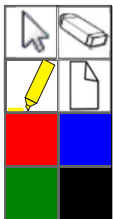
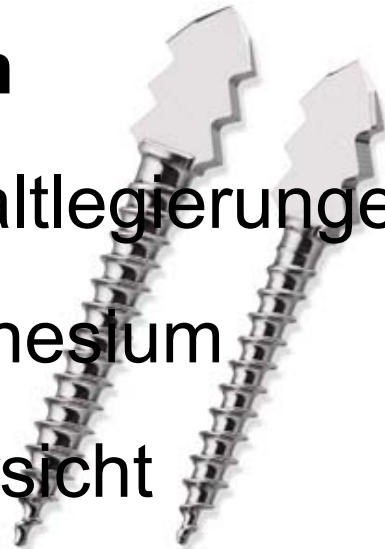
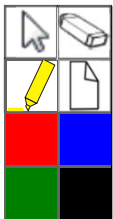
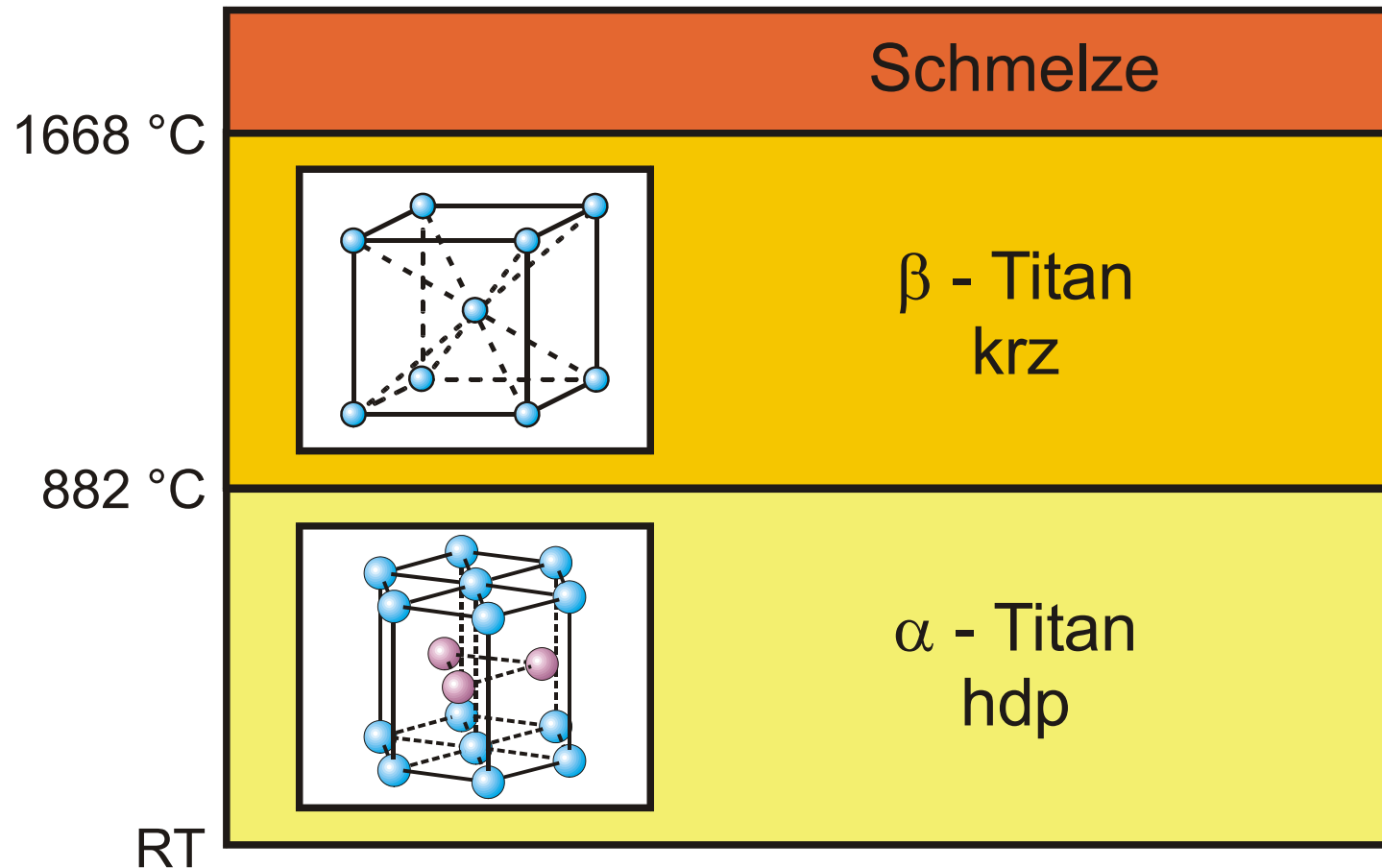


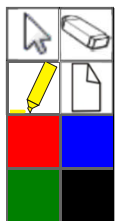
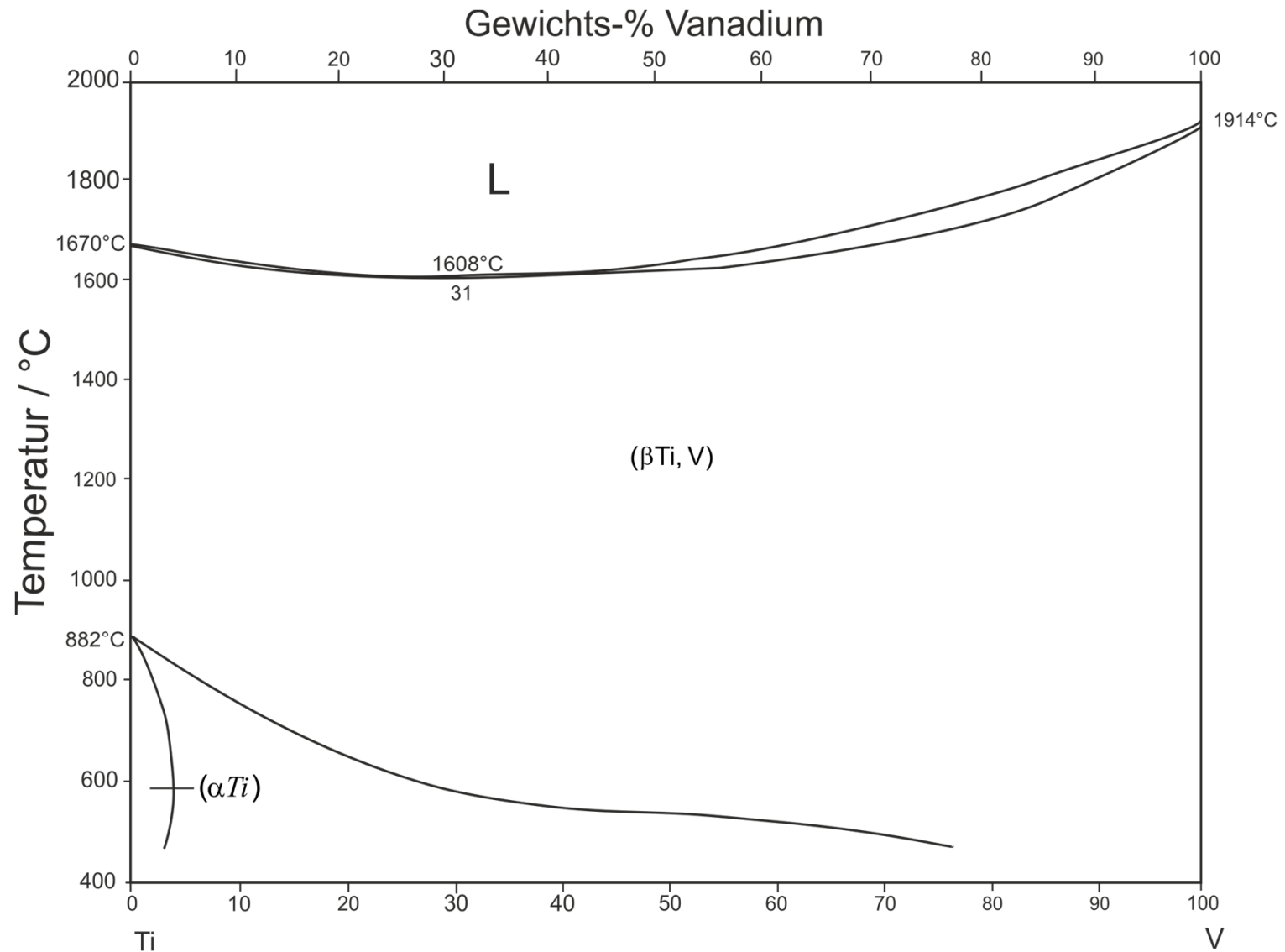
4. Werkstoffe für Implantate

- 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



Gitterstruktur Titan - Allotropie



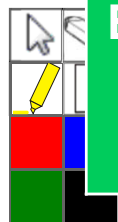
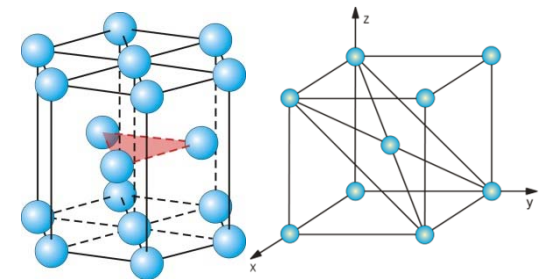


Übersicht Titan

EIGENSCHAFTEN	physikalisch	Dichte: $\rho \sim 4,51 \text{ g/cm}^3$ (Schwerstes Leichtmetall)	
		Gitter: $T < 882^\circ\text{C}$ α - Titan hex $T > 882^\circ\text{C}$ β - Titan krz	
	mechanisch*	$E = 115000 \text{ MPa}$	$A_5 = 24 - 30 \%$
		$R_m = 350 \text{ MPa}$	$R_{p0,2} = 180 \text{ MPa}$
		Härte = 126 HV	
		Geringe Beimengungen an Sauerstoff erhöhen Festigkeit	
		Kombination von α - und β -Phasen durch Legierungselemente beeinflussen Werkstoffeigenschaften	
	Besonderheiten	Höchste Korrosionsbeständigkeit, insbesondere gegenüber Säuren (Deckschicht)	
		Grundwerkstoff: $-1,63 \text{ V (Ti}^{2+}\text{)}$	
		Normalpotential: $+1,3 \text{ V (TiO}_2 \text{ Deckschicht)}$	
		Nicht ferromagnetisch und daher MRT-Kompatibilität 1.Ordnung	

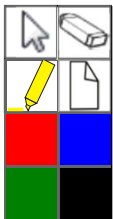


<http://www.medicalsportsnetwork.de/thumb/b8df0a4dmsn510.jpg>



Eigenschaften der in der Medizintechnik verwendeten Titanlegierungen

- Sehr hoher Korrosionswiderstand durch Deckschichtbildung
- Niedriger E-Modul im Vergleich zu Stahl und Kobaltlegierungen
- Geringes spezifisches Gewicht bei hoher Festigkeit
- Formgedächtniseigenschaften als Ni-Ti-Leg.
- Geringe Härte im Vergleich zu Kobaltleg. Und ferritischen Stählen → Geringer Verschleißwiderstand
- Schlecht kaltumformbar
- Aufwändige spanende Bearbeitbarkeit
- Sehr aufwändig schweißbar



http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Titel:Titan-crystal_bar.JPG

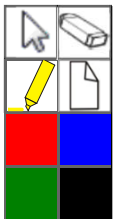


<http://www.medicalsportsnetwork.de/thumb/b8df0a4d/msn510.jpg>



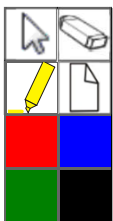
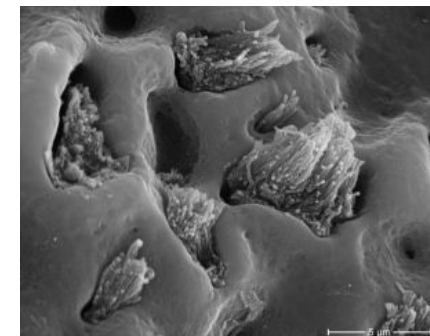
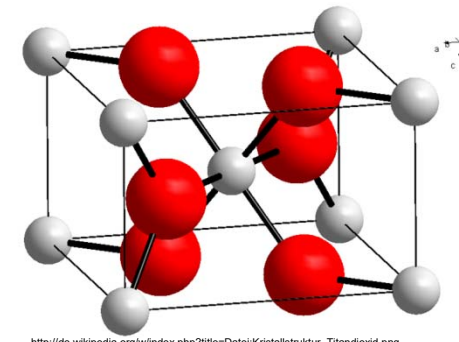
Kennwerte einiger medizinisch genutzten Titanlegierungen

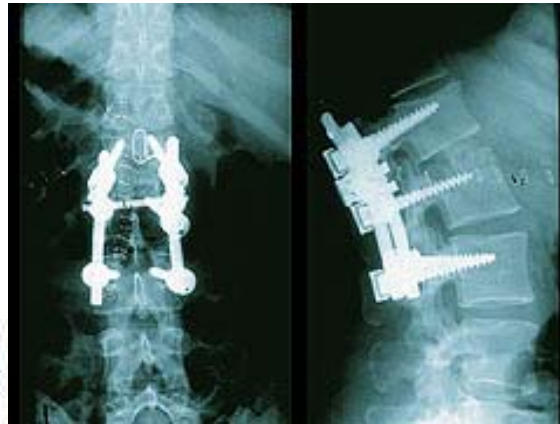
Legierung	R_e / MPa	R_m / MPa	E-Modul / GPa	A_5 / %	Anwendung (Beispiel)
Grade 3 99,1% Ti	320	520	105	17	Zahnprothesen
Grade 4 94,0 % Ti	390	640	100-120	15	Zahnimplantate
Ti-6Al-4V	900	925	110-140	14	Nägel, Schrauben, permanente Implantate, Zahnimplantate
Ti-6Al-7Nb	800	900	110	10	
Ti-5Al-2,5Fe	780	860	110	25	Hüft- und Knieprothesen, Nägel, Schrauben, Platten
Ti-15Mo	483	690	78	20	In Entwicklung
Ti-35Nb-7Zr-5Ta	500- 1280	530-1360	55	9-20	



Biokompatibilität von Titan

- Bildung einer **reinen und stabilen TiO_2 - Schicht** als Voraussetzung für die Biokompatibilität von Titan
- Einfluss der **Oberflächenstruktur** auf die Gewebereaktion:
Messbare Bindung zwischen Titan und Knochen bei TiAl6V4 und TiAl5Fe2.5 mit einer Oberflächenrauheit $> 22 \mu\text{m}$
- Knochenwachstum bei Oberflächen (glatt und porös) aus TiAlV-Legierungen

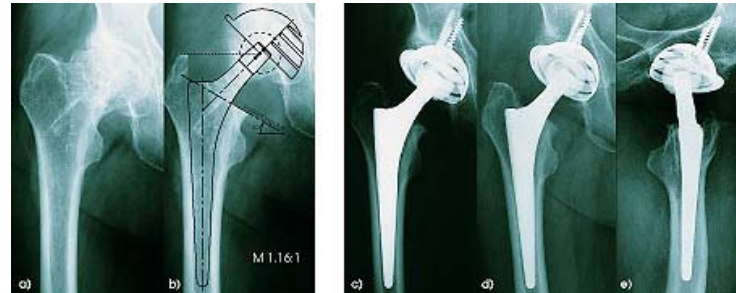




Wirbelsäule



Dental-Implantat



Hüftgelenk



Knochenbruch

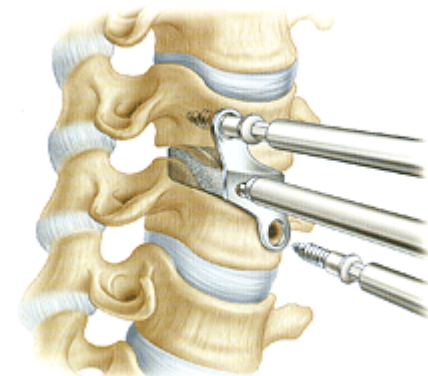
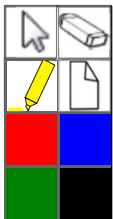


Kniegelenk

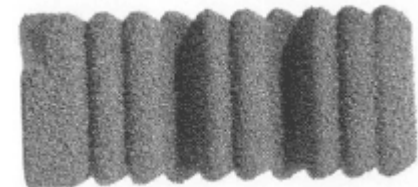


Anwendungen von Titan in der Medizintechnik

- Sämtliche Endoprothesen, wie zum Beispiel Knie-, Schulter- oder Hüftgelenksprothesen
- Dentalimplantate, Stents
- Stützkonstruktionen für die Wirbelsäule (z.B. bei Spondylolisthese)
- Bandscheibenersatz
- Beschichtungen (z.B. Herzschrittmacher)
- OP-Bestecke: Klammern, Instrumente
- In Kombination mit Nickel Formgedächtnislegierungen (z.B. Ohrimplantate)



<http://www.neurochirurgie-katharinen.de/instabilitaet-wirbelsaeule.htm>



<http://www.neurochirurgie-katharinen.de/instabilitaet-wirbelsaeule.htm>



Ohrimplantate – Ersatz der Gehörknöchelchen



<http://www.biomet.de/de-patients/de-patients-hip>

Hüftgelenk



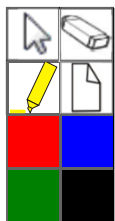
<http://www.argomedical.ch/images/produkte/turemos2.jpg>

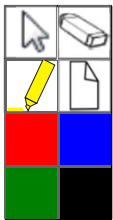
Schultergelenk



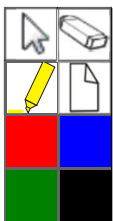
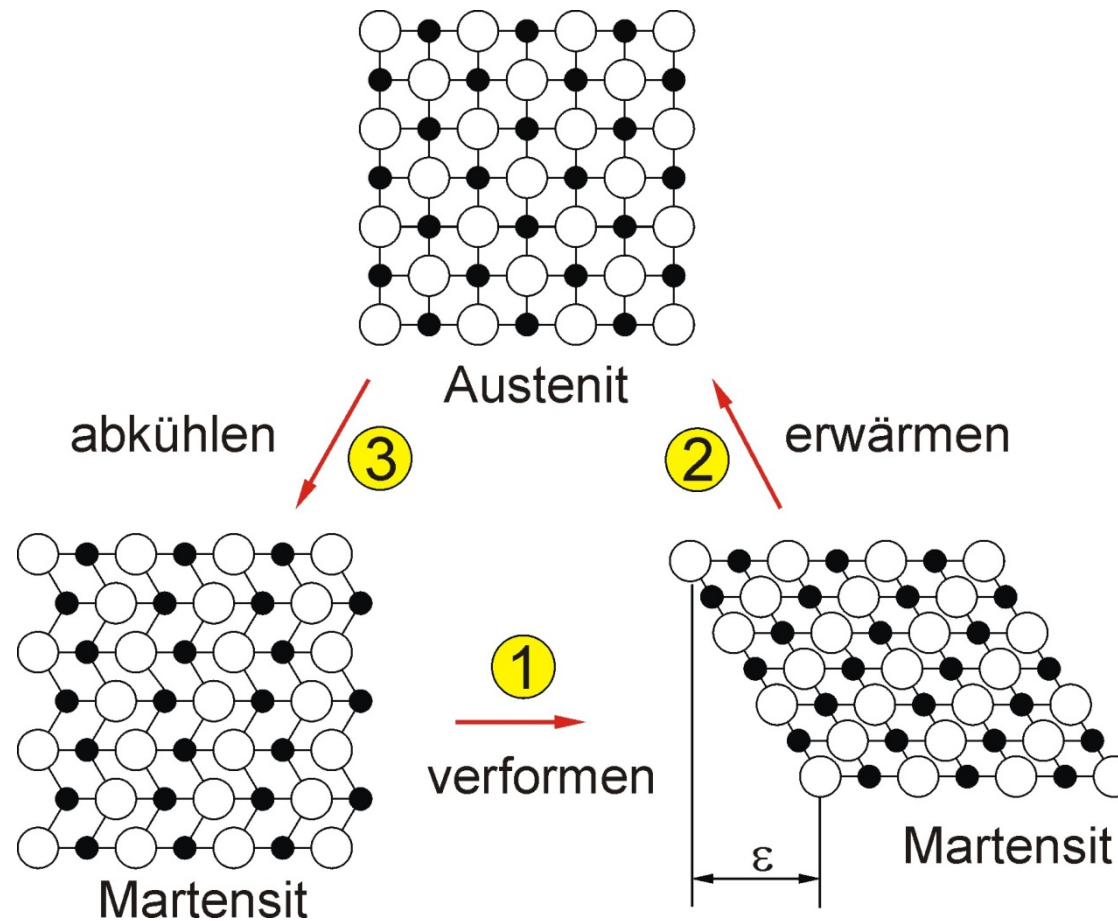
<http://www.hzdr.de/db/Pic?picId=29603>

Titan-Stent





Einweg-Effekt (schematisch)



Formgedächtniseigenschaften

Einweg-Effekt

Belasten bei
Raumtemperatur



Bauteil verformt
sich bleibend



Wärmebehandlung
 $T > A_f$



Bauteil nimmt
ursprüngliche
Gestalt an

Zweiweg-Effekt

Erwärmen



Bauteil verformt sich



Abkühlen



Bauteil nimmt
ursprüngliche
Gestalt an

Pseudoelastizität

Belasten bei
Raumtemperatur



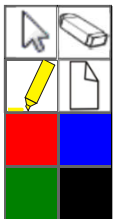
Bauteil verformt sich



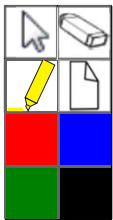
Entlasten



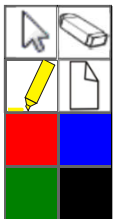
Bauteil nimmt
ursprüngliche
Gestalt an



Titanflexbrille

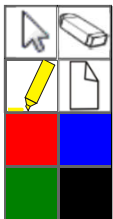


	Ferritischer Stahl weich	Ferritischer Stahl hart	Aust. Stahl	Titan
R_e [MPa]	260	600	190 – 400	320 – 1280
R_m [MPa]	450	1100	490 – 1000	520 – 1360
E-Modul [GPa]	210	210	190	55-140
Härte [HV]	160 – 300	225 – 600	160	126 – 330
A₅ [%]	20	5	60	25 – 10
Umformver- mögen	Gut	Schlecht	Sehr gut bis gut	Schlecht
Schweißver- mögen	Sehr gut bis aufwendig	-	Sehr gut bis aufwendig	Aufwendig
Korrosions- best.	Gut	Gut	Gut bis sehr gut	Überragend
MRT Tauglich	Nein	Nein	Ja	Ja
Verträglich- keit	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sehr gut
Biokompa- tibilität	-	-	Bioinert	Bioaktiv



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 Kobalt

EIGENSCHAFTEN

physikalisch

Dichte: $\rho \sim 8,90 \text{ g/cm}^3$

Gitter: Ebenfalls wie Titan allotrop
 $T < 400^\circ\text{C}$: α -Kobalt (hex)
 $T > 400^\circ\text{C}$: β -Kobalt (kfz)

mechanisch*

$E = 215000 \text{ MPa}$

$A_5 = 8 \%$

$R_{p0,2} = 450 \text{ MPa}$

$R_m = 665 \text{ MPa}$

Härte = 250 HV

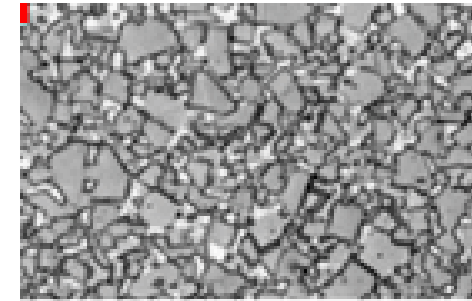
Mechanische Eigenschaften abhängig von
 Karbidverteilung und Korngröße

Besonderheiten

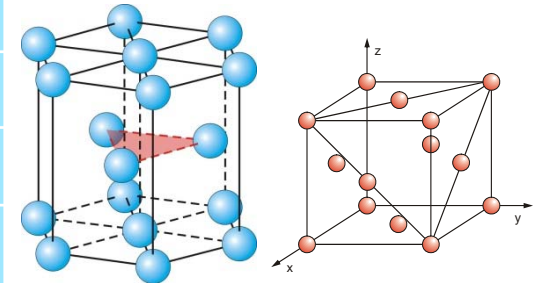
Unedles Element (ausreichende
 Korrosionsbeständigkeit durch legieren)
 Grundwerkstoff $-0,277 \text{ V (Co}^{2+}\text{)}$
 Normalpotential $+0,24 \text{ V (CoCr-Leg.)}$

Reines Kobalt ist nicht MRT-kompatibel
 (ferromagnetisch) / CoCr-Legierungen sind
 MRT-kompatibel

In der Medizintechnik stets in Legierung



http://www.tribo.de/1/28S%28tmf04055hn2phomu0kqoa30%29%29/Hartmetall/HM_Anwendung-Dateien/Bild1.gif

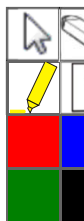


<http://www.operation-endoprothetik.de/bandscheibenprothese/kuenstliche-bandscheibe/>

*CoCr28MoNi

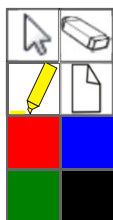
62

4.5 Kobaltlegierungen



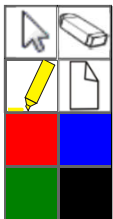
Festigkeit verschiedener in der Medizintechnik üblicher Kobaltlegierungen

Legierung	Werkstoff-zustand	R _m / MPa	E-Modul / GPa	A ₅ / %	Dauer- festigkeit / MPa
CoCrMo	Gegossen	650 – 1000	220-234	8 – 25	190 – 400
	Geschmiedet	1175 – 1600		8 – 28	500 – 970
	Gesintert	1275 – 1380		12 – 16	620 – 900
CoCrWNi	Geglüht	900 – 1220		40 – 60	280 – 415
	Kaltverformt	1350 – 1900		10 – 22	500 – 590
CoNiCrMo	Geglüht	800		40 – 50	330 – 340
	Kaltverformt	1000 – 1280		10	555
	Kaltverformt und gealtert	1793		8	850



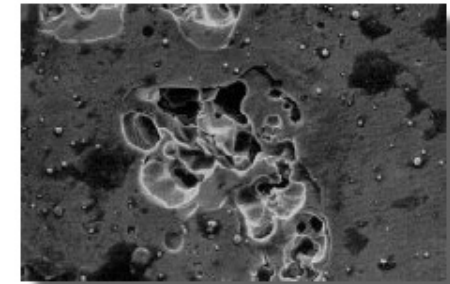
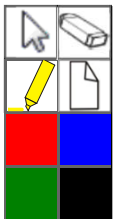
Anwendungen von Kobaltlegierungen in der Medizintechnik

Legierung	Anwendung
CoCrMo (Gusslegierung)	Gelenkersatz für Hüft-, Knie-, Ellbogen-, Schulter-, Knöchel- und Fingergelenke, Knochenplatten und -schrauben, künstliche Herzklappen
CoCrMo (Schmiedelegierung)	Gelenkersatz
CoCrWNi (Schmiedelegierung)	Gelenkersatz, Herzklappen, Drähte, Chirurgische Instrumente
CoNiCrMo (Schmiedelegierung)	Hüftgelenkschäfte



Eigenschaften und Biokompatibilität von Kobaltlegierungen

- In der Medizintechnik stets in Legierung
- Hochfest, widerstandsfähig, abriebfest, langzeitstabil
- Geringerer Verschleiß als andere Implantate durch Metall-Metall-Gleitpaarung (~100fach geringer als Polyethylen)
- Kombination von CoCr-Legierungen mit Austenit führt zur Korrosion des Austenits
- CoCrNi-Legierungen korrodieren in biologischem Milieu
- Erhöhte Metallionenkonzentration im Blut, da Ionen in Lösung gehen
- Im Falle eines Implantatversagens hohe Freisetzung von Partikeln und Metallionen
- Cr- und Ni-Ionen müssen über Niere ausgeschieden werden, kontraindiziert bei Nierenschäden



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



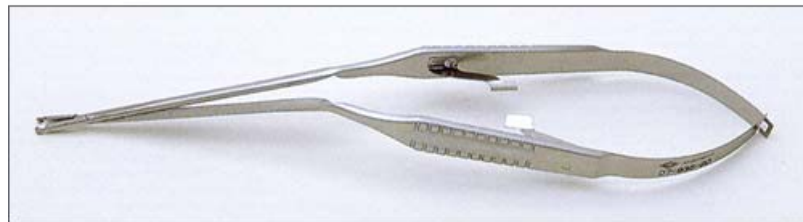
www.lex-feinmechanik.de



www.gelenk-doktor.de



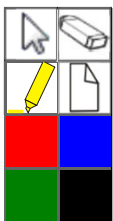
Zahnbrückengerüste



Klinische Zangen



Daumensattel-
gelenkprothese

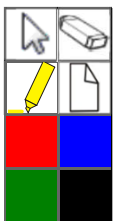




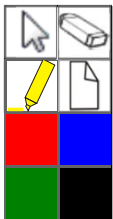
Kniegelenk



Hüftprothesen

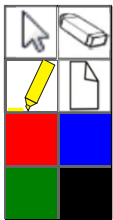


	Ferritischer Stahl weich	Ferritischer Stahl hart	Aust. Stahl	Titan	Kobalt
R_e [MPa]	260	600	190 – 400	320 – 900	310 – 1520
R_m [MPa]	450	1100	490 – 1000	520 – 925	650 – 2000
E-Modul [GPa]	210	210	190	55-140	220-234
Härte [HV]	160 – 300	225 – 600	160	126 – 330	250 – 700
A₅ [%]	20	5	60	25 – 10	20 – 2
Umformver- mögen	Gut	Schlecht	Sehr gut bis gut	Schlecht	Ausreichend
Schweißver- mögen	Sehr gut bis aufwendig	-	Sehr gut bis aufwendig	Aufwendig	Aufwendig
Korrosionsbest.	Gut	Gut	Gut bis sehr gut	Überragend	Sehr gut
MRT Tauglich	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja (in Legierung)
Verträglichkeit	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibilisierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibilisierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sehr gut	Allergien, teilweise toxisch
Biokompa- tibilität	-	-	Bioinert	Bioaktiv	Biotolerant



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 Magnesium

EIGENSCHAFTEN

physikalisch

Dichte: $\rho \sim 1,74 \text{ g/cm}^3$ Leichtmetall

Gitter: hex

mechanisch*

$E = 44000 \text{ MPa}$

$A_5 = 2\%$

$R_{p0,2} = 170 \text{ MPa}$

$R_m = 220 \text{ MPa}$

Härte = 75 HV

Gute Dämpfungseigenschaften
gutes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis,
insbesondere in Legierung

Besonderheiten

Sehr schlechte Korrosionsbeständigkeit in
Wasser oder anderen korrosiven Medien

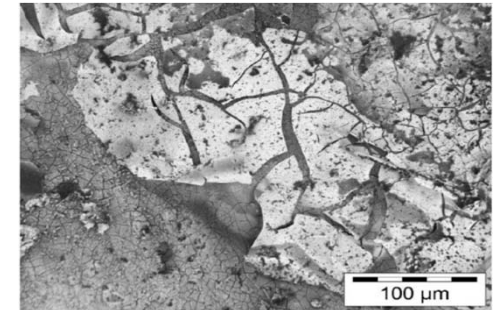
Grundwerkstoff: $-2,37 \text{ V (Mg}^{2+})$

Normalpotential: $+0,059 \text{ V Mg(OH)}_2$

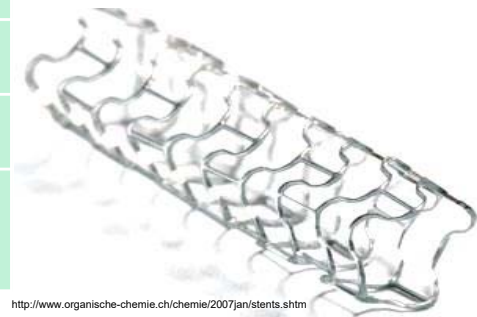
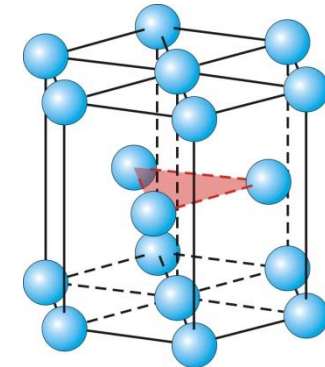
Bildet mit Sauerstoff Schutzschicht aus

MRT-kompatibel

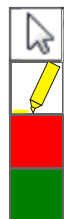
Natürlich im Menschen enthalten
($\sim 30 \text{ g Mg}$ bei 70 kg Körpergewicht)



http://www.hzg.de/imperia/md/content/gkss/presse/medizin_2.pdf

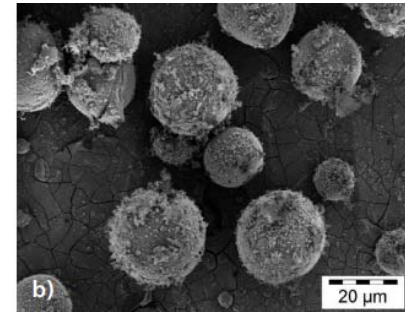


<http://www.organische-chemie.ch/chemie/2007/jan/stents.shtml>

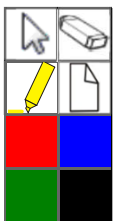


Korrosionseigenschaften von Magnesium

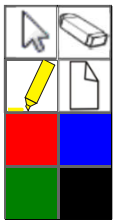
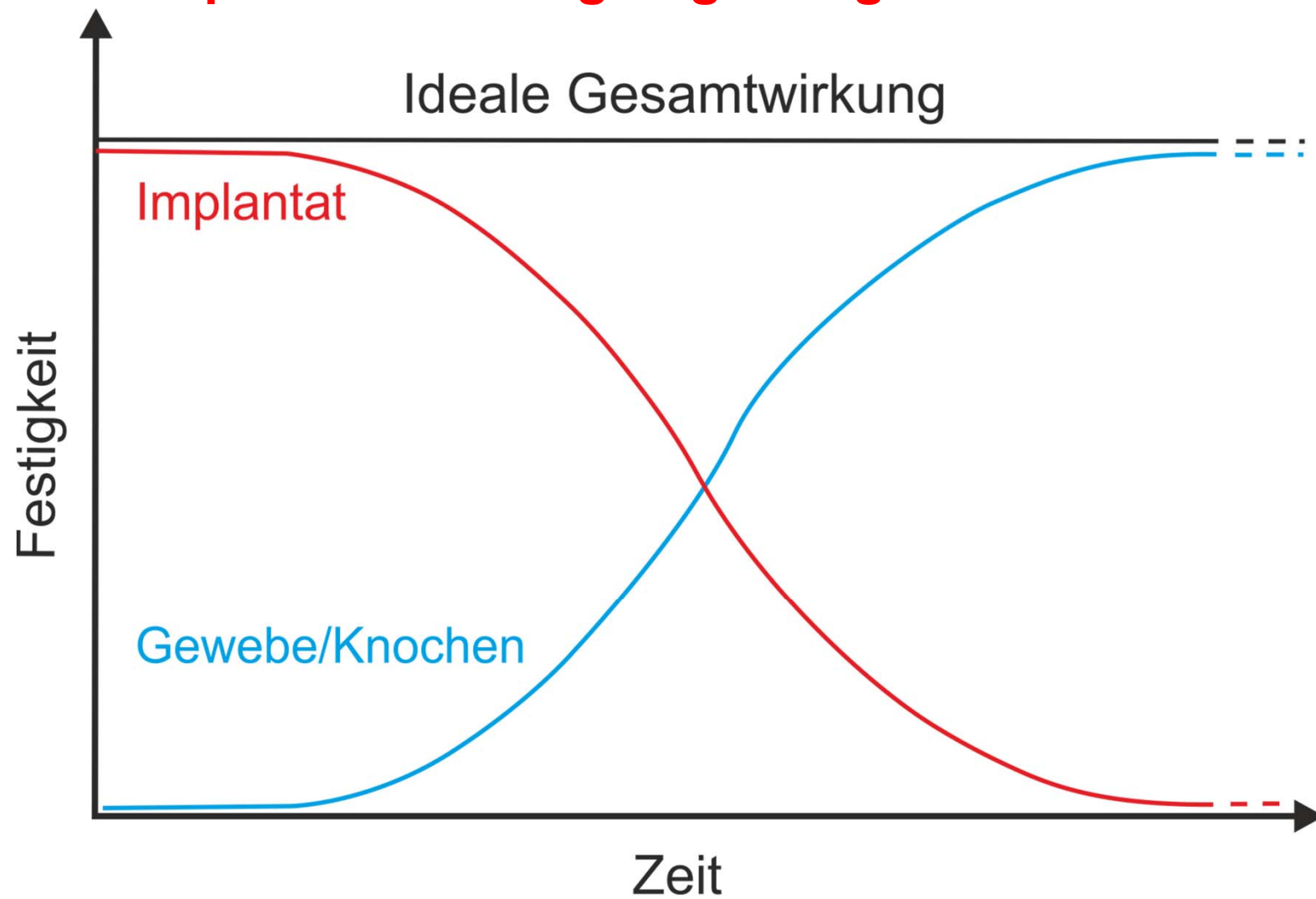
- Sehr unedles Grundmaterial -2,37 V (Mg^{2+})
- Reaktion in Wasser zu Magnesiumhydroxid und Wasserstoff
$$\text{Mg} + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$$
- Poröse Schutzschicht → kein dauerhafter Korrosionsschutz
- *Mg*, *Al* und *Zn* Zusätze verbessern die Korrosionsbeständigkeit erheblich



http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/gkss/presse/medizin_2.pdf

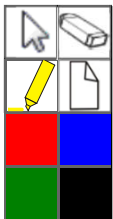


Kurzzeitimplantate aus Mg-Legierungen



Bioresorbierbare Implantate auf Magnesiumbasis

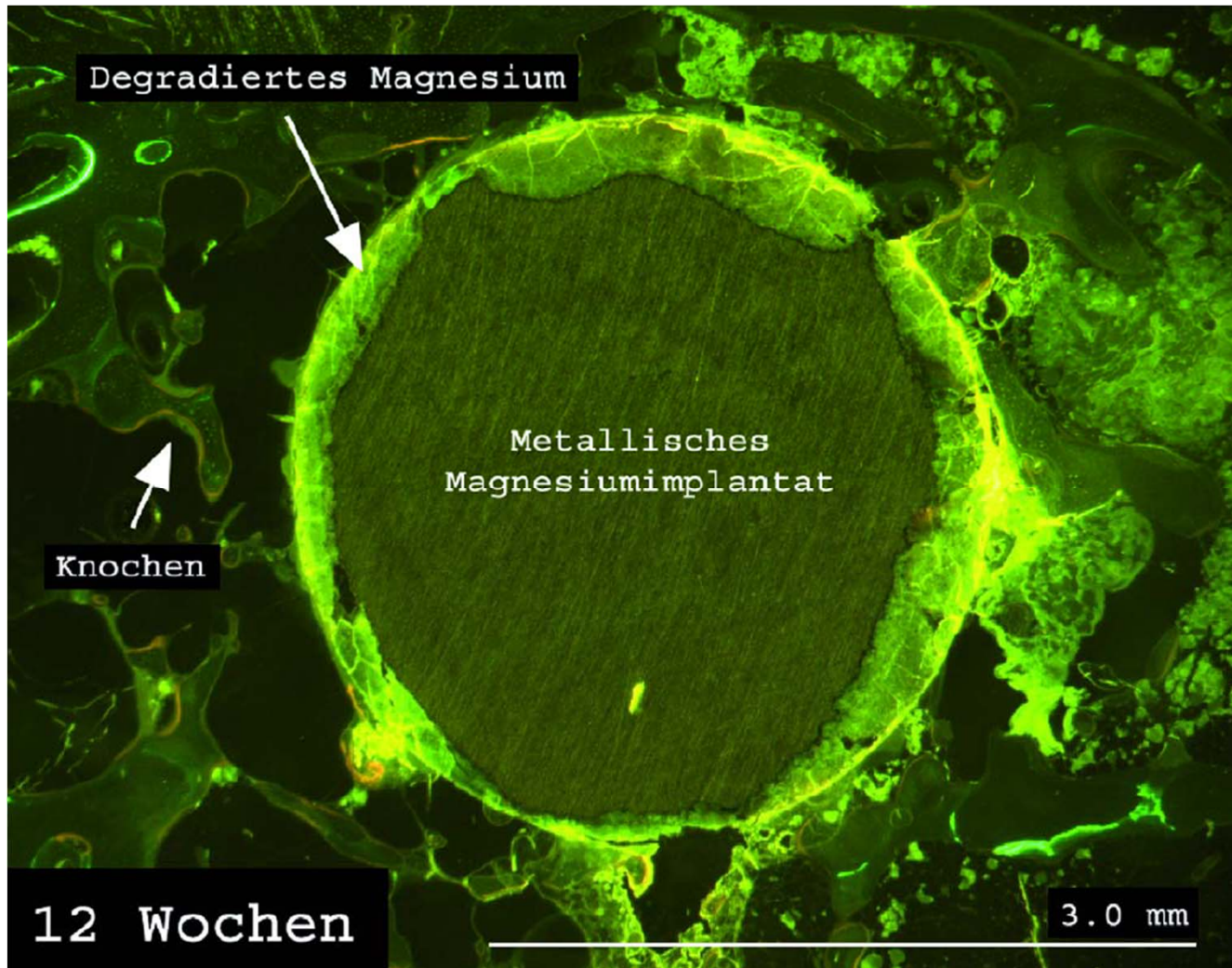
- Bioverträglich, biodegradierbar
→ Werden mit der Zeit vom Körper abgebaut und ausgeschieden (Schrauben, Stents)
- Können Basis für nachwachsendes Körpergewebe bilden, z.B. Knochengewebe
- Einstellbare Degradations-/Abbaurate, z.B. abgestimmt auf Knochenwachstum durch Legierung oder Schutzschicht
- Dichte und Festigkeitsanpassungen an umliegendes Gewebe durch Legierung
- Magnesiumhydroxid wirkt im Körper osteoproliferativ



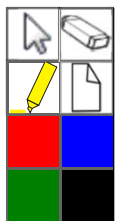
<http://www.aerztezeitung.de/img.ashx?f=/docs/2013/10/31/schraube-A.jpg&w=620>



http://ceas.uc.edu/news-1213/uc-engineers-in-nanospace/_jcr_content/MainContent/textimage_2/image.img.jpg/1357841869634.jpg

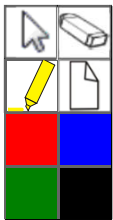


Implantat aus Magnesiumlegierung, das bereits nach 12 Wochen teilweise abgebaut wurde

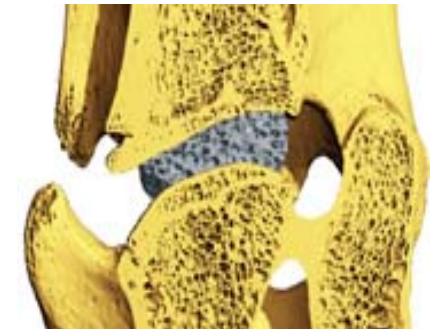


(Zukünftige) Anwendungen von Magnesium in der Medizintechnik

- Stents, Stützgeflechte
- Knochenimplantate, Knochenschrauben, -platten, -nägel, ...
- Magnesiumschwämme als Knochenersatz
- Als *Drug Delivery System*, zur kontinuierlichen Freisetzung von Wirkstoffen
- Metallische Gläser (z.B. $\text{Mg}_{60}\text{Zn}_{35}\text{Ca}_5$) für noch besserem Abbau im Körper ohne Wasserstoffbildung



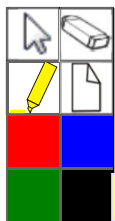
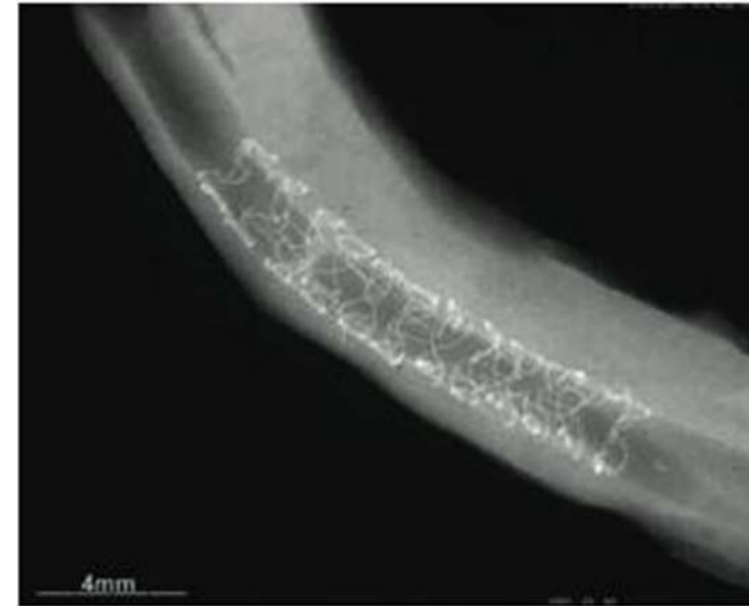
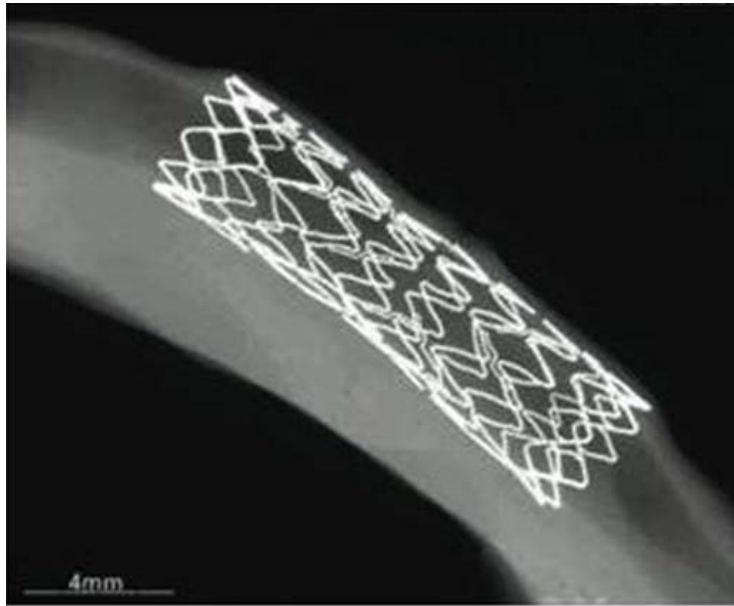
http://www.guter-rat.de/gesundheit/Bio-Implantate_1242239.html



<http://www.uni-hannover.de/de/aktuell/presseinformationen/archiv/details/06/24/index.php?action=pr>

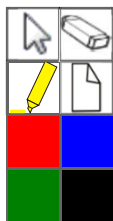


<http://www.organische-chemie.ch/chemie/2007/jan/stents.shtml>



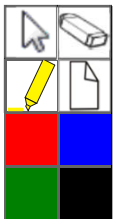
J. Invasive Cardiology. 2006

	Ferritischer Stahl weich	Ferritischer Stahl hart	Aust. Stahl	Titan	Kobalt	Magnesium
R_e [MPa]	260	600	190 – 400	320 – 900	310 – 1520	170
R_m [MPa]	450	1100	490 – 1000	520 – 925	650 – 2000	220
E-Modul [GPa]	210	210	190	55-140	220-234	44
Härte [HV]	160 – 300	225 – 600	160	126 – 330	250 – 700	75
A₅ [%]	20	5	60	25 – 10	20 – 2	2
Umformver- mögen	Gut	Schlecht	Sehr gut bis gut	Schlecht	Ausreichend	Schlecht
Schweißver- mögen	Sehr gut bis aufwendig	-	Sehr gut bis aufwendig	Aufwendig	Aufwendig	Aufwendig
Korrosions- best.	Gut	Gut	Gut bis sehr gut	Überragend	Sehr gut	Schlecht bis sehr schlecht
MRT Tauglich	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja (in Legierung)	Ja
Verträglichkeit	Sensibilisierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sensibili- sierung & Allergien (Ni/ Cr)	Sehr gut	Allergien, teilweise toxisch	Sehr gut
Biokompa- tibilität	-	-	Bioinert	Bioaktiv	Biotolerant	Stark Bioaktiv

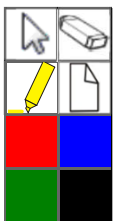
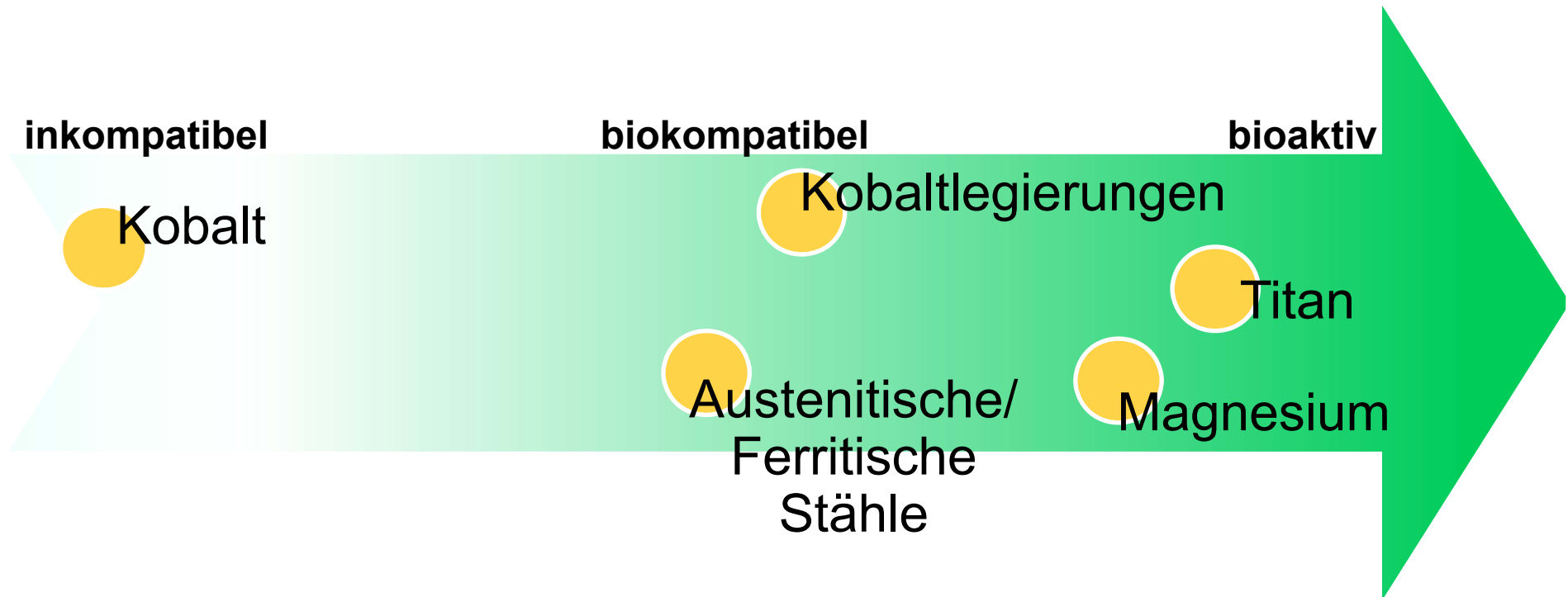


4. Werkstoffe für Implantate

- 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**

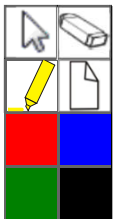


Übersicht Biokompatibilität



Verwendungen von Metallen in der Medizintechnik

Anwendung	Metalle
Osteosynthese, Gelenkersatz	Austenitische Stähle Titan und Ti-legierungen Co-Cr-Legierungen
Dentalchirurgie	Titan und Ti-Legierungen Co-Cr-Legierungen Austenitische Stähle
Gefäßchirurgie	Co-Cr-Legierungen Ni-Ti-Legierungen Mg-Legierungen
Chirurgische Instrumente	Ferritische, martensitische u. austenitische Stähle Titanlegierungen



Biokompatibilität ausgewählter Werkstoffe

