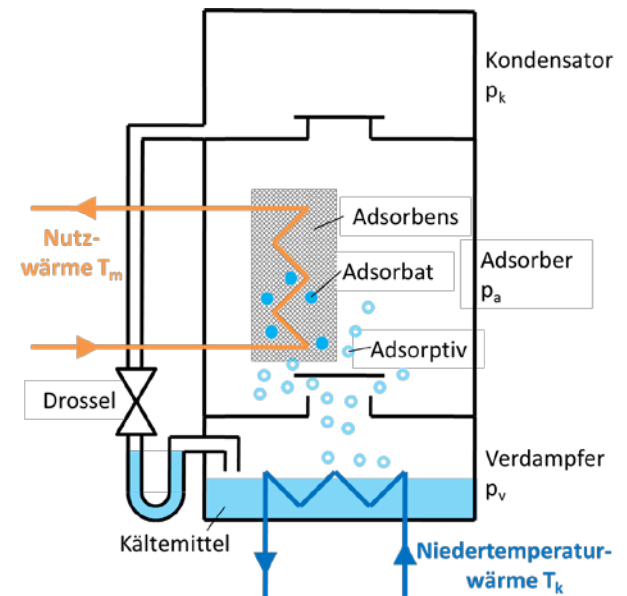


# HOCHGRADIG ANISOTROPE, OFFENZELIGE PORÖSE METALLISCHE FASERSTRUKTUREN – ANWENDUNGEN IN DER ENERGIETECHNIK

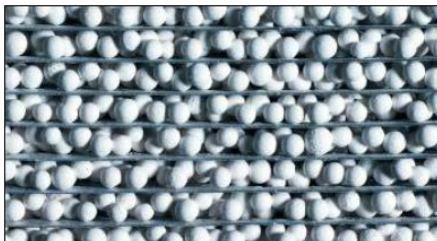
M. Fink; O. Andersen; T. Seidel, A. Schlott, C. Bischoff



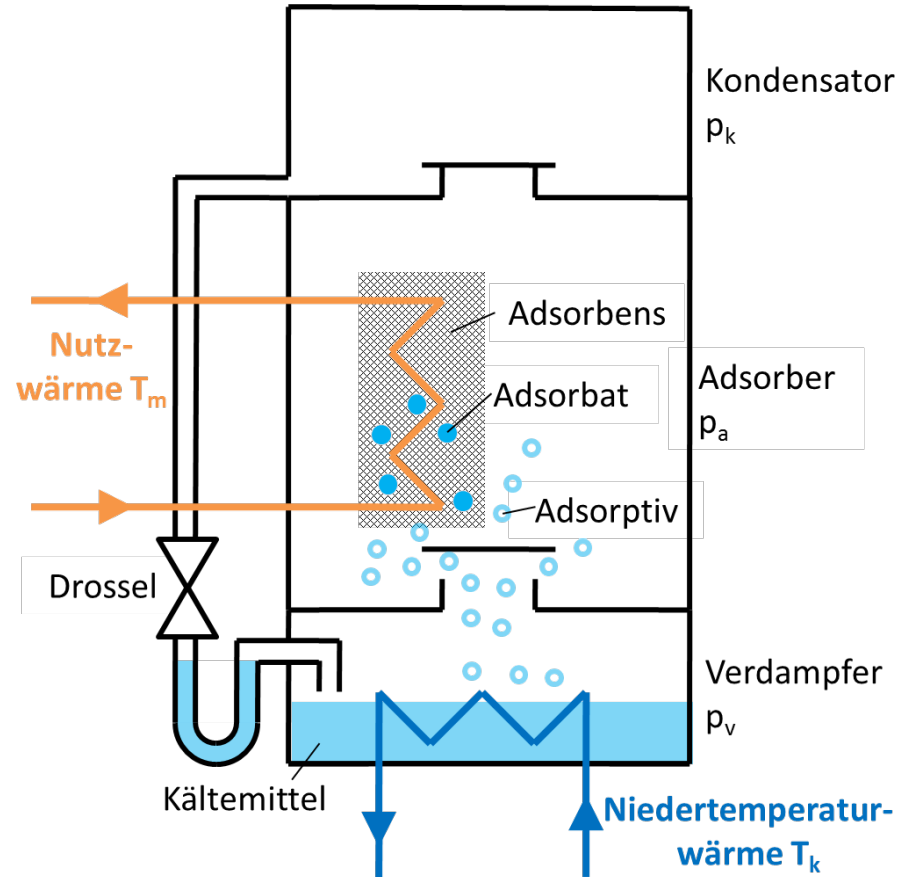
# Adsorptionswärmepumpe und Kältemaschine



Viessmann GmbH



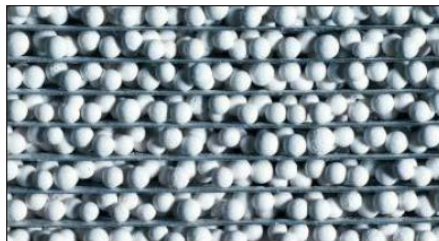
Vaillant Group



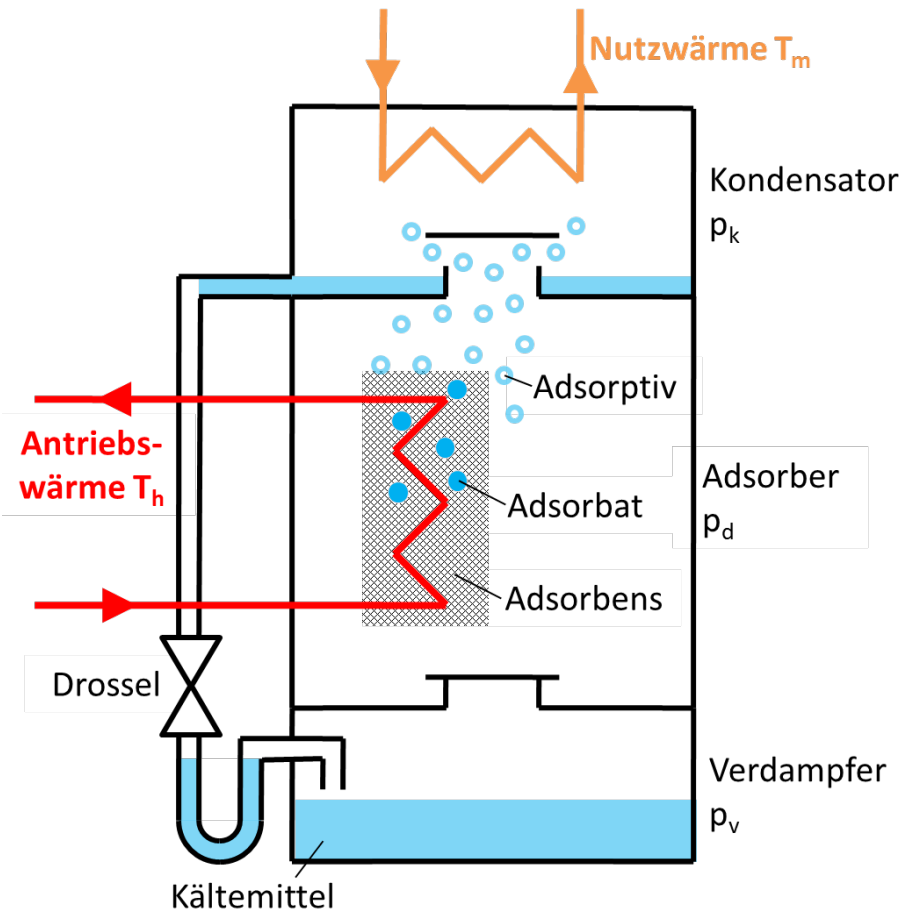
# Adsorptionswärmepumpe und Kältemaschine



Viessmann GmbH



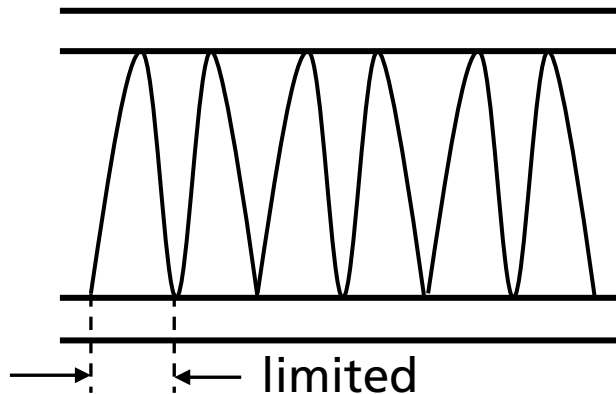
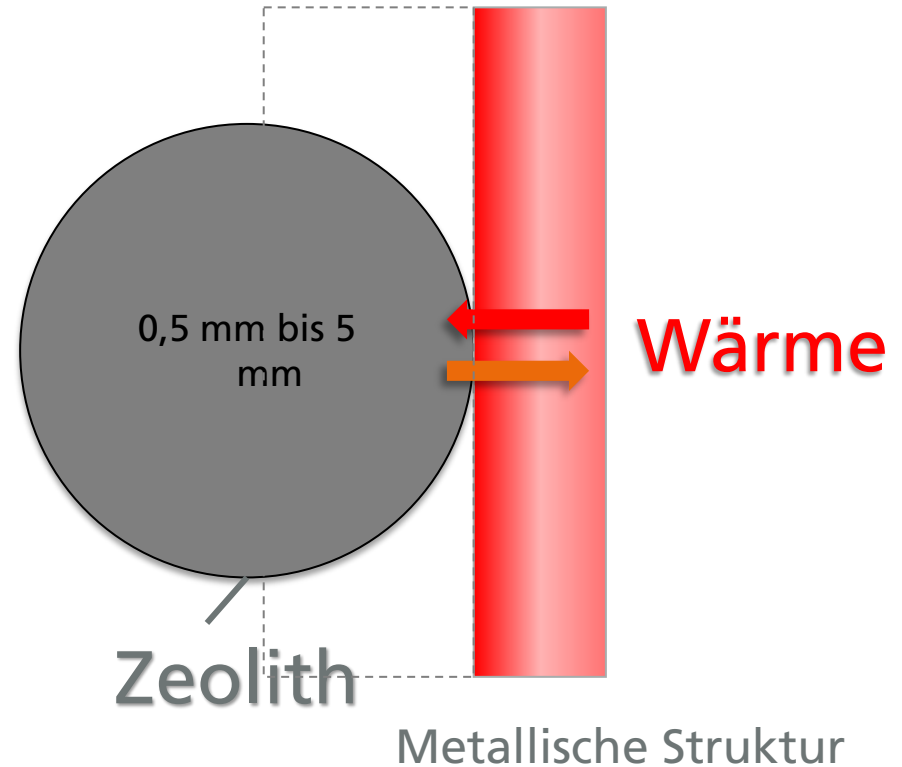
Vaillant Group



# Problem Energiedichte vs. Leistungsdichte



heavy-tuned.de

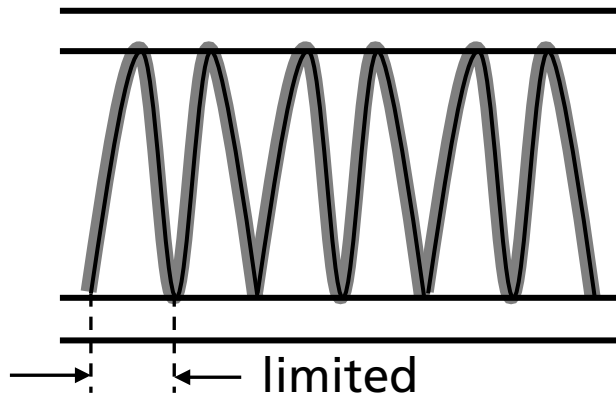


- max. inner surface  $\approx 1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- Limited lamella distance

# Problem Energiedichte vs. Leistungsdichte

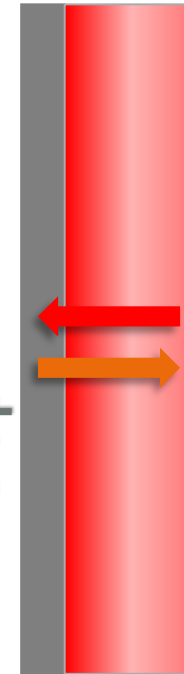


heavy-tuned.de



Zeolithschicht

>150µm

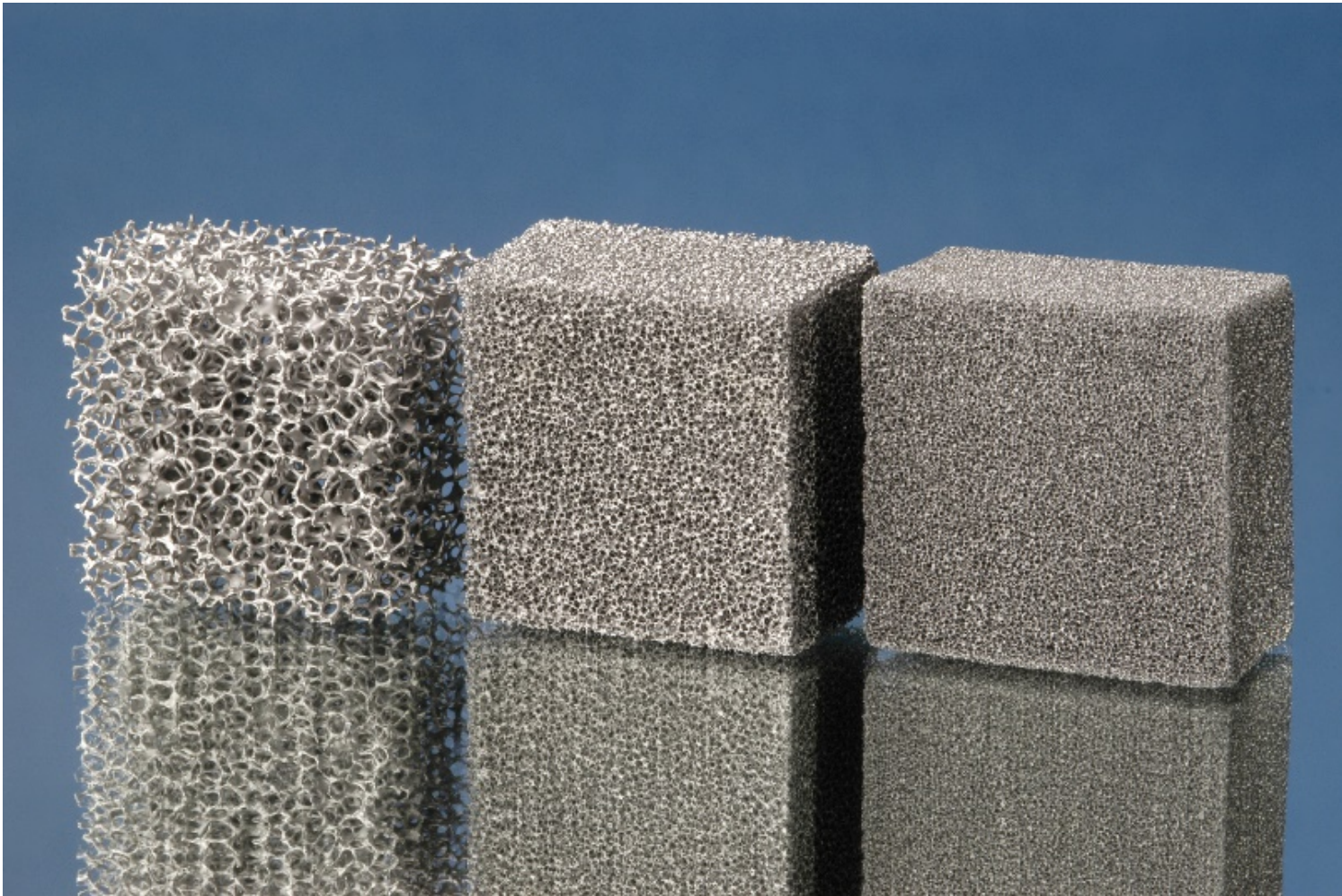


Wärme

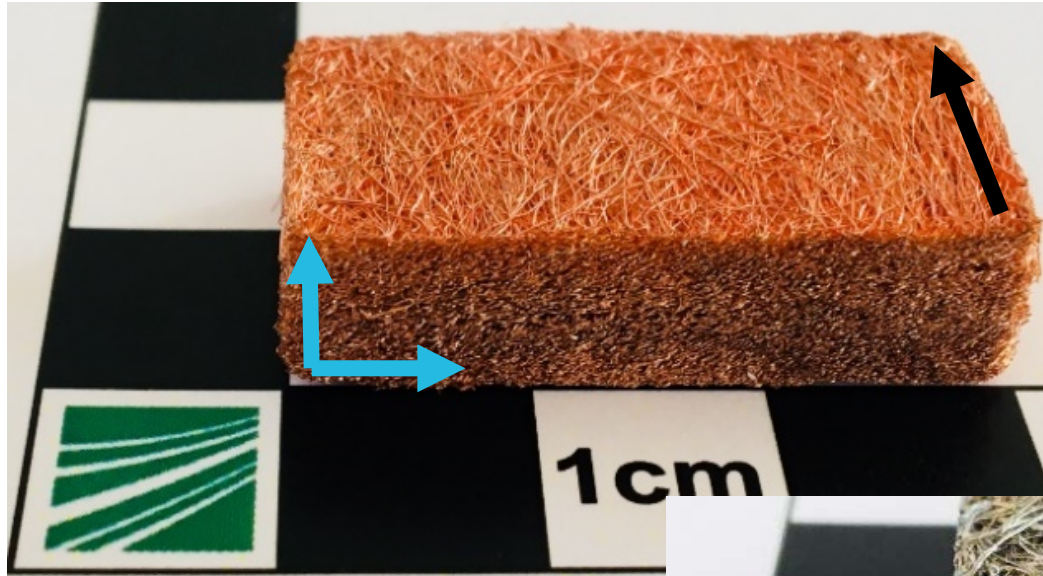
Metallische Struktur

- max. inner surface  $\approx 1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- Limited lamella distance

# Offenporöser metallischer Schwamm



# Die Alternative - Metallische Faserstrukturen



Copper

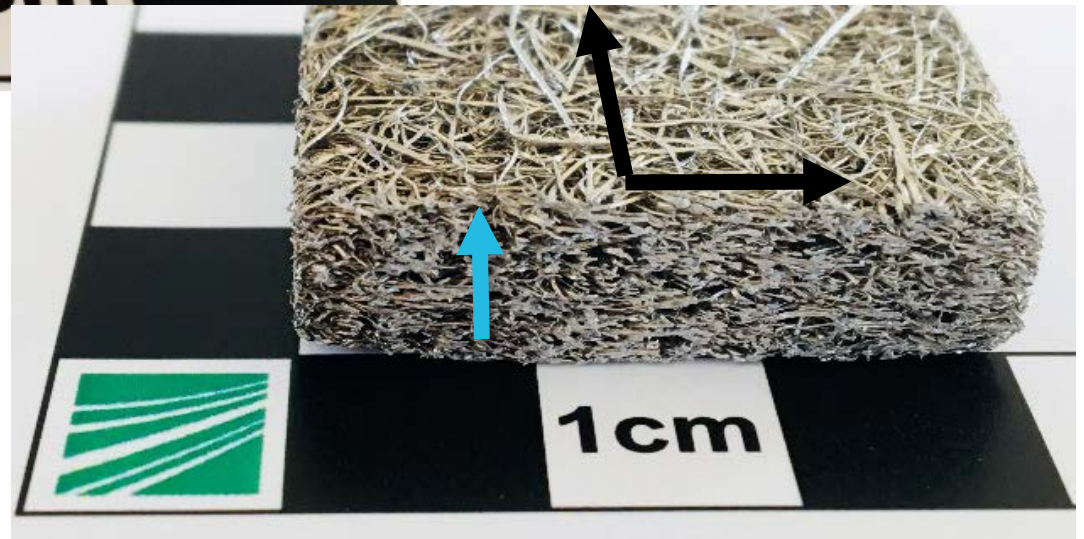
$$\lambda = 15.6 \text{ W/(m K)}$$

$$\lambda = 0.6 \text{ W/(m K)}$$

Aluminum

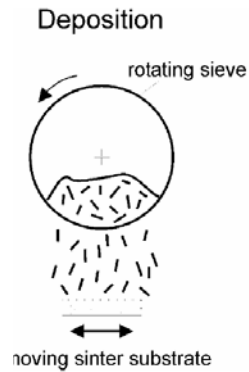
$$\lambda = 8.7 \text{ W/(m K)}$$

$$\lambda = 1.2 \text{ W/(m K)}$$



# Herstellung von Faserstrukturen

## Short metal fiber

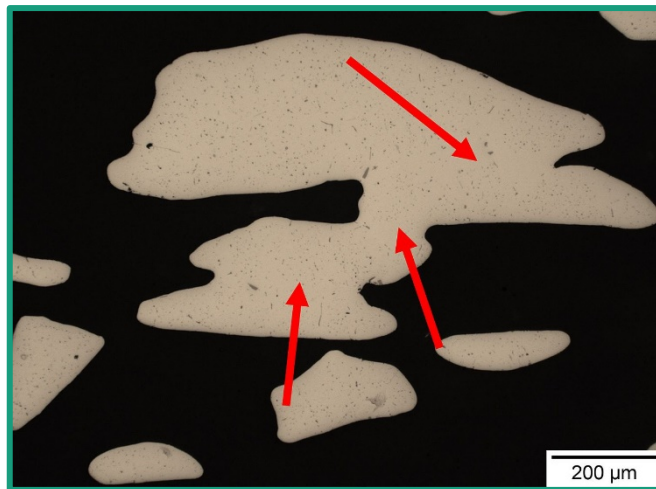
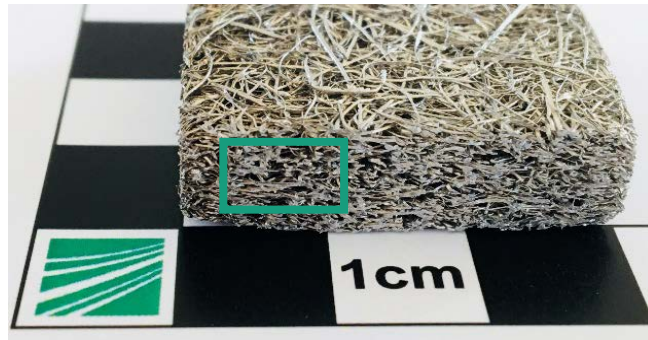


## Endless metal fiber

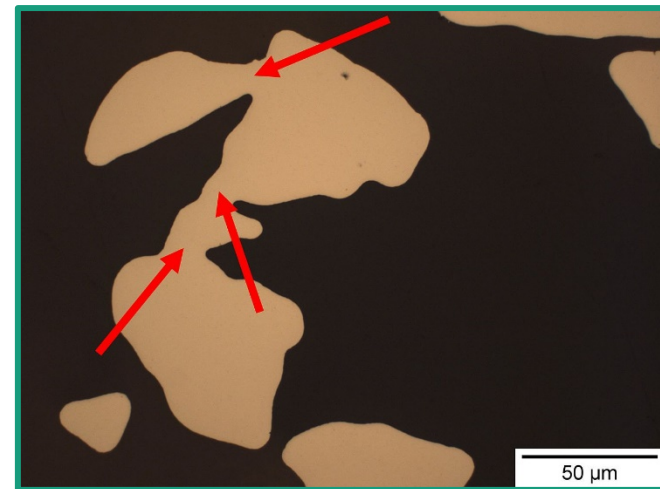
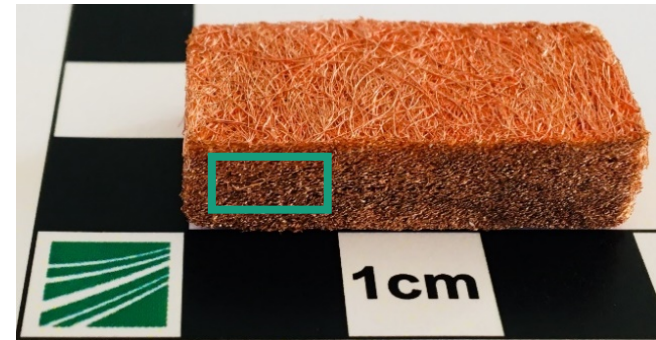


# Consolidation of single fibers

## Liquid-Phase Sintering

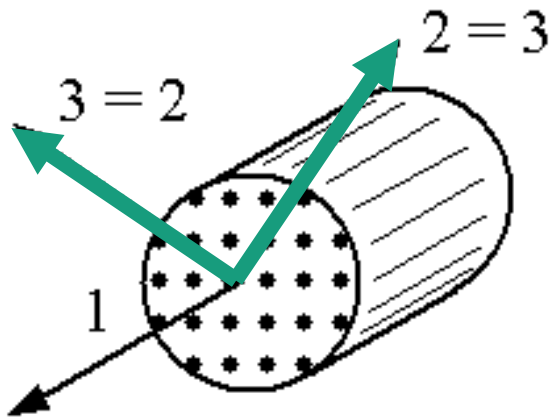


## Sintering

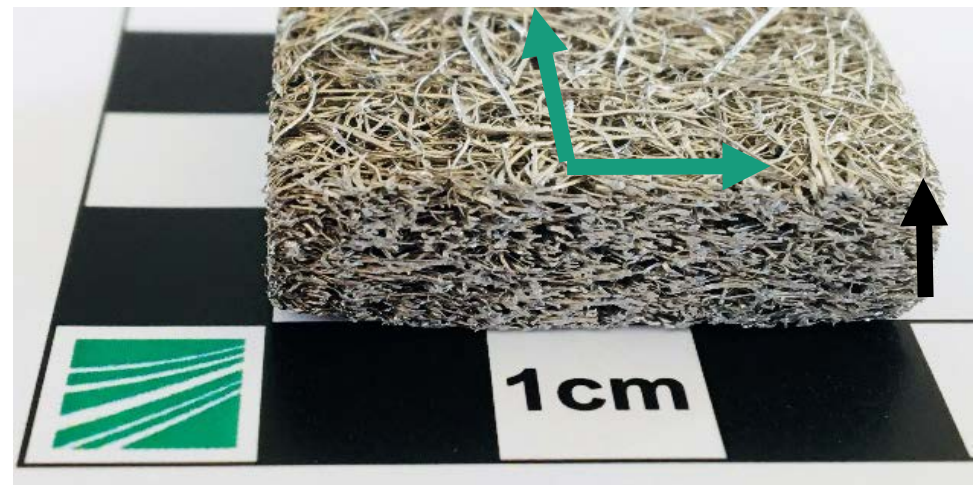
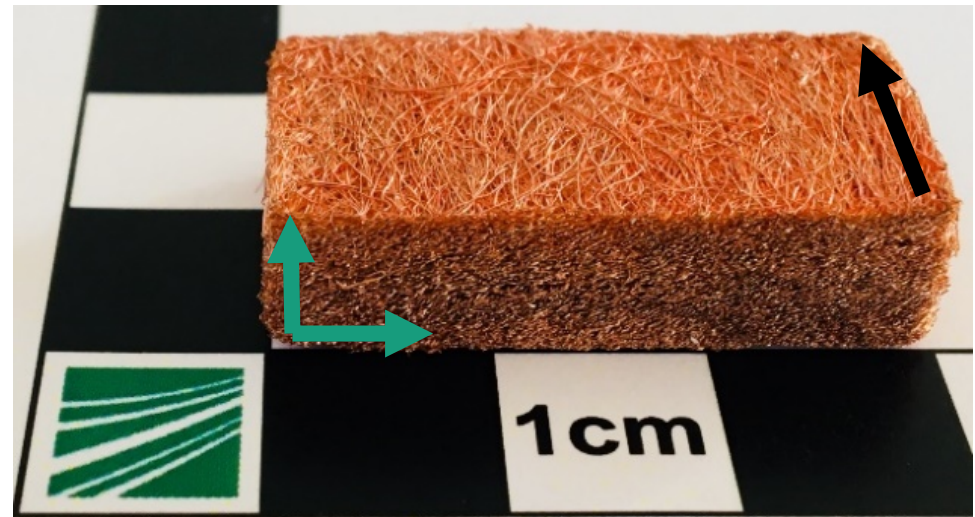


# Anisotropy of fiber structures

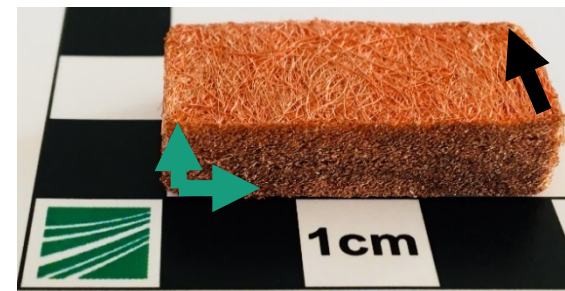
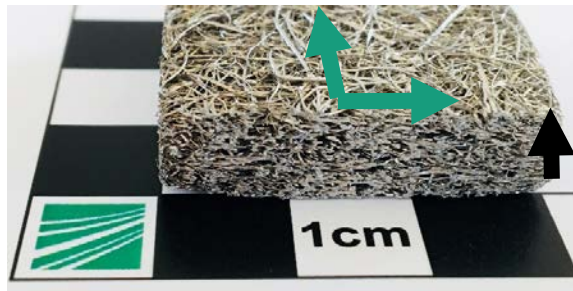
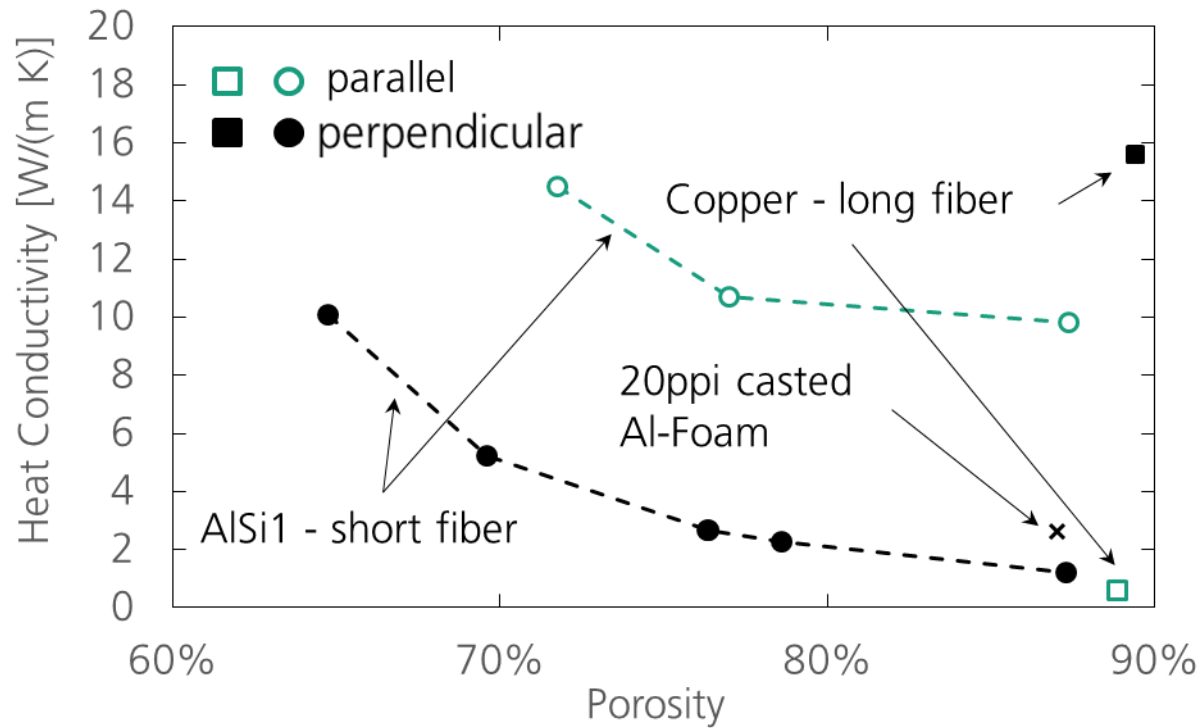
Transversal isotropy



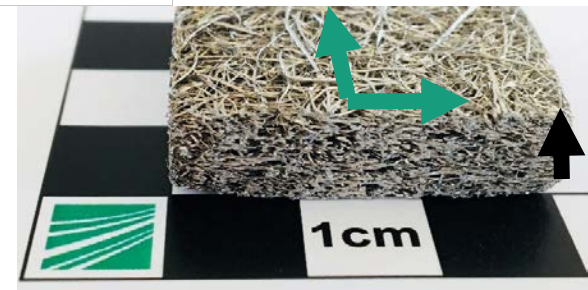
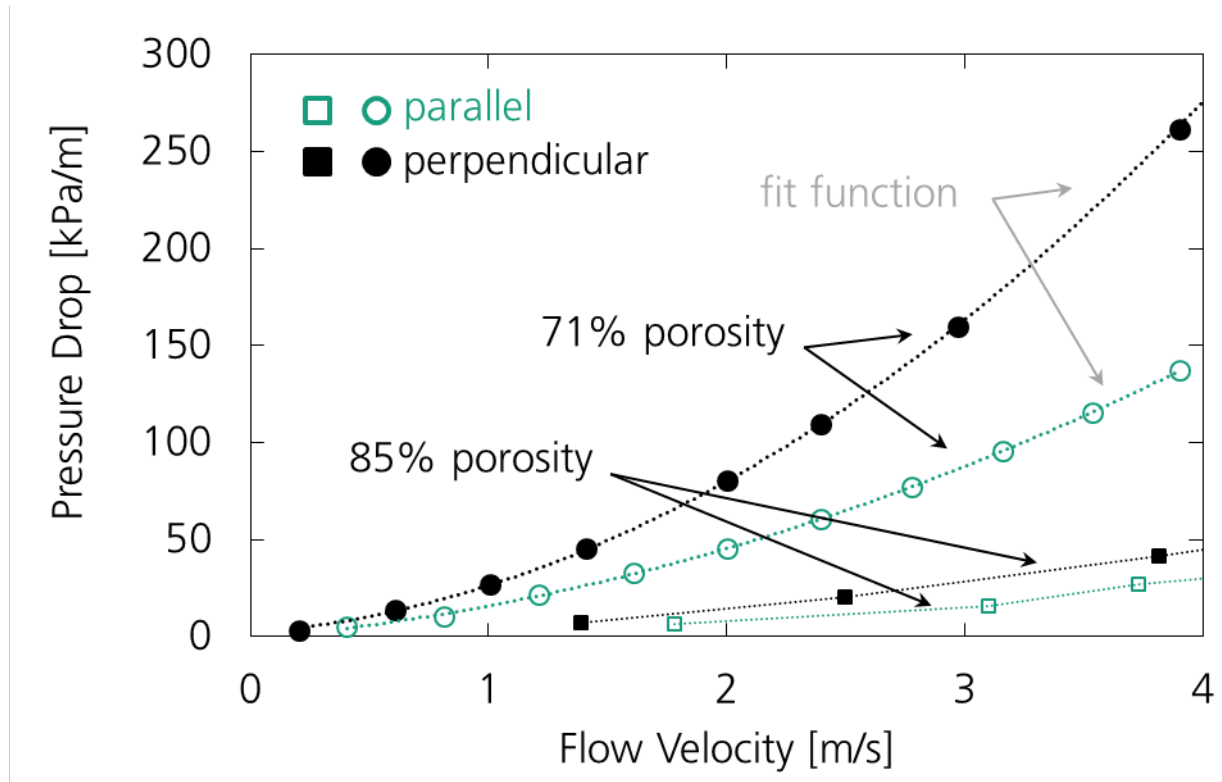
Rotational isotropy  
around the normal  
vector of plane (direction  
2 and 3)



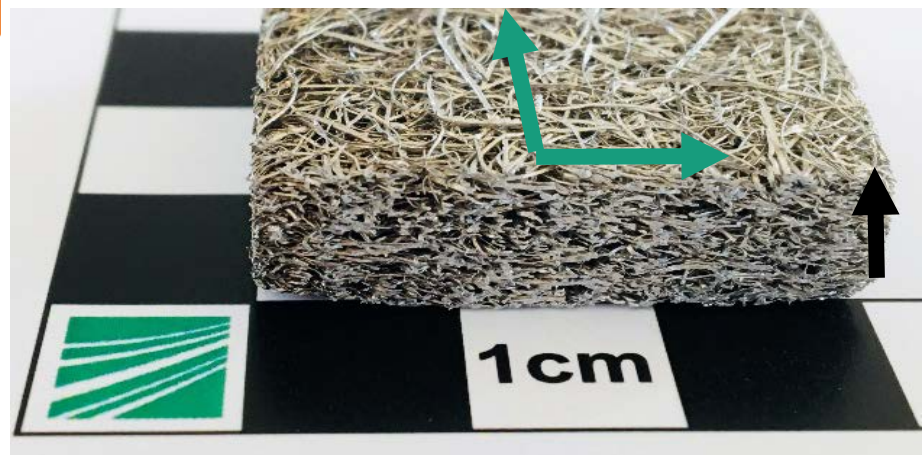
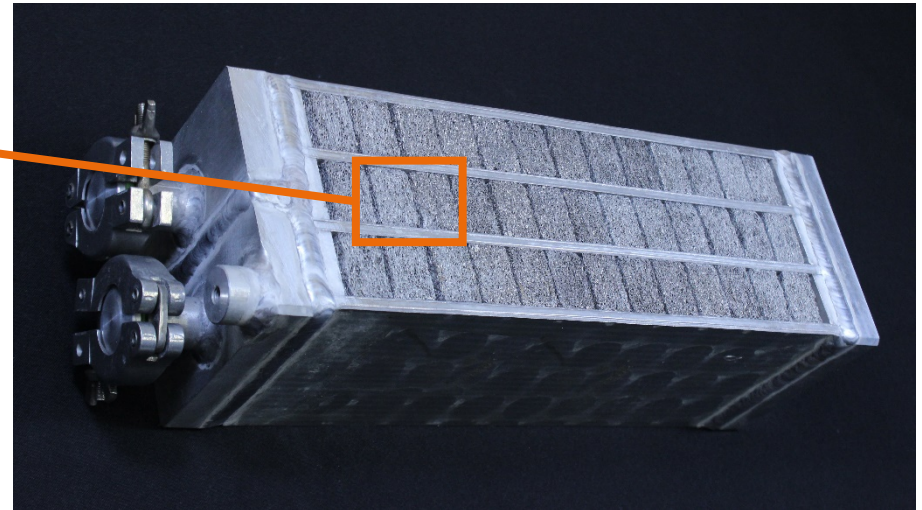
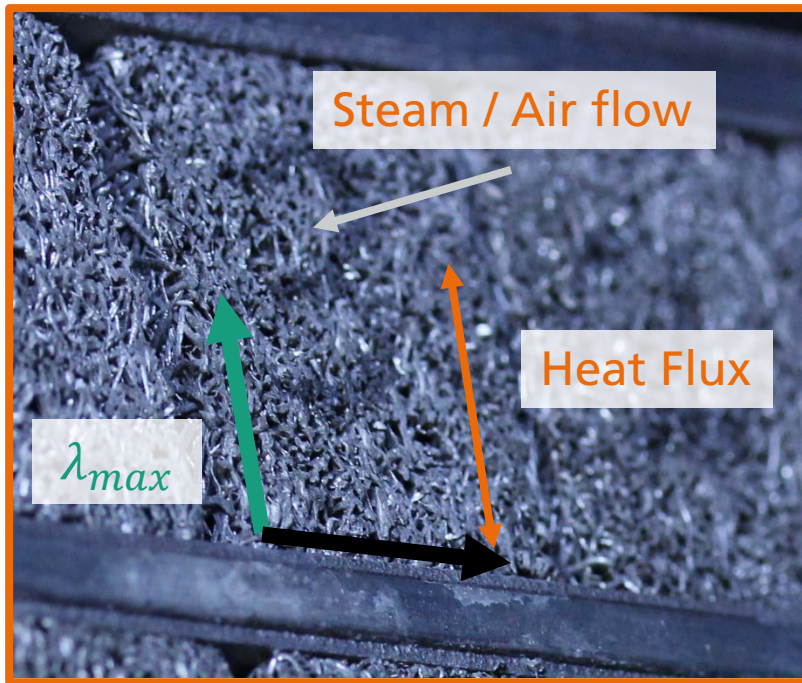
# Heat Conductivity of Fiber Structures



# Pressure Drop of Fiber Structures

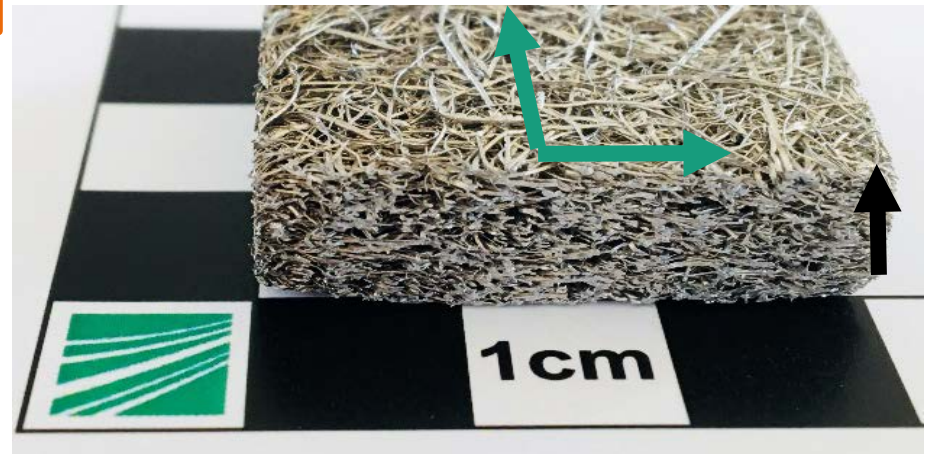
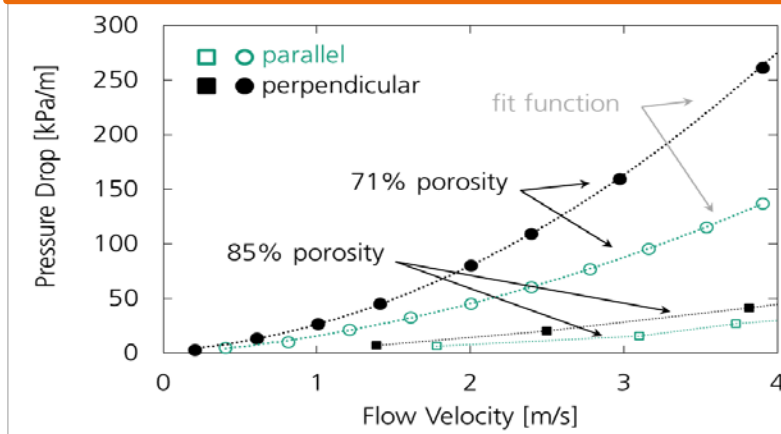
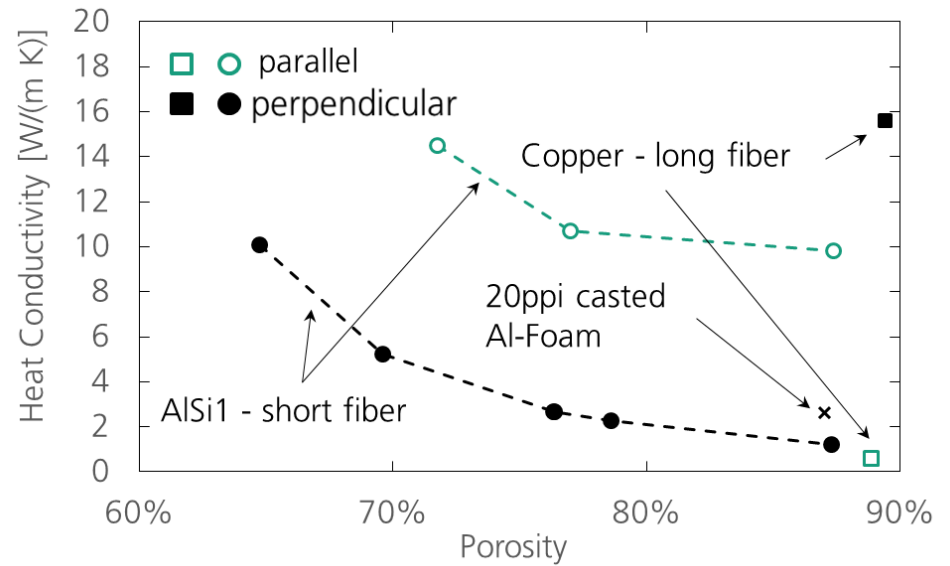
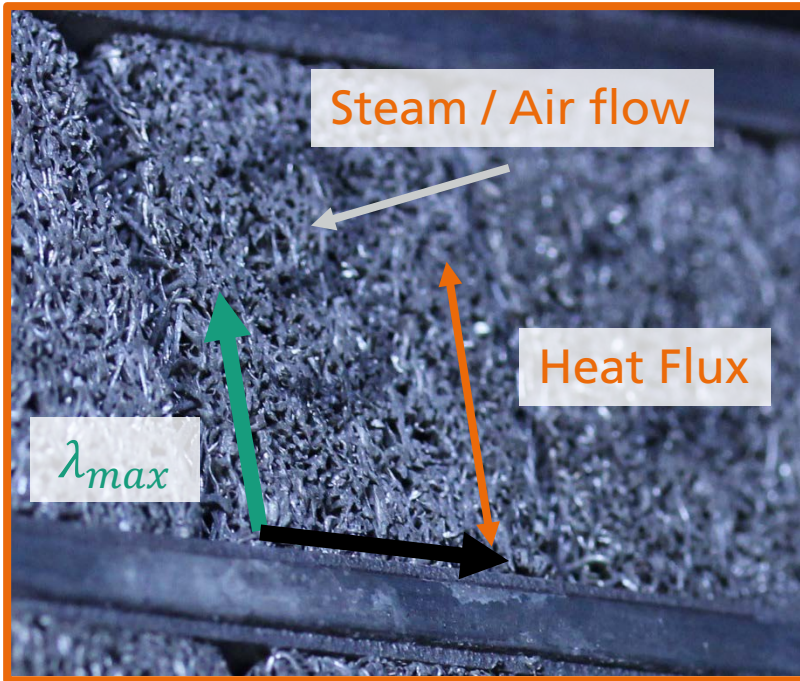


# Wärmeübertrager als Adsorber



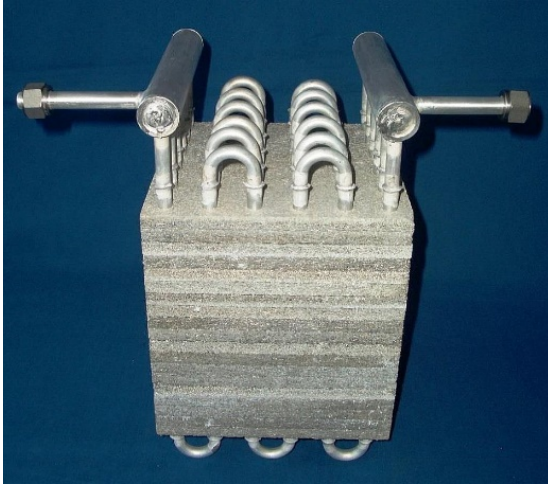
- Vergrößerung der inneren Oberfläche um Faktor 5
- Erhöhung der Zeolithmasse um min. 50%

# Ausrichtung von Faserstrukturen im Wärmeübertrager

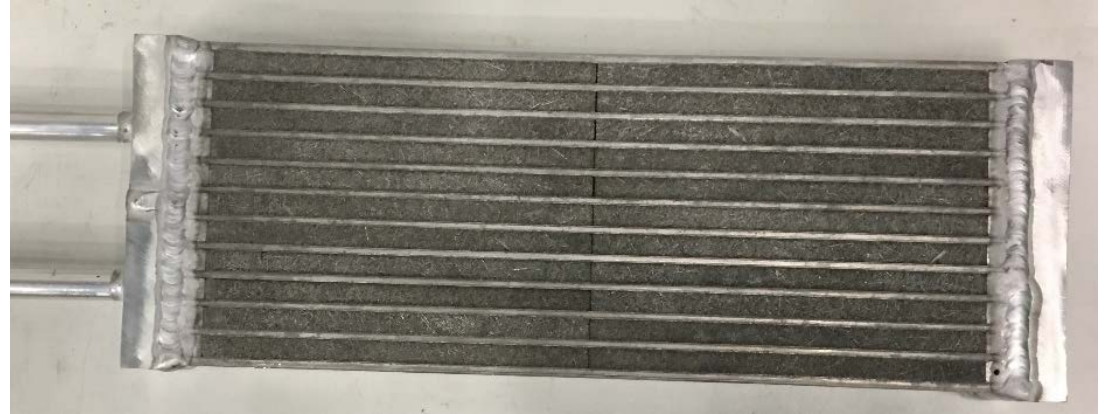


# Wärmeübertrager für verschiedene Anwendungen

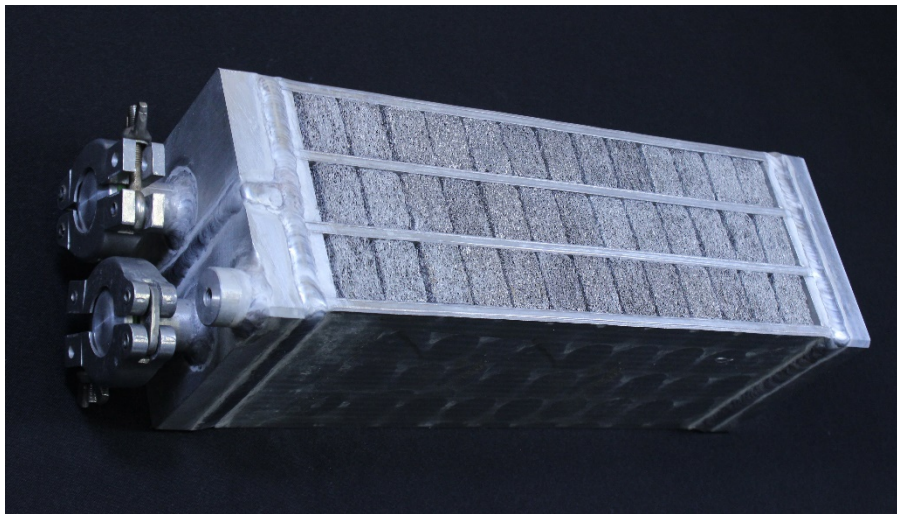
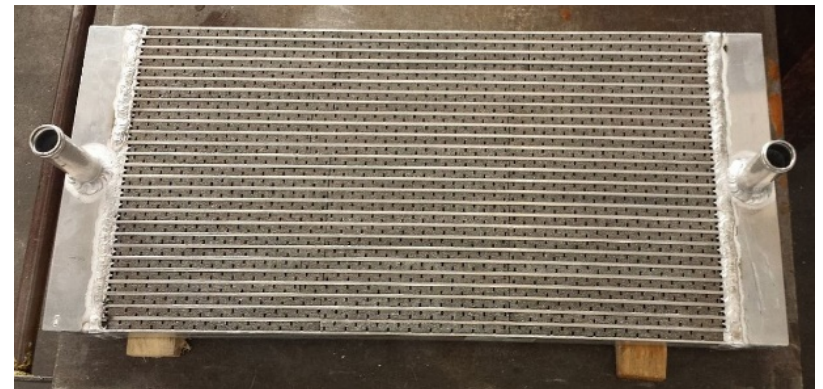
## Latentwärmespeicher



## Verdampfer



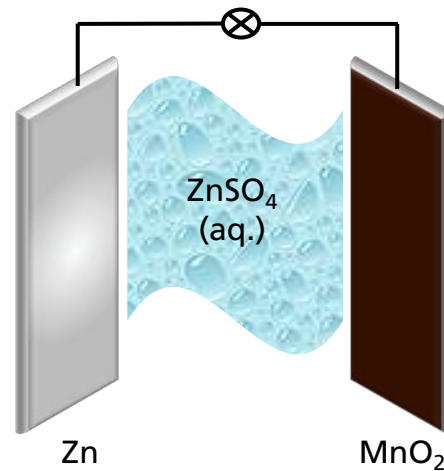
## Adsorber/Desorber



# Zink-Ionen-Batterien

## Umweltfreundliche Batteriezellen für stationäre Energiespeicher

- Umweltfreundliche, hochverfügbare & kostengünstige Materialien
- Inhärent sicher sowie schneller Ionentransport durch wässrigen Elektrolyten
- Hohe spez. Kapazität der Anode  $c_{\text{Zn}} = 819 \text{ mAh/g}$  und Kathode  $c_{\text{MnO}_2} = 200 \text{ mAh/g}$
- Keine Reinraumatmosfera bei Produktion notwendig



Schema einer Zink-Ionen-Batteriezelle



Demonstrator eines Batteriestacks auf Basis der Zink-Ionen-Technologie

# Zink-Ionen-Batteriezellen

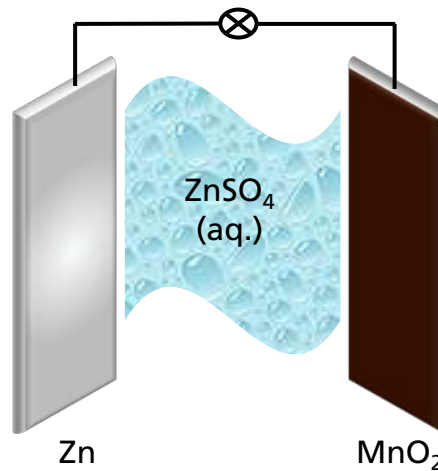
## Entwicklungstechnische Herausforderungen

### ■ Zink-Anode

- Veränderlicher Ladungsquerschnitt während des Entladens



- Dendritenwachstum während des Ladens



### ■ Manganoxid-Kathode

- Langsame Feststoffdiffusion  $D_s = 10^{-18} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  \*
- Niedrige Leitfähigkeit des Aktivmaterials  $\sim 10 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$  \*\*
- Durchtrittswiderstand stark von der Partikelgröße bzw. Elektrodenoberfläche abhängig \*\*\*
- Angepasste Fertigungstechnik und Substrate notwendig

\* Lee et al. (2015) *Chemical communications (Cambridge, England)* 51, 9265–9268, doi:10.1039/C5CC02585K.

\*\* E. Preisler (1976) *Journal of Applied Electrochemistry* (6), S. 311–320.

\*\*\* Bischoff et al. (2018) *MDPI Batteries* 4 (3), S. 44. DOI: 10.3390/batteries4030044.

# Zink-Ionen-Batteriezellen

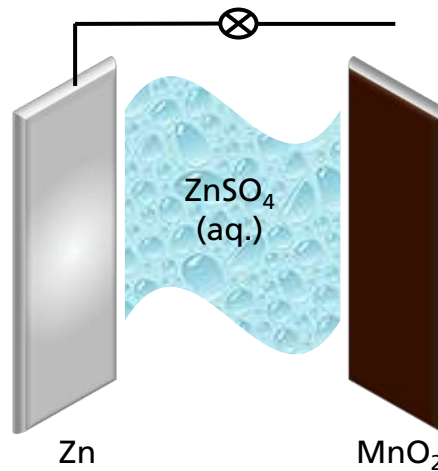
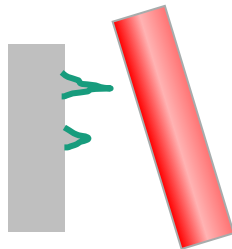
## Entwicklungstechnische Herausforderungen

### ■ Zink-Anode

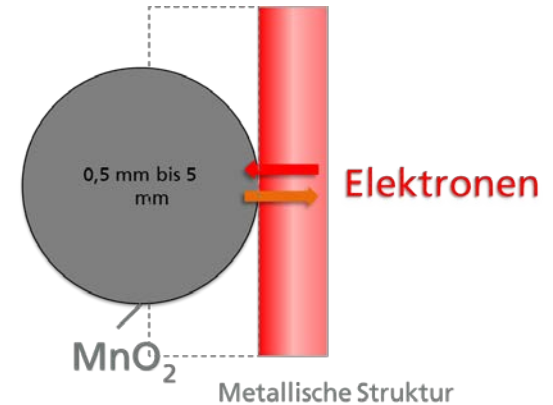
- Veränderlicher Ladungsquerschnitt während des Entladens



- Dendritenwachstum während des Ladens



### ■ Manganoxid-Kathode



\* Lee et al. (2015) *Chemical communications (Cambridge, England)* 51, 9265–9268, doi:10.1039/C5CC02585K.

\*\* E. Preisler (1976) *Journal of Applied Electrochemistry* (6), S. 311–320.

\*\*\* Bischoff et al. (2018) *MDPI Batteries* 4 (3), S. 44. DOI: 10.3390/batteries4030044.

# Faserherstellung direkt aus der Schmelze



## Extraktion aus der Schmelze

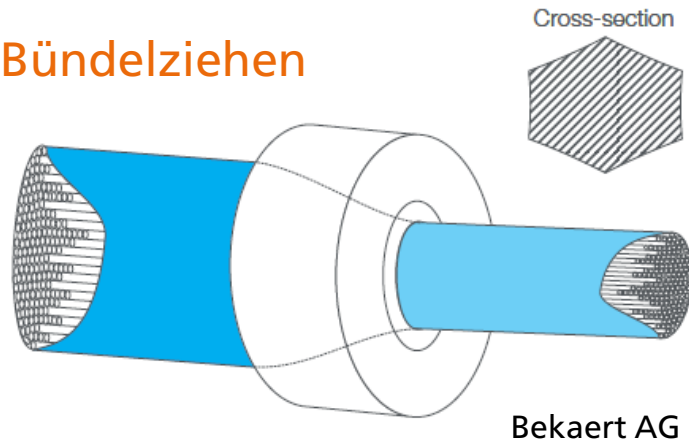
- relativ freie Legierungswahl
- Faserdurchmesser 50  $\mu\text{m}$  bis 250  $\mu\text{m}$
- Faserlänge wenige mm bis cm

## Meltspinning

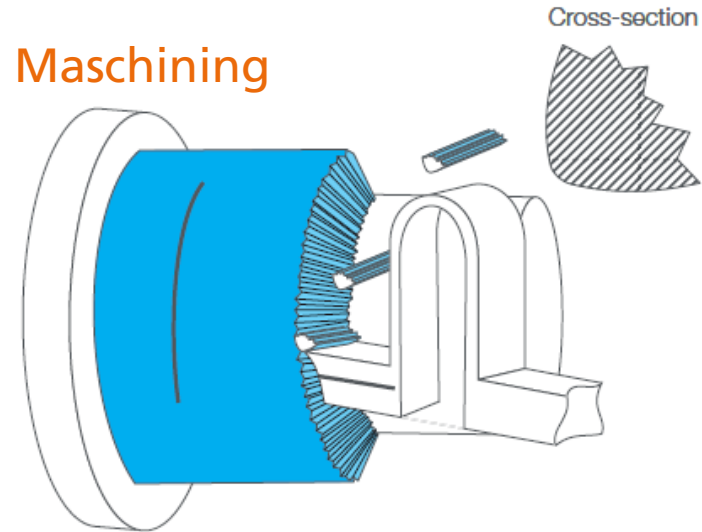
- relativ freie Legierungswahl
- Faserdurchmesser 1  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$

# Komplementäre Herstellungsverfahren

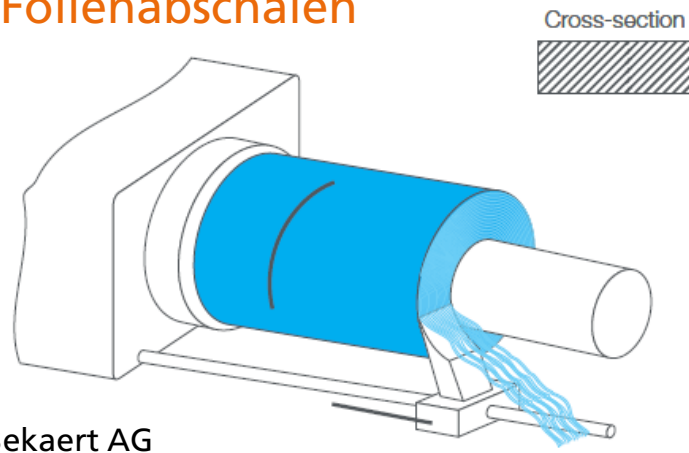
## Bündelziehen



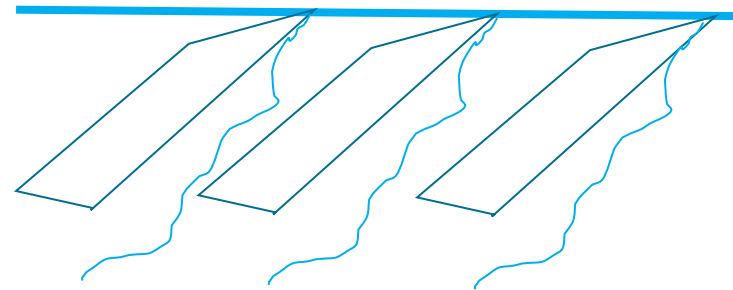
## Maschining



## Folienabschälen

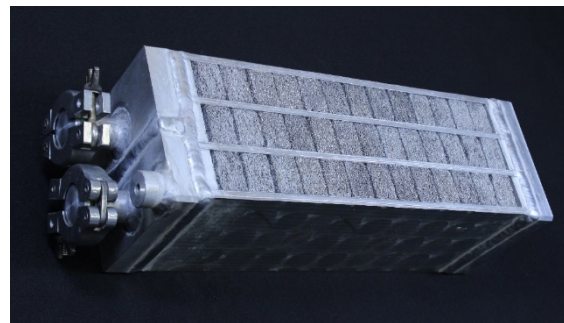


## Strehlen



# Zusammenfassung

- metallische Faserstrukturen zeigen eine starke transversale Isotropie (Faktor  $>3$  bei der Wärmeleitfähigkeit)
- die Anisotropie kann durch die Ausrichtung der Fasern verändert werden
- je nach Art der Sinterung kann die Ausprägung der Anisotropie
- Kostenoptimierung der Faserstrukturherstellung für Adsorptionswärmepumpen erfolgt aktuell im Projekt AdoSan-LXB (BMW, 03ET1554A)
- weitere Energietechnische Anwendungen wie z.B. Batterien und Latenwärmespeicher profitieren von den anisotropen Eigenschaften der Faserstruktur



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages