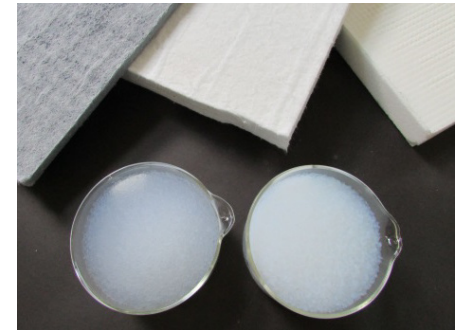


Entwicklung Hochleistungsdämmstoffe: Aerogel und Vakuumdämmung

Dr. Samuel Brunner

techn. Fachspezialist der
Empa, Abt. Materialien und
Komponenten
für energieeffiziente Gebäude

Energieapero Chur
20. Feb. 2019

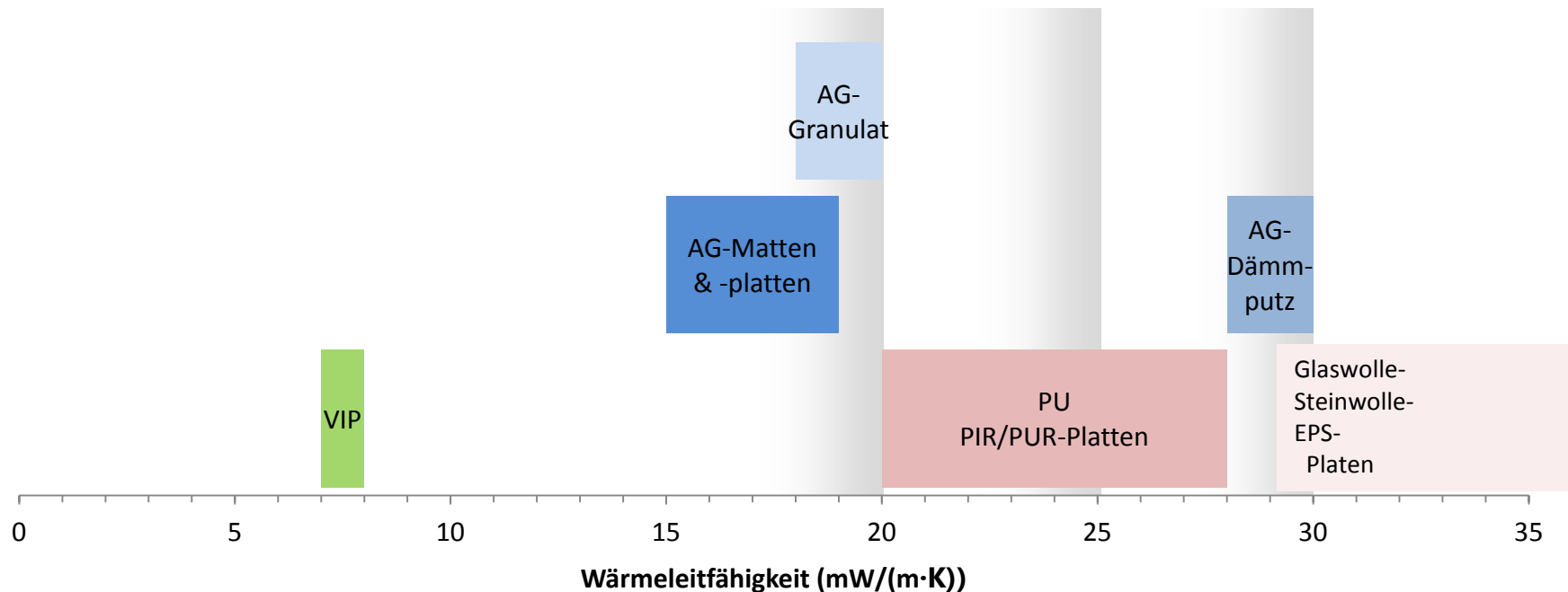


Hohlstrasse Zürich, Schwarz Architekten
Verdichtets Bauen <https://www.dropbox.com/s/...>
2018-Watt D'Or <https://www.baublatt.ch/pr...>

- Hochleistungsdämmstoffe
- Wärmetransport
- Materialstruktur von PUR, VIP und Aerogel
- Eigenschaften von PUR, VIP und Aerogel
- Herstellung von Aerogel
- Forschung an der Empa

Verschiedene Definitionen HLWD – oberer Grenzwert für die Wärmeleitfähigkeit bei:

- 25 mW/(m·K) → besser als stehende Luft
- 30 mW/(m·K) → energie-cluster
- 20 mW/(m·K)



4 Mechanismen

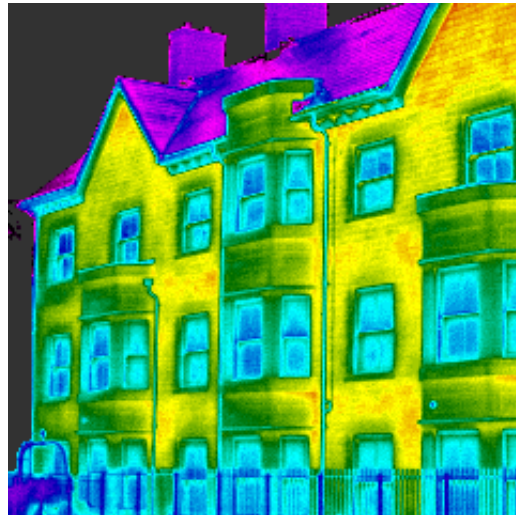
Wärmeleitung

- 1) im Gas
- 2) im Festkörper



Stoss-Übertragung
von Molekül zu
Molekül

3) Wärmestrahlung



elektromagnetische
Wellen

4) Konvektion

- im Gas
- in Flüssigkeiten



via Massetransport

Dämmstoffe: Reduktion der Wärmeübertragung

Wärmeleitung
im Gas



Schwerer Gase,
kleinere Poren
oder Evakuieren



Wärmeleitung
im Festkörper



Reduktion der
Masse / Dichte



**Wärme-
strahlung**



Erhöhung der
Opazität



Konvektion

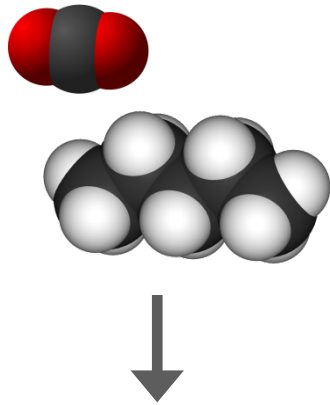


Dichtheit,
Reduktion der
Porengrösse

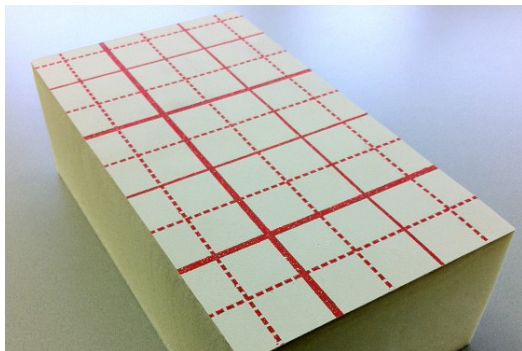


Beispiele für reduzierte Gasleitung

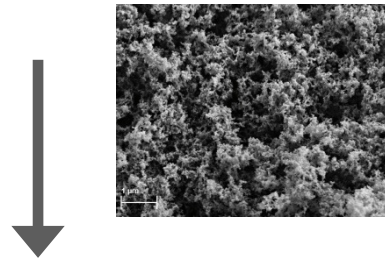
Schwere Füllgase



Polyurethan-Platte



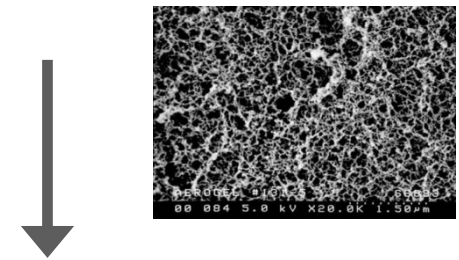
Evakuieren und Poren
im Nanometerbereich



Vakuum-Isolations-
panel (VIP)



Poren im
Nanometerbereich



Silikat-Aerogel



Polyurethane (PUR)

- makroskopische Poren (geschlossen)
- organisches Material (Kunstharz)
- Füllgas (z.B. Pentan)
- Kaschierung gegen Ausgasung



- $20 \leq \lambda_{\text{decl_sia}} \leq 28$ (in mW/(m·K))
- Alterung (durch Gasverlust)
- normal entflammbar
(Brandklasse E bzw. 5.3)
- diffusionsdicht

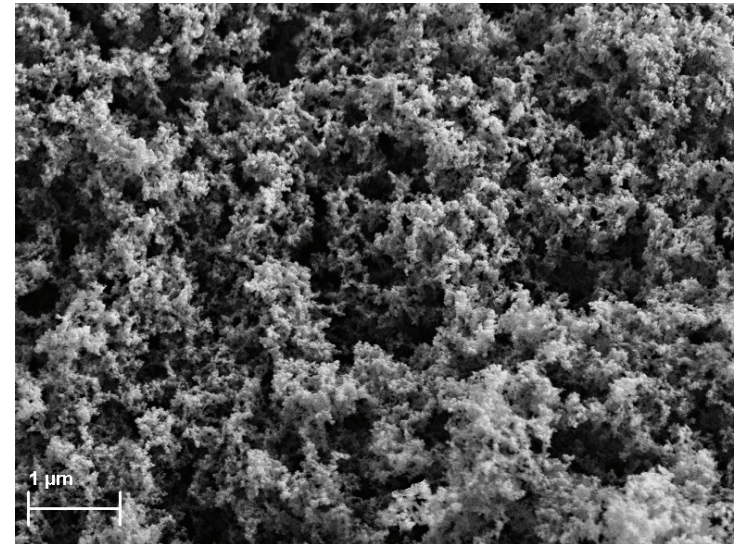
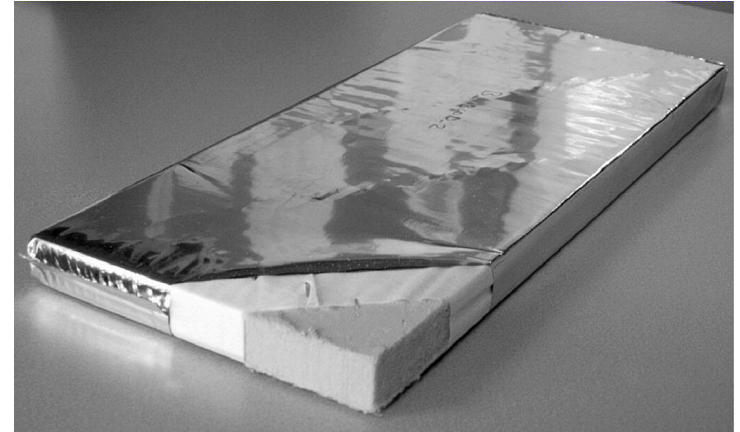


Vakuumisolationspanel (VIP)

- Kern aus pyrogener Kieselsäure
- metallisierte Plastikhülle
- Poren im Nanometerbereich (offen)
- keine Hydrophobierung



- $7 \leq \lambda \leq 8$ (in mW/(m·K), Sia-Wert)
- Alterung (durch Gaseintritt ...
8 Jahres-Daten aus Anwendung in [Forschungspaper](#)
10 Jahres-Daten aus Labor zum [Alterungsverhalten](#))
- Brandklasse B2 erhältlich
- diffusionsdicht

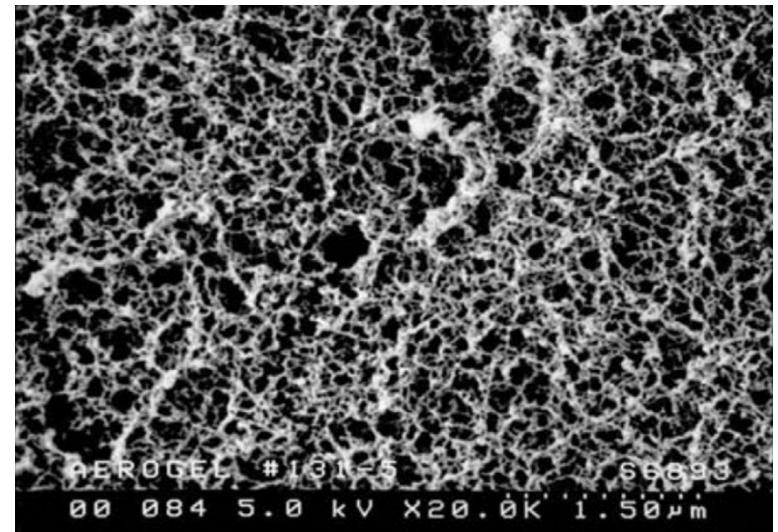


(Silikat-)Aerogel

- Poren im Nanometerbereich
- offene, luftgefüllte Poren
- Skelettstruktur aus Silikat (SiO_2)
- Hydrophobierung
(wasserabweisende Oberfläche)



- $15 \leq \lambda \leq 20$ (in $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$)
- diffusionsoffen
- nichtbrennbare Produkte möglich
(Brandklasse A2)
- vernachlässigbare Alterung



Aerogel-Herstellung

Ausgangs-
stoff



Kolloid-
bildung



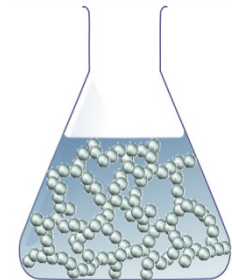
Sol



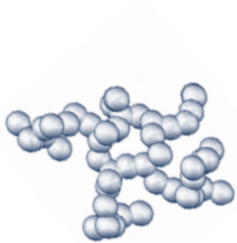
Gelierung
(Alterung)



Gel
(gealtert)



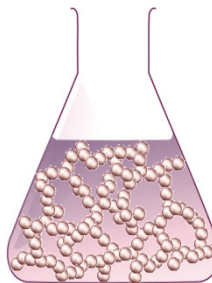
Aerogel



Trocknung



z.B. in supercr. CO₂

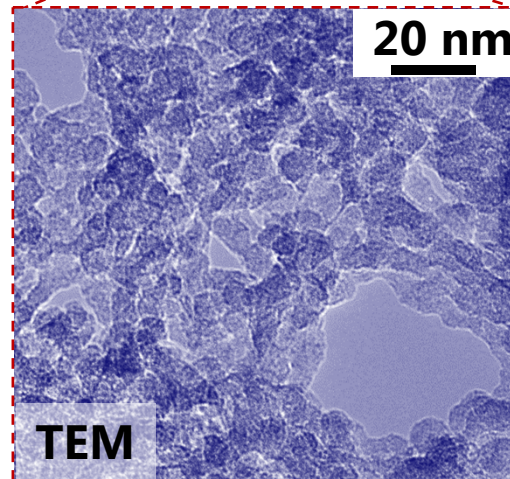
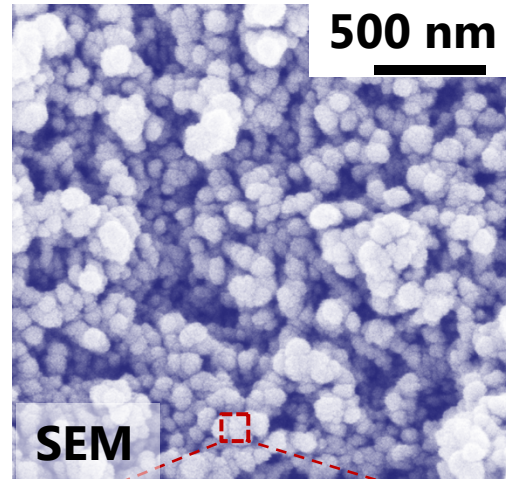


Lösungsmittel-
austausch &
Oberflächen-
modifikation



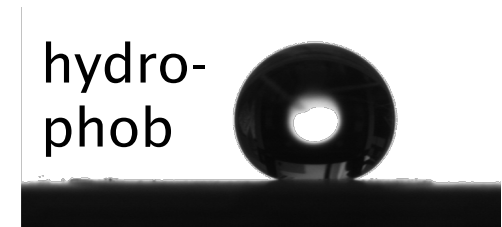
Hier traditionelle Produktions-Route, neue Route in [Huber2017 Angewandte Chemie](#)
Huber, L., Zhao, S., Malfait, W. J., Vares, S. & Koebel, M. M. **Fast and Minimal-Solvent Production of Superinsulating Silica Aerogel Granulate.**
Angew. Chemie Int. Ed. 56, 4753–4756 (2017). <http://dx.doi.org/10.1002/anie.201700836>

Aerogele - monolithisch



Monolithe:

- Herstellung aufwändig
- zerbrechlich
- nicht als Dämmstoffe einsetzbar

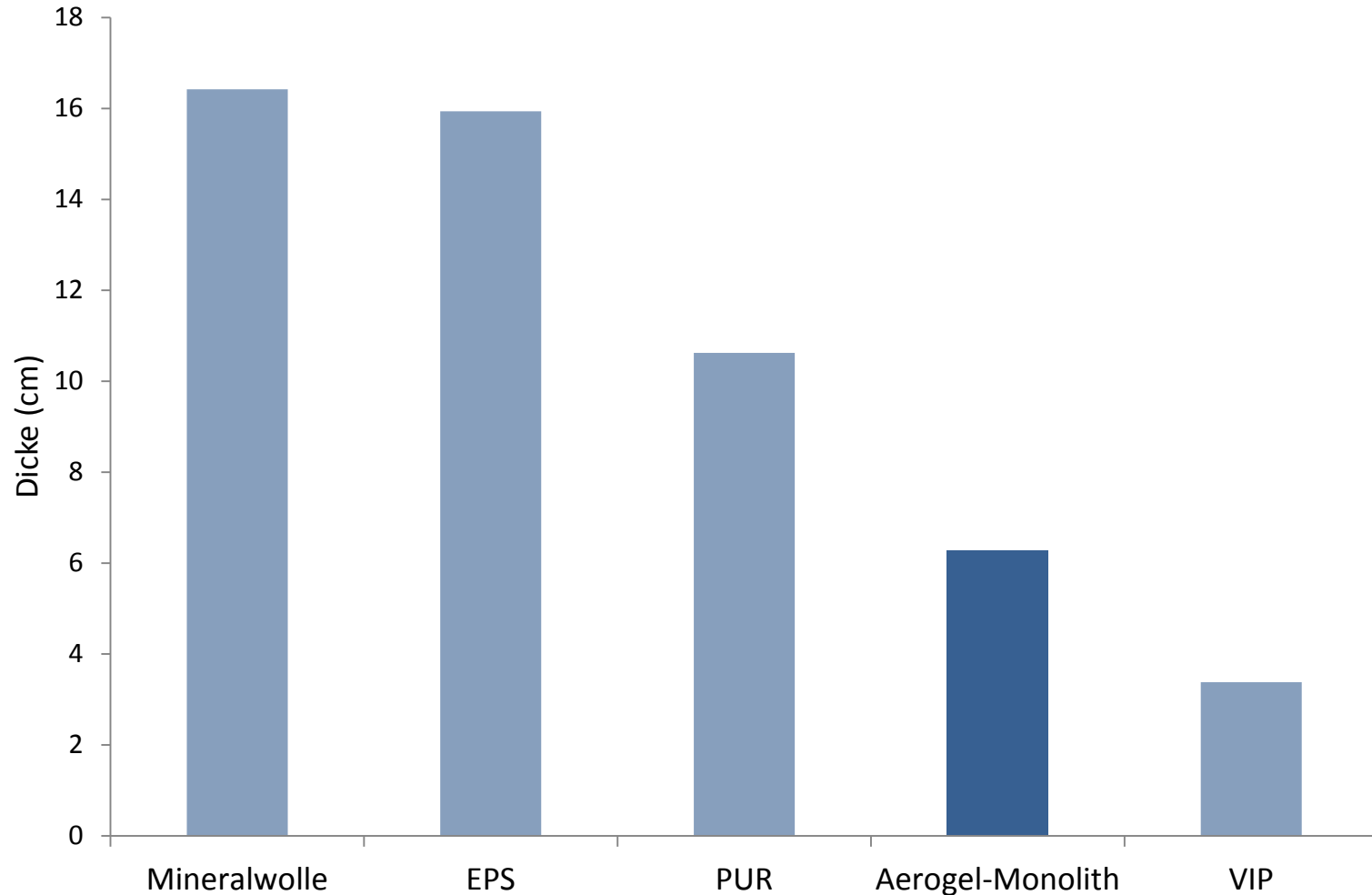


$$\lambda = 12 - 14 \frac{\text{mW}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$



Aerogele - monolithisch

Dicke für $U = 0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$



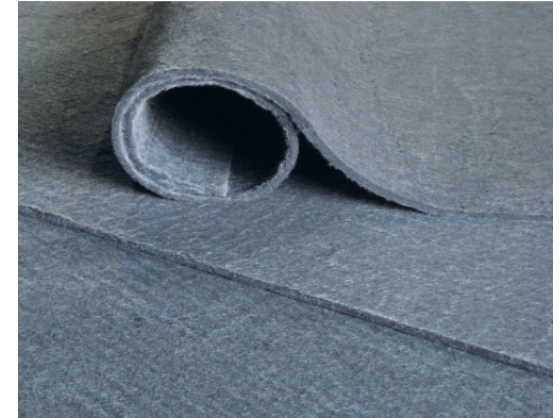
Aerogel-Dämmstoffe



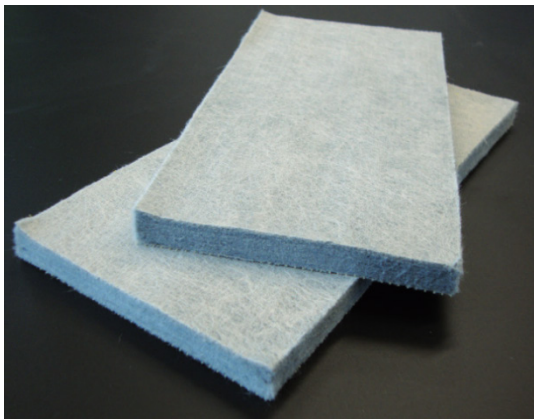
Monolithisches Aerogel



Aerogel-Granulat



Aerogel-Rollen



Aerogel-Platten



Aerogel-Dämmputz



Transluzente Elemente

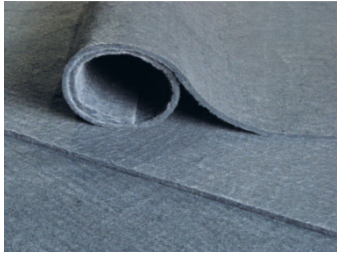
Granulat



$\lambda \approx 19 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Hohlräume & Komposite

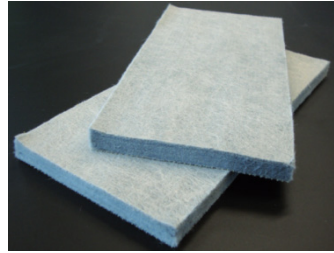
Matten



$\lambda \approx 15 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Aussen- & Innendämmung, Details

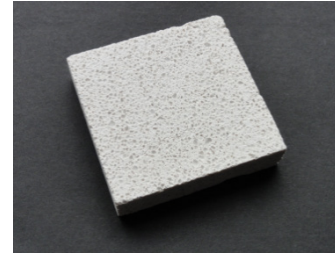
Platten



$\lambda \approx 17 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$

WDVS & Innendämmung

Dämmputz



$\lambda \approx 28 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Aussen- & Innendämmung

Transl. Elemente



$\lambda \approx 20 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Oblichter, Wände



EFH Biel

Ausdämmung
Zweischalen-
mauerwerk



Müli Oberhallau

verputzte
Aussenwärme-
dämmung



Schaffhausen

Aussenwärme-
dämmung
(WDVS)



Mühle Sissach

Dämmputz
aussen



Buchwiesen

Oblichter/Wand

Für SIA Deklarationswerte siehe "Baustoffkennwerte" auf <http://www.sia.ch/de/dienstleistungen/sia-norm/>

Aktivitäten zu Aerogelen

- Forschung & Entwicklung
- Charakterisierung
- neue Materialien
- neue Anwendungen
- Kommunikation

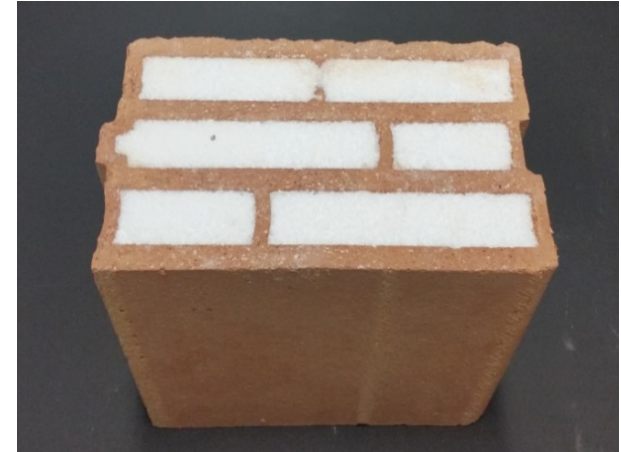
Baubereich

- Herstellung von Aerogel-Granulat (niedrigere Kosten)
- vom Granulat zur Anwendung (z.B. Platten)



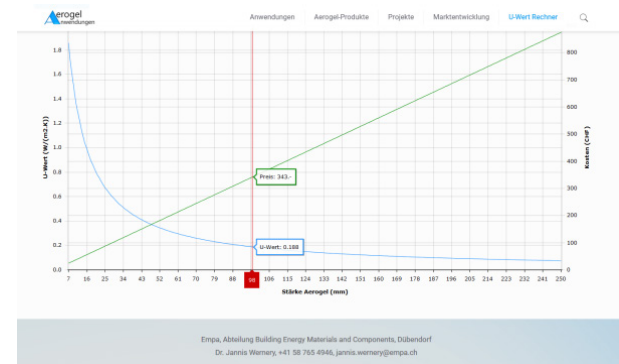
Aerobrick

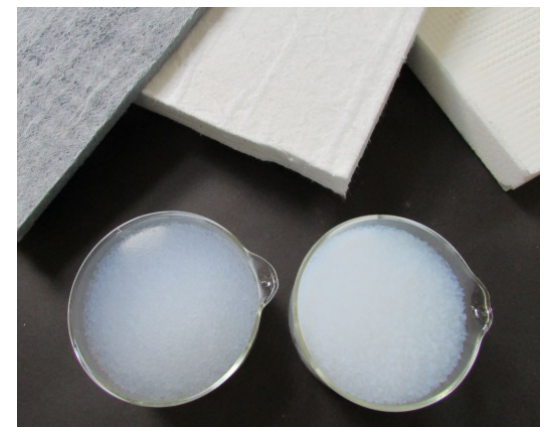
- Hochleistungsdämmziegel
- Adaption eines Perlit-gefüllten Ziegels
- Füllung basierend auf Aerogel-Granulat
- (noch) hohe Kosten
- **59 mW/(m·K)** - tiefste dokumentierte Wärmeleitfähigkeit eines Dämmziegels



Fachinformation zu Aerogelen

- www.aerogelanwendungen.ch
- Produkte in der Schweiz
- Anwendungen (realisierte Objekte)
- Rechenhilfen





Dr. Jannis Wernery, jannis.wernery@empa.ch +41 58 765 4946
oder Samuel Brunner, samuel.brunner@empa.ch +41 58 765 4768
www.empa.ch/abt312 und www.aerogelanwendungen.ch

