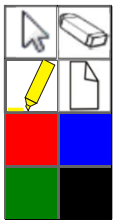


Materialien für Implantate - Metallische Werkstoffe

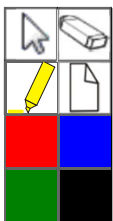
WS 2017/2018

Michael Seidenfuß



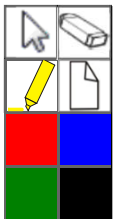
4. Werkstoffe für Implantate

- 4.1. Anforderungen an Implantatwerkstoffe
- 4.2. Ferritische Stähle
- 4.3. Austenitische Stähle
- 4.4. Titan
- 4.5. Kobaltlegierungen
- 4.6. Magnesium
- 4.7. Übersicht



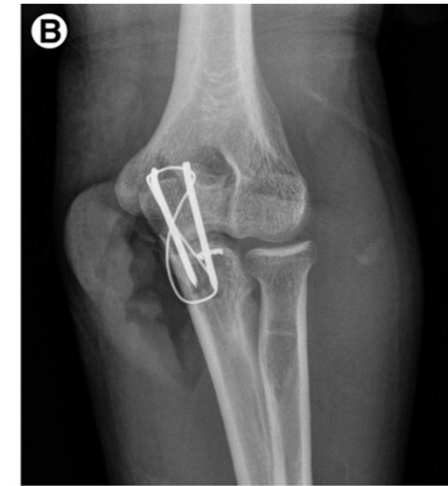
4. Werkstoffe für Implantate

- 4.1. Anforderungen an Implantatwerkstoffe
- 4.2. Ferritische Stähle
- 4.3. Austenitische Stähle
- 4.4. Titan
- 4.5. Kobaltlegierungen
- 4.6. Magnesium
- 4.7. Übersicht



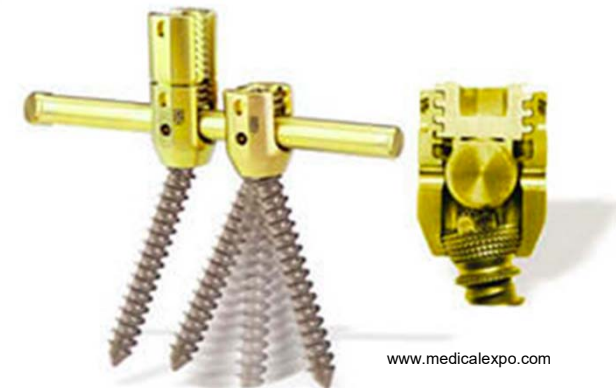


Intramedullärer Nagel
(Ellenbogenfraktur)

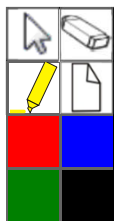


www.sciencedirect.com

Bandfixation

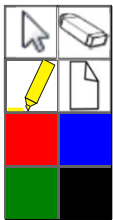


Wirbelsäulenschrauben



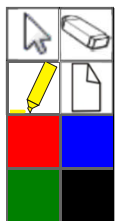
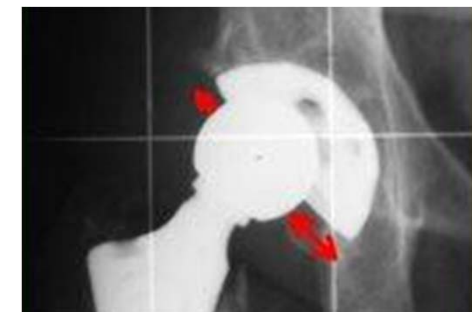
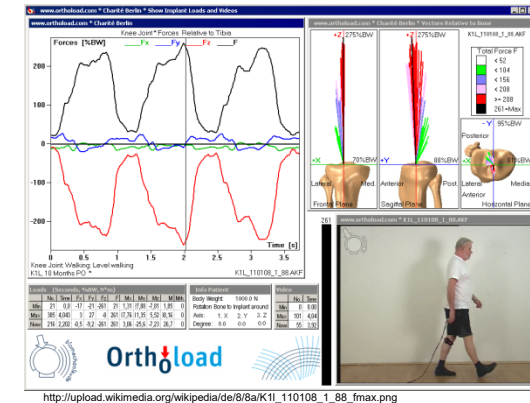
chirurgischer Bohrer

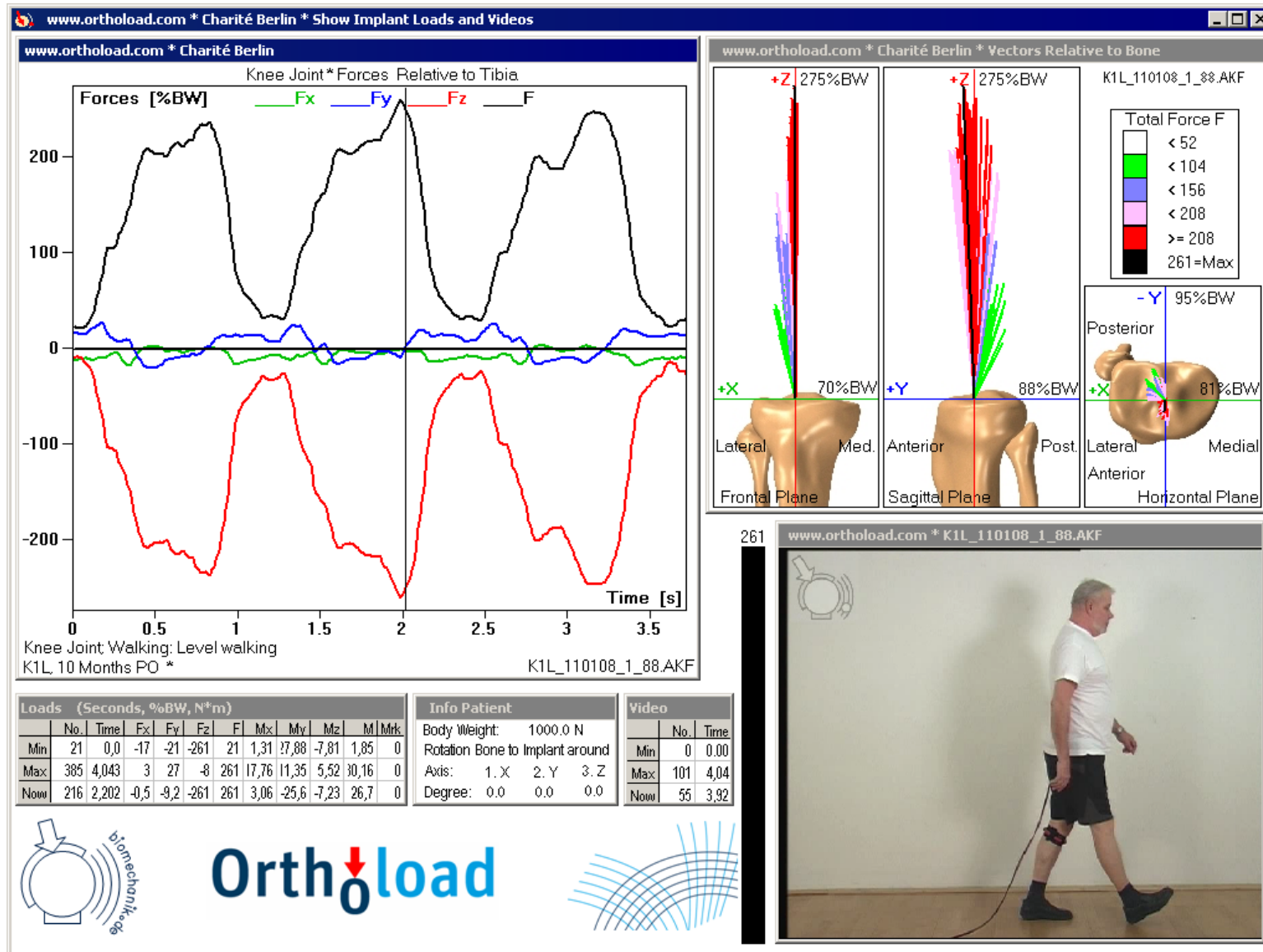
- **Mechanische Anforderungen**
- **Korrosionsanforderungen**
- **Biomedizinische Anforderungen**



- **Mechanische Anforderungen**

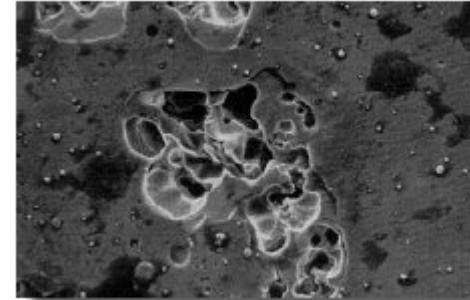
- Dauerhafte mechanische Funktionserfüllung, z.B. Kraftübertragung zwischen Implantat, Prothese und Körper
- An Implantationsmilieu angepasste Werkstoffeigenschaften, z.B. knochenähnliche Implantatssteifigkeit
- Möglichst geringer Verschleiß bei Gleitpaarungen, zum Beispiel bei Endoprothesen
- Gute Verarbeitbarkeit





• Korrosionsanforderungen

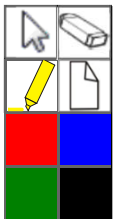
- Korrosionsfest in chemisch sehr aggressiver Umgebung
(Körperflüssigkeiten enthalten chemische Elemente wie *Cr*, *Co*, *Cu*, *Mn*, *Mo*, *Ni*, *V*
→ Ausbildung komplexer Elektrolyte)
- Möglichst keine Wechselwirkungen mit weiteren Implantaten
(Beispiel Gold und Amalgam)
- Korrosionsbeständigkeit:
 - Edler Grundwerkstoff (Beispiel: *Au*, *Ag*) oder
 - Edle Deckschicht (Beispiel: Cr_2O_3)



Wirz, Schmidli; Titanitridbeschichtung prothetischer Werkstücke, Quintessenz 47, 5, 681-691 (1996)

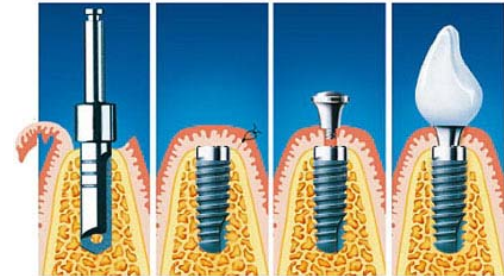


<http://www2.thumfart.com/Patienten/faq/Verfaerbungen.aspx>

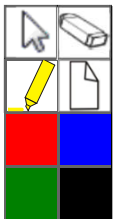


• Biomedizinische Anforderungen

- An/Aufnahme des Implantats durch den Körper
- Nicht toxisch, allergen, fibrogen oder karzinogen
- Aufwachsen osteoblastenähnlicher Knochen-Zellen zur Fixierung des Implantats im Knochen
- Keine Einheilung durch Bindegewebe für besseren Kraftfluß
- Keine Behinderung der Knochenversorgung durch Abriebpartikel (→ Knochennekrose)



<http://www.medicalsportsnetwork.de/thumb/b8df0a4d/msn510.jpg>



- **Biomedizinische Anforderungen**

- **Bioinert:**

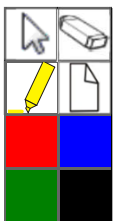
- Keine biologische / chemische Wechselwirkung
- Nur sehr geringe Gewebereaktion → Nur Druckbelastung
- Keine Freisetzung von toxischen Substanzen
- Einige Keramiken und Metalle

- **Biotolerant:**

- Hohe Verweildauer (Monate bis Jahre) im Körper
- Keine Zersetzung des Materials
- Starke Gewebereaktion

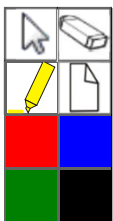
- **Bioaktiv:**

- Vollständige Reaktion des Körpers mit dem Material
- Zug und Druckbelastung möglich
- Umwandlung der Materialbeschichtung in Knochensubstanz



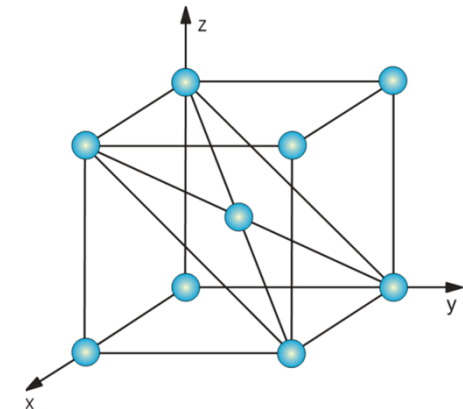
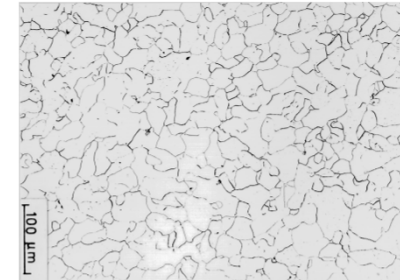
4. Werkstoffe für Implantate

- 4.1. Anforderungen an Implantatwerkstoffe
- **4.2. Ferritische Stähle**
- 4.3. Austenitische Stähle
- 4.4. Titan
- 4.5. Kobaltlegierungen
- 4.6. Magnesium
- 4.7. Übersicht

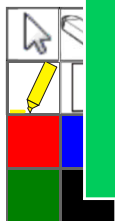


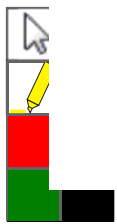
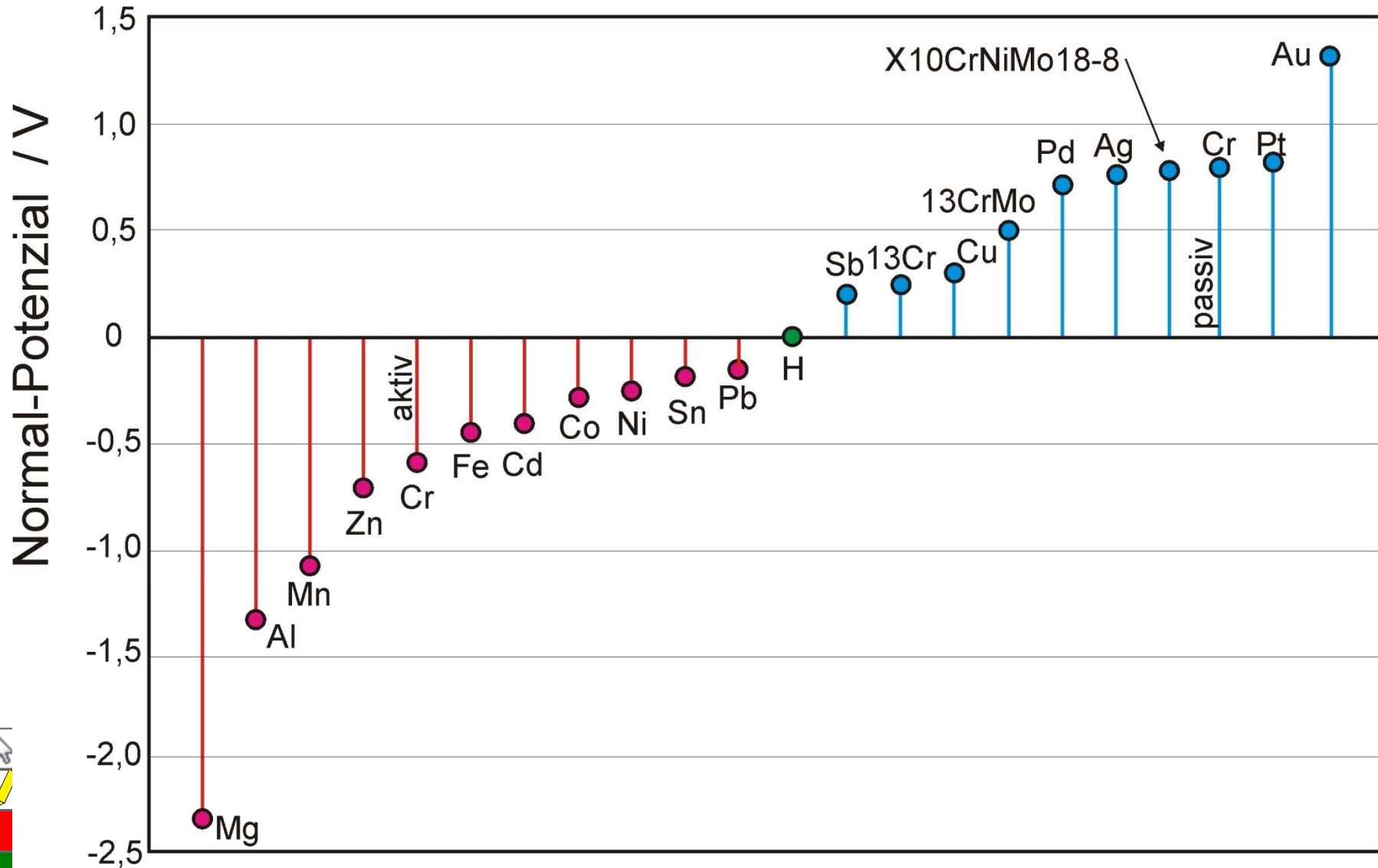
Übersicht rostfreie ferritische Stähle mit Cr-Gehalt > 12%

EIGENSCHAFTEN	physikalisch	Dichte: $\rho \sim 7,7\text{g/cm}^3$	
		Gitter: krz	
	mechanisch*	E= 210000 MPa	A ₅ = 20 %
		R _e = 240 MPa	R _m = 400 – 630 MPa
		Härte= 210 HV	
Besonderheiten	Gute Korrosionsbeständigkeit (Deckschicht) Grundwerkstoff -0,45 V(Fe ²⁺) Normalpotential:+ 0,8 V (Cr ₂ O ₃ Deckschicht)		
	Ferromagnetisch und daher nicht MRT-kompatibel		
	Die wichtigsten Ferritbildner sind <i>Cr, Mo, V, Al, Ti, P, Si</i> und <i>Be</i>		
	Ferrit ist der Name des α -Mischkristalls von Eisenlegierungen		



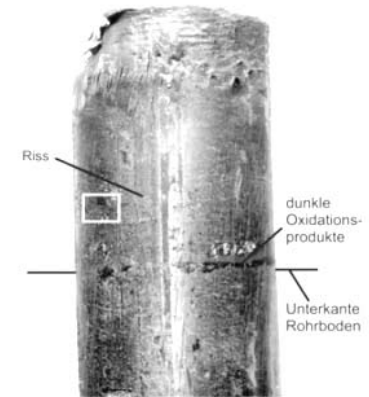
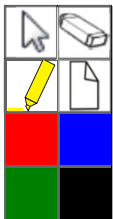
<http://thumbs1.ebaystatic.com/d1225/m/m9wJD1tqnMS6AsSo414-EA.jpg>





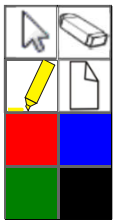
Eigenschaften rostfreier ferritischer/ martensitischer Stähle

- **Korrosionsbeständig:** mit einem Cr-Anteil > 12% bildet eine stabile Oxidschicht (Schutzschicht - Passivschicht)
- **Zerstören der Passivschicht** durch lokale mechanische Oberflächeneinwirkung– Passivschicht bildet sich aber meist sehr schnell wieder aus
- Erhöhte Korrosion durch **spezifische Umgebungsbedingungen**, wie z.B. lokal erhöhte Chloridkonzentration
- Ausreichend bis gute **Kaltumformbarkeit**
- Durch gute **Polierbarkeit** sehr gut zu reinigen und zu desinfizieren
- Stähle wie z.B. X90CrMoV18 (martensitischer Stahl) lassen sich **gut härten** $\Rightarrow$ Schneidwerkzeuge
- Teilweise **schweißbar**

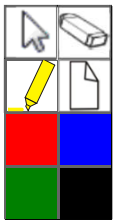
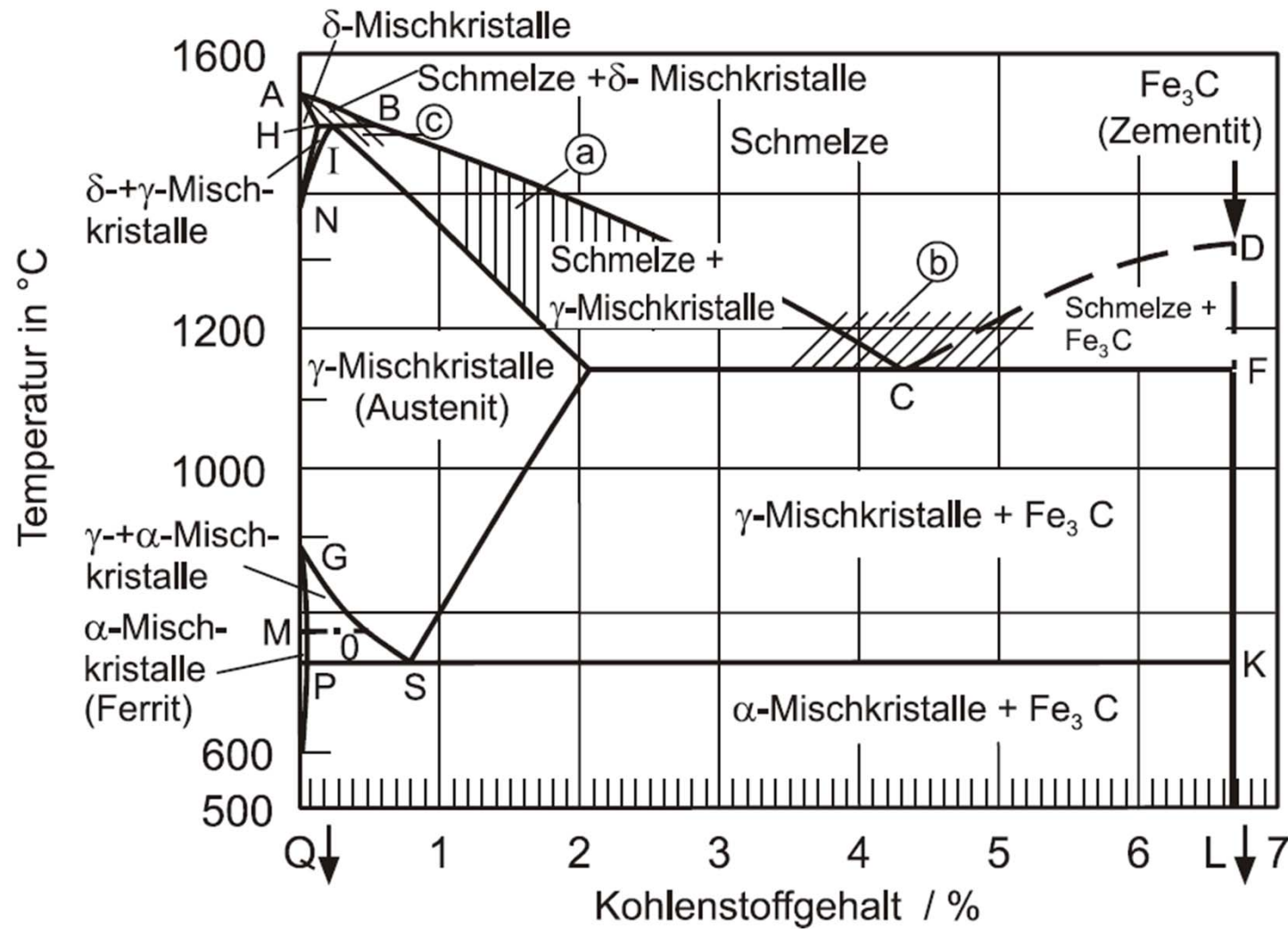


Übersicht ferritischer Stähle

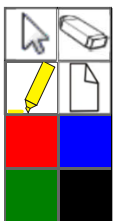
- Ferrit ist der Name des α -Mischkristalls von Eisenlegierungen
- Kubisch-raumzentriert
- Stabiles Gefüge bei Raumtemperatur
- Die wichtigsten Ferritbilder sind *Cr, Mo, V, Si, Al, P, S, Sn und B*.
- ferromagnetisch



Eisen-Kohlenstoff-Diagramm



Legierung	R_e / MPa	R_m / MPa	A_5 / %	Anwendung
X15Cr13	450	650 - 850	15	
X20Cr13	480	700 - 850	13	
X6CrMo17-1	260	450 - 800	18	
X2CrMoTi18-2	300	420 - 640	20	



Beispiele

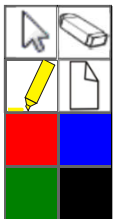
Skalpellgriff: X45CrMoV 15



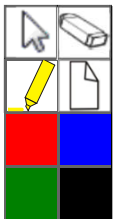
Skalpellklinge: X45Cr13



Chirurgische Instrumente:
X38CrMoV 15

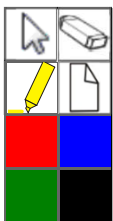


	Ferritischer Stahl weich	Ferritischer Stahl hart
R_e [MPa]	260	600
R_m [MPa]	450	1100
Härte [HV]	160 – 300	225 – 600
A₅ [%]	20	5
Umformver- mögen	Gut	Schlecht
Schweißver- mögen	Sehr gut bis aufwendig	-
Korrosions- best.	Gut	Gut
MRT Tauglich	Nein	Nein
Verträglich- keit	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)
Biokompa- tibilität	-	-



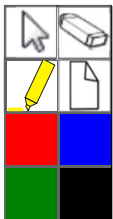
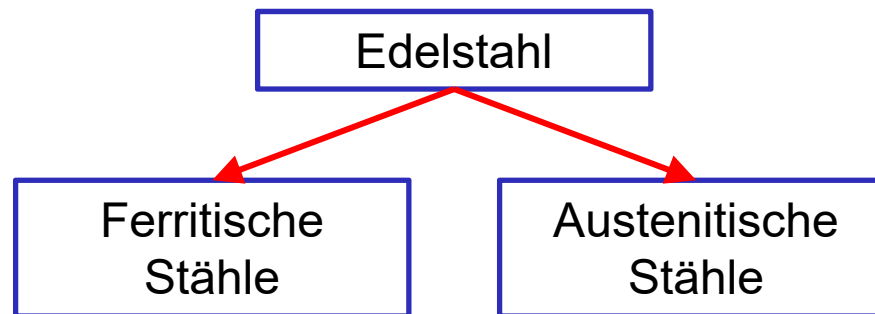
4. Werkstoffe für Implantate

- 4.1. Anforderungen an Implantatwerkstoffe
- 4.2. Ferritische Stähle
- **4.3. Austenitische Stähle**
- 4.4. Titan
- 4.5. Kobaltlegierungen
- 4.6. Magnesium
- 4.7. Übersicht



Bezeichnung „Edelstähle“

- Edelstähle sind Eisenwerkstoffe mit besonderen Eigenschaften (z. B. geringer Schwefel- und Phosphorgehalt)
- Vorsicht: Bezeichnung „Edelstahl“ muss nicht zwangsläufig einem rostfreien Stahl entsprechen!
- Jeder kommerzielle austenitische Stahl ist ein Edelstahl, aber nicht jeder Edelstahl ist ein austenitischer Stahl



Übersicht austenitische Stähle

EIGENSCHAFTEN

physikalisch

Dichte: $\rho \sim 7,85 \text{ g/cm}^3$

Gitter: kfz

mechanisch*

$E = 190000 \text{ MPa}$

$A_5 = 40 \%$

$R_e = 190 \text{ MPa}$

$R_m = 490 - 690 \text{ MPa}$

Härte = 160 HV

Besonderheiten

Gute Korrosionsbeständigkeit (Deckschicht)

Grundwerkstoff $-0,45 \text{ V(Fe}^{2+})$

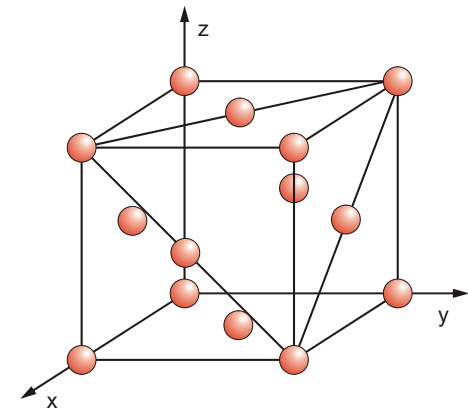
Normalpotential: $+0,8 \text{ V (Cr}_2\text{O}_3 \text{ Deckschicht)}$

Nicht ferromagnetisch und daher MRT-kompatibel

Bei Raumtemperatur nur in Legierung stabil (z.B. mit *Cr* und *Ni*)

Die wichtigsten Austenitbildner sind *Ni*, *C*, *Co*, *Mn* und *N*

Austenit ist der Name des γ -Mischkristalls in Eisenlegierungen

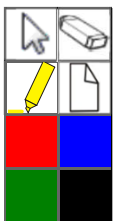
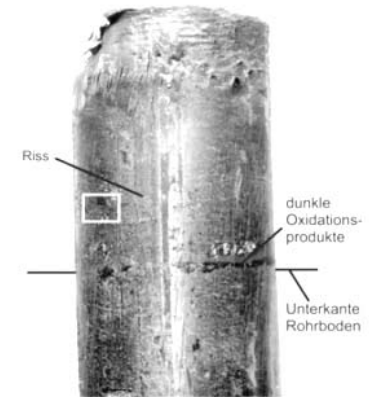


<http://10.img-preis.de/1293784/Haushalt/Kuechenbedarf/Contacto-Edelstahl-Kochtopf-32-cm-25l-2001-320.jpg>

*für X2CrNiMoN18-15-3

Eigenschaften rostfreier austenitischer Stähle

- **Korrosionsbeständig**: mit einem Cr-Anteil $> 12\%$ (fast ausschließlich $> 17\%$); bildet eine Oxidschicht (Schutzschicht - Passivschicht)
- **Zerstören der Passivschicht** durch lokale mechanische Oberflächeneinwirkung– Passivschicht bildet sich aber meist sehr schnell wieder aus
- Erhöhte Korrosion durch **spezifische Umgebungsbedingungen**, wie z.B. lokal erhöhte Chloridkonzentration
- **Korrosionsbeständigkeit** meist besser als bei den ferritischen/ martensitischen rostfreien Stählen
- Gute bis sehr gute **Kaltumformbarkeit**
- **Geringere Härte und Festigkeit** als bei den ferritischen/ martensitischen rostfreien Stählen
- Durch gute **Polierbarkeit** sehr gut zu reinigen und zu desinfizieren

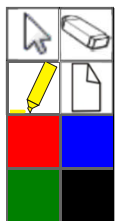


Übersicht austenitische Stähle

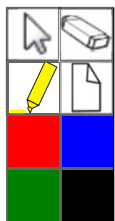
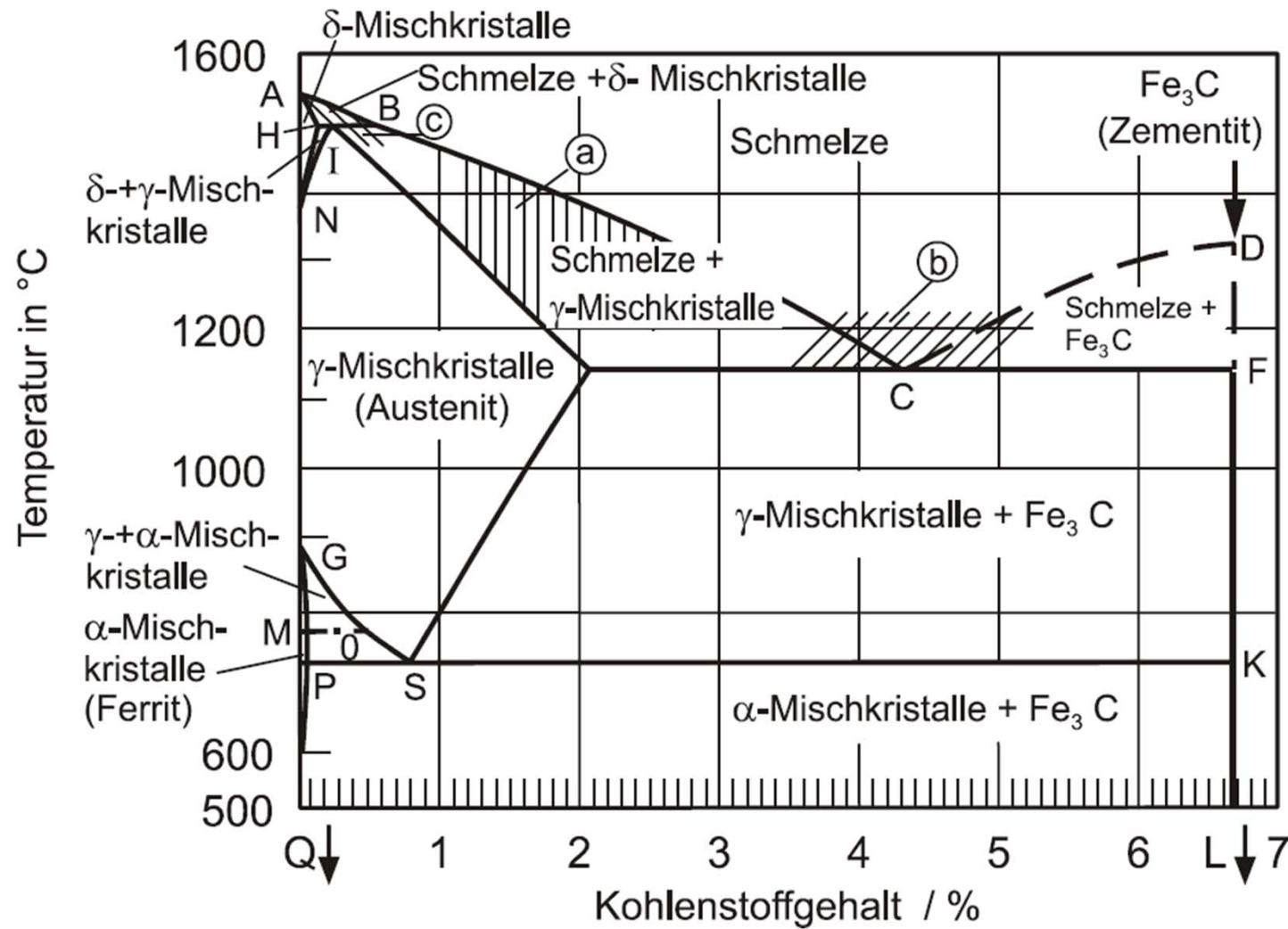
- Austenit ist der Name des γ -Mischkristalls von Eisenlegierungen
- Kubisch-flächenzentriert
- Bei Raumtemperatur nur in Legierung (z.B. mit 18% *Ni*)
- Die wichtigsten Austenitbilder sind *Ni*, *C*, *Co*, *Mn* und *N*.
- Nicht ferromagnetisch



<http://10.img-preis.de/1293784/Haushalt/Kuechenbedarf/Contacto-Edelstahl-Kochtopf-32-cm-25l-2001-320.jpg>

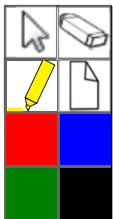


Eisen-Kohlenstoff-Diagramm



Festigkeit einiger austenitischer Stähle

Legierung	R_e / MPa	R_m / MPa	A_5 / %	Anwendung
X2CrNiMoN18-13-3	300	600 – 800	40	
X2CrNiMoN18-15-3	190	490 – 690	40	
X4CrNiMnMo21-9-4				
X2CrNiMnMoN22-13-6	500	850 – 1050	35	

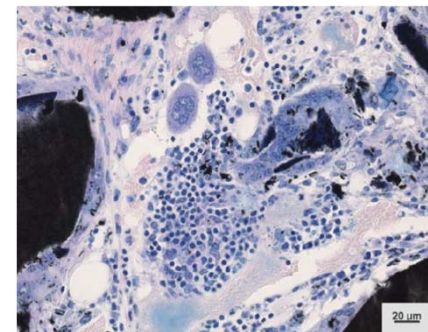


Biokompatibilität rostfreier austenitischer Stähle

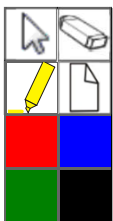
- **Allergien** (z.B. von Chrom oder Nickel) möglich
- Lockerungen von Hüftprothesen durch **Sensibilisierungen** (Immunantwort des Körpers nach Kontakt mit Fremdstoff) möglich
- Legierungselemente wie *Cr* und *Ni* können in Lösung gehen
→ Erhöhte Metallionenkonzentration im Blut, da Ionen in Lösung gehen

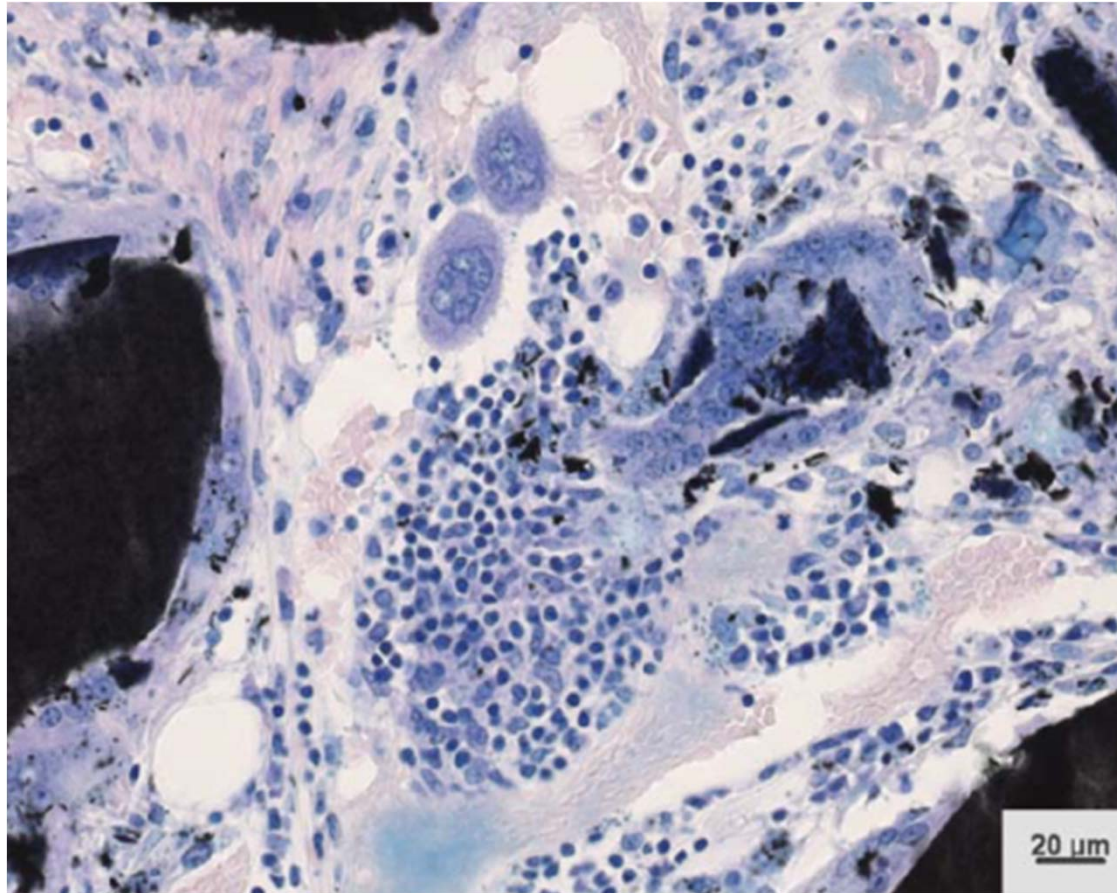


<http://www.wellness-lebensart.de>



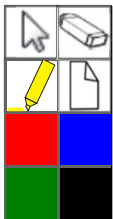
http://edoc.ub.uni-muenchen.de/8240/1/Unterer_Nadine.pdf





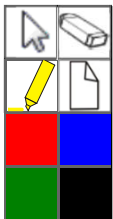
http://edoc.ub.uni-muenchen.de/8240/1/Unterer_Nadine.pdf

Makrophagen und Fremdkörperriesenzellen
zwischen Stahlpartikeln als Abwehrreaktion



Anwendungen austenitische Stähle in der Medizintechnik

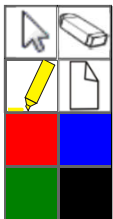
- Sämtliche Endoprothesen, wie zum Beispiel Knie-, Schulter- oder Hüftgelenksprothesen
- Chirurgisches Werkzeug, wie z.B. Skalpelle
- Schrauben, Nägel
- Externe Gestelle
- Dentalimplantate



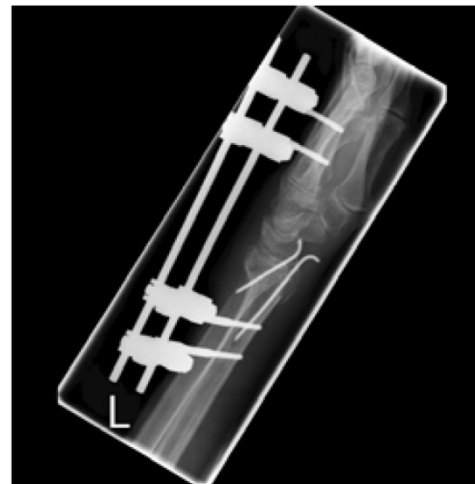


www.wright-medical.de

Fixationsschrauben



Externe Fixierung



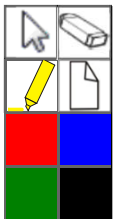
Kaltenhauser, F.: Fixateur Externe bei distaler Radiusfraktur: Vergleich der Komplikationsrate von Hydroxylapatit und Stahl-Pins in einer randomisierten, prospektiven Studie

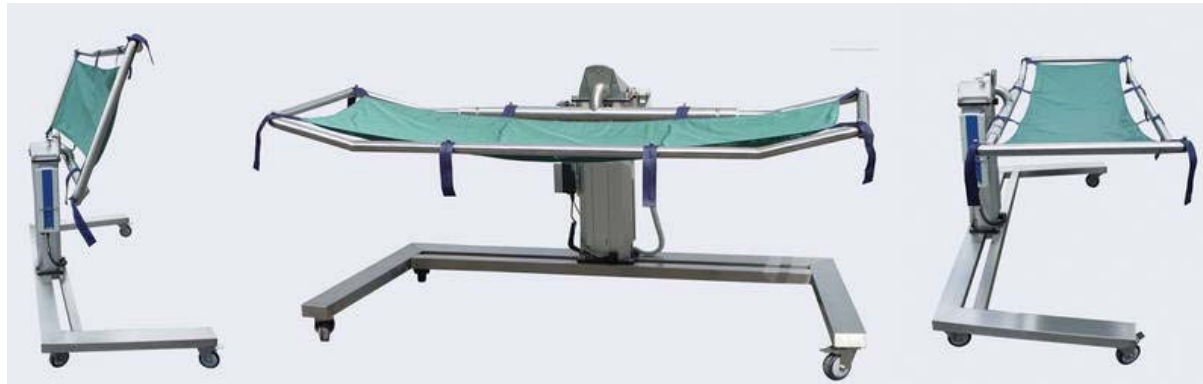


Drehteile



Medizinische Behälter

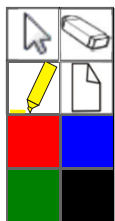




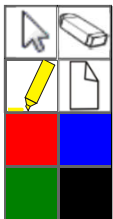
OP-Ausstattung



<http://www.bg-edelstahl.de>



	Ferritischer Stahl weich	Ferritischer Stahl hart	Aust. Stahl
R_e [MPa]	260	600	190 – 400
R_m [MPa]	450	1100	490 – 1000
Härte [HV]	160 – 300	225 – 600	160
A₅ [%]	20	5	60
Umformver- mögen	Gut	Schlecht	Sehr gut bis gut
Schweißver- mögen	Sehr gut bis aufwendig	-	Sehr gut bis aufwendig
Korrosions- best.	Gut	Gut	Gut bis sehr gut
MRT Tauglich	Nein	Nein	Ja
Verträglich- keit	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)
Biokompa- tibilität	-	-	Bioinert



4. Werkstoffe für Implantate

- 4.1. Anforderungen an Implantatwerkstoffe
- 4.2. Ferritische Stähle
- 4.3. Austenitische Stähle
- **4.4. Titan**
- 4.5. Kobaltlegierungen
- 4.6. Magnesium
- 4.7. Übersicht

