

# **Werkstofftechnik I**

**Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Christ**

**Vorlesung**

**Institut für Werkstofftechnik der Universität Siegen**

**Wintersemester 2017/2018**

# Agenda

---

- Einleitung
  - Werkstoffe in der Geschichte
  - Werkstoffe im Stoffkreislauf
  - Beanspruchungsgerechte Werkstoffauswahl
- Werkstoffprüfung
- Metallographie
- Aufbau von Werkstoffen
- Mechanische Eigenschaften
- Aufbau mehrphasiger Werkstoffe
- Grundlagen der Wärmebehandlung

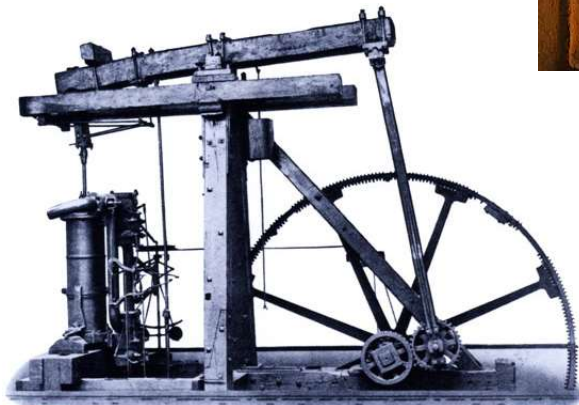
## Definition und Konsequenz



Speerspitze aus Feuerstein  
ca. 40.000 v. Chr.



Butzenglasfenster  
ca. 14. Jahrhundert



Dampfmaschine  
1769

### Definition:

Ein Werkstoff ist ein fester Stoff, der zur Realisierung einer technischen Idee dient (zur Herstellung eines technischen Produktes).

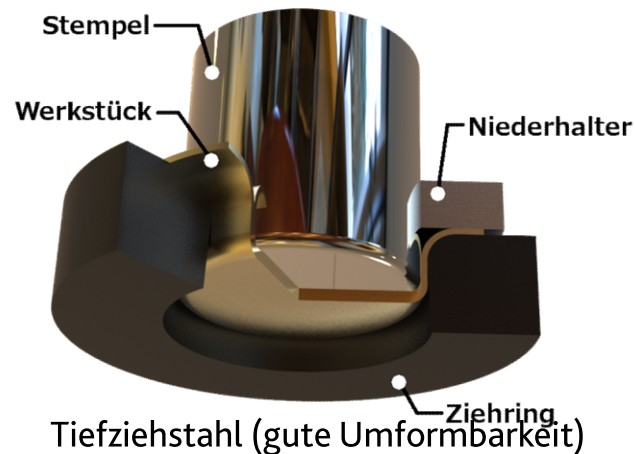
→ Schlüsselfunktion in der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in ein technisch nutzbares Produkt, d.h. letztlich in Lebensqualität

### Konsequenz:

Wichtige gesellschaftliche Entwicklungen wurden durch die Verfügbarkeit neuer Werkstoffe maßgeblich beeinflusst und z.T. hervorgerufen.



Panzerstahl (hohe Härte)



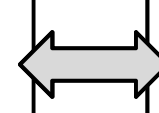
- Ein Werkstoff kann auf bestimmte Funktionen spezifisch ausgerichtet (maßgeschneidert) werden.

**Nicht nur *Konstruieren mit Werkstoffen*, sondern auch *Konstruieren am Werkstoff***

Voraussetzung:

- Kenntnis des Zusammenhanges von Werkstoffaufbau und den Vorgängen im Werkstoff einerseits und den Werkstoffeigenschaften andererseits

Mikroskopische  
Eigenschaften

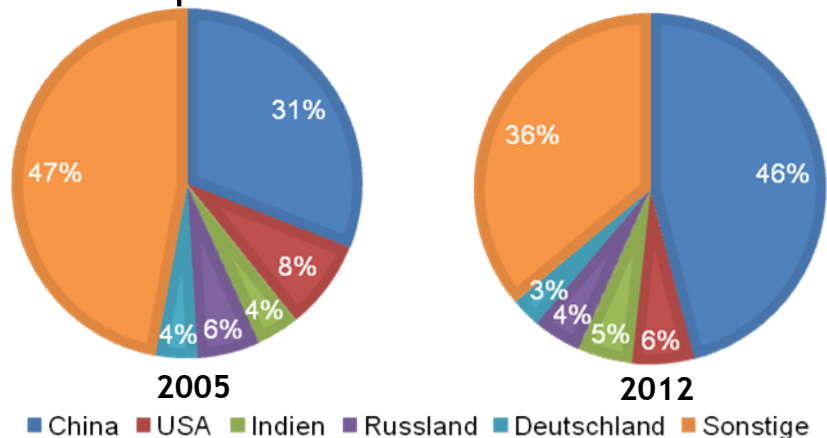


Makroskopische  
Eigenschaften

# Weltproduktion verschiedener Werkstoffe

Werkstoff	Produktion in Mio. t	Jahr
Beton/Zement	2800	2007
Rohstahl	1606	2013
Holz	1300	2005
Kunststoff	288	2012
Aluminium	37	2009
Kupfer	16	2009
Zink	11	2008
Blei	4	2009

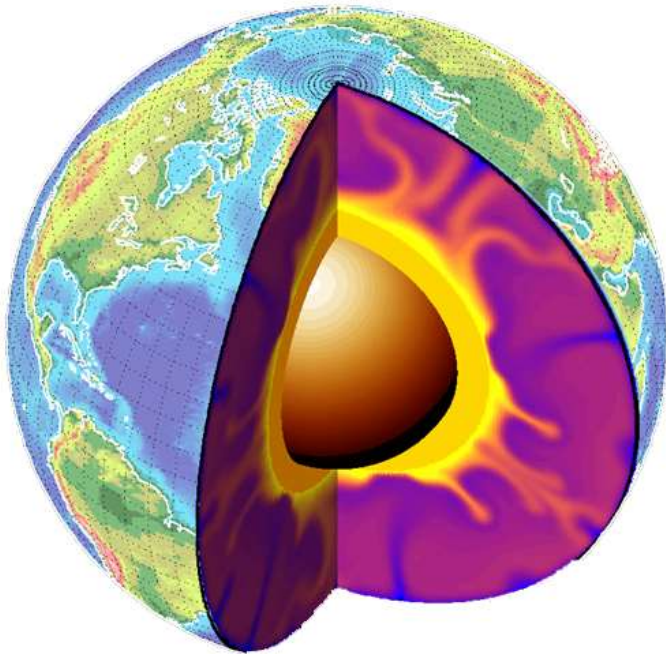
Rohstahlproduktion nach Ländern:



- Von 1945 bis 1973 erfolgte ein kräftiger Anstieg, ab 1973 nur noch ein leichter Anstieg, da
  - gesteigertes Bewusstsein der Notwendigkeit Rohstoffe sparsam einzusetzen
  - Marktsättigung
  - technischer Fortschritt, mit weniger mehr zu erreichen
  - Recycling (z.B. 46% bei Eisen, 51% bei Blei und 80% bei Kupfer)
- Zur Zeit starker erneuter Anstieg durch Industrialisierung von China und Indien.

# Vorrat in der Erdkruste

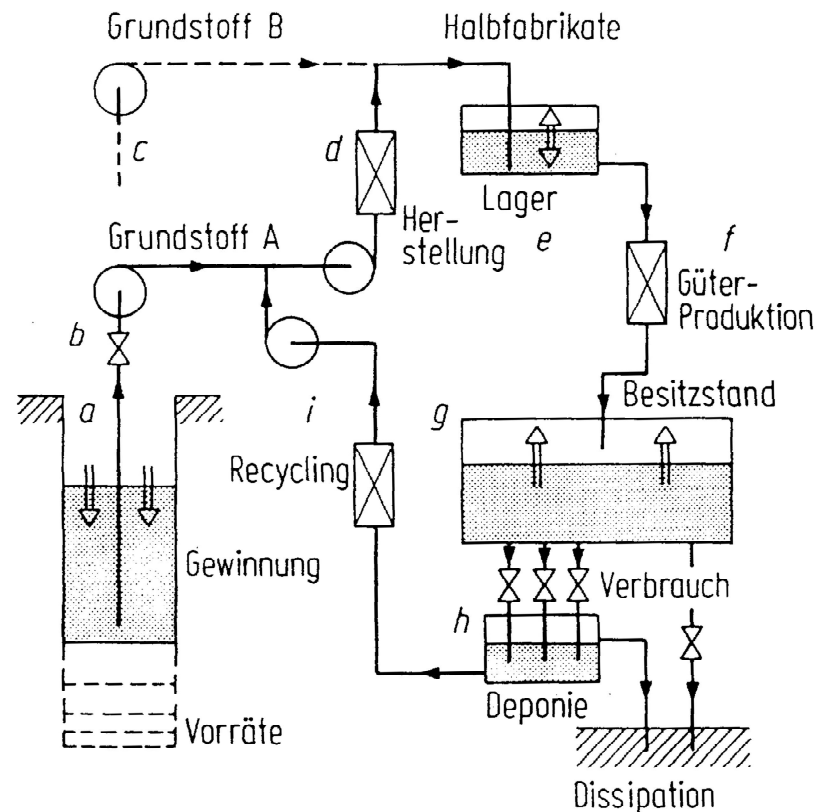
- Noch nehmen die bekannten Vorräte, z.B. durch geologische Prospektion und verbesserte Technologien, stärker zu, als sie durch den Abbau verbraucht werden!



Element	Mas. %	Mt (bis 3,5km)	Mas. % Anreicherung
Si	28	$5 \times 10^{12}$	-
Al	8	$12 \times 10^{11}$	25
Fe	4,6	$7 \times 10^{11}$	25
Ti	0,5	$7 \times 10^{10}$	10
C	0,2	$2 \times 10^{10}$	35
Ni	0,006	$9 \times 10^8$	1,5



# Flussschema für Werkstoffe



- a) "Brunnen" zunehmender Tiefe
- b) "Pumpe" durch attraktive Kosten/Preis-Relation
- c) Substitutionswerkstoff bei zu hohem Preis
- d) aus Grundstoff (z.B. Rohglas, Granulat, Flüssigmetall) wird Halbfabrikat (Blech, Rohr, Stäbe)
- e) Lager als "Puffer"
- f) Produktion von Gütern mit kurzer, mittlerer oder langer Lebensdauer
- g) Besitzstand: materielles Vermögen
- h) Regelung der Ventile durch
  - gesellschaftliche Kräfte
  - technischen Sachverstand
- i) Recycling

# Energieverbrauch zur Erzeugung von Werkstoffen

Werkstoff	Energie in MWh/t
Titan	40*
Kunststoffe	20-30
Kupfer	20
Aluminium	16*
Stahl	13
Beton/Zement	0,5

\*als elektrische Energie



- Welche Anforderung werden an den Werkstoff gestellt?
  - Analyse des Belastungs- bzw. Beanspruchungsprofils  
→ Anforderungsprofil
  
- Wie wird ein anforderungsgerechter Werkstoff ausgewählt?
  - Eigenschaft - Werkstoffprüfung  
→ Werkstoffauswahl
  
- Durch solche Maßnahmen ergibt sich ein Eigenschaftsprofil, welches idealerweise mit dem Anforderungsprofil vollständig übereinstimmt.

- Ein Werkstoff lässt sich den Beanspruchungsbedingungen anpassen
- Dies ist z.B. bei Metallen großtechnisch möglich durch:
  - Legierungstechnische Maßnahmen  
(Das Periodensystem enthält 80 Metalle, die Kombination aus 40 Metallen ergibt  $10^{23}$  Möglichkeiten)
  - Wärmebehandlung
  - Kalt- oder Warmverformung
  - Kombinierte Behandlungsverfahren
- Beispiel: Eisen (rein) hat eine Festigkeit von  $10 \text{ N/mm}^2$ , durch Legieren mit Kohlenstoff (und geeigneter Wärmebehandlung) erreicht man Werte von  $2000 \text{ N/mm}^2$ .

## Lösung für komplexes Anforderungsprofil

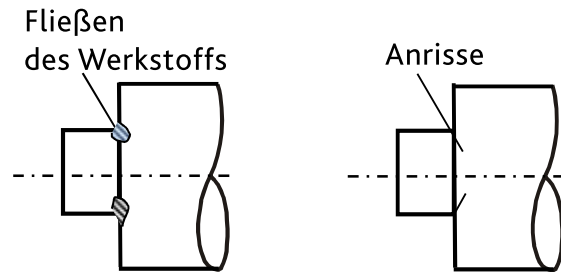


Beispiel: Auslassventil eines PKW-Motors. Schaft aus Vergütungsstahl und Teller aus Hochtemperaturlegierung (verbunden durch Reibschweißen)

- Oft ist das Anforderungsprofil so vielfältig, dass es von einem homogenen Werkstoff nicht erfüllt werden kann
- Lösungen können dann gefunden werden durch:
  - Oberflächenbehandlung (höhere Verschleiß- und/oder Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche)
  - Werkstoffverbunde

## Vorsicht: Komplexität des Anforderungsprofils

Beispiel: Vergrößerung des Übertragungsdrehmoments einer Welle



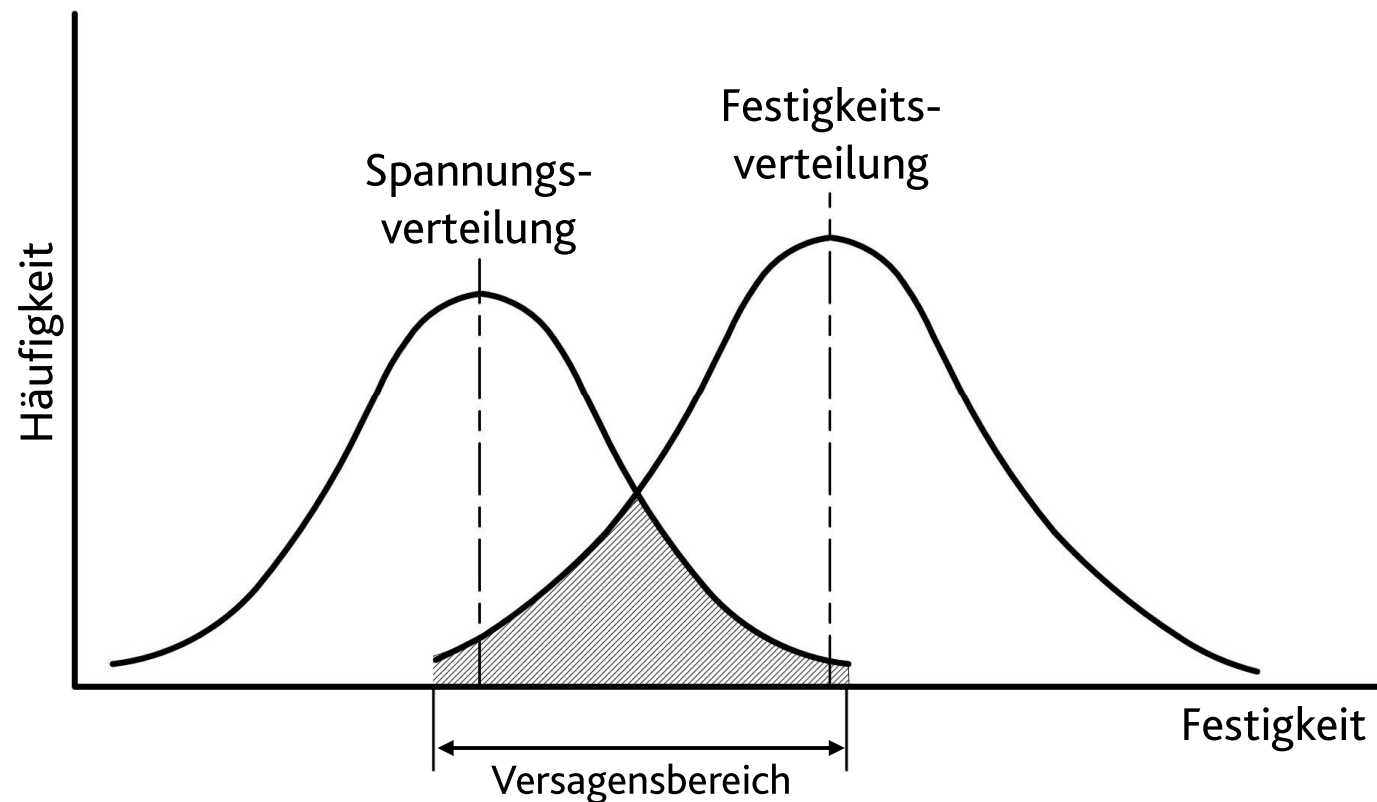
a) duktiler Werkstoff    b) hochfester Werkstoff



Kurbelwelle für Verbrennungsmotoren: Reibungs- und Verschleißreduzierung → höhere Beschleunigung

- Verwendung eines Werkstoffes mit höherer Festigkeit zur Vermeidung von Veränderungen in der Konstruktion kann aufgrund der höheren Kerbempfindlichkeit zu Rissen und zum Bauteilversagen führen!
- Neben den Gebrauchseigenschaften sind immer auch
  - die fertigungstechnischen Eigenschaften,
  - die wirtschaftlichen Eigenschaften und
  - die Recyclingfähigkeit entscheidend.

## Grundsätzliches Problem



- Schwankung in der Betriebsweise führt zu Streuung der Beanspruchung
- Jeder technische Werkstoff besitzt eine Streuung der Festigkeitswerte
- Konsequenz: Überschneidung der Streubereiche kann zum Versagen führen!