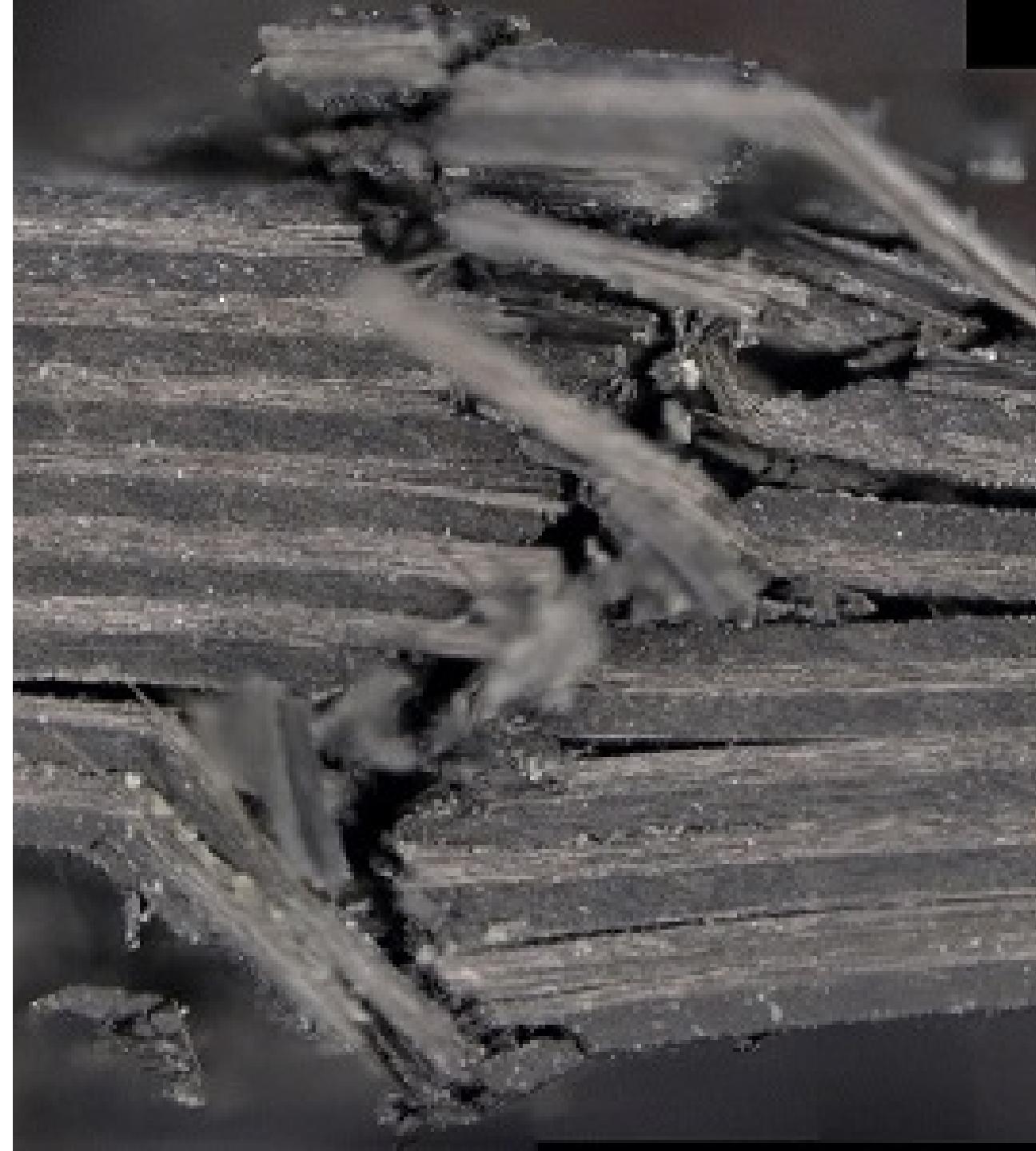


Vorlesung Werkstofftechnik - Nicht Eisen Werkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg^{id}

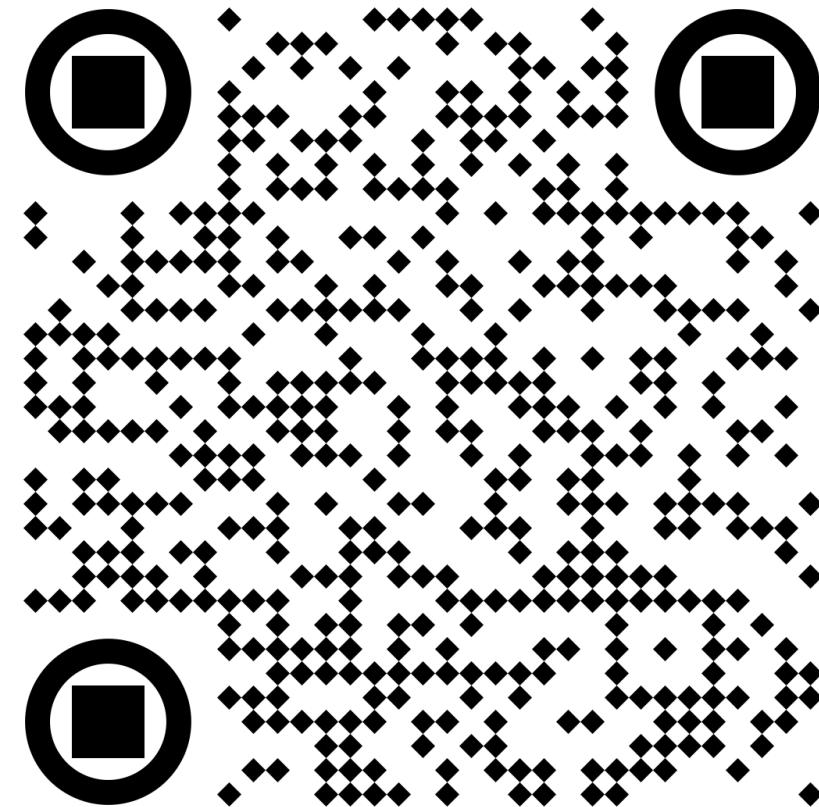
Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: christian.willberg@h2.de



Nicht Eisenwerkstoffe

- Nicht-Eisenmetalle
- Kunststoffe
- Gläser
- Keramiken
- Metamaterialien
- Multifunktionale Materialien
- Faserverbundkunststoffe
- Leichtbauexkurs



Vergleich von Werkstoffen

- spezifische Kennwerte

Spezifische Eigenschaften = $\frac{\text{Eigenschaft}}{\text{Bezugsgröße}}$

Beispiele:

Spezifische Masse (Dichte) - $\rho = \frac{m}{V}$

Spezifische Festigkeit - $R_{spez} = \frac{R_m}{\rho}$

Nicht-Eisen Metalle

Stahl hat eine Jahresproduktion von ~1900 Mio. t

Aluminium

Gute [Übersicht](#) über die
Eigenschaften, Herstellung, etc.

Die spezifische Festigkeit von
Aluminium und Stahl liegt sehr nah
beieinander.

Vorteile:

- Geringe Dichte, deshalb bedeutend geringeres Gewicht als vergleichbare Bauteile und Konstruktionen aus Stahl.
- Aluminiumwerkstoffe lassen sich hervorragend warm- und kaltumformen.
- gute Gießbarkeit
- Aushärtbarkeit
- gute Zerspanbarkeit
- Aufgrund einer passivierenden Oxidschicht auf der Oberfläche gelten Aluminiumwerkstoffe grundsätzlich als sehr korrosionsbeständig gegenüber zahlreichen wässrigen Medien.

Nachteile:

- höhere Kosten im Vergleich zu Stahl

Anwendung

- Automobilbau
- Luft- und Raumfahrttechnik
- Fahrräder
- Alufolie

Herstellung

- Aluminium wird aus Al_2O_3 gewonnen
- Schmelzpunkt von Bauxit ist sehr hoch 2060 °C
- Es wird daher eine Smelzflusselektrolyse angewandt
- Elektrolyt - Lösung von Aluminiumoxid in geschmolzenen künstlich hergestellten Kryolith. Kryolith (Mineral aus Natrium, Aluminium und Fluor)

- Energieaufwand sehr hoch
- Recycling benötigt nur 5% der Energie die für die Herstellung von Primäraluminium nötig ist

um die 60-70 Mio. t Produktion

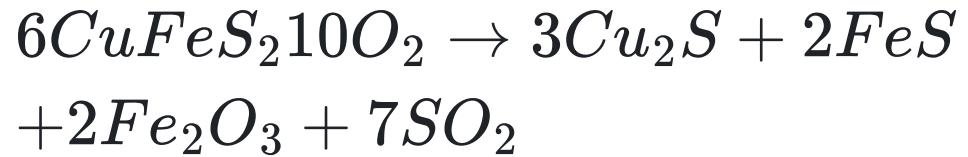
Kupfer

- Kupfer ist ein sehr guter elektrischer und thermischer Leiter

- bekannte Legierungen sind
 - Bronzen (Kupfer-Zinn)
 - gute Festigkeit
 - Korrosionsbeständigkeit
 - leichte Verarbeitung
 - Messinge (Kupfer-Zink)
 - bis 37% Zink einphasiges Messing
 - zwischen 37-44% Zink zweiphasiges Messing
 - gut spanbar
 - Kupfer-Nickel Legierungen

Herstellung

- aus Kupferstein



in mehreren Schritten kommt es zu
Reaktion



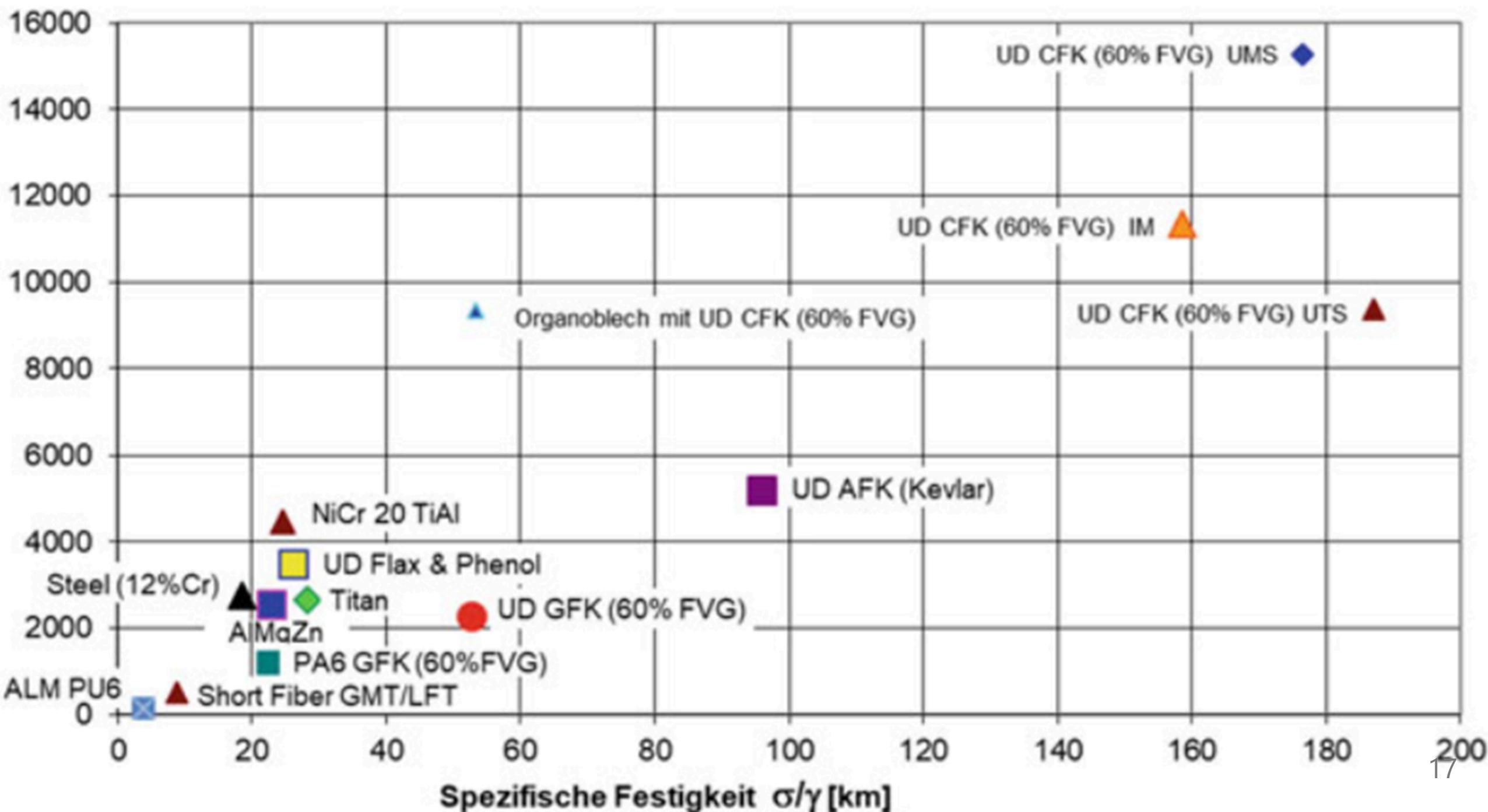
17 Mio. t (2006) - 28 Mio. t (2025*)

Weitere

- Magnesium findet im Leichtbau Anwendung
- Titan und Titanlegierungen
 - hohe Festigkeit und Warmfestigkeit
 - Korrosionsbeständig
- Nickel
 - Korrosionsbeständigkeit
 - hohe Warmfestigkeit

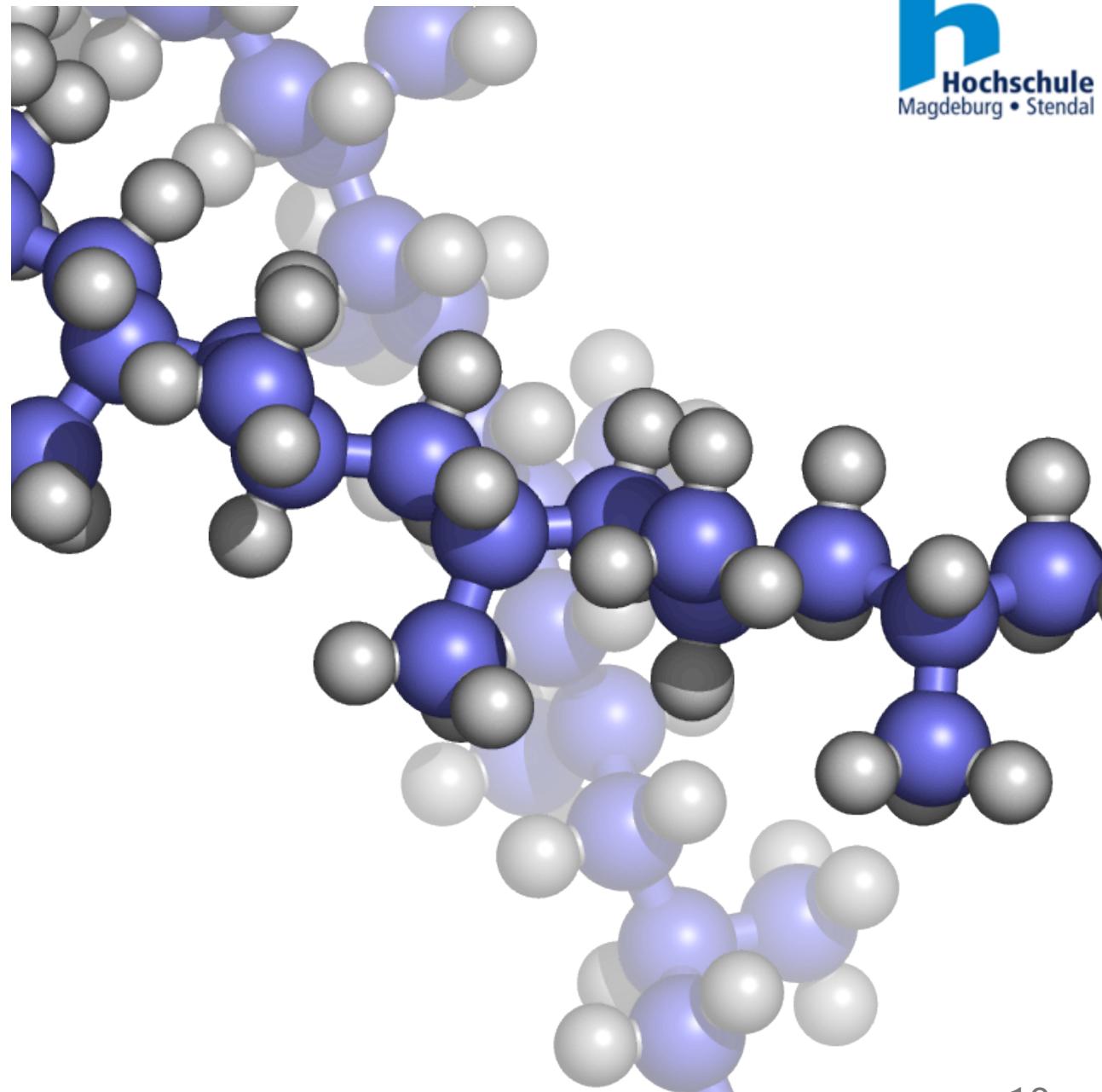
- Zink
 - Korrosionsschützende Überzüge
 - witterungsbeständige Bleche
- Blei
 - Leicht gießbar
 - chemisch beständig
 - Batterien, Lager und Lote

- Wolfram (Tungsten)
 - höchste Schmelztemperatur von allen Metallen
 - Glühfände,
Schweißelektroden und
Sonderbauteile



Kunststoffe

- Kunststoffe bestehen hauptsächlich aus Makromolekülen
- Je nach Herstellungsverfahren und zugesetzten Additiven (Zusatzstoffe) haben sie ein sehr weites Eigenschaftsspektrum.
- Polymere können aus Naturstoffen oder rein synthetisch gewonnen werden



Anwendungen

- Verpackungsindustrie
- Isolierungen
- Spielzeug
- Rohre
- Verkleidungen
- Dämmungen
- Leiterplatten
- uvm.

Umweltproblem

- über 70% der Kunststoffe werden in Deponien gelagert, 9% recycled, der Rest wird verbrannt
- Mikroplastik
 - wird bewusst genutzt (Zahnpasta) oder entsteht durch mechanische Zerstörung von Kunststoffen in der Umwelt
 - reichert sich in Nahrungsmitteln, Tieren und Pflanzen an
 - kann negative Wirkungen haben (bei Menschen noch nicht nachgewiesen)

Unterteilung

Thermoplaste

- bestehen aus unvernetzten Polymeren
- häufig mit einer teilkristallinen Struktur
- sind schmelzbar und haben eine Glastemperatur
- sind im Prinzip recyclebar

Duroplaste

- engmaschig vernetzten Polymere (Vernetzungen sind die roten Punkte)

Elastomere

- weitmaschig vernetzten Polymere
- Weitmaschigkeit erlaubt hohe Streckungen (z.B. Gummibänder)

Glastemperatur

T_g ist die Temperatur, bei der ein amorpher Feststoff (z. B. ein Glas oder ein amorphes Polymer) von einem starren, glasartigen Zustand in einen weichen, gummiartigen Zustand übergeht.

Thermoplast

Aggregatzustände

Bei verschiedenen Temperaturen nehmen Thermoplaste verschiedene Aggregatzustände an. Diese können dann genutzt werden, um den Werkstoff in Form zu bringen

- Fest
- Thermoelastisch
- Thermoplastisch
- Fließfähig

Typische Fertigungsverfahren

- Spritzgießverfahren
- Extrusion
- Additive Fertigungsverfahren
- Blasformen
- Folienblasen

Anwendungen

- Automobilindustrie: Verwendung in Innen- und Außenverkleidungen, Stoßfängern und Scheinwerfergehäusen.
- Luft- und Raumfahrt: Einsatz in Interieur-Komponenten von Flugzeugen und Satelliten aufgrund des geringen Gewichts.
- Medizintechnik: Herstellung von Einwegspritzen, Kathetern und anderen medizinischen Verbrauchsmaterialien.
- Bauwesen: Einsatz in Rohrleitungen, Isoliermaterialien und Fensterrahmen.
- 3D Druck

Beispiele

- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- Polystyrol (PS)
- Polycarbonat (PC)

Duroplast

- können Duroplasten aufgrund ihrer hohen Vernetzung nicht mehr aufgeschmolzen werden.
- hohe Temperaturen oberhalb der Zersetzungstemperatur zerstören die Bindungen (Pyrolyse).
- durch Polykondensation hergestellt.
- Findet stufenweise statt. Die Zwischenprodukte (Oligomere) der Stufen sind stabil, aber weiterhin reaktionsfähig. Diese Oligomere bilden dann final Makromoleküle.

Anwendungen

- Bremsbelege
- Faserverbundwerkstoffe
- Kabelbahnen
- Karosserieteile
- Schutzhelme

Beispiele

- Epoxidharze
- vernetzbare Polyurethane
- ungesättigte Polyesterharze

Elastomer

- Glastemperatur befindet sich unterhalb des Einsatzgebiets (bei tiefen Temperaturen werden sie glasartig)
- Elastomere können sich als thermoelastisch Verformen und finden in ihre Ursprungsform zurück
- Viele Elastomere werden heutzutage künstlich hergestellt. Allerdings gibt es einen großen Markt für Naturkautschuk. Dieser wird im wesentlichen vom Kautschukbaum geerntet. Es gibt erste Anwendungen Kautschuk aus **Löwenzahn** zu nutzen.

Anwendungen

- Dichtringe
- Reifen
- Gummibänder
- Vulkanisation beeinflusst die Zahl der Brücken (Punkte rechts)

Beispiele

- Naturgummi
- Gummi
- Chloropren
- Epichlorhydrin

Vulkanisation

Beschreibt den Herstellungsprozess, um thermoplastischen Naturkautschuk oder Synthesekautschuk in einen Elastomer zu wandeln.

- erzeugt kovalenten Bindungen (rote Punkte) zwischen den Molekülketten
- Schwefel oder schwefelgebenden Stoffe
- kovalenten Bindungen in Form von Schwefelbrücken
- Alterung ist ein Austausch der Schwefelbrücken durch Sauerstoffbrücken

Additive

Werden genutzt um die spezifischen Eigenschaften der Kunststoffe zu beeinflussen.

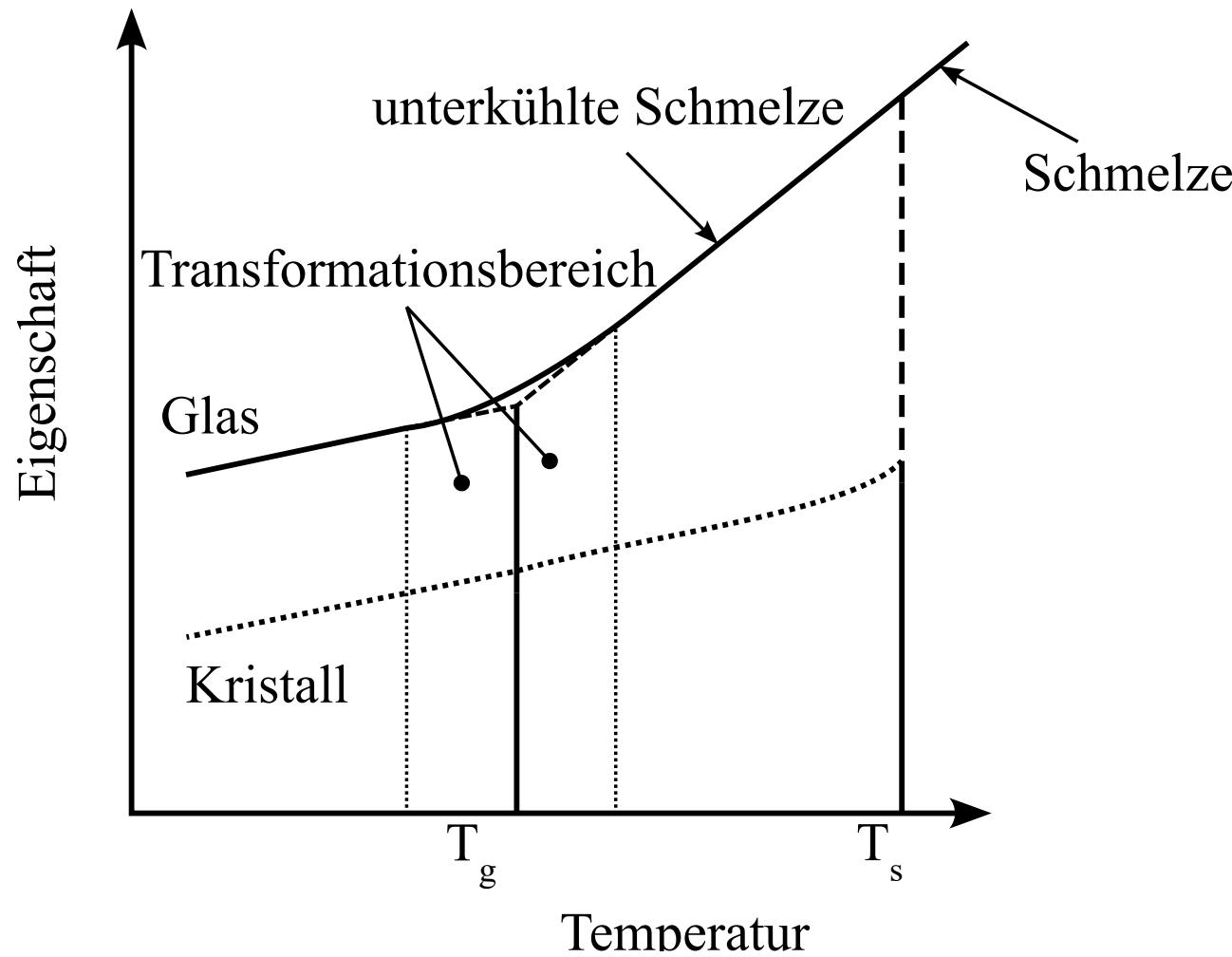
- Weichmacher
- Stabilisatoren
- Farbmittel
- Füllstoffe
- Verstärkungsstoffe

Gläser

- ist ein eingefrorender Zustand einer unterkühlten Flüssigkeit
- amorphe Struktur
 - stochastisch verteilt
 - isotrop
- Glastemperatur
- Kristalle ändern ihre Eigenchaften an der Schmelztemperatur sprunghaft (Phasenänderung)
- Bei Gläsern ist dies nicht der Fall (keine Phasenänderung)

Gläser

- unterhalb T_g
Festkörperverhalten
- oberhalb T_g
Flüssigkeitsverhalten
- der Prozess ist reversibel



Eigenschaften

- je nach Glas sehr verschieden
- in aller Regel sehr resilent gegenüber Chemikalien
- in aller Regel der zerbrechlich (niedrige Zugfestigkeit)
- nicht-metallische Gläser sind schlechter Leiter und können als Isolatoren genutzt werden

Anwendungen

- Scheiben
- Behälter
- Isolatoren
- Optiken

Keramiken

Ausgangsmaterial ist pulverförmig

- Aufbereiten und Mischen der Pulver
- Herstellen der Formteile
- Brennen (Sintern)

- Sehr hohe Druckfestigkeit (10 mal höher als Zug)
- Verhalten eines ideal spröden Körpers
- geringe Schlagbiegefertigkeit
- große Kerbempfindlichkeit

Quelle

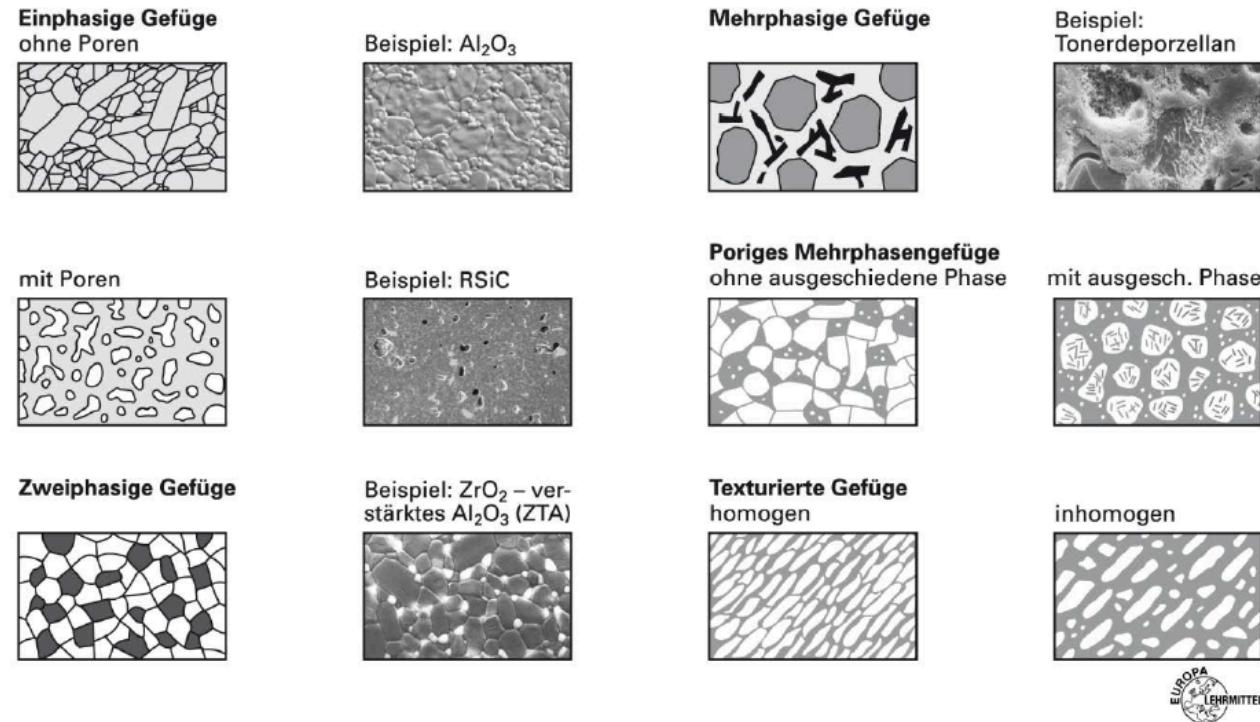


Abbildung 309: Gefüge von keramischen Werkstoffen (Läpple, 2011)

- Ursache für hohe Festigkeit und Elastizität sind die Hauptvalenzbindungen zwischen den Atomen
- Daher kein Gleiten wie bei Metallen möglich -> keine plastischen Eigenschaften

	Keramik	Metall	Polymere
Härte	↑	↓	↓
E-Modul	↑	↑	↓
Hochtemperaturfestigkeit	↑	↓	↓
Thermische Ausdehnung	↓	↑	↑
Duktilität	↓	↑	↑
Korrosionsbeständigkeit	↑	↓	↓
Verschleißbeständigkeit	↑	↓	↓
Elektrische Leitfähigkeit	↔	↑	↓
Dichte	↓	↑	↓
Wärmeleitfähigkeit	↔	↑	↓

↑ Tendenz zu hohen Werten
↓ Tendenz zu niedrigen Werten

Quelle

Härte Quelle

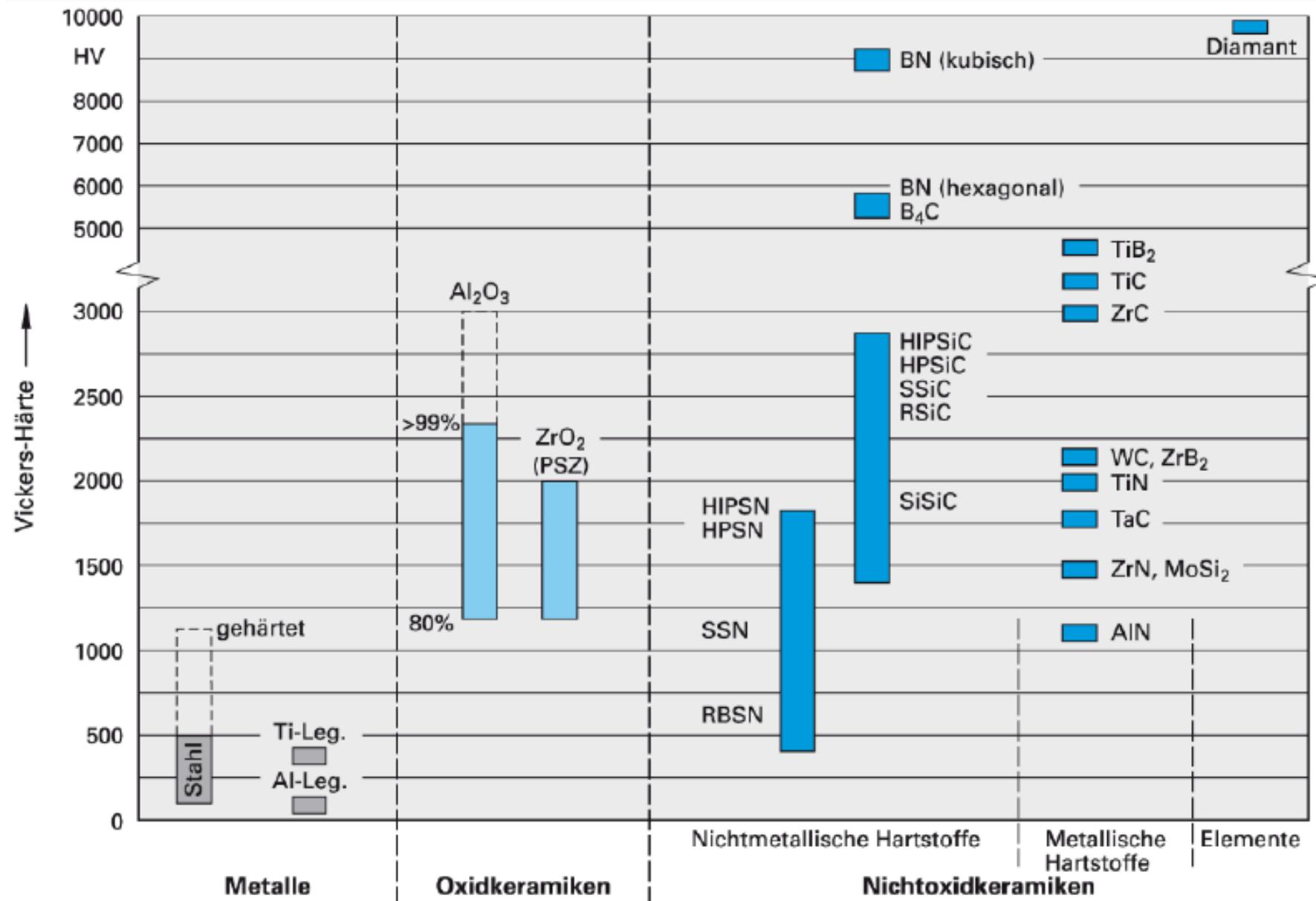


Abbildung 314: Vickers-Härte von Keramiken (Läpple, 2011)

Tonkeramiken

- mindestens 20% Tonmineral enthalten
- Porzelan hat vor allem technische Bedeutung

Glaskeramiken

- Mischung aus Glas und Keramik
- Teilkristallbildung durch Zutabe von Kristalliten
- wie Glas gegossen und dann Wärmebehandlung
- sehr geringer (teils negativer) Wärmeausdehungskoeffizient

Eigenschaften

Elektrisch

- hohe Kriechstromfestigkeit
- Hoher Durchgangswiderstand
- hohe Durchschlagfestigkeit

Unempfindlich gegen klimatische Einflüsse (Salznebel, Industriegase, Sonnenlicht, Wärme)

- als Stecker, Klemmleisten, Schalter, usw. eingesetzt



Technische Keramiken und deren Anwendungsgebiete

Können eine große Breite an Eigenschaften haben. Daher bedienen sie eine Vielzahl von Anwendungsgebieten.

- Medizintechnik: Knochen- oder Zahnersatz
- Elektrotechnik: Leistungskondensatoren
- Hochtemperaturanwendung: Brennersysteme, Heizelemente, Lager
- Lager- und Dichttechnik: Gleittringdichtungen, Gleitlager

Es existieren auch keramische Faserverbunde, welche die mangelnde Zugfestigkeit ausgleichen.

Metamaterial

Ziel von Metamaterialien ist es die Eigenschaften gezielt zu "bauen".

Hierfür wird die Mikrostruktur gebaut.

[Beispiel](#)

[Quelle](#)

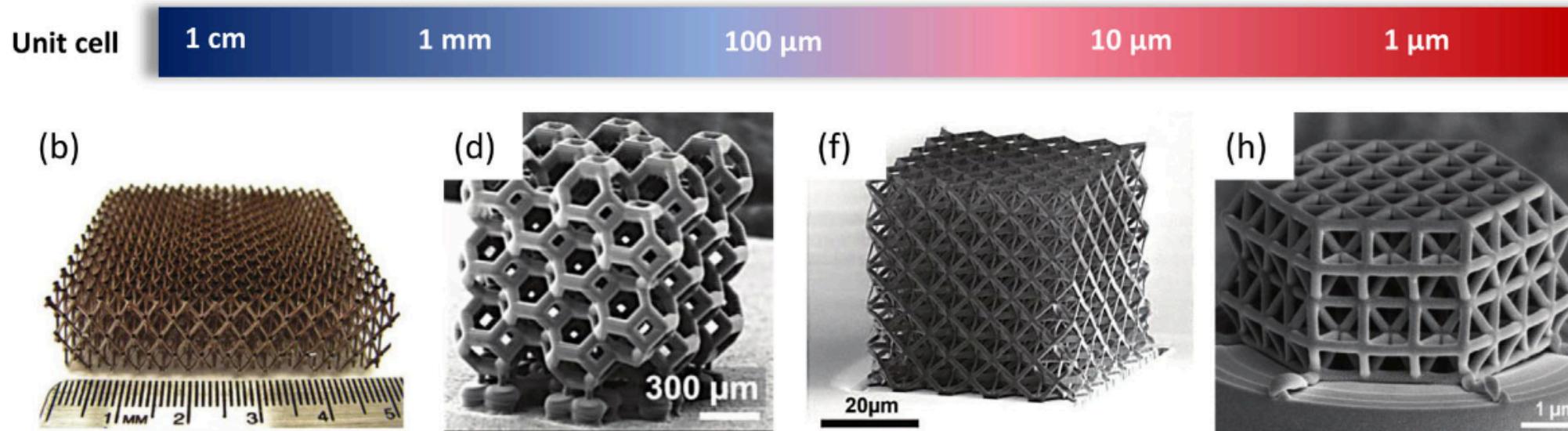
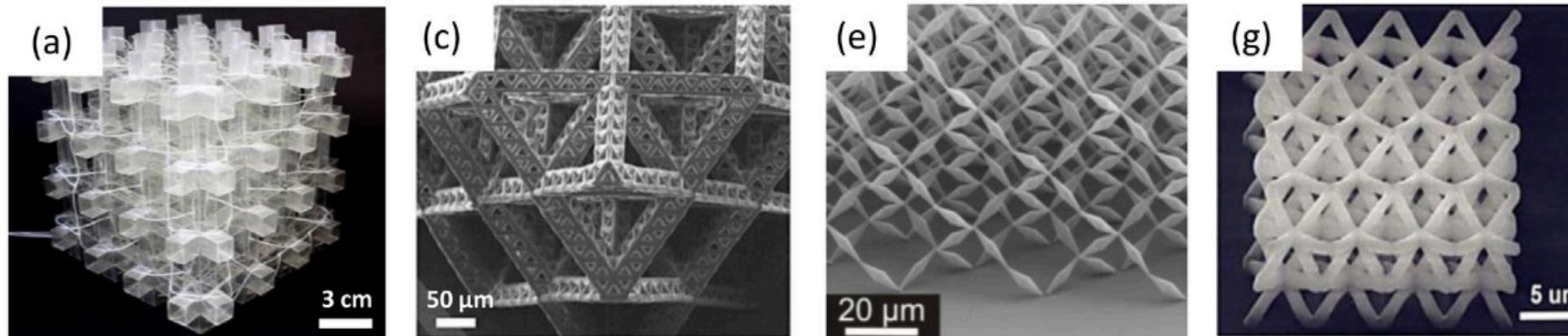
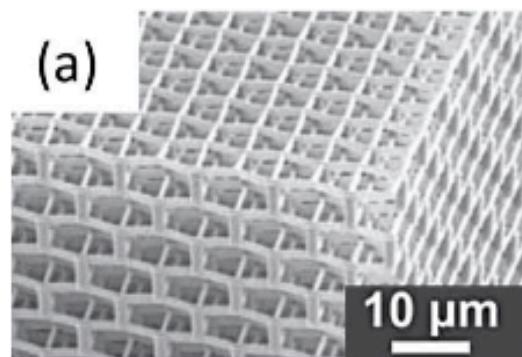
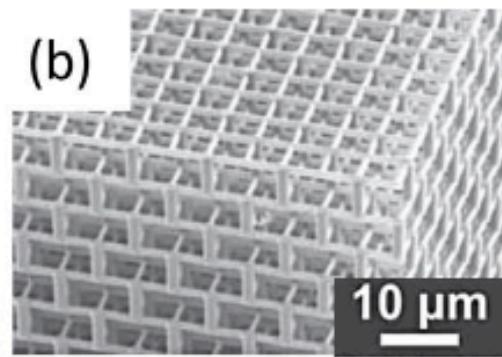


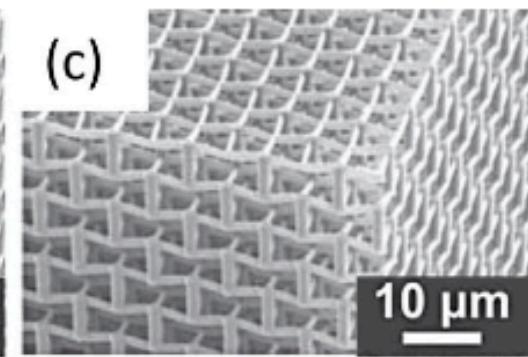
Figure 1. Examples of 3D architected cellular materials with unit cell sizes spanning across multiple orders of magnitude in length scale, from tens of millimeters to several hundred nanometers. a) A transformable origami-inspired metmaterial actuated by pressurizing its unit cells.^[65] b) Hollow Ni–P microlattice synthesized by Self-Propagating Polymer Waveguides (SPPW), electroless plating, and polymer etching.^[127] c) A hierarchical microlattice consisting of octet unit cells fabricated via Large-Area Projection Micro-Stereolithography (LAPμSL).^[36] d) Tetrakaidekahedron microlattice printed using Projection Micro-Stereolithography (PμSL).^[34] e) A pentamode metamaterial with ultra-large bulk modulus to shear modulus ratio fabricated using Two-Photon Lithography (TPL).^[187] f) Hollow alumina nanolattices synthesized by TPL, atomic layer deposition and oxygen plasma etching.^[16] g) High entropy alloy coated nanolattice fabricated via TPL and subsequent magnetron sputtering.^[149] h) Glassy carbon nanolattices made by TPL, followed by pyrolysis.^[14]



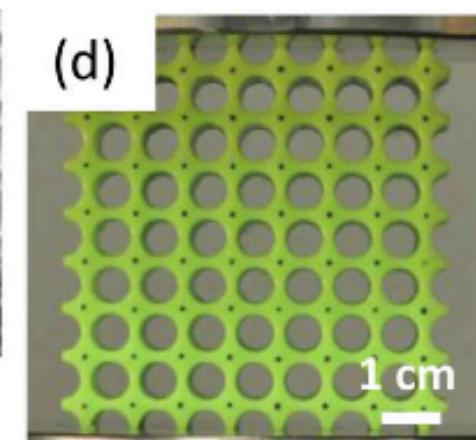
Positive Poisson's ratio



Zero Poisson's ratio



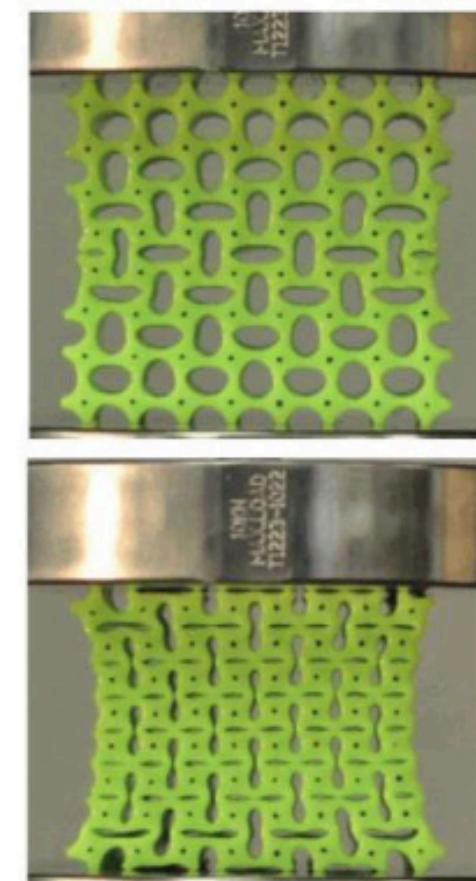
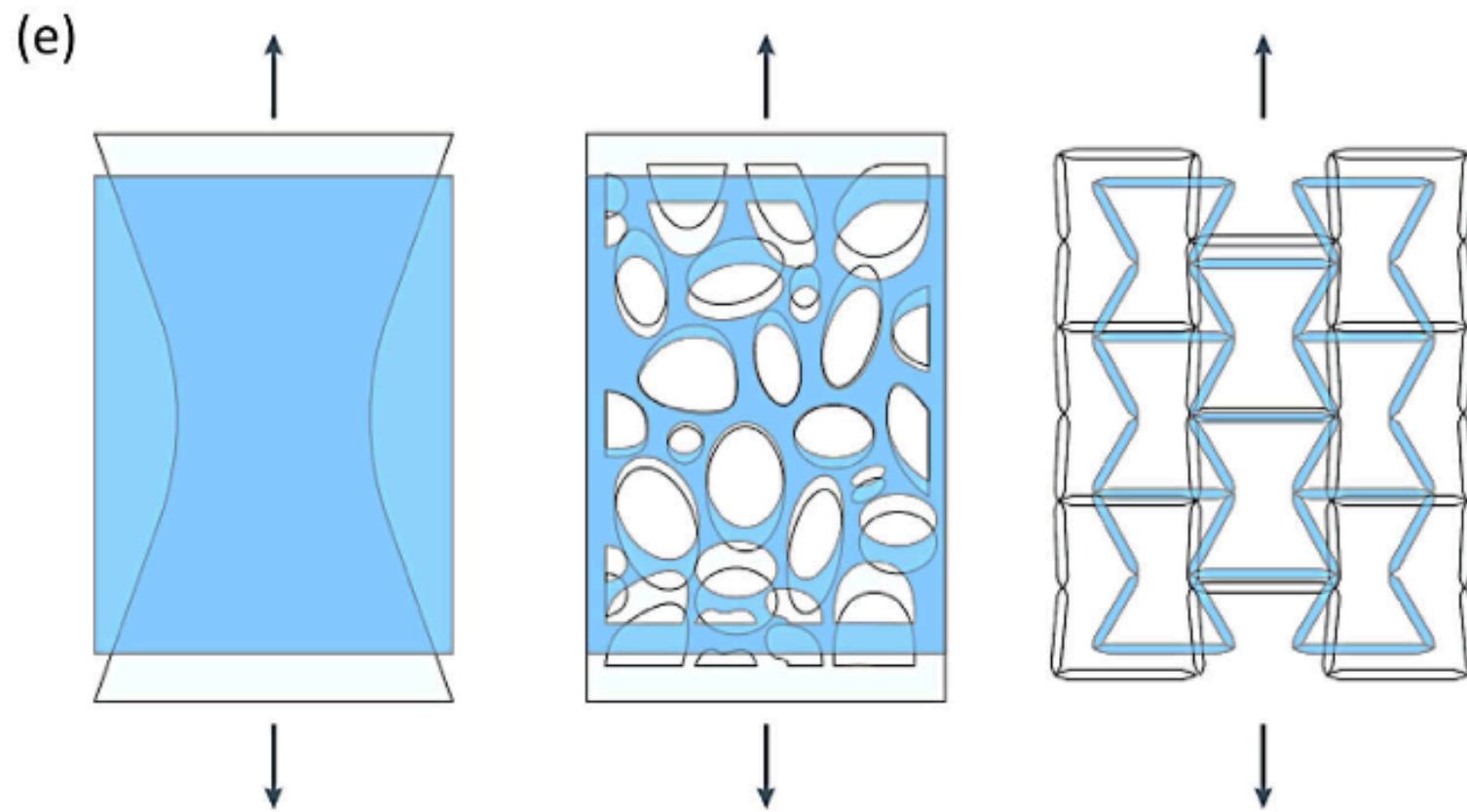
Negative Poisson's ratio



Positive Poisson's ratio

Zero Poisson's ratio

Negative Poisson's ratio



"Smart Materials"

Piezoelektrische Materialien

- Deformation aufgrund von elektrischer Spannung und vice versa

Formgedächtnismaterialien

- starke Formänderung aufgrund von Temperaturänderung
- **Gute Beschreibung**

Photovoltaische Materialien

- el. Spannung durch Lichteinwirkung

Thermoelektrische Materialien

- el. Spannung aufgrund von Temperaturänderung

Photomechanische Materialien

- Formänderung bei Licht

Thermochrome Materialien

- Farbänderung bei Temperaturänderung

uvm.

Naturwerkstoffe

Unteilbar in belebt (organisch) und unbelebte (anorganische Stoffe)

- organisch
 - tierisch oder pflanzlich
 - Fette, Öle, Stärke
- anorganisch
 - Silikate, Carbonate

Pflanzlicher Stoff	Anwendung
Lignocellulose/ Holz	Holzwerkstoffe
Öle	Schmierstoffe, Kraftstoffe, Tenside
Fasern	Textilien, Werkstoffe
Stärke	Verpackungsmittel
Besondere Inhaltstoffe	Arzneimittel, Genussmittel, Farbstoffe

Tierischer Stoff	Anwendung
Knochen, Schalen	Leim, Düngemittel, Werkstoffe
Fette	Schmierstoffe, Kraftstoffe, Tenside
Fasern	Textilien, Werkstoffe
Proteine	Kosmetika
Besondere Inhaltstoffe	Arzneimittel z.B. Insulin, Impfstoffe, Oestrogene

Holz und Holzwerkstoffe

- Furnier
 - bestehen aus unvergütetem Vollholz mit einer Dicke kleiner gleich 5 mm und einer Breite größer gleich 80 mm, welche durch spanloses oder spanendes Schneiden aus Rohholz hergestellt werden.
- Sperrholz
 - mindestens drei aufeinander geleimten Holzlagen verstanden
- Spanplatte
- Faserplatte
 - Faserdämmplatte
 - Hartfaserplatte
 - MDF-Platte

Eigenschaften

- stark abhängig vom Holz
 - Bambus, Fichte, Eiche, Lophira alata
- Funier ($E = 10000 - 17000 N/mm^2$, $R_{11} = 180 - 80 N/mm^2$)
- Spanplatten sind im Bereich von Kunststoffen ($E = 2000 - 4500 N/mm^2$)
- Festigkeit senkrecht zur Hauptrichtung ~50%

Naturfasern

Beispiele: Glas, Hanf, Flachs, Kenaf, Jute, Baumwolle

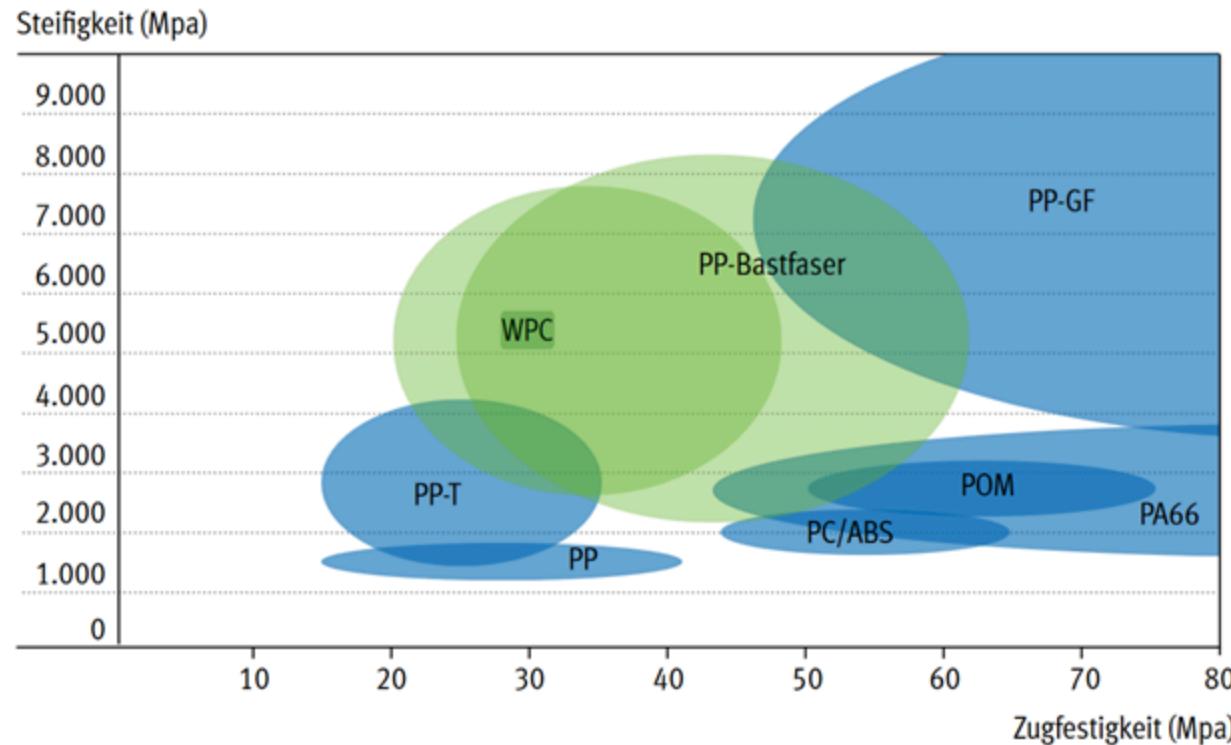
Als nachwachsender Rohstoff sind

Hanf ($E = 90000 \text{ N/mm}^2$; $R = 1110 \text{ N/mm}^2$)

Flachs ($E = 93000 \text{ N/mm}^2$; $R = 930 \text{ N/mm}^2$)

aus ökologischer Sicht interessant.

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN VERSCHIEDENER SPRITZGIESS-WERKSTOFFE

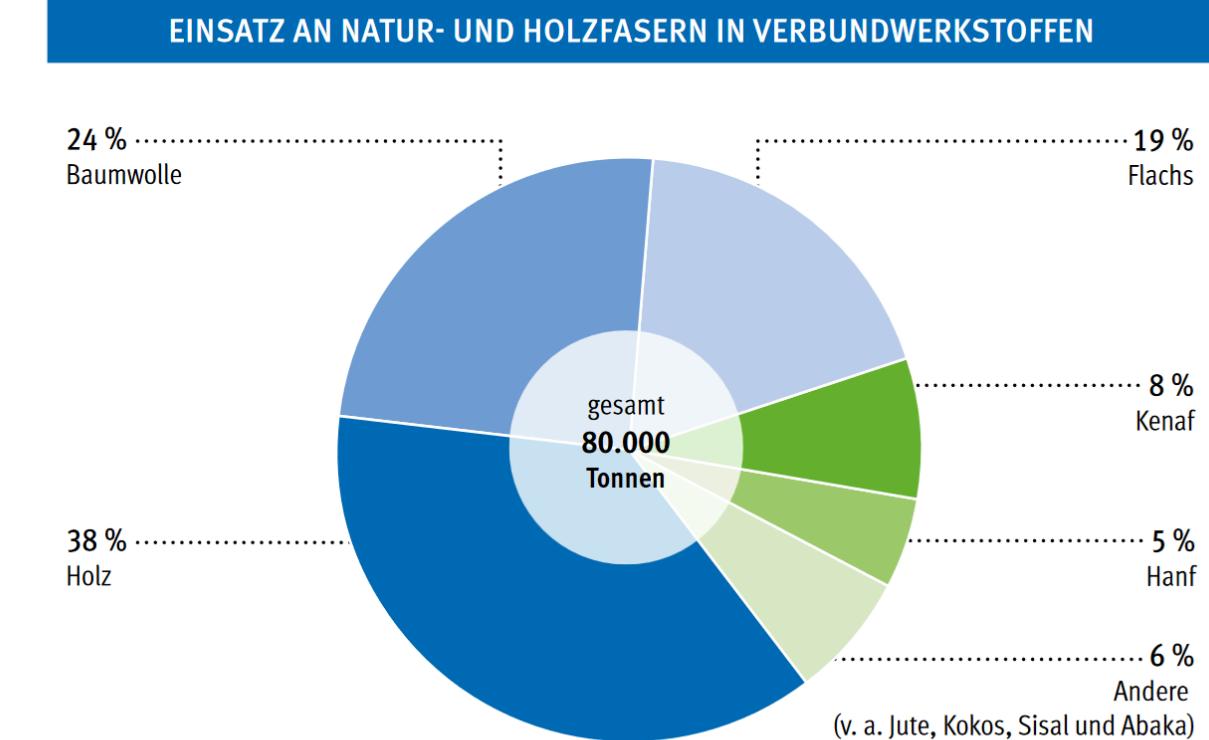


Quelle: Carus & Eder et al. (2015)

© FNR 2015

Polypropylen (PP), PP und Talkum (PP-T), PP und Holzfasern (WPC), PP und Bastfasern (wie Hanf, Flachs, Jute, Kenaf) sowie PP und Glasfasern (PP-GF)

Anteil am Verbundmarkt in der EU
sind ca. 15% (Stand 2015)



Quelle: Carus & Eder et al. (2015)

© FNR 2015

Herausforderungen

- Normierung
 - existiert nur in Teilen
- Wettbewerb gegen etablierte Prozesse