitraum', 'Anmeldungsende' (10. Apr 2018, 13:35), 'Aufnahmeverfahren', and 'Beitritt mit Kurspasswort'. A red box highlights the password field with the text 'Passwort: Implantat'. Below the password field, there is a note: 'Wenn Sie das Kurspasswort von einem Kursadministrator erhalten haben, können Sie in diesen Kurs beitreten.' At the bottom right, there are buttons for 'Beitreten' and 'Abbrechen'.

Materialien für Implantate

Aktionen

Info Beitreten

ZUM KURS BEITRETEN

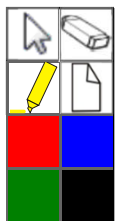
Anmeldungszeitraum Anmeldungsende: 10. Apr 2018, 13:35

Aufnahmeverfahren Beitritt mit Kurspasswort

Passwort

Wenn Sie das Kurspasswort von einem Kursadministrator erhalten haben, können Sie in diesen Kurs beitreten.

Beitreten Abbrechen





Begleitbuch zur Vorlesung

Erschienen im
Springer Vieweg-Verlag

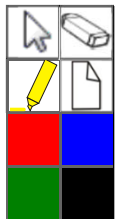
6. Auflage

Autoren: Roos, Maile, Seidenfuß

ISBN: 978-3-662-49532-2

Die 6. Auflage ist kostenlos verfügbar
als
E-Book über die Universitätsbibliothek
Stuttgart unter:

[https://link.springer.com/book/10.1007
%2F978-3-662-49532-2](https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-662-49532-2)



Metalle



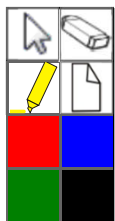
Keramik



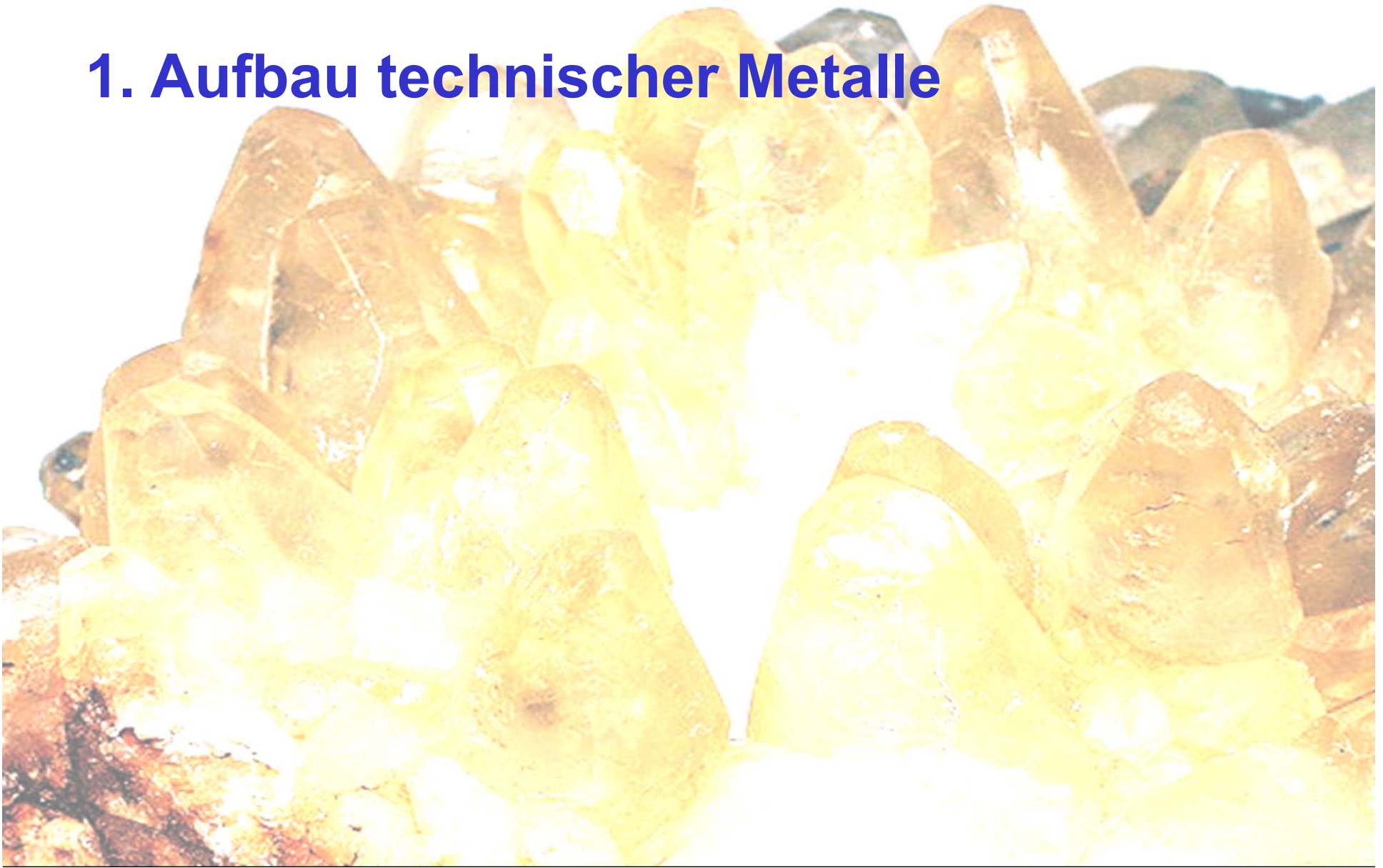
Kunststoffe



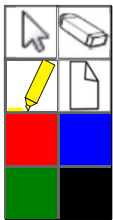
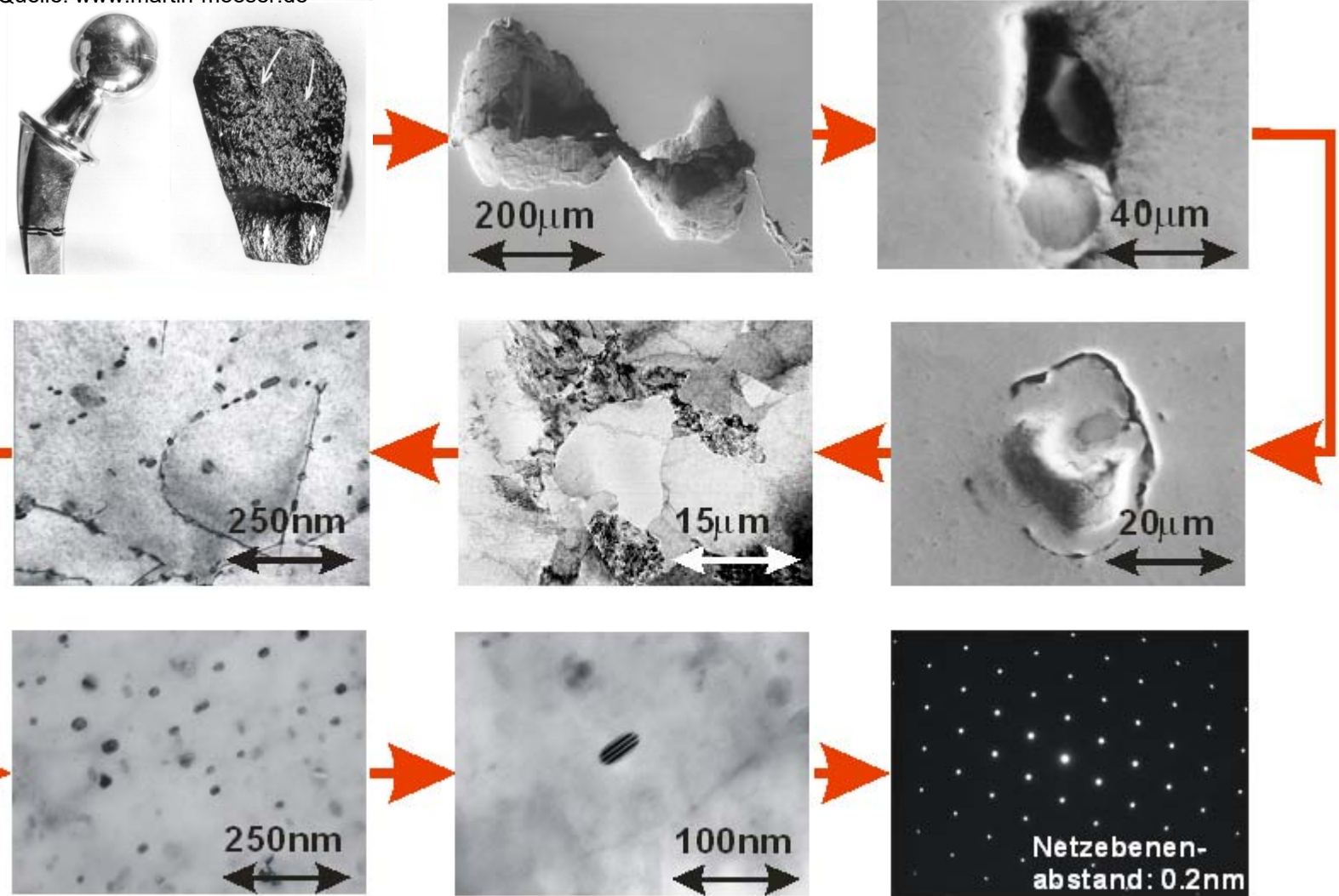
**Verbundwerkstoffe
Werkstoffverbunde**



1. Aufbau technischer Metalle



Quelle: www.martin-moeser.de





$\approx 100 \mu\text{m}$



Lichtmikroskop

bis zu $0,1 \mu\text{m}$



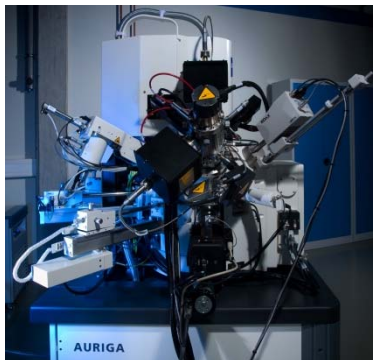
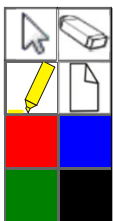
TEM

bis zu 5 nm



RKM, RTM

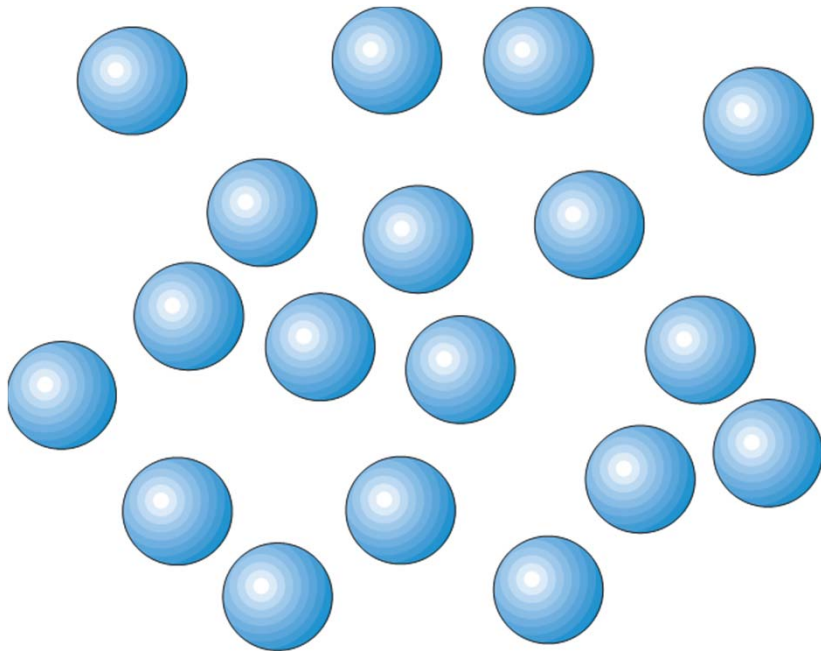
bis zu $0,1 \text{ nm}$
→ im Idealfall
sogar einzelne
Atome



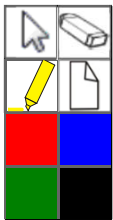
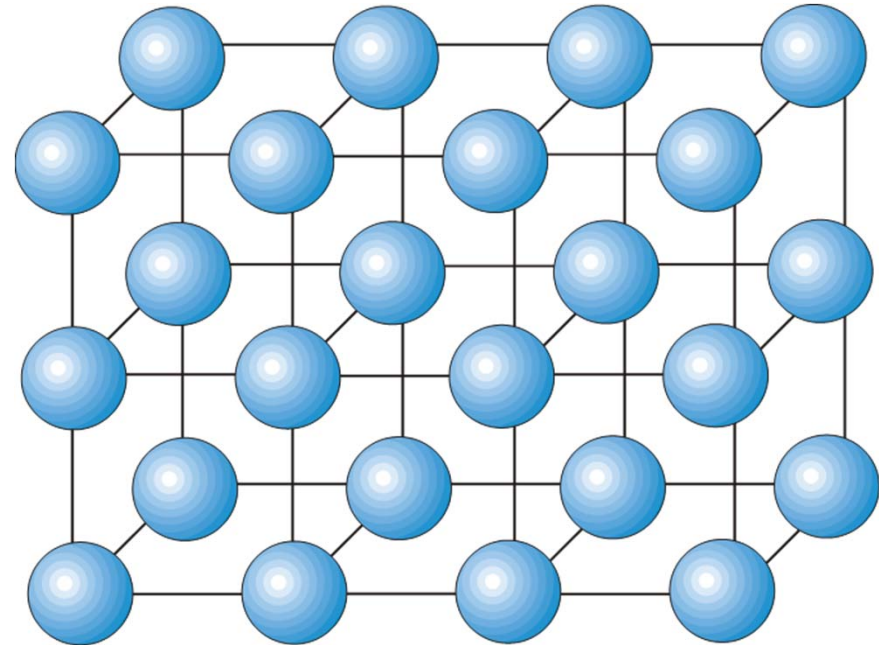
REM

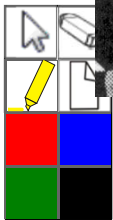
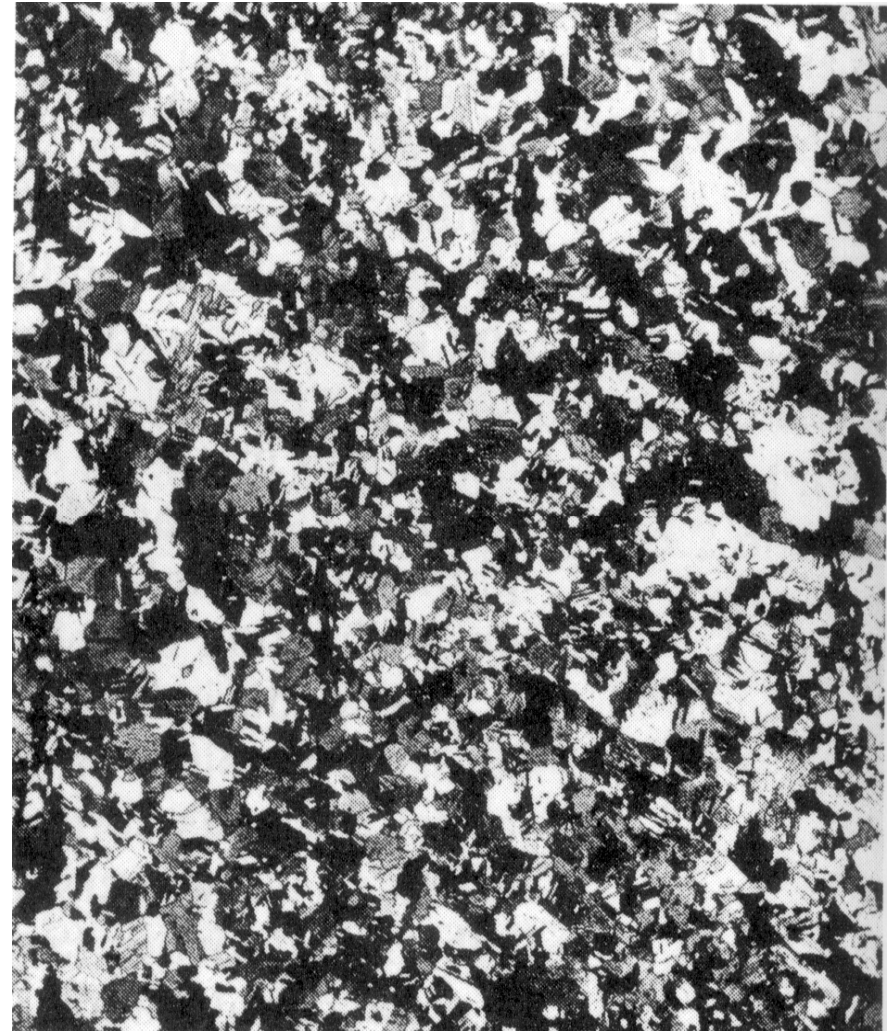
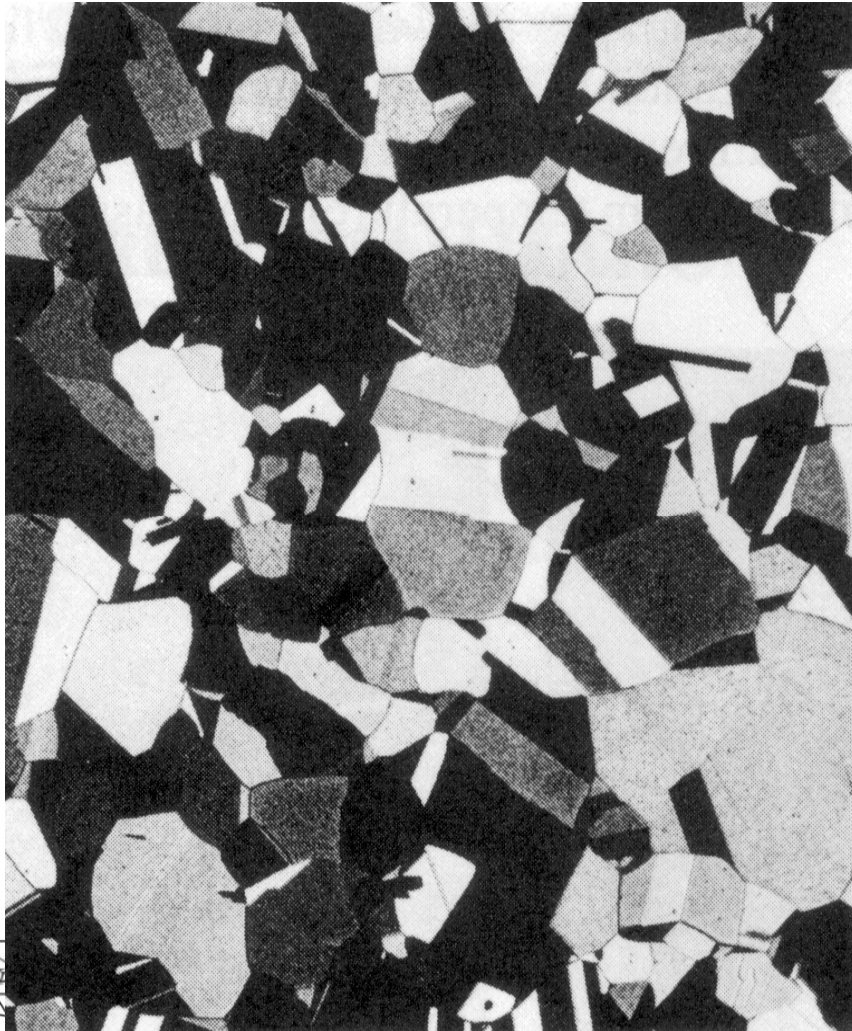
bis zu 50 nm

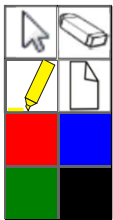
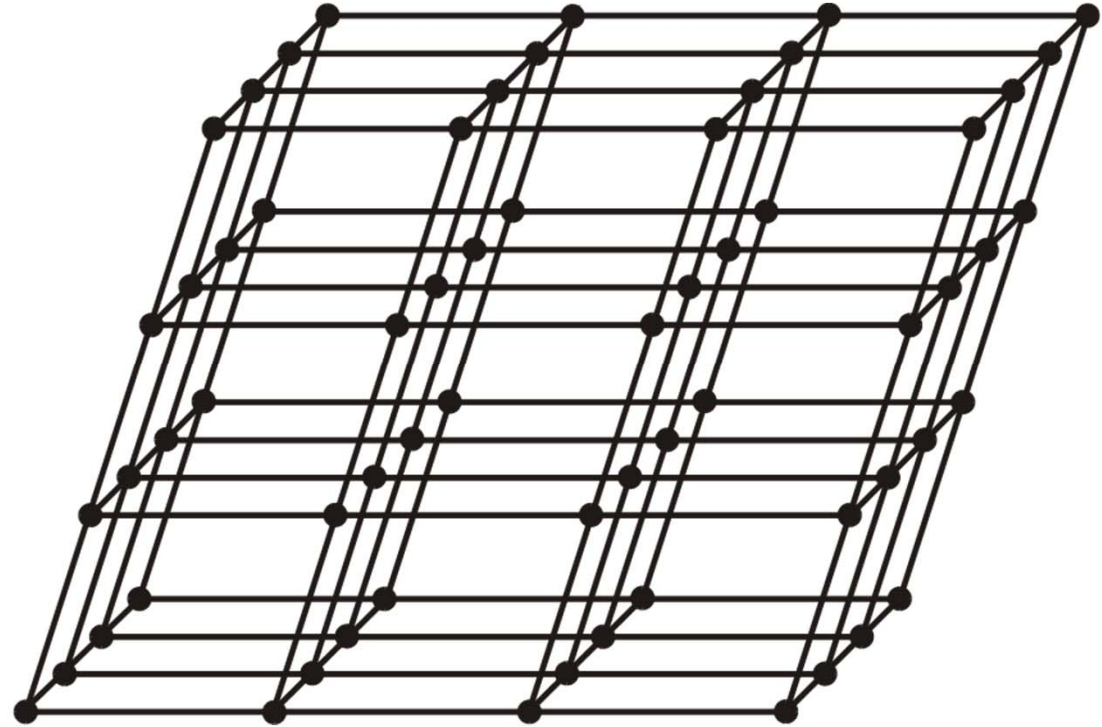
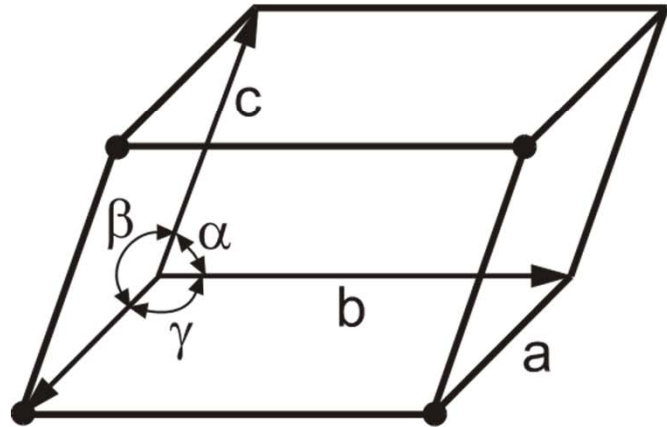
Amorphe Atomanordnung



Kristalline Atomanordnung

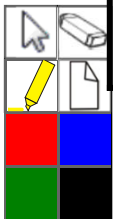
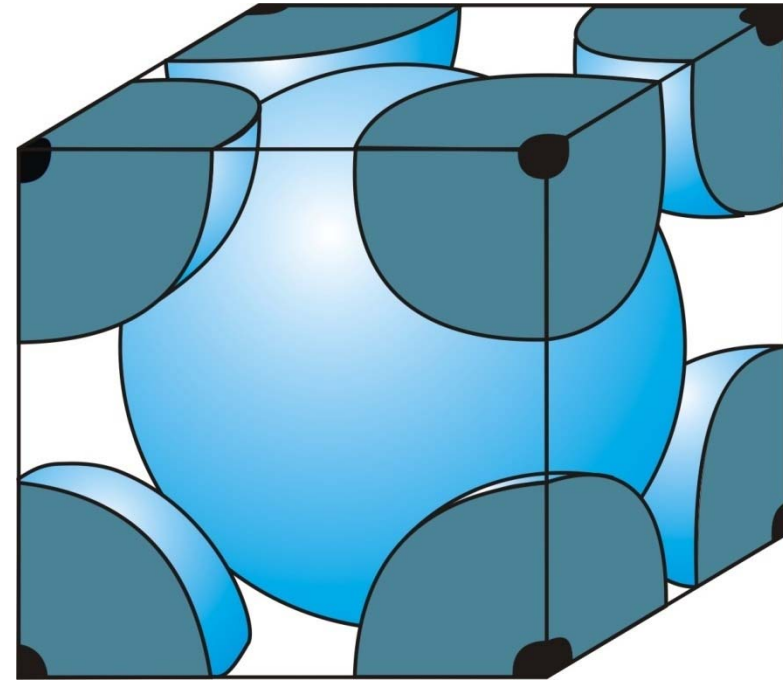
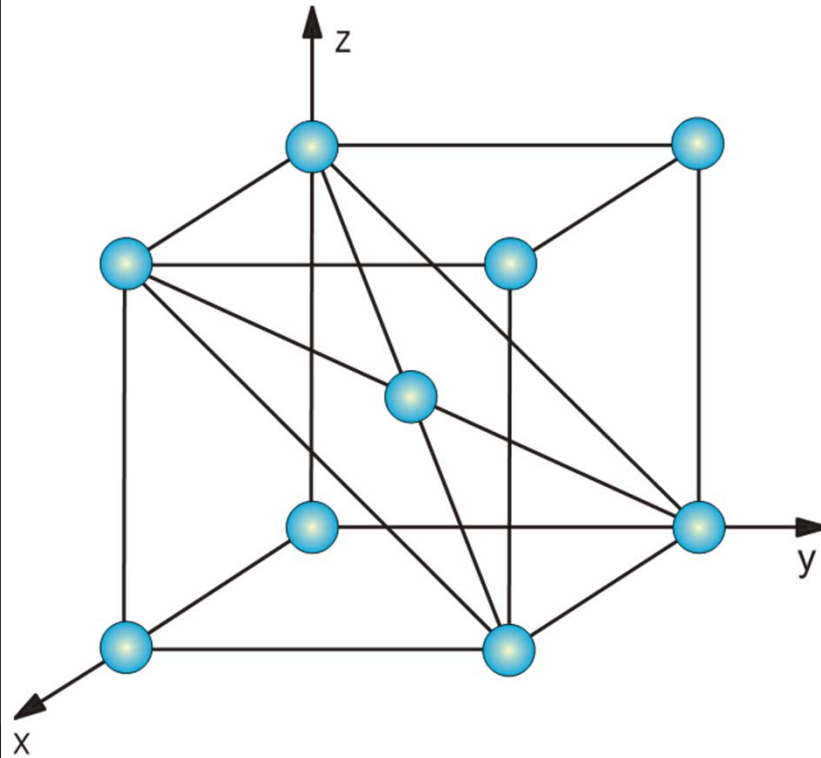


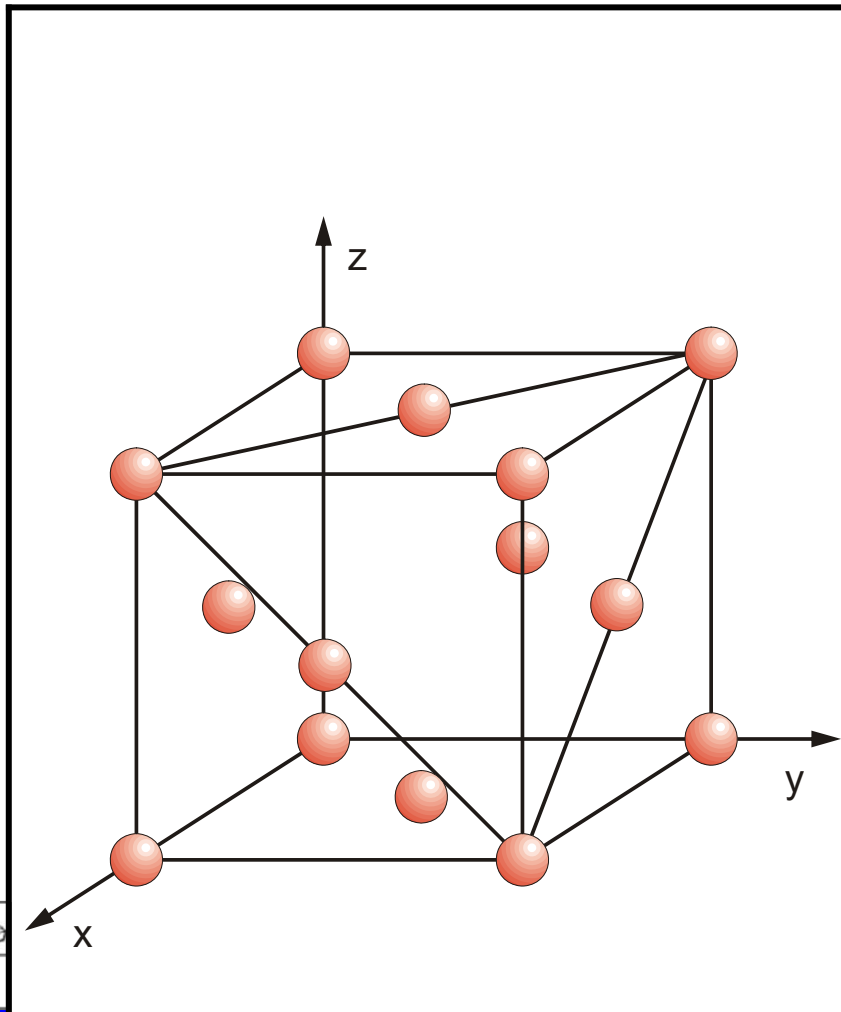




Elemente mit krz-Gitterstruktur:

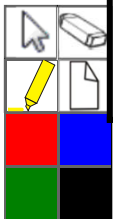
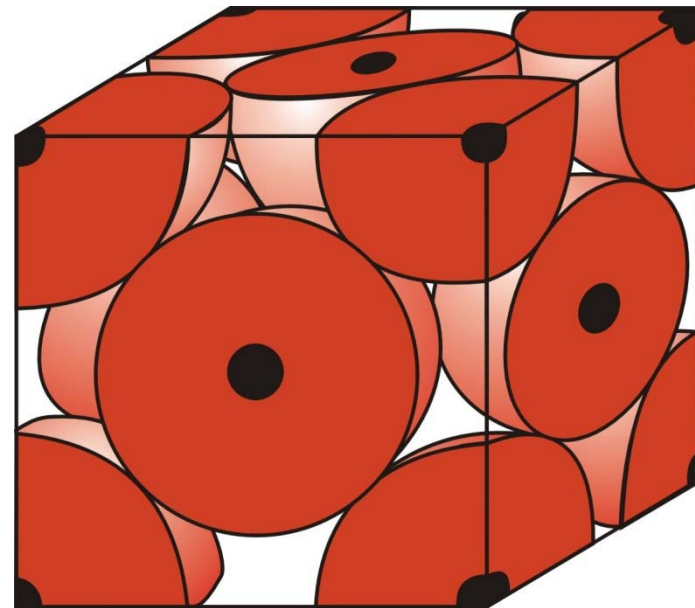
α -Fe (bis 911°C), Mn, V, Cr, Nb, Mo, Ta, W



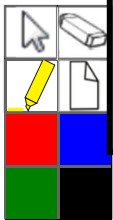
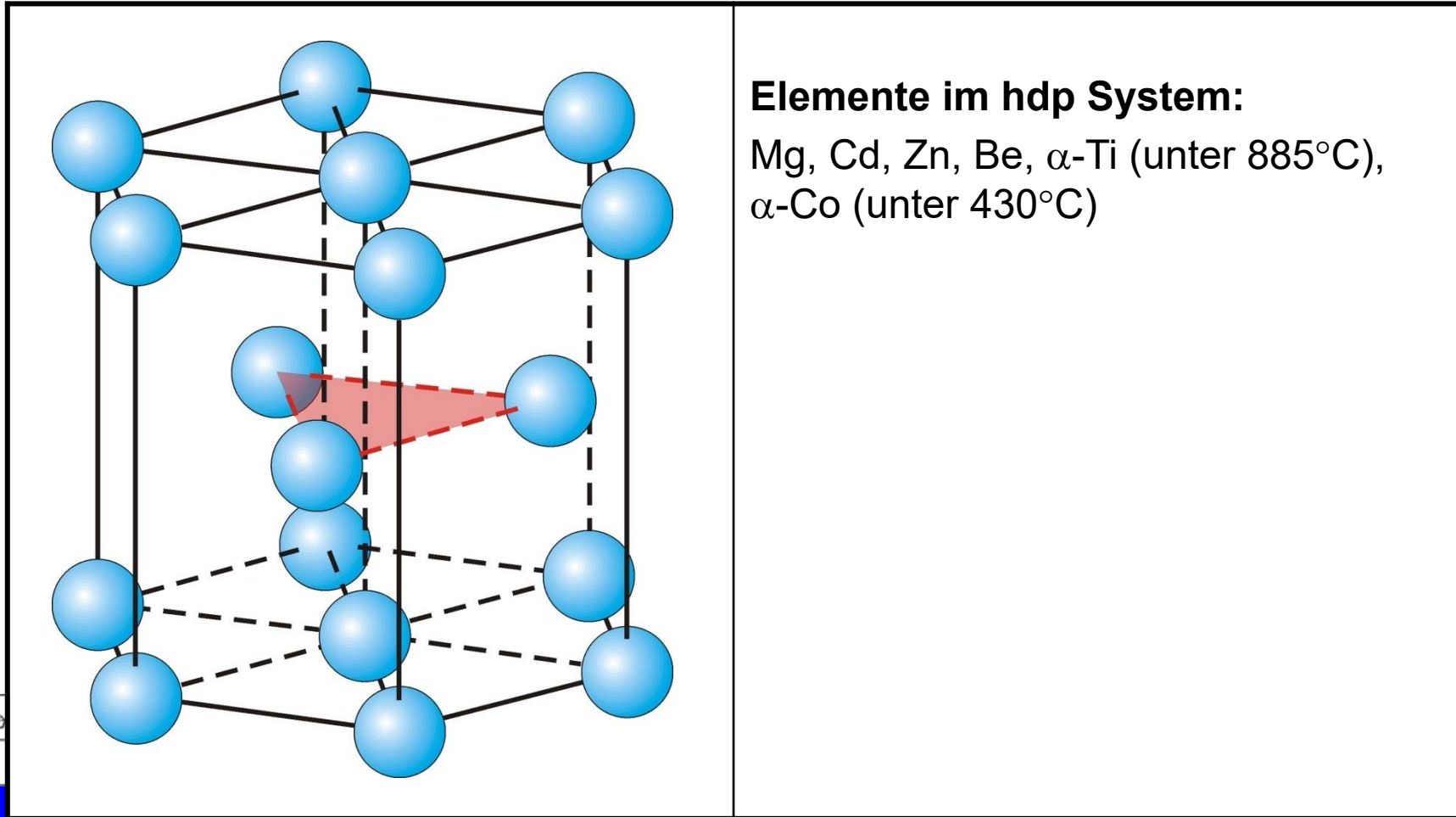


Elemente mit kfz-Gitterstruktur:

γ -Fe (bis 911°C bis 1392°C), Cu, Al, Ni, Pb,
Pt, Ag, Au, Ir, β -Co (über 430°C)



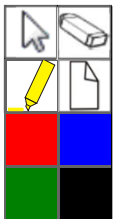
Das hexagonal-dichtest-gepackte (**hdp**) Gitter:



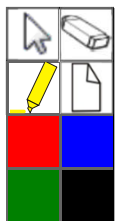
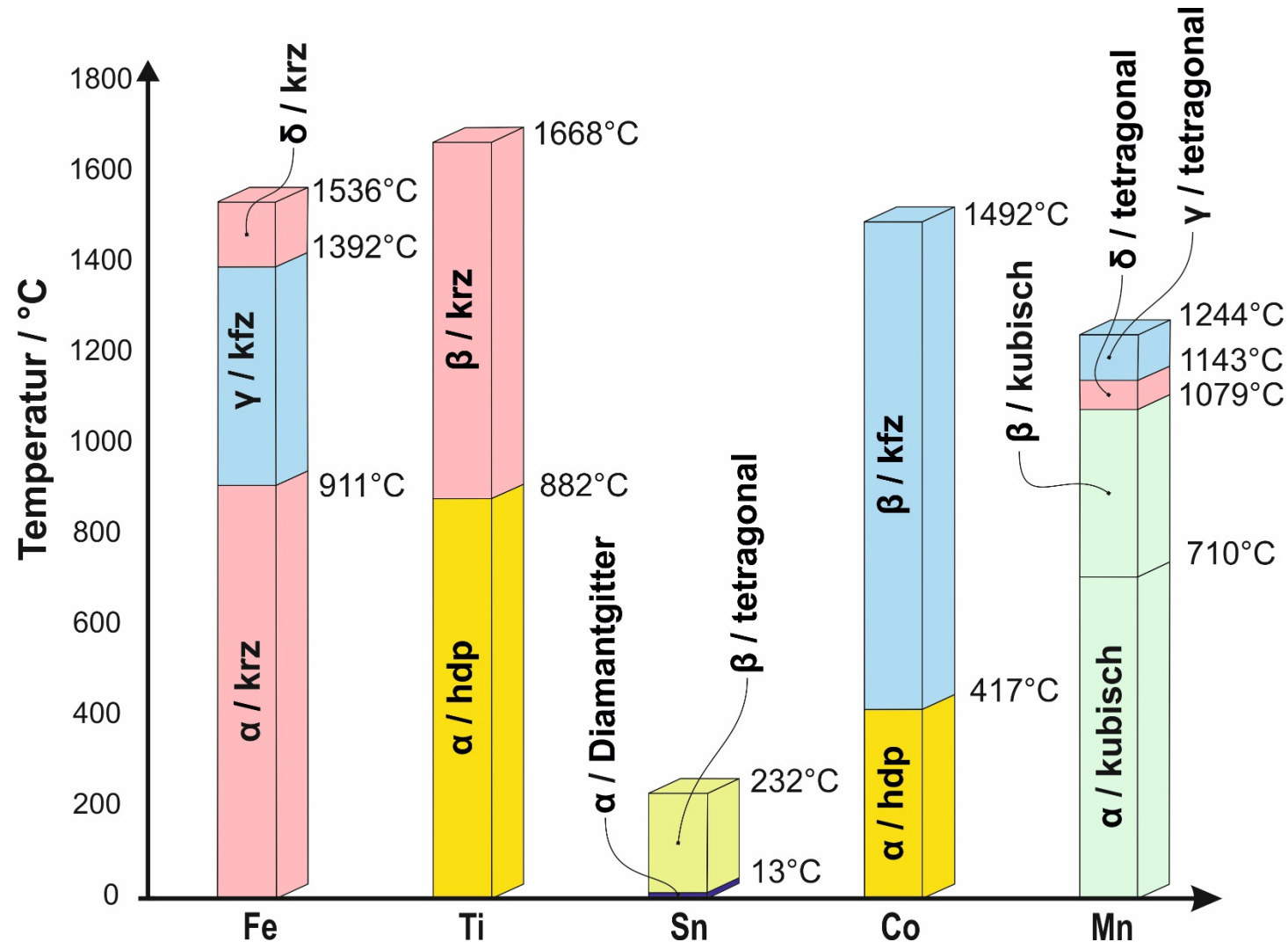
Polymorphie (Allotropie)

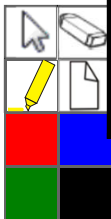
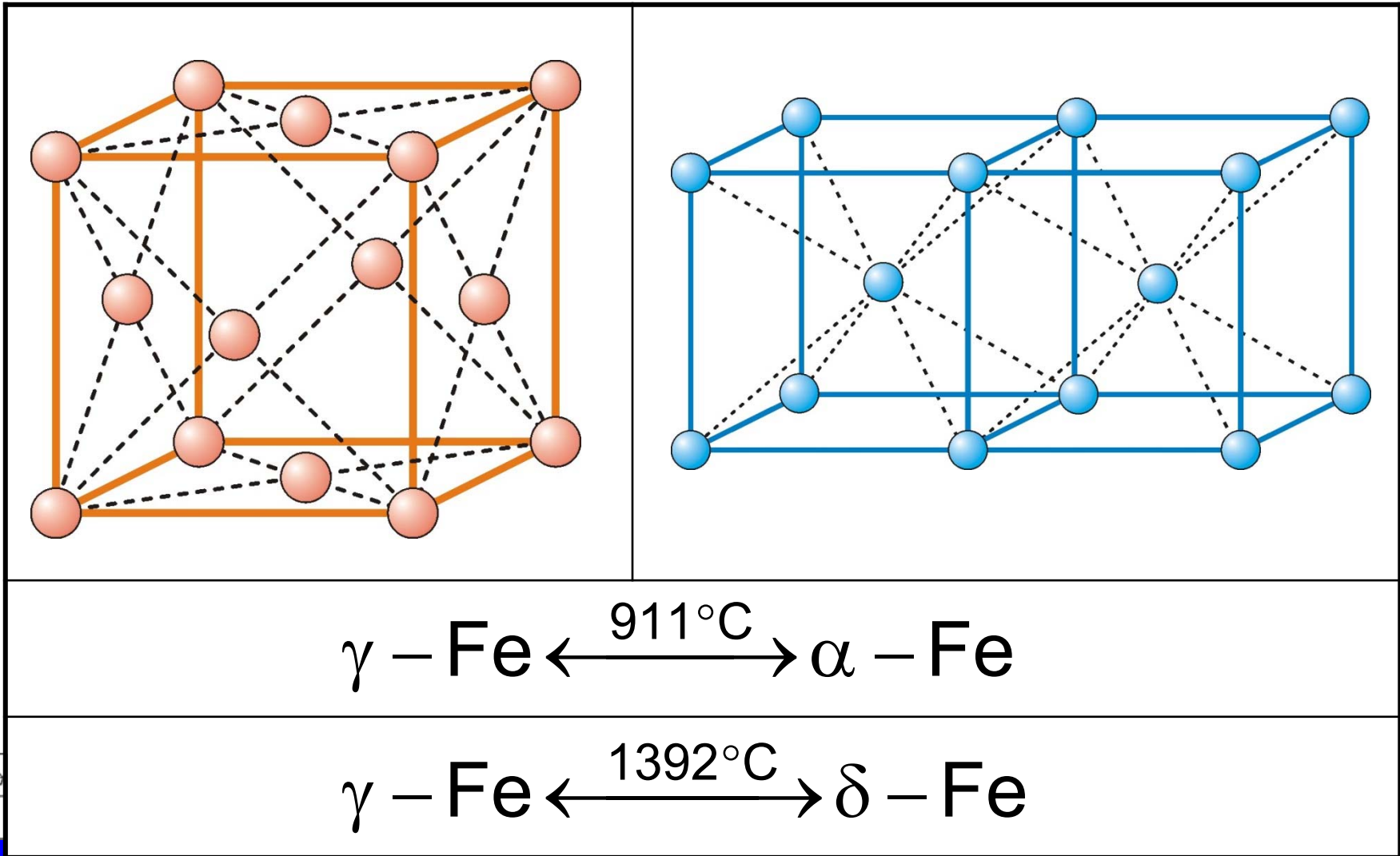
Definition: Umwandlung in ein anderes Atomgitter bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur.

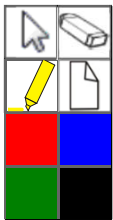
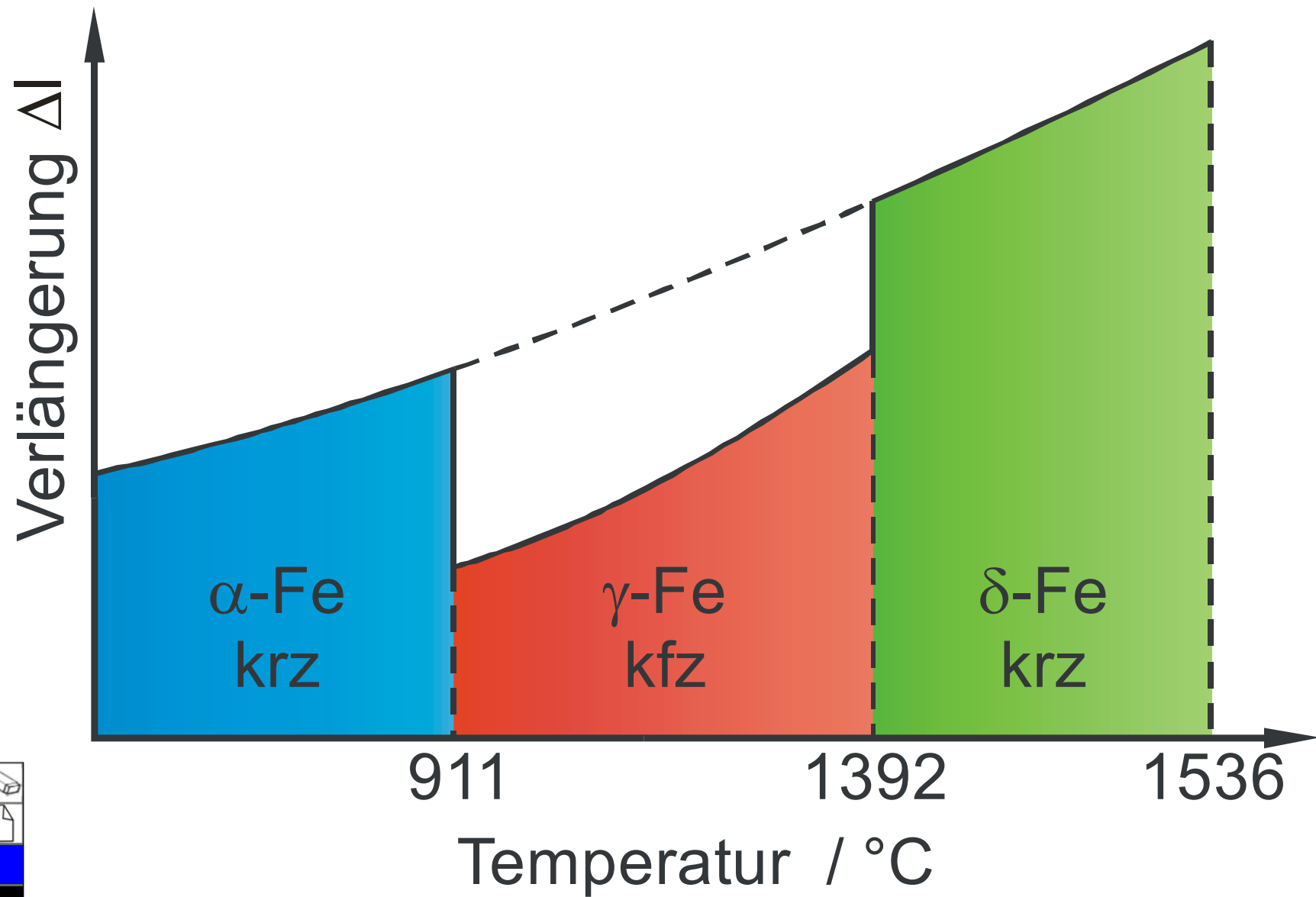
- Änderung:**
- des spezifischen Volumens
 - der mechanischen Eigenschaften
 - der meisten physikalischen Eigenschaften



Modifikation von Metallen bis zum Schmelzpunkt



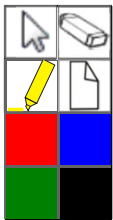


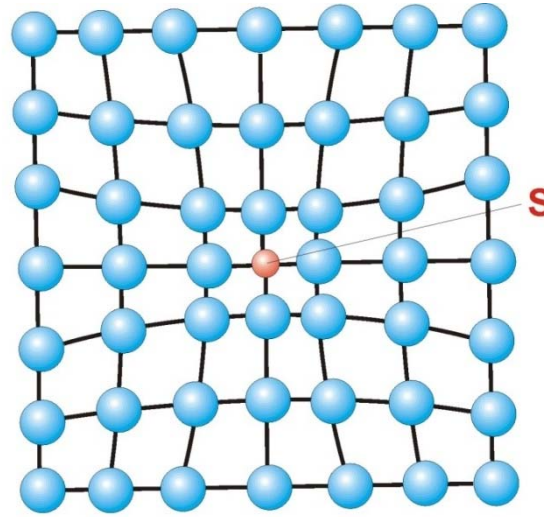
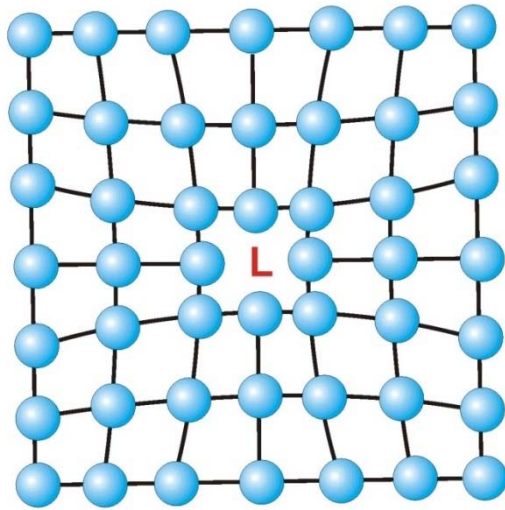


Die Gitterfehler können nach ihrer geometrischen Erscheinungsform geordnet werden:

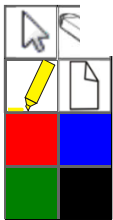
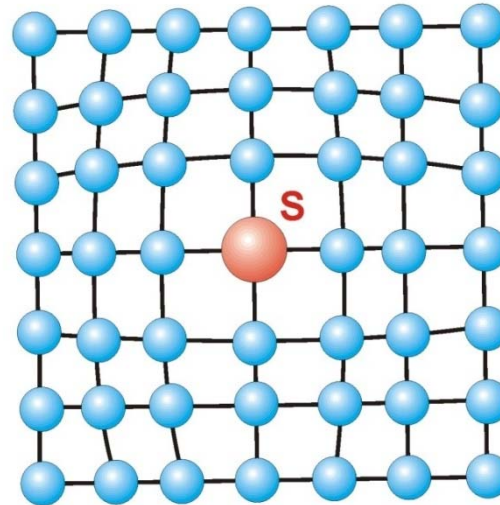
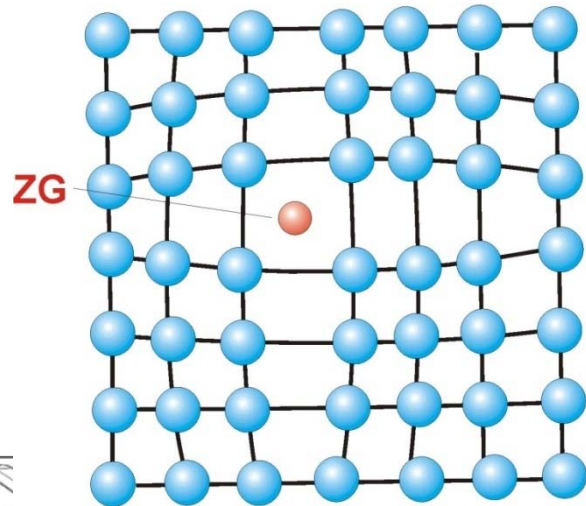
- nulldimensional (**Punktfehler**)
- eindimensional (**Linienfehler**)
- zweidimensional (**Flächenfehler**)
- dreidimensional (**räumliche Fehler**)

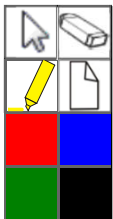
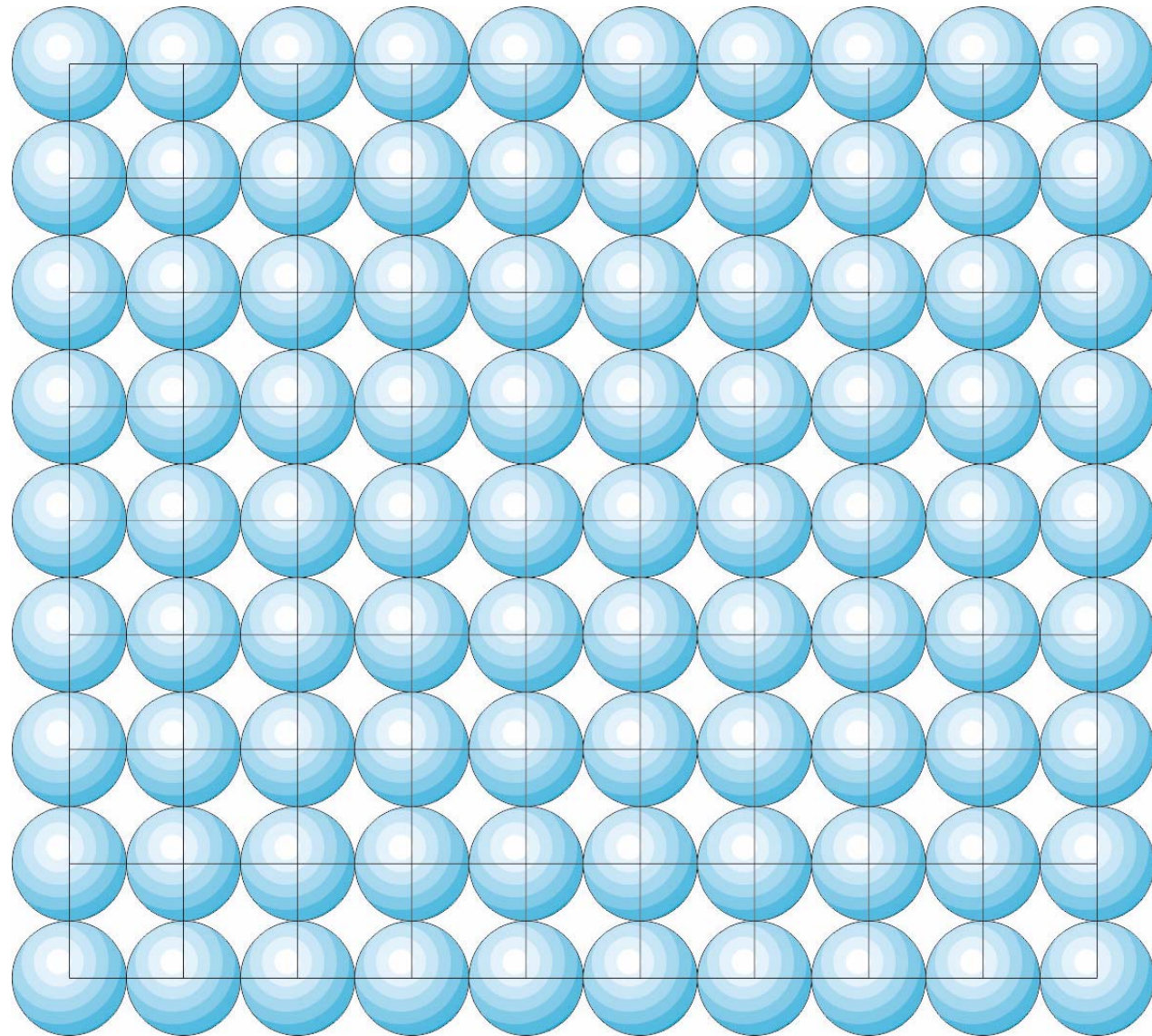
Die Gitterfehler beeinflussen die mechanischen Eigenschaften in starkem Maße, da die plastische Verformung erst durch die Bewegung von Versetzungen ermöglicht wird.

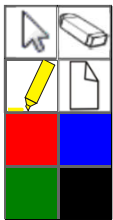


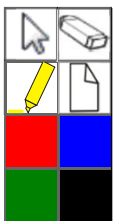
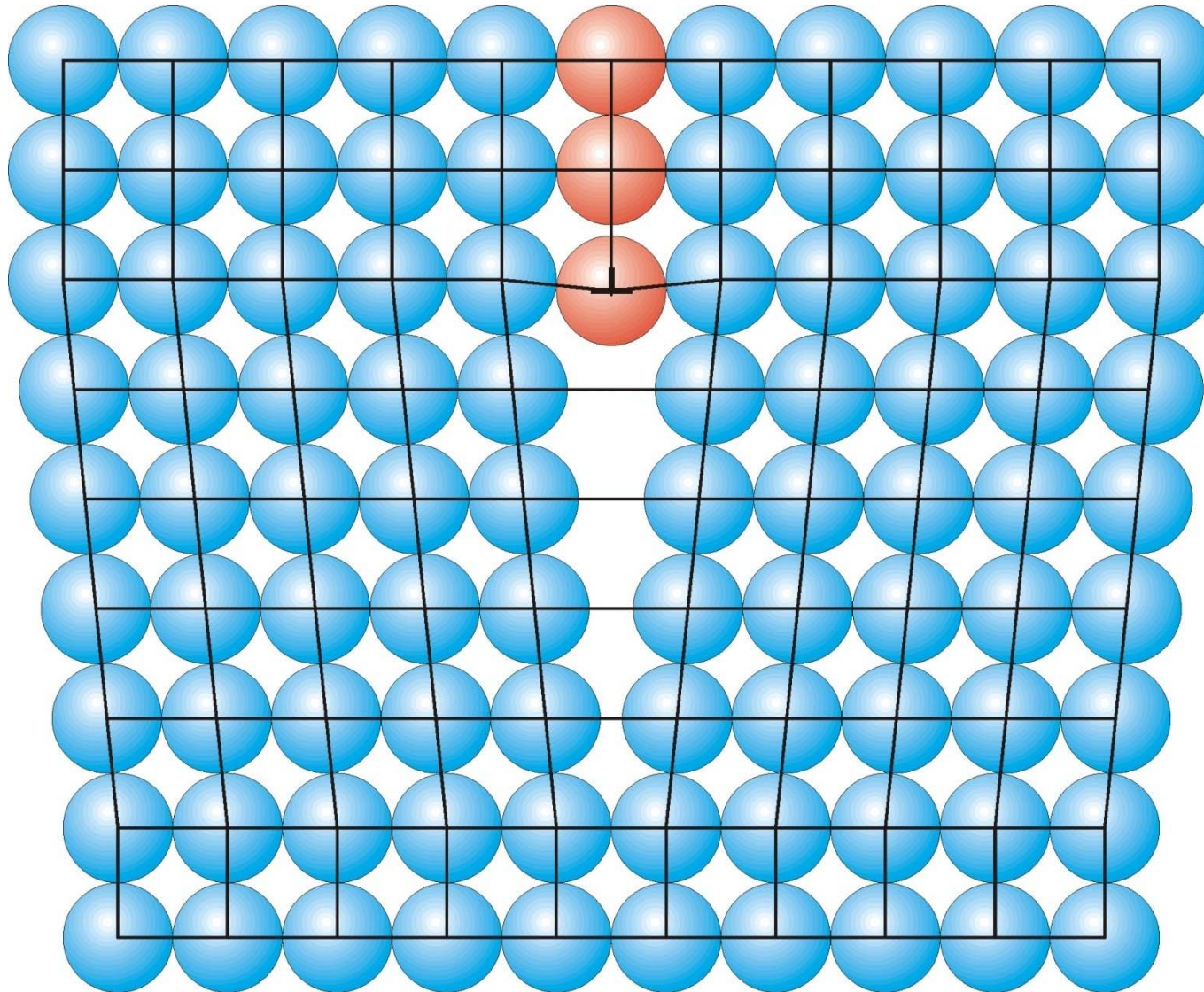


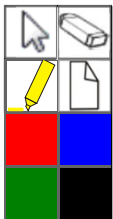
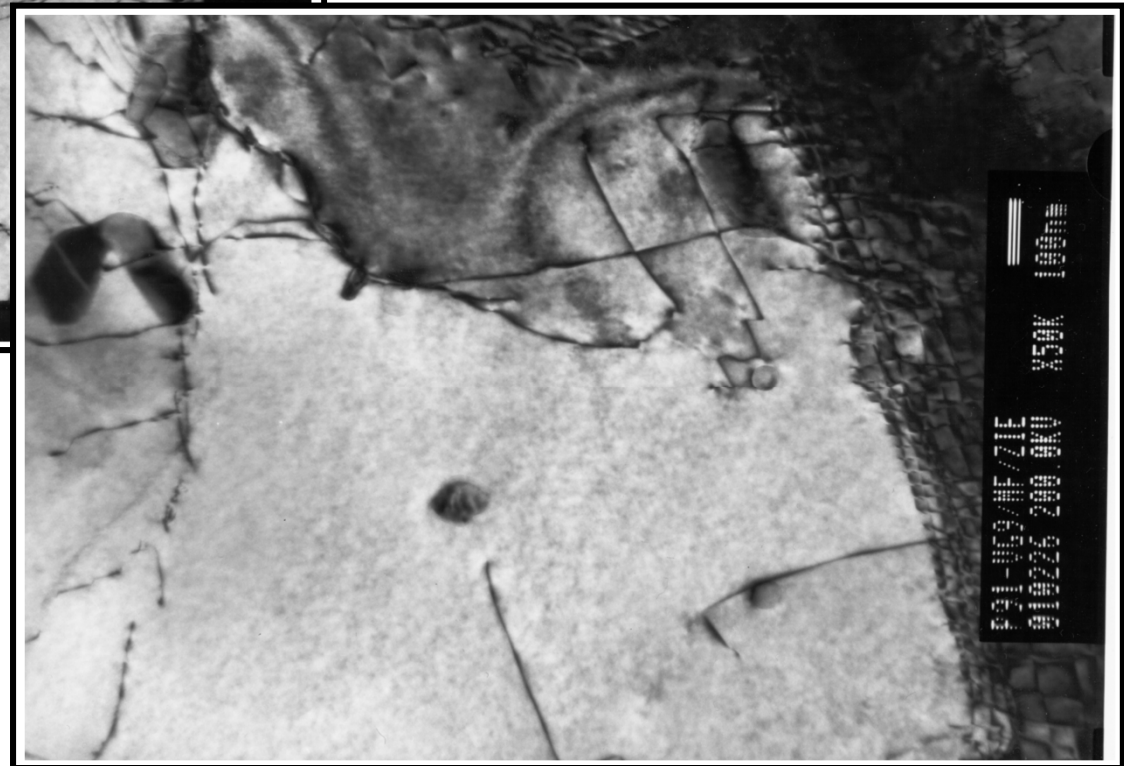
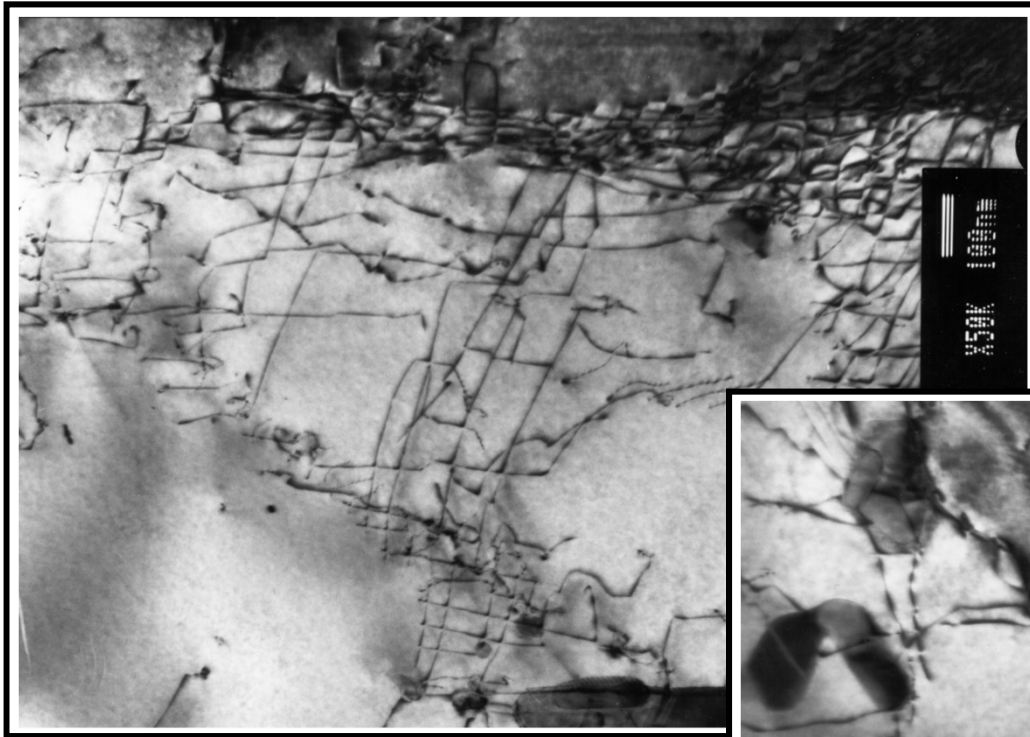
L: Leerstelle
 ZG: Zwischengitteratom
 S: Substitutionsatom

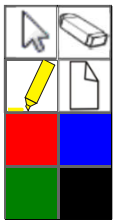
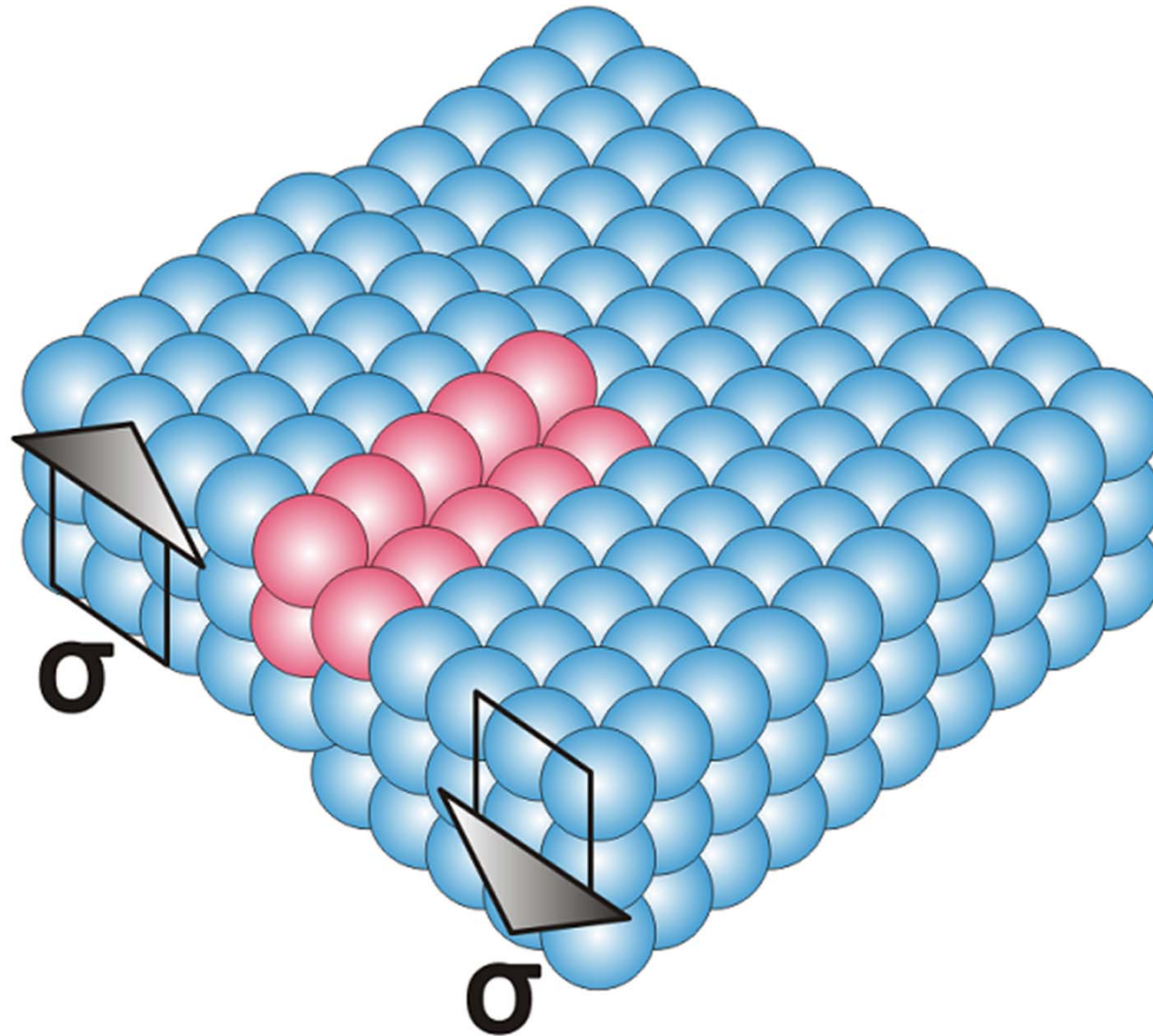


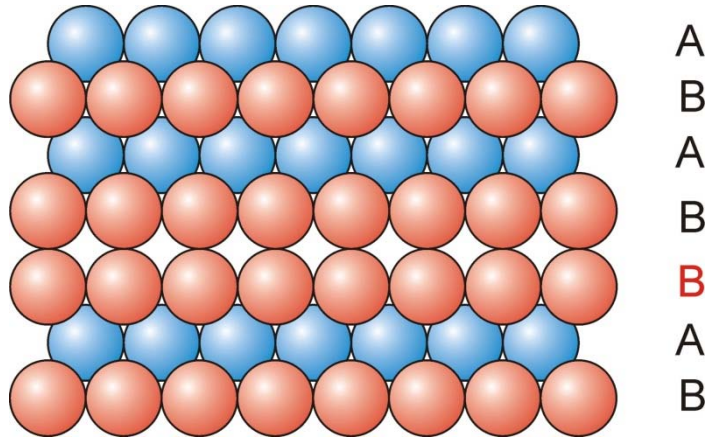




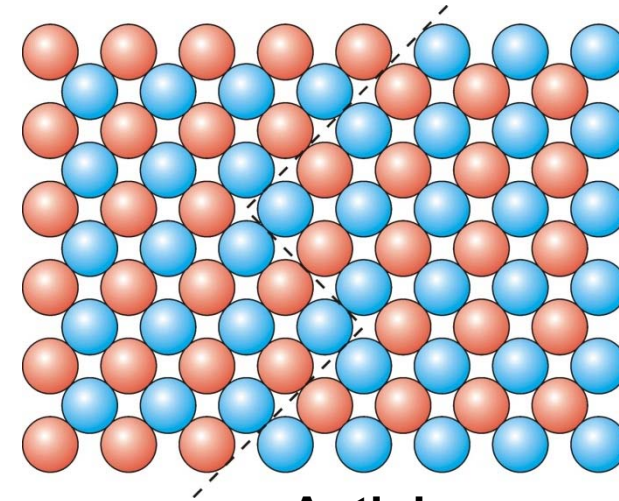




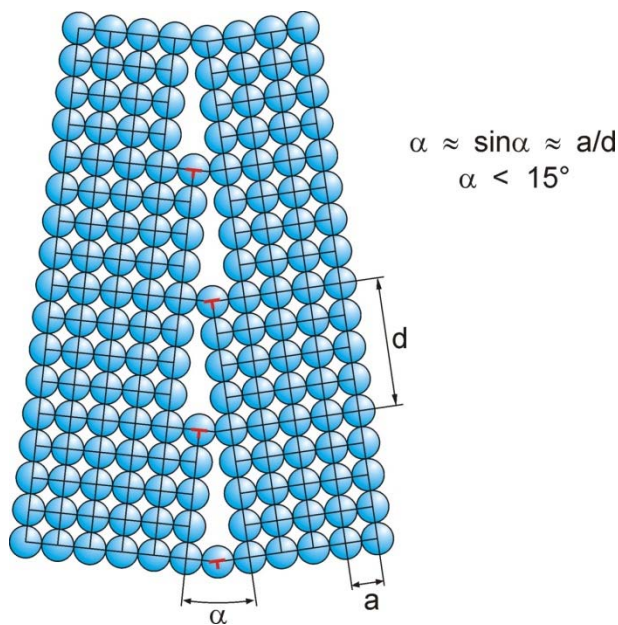




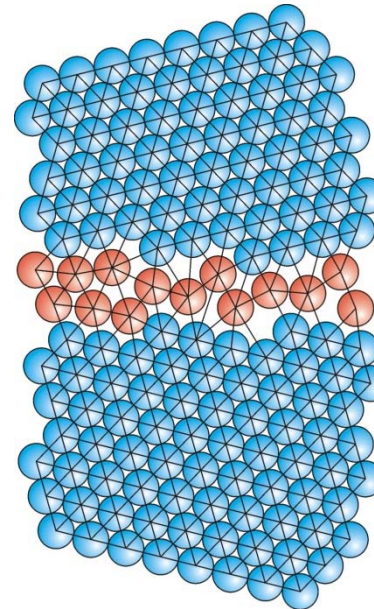
Stapelfehler



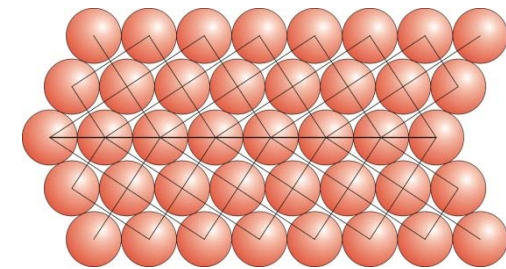
Antiphasengrenze



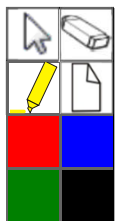
Kleinwinkelkorngrenzen

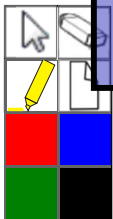
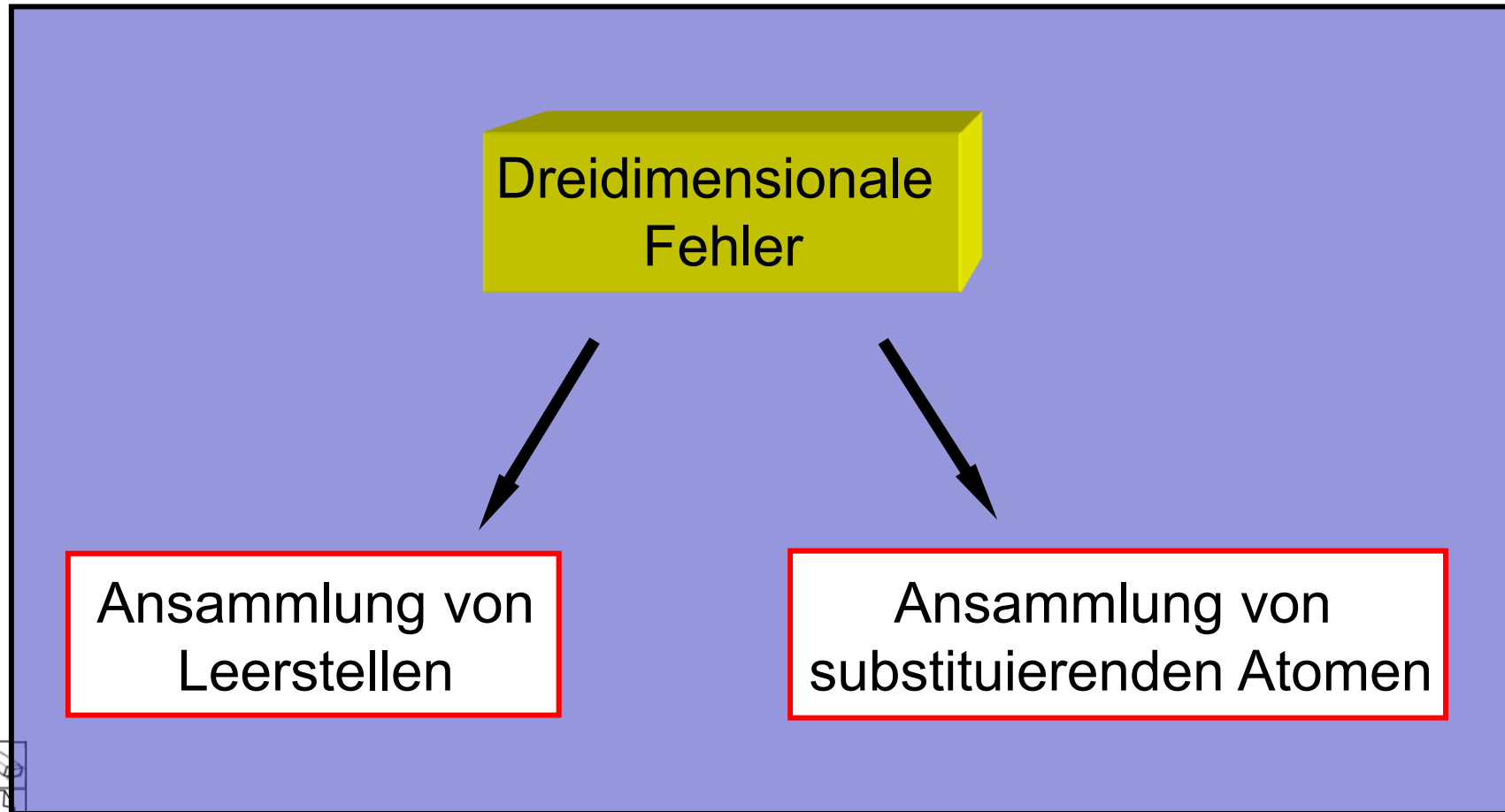


Großwinkelkorngrenzen



Zwillingsgrenze



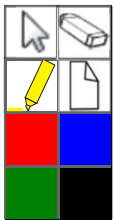


2. Metallegierungen

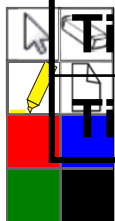


Technische Metalle bestehen in der Regel nicht nur aus 1 chemischen Element, sondern aus 2 oder mehreren chemischen Elementen:

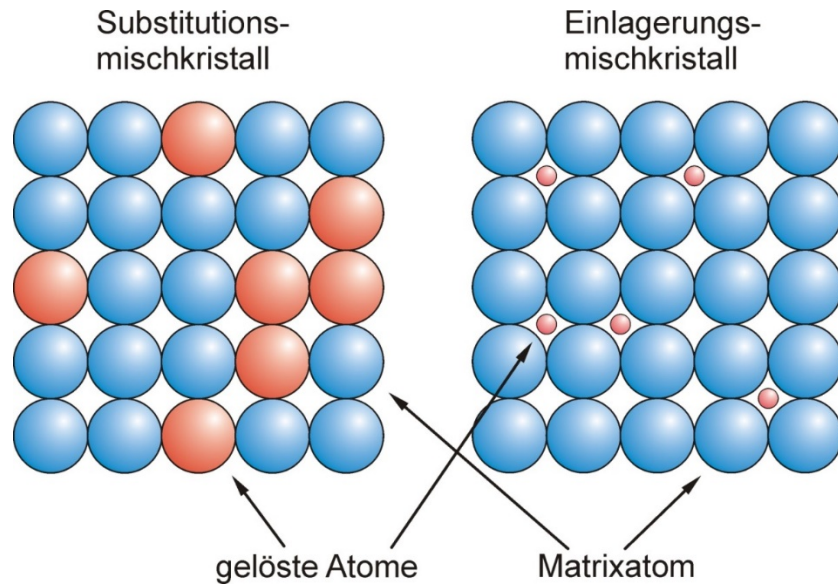
→ Legierung



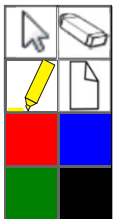
Kurzbezeichnung	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A _{min} [%]
Reinst- Titan (99,9 Ti)	140	235	50
Grade 1 (Rein Ti:0,15% Fe-0,12%O)	170	240	24
Grade 2 (Rein Ti:0,2% Fe-0,18% O)	275	345	20
Grade 3 (Rein Ti:0,25% Fe-0,25% O)	380	450	18
Grade 4 (Rein Ti:0,3% Fe-0,35% O)	485	550	15
Ti-5Al-2,5Sn	827	861	15
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Sn	990	1100	13
Ti-10V-2Fe-3Al	1000-1200	1000-1400	6-16
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4,5Sn	800-1200	900-1300	6-16
Ti-6Al-4V	800-1100	900-1200	13-16
Ti-3Al-2,5V	min. 485	min. 620	



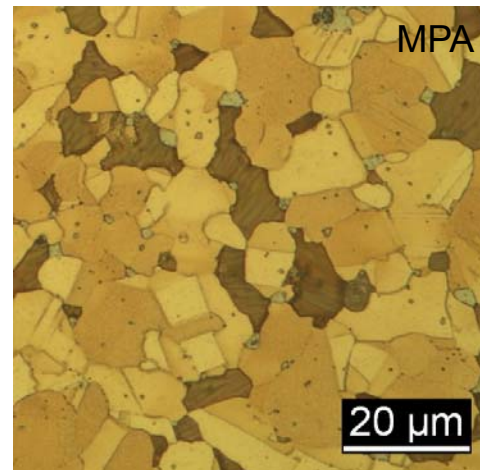
Löslichkeit



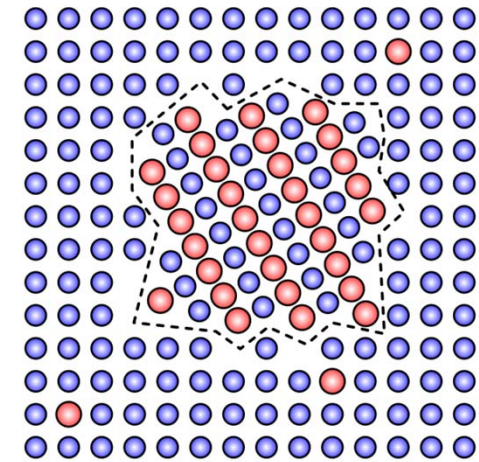
Mischkristall



Unlöslichkeit



Zweiphasiges Gefüge

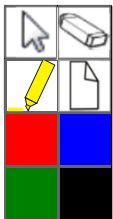
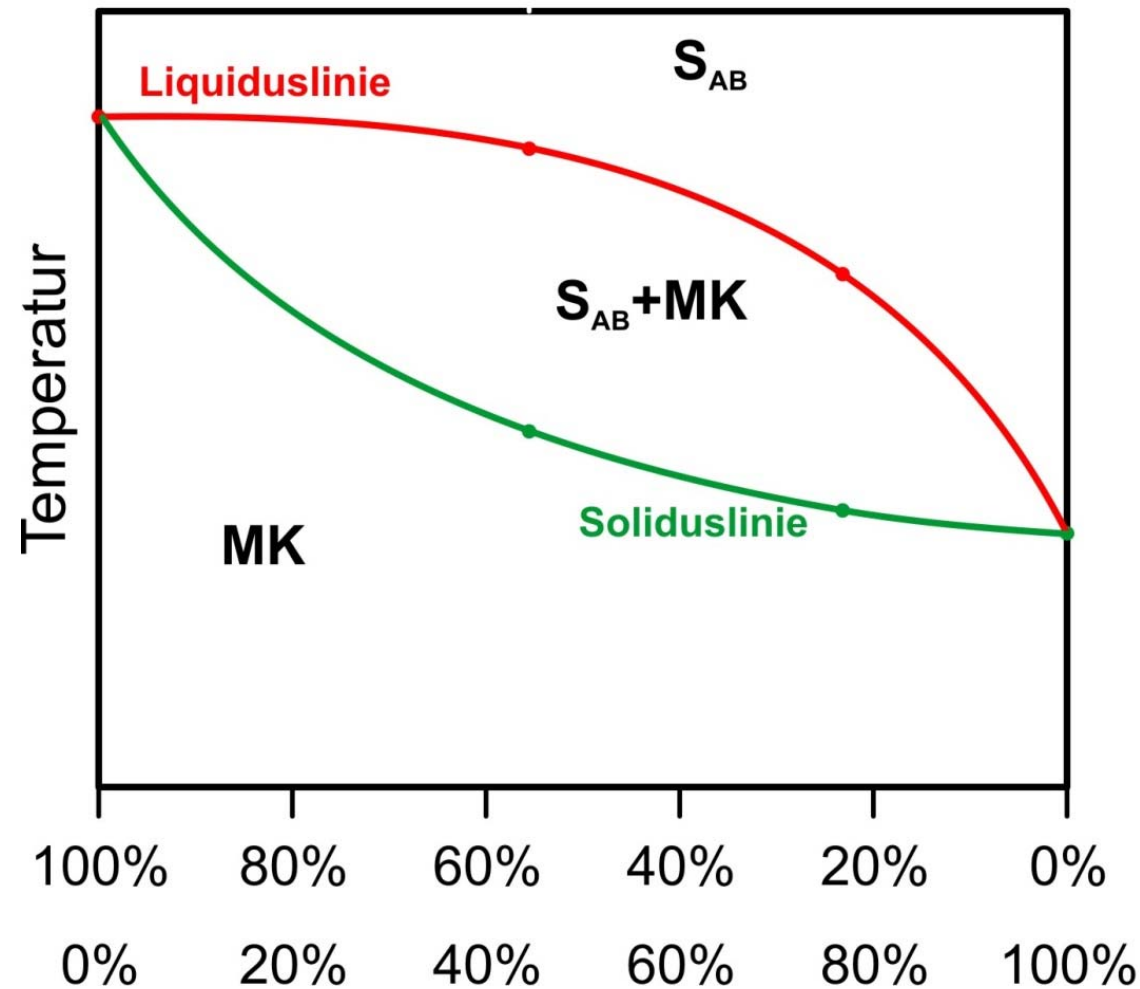


Ausscheidung

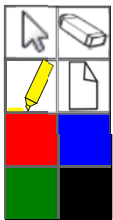
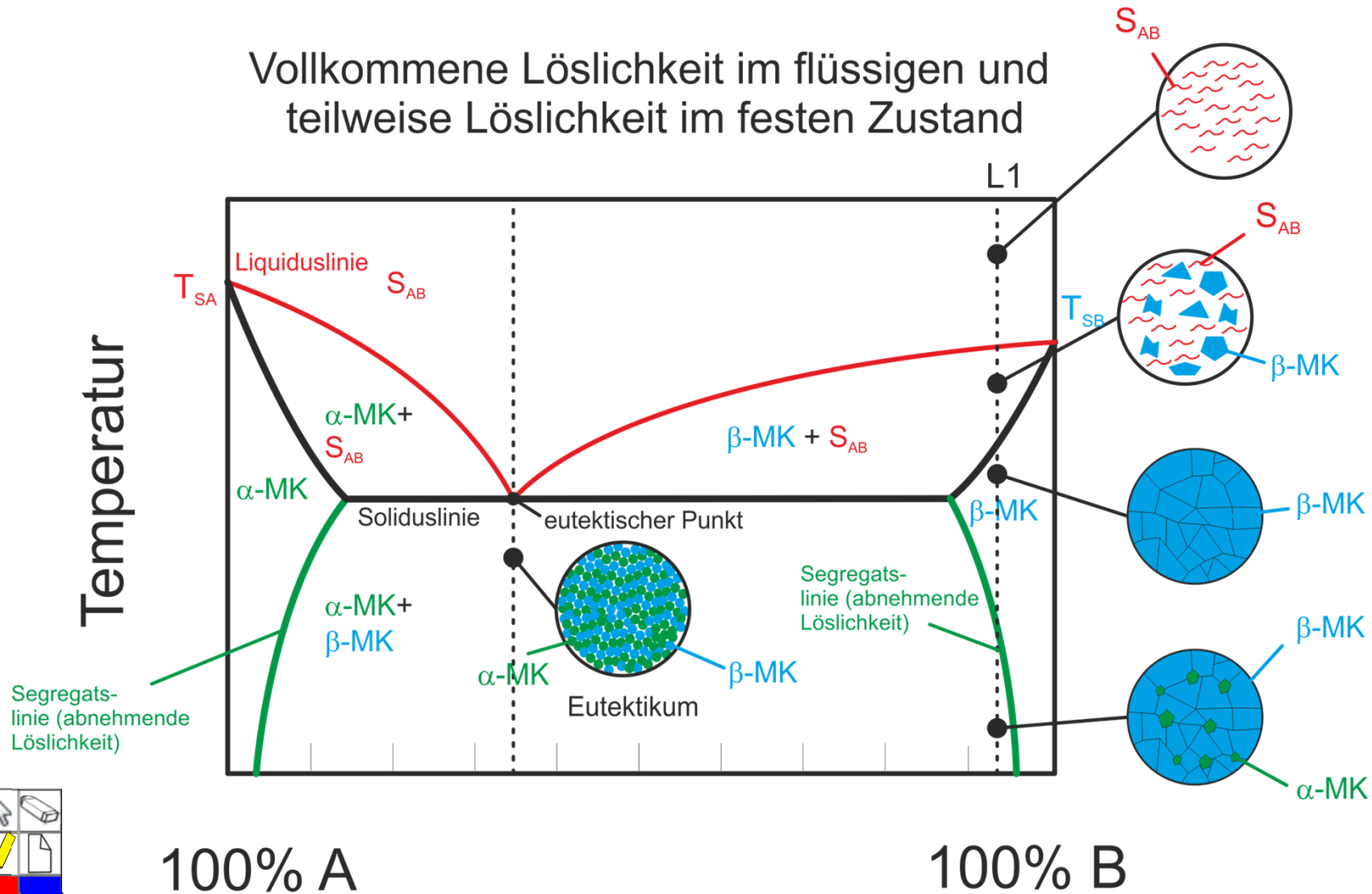
Mischkristall - Ausscheidung

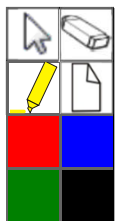
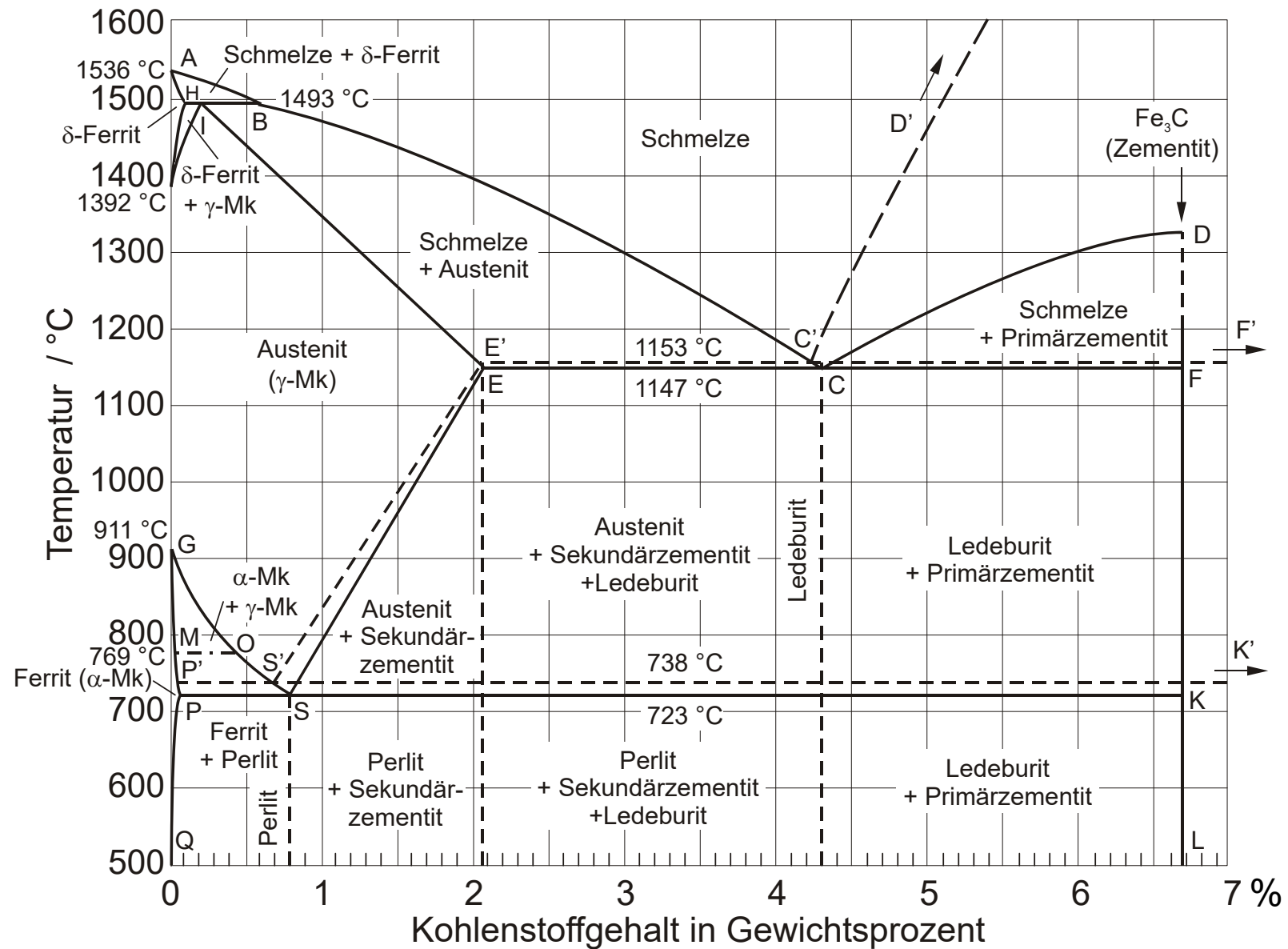
Vollständige Löslichkeit im festen und flüssigen Zustand:

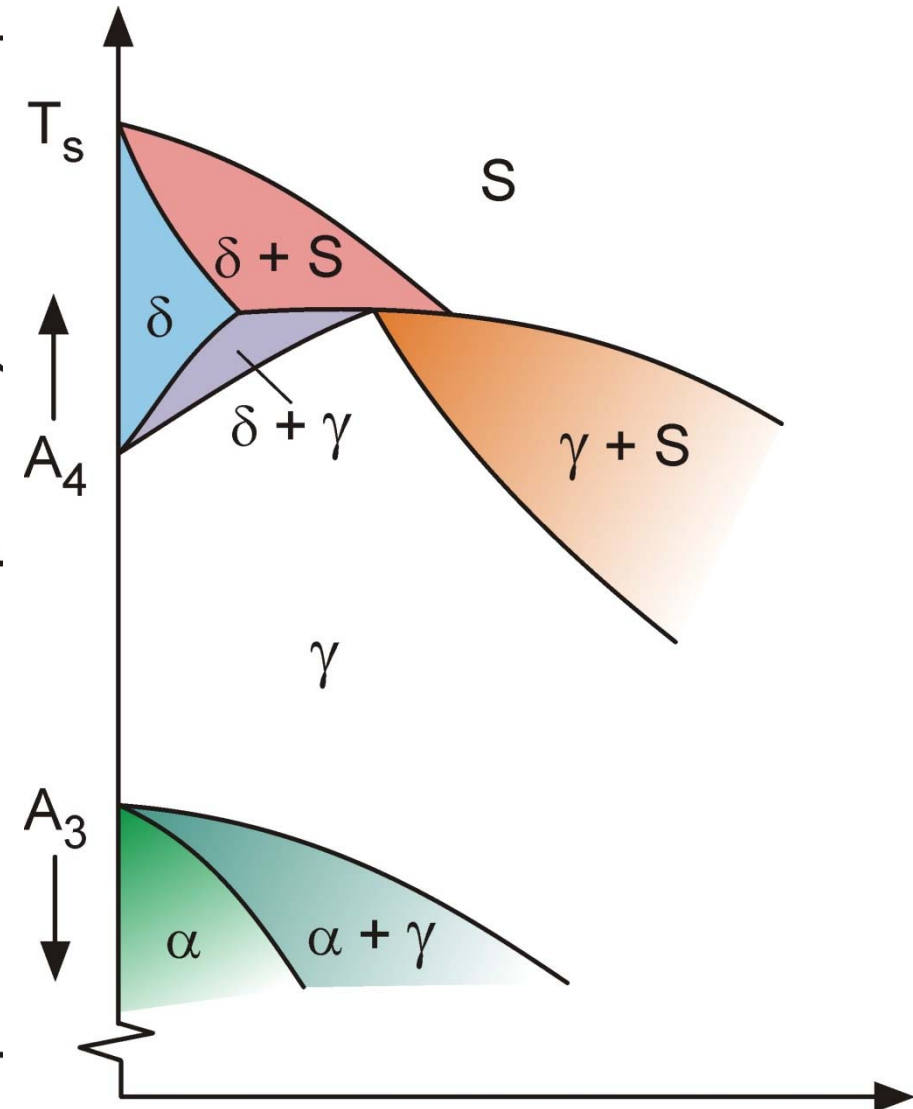
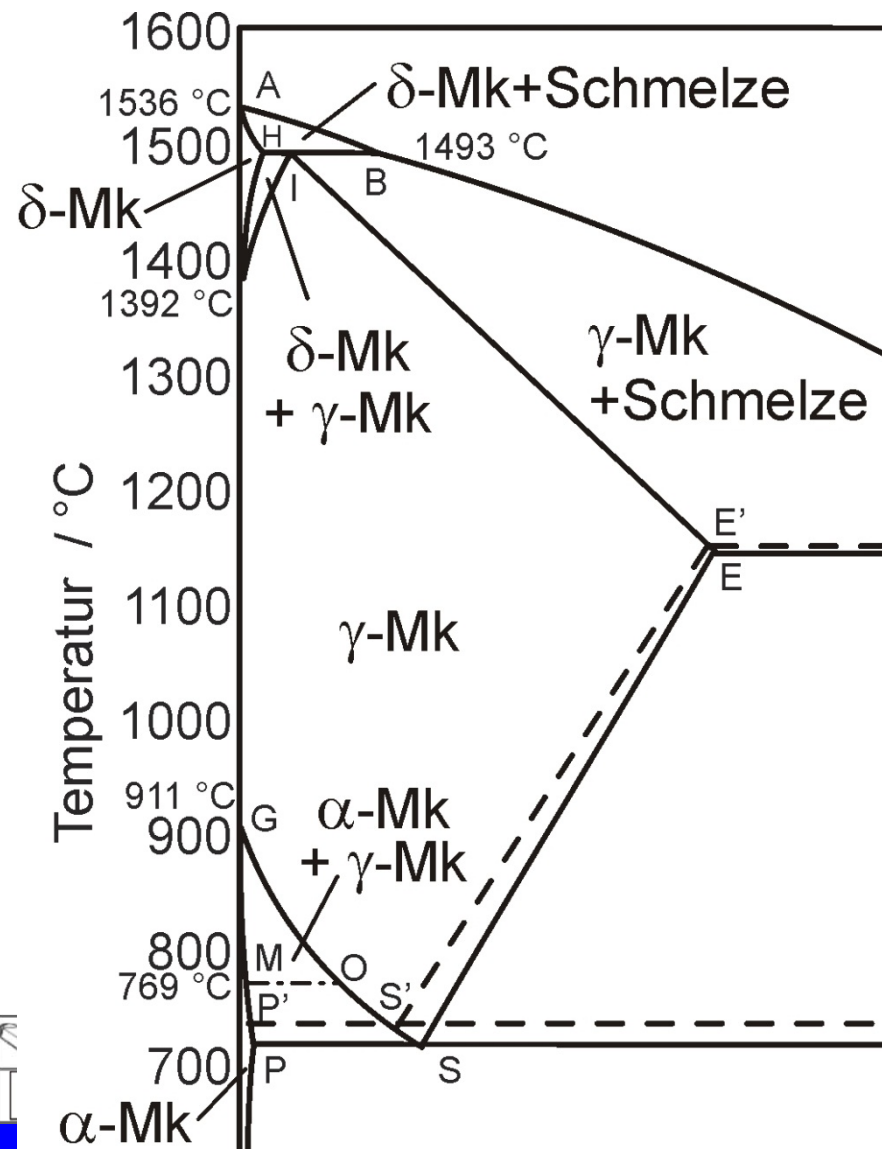
- Legierung aus zwei Komponenten
- Diagramm gilt nur für unendlich langsame Abkühlung



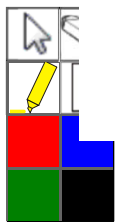
Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und teilweise Löslichkeit im festen Zustand





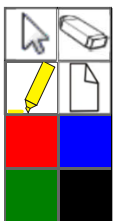


γ- stabilisierende Elemente: C, Mn, Ni, Cu, N, Co, Zn



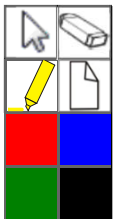
3. Mechanisches Verhalten von Metallen

- 3.1. Einleitung
- 3.2. Reversible Verformung
- 3.3. Irreversible Verformung
- 3.4. Zyklische Belastung



Festigkeitskennwerte eines Werkstoffes:

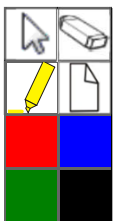
- Streckgrenze
- Zugfestigkeit
- Zeitstandfestigkeit
- Schwingfestigkeit
- Bruchzähigkeit
- ...



Je nach Anwendung wird ein **Sicherheitsbeiwert** S_F oder S_B bzw. S_D festgelegt.

3. Mechanisches Verhalten von Metallen

- 3.1. Einleitung
- **3.2. Reversible Verformung**
- 3.3. Irreversible Verformung
- 3.4. Zyklische Belastung

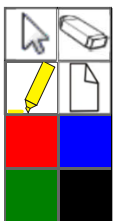


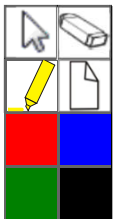
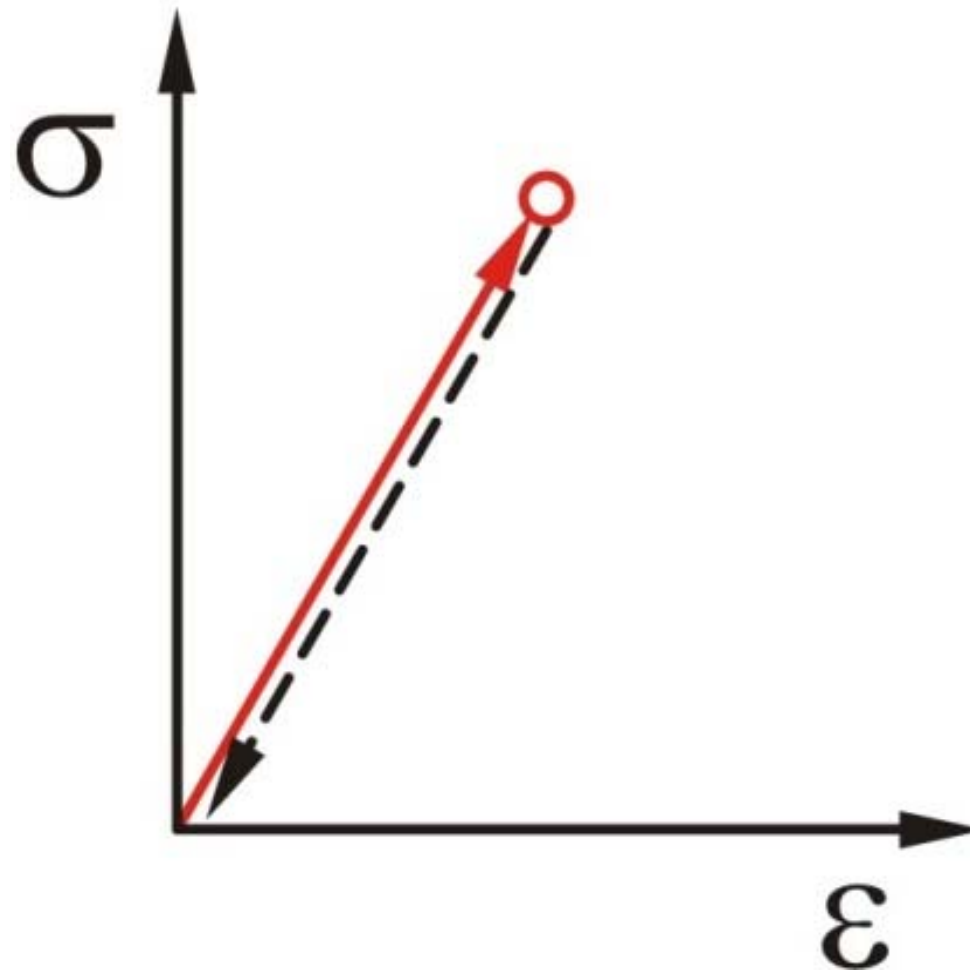
Reversible Verformung

Beim Entlasten werden die **Formänderungen** sofort oder mit Verzögerung vollständig abgebaut,

⇒ **Endzustand = Ausgangszustand**

- Beispiele :**
- elastisches Verhalten
 - hyperelastisches Verhalten
 - anelastisches Verhalten

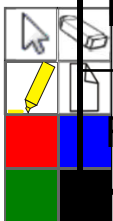


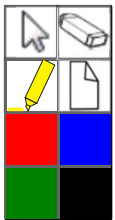
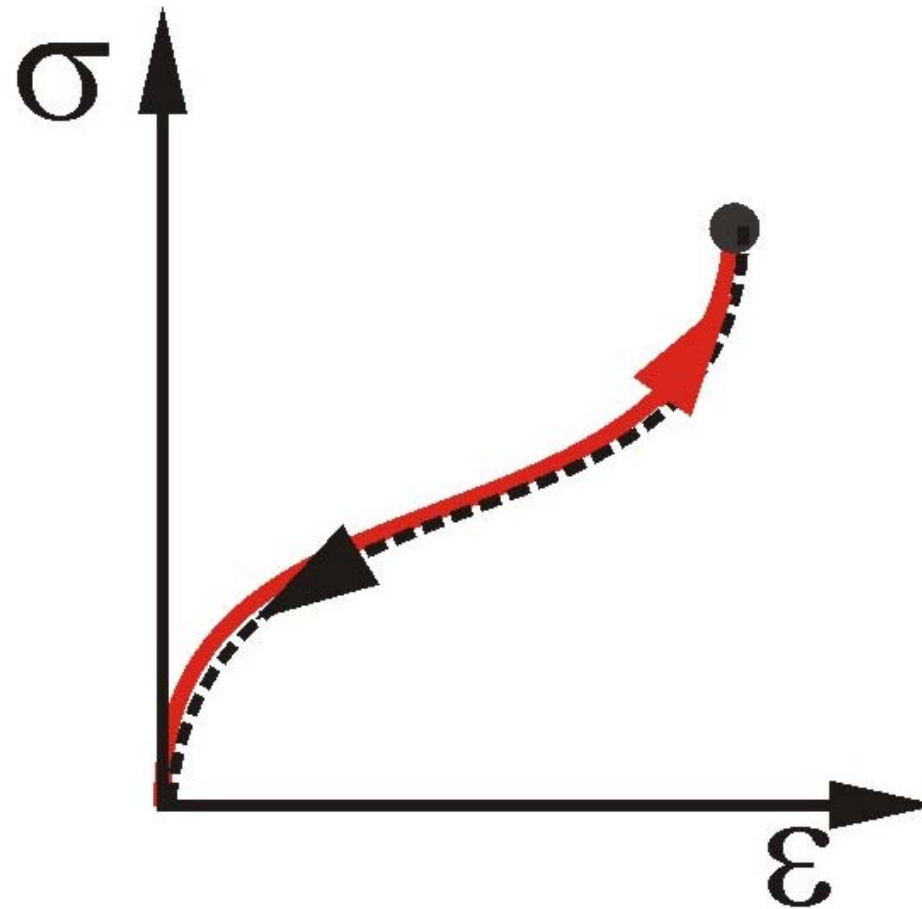


$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Beispiel: Stab 400 mm lang, Ø 5 mm

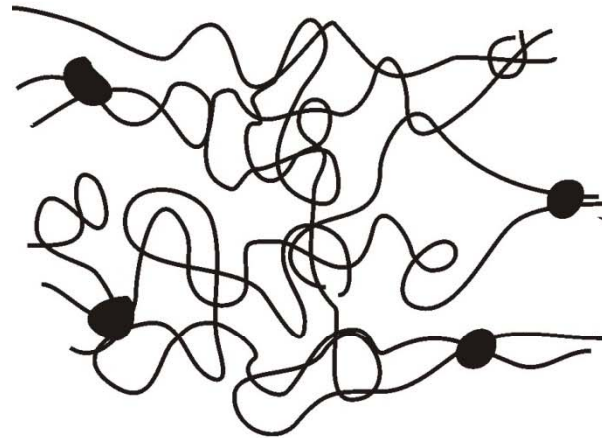
Werkstoff	E-Modul / MPa = N/mm ²	Quer- kontraktions- zahl μ / -	Last / kN	Spannung / MPa	Dehnung / %	Δl / mm
Eisen	210 000	0,29	≈ 2	100	0,05	
Aluminium	70 000	0,35	≈ 2	100	0,14	
Kupfer	110 000	0,35	≈ 2	100	0,09	
Blei	18 000	0,44	≈ 2	100	0,56	
Gummi	100	≈ 0,5	≈ 2	100	100,0	
Polyethylen	2 000	≈ 0,4	≈ 2	100	5,00	
Fensterglas	70 000	0,18 .. 0,3	≈ 2	100	0,14	





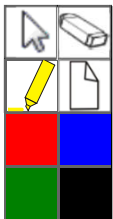
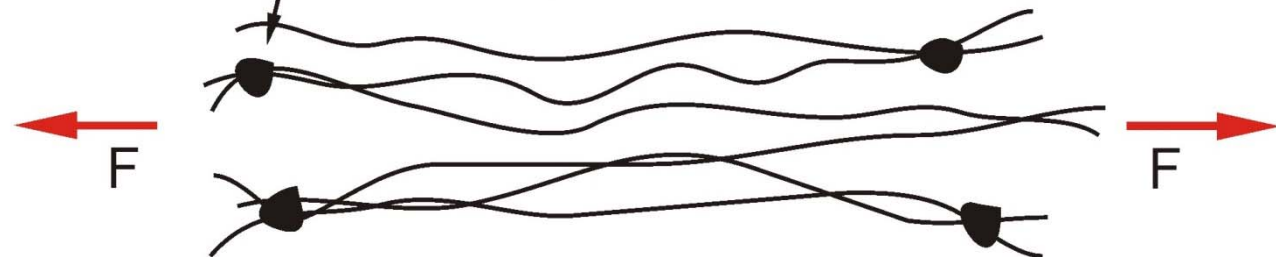
Elastomere

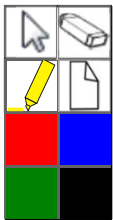
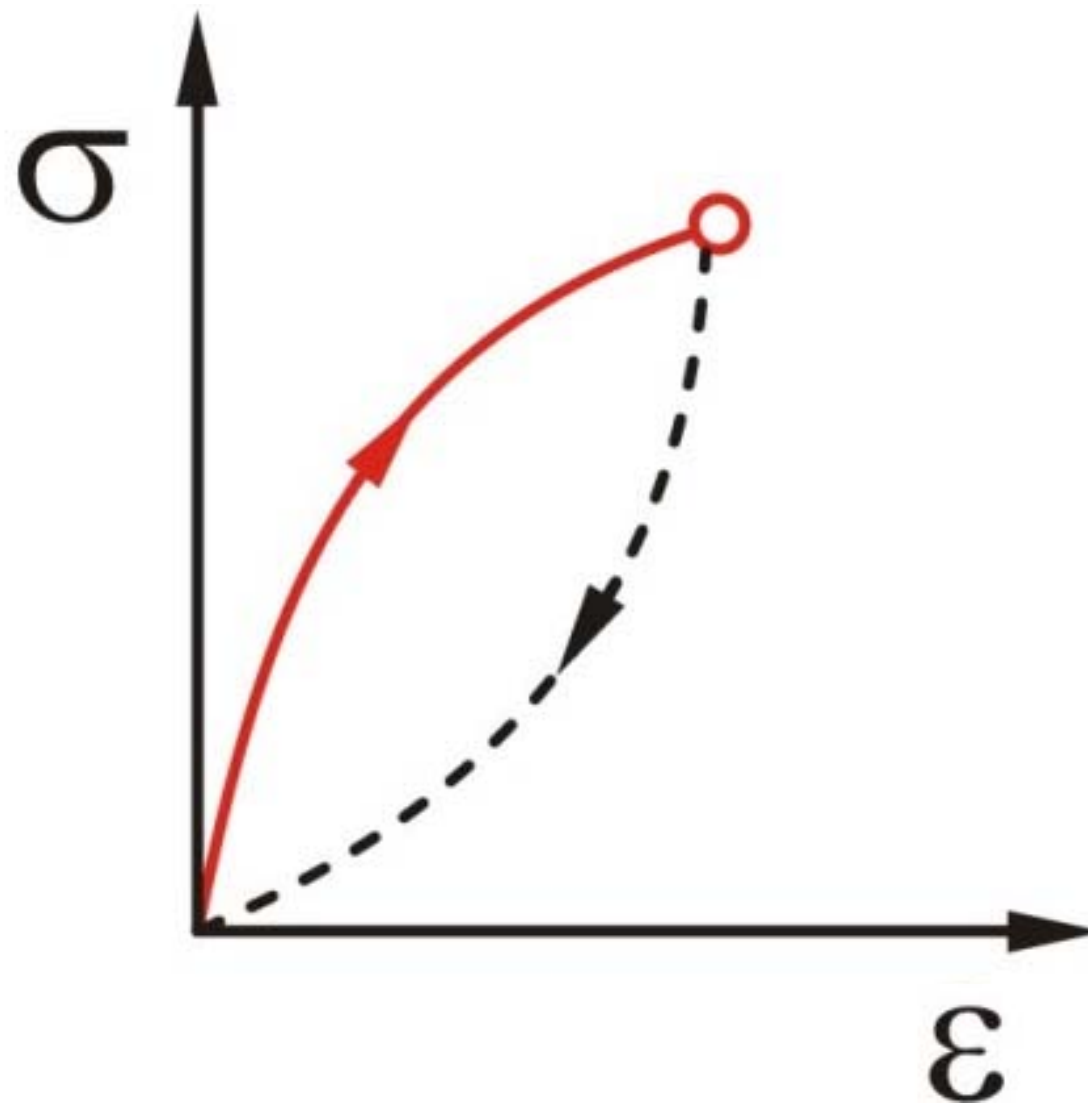
ungedehnt



Vernetzungsstellen

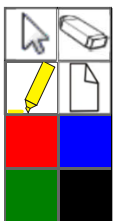
gedehnt





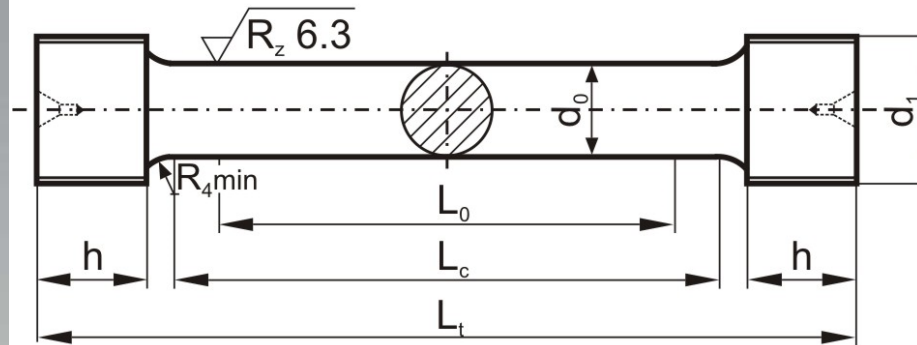
3. Mechanisches Verhalten von Metallen

- 3.1. Einleitung
- 3.2. Reversible Verformung
- **3.3. Irreversible Verformung**
- 3.4. Zyklische Belastung





Zugprobe DIN 50125-B14*70



d_0 : Probendurchmesser

L_0 : Anfangsmesslänge ($L_0 = 5d_0$)

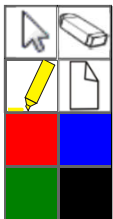
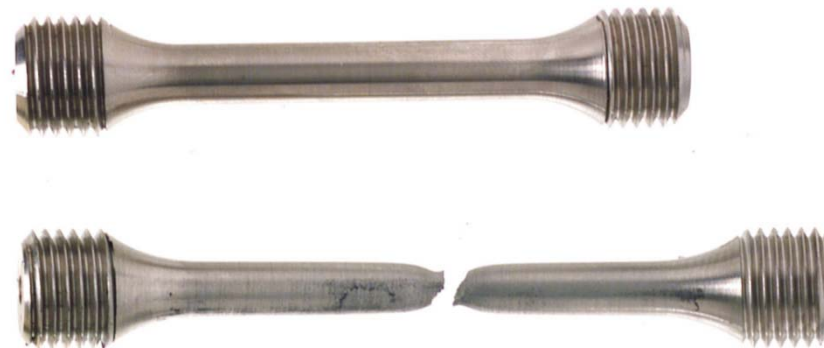
d_1 : metrisches ISO-Gewinde

L_c : Versuchslänge ($L_c > L_0 + d_0$)

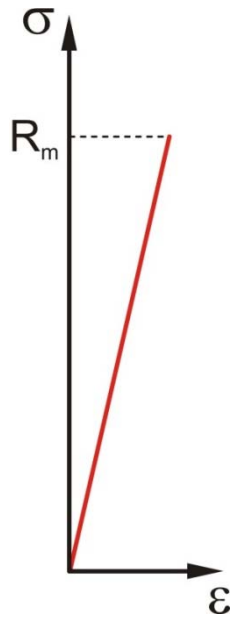
h : Kopfhöhe

L_t : Gesamtlänge

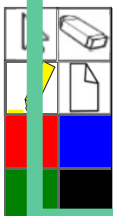
Bezeichnung einer Zugprobe (Form B) mit Probendurchmesser $d_0 = 14$ mm und Anfangsmesslänge $L_0 = 70$ mm:



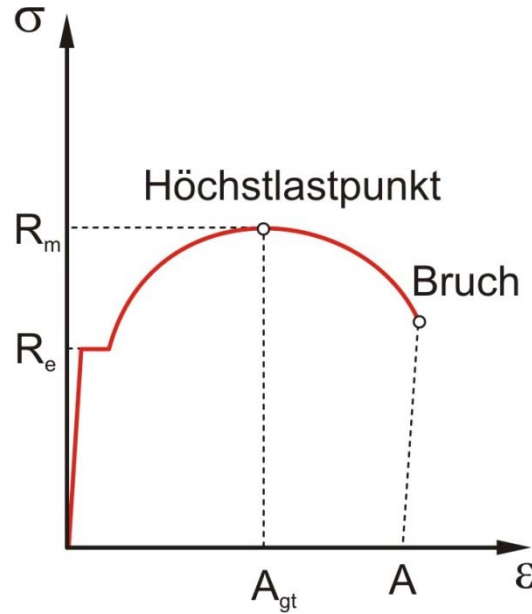
Spröde Werkstoffe



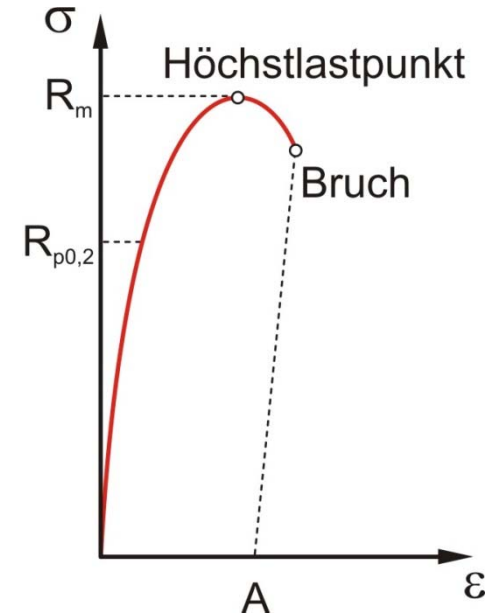
Trennbruch
(Normalspannungsbruch)



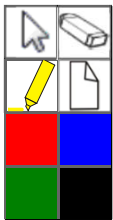
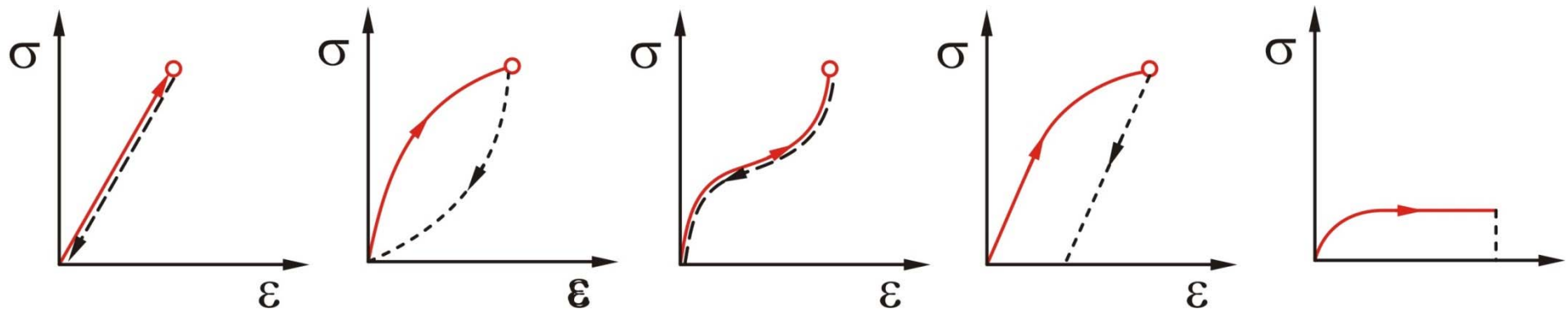
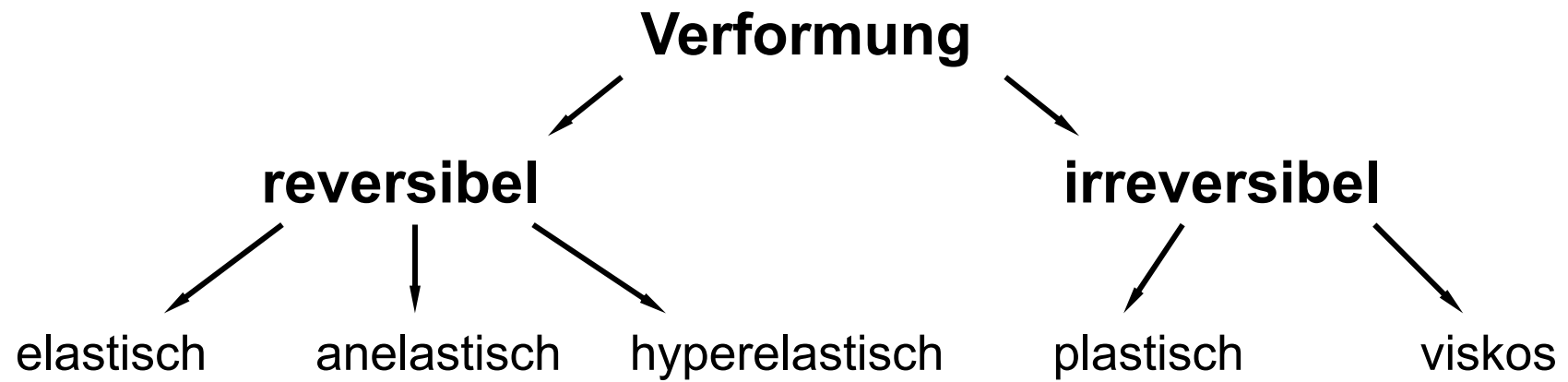
Duktile/zähe Werkstoffe



Mischbruch



Gleit-oder
Schiebungsbruch

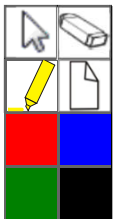


Was ist Härte:

Die Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegenbringt.

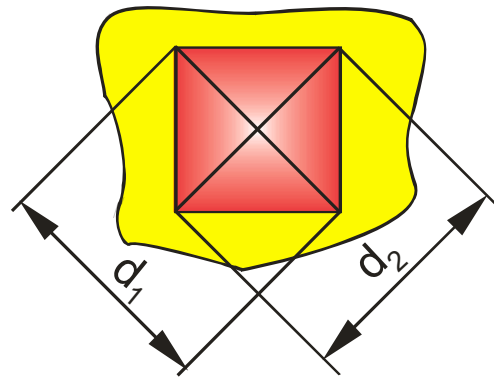
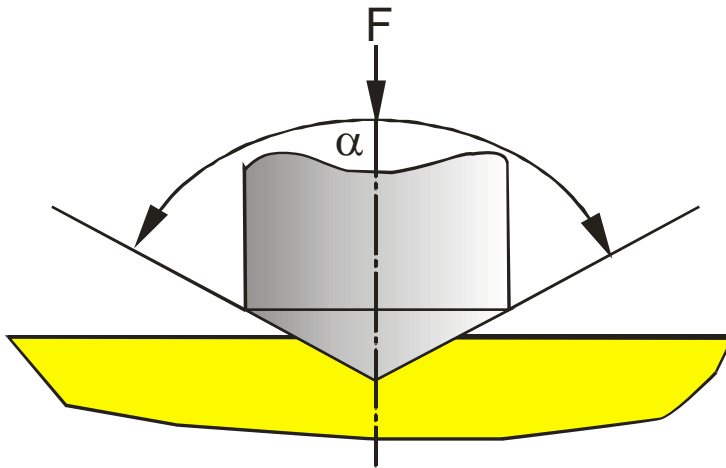
Methoden der Härteprüfung:

- Ritzhärteprüfung
- Eindringhärteprüfung
- Rückprallhärteprüfung
- Schlagprüfung

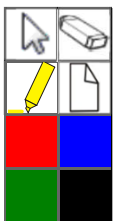


Härteprüfung nach Vickers

(Eindringkörper = Diamantpyramide)



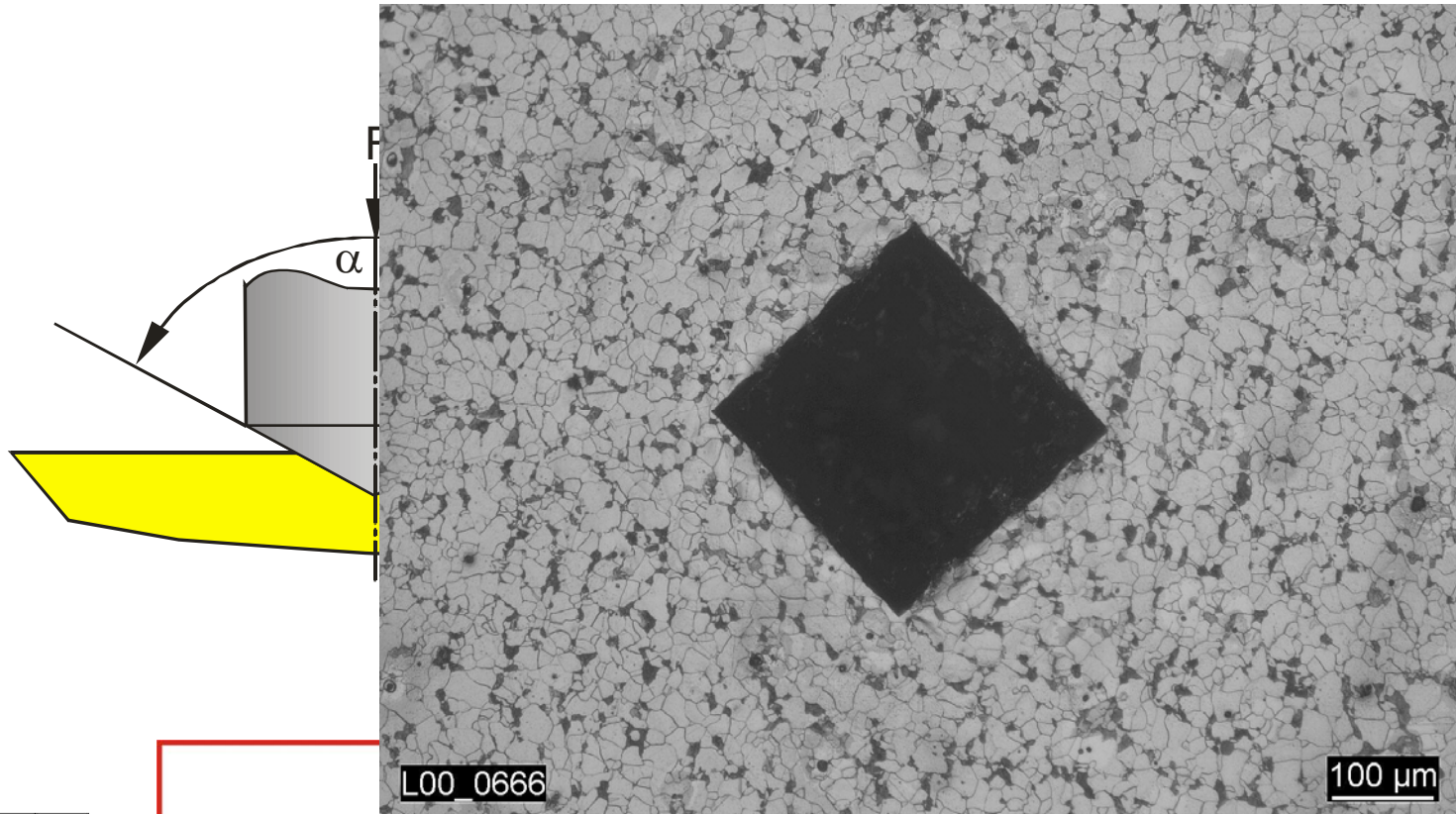
$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



$$\text{Härtewert HV} = \text{Konstante} \cdot \frac{\text{Kraft}}{\text{Oberfläche des Eindrucks}} = \frac{1}{g_n} \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \cdot \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

F [N]; d [mm]

Härteprüfung nach Vickers (Eindringkörper = Diamantpyramide)



The diagram on the left illustrates the Vickers hardness test principle. It shows a diamond pyramid indenter with a square base and a 136° angle between its opposite faces. A force F is applied vertically to the apex. The angle α is shown between the indenter face and the vertical. The indenter is shown in yellow, and the material being tested is in grey. The resulting impression is a square on the surface.

The micrograph on the right shows a diamond pyramid impression on a metal surface. The impression is a dark square. The surface has a grainy texture. A scale bar in the bottom right corner of the micrograph indicates 100 μm . The label 'L00_0666' is in the bottom left corner of the micrograph.

The formula for the average diagonal length d is:

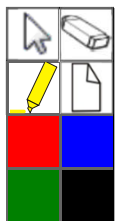
$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

The formula for the Vickers hardness value HV is:

$$\text{Härtewert HV} = \text{Konstante} \cdot \frac{\text{Kraft}}{\text{Oberfläche des Eindrucks}} = \frac{1}{g_n} \cdot \frac{F \cdot \sin \cdot \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

Below the formula, the units for F and d are specified:

F [N]; d [mm]



Kurzbezeichnungen:

Vickers: 350 HV 50 / 20

Zeit [s] (falls nicht zwischen 10 und 15 s)

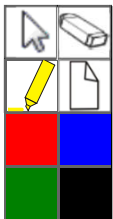
Kraft [kp]

Härteverfahren

Härtewert

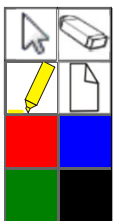
Weitere technisch relevante Verfahren :

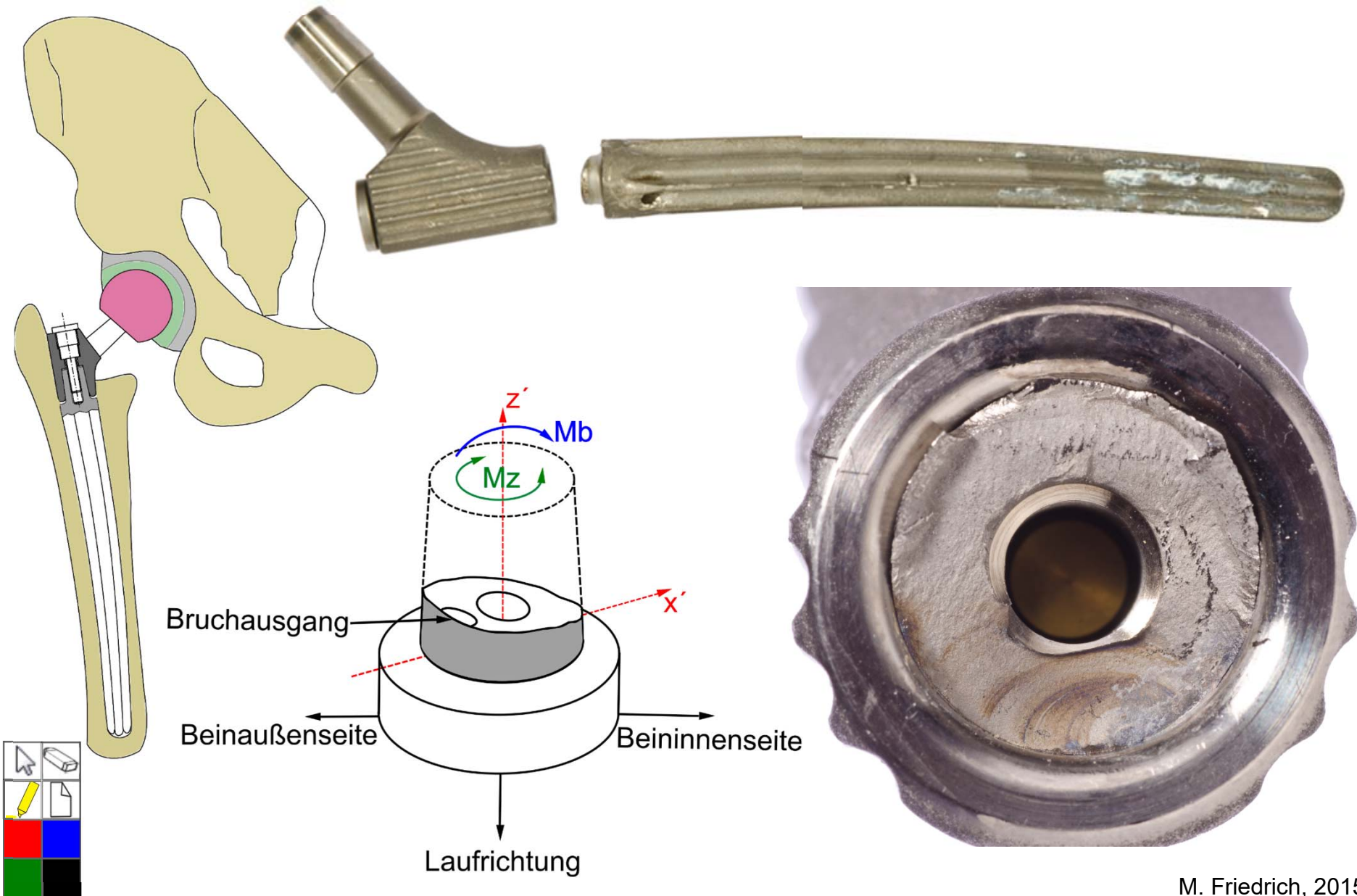
- Brinell
- Rockwell



3. Mechanisches Verhalten von Metallen

- 3.1. Einleitung
- 3.2. Reversible Verformung
- 3.3. Irreversible Verformung
- **3.4. Zyklische Belastung**

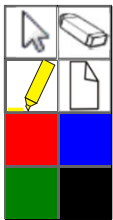




M. Friedrich, 2015

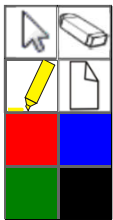
A. Wöhler (1858):

„Der Bruch des Materials lässt sich auch durch vielfach wiederholte Schwingungen herbeiführen von denen keine die absolute Bruchgrenze erreicht.“



Der Schwingungsbruch ist die Rache der festen Materie am Ingenieur.

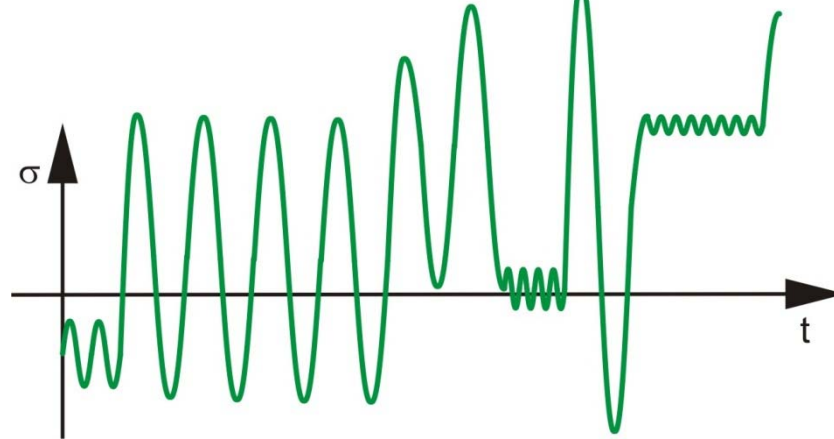
nach Prof. Lange



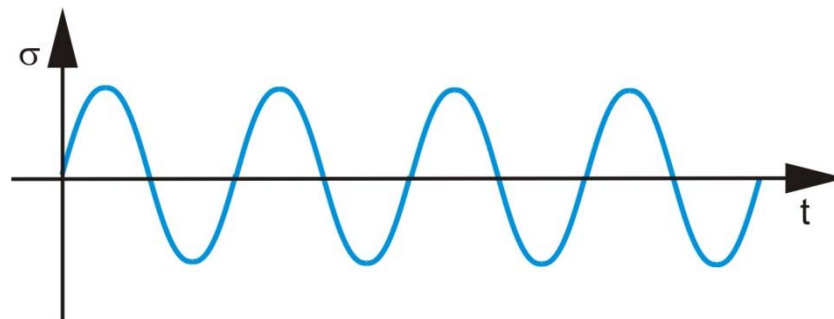
Zeitlich unterschiedliche Belastungsverläufe:



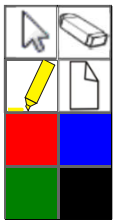
Statische Belastung



Reale Belastung



idealisierte Belastung



Einteilung einer schwingenden Beanspruchung mit dem Spannungsverhältnis R :

$$R = \frac{\sigma_u}{\sigma_o}$$

