

Materialien für Implantate Fragenkatalog – Keramik

Grundlage bilden die Folien von Prof. Gadow aus dem WS 17/18 und die Gedächtnisprotokolle der letzten Jahre. Die Fragen, die in den Gedächtnisprotokollen enthalten sind, sind farblich markiert.

Bei Anmerkungen oder Fehlern bitte Mail an Istraub@fsmach.uni-stuttgart.de

Fragen:

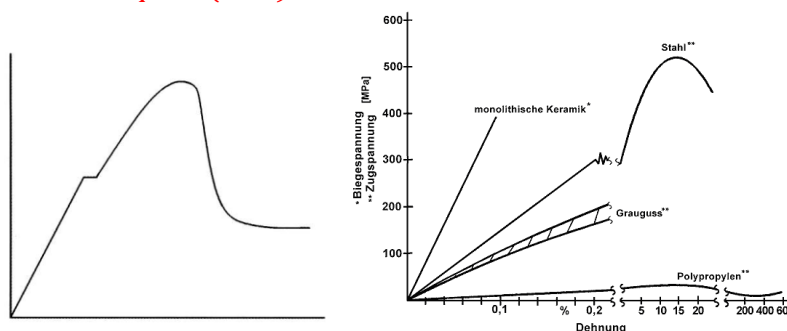
- 1) *Durch was ist die Lockerung eines Implantats im Knochen bedingt?*
- 2) *Welche Keramiken eignen sich für Hüftgelenksgugeln?*
- 3) *Geben Sie die Systematik der Werkstoffe an. (4 Nennungen mit je zwei Beispielen)*
- 4) *Welche Bindungsarten liegen in Keramiken primär vor und welche Eigenschaft resultiert daraus?*
- 5) *Warum sind Keramiken spröde?*
- 6) *Welche Werkstoffeigenschaft geht mit hohem kovalenten (Atombindung) Bindungsanteil einher?*
- 7) *Von welchen Faktoren hängt die Biokompatibilität eines Werkstoffs ab?*
- 8) *Definieren Sie Keramik:*
- 9) *Zeichnen Sie die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für Stahl, Massivkeramik und Keramik-Matrix-Komposit (CMC).*
- 10) *Wie kann ein keramischer Werkstoff duktilisiert werden?*
- 11) *Wodurch wird die Festigkeit von Keramik bestimmt?*
- 12) *Was versteht man unter tribologischen Eigenschaften?*
- 13) *Nennen Sie je zwei Beispiele für Oxid- und Nichtoxidkeramiken.*
- 14) *Zu welcher Gruppe zählt Silikatkeramik und durch was zeichnet sie sich aus?*
- 15) *Welcher Bindungstyp liegt bei Oxidkeramiken vor?*
- 16) *Welche chemischen und mechanischen Eigenschaften haben Nichtoxidkeramiken?*
- 17) *Wie ist die Mohshärte definiert?*
- 18) *Welcher Zusammenhang besteht zwischen Vickers und Mohshärte?*
- 19) *Um welchen Faktor unterscheiden sich theoretische und messbare Festigkeit eines Werkstoffs?*
- 20) *Wie wird die Festigkeitsstreuung eines Werkstoffs angegeben und in welchem Bereich muss diese liegen?*
- 21) *Mit welchem Messverfahren kann die Porosität eines Werkstoffs bestimmt werden?*
- 22) *Wie ist die Bruchzähigkeit eines Werkstoffs definiert?*
- 23) *Welche Schritte sind zur Keramikherstellung nötig?*
- 24) *Was charakterisiert Schichtverbundwerkstoffe?*

- 25) *Wodurch zeichnet sich α - Al_2O_3 (Korund) aus?*
- 26) *Wie und aus was wird α - Al_2O_3 hergestellt?*
- 27) *Wie kann die Bruchzähigkeit von Aluminiumoxid erhöht werden?*
- 28) *Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele für Al_2O_3 .*
- 29) *In welchen Kristallformen tritt Zirkonoxid auf?*
- 30) *Wie kann bei Raumtemperatur nicht monoklines ZrO_2 hergestellt werden?*
- 31) *Nennen Sie zwei Anwendungsmöglichkeiten von Zirkonoxid.*
- 32) *Wieso weist ein Zirkonoxid mit tetragonaler Phase (TZP) eine höhere Bruchzähigkeit auf?*
- 33) *Welche vor und Nachteile hat ZrO_2 im Vergleich zu Al_2O_3 ?*
- 34) *Was dient als Rohstoff für ZrO_2 ?*
- 35) *Was sind Vor- und Nachteile von Titanoxid?*
- 36) *Wie lassen sich Calciumphosphatkeramiken strukturell unterscheiden?*
- 37) *Warum haben Calciumphosphate eine ausgezeichnete Biokompatibilität?*
- 38) *Verschiedene Calciumphosphate unterscheiden sich in ihrer Löslichkeit. Welche Faktoren spielen eine Rolle?*
- 39) *Nennen Sie zwei Calciumphosphatkeramiken.*
- 40) *Für welche Anwendungen ist Hydroxylapatit (HAp) geeignet?*
- 41) *Welche positiven Eigenschaften hat HAp? Vergleichen Sie HAp und Knochen.*
- 42) *Wie kann ein Bauteil mit HAp beschichtet werden?*
- 43) *Beschreiben Sie das Verfahren des thermokinetischen Beschichtens bzw. thermischen Spritzens.*
- 44) *Worin unterscheiden sich Gläser von Keramiken in Bezug auf ihre Struktur?*
- 45) *In welche Untergruppen lassen sich Gläser gliedern und welche ist am häufigsten verwendet?*
- 46) *Welche mechanischen Eigenschaften werden Gläsern zugeschrieben?*
- 47) *Mit welcher Keramik lässt sich Bioglas am ehesten vergleichen? Mit welchen Vor- und Nachteilen?*
- 48) *Wie werden Biogläser hergestellt?*
- 49) *Wie lassen sich Biogläser in der Medizintechnik anwenden?*
- 50) *Welche Eigenschaften werden Biogläsern in vivo zugeschrieben? Wovon hängen diese ab?*
- 51) *Wie entstehen Glaskeramiken und welche Eigenschaften haben diese im Vergleich zu den Gläsern?*
- 52) *Definieren Sie Biokompatibilität*
- 53) *Was versteht man unter Strukturkompatibilität?*

- 54) *Was versteht man unter Oberflächenkompatibilität?*
- 55) *Unter welchem Begriff lassen sich Struktur- und Oberflächenkompatibilität zusammenfassen?*
- 56) *Was versteht man unter dynamischer Biokompatibilität?*
- 57) *Definieren Sie die einzelnen Stufen der Biokompatibilität.*
- 58) *Definieren Sie Biofunktionalität.*
- 59) *Wie unterscheidet sich die Osteogenese an einem Implantat in Abhängigkeit von dessen Biokompatibilität?*
- 60) *Wie unterscheiden sich osteokonduktive von osteoinduktiven Materialien?*
- 61) *Nennen Sie Kriterien für die in vitro Biokompatibilität.*
- 62) *Welche Vorteile haben in vitro Tests mit humanen Zellkulturen im Vergleich zu in vivo Tests?*
- 63) *Welche Nachteile haben in vitro Tests mit humanen Zellkulturen im Vergleich zu in vivo Tests?*
- 64) *Definieren Sie Korrosion.*
- 65) *Welche Unterarten von Korrosion gibt es?*
- 66) *Auf welche Arten kann Korrosion umgebendes Körpergewebe beeinträchtigen?*
- 67) *Nennen Sie die vier Hauptverschleißmechanismen.*

Antworten:

- 1) *Durch was ist die Lockerung eines Implantats im Knochen bedingt?*
Unterschiedlicher E-Modul von Knochen und Implantat führen zur Lockerung. Der Knochen wird durch das Implantat entlastet, was zu vermehrtem Abbau führt.
- 2) *Welche Keramiken eignen sich für Hüftgelenksskugeln?*
Aluminiumoxid und Zirkonoxid
- 3) *Geben Sie die Systematik der Werkstoffe an. (4 Nennungen mit je zwei Beispielen)*
Metallische Werkstoffe: Stahl, Titan
Organische Werkstoffe: Polymere, PET, Holz
Anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe: Keramik, Glas, Beton
Verbundwerkstoffe: Faserverstärkte Polymere, Ceramic-Matrix-Composites (CMC)
- 4) *Welche Bindungsarten liegen in Keramiken primär vor und welche Eigenschaft resultiert daraus?*
Ionenbindung und kovalente Bindung -> spröder Werkstoff, Gitterstruktur
- 5) *Warum sind Keramiken spröde?*
Wird der Kristall verschoben kommt es zu Abstoßungen zwischen den Ionen im Gitter
- 6) *Welche Werkstoffeigenschaft geht mit hohem kovalenten (Atombindung) Bindungsanteil einher?*
Hoher Schmelzpunkt > 2000°C
- 7) *Von welchen Faktoren hängt die Biokompatibilität eines Werkstoffs ab?*
Oberflächeneigenschaften, chemische Eigenschaften (Korrosionsneigung, hydrophile), mechanische Eigenschaften (E-Modul, Biegesteifigkeit, Verschleiß) und Geometrie
- 8) *Definieren Sie Keramik:*
Anorganischer, Nichtmetallischer Werkstoff, der schwer Wasserlöslich und wenigstens 30% kristallin ist. Dieser wird meist bei Raumtemperatur aus einer Rohmasse geformt und erhält seine Gebrauchseigenschaften durch eine Temperaturbehandlung.
- 9) *Zeichnen Sie die Spannungs-Dehnungs-Diagramme für Stahl, Massivkeramik und Keramik-Matrix-Komposit (CMC).*



- 10) *Wie kann ein keramischer Werkstoff duktilisiert werden?*
Durch Einlagerung von Verstärkungsphasen, z.B. Fasern oder duktilen Teilchen. Diese verhindern Rissausbreitung durch energiedissipierende Prozesse wie Spannungsablenkung an Grenzfläche zwischen Verstärkungsphase und keramischer Matrix
- 11) *Wodurch wird die Festigkeit von Keramik bestimmt?*
Werkstoffzusammensetzung, Korngröße, Ausgangs- und Zusatzmaterialien und Herstellverfahren. Es gilt das „weakest-link-Modell“; kritischster Defekt bestimmt Festigkeit. Allgemein sehr große Streuung abhängig von den oberen Faktoren.

- 12) *Was versteht man unter tribologischen Eigenschaften?*
Härte- und Abriebfestigkeit, Reibbeiwerte, Oberflächeneigenschaften
- 13) *Nennen Sie je zwei Beispiele für Oxid- und Nichtoxidkeramiken.*
Oxidkeramiken: Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2
Nichtoxidkeramiken: Carbide (SiC , TiC), Nitride Si_3N_4 , intermetallische Verbindungen TiAl
- 14) *Zu welcher Gruppe zählt Silikatkeramik und durch was zeichnet sie sich aus?*
Oxidkeramiken (oxidische Verbindung); Mehrphasigkeit und hoher Glasanteil
- 15) *Welcher Bindungstyp liegt bei Oxidkeramiken vor?*
Ionenbindung
- 16) *Welche chemischen und mechanischen Eigenschaften haben Nichtoxidkeramiken?*
Kovalent gebunden, extreme Härte, hoher E-Modul, höchste Schmelzpunkte
- 17) *Wie ist die Mohshärte definiert?*
Relative, zehnteilige Härteskala, die die Ritzhärte angibt. 1 Talk, 10 Diamant.
- 18) *Welcher Zusammenhang besteht zwischen Vickers und Mohshärte?*
Mit steigender Mohshärte steigt die Vickershärte exponentiell.
- 19) *Um welchen Faktor unterscheiden sich theoretische und messbare Festigkeit eines Werkstoffs?*
60-100
- 20) *Wie wird die Festigkeitsstreuung eines Werkstoffs angegeben und in welchem Bereich muss diese liegen?*
Weibull-Modul m als Steigung der resultierenden Geraden bei logarithmischer Auftragung der Bruchwahrscheinlichkeit gegen die Bruchspannung, sollte >20 sein. Je höher, desto kleinere Streuung der Festigkeit
- 21) *Mit welchem Messverfahren kann die Porosität eines Werkstoffs bestimmt werden?*
Quecksilber-Intrusion, Poren ab 2nm können gemessen werden.
- 22) *Wie ist die Bruchzähigkeit eines Werkstoffs definiert?*
Der Widerstand, den ein Werkstoff dem instabilen Risswachstum entgegensetzt.
- 23) *Welche Schritte sind zur Keramikherstellung nötig?*
- Rohstoffgewinnung oder Synthese
 - Rohstoffaufbereitung (Mahlen, Feinmahlen) -> Pulver
 - Masseaufbereitung, Herstellung eines Feedstocks (Hinzufügen von Additiven und Lösungsmitteln) -> bildsame Masse
 - Formgebung (Gießen, pressen, spritzen) -> Grünkörper
 - Grünkörperbearbeitung
 - Trocknung bzw. Entbinderung (Ausbrennen der Additive) -> brauner Zustand
 - Vorsintern (Verglühen, bis alle Additivreste weg sind) -> weißer Zustand
 - Sintern bzw. Brennen -> Rohteil
 - Endbearbeitung -> Fertigteil
- 24) *Was charakterisiert Schichtverbundwerkstoffe?*
Meist metallisches Substrat übernimmt Aufnahme von Kräften und Momenten, keramische Beschichtung als Korrosionsschutz, Reibpartner, Wärmedämmung, Isolator etc.
- 25) *Wodurch zeichnet sich $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Korund) aus?*
Beste Oxidkeramik bei Bruchzähigkeit, Tribologie, Biokompatibilität und Korrosionsbeständigkeit

- 26) *Wie und aus was wird α - Al_2O_3 hergestellt?*
Primärrohstoff Bauxit, daraus wird min. 99,7% reines Al_2O_3 gewonnen, das gepresst und bei 1800°C gesintert wird.
- 27) *Wie kann die Bruchzähigkeit von Aluminiumoxid erhöht werden?*
Einbringen von Zirkonoxid in die Aluminiumoxidmatrix. Dadurch Ausbildung von Mikrorissen, die Energie dissipieren. (ZTA Nanocomposite, 5-15% ZrO_2)
- 28) *Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele für Al_2O_3 .*
Hüftgelenksgugeln, Dentalimplantate, Gesichtschirurgie, Mittelohrimplantate
- 29) *In welchen Kristallformen tritt Zirkonoxid auf?*
monoklin, tetragonal, kubisch. Diese Zustände sind Temperaturabhängig
- 30) *Wie kann bei Raumtemperatur nicht monoklines ZrO_2 hergestellt werden?*
 Y_2O_3 (Yttriumoxid) oder weitere Salze von seltenen Erden werden als Stabilisator eingesetzt. Bei großer Menge bleibt kubische Phase (CSZ) und bei geringer Menge tetragonale Phase (TZP) erhalten.
- 31) *Nennen Sie zwei Anwendungsmöglichkeiten von Zirkonoxid.*
Dentalprothesen und -implantate, Hüftgelenksgugeln, Schulter-, Knie- und Fingergelenkersatz.
- 32) *Wieso weist ein Zirkonoxid mit tetragonaler Phase (TZP) eine höhere Bruchzähigkeit auf?*
Hohe Belastungen führen zu Mikrorissen. In deren Spitzen wird das Gitter monoklin $\rightarrow$ Volumenzunahme mit Druckspannungen, die dem Risswachstum entgegenwirken.
- 33) *Welche vor und Nachteile hat ZrO_2 im Vergleich zu Al_2O_3 ?*
+ Doppelte Bruchzähigkeit und Festigkeit
- geringe Alterungsbeständigkeit: tetragonale Phase neigt in vivo zum Umklappen, dadurch Volumenzunahme mit Erhöhung von Rauheit und Festigkeitsverlust
- 34) *Was dient als Rohstoff für ZrO_2 ?*
Zirkon aus Schwermineralseifen
- 35) *Was sind Vor- und Nachteile von Titanoxid?*
Sehr gute Blutverträglichkeit, schlechte mechanische Eigenschaften.
- 36) *Wie lassen sich Calciumphosphatkeramiken strukturell unterscheiden?*
Ortho- (PO_4^{3-}), Pyro- ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) und Polyphosphate ($(\text{PO}_3)_n^{n-}$)
- 37) *Warum haben Calciumphosphate eine ausgezeichnete Biokompatibilität?*
Sie sind der mineralischen Phase des Knochens chemisch und strukturell sehr ähnlich.
- 38) *Verschiedene Calciumphosphate unterscheiden sich in ihrer Löslichkeit. Welche Faktoren spielen eine Rolle?*
Niedriger pH-Wert in der Umgebung, große spezifische Oberfläche, Gitterdefekte durch Verunreinigungen oder Leerstellen
- 39) *Nennen Sie zwei Calciumphosphatkeramiken.*
Amorphes Calciumphosphat, Tricalciumphosphat, Tetracalciumphosphat, Hydroxylapatit, Fluorapatit
- 40) *Für welche Anwendungen ist Hydroxylapatit (HAp) geeignet?*
Nur für nicht Lasttragende, z.B. als Beschichtung von Endoprothesen zur Steigerung der Biokompatibilität. Knochenersatz, Dental- und Ohrimplantate, Wirbelersatz

- 41) *Welche positiven Eigenschaften hat HAp? Vergleichen Sie HAp und Knochen.*

Knochen wächst an Implantat an, dadurch verkürzte Heilungsphase und größere Implantatstabilität. Keine Bildung von Bindegewebe. Bei Einsatz zur Metallbeschichtung weniger freigesetzte Metallionen.

Werkstoffeigenschaften	Hydroxylapatit	Knochen
Dichte ρ	$< 3,16 \text{ g/cm}^3$	$1,7 - 2,0 \text{ g/cm}^3$
E-Modul E	max. 100 GPa	3 - 30 GPa
Druckfestigkeit $\sigma_{c,m}$	100 - 200 MPa	130 - 180 MPa
Zugfestigkeit $\sigma_{t,m}$	40 - 200 MPa	60 - 160 MPa
Biegefestigkeit $\sigma_{f,m}$	max. 100 MPa	100 MPa
Bruchzähigkeit K_{Ic}	$1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$	$2 - 12 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$
Wärmeausdehnung α	$11 \cdot 10^{-6} / \text{K}$	$20 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ (parallel) $30 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ (rechtwinklig)

- 42) *Wie kann ein Bauteil mit HAp beschichtet werden?*

thermisches Spritzen (Plasma oder Vakuum), Sintern, elektrophoretische Abscheidung

- 43) *Beschreiben Sie das Verfahren des thermokinetischen Beschichtens bzw. thermischen Spritzens.*

- Werkstoff in schmelzflüssige Phase überführen
- Beschleunigung der schmelzflüssigen Partikel im Heißgasstrahl
- Auftreffen auf die Werkstückoberfläche
 - Schnelle Verformung der Partikel mit Impulsübertragung
 - Phasenübergang flüssig -> fest, Wärmefreisetzung
 - Abkühlung mit Schrumpfung des erstarrten Schichtmaterials

- 44) *Worin unterscheiden sich Gläser von Keramiken in Bezug auf ihre Struktur?*

Gläser sind amorph, während Keramiken meist polykristallin sind.

- 45) *In welche Untergruppen lassen sich Gläser gliedern und welche ist am häufigsten verwendet?*

Silikatgläser (v.a. Alkali-Erdalkali-Silikat), oxidische Ein- oder Mehrkomponentengläser, nichtoxidische und nichtsilikatische Gläser. Silikatgläser meist verwendet.

- 46) *Welche mechanischen Eigenschaften werden Gläsern zugeschrieben?*

sprödelastisches Verhalten, geringe Bruchfestigkeit und -zähigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit von sehr gut bis sehr schlecht je Zusammensetzung

- 47) *Mit welcher Keramik lässt sich Bioglas am ehesten vergleichen? Mit welchen Vor- und Nachteilen?*

Hydroxylapatit (HAp), jedoch deutlich schnellere Bildung von Knochengewebe an der Grenzfläche und verstärkt resorbierbar, optische Transluzenz möglich. Jedoch ist die Festigkeit nochmals geringer.

- 48) *Wie werden Biogläser hergestellt?*

Glasschmelze mit $T=1300-1450^\circ\text{C}$ wird mit Guss oder Spritzguss in Form gebracht. Anschließend tempern bei $450-550^\circ\text{C}$.

- 49) *Wie lassen sich Biogläser in der Medizintechnik anwenden?*

Nicht lasttragende Knochenimplantate, Beschichtung von Endoprothesen (Ausbildung von humanem HAp an Grenzfläche), Mittelohrimplantat, Zahnpflege

- 50) *Welche Eigenschaften werden Biogläsern in vivo zugeschrieben? Wovon hängen diese ab?*
Je nach Zusammensetzung aus SiO_2 , Na_2O und CaO Knochenbindung, Bindegewebsbildung, Resorbierbarkeit, Bioaktivität.
- 51) *Wie entstehen Glaskeramiken und welche Eigenschaften haben diese im Vergleich zu den Gläsern?*
Mehrkomponentenglas wird bis zur Rekristallisation getempert. Dadurch wird die Porosität deutlich verringert und die Stoßresistenz steigt. Jedoch wird auch Bioaktivität herabgesetzt.
- 52) *Definieren Sie Biokompatibilität*
Biokompatibilität ist die Verträglichkeit zwischen einem technischen und einem biologischen System. Sie gliedert sich in Struktur- und Oberflächenkompatibilität.
- 53) *Was versteht man unter Strukturkompatibilität?*
Anpassung der technischen Struktur an das mechanische Verhalten des Empfängergewebes sowohl in Formgebung als auch innerer Materialstruktur.
- 54) *Was versteht man unter Oberflächenkompatibilität?*
Anpassung der Oberflächeneigenschaften des Implantats an das Empfängergewebe mit dem Ziel einer erwünschten Wechselwirkung.
- 55) *Unter welchem Begriff lassen sich Struktur- und Oberflächenkompatibilität zusammenfassen?*
Statische Biokompatibilität
- 56) *Was versteht man unter dynamischer Biokompatibilität?*
Eine Betrachtung, die Struktur- und Oberflächenkompatibilität unter Einbezug der angestrebten Kontaktzeit zwischen Implantat und Gewebe beurteilt.
- 57) *Definieren Sie die einzelnen Stufen der Biokompatibilität.*
- a) Inkompatibel: Substanzen werden in toxischer Konzentration freigesetzt.
Immunreaktion mit Entzündung, Nekrose, Abstoßung.
 - b) Biokompatibel/-tolerant: Substanzen werden in nicht-toxischer Konzentration freigesetzt. Einkapselung des Implantats in Bindegewebe und/oder schwache Fremdkörperreaktion
 - c) Bioinert: Keine Freisetzung von Substanzen
 - d) Bioaktiv: Positive Interaktion von Gewebe und Implantat, z.B. Knochenbildung
- 58) *Definieren Sie Biofunktionalität.*
Biofunktionalität ist die Ersetzung von Funktionen eines biologischen Systems durch eine technische Lösung ohne unerwünschte Effekte auszulösen. Z.B. Stützfunktion des Knochens bei Frakturversorgung mit Platte.
- 59) *Wie unterscheidet sich die Osteogenese an einem Implantat in Abhängigkeit von dessen Biokompatibilität?*
Biokompatibel: Distanzosteogenese an Bindegewebskapsel. Bioinert: Kontaktosteogenese, Wachstum Knochen -> Implantat. Bioaktiv: Verbundosteogenese, Wachstum Implantat -> Knochen.
- 60) *Wie unterscheiden sich osteokonduktive von osteoinduktiven Materialien?*
Osteokonduktiv: Implantat dient als Leitstruktur für einwachsenden Knochen, im Verlauf idealerweise vollständige Resorption und Substitution der Matrix durch Knochen
Osteoinduktiv: Stimulierender Einfluss des Implantats auf die Osteogenese über Regulationsmechanismen.

- 61) *Nennen Sie Kriterien für die in vitro Biokompatibilität.*
Zellwachstum, Zellmorphologie, Zelladhäsion, Benetzung, Veränderung der Stoffwechselprodukte
- 62) *Welche Vorteile haben in vitro Tests mit humanen Zellkulturen im Vergleich zu in vivo Tests?*
Toxizität ist quantifizierbar, spezifisches Gewebe analysierbar, Ergebnisse reproduzierbar, Kostenersparnis, bereits früh Tests mit menschlichem Gewebe.
- 63) *Welche Nachteile haben in vitro Tests mit humanen Zellkulturen im Vergleich zu in vivo Tests?*
Zellen liegen im Körper nie isoliert vor, Gewebe hat keine Möglichkeiten zur Entgiftung (Niere, Leber), Effekte, die auf Durchblutung angewiesen sind können nicht simuliert werden (Allergien, Tumorbildung), eingeschränkte Aussagekraft über Langzeitwirkung.
- 64) *Definieren Sie Korrosion.*
Korrosion ist die Reaktion von Materialien mit ihrer Umgebung. Dabei handelt es sich vor allem um Redoxreaktionen von Metallen unter Einfluss von Wasser, Salzlösungen, Säuren oder anderen Metallen. Auch Nichtmetalle können betroffen sein. Korrosion geht mit einer Änderung der Materialoberfläche einher. Ausgangspunkt ist die Werkstoffoberfläche.
- 65) *Welche Unterarten von Korrosion gibt es?*
Allgemeine, flächige Korrosion, Lochfraß- und Spaltkorrosion, galvanische Korrosion
- 66) *Auf welche Arten kann Korrosion umgebendes Körpergewebe beeinträchtigen?*
Elektrische Ströme (Galvanische Zelle), Variation von pH-Wert und O₂-Partialdruck, Ionenfreisetzung mit Veränderung des Metabolismus
- 67) *Nennen Sie die vier Hauptverschleißmechanismen.*
Abrasion (Kratzer), Adhäsion (Materialübertragung in Folge atomarer oder molekularer Wechselwirkung in der Kontaktzone), tribochemische Reaktion (Partikelbildung), Oberflächenermüdung (Rissbildung)