

Materialwissenschaften

Prof. Peter Müller-Buschbaum, TUM School of Natural Sciences

Kapitel 1: Eigenschaften und Klassifizierung von Materialien

1.1 Materialien im Verlauf der Zeiten

1.2 Eigenschaften von Materialien

1.3 Klassifizierung von Materialien

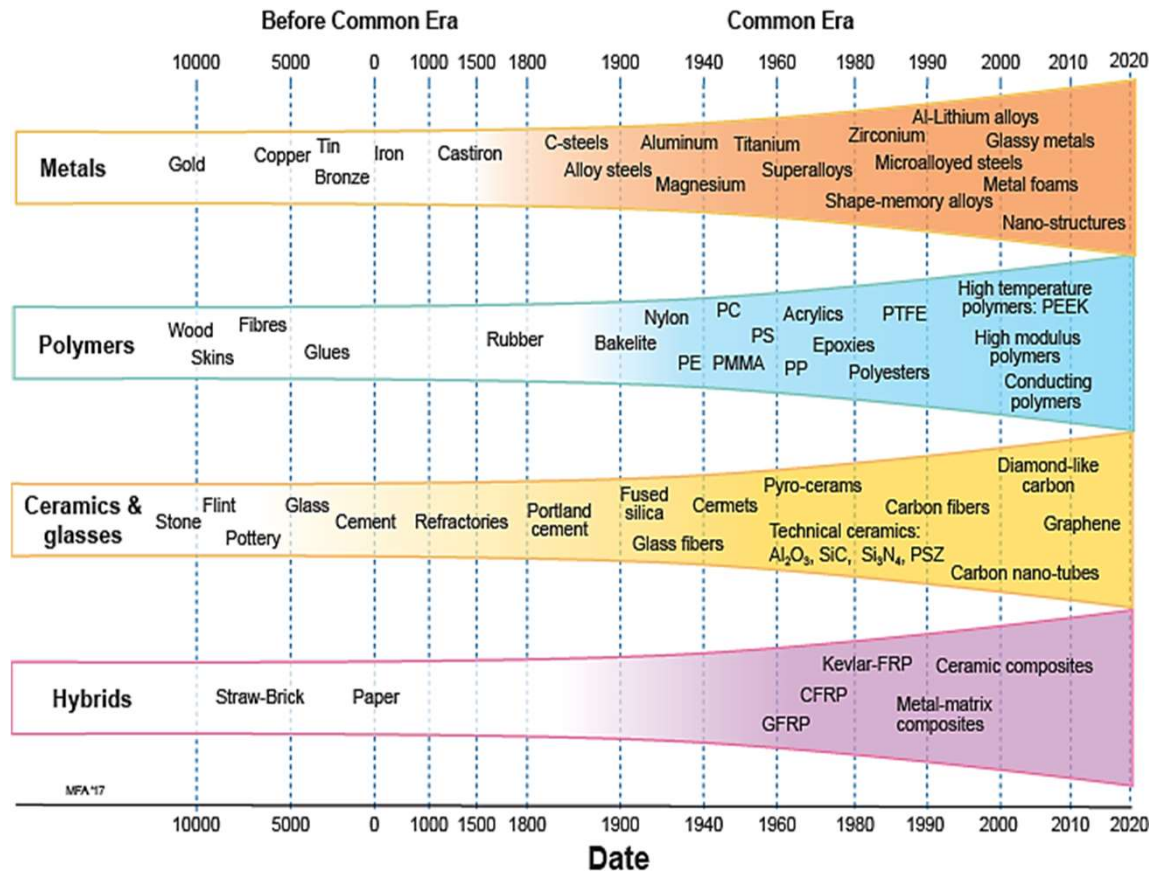
1.4 Funktionelle Materialien

1.5 Biomaterialien

1.6 Zusammenfassung

M. Ashby, H. Shercliff, D. Cebon:
Materials: Engineering, Science, Processing and Design.
2nd ed., 2010, Elsevier. Kapitel 1 und 2.

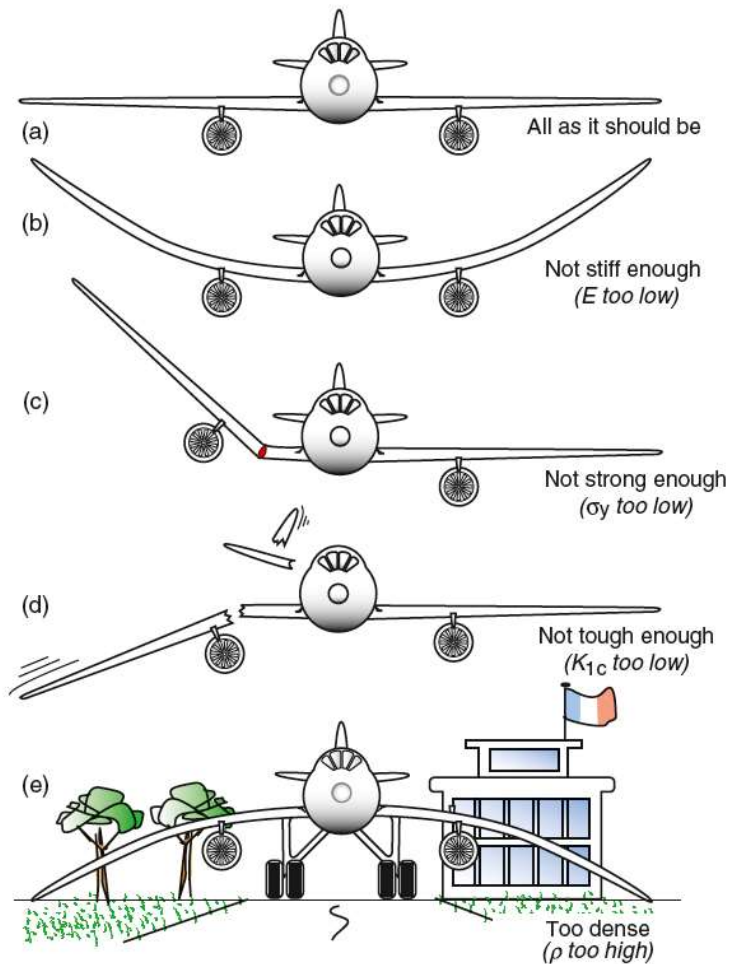
1.1 Materialien im Verlauf der Zeiten



Entwicklung der Chemie
(Thermochemie,
Elektrochemie und
Polymerchemie)

→ Entwicklung neuer
Materialien

1.2 Eigenschaften von Materialien



im Beispiel:

E : Elastizitätsmodul

σ_y : Streckgrenze

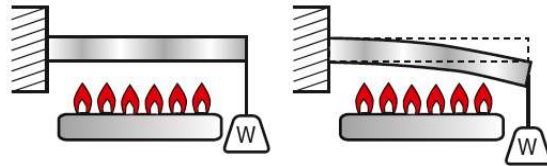
K_{1c} : Bruchzähigkeit

ρ : Massendichte

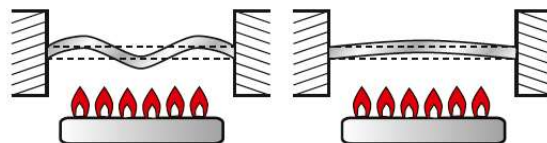
- Welche Parameter sind sinnvoll zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften?
- Wie können die gewünschten mechanischen Eigenschaften erzielt werden?

→ Bindungsart, Kristallgitter, Defekte, Korngrenzen, ...

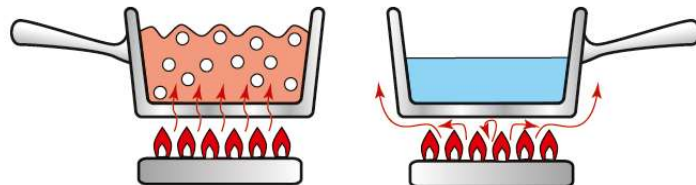
Thermische Eigenschaften



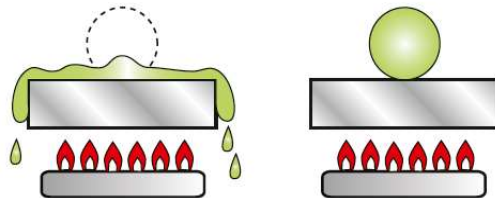
(a) High service temperature T_{\max} Low service temperature T_{\max}



(b) High expansion coefficient α Low expansion coefficient α



(c) High conductivity λ Low conductivity λ



(d) High T-diffusivity a Low T-diffusivity a

im Beispiel:

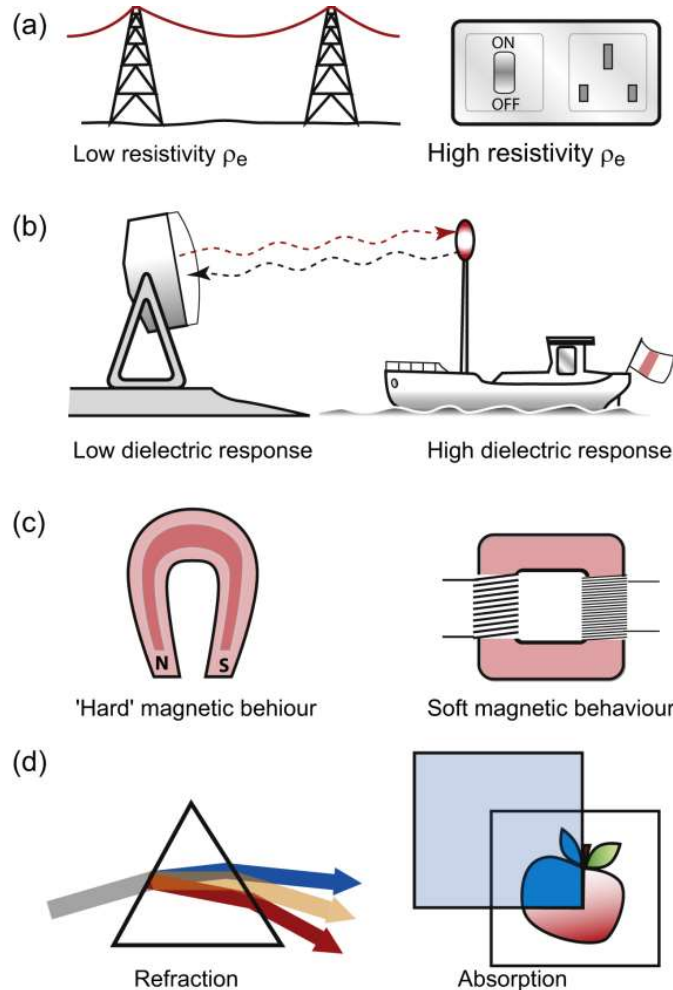
T_{\max} : maximal mögliche Temperatur
für die gegebene Anwendung

C_p : Wärmekapazität

λ : Wärmeleitfähigkeit

Diffusionskoeffizient $D \sim \frac{\lambda}{C_p}$

Elektrische und optische Eigenschaften



im Beispiel:

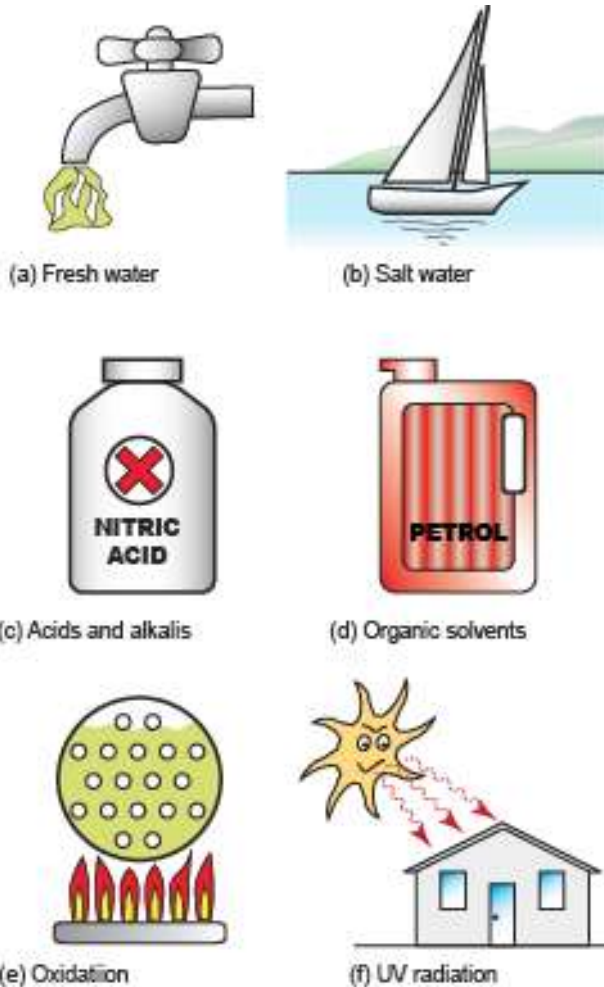
ρ_e : spezifischer elektrischer Widerstand

ϵ_D : dielektrische Konstante

harter Magnet: permanent magnetisiert

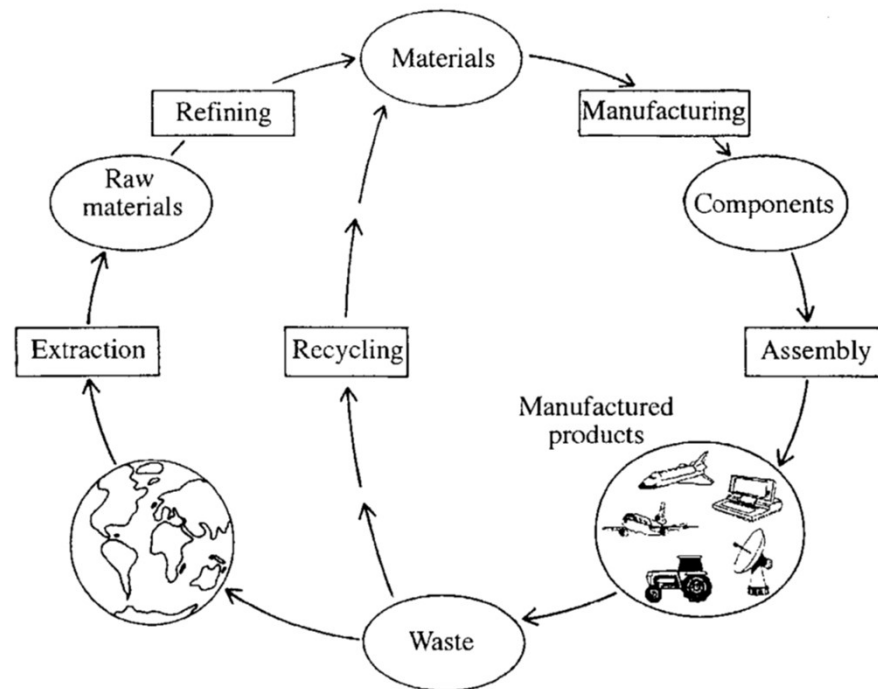
weicher Magnet: kann magnetisiert und entmagnetisiert werden

Chemische Eigenschaften



Widerstandsfähigkeit eines Materials gegenüber Wasser, Säuren, Basen, organischen Lösungsmitteln, Oxidation, Strahlung, ...

Weitere Aspekte bei der Materialwahl

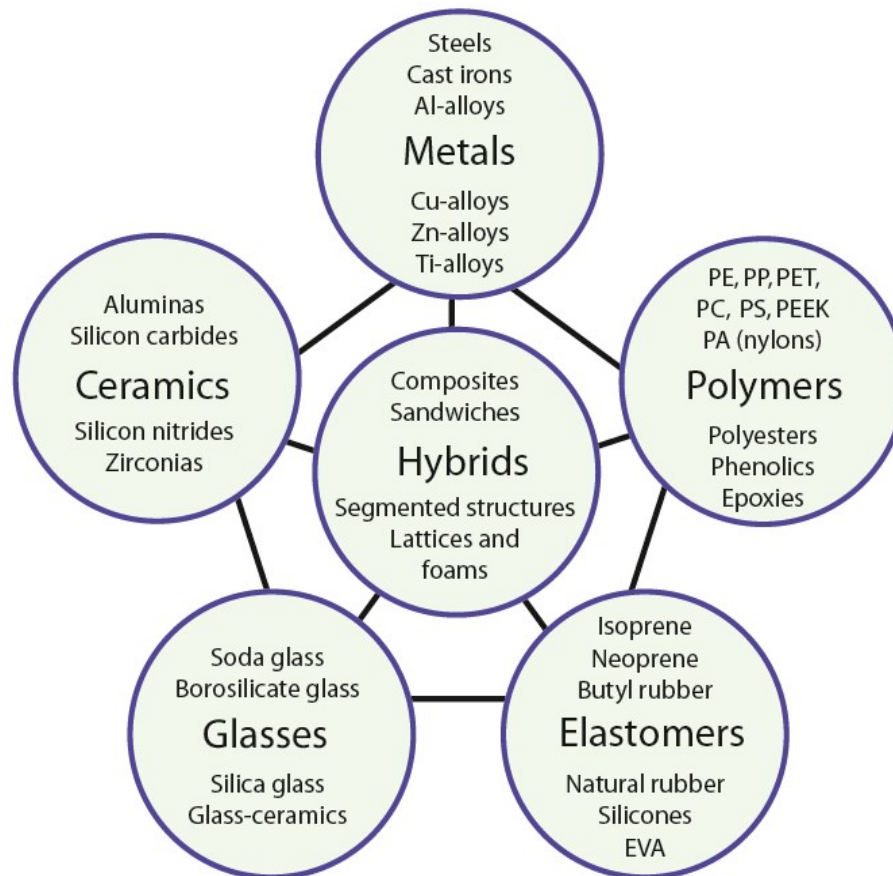


Lebenszyklus
eines Materials

weitere Aspekte bei der Materialwahl:

Verfügbarkeit, Kosten, Herstellungsmethoden, Formbarkeit,
Umweltverträglichkeit, Abbaubarkeit, Rezyklierbarkeit, ...

1.2 Klassifizierung von Materialien



sechs Materialklassen

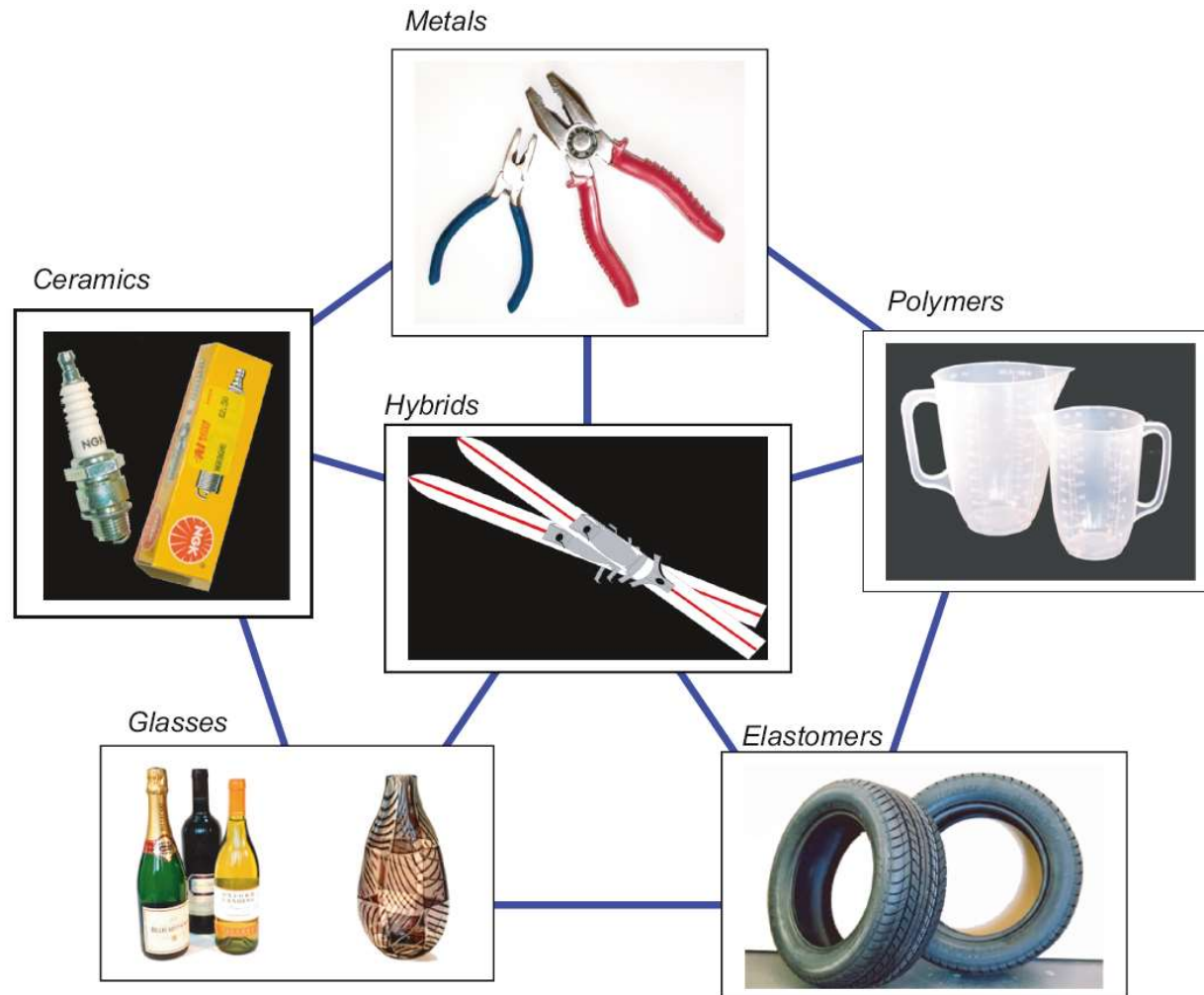
Materialien jeder Klasse haben

- ähnliche Eigenschaften
- ähnliche Verarbeitungsmethoden
- ähnliche Anwendungen

Hybridmaterialien:

Kombinationen von
Materialien anderer Klassen

Beispiele für Materialklassen



M. Ashby, H. Shercliff, D. Cebon: Materials: Engineering, Science, Processing and Design.
2nd ed., 2010, Elsevier

Beispiele für Materialklassen



Metalle

- hohe Schlagzähigkeit, Festigkeit und Verformbarkeit
- großer Bereich von Festigkeiten, je nach Zusammensetzung und Verarbeitung
- thermisch und elektrisch leitfähig
- reaktiv → leicht korrodierend

keramische Materialien: nicht-metallische, anorganische Festkörper

- hohe Festigkeit, Härte und Abriebfestigkeit, auch bei hohen Temperaturen, aber auch spröde
- nicht korrodierend



Beispiele für Materialklassen



Gläser: nichtkristalline (amorphe) Festkörper

- hart, aber spröde
- elektrische Isolatoren
- nicht korrodierend
- transparent

Polymere: organische Festkörper aus langen Kettenmolekülen aus Kohlenstoffatomen

- leicht (niedrige Massendichte), leicht verformbar, hohe Festigkeit pro Masseneinheit
- geringe Härte, niedriger Elastizitätsmodul
- Eigenschaften stark druckabhängig



Beispiele für Materialklassen



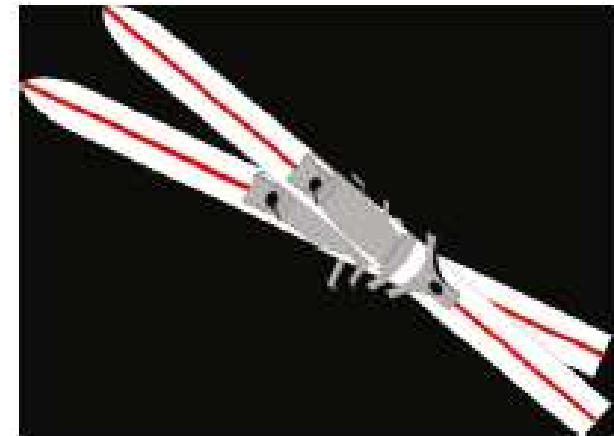
Elastomere: chemisch vernetzte Polymermaterialien

- geringe Härte, niedriger Elastizitätsmodul
- nehmen ihre Form nach Verformung wieder an
- hohe Schlagzähigkeit

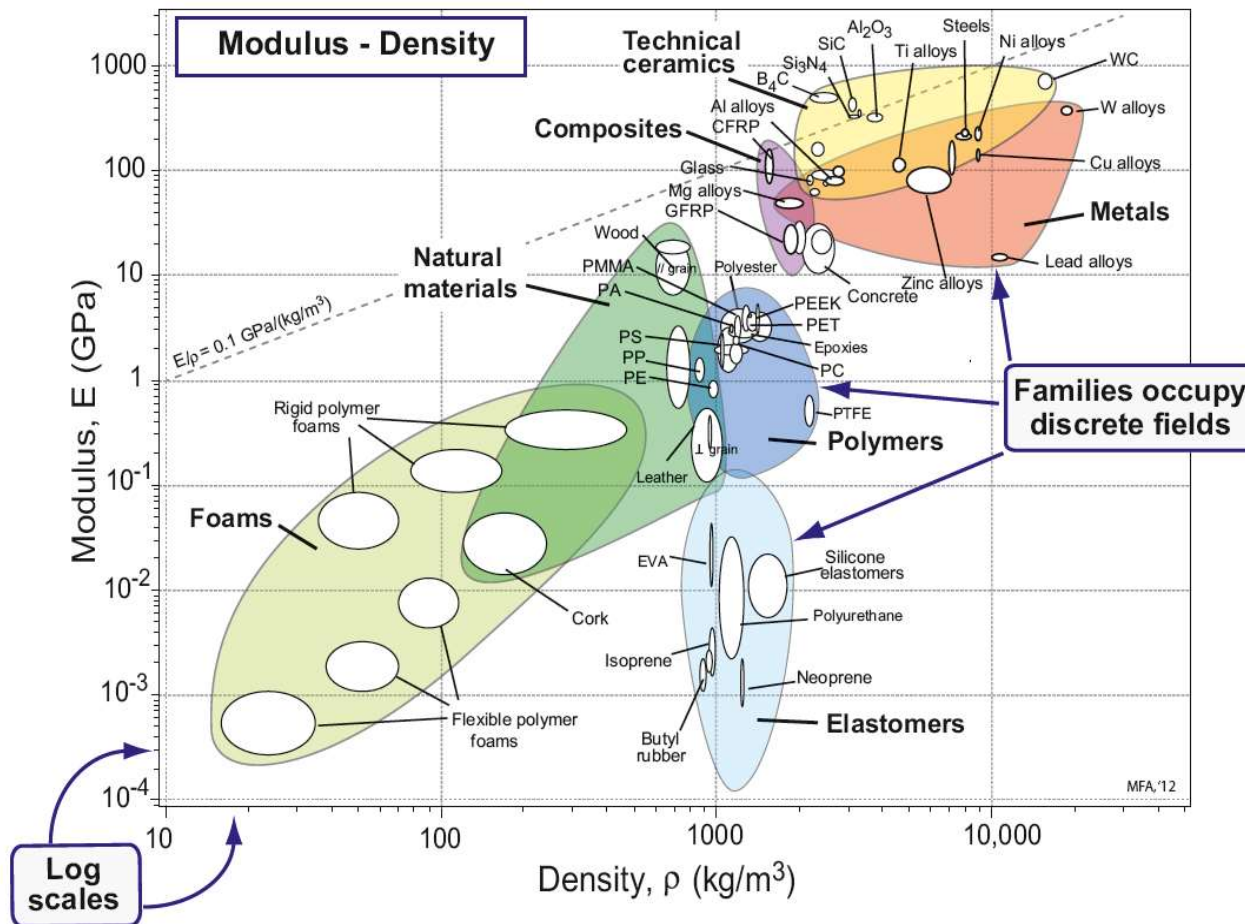
Hybridmaterialien:

Kombination von zwei oder mehr Materialien

- Eigenschaften bestimmt durch die der kombinierten Materialien
- schwierig zu formen und zusammen zu fügen
- teuer



Materialklassen: Elastizität und Dichte



Ashby plot

Verhältnis
Elastizitätsmodul zu
Massendichte, E/ρ ,
ist wichtige Kenngröße
für die Auswahl leichter,
aber fester Materialien

M. Ashby, H. Shercliff, D. Cebon: Materials: Engineering, Science, Processing and Design.
2nd ed., 2010, Elsevier

Ask ChatGPT !

structural materials	<ul style="list-style-type: none"> • high strength • high durability • low density 	<ul style="list-style-type: none"> • infrastructure • transportation • aerospace industry
biomedical materials	<ul style="list-style-type: none"> • biocompatible • suitable mechanical properties 	<ul style="list-style-type: none"> • tissue engineering • drug delivery systems • biocompatible implants
advanced materials	<ul style="list-style-type: none"> • graphene • carbon nanotubes • 2D materials 	<ul style="list-style-type: none"> • nanoelectronics • nanomedicine
smart materials	responsive to external stimuli: temperature/pH change, light, ...	<ul style="list-style-type: none"> • sensors, actuators • adaptive structures
energy materials	<ul style="list-style-type: none"> • conductive for electrons or ions • photoconductive 	<ul style="list-style-type: none"> • solar cells, batteries, fuel cells • thermoelectric devices
functional materials	<ul style="list-style-type: none"> • superconductors • ferroelectrics • piezoelectrics 	<ul style="list-style-type: none"> • electronics • sensors • actuators

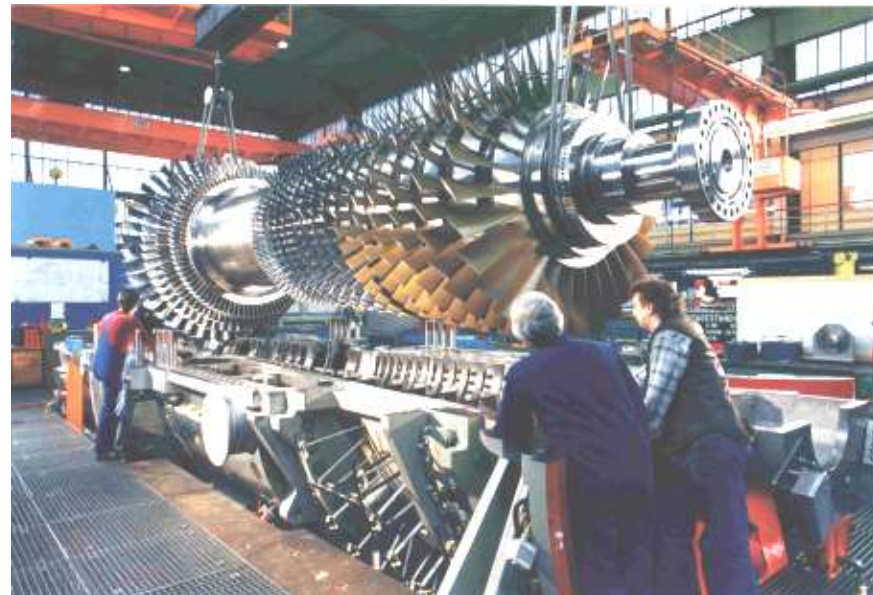
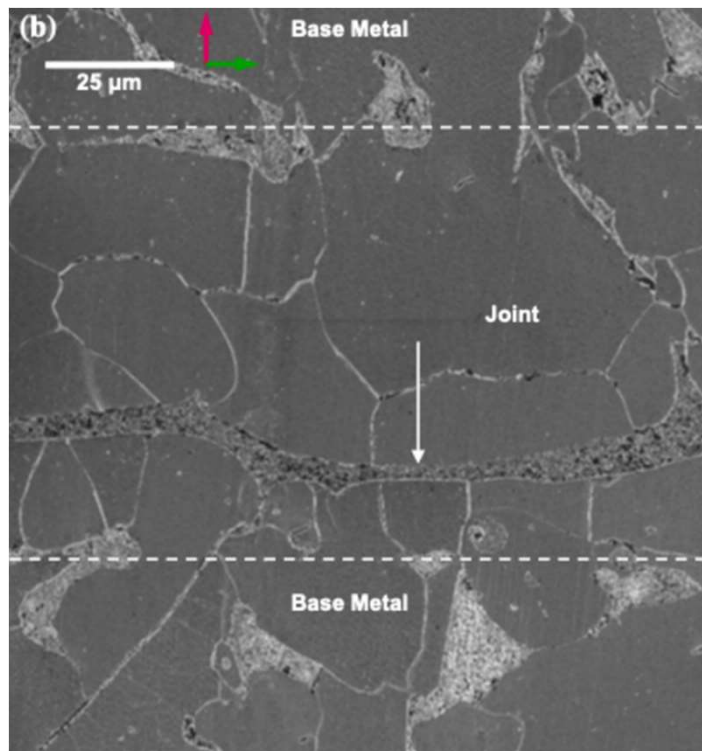
Ask ChatGPT !

sustainable materials	<ul style="list-style-type: none"> • from renewable sources • from recycling • from environmentally friendly synthesis method 	replace traditional materials, e.g., plastics made from crude oil
materials for additive manufacturing (3D printing)	<ul style="list-style-type: none"> • polylactic acid • dental resins • titanium • silicon carbide • glass fiber • bioinks from hydrogels 	<ul style="list-style-type: none"> • printable • dimensional stability • curable
computational materials science	predict and optimize the properties of materials before they are synthesized	<ul style="list-style-type: none"> • accelerating the discovery process • tailoring the properties

- Vielfalt und Interdisziplinarität der materialwissenschaftlichen Forschung
- technologische Fortschritte / neue Herausforderungen
→ neue Forschungsbereiche

1.4 Funktionelle Materialien

Hochfester Stahl für Öl- und Gaspipelines sowie Turbinen



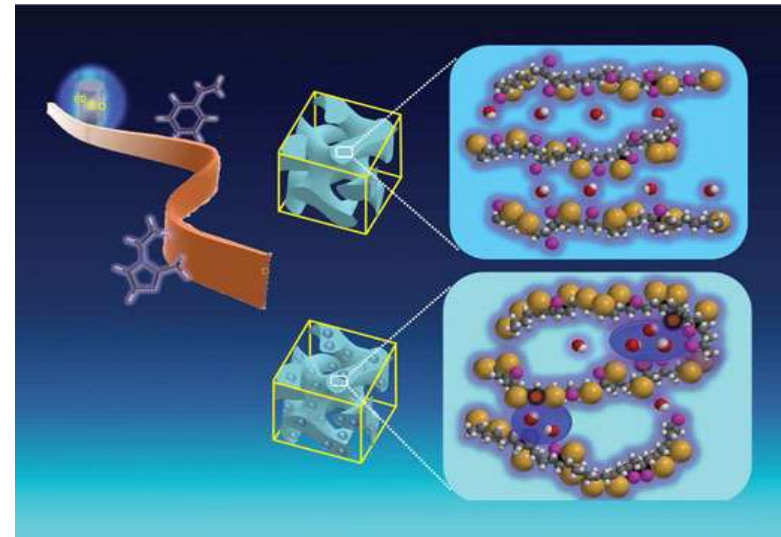
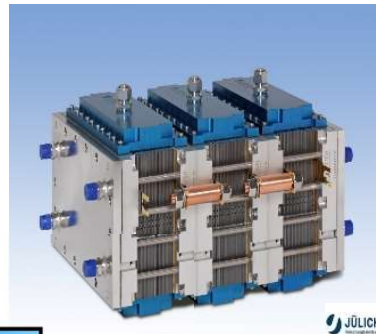
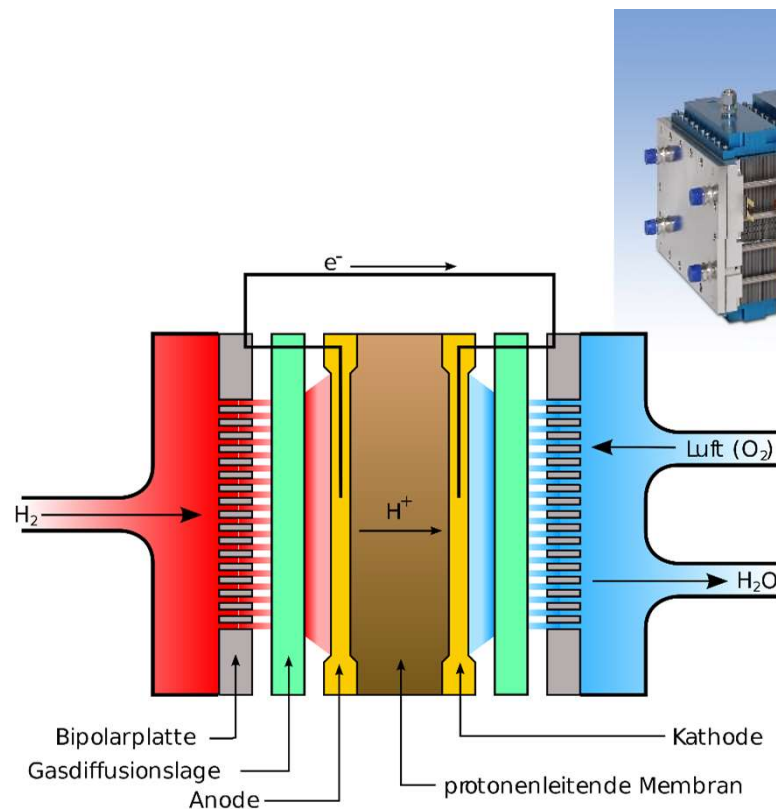
Schweißen = „Naht“ zwischen den Metallteilen mit geänderter Mikrostruktur

→ Schwachstellen in der Naht wegen unvollständigen Erstarrung identifiziert

Di Luozzo et al., *J. Mater. Sci.* **55**, 7927–7937 (2020)

Brennstoffzellen

Membranen von Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen, die ohne seltene und teure Edelmetalle wie Platin auskommen

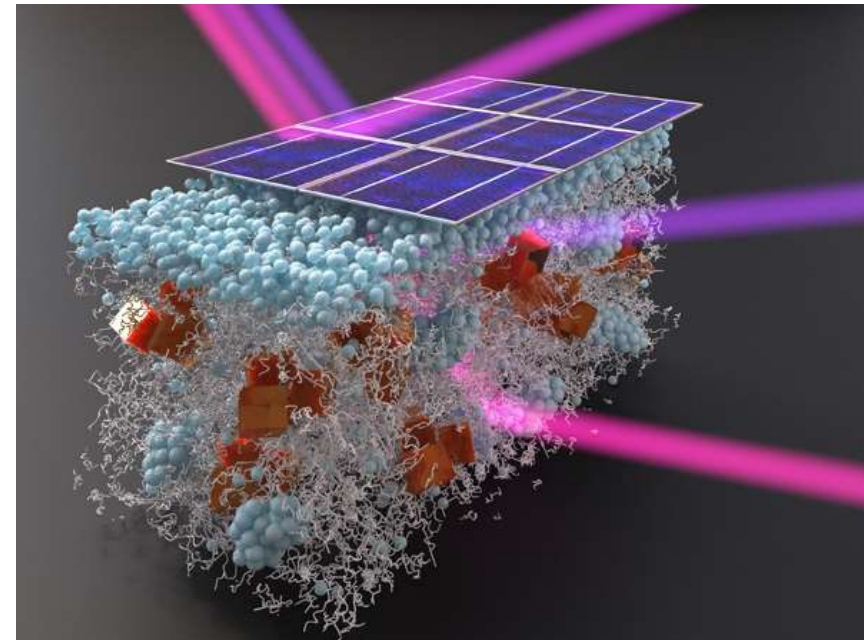


offene versus geschlossene Porenstruktur
der Membran
→ Struktur-Eigenschaftsbeziehung

Yoshimura et al., *Soft Matter* 14, 9118 (2018)

Organische Solarzellen

Einsatz von leitfähigen Polymeren mit
p- und n-Typ Halbleitereigenschaften



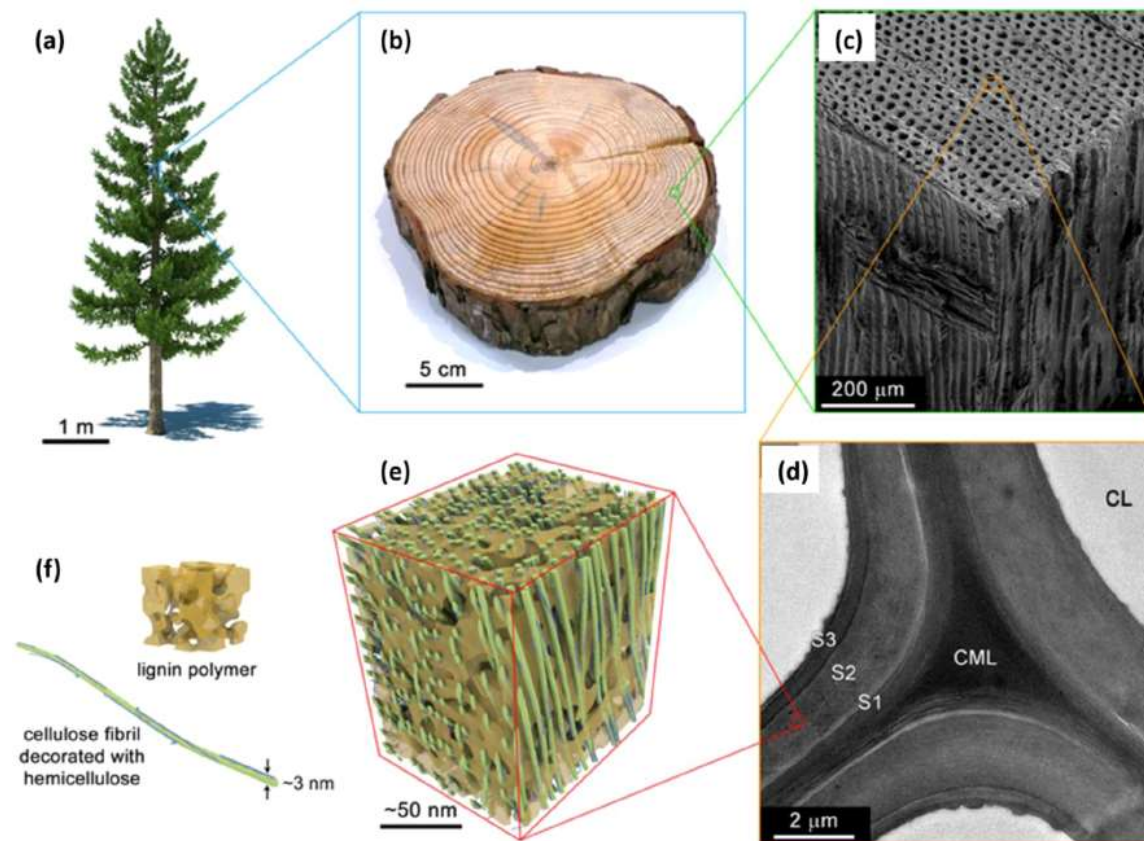
neue Eigenschaften: leicht, flexibel,
variable in der Farbe, funktioniert bei
diffusem Licht

→ Additiv verbessert molekulare
Anordnung und damit Effizienz

Wang, PMB, et al., *Adv. Funct. Mater.* **28**, 1800209 (2018)

1.5 Biomaterialien

Holz → Zellulose

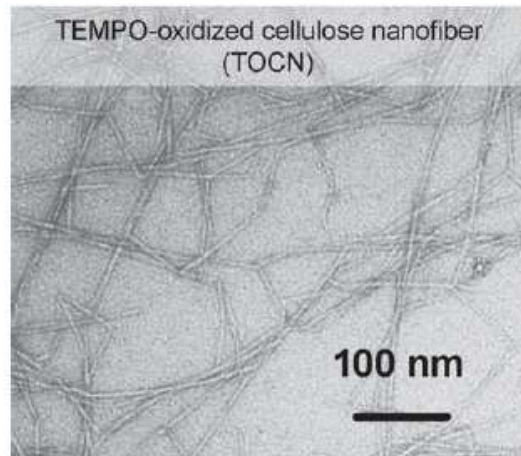


Holz: hochgeordnetes, verbundenes Netzwerk von aus den Zellen gebildeten Poren, sehr lange Zylinder parallel zur Achse des Stamms → Fasern

Cellulose: semikristalline Elementarfibrillen

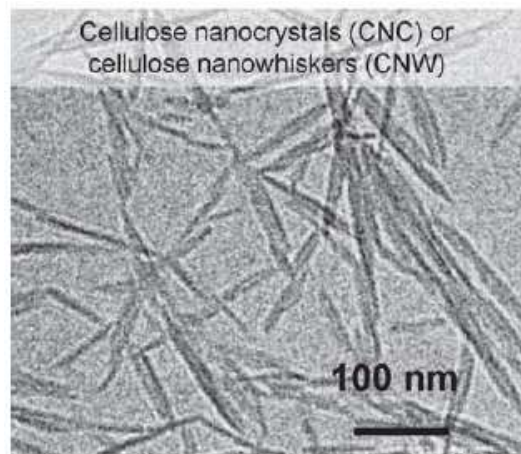
Lignin: amorphes Polymer

Nanocellulose



Cellulose-Nanofasern

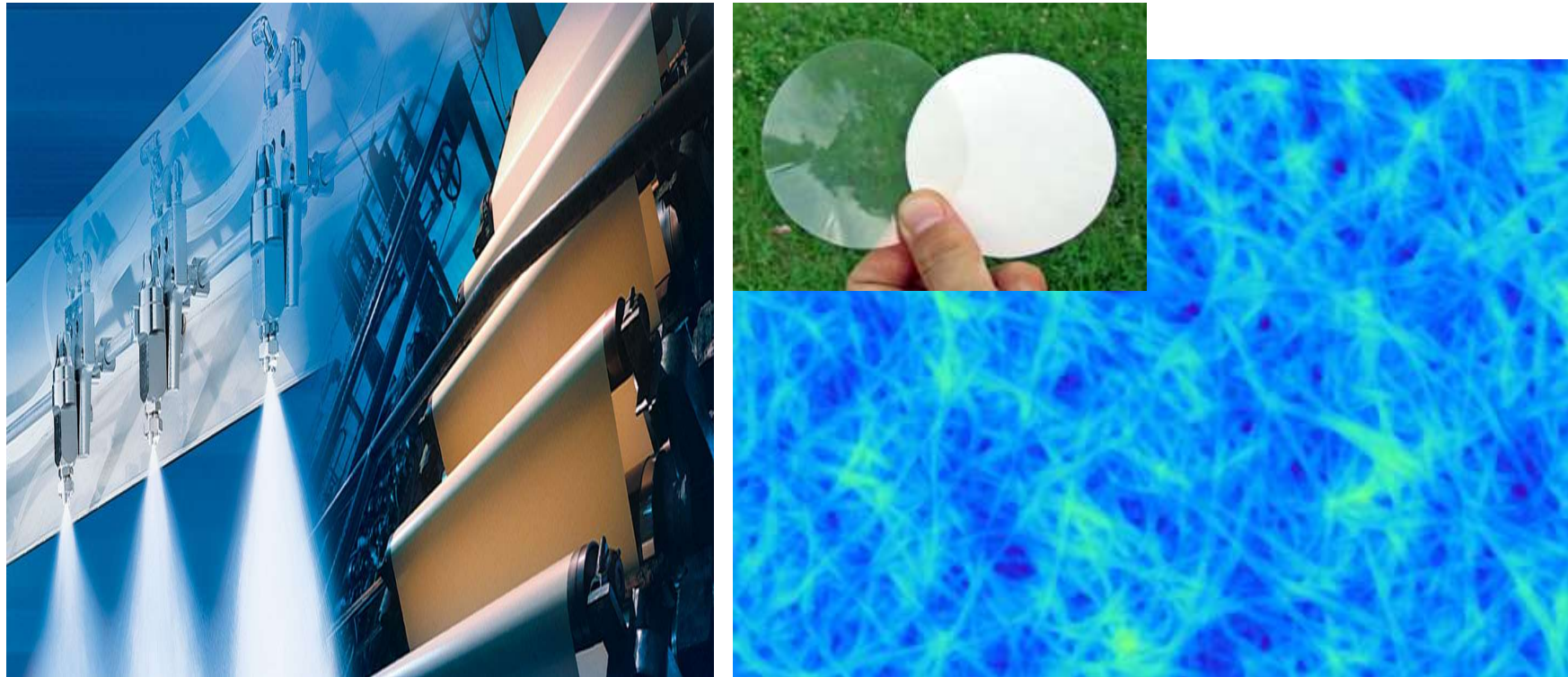
- 3-4 nm dick, einige Mikrometer lang
- durch Oxidation von Cellulose und Dispergieren in Wasser
- gasundurchlässige Folien für Verpackungen, als Filtermaterialien



Cellulose-Nanokristalle

- 5-10 nm dick, < 300 nm lang
- spindelförmig
- durch saure Hydrolyse von Cellulose und Dispergieren in Wasser
- Nanofiller für Kompositmaterialien

Sprühbares Nanopapier



Entstehung von Hohlräume im Film, in die sich funktionale Stoffe wie Polymere oder Metalle einschleusen lassen

→ Einfluss von Benetzen oder Trocknen

Brett, PMB et al., *Macromolecules* **52**, 4721-4728 (2019)

1.6 Zusammenfassung

wichtig bei der **Auswahl von Materialien**: mechanische, thermische, elektrische, magnetische, optische und chemische **Eigenschaften**

Materialien werden in **Materialklassen** zusammengefasst, innerhalb einer Klasse haben die Materialien ähnliche Eigenschaften.

Funktionelle Materialien haben z.B. interessante optische oder elektrische Eigenschaften, sie sind oft Hybridmaterialien aus einer Matrix und Partikeln, die eine Funktion aufweisen.

Biomaterialien haben oft einen komplexen, hierarchischen Aufbau, in dem verschiedene Materialien kombiniert sind.

