

# Werkstofftechnik

Werkstoffeigenschaften und Werkstoffprüfung

Vorlesung „Allgemeine Werkstoffeigenschaften“



*Quelle: Victoriana*

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

---

## Werkstoffeigenschaften - Übersicht

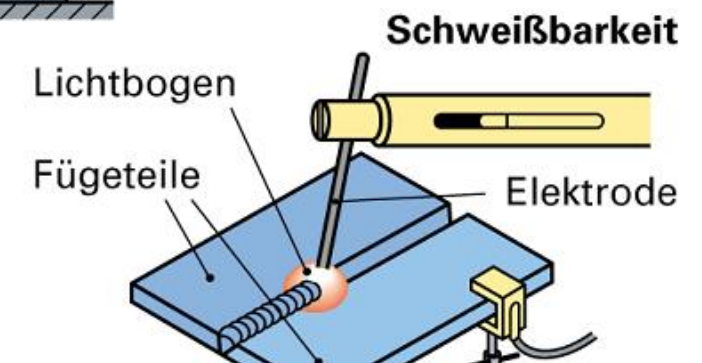
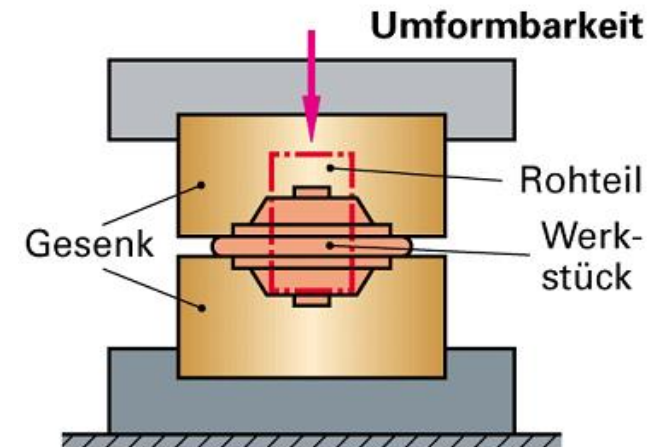
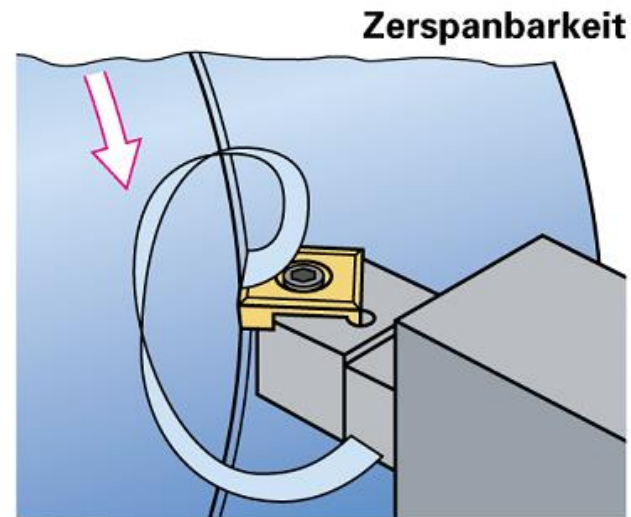
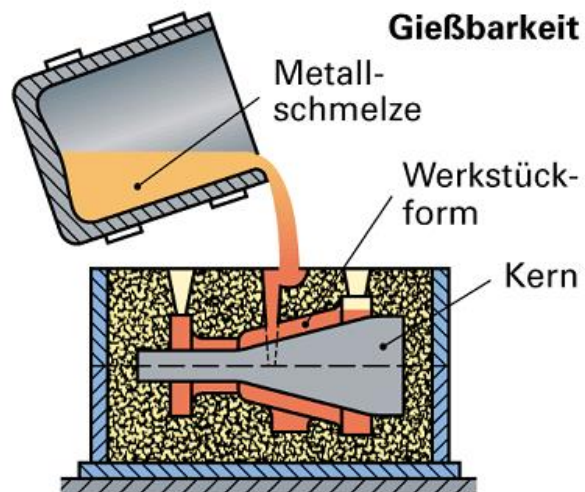
Die Werkstoffeigenschaften können folgendermaßen unterteilt werden:

- Fertigungstechnische Eigenschaften
- Chemisch-technologische Eigenschaften
- Mechanisch-technologische Eigenschaften
- Physikalische Eigenschaften

# Werkstoffeigenschaften und Werkstoffprüfung

## Fertigungstechnische Eigenschaften

Fertigungstechnische Eigenschaften beschreiben die Eignung der Werkstoffe für verschiedene Fertigungsverfahren



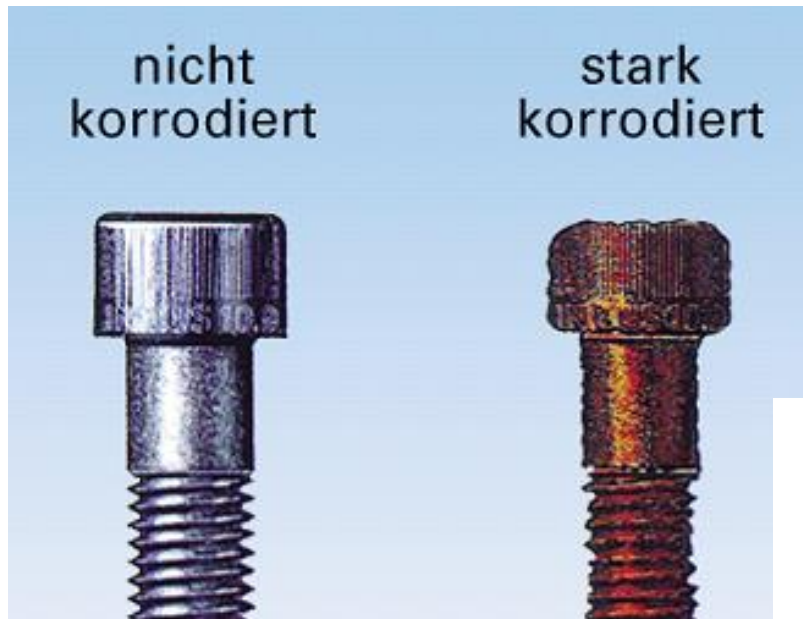
Quelle: Europa Lehrmittel

# Werkstoffeigenschaften und Werkstoffprüfung

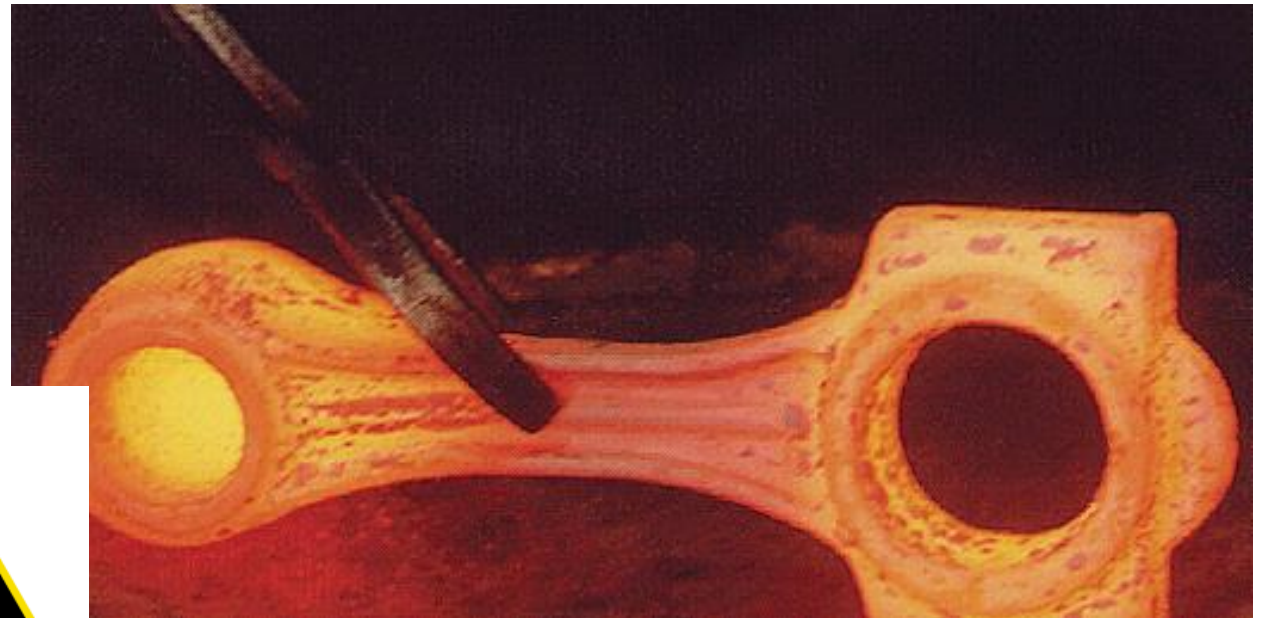
## Chemisch -Technologische Eigenschaften

Chemisch-technologische Eigenschaften beschreiben die Werkstoffzusammensetzung sowie die stoffliche Umwandlung der Werkstoffe durch die Wirkung der sie umgebenden Stoffe und Umweltbedingungen.

*Korrosionsbeständigkeit*



*Zunderbeständigkeit  
(Reaktionsverhalten bei hohen Temperaturen)*



*Brennbarkeit*

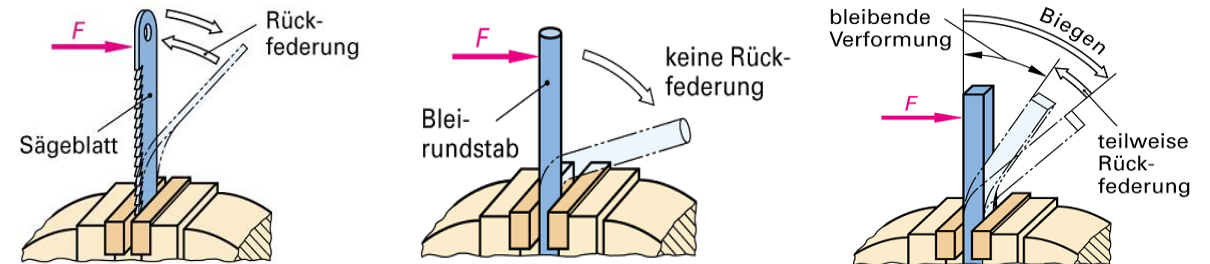


# Werkstoffeigenschaften und Werkstoffprüfung

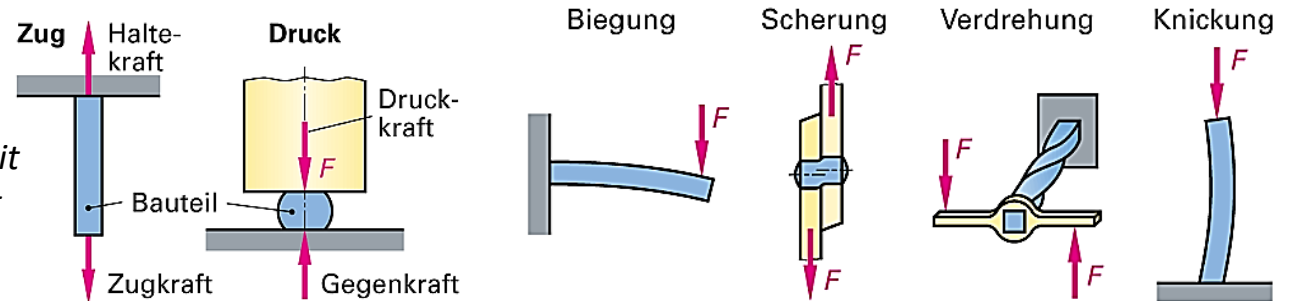
## Mechanisch-Technologische Eigenschaften

Mechanisch-technologische Eigenschaften beschreiben das Verhalten der Werkstoffe unter der Wirkung von mechanischen Beanspruchungen.

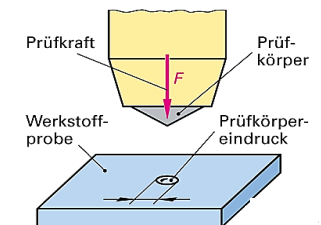
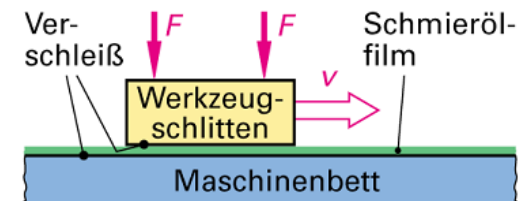
*Verformungsverhalten*



*Festigkeit in Abhängigkeit der Beanspruchungsart*



*Härte zur Abschätzung des Verschleißverhaltens*



*Schematische Darstellung der Härteprüfung*

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

---

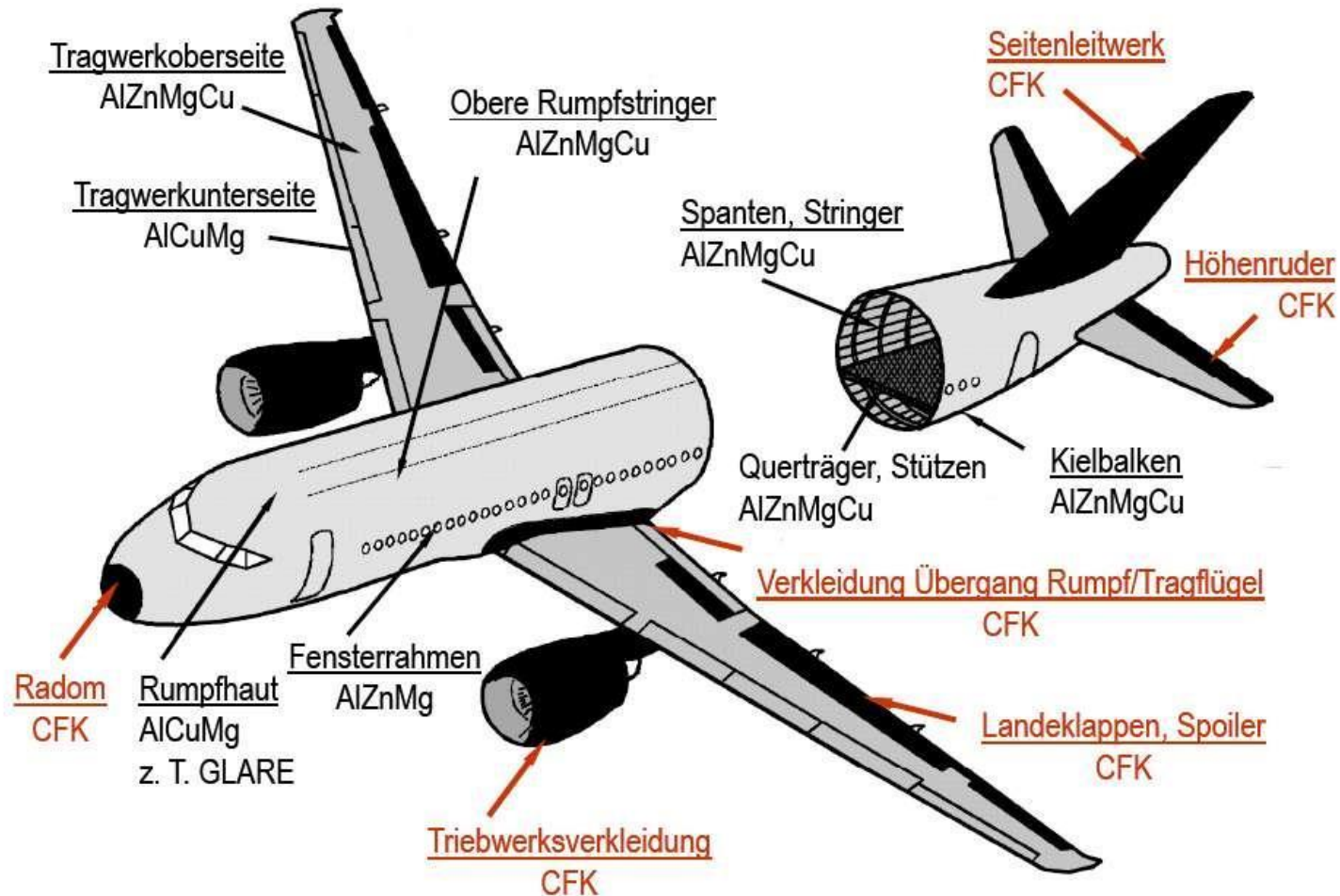
Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Sehen wir uns zunächst einige allgemeine  
Werkstoffeigenschaften an!



# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Warum besteht ein Flugzeug vorwiegend aus Aluminium?



# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

## Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die Dichte $\rho$

„Leicht“ oder „schwer“ ist immer relativ. Die Dichte ist die korrekte physikalische Größe!

Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Masse  
Volumen

### Metalle

$\rho$  (Cu): 8,9 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  (Fe): 7,8 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  (Ti): 4,5 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  (Al): 2,7 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  (Mg): 1,7 g/cm<sup>3</sup>

} Leichtmetalle

### Keramik

$\rho$  (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): 4 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>): 3,2 g/cm<sup>3</sup>

### Kunststoffe

$\rho$  (PE): 0,9 g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  (PA): 1,1 g/cm<sup>3</sup>



# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

## Allgemeine Werkstoffeigenschaften

„Welche physikalische Größe war für diesen Schaden verantwortlich?“



Quelle: Victoriana

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

## Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Der thermische Ausdehnungskoeffizient $\alpha$

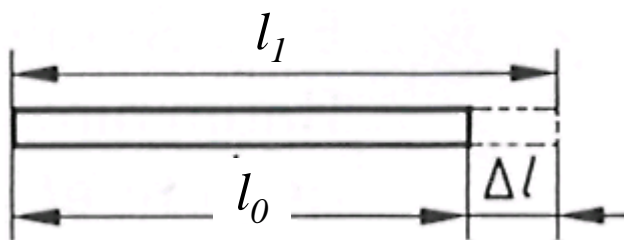
Der Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$  ist die relative Längenänderung bei einer Temperaturänderung um 1 K.

Temperaturänderung  $\Delta T$

Längenänderung  $\Delta l$

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Ausgangslänge  $l_0$



### Metalle

$\alpha$ (Cu):	$16,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
$\alpha$ (Fe):	$11,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
$\alpha$ (Ti):	$8,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
$\alpha$ (Al):	$23,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
$\alpha$ (Mg):	$24,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$

### Keramik

$\alpha$ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ):	$6,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
$\alpha$ ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ):	$3,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$

### Kunststoffe

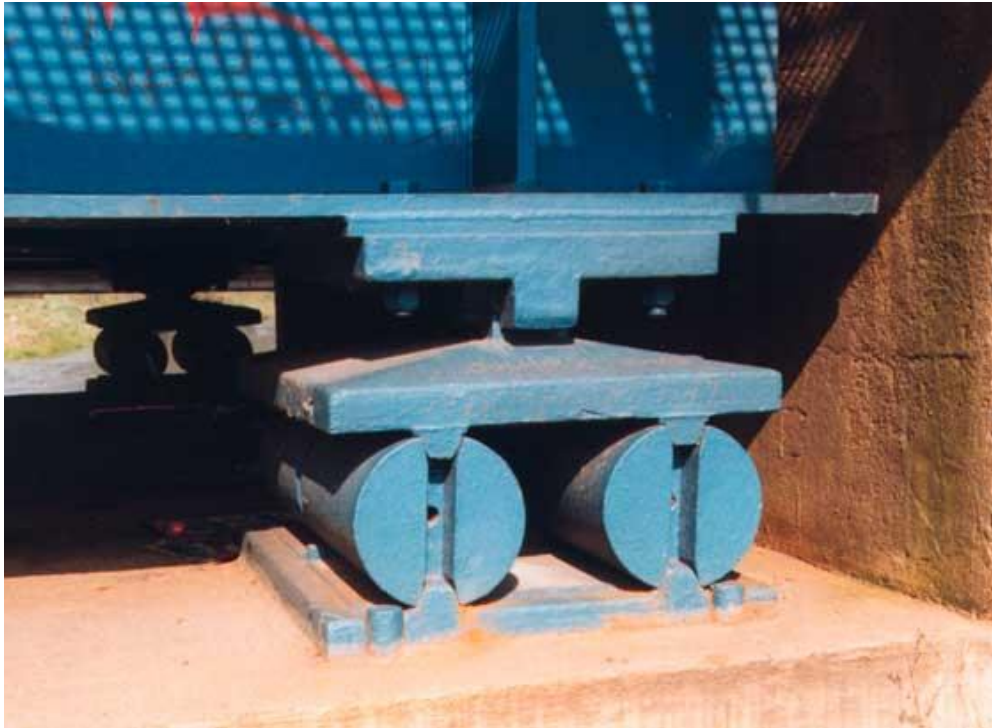
$\alpha$ (PE):	$150\text{-}200 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$
$\alpha$ (PA):	$60\text{-}150 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$

Ausgewählte lineare,  
thermische  
Ausdehnungskoeffizienten  
bei Raumtemperatur

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Der thermische Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$

*Kompensation der Wärmeausdehnung  
durch einseitig bewegliche Lagerung*



*Schiebesitz bei doppelwandigen Abgasrohren  
zur Verringerung von Wärmespannungen*



# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Der thermische Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$

Übungsaufgabe:

Eine Stahlschiene hat bei 10°C eine Länge von 100 m. Welche Länge hat die Schiene bei  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$

- a) im Sommer bei 40°C
- b) Im Winter bei -5°C
- c) Wie groß ist dabei die gesamte Längenänderung?



# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Welcher Werkstoff wird bei Überlandleitungen eingesetzt und warum?



Quelle: Wikipedia

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

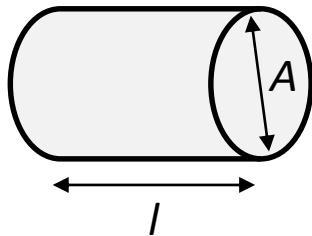
## Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die elektrische Leitfähigkeit $\sigma$

Der Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit  $\sigma$  ist der spezifische Widerstand  $\rho$ .

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \sigma = \left[ \frac{S}{m} \right] = \left[ \frac{1}{\Omega m} \right] = \left[ \frac{m}{\Omega mm^2} \right]$$

Der Widerstand eines elektrischen Leiters:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$



### Metalle

$\rho$  (Cu): 0,017  $\Omega mm^2/m$

$\rho$  (Fe): 0,15  $\Omega mm^2/m$

$\rho$  (Ti): 0,8  $\Omega mm^2/m$

$\rho$  (Al): 0,026  $\Omega mm^2/m$

$\rho$  (Mg): 0,044  $\Omega mm^2/m$

Ausgewählte spezifische  
Widerstände  $\rho$

### Keramik

$\rho$  ( $Al_2O_3$ ):  $10^{18} \Omega mm^2/m$

$\rho$  ( $Si_3N_4$ ):  $10^{18} \Omega mm^2/m$

### Kunststoffe

$\rho$  (PP):  $10^{11} \Omega mm^2/m$



# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die elektrische Leitfähigkeit  $\sigma$

Übungsaufgabe:

Eine Kupferkabel besitzt eine Länge von 5 m und eine Querschnittsfläche von 20 mm<sup>2</sup>

- a) Um wieviel Prozent müsste der Kabelquerschnitt angepasst werden, um die gleichen Leitfähigkeitseigenschaften mit dem Werkstoff Aluminium zu erhalten?
- b) Welches prozentuale Leichtbaupotenzial ergibt sich daraus?

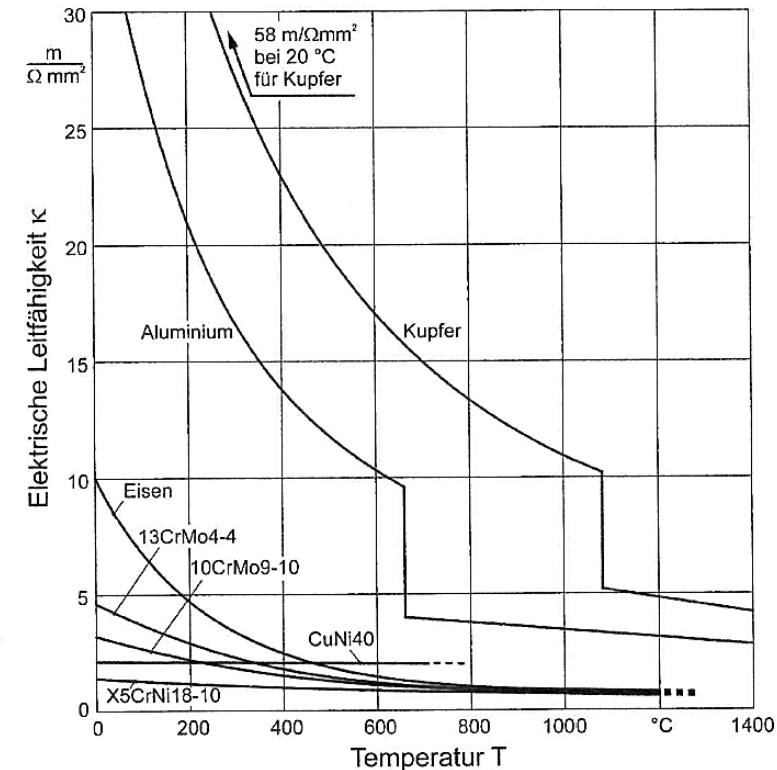
# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

## Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die elektrische Leitfähigkeit $\sigma$

Einige Punkte sollten Sie jetzt schon verinnerlichen:

- Ein Metall mit hoher elektrischer Leitfähigkeit ist immer reines Metall, da Fremdatome den Elektronenfluss stören würden.
- Elektroleitungen sind meist aus Kupfer. Reinaluminium ist jedoch eine zunehmend interessantere Alternative (Leichtbau!).
- Die elektrische Leitfähigkeit nimmt mit zunehmender Temperatur ab!

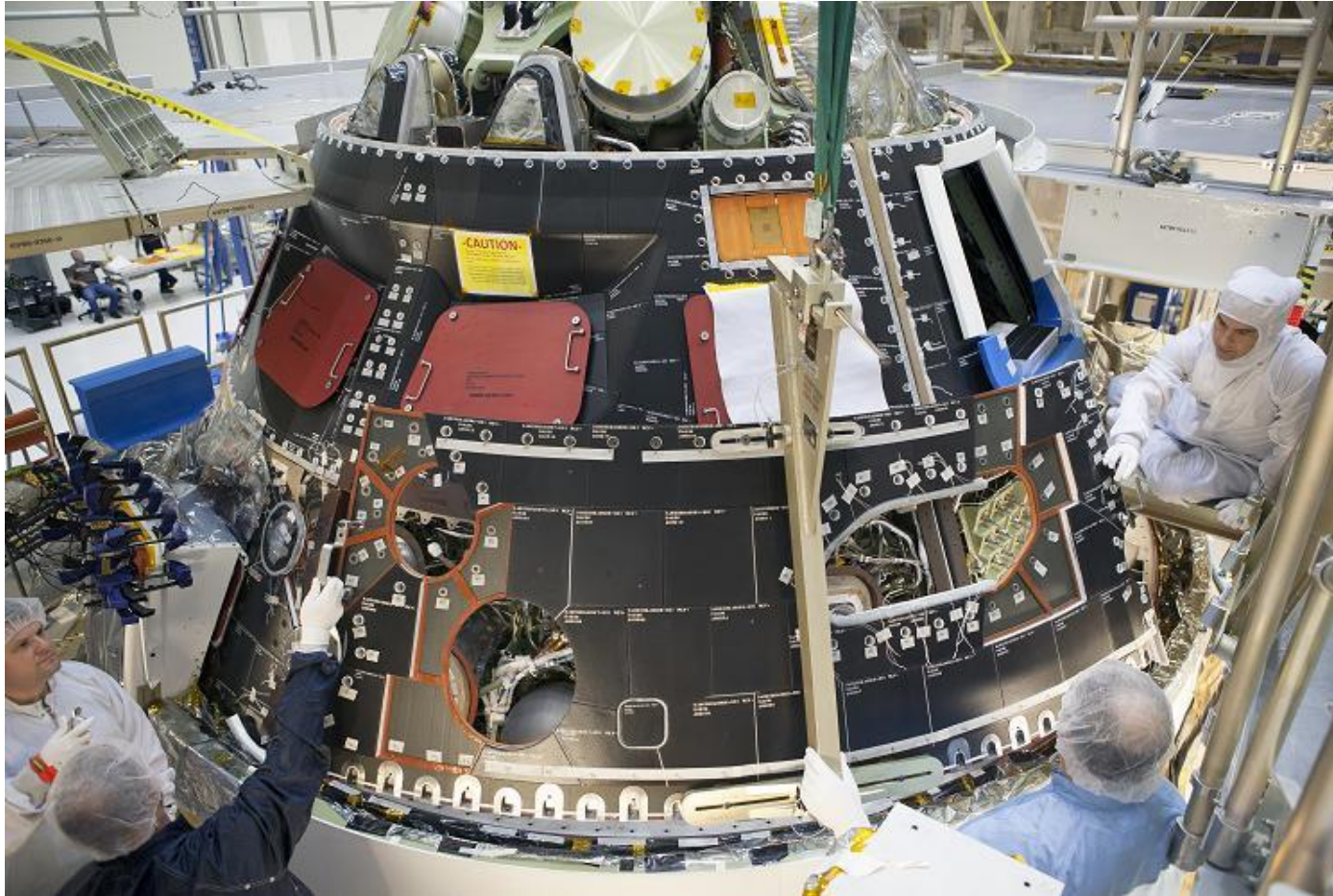
*Elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur, nach Richter und Tslaf*



Quelle: Schwab

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Welcher physikalische Werkstoffkennwert ist für die Auslegung eines Hitzeschildes verantwortlich?



Quelle: Raumfahrer

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

## Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

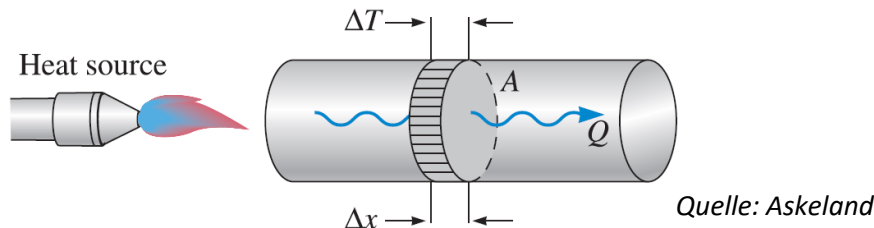
Metalle mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit  $\sigma$  besitzen auch eine hohe Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

Das Wiedemann-Franz'sches Gesetz:

$$\lambda = L \cdot T \cdot \sigma \quad \text{mit } \lambda = \left[ \frac{W}{mK} \right]$$

Die Wärmeleitungsgleichung:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot t \quad \text{mit } Q = [J] = [Ws]$$



### Metalle

$\lambda$ (Cu):	400,1 W/mK
$\lambda$ (Fe):	80,2 W/mK
$\lambda$ (Ti):	22 W/mK
$\lambda$ (Al):	236 W/mK
$\lambda$ (Mg):	156 W/mK

Ausgewählte  
Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$

### Keramik

$\lambda$ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ):	16 W/mK
$\lambda$ (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ):	15 W/mK

### Kunststoffe

$\lambda$ (PE):	0,57 W/mK
$\lambda$ (PA):	0,35 W/mK

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

Übungsaufgabe:

Durch eine ebene Stahlplatte mit der Fläche  $A = 5 \text{ m}^2$  und der Dicke  $\Delta x = 12 \text{ mm}$  fließt eine Wärmemenge  $Q$  von 80 kJ. Die Wandtemperaturen betragen  $80^\circ\text{C}$  und  $78^\circ\text{C}$ . Berechnen Sie bei einem  $\lambda$  von  $58 \text{ W/mK}$  die Zeit  $t$  für die Wärmeübertragung.

# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

Übungsaufgabe:

Ein Rundstab aus Kupfer soll die Verlustwärme eines elektronischen Bauteils entlang seiner Achse ableiten. Die Länge des Stabes beträgt 140mm, die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer im betreffenden Temperaturbereich 390 W/mK, die abzuleitende Wärmeleistung 70W.

Welchen Durchmesser  $d$  muss der Kupferstab mindestens aufweisen, damit die Temperaturdifferenz zwischen den Enden maximal 90K beträgt? Radiale Wärmeverluste (am Umfang des Stabes) seien nicht betrachtet.



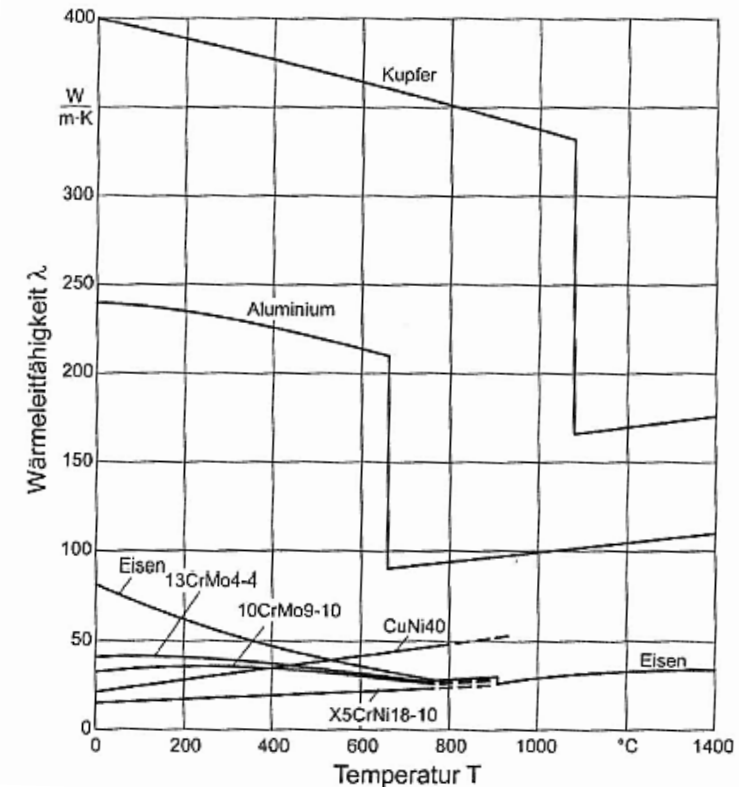
# Allgemeine Werkstoffeigenschaften

## Allgemeine Werkstoffeigenschaften – Die Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

Einige Punkte sollten Sie jetzt schon verinnerlichen:

- Es besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen el. Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit.
- Bei metallischen Werkstoffen wird die Wärme über Atomschwingungen (Phononen) und Elektronen übertragen.
- Legierungen besitzen eine geringere Wärmeleitfähigkeit als reine Metalle, da die Wirksamkeit der Wärmeübertragung durch die Elektronen gemindert wird (siehe el. Leitfähigkeit).

*Wärmeleitfähigkeit einiger metallischer Werkstoffe in Abhängigkeit von der Temperatur*



Quelle: Schwab