

Metallisches Massivglas – Ein neuer Konstruktionswerkstoff

Ralf Busch

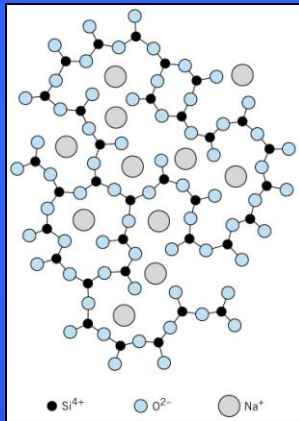
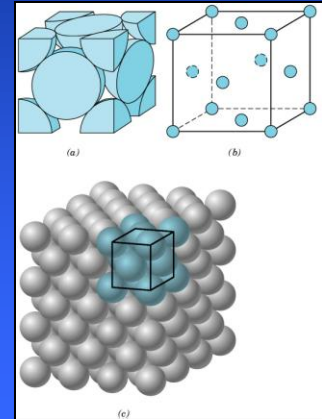
*Lehrstuhl für Metallische Werkstoffe
Fachrichtung 8.4, Werkstoffwissenschaften
Universität des Saarlandes*



28. April 2011 auf dem Workshop über Metallische Massivgläser in
Hanau
(organisiert von Materials Valley e.V.)

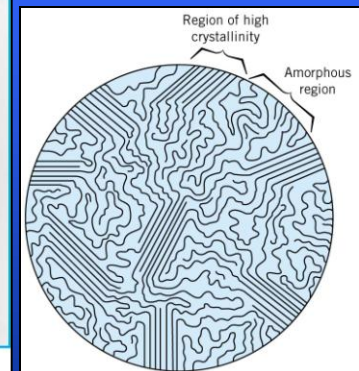
Drei Materialklassen: Metalle, Keramik, Polymere

Metall
(hier: Kristall)

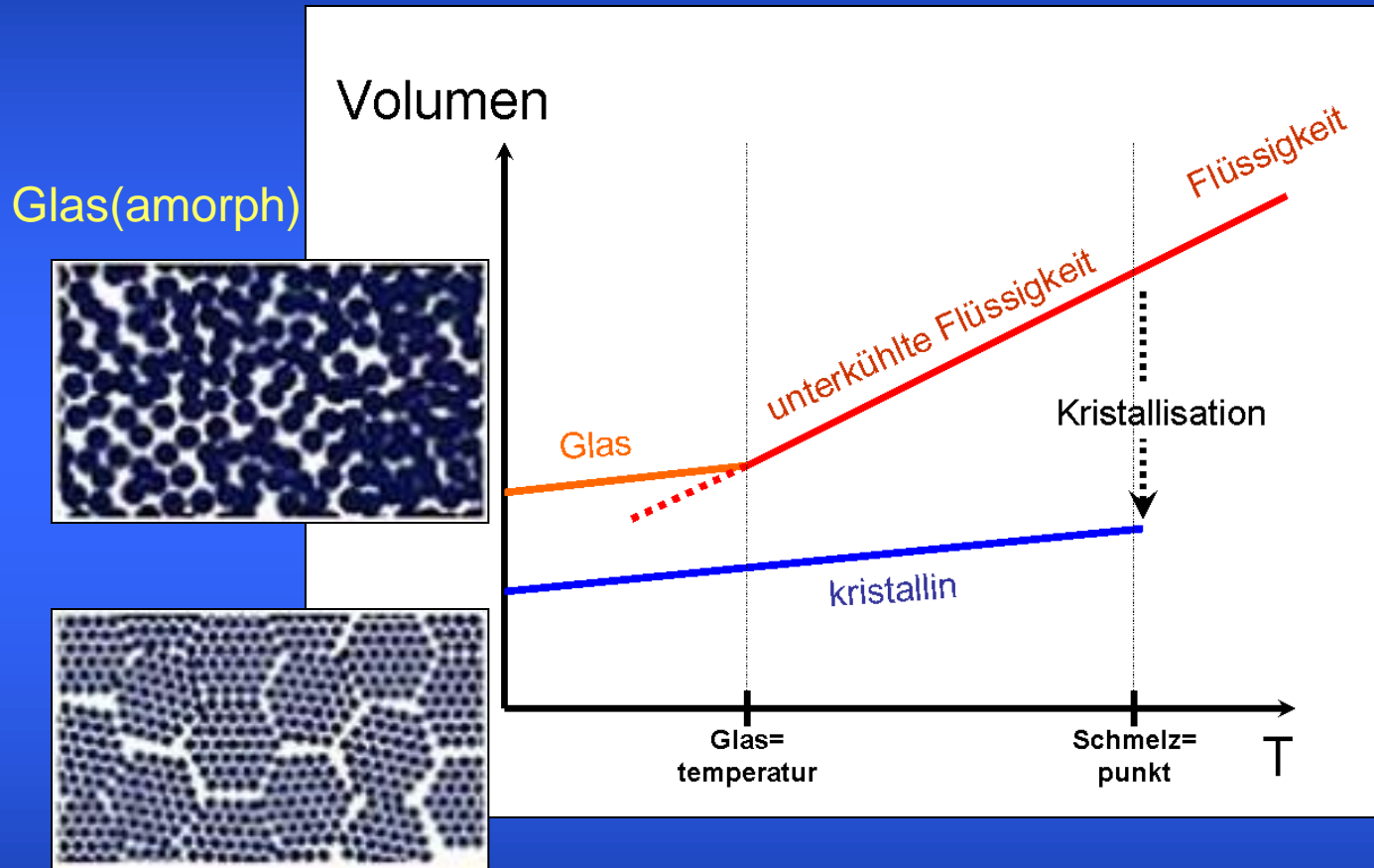


Keramik
(hier: amorph)

Polymere
(hier: kristallin
+ amorph)

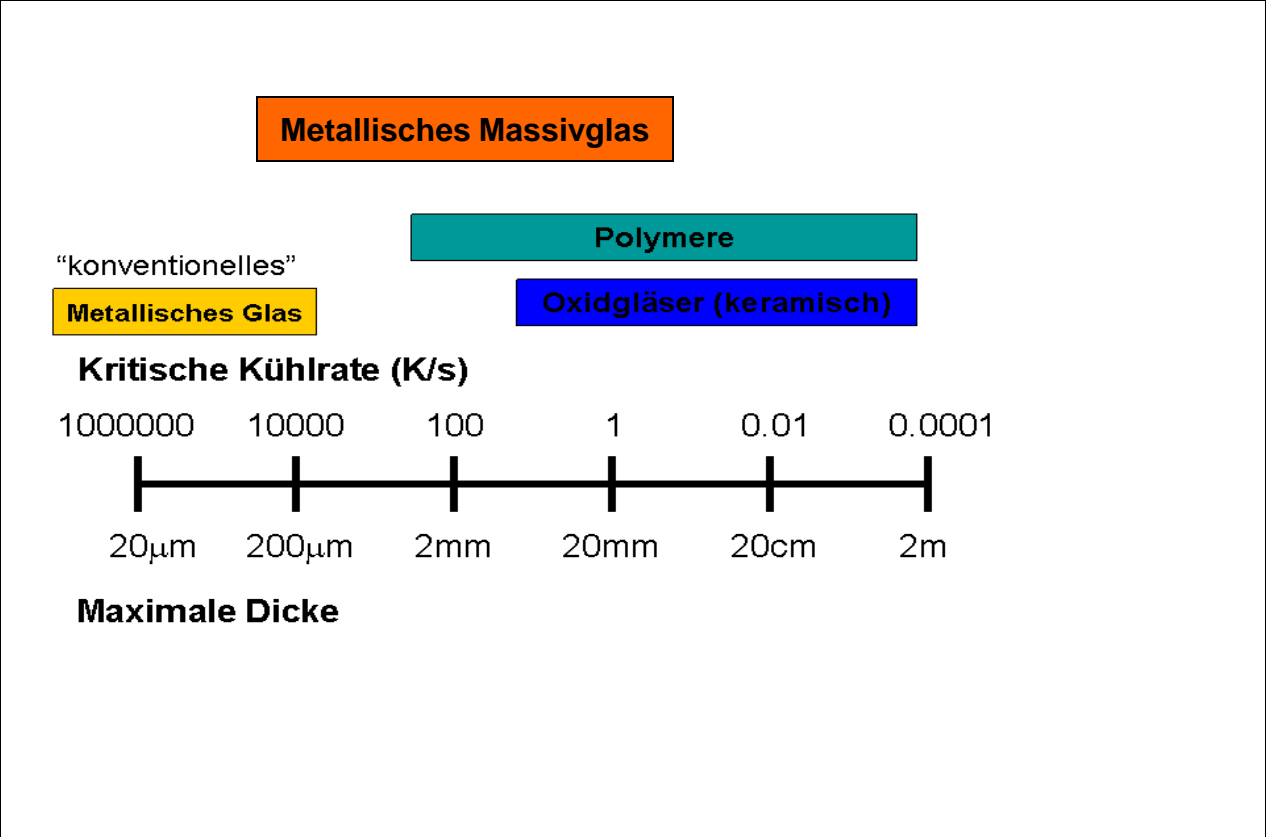


Gläser sind eingefrorene Flüssigkeiten



Beim Unterkühlen wird die Viskosität immer höher bis die Flüssigkeit zu einem Glas gefriert

Kritische Kühlraten für verschiedenen Materialien



Herstellung Metallischer Gläser aus der Legierungsschmelze

“Konventionelle” metallische Gläser (1959-1984)

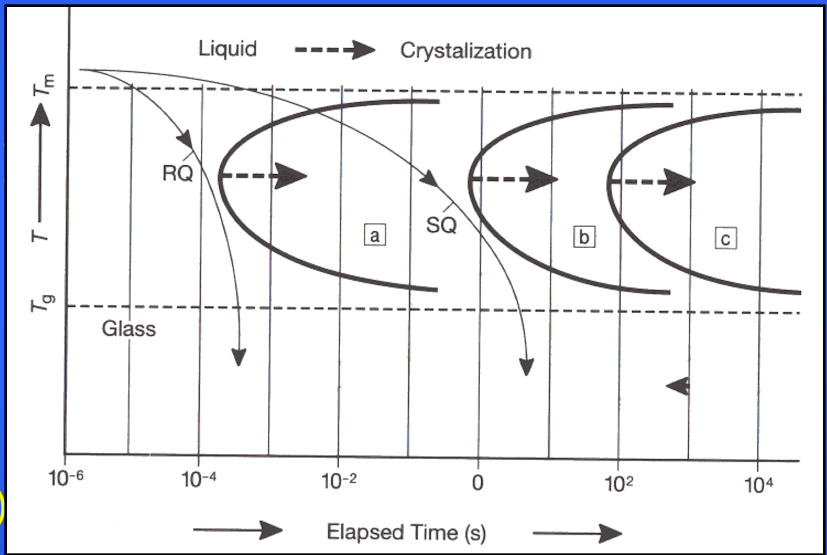
- a) NbNi
- ZrCu Kritisch Kühlrate: 10^5 - 10^6 K/s
- FeB etc.....

Metallische Massivgläser

- b) Ni-Pd-P [Turnbull, Drehman, Greer (1984)]
- La-Al-Ni [Inoue and co workers (1991)]
- Mg-Cu-Y
- Zr-Al-Ni-Cu Kritisch Kühlrate : 100 K/s
- etc.....

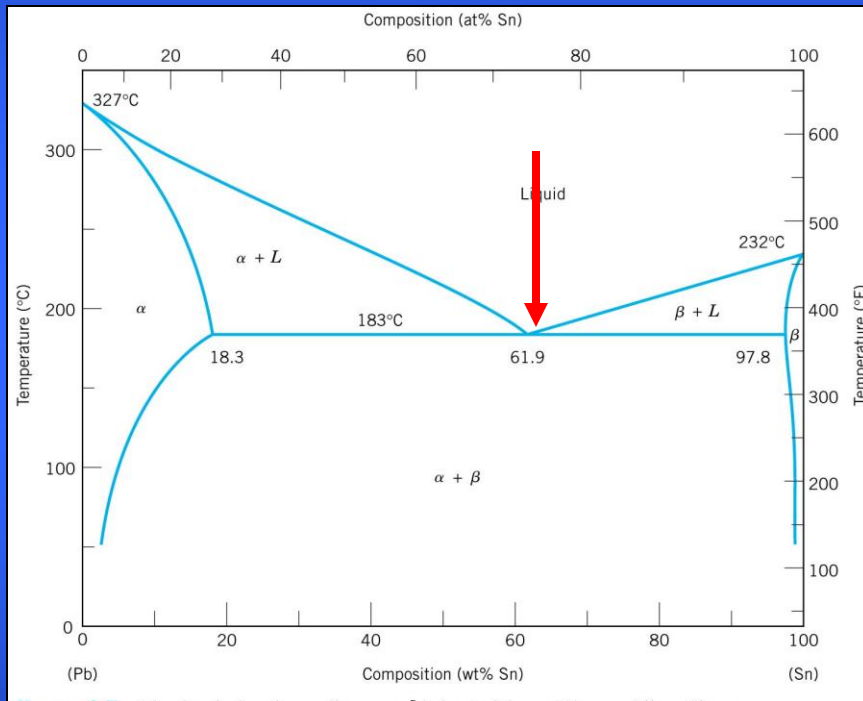
- c) Zr-Ti-Cu-Ni-Be [Johnson and co workers (1993)]
- Zr-Ti-Al-Cu-Ni Kritisch Kühlrate: 1 K/s
- etc.....

ZTU Diagramme

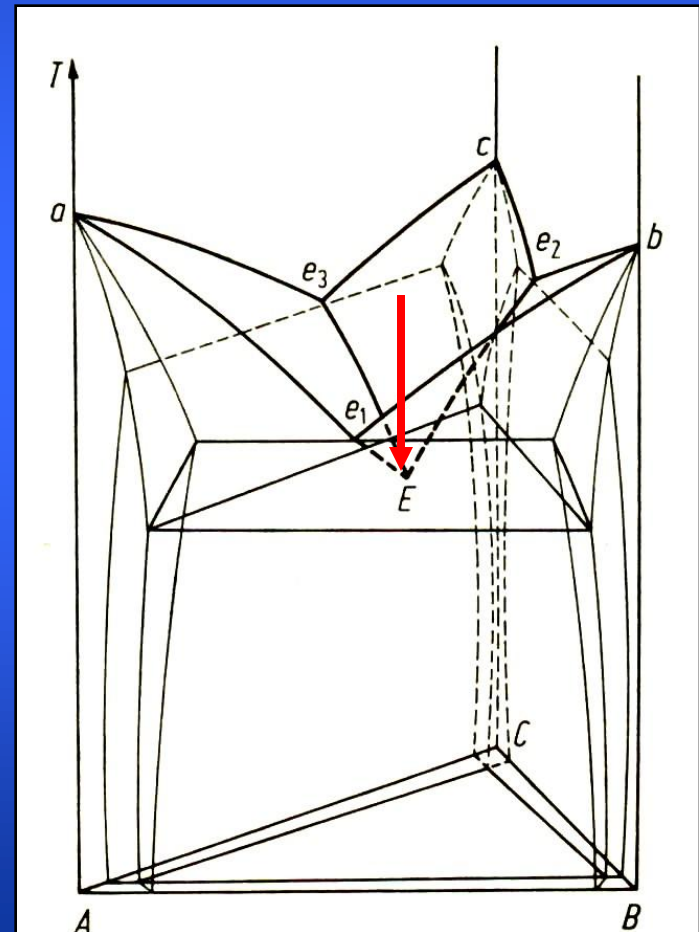


Eutektische Legierungen

Zwei Komponenten

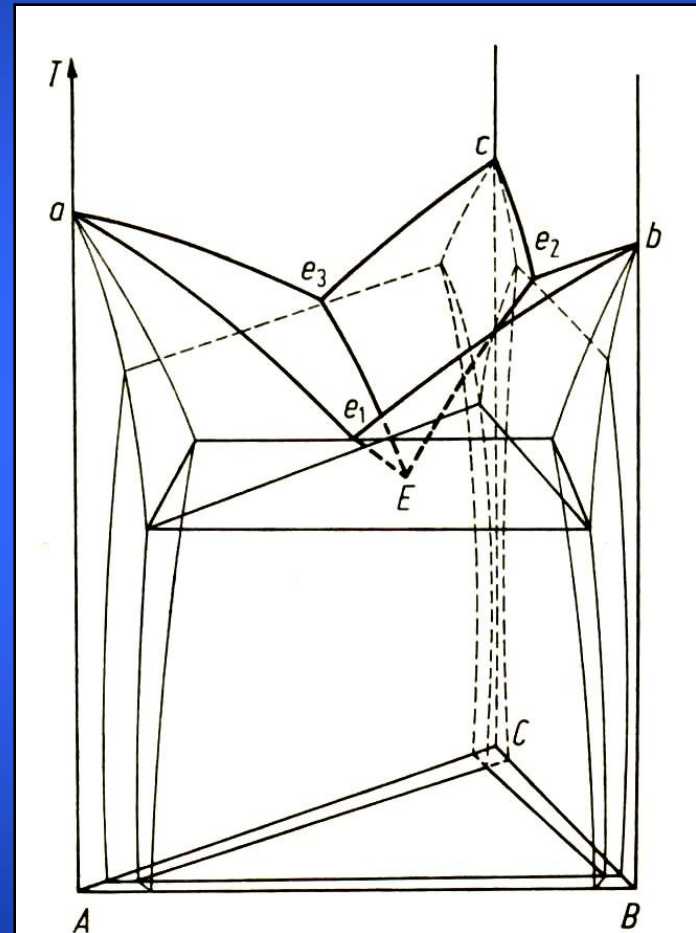


Drei Komponenten

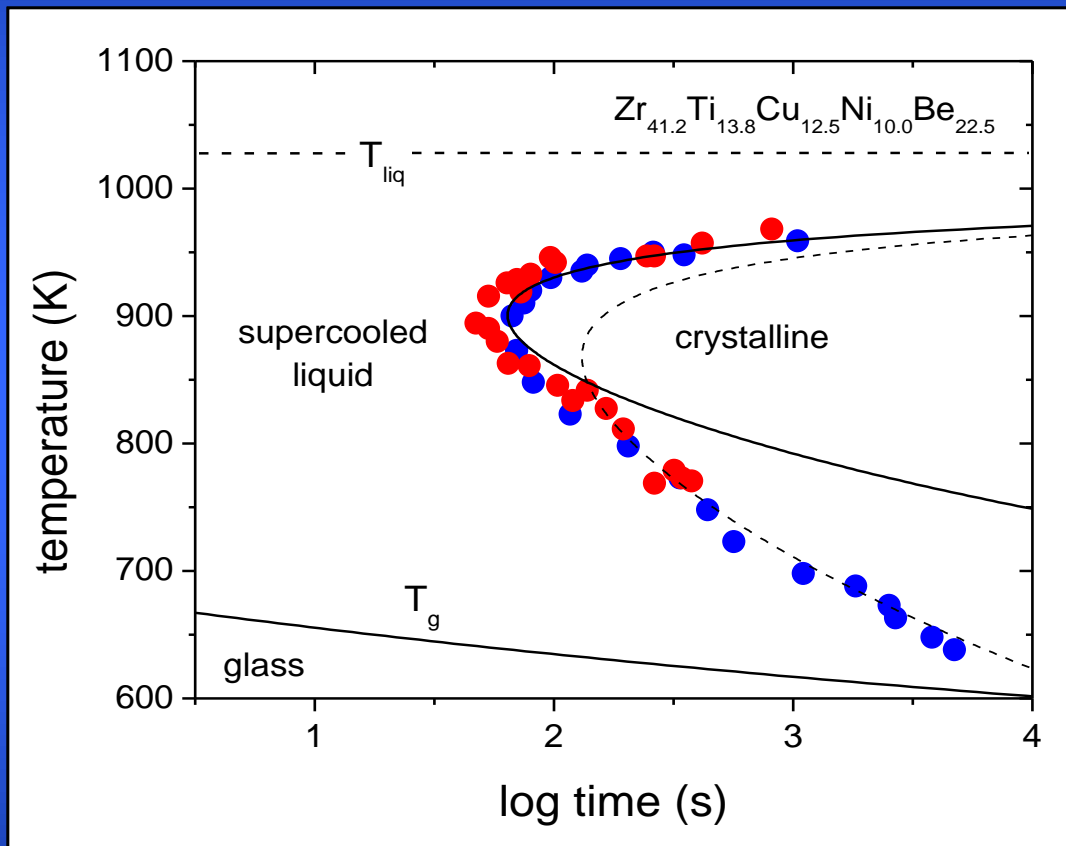


Massivglasbildende Metallschmelzen

- Vielkomponentige **eutektische Legierungen** mit stark negativer **Mischungsenthalpie**
- **niedriger Schmelzpunkt** (500-1000 °C)
- Hohe **reduzierte Glastemperatur**
 $T_g/T_m \approx 2/3$
- Grosse **Unterschiede** in den **Atomradien** der Komponenten (Destabilisierung der kristallinen Phasen)



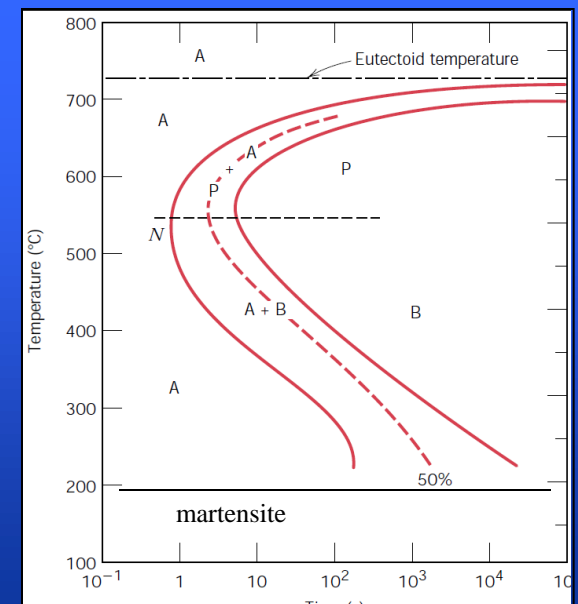
Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramm von Vitreloy 1 (V1)



R. Busch, JOM 52 (7), 39 (2000)

Kristallisationsnase bei 895 K und 60s

geringe kritische Kühlrate von 1 K/s



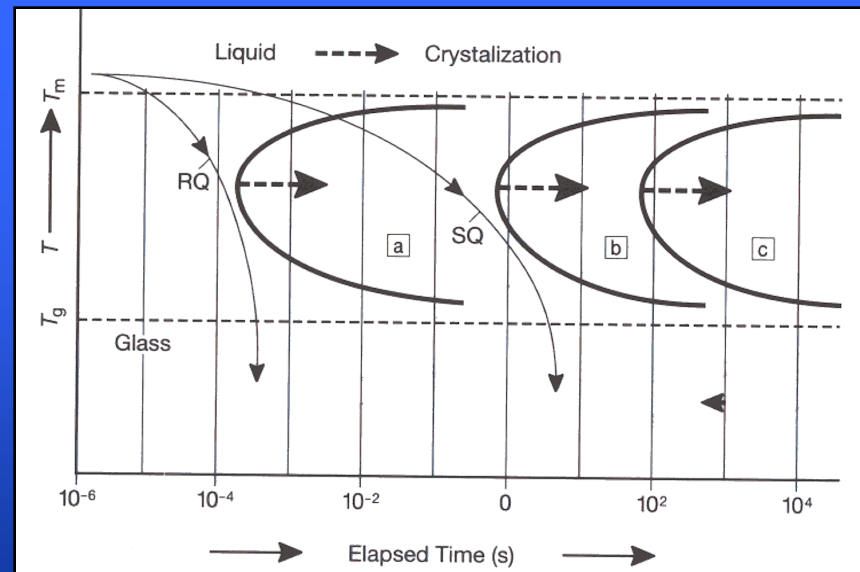
Zum Vergleich: Perlitnase im Stahl

Glasbildungsfähigkeit

Thermodynamik und Kinetik
bestimmt

Keimbildung und Wachstum von Kristallen

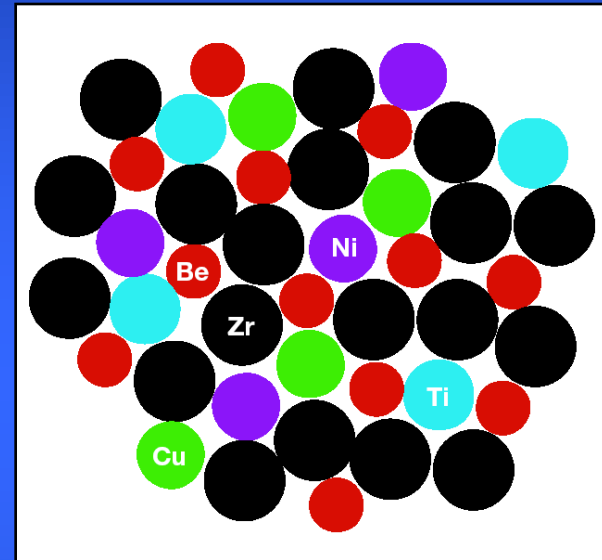
→ ZTU Diagramme



Wichtig für hohe Glasbildungsfähigkeit:

Metallisches Massivglas bildende Schmelzen:

- *vielkomponentige eutektische Metallschmelzen mit starken Atomgrößenunterschieden.*
- *Hohe Packungsdichte und geringes Freies Volumen (Nahordnung)*



Tang et al., Nature 402, 160 (1999)

⇒ Schmelze energetisch nahe am Kristall

+

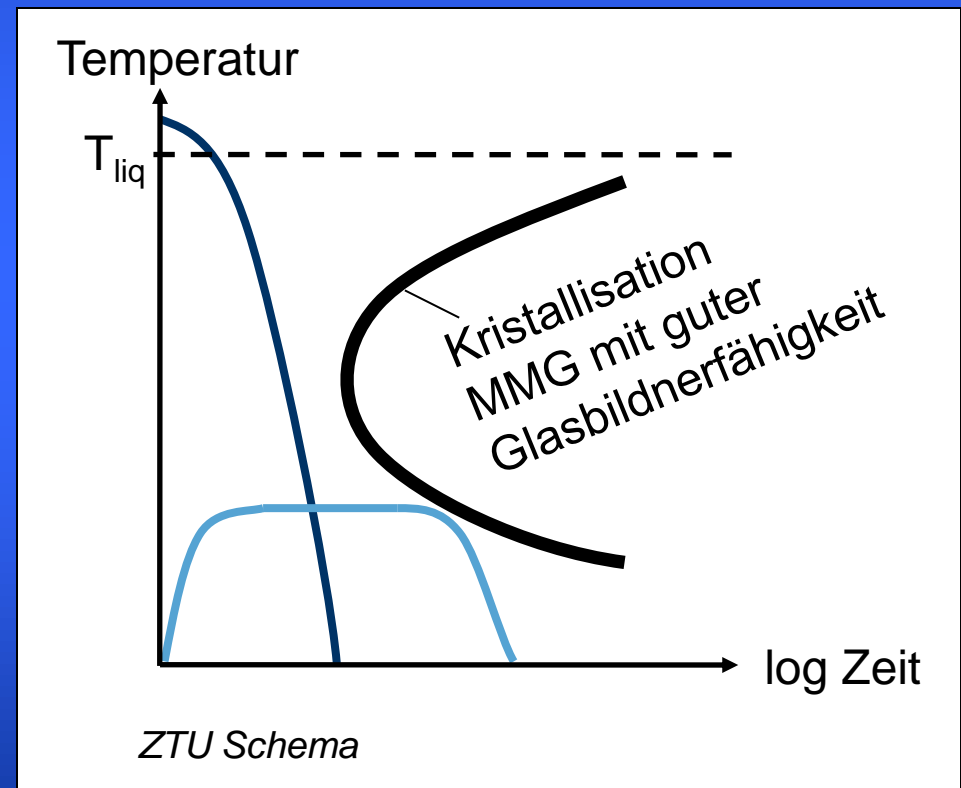
⇒ Langsame Kinetik (hohe Viskosität)

⇒ **langsame
Kristallisation**

Motivation für die Verwendung als Konstruktionswerkstoff

- Mechanische Eigenschaften
- Mögliche Prozesswege bei der Formgebung:

- a) Schmelze abschrecken
z.B. **Druckguss**
- b) Durch Aufheizen von amorphem Halbzeug in Temperaturfenster der unterkühlten Schmelze ($T_g < T < T_x$), sog. „**Thermoplastisches Formen**“



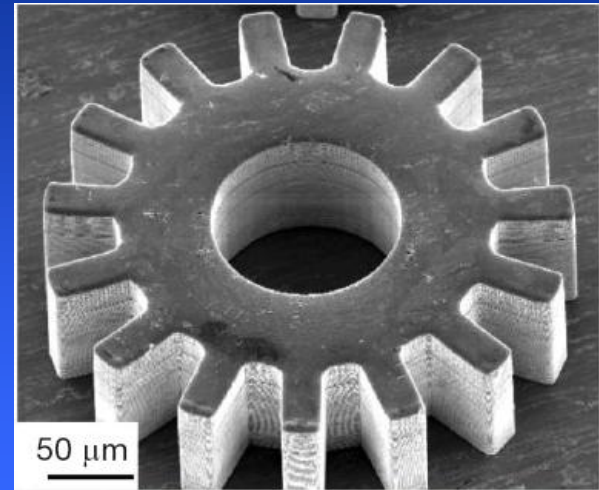
Amorphe Struktur ermöglicht

- Oberflächenstrukturierung bis $\ll 1 \mu\text{m}$
- Endformnahe Formgebung



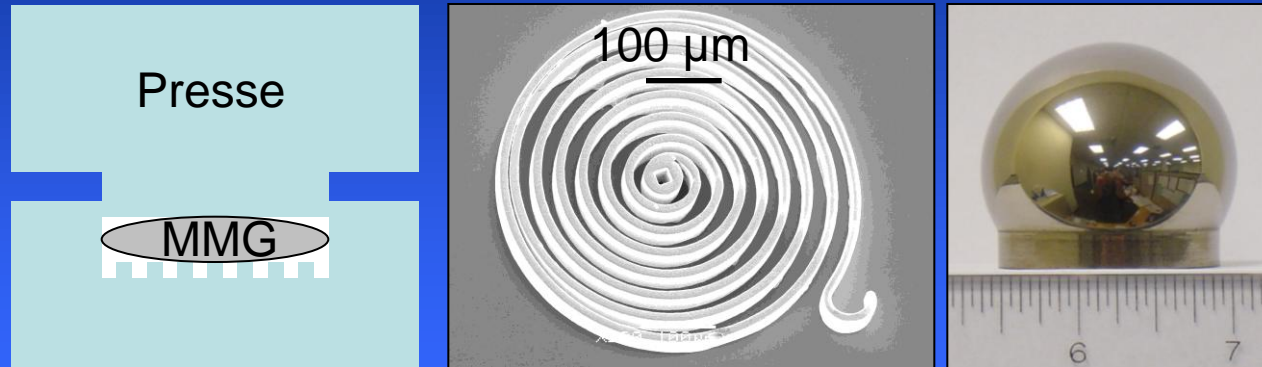
Verarbeitbarkeit ähnlich der Thermoplaste
z.B. im Druckgussverfahren mit Dauerformen

- Präzise Abbildung
- Niedrige Prozesstemperaturen
- Geringerer Systemverschleiß gegenüber MIM-Prozess
- **Hochfeste Bauteile in Endform in einem Schritt**



Wirtschaftliche Alternative zum Feinguss

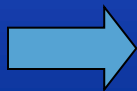
Beispiel für Thermoplastisches Formen (TPF):



J. Schroers, US Patent Application 20050372573 & Scripta Mat., 57 (2007)

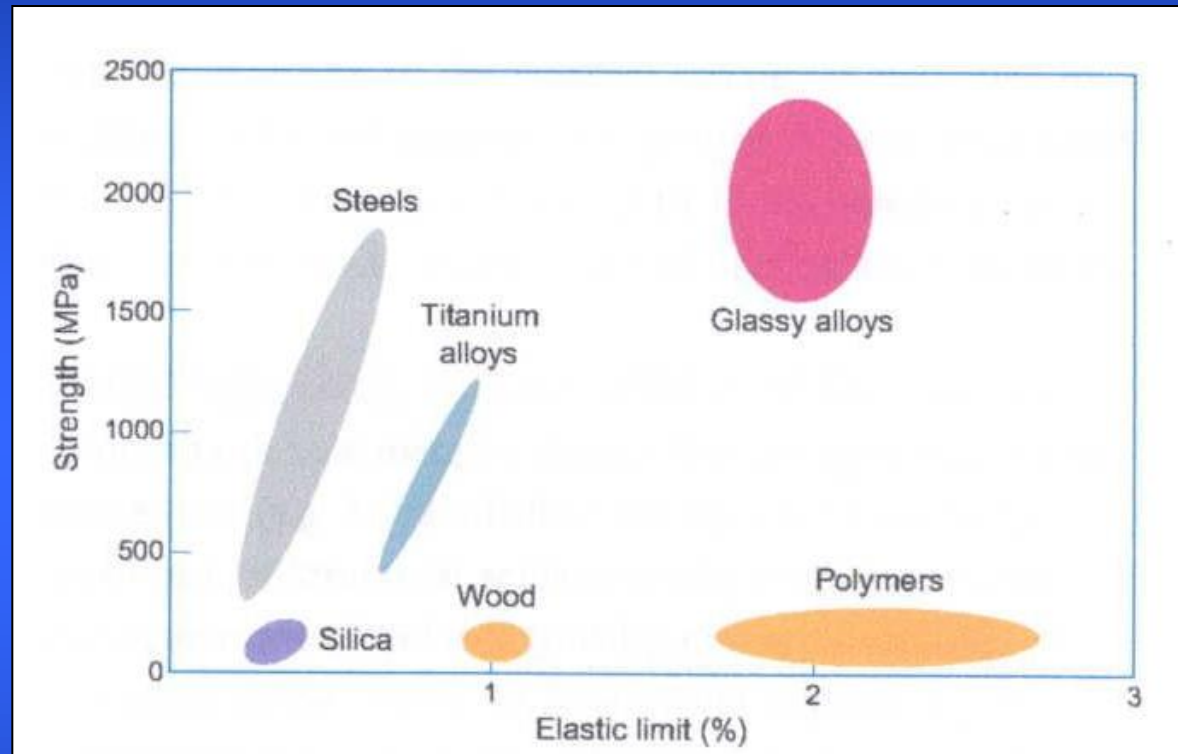
„Prägen“ bzw. „Blasformen“

- bei einer Viskosität wie bei dem Glasblasen
- in einem temperaturabhängigen Zeitfenster, bei temperaturabhängigen Drücken



**Hochfeste Bauteile in Endform
aus amorphen Halbzeugen**

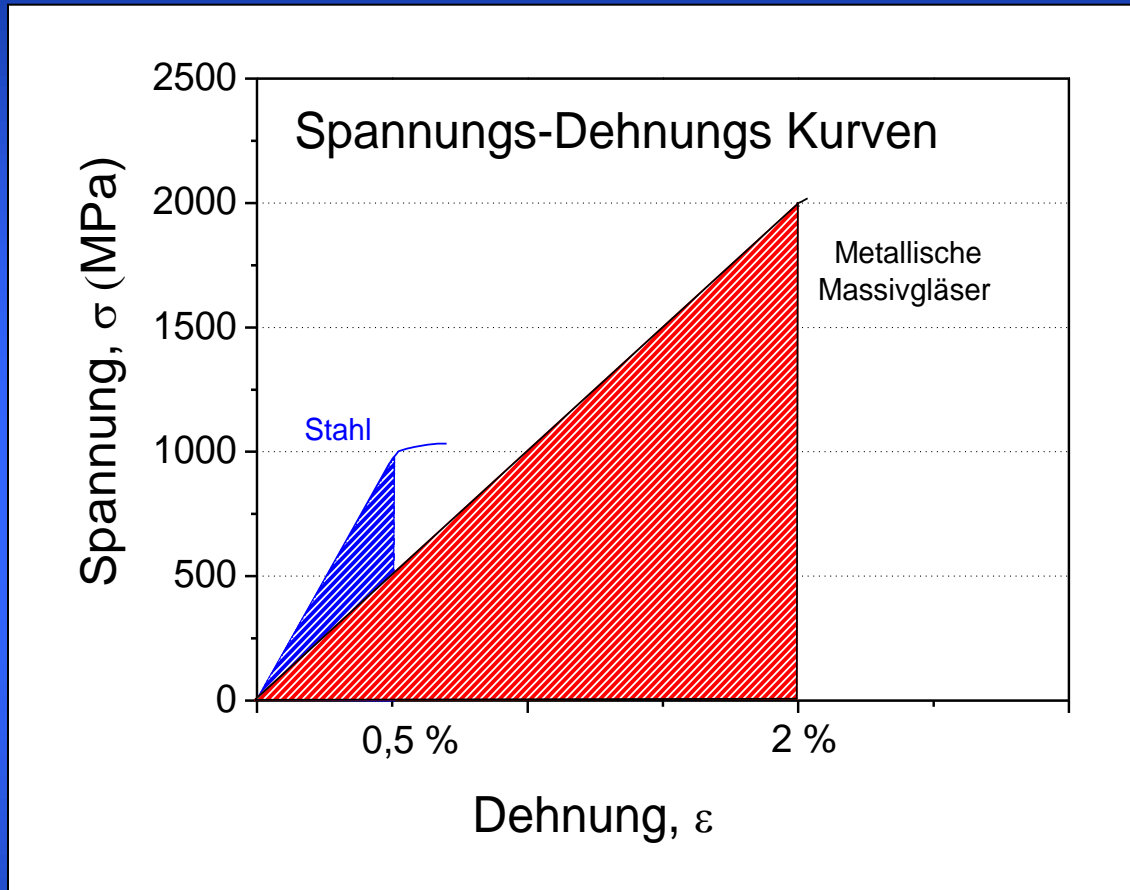
Eigenschaften von Metallischen Massivgläsern



keine Versetzungen : nahe der theoretischen Festigkeit

aber: niedriger Schmelzpunkt : geringes E-Modul

große speicherbare Energie

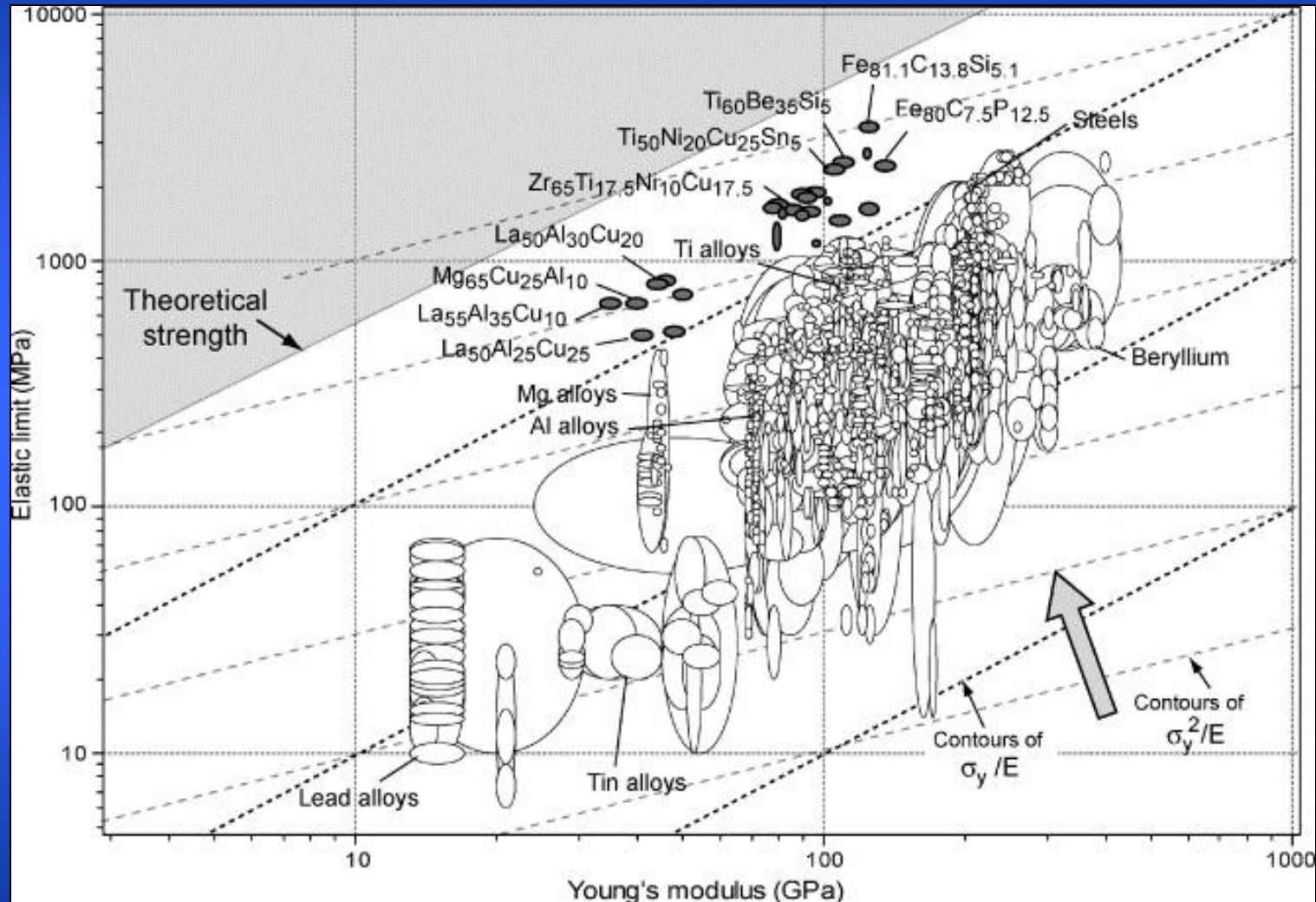


$$U_r = \sigma_y^2 / 2E$$

speicherbare Energie: Fläche im Zugversuch

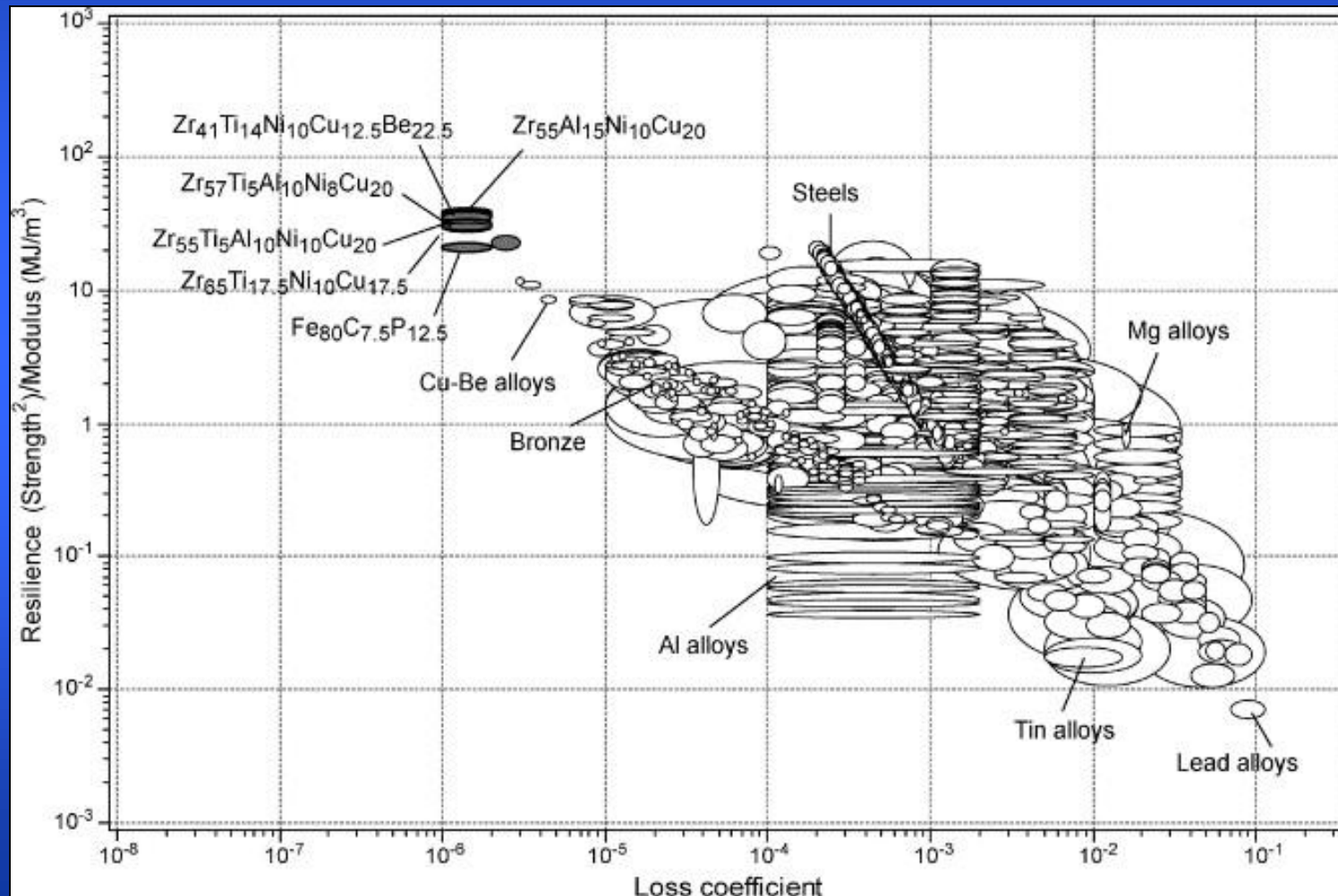
Ashby Karte

Dehngrenze gegen E Modul



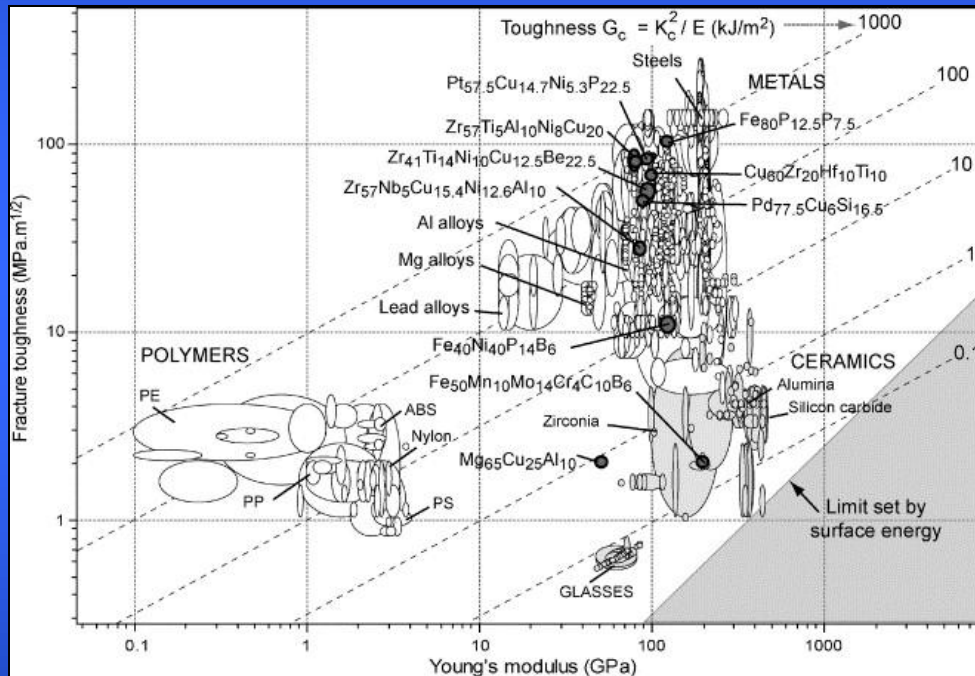
Ashby Karte

Gespeicherte elastische Energie
gegen Verlustkoeffizient

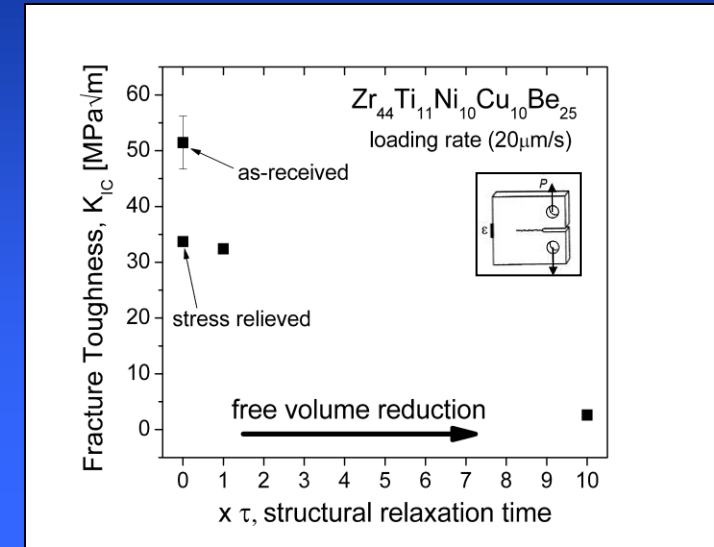


Ashby Karte

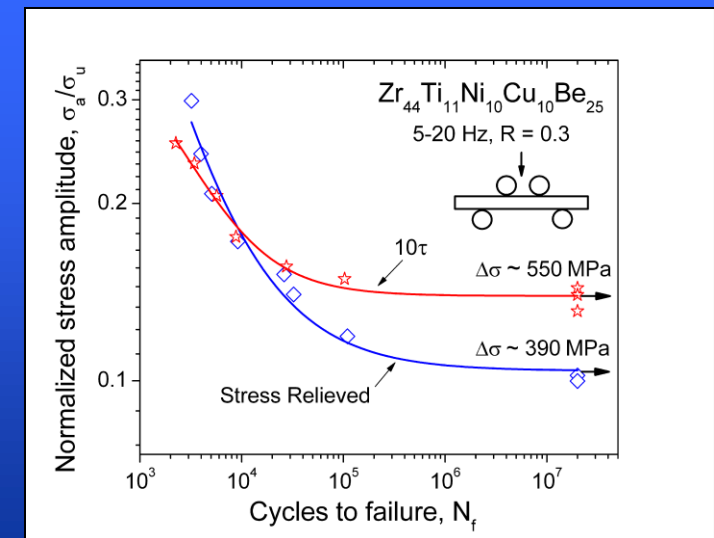
Bruchzähigkeit gegen E Modul



MF Ashby und AL Greer, Scripta Materialia, 54, 321(2006)



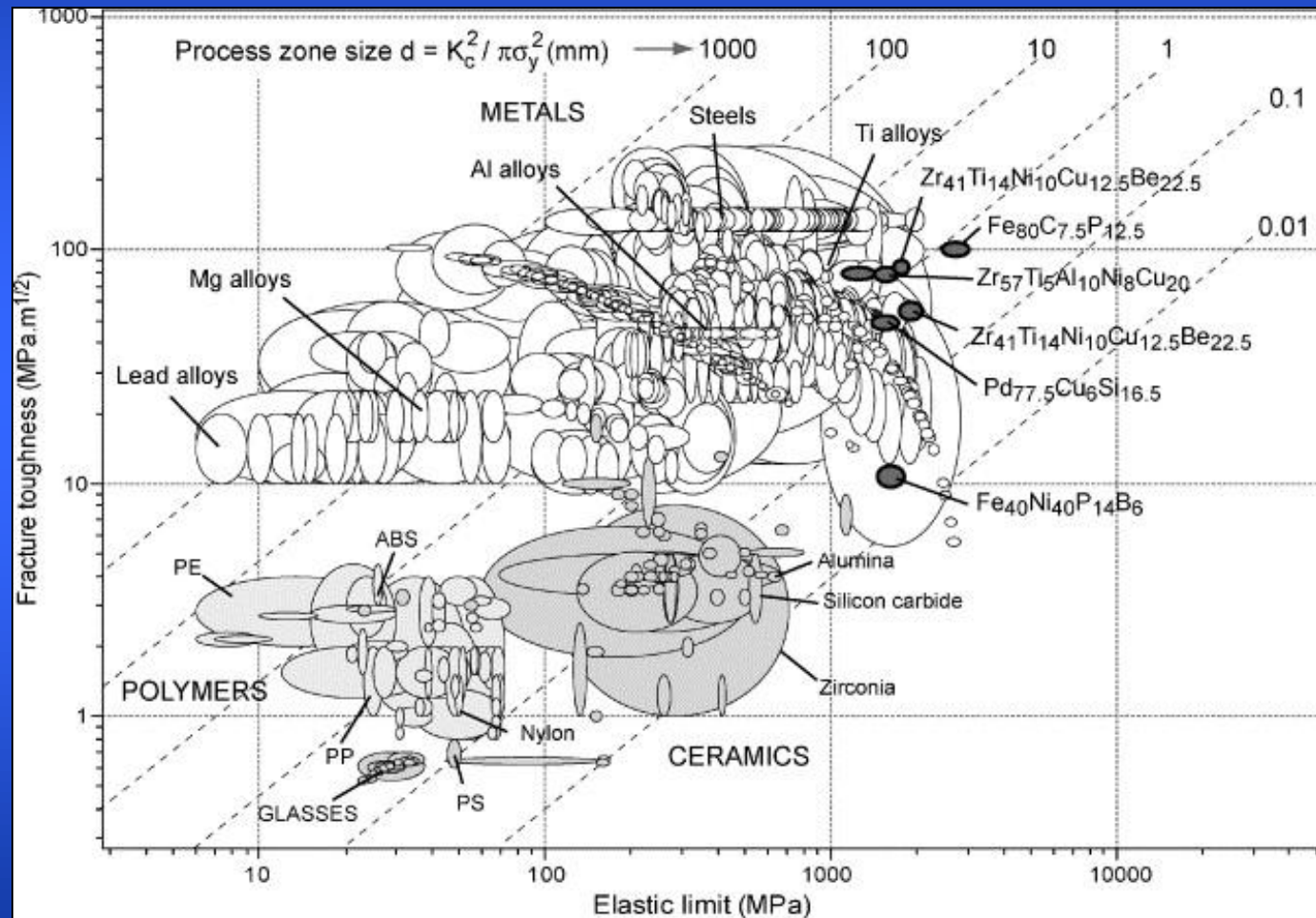
M Launey, J Kruzic und R. Busch, Acta Mater. 56, 500 (2008)



M Launey, J Kruzic und R. Busch, Acta Mater. 56, 500 (2008)

Ashby Karte

Bruchzähigkeit gegen Dehngrenze



MF Ashby und AL Greer, Scripta Materialia, 54, 321(2006)

Weitere Eigenschaften von Metallischen Massivgläsern

- weichmagnetisches Verhalten von Fe-Basislegierungen
- geringe elektrischer und thermische Leitfähigkeit ($\sim 1/100$ Cu)
- gutes Benetzungsverhalten (MM-Matrix Komposite)
- Korrosionsbeständigkeit (Vorsicht!)
- Abriebfestigkeit (Vorsicht!)

Zusammenfassung

- Metallische Massivgläser sind vielkomponentige, viskose **eutektische Legierungen** mit sehr langsamer Kristallisationskinetik
- Kombination aus **hoher Festigkeit**, geringem **E-Modul** und schwacher Dämpfung macht sie zu **idealen Federwerkstoffen**
- Metallische Massivgläser lassen sich verarbeiten wie Silikatgläser oder Kunststoffe, sodass die Herstellung von **komplexen, hochfesten** und **endformnahen Bauteilen** möglich ist

Danksagung:

California Institute of Technology

Andreas Masuhr

Andy Waniuk

Jan Schroers

Bill Johnson

Oregon State University

Tyler Shaw

Chris Way

Prashant Wadhwa

Saarland University

Jochen Heinrich

Isabella Gallino

Zach Evenson

Gefördert von:

- U.S. Department of Defense [**Defense Advanced Research Project Agency (DARPA)**]
- **National Science Foundation**
- **Deutsche Forschungsgemeinschaft**

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

DFG



National Science Foundation

WHERE DISCOVERIES BEGIN

