



# Werkstoffe – Grundlage für Innovation

Ulrich W. Suter

17. Thurgauer Technologietag | Märstetten, 24.03.2017

---

**satw**

it's all about technology

# Plötzlicher Reichtum

- das globale Pro-Kopf-Einkommen war ab Beginn der Menschheitsgeschichte bis  $\approx 1820$  **konstant**
- dann folgte dramatisches **exponentielles** Wachstum

Michael Kremer

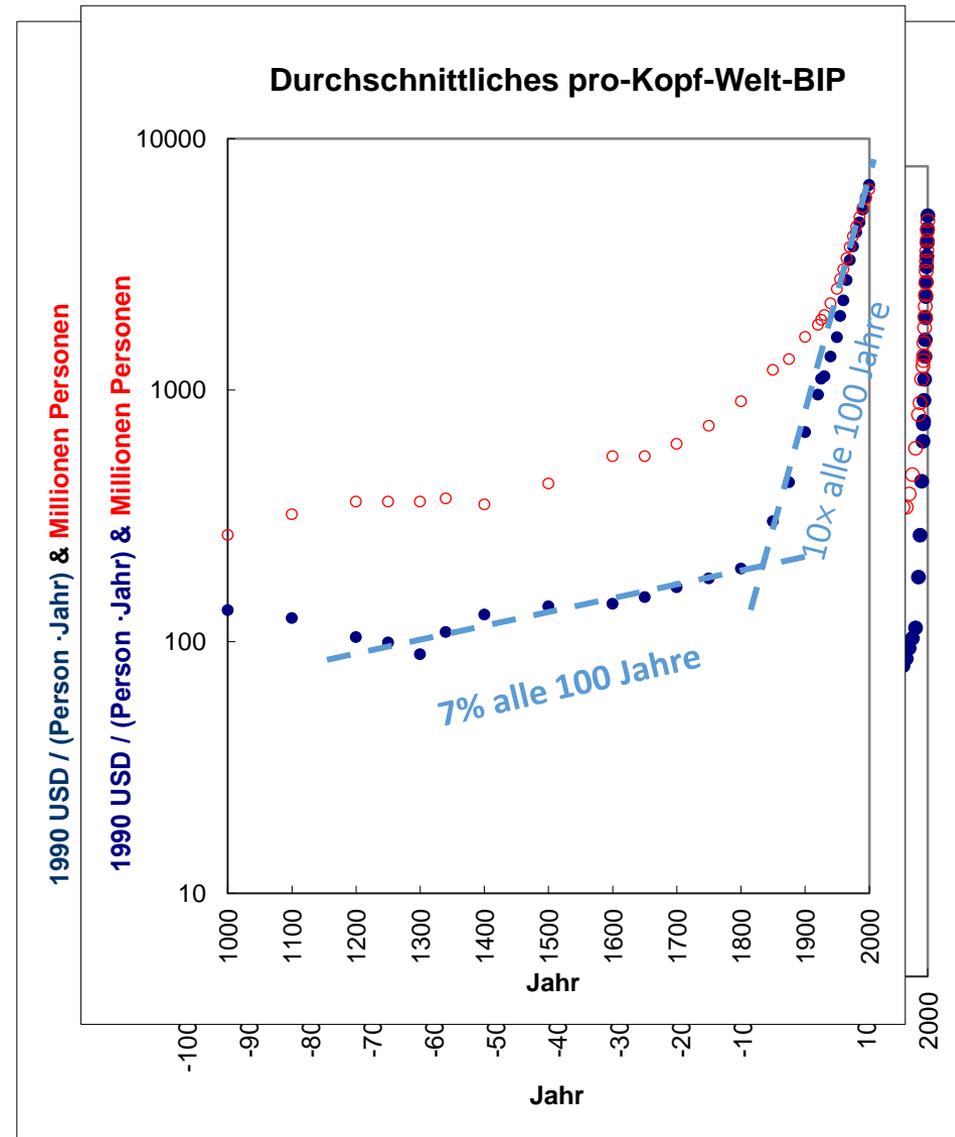
*Quarterly Journal of Economics* **1993** 108:3, 681-716

J. Bradford DeLong

*Working paper available at*

<http://econ161.berkeley.edu/TCEH/1998>

Draft/World GDP/Estimating World GDP.html



# Plötzlicher Reichtum – warum?

- “Arbeitsproduktivität hat plötzlich deutlich schneller zugenommen”

**Angus Maddison** “Contours of the World Economy and the Art of Macro-measurement 1500-2001”  
Ruggles Lecture, IARIW 28th General Conference, Cork, Ireland August 2004;  
<http://www.ggdc.net/maddison/>

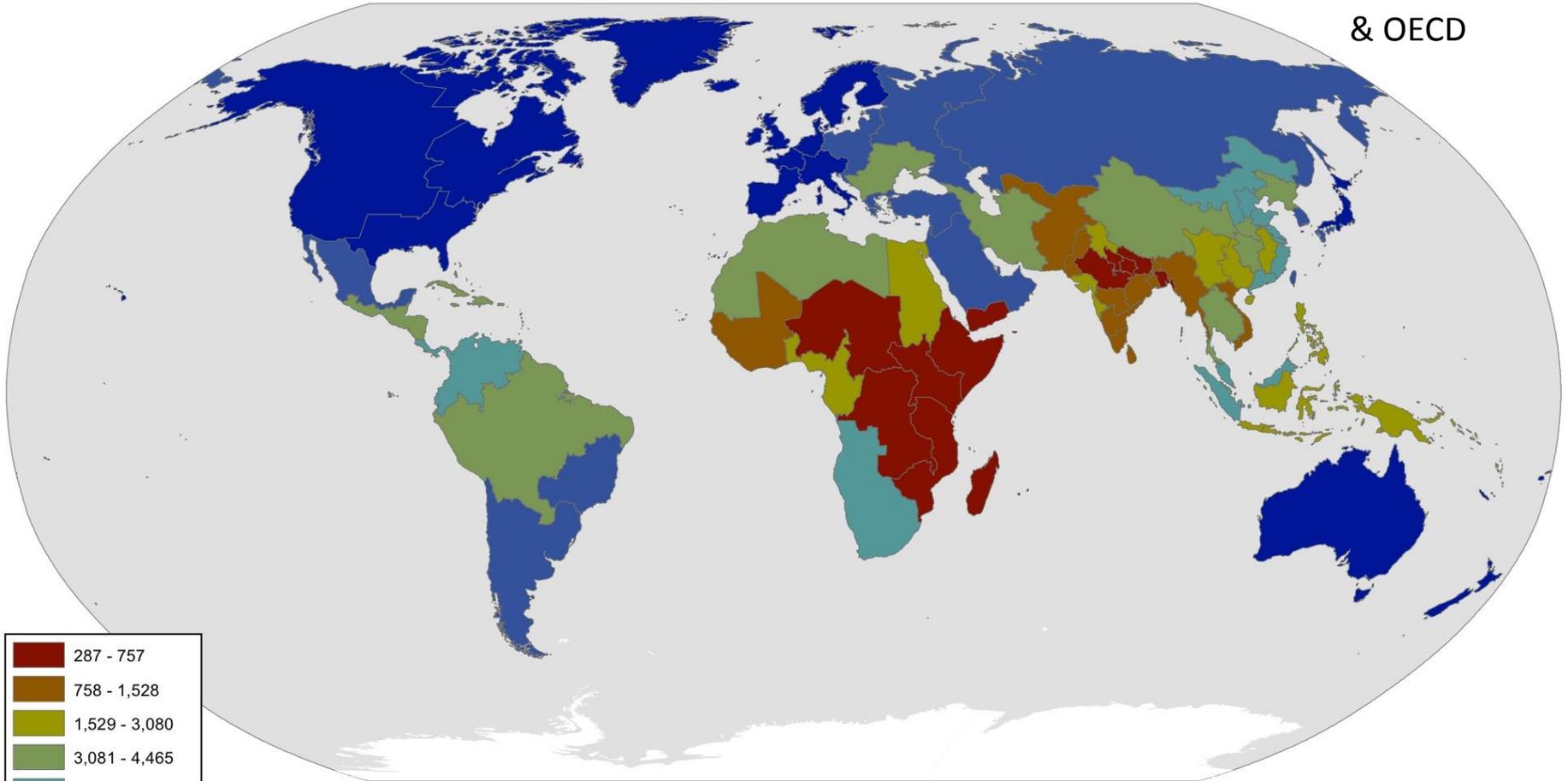
- “modernes ökonomisches Wachstum wurde durch einen plötzlichen Schub in industrieller Technologie ausgelöst”

**Joel Mokyr** “The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy”  
Princeton University Press 2002

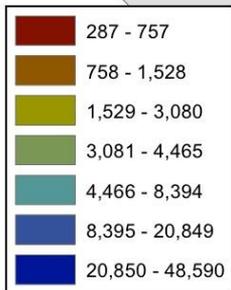
- Problem: die Welt ist sehr heterogen; Mittelwerte verdecken wichtige Details

# Plötzlicher Reichtum – warum?

World Bank  
& OECD



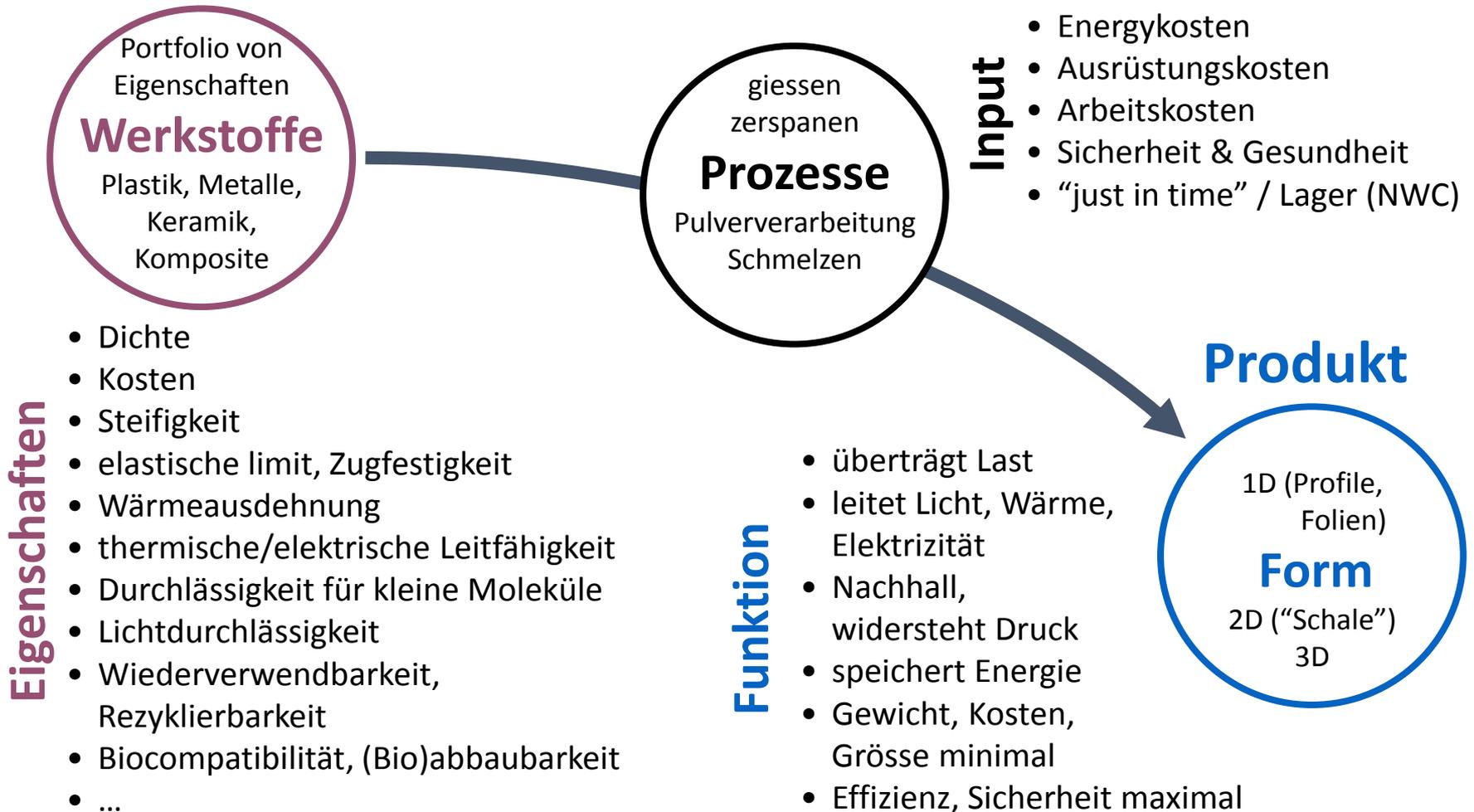
nominales pro-Kopf-BIP in USD, 2009



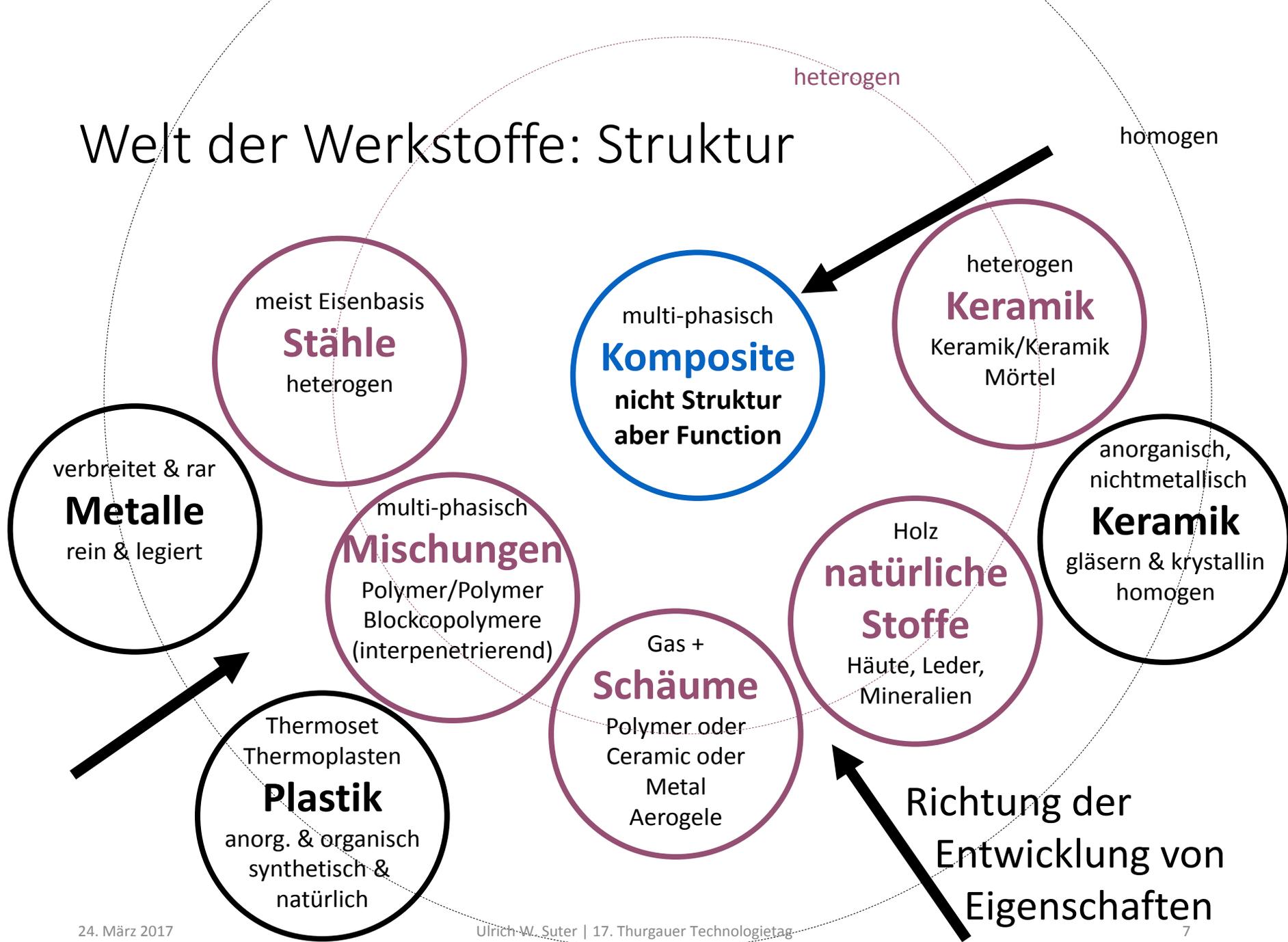
# Plötzlicher Reichtum – warum?

- Es werden verschiedene Mechanismen für den Übergang um 1820 vorgeschlagen – ein aktives ökonomisches Forschungsthema
- Es ist unbestritten, dass der Übergang und das stark erhöhte Wachstum durch die Verfügbarkeit essenzieller Ressourcen gefördert wurde
  - akkumuliertes säkulares Wissen und Wissenschaft (ab 1500)
  - progressive Spezialisierung
  - Investitionsmöglichkeiten und verfügbares Kapital
  - mechanische Kraft
  - gut ausgebildete Arbeitskräfte
  - **Werkstoffe** (Plastik, Keramik, Metall, Verbundstoffe, ...)
  - ...

# Welt der Werkstoffe: Funktion



# Welt der Werkstoffe: Struktur



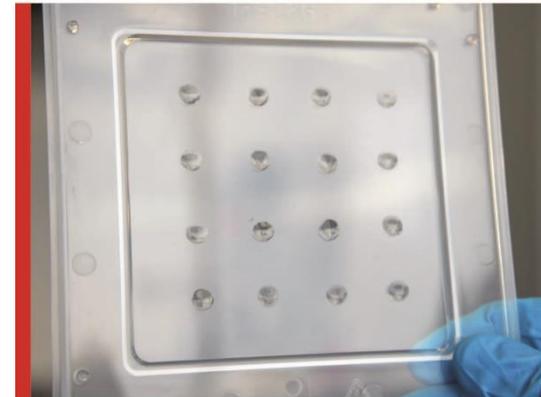
# Welt der Werkstoffe: Dimensionen

- Je kleiner die Materialdimensionen, desto wichtiger sind die Grenzflächen
  - Chemie mit Festkörpern geschieht meistens an der Grenzfläche (Grenzfläche gegen Gas heisst «Oberfläche»)
  - sehr kleine Partikel bestehen fast nur aus Grenzfläche
  - die Eigenschaften der Materials in der Masse werden bei sehr kleinen Dimensionen von denjenigen der Oberfläche dominiert
  - wichtige Anwendungsbereiche (Optik, chemische Reaktionstechnik, Biologie, Medizin, ...)



## WORKSHOP

### Massgeschneiderte Oberflächen an der Grenze zwischen Nass und Trocken



Empa, St. Gallen, Lerchenfeldstrasse 5  
Donnerstag, 1. Juni 2017, 14.00–18.00 Uhr

# Funktion → verschiedene Disziplinen

- molekulare Struktur, Durchlässigkeit, Wiederverwertbarkeit, Rezyklierbarkeit, ...
- Dichte, Steifigkeit, Energieeffizienz, Zugfestigkeit, thermische Stabilität, thermische/electrische Leitfähigkeit, Opazität, ...
- Biocompatibilität, Sicherheit & Gesundheit, Bioabbaubarkeit, ...
- Materialkosten, Energy- & Gerätekosten, Arbeitskosten, ...
- "just in time" / Lager (NWC), ...

→ Chemie

→ Physik, Masch.-Ing.

→ Biologie, Medizin

→ Prozess-Ing.

**USA 2011: The Materials Genome Initiative**

**Zusammenarbeit ist essenziell**

# Sind «Werkstoff-Klassen» von Bedeutung ?



Einladung zur **Dresdner  
Werkstoffwoche 2017**

es gibt heute Hunderte  
von «Werkstoffklassen»

Werkstoffe (Materials)  
werden durch ihre  
Nutzung definiert, nicht  
durch bisherig  
wichtigsten Kriterien

# Bsp. Werkstoffe für die additive Fertigung

- kostengünstige Herstellung von Präzisionskomponenten in kleinen und mittleren Stückzahlen
- Fertigungskosten werden durch das Volumen des Bauteils und nicht durch Komplexität bestimmt
- Man kann kundenspezifische Strukturen und Geometrien realisieren, die mit keinem anderen Verfahren machbar sind
- Industrie bewegt sich von hochspezifischer Fließbandproduktion hin zur flexiblen Masswerkstätte
- ABER: nur wenige Werkstoffe verfügbar
- die Schweiz könnte ihre führende Rolle in der Präzisionsmechanik weiter ausbauen
- entscheidend ist die Zusammenarbeit von Maschinenherstellern und produzierenden Unternehmen
- Chance für die Materialwissenschaft: viel F&E ist notwendig, um ein breites Spektrum an Materialien zu erhalten, welche «additiv» verarbeitet werden können
- INTERESSANT: additive Fertigung im Bauwesen!

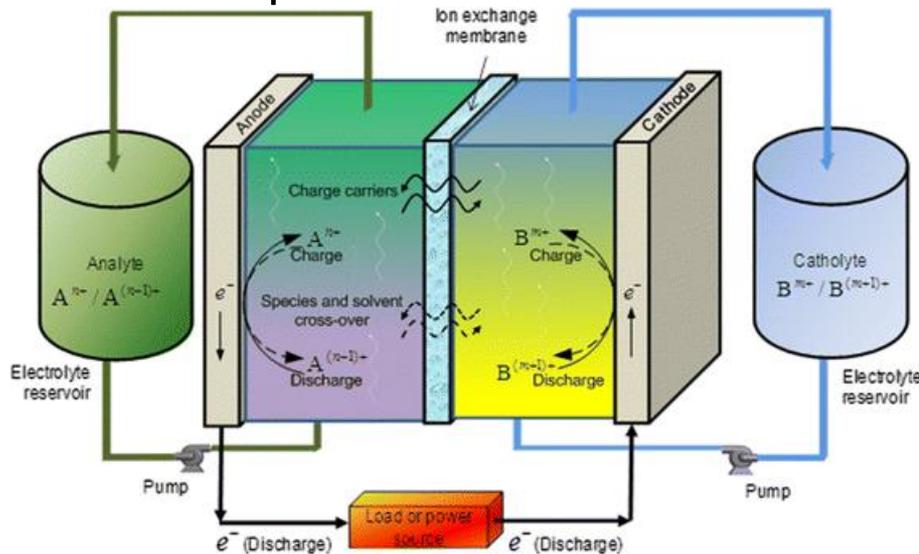
# Bsp. Umweltverträgliche Verpackungen

- In den Ozeanen treiben riesige Mengen von Plastikmüll (hauptsächlich von Plastiksäcken und Verpackungen)
- auch Seen in der Schweiz (besonders der Bodensee) sind mit Mikroplastik belastet
- Bedarf an «intelligenten» (abbaubaren) Verpackungen aus Werkstoffen, deren (Un-)Schädlichkeit der Abbauprodukte verstanden ist

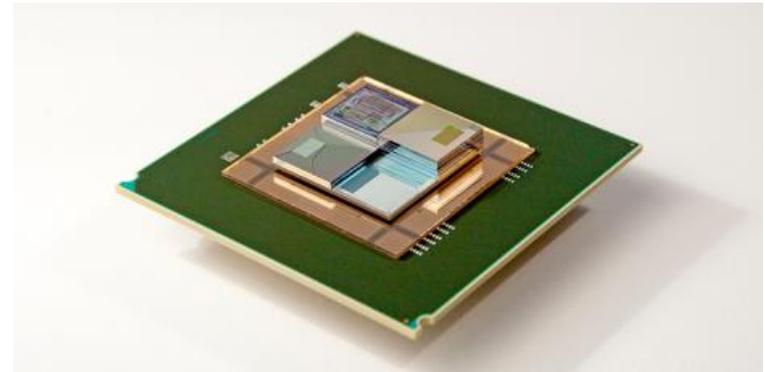


# Bsp. Redoxfluss-Batterien als Speicher

- Prinzip



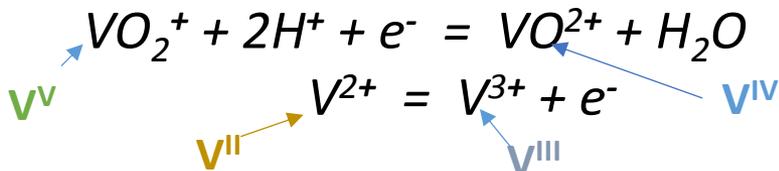
- aber auch im Kleinen:



- Energieversorgung & Wärmeabfuhr in elektronischen Komponenten
- $K_4Fe(CN)_6$  und 2,6-Dihydroxyanthrachinon in alkalischem, wässrigem Electrolyten

Marschewski, Brenner, Ebejer, Ruch, Michel, Poulidakos *Energy and Environmental Science* 2017

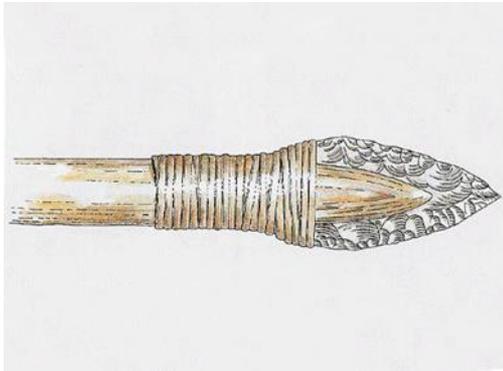
- Einfaches System: all-Vanadium



- «typisch»: 10 MW, 10 MWh

# Bsp. Smarte Kleber

- Kleben ist die älteste Füge­technik der Geschichte (seit mindestens 180 000 J.) und wieder rasant am Wachsen



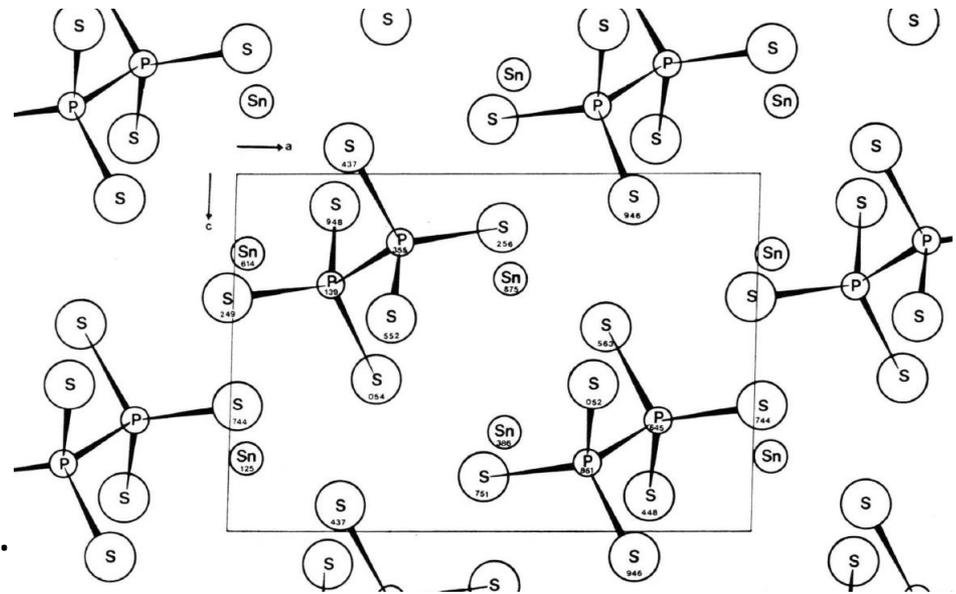
- in fast allen Industrie­bereichen kann man damit Gewicht sparen und bessere Steifigkeit und Dauerhaftigkeit der Produkte erreichen



- Bedarf an neuen multifunktionellen Klebstoffen und Füge­techniken
- bisher Focus auf genügend grosse Haftkraft – neu auf Stoffe, die sich selbst modifizieren und dem Substrat anpassen
- Ersatz für Schrauben und Nieten und Zusammenfügen von additiv gefertigten Teilen in allen Industrie­bereichen

# Bsp. hochfunktioneller Halbleiter

- Zinnhexathiohypodiphosphat  
 $\text{Sn}^{2+}_2(\text{P}_2\text{S}_6)^{4-}$
- nichtlinear-optisch
- elektro-optisch
- photorefraktiv
- spontane Polarisation
- transparent für die wichtigsten Kommunikationsfrequenzen (z.B.  $1.55 \mu\text{m}$ )
- Gute Eigenschaften bei bequemen Temperaturen



- O. Dittmar & H. Schäfer *Zeitschrift für Naturforschung B* **1974**, 29, 312
- R. Mosimann, M. Jazbinsek, P. Günter et al., *div.* **2006 - 2008**

# Bsp. hochfunktioneller Halbleiter

Raumtemperatur,  
 $\approx 1.55 \mu\text{m}$ .  
 R. Mosimann,  
 Diss. ETH No. 18140

Spontane Polarization $P_2$	$15 \mu\text{C}/\text{cm}^2$
Transparenter Bereich	530 – 8000 nm
Brechungsindizes	$n_1 = 3.0256 \quad n_2 = 2.9309 \quad n_3 = 3.0982$
Dielektrizitätskonstante $\epsilon_{11}$	230 - 300
Electro-optischer Koeffizient $r_{111}^T$	174 pm/V
Piezoelektrischer Koeffizient $d_{111}$	244 pC/N
Dichte $\rho$	$3.54 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Elastische Konstante $C_{1111}$	$4.2 \cdot 10^{10} \text{ N}/\text{m}^2$
Pyroelektrischer Koeffizient $p_1$	$7 \cdot 10^{-4} \text{ C}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Koerzitivfeldstärke $E_c$	$7.5 \cdot 10^4 \text{ V}/\text{m}$
Wärmekapazität $C_p$	240 J/(mol K)
Thermische Leitfähigkeit $\lambda_1$	0.5 J/(s m K)
Nichtlineare optische Suszeptibilität	$\chi^{(2)}_{111} = 24 \text{ pm}/\text{V}$ $\chi^{(3)}_{1111} = 17 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{V}^2$



Herzlichen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit!