

Hochleistungsdämmstoffe: VIP und Aerogel basierte Produkte

Samuel Brunner
Empa,
Abt. Materialien und Komponenten
für energieeffiziente Gebäude



Materials Science & Technology

Lichtdurchlässige
Elemente mit
Aerogel-Granulat

Turnhalle Buchwiesen
von 2002



Vakuumisolations-
paneele (VIP)
-> Alterungsverhalten
untersucht seit 2003

Bildquelle: www.vacuseed.ch/referenz
Foto SunnyWatt von
kämpfen für architektur AG 2009



Aerogeldämmputz
mit hohem Anteil
Aerogel-Granulat

2012 Empa Innovationspreis
2014 Schweizer Umweltpreis

Aerogelmatten
z.B. an Fassaden

Bild Objekt
Fichtenstrasse

->
Vorredner
Beat Kämpfen
- an Erkern,
Rollladenkästen,

...



Hochleistungsdämmstoffe: VIP und Aerogel basierte Produkte

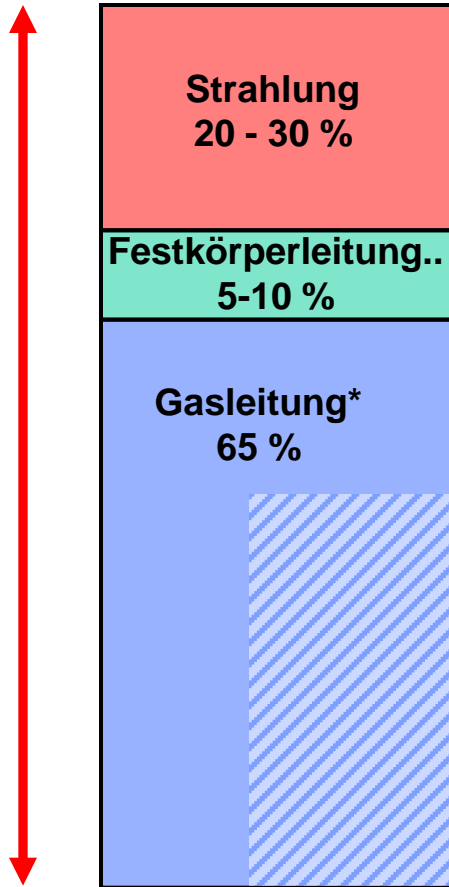
Vortragsstruktur

- Aerogel – besser dämmen als Luft
-> Aerogeldämmputz FIXIT 222
- Vakuumisolationpaneelen (VIP) - 1 Jahrzehnt Erfahrung
- Internationaler Überblick
- Aerogel – ein neues Material?
- Zusammenfassung



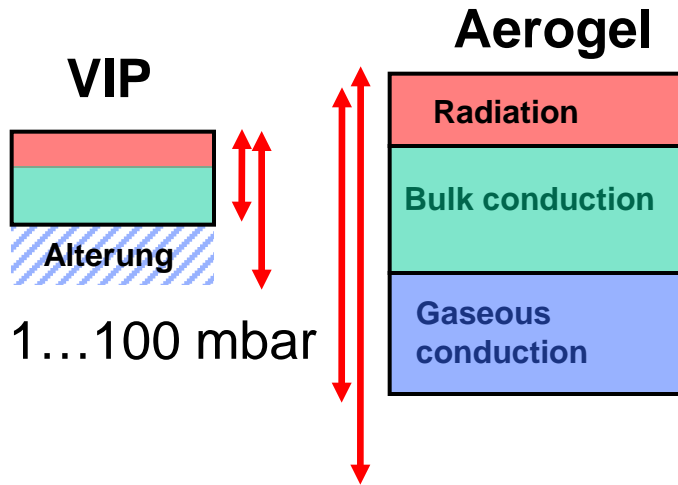
Konventionelle Dämmstoffe

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 30$ bis 35 mW/m K

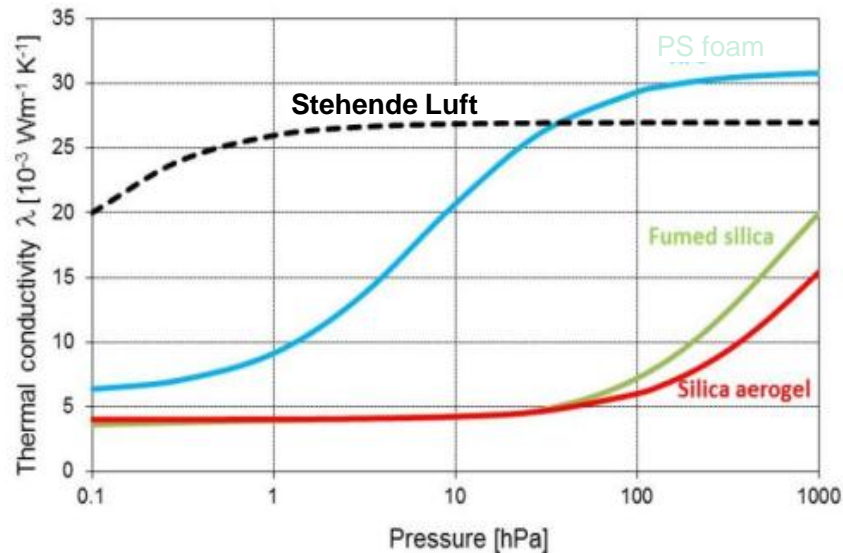


* Gasleitung inklusive Kopplungseffekte
Option: in geschlossenen Zellen auch mit speziellen Gasen...
Kaschierungen zur Reduktion des Ausgasens
(schon lange kein FCKW mehr)

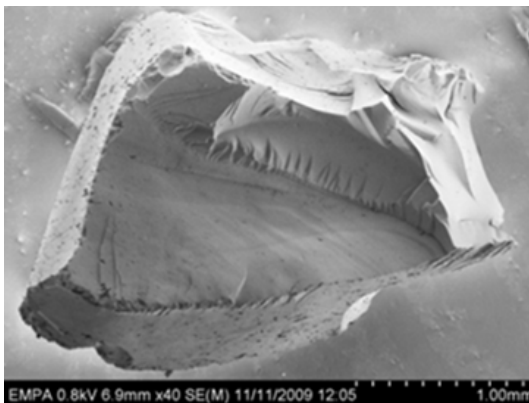
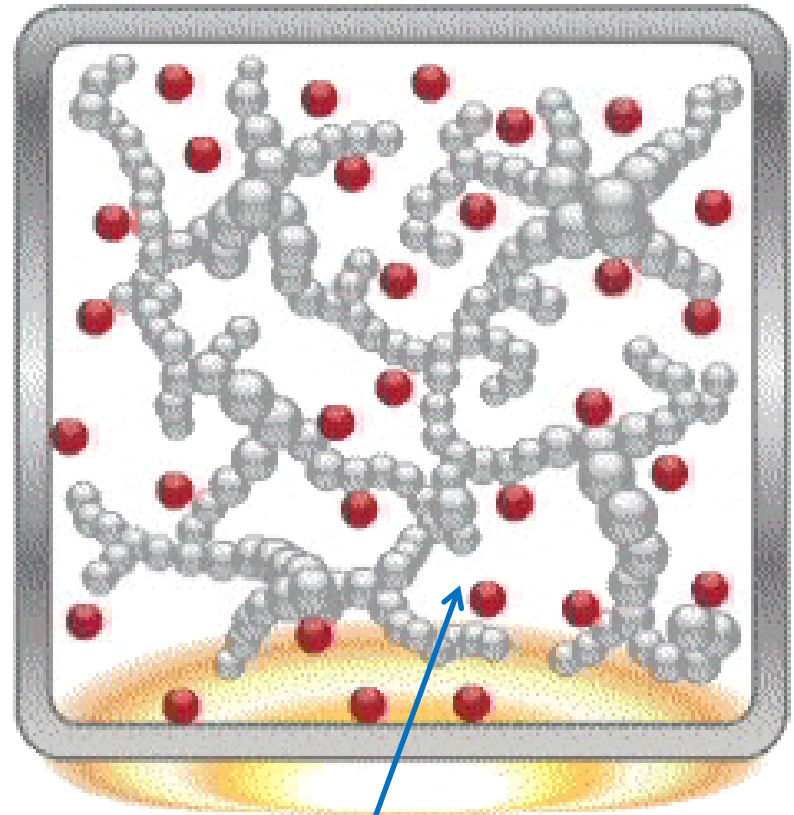
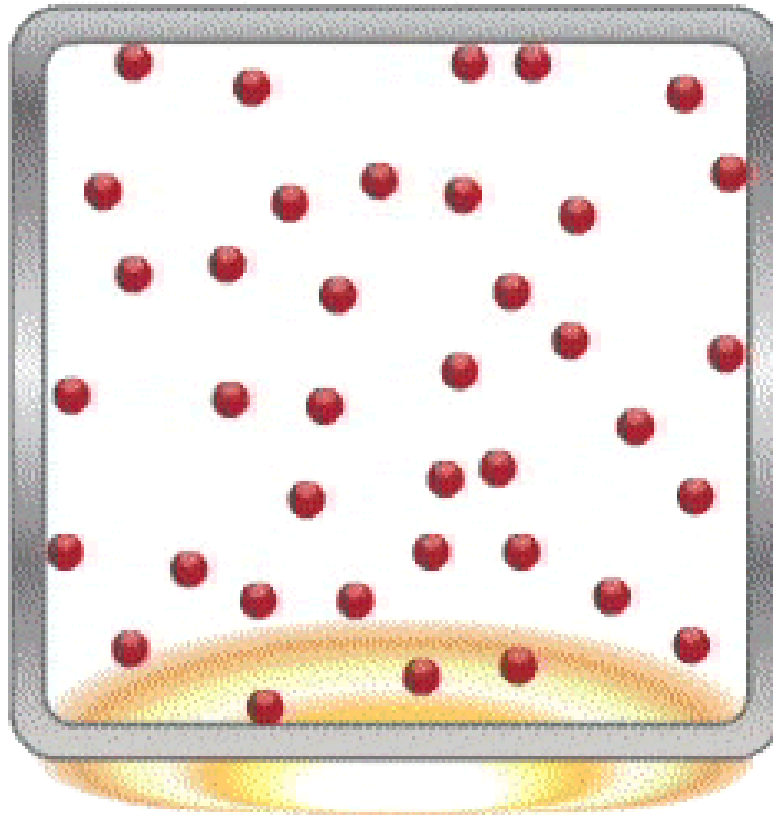
Hochleistungsdämmstoffe



SiO₂ Aerogel
12 - 20 mW/m K
bei Umgebungs-
bedingung



Skizze des Wirkungsprinzips



Aerogel-Granulat

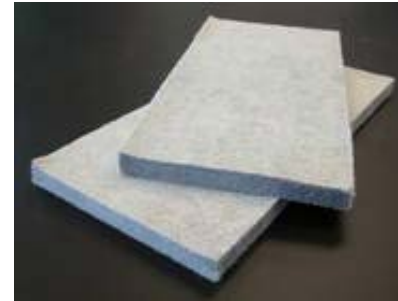
Nanoporen um 10 nm
 $1 \text{ nm} = 0,000'000'001 \text{ m}$

Aerogel basierte Produkte bei der Aussendämmung

Aerogel Dämmputz \rightarrow ca. 28 mW/ m K



Aerogel Vlies \rightarrow ca. 14 - 18 mW / m K

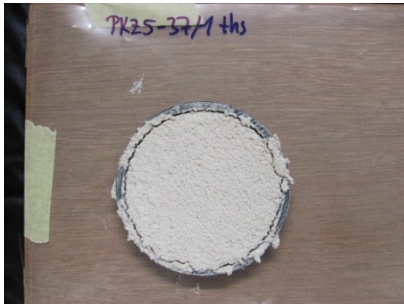


Vom Labor zur Praxis

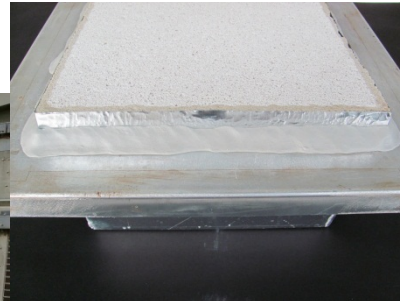
FIXIT

Wichtigste Ziele und Vorgaben des Projekts:

- Wärmeleitfähigkeit $\leq 30 \text{ mW} / (\text{m K})$
- 60 – 80 mm Auftragsdicke in einem Arbeitsgang
- Verarbeitung mit handelsüblichen Putzmaschinen
- Dampfdiffusionswiderstandszahl $\mu < 5$
- mineralisches Bindemittel, ohne Portlandzement
- im Innen- und Aussenbereich anwendbar



EMPA 
Materials Science & Technology



Die Entwicklung führte zum Fixit 222 Aerogel Hochleistungs­dämmputz



Testobjekt Kanton BL

Aerogeldämmputz aussen:
Fassade



vorher

Erhalt
der Optik
des Gebäudes



heute



Mit Aerogeldämmputz -> www.fixit.ch/aerogel -> Referenzobjekte

Referenzobjekte

Fixit Aerogel Hochleistungsdämmputz



Alte Mühle, Sissach
» [mehr Infos](#)



EFH, Ottenbach
» [mehr Infos](#)



MFH, Maschwanden
» [mehr Infos](#)



MFH, Zürich
» [mehr Infos](#)



MFH, Zürich
» [mehr Infos](#)



MFH, Dübendorf
» [mehr Infos](#)



EFH, Thalwil
» [mehr Infos](#)



MFH, Zürich
» [mehr Infos](#)



Wohn- und Geschäftshaus,
Thayngen
» [mehr Infos](#)



EFH, Rüti
» [mehr Infos](#)

- > www.fixit.ch/aerogel
- > [Presseberichte](#)
- > [TV-Bericht im SRF](#)

Bildquellen: <http://www.fixit.ch/aerogel/?w=referenzobjekte>



Hochleistungsdämmstoffe: VIP und Aerogel basierte Produkte

Vortragsstruktur

- Aerogel – besser dämmen als Luft
-> Aerogeldämmputz FIXIT 222



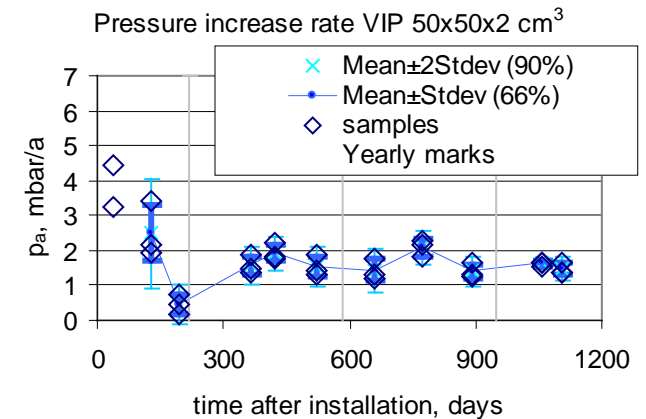
- ➔ ▪ Vakuumisolationpaneelen (VIP) - 1 Jahrzehnt Erfahrung
- Internationaler Überblick
- Aerogel – ein neues Material?
- Zusammenfassung



Flachdach mit Vakuumisolation (VIP)



Testdach zur Überprüfung der Vorhersage ab 2004

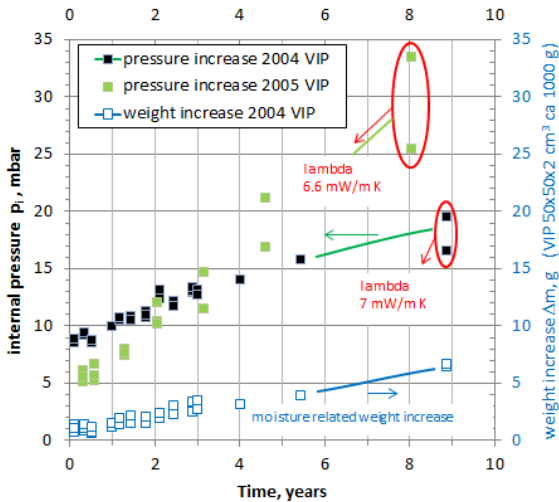


Literature: Brunner, S, Simmler H., Vacuum 82 (2008) 700

bei Laborlagerung nun 1 Jahrzehnt Erfahrung



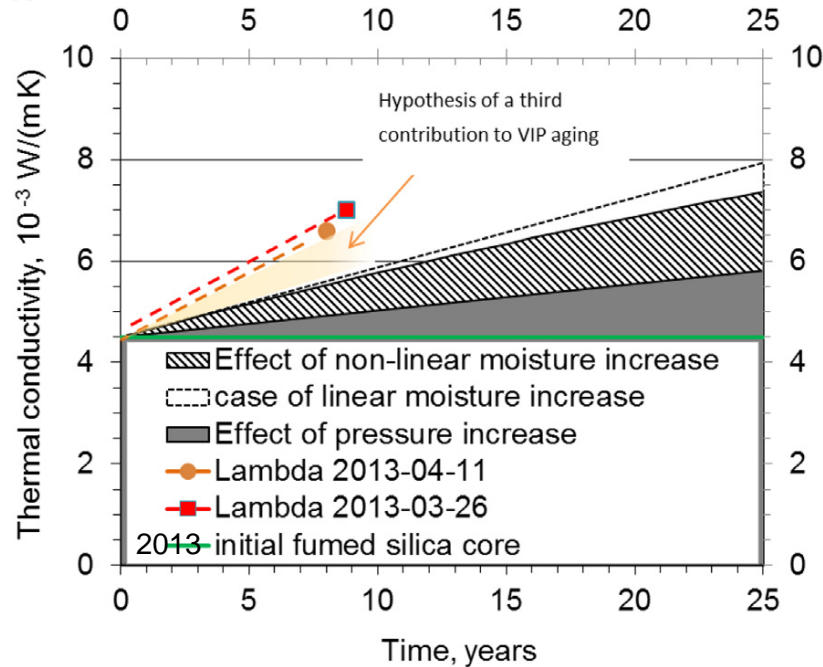
2013 Daten des Testdach:



Paper: Brunner&GhaziWakili, Vacuum, 2014:100:4-6

6.8 mW/m K nach 8.8 Jahren als Mittelwert ist ein attraktiver Wert aus realer Anwendung (mit an Gebäudehülle höchsten Feuchte-/Temperatur-Lasten.)

Auch wenn Forscher weltweit noch die genauen Alterungsmechanismen erforschen können ...
- oder verbesserte Produkte bei denen der Effekt klein wird.



VIP-Hersteller
- Porextherm
- Microtherm
- Va-q-tec
als jene mit mir bisher positiv aufgefallener Qualität – inkl. Zuverlässigkeit

Moisture influence on λ

| VIP stored over 10 years since 2003 | VIP with Laminate MF3 | | VIP with Laminate MF4 from Annex39 | | | |
|-------------------------------------|---|-----|---|-----------------|-------------------|------------------|
| | lambda_cop with nominal thickness λ | | lambda_cop with nominal thickness λ | $\Delta\lambda$ | Internal pressure | Moisture content |
| at | [mW/m K] | | [mW/m K] | | mbar | m-% |
| 23°C 80% r.h. | 6.1* | 2 | 6.1 | 2.2 | 18.5 | 3.1% |
| 23°C 33% r.h. | 5.2 | 1.1 | 4.5 | 0.6 | 6 | 0.6% |
| Initial | 4.1 | - | 3.9 | - | - | - |

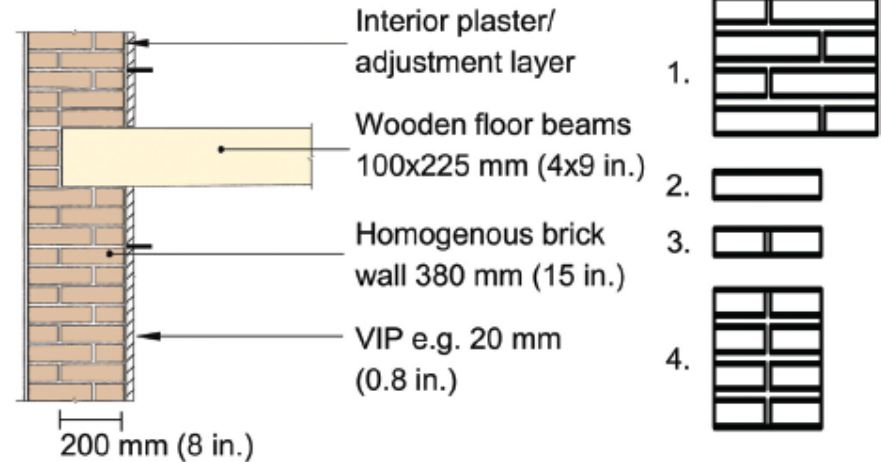
* with actual thickness 6.8 mW/m K, a similar value like on the real application in Brunner&GhaziWakili2013 after 8 years. no hint for a thickness change. A potential change in thickness can only be much smaller. Nominal thickness 20mm is the near the core thickness, while the measured thickness with wrinkles in laminate got used in the Swiss declaration context.

6.8 mW/m K nach 10 Jahren im Labor

VIP Messwerte von 6.8 mW/m K nach 8.8 Jahren im Flachdach sind attraktiv tief (trotz Feuchten über 90%).
Im Labor bei 23°C hochfeucht 6.1, bzw. 6.8 mW/m K
Im Labor bei 23°C trocken 4.5 und 5.2 mW/m K
damaligen Qualität mit Deklaration 008, d.h. 8 mW/m K für 23°C 50%



Vakuumisolation (VIP) als Innenisolation in Schweden/Norwegen Forschungsprojekt untersucht



Literature:

Interior insulation retrofit of a historical brick wall using vacuum insulation panels: Hygrothermal numerical simulations and laboratory investigations, Johansson et al, Building and Environment 79 (2014) 31-45

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.014>

Retrofitting of a listed brick and wood building using vacuum insulation panels on the exterior of the facade: Measurements and simulations, Johansson et al,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.019> and <http://www.chalmers.se/en/staff/Pages/par-johansson.aspx> -> Publications

<http://publications.lib.chalmers.se/publication/193780-building-retrofit-using-vacuum-insulation-panels-hygrothermal-performance-and-durability>

Vgl. Schweizer
Erfahrungen aus der
Pionierzeit bis ~ 2004

Quellen: <http://www.ecbcs.org/annexes/annex39.htm>

http://www.ecbcs.org/docs/Annex_39_Report_Subtask-B.pdf Seite 32, 33 Viridén

4.2.1 Material and construction

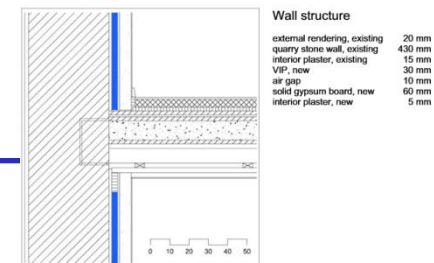


Figure 24. Vertical section through the Brick outer wall with interior insulation



Vakuumisolation (VIP) am Dach

Objekt UK Rosslyn Chapel, near Edinburgh

http://www.va-q-tec.com/en/Edinburgh_Roof-insulation-355.html



Rosslyn Chapel



Roof insulation with va-Q-vip B



Quelle :

http://www.va-q-tec.com/en/Edinburgh_Roof-insulation-355.html

weitere Bildquellen : Wikimedia Commons

new online: Special Section IVIS2013: 11th International Vacuum Insulation Symposium

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03787788/85/supp/C> Pages 592to -680

by guest editors Samuel Brunner and Karim Ghazi Wakili

(10 papers, a selection out of the 30 presentations & 25 posters from IVIS2013 – www.empa.ch/ivis2013)

Mit Aerogelmatten

Dublin, Ireland, historic stone building with Pitched roof (Governmental) Application 20mm insulation

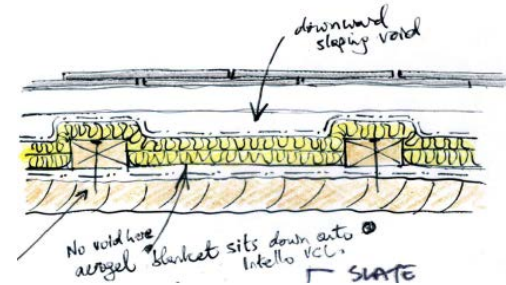


Figure 1 – inside view of existing roof

Request for analysis

Client wishes to assess performance of Aspen Aerogel as roof insulation in warm-roof buildup between a timber ceiling deck and battens of a vaulted Victorian courthouse building in the south suburbs of Dublin. Roof buildup to be absolutely minimised. Building to be intensely used by small number of people with a lot of electronics.

Quellen :

http://www.seai.ie/News_Events/Events/SEAI_Events/IEA-Brian-Cahill.pdf
20??

Quelle IEA EBC Annex65 Superinsulation (temporär)er Link) :
ftp://ftp.grenoble.cstb.fr/Public/IEA-EBC-ANNEX65/MEETING/KICK-OFF-MEETING-GRENOBLE-11-12-2014/PRESENTATIONS/CHALMERS_Task%203-%20presentation-Grenoble-%20Zarrabi.pdf

Vgl. Schweizer Erfahrungen aus der Pionierzeit 2008

weitere

->www.agitec.ch

-> Referenzobjekte

-> Publikationen

Quellen :

2008 http://www.energie-cluster.ch/ecweb5/de/ecweb_site/wissenstransfer/innovationsgruppen/ig-hlwd/history/rf_agi.pdf

2010 «Fichtenstrasse», Ghazi Wakili et al. Energy and Buildings, 82, 237–242, 2014, <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild.2014.06.050>

In Deutsch: BFE Schlussbericht <http://www.veragfloor.ch/de/Bauten/6?&id=39>

2014 http://agitec.ch/fileadmin/images/img/Referenzobjekte/Verwaltungsgebäude_SH_Muehental_WDVS_MultiTherm_Aero_20mm.pdf und

2014 http://www.energie-cluster.ch/ecweb5/de/ecweb_site/wissenstransfer/innovationsgruppen/ig-hlwd/history/ag-hlwd-10-5_08-mai-2014-agitec-staub.ppt



Vorher



Nachher



Fensterbank vorher



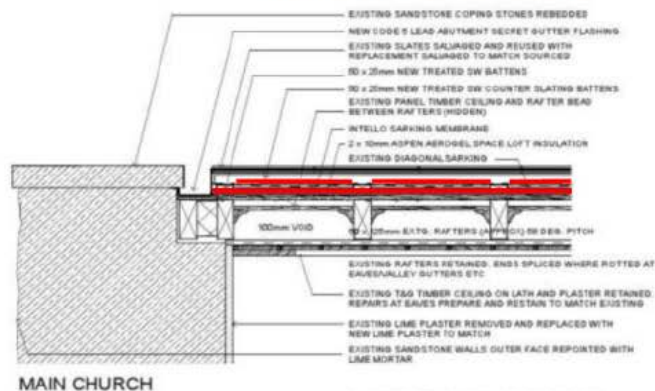
Fensterbank nachher

Mit Aerogelmatten

Pitched Roof Insulation - Heritage



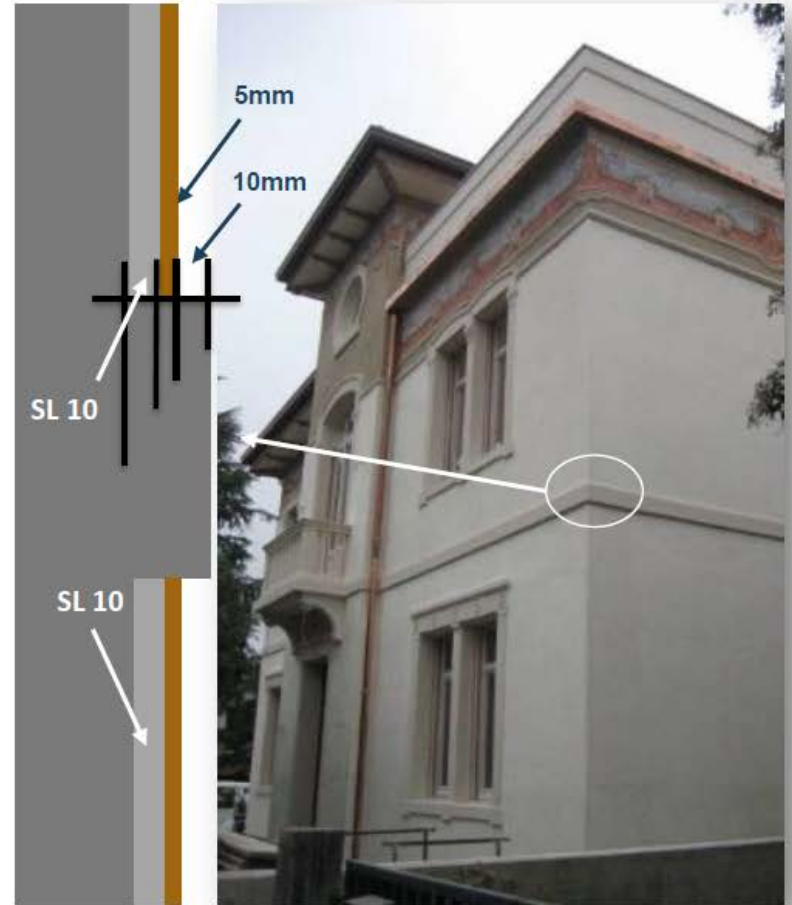
- Project Renovation
- Location Belfast, Northern Ireland
- Bldg. Type Historic stone church
- Application 20mm Pitched roof insulation
- Benefit Energy saving, space saving vapour open to allow roof elements to breathe



Mit Aerogelmatten

External Wall Insulation - Heritage

- Project Renovation
- Location Venice, Italy
- Bldg. Type Private Dwelling
- Application External Wall – 10mm
- Benefit Heritage protected, breathable
thermal bridge treatments
approx 50% heat loss reduction



Quelle :

http://www.seai.ie/News_Events/Events/SEAI_Events/IEA-Brian-Cahill.pdf

In der Schweiz Dynamik am HLWD -Markt : Aerogeldämmputz -> www.fixit.ch/aerogel -> Referenzobjekte

Referenzobjekte

Fixit Aerogel Hochleistungsdämmputz



Alte Mühle, Sissach
» [mehr Infos](#)



EFH, Ottenbach
» [mehr Infos](#)



MFH, Maschwanden
» [mehr Infos](#)



MFH, Zürich
» [mehr Infos](#)



MFH, Zürich
» [mehr Infos](#)



MFH, Dübendorf
» [mehr Infos](#)



EFH, Thalwil
» [mehr Infos](#)



MFH, Zürich
» [mehr Infos](#)



Wohn- und Geschäftshaus,
Thayngen
» [mehr Infos](#)



EFH, Rüti
» [mehr Infos](#)

In der Schweiz 2013 34 Gebäude , im ersten
Jahr am Markt mit 5000 m² und mehr im 2014

Fixit vertreibt über die Schwesterfirma Röfix auch
Lösungen mit Aerogelmatten in Europa -> Aerocalce
Hasit lanciert den Aerogel Hochleistungsdämmputz nun in DE

-> www.fixit.ch/aerogel
-> [Presseberichte](#)
-> [TV-Bericht im SRF](#)



Hochleistungsdämmstoffe: VIP und Aerogel basierte Produkte

Vortragsstruktur

- Aerogel – besser dämmen als Luft
-> Aerogeldämmputz FIXIT 222
- Vakuumisolationpaneelen (VIP) - 1 Jahrzehnt Erfahrung
- Internationaler Überblick
- ➔ ▪ Aerogel – ein neues Material?
- Zusammenfassung



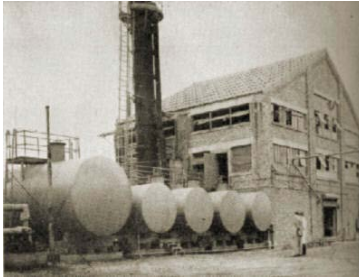
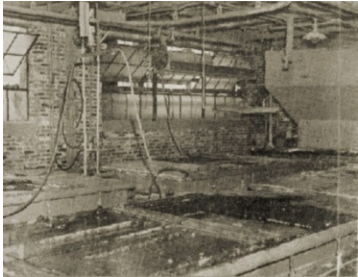
Aerogel – ein neues Material?

Early history: 1930-1980



First Invention
Samuel Kistler
College of the Pacific,
Stockton CA

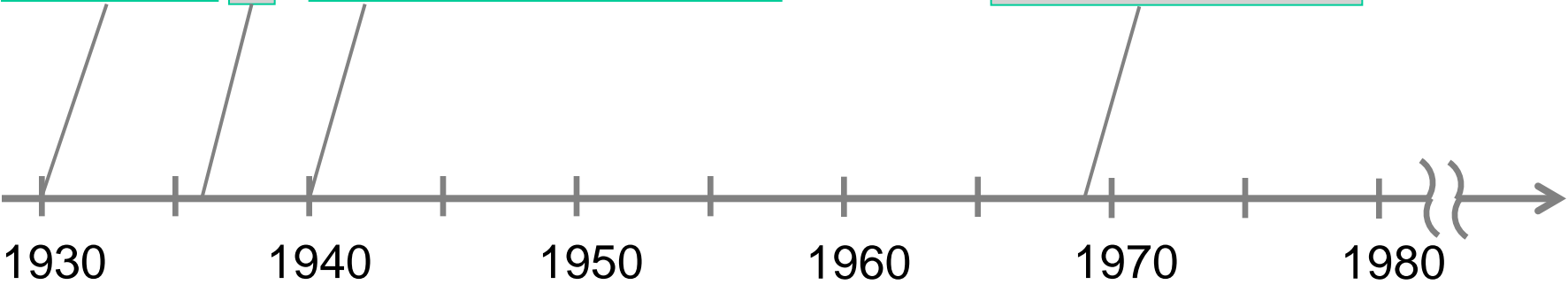
Patent application



First Industrial production
Monsanto Chemicals
College of the Pacific, Stockton CA



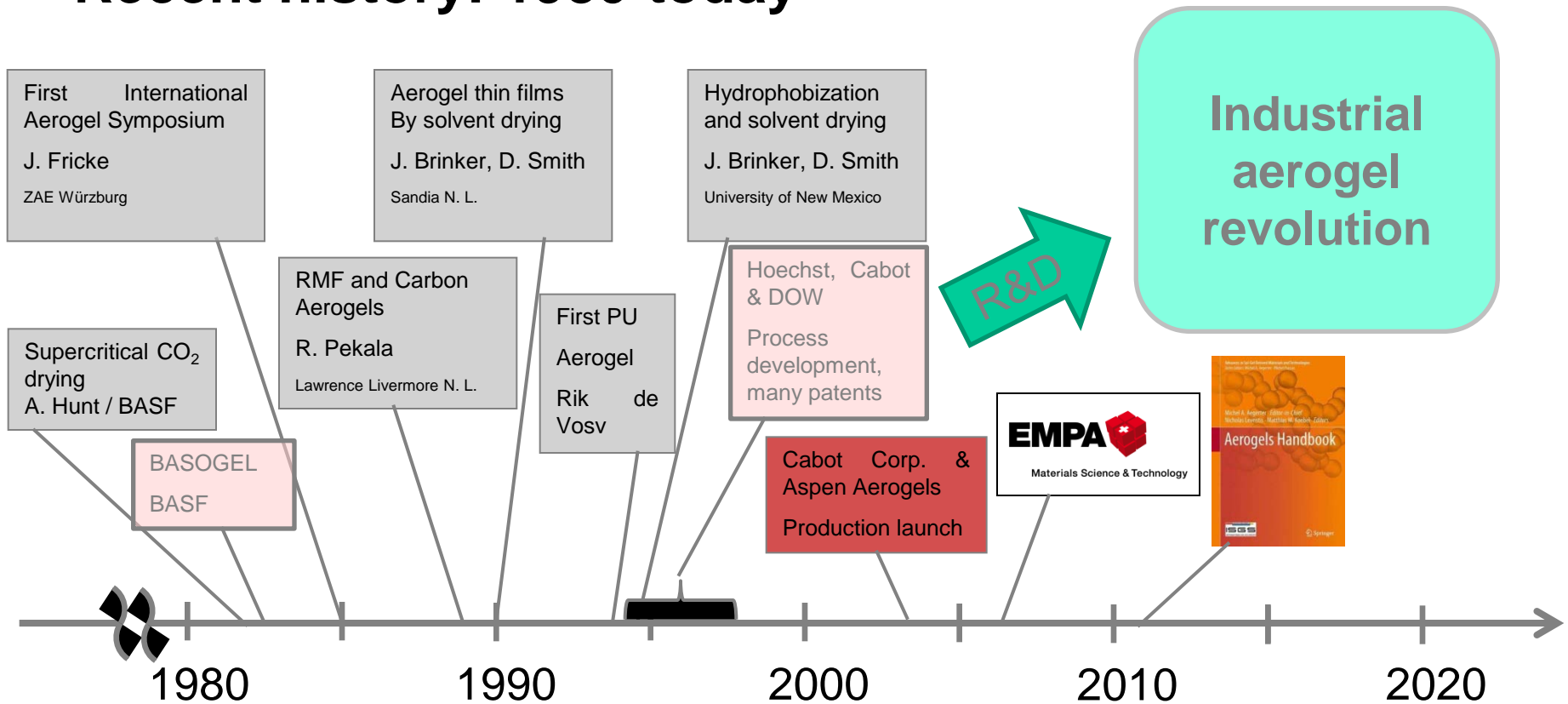
Alkoxide based Aerogels
S. Teichner
Claude Bernard University, Lyon



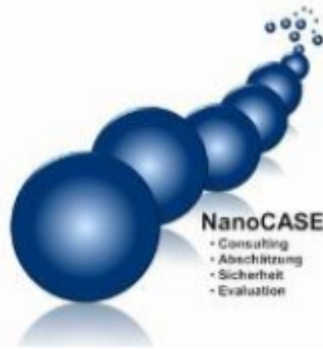
Aerogel – ein neues Material?

Actual overview in:
Matthias Koebel, Arnaud Rigacci, Patrick Achard
Aerogel-based thermal superinsulation: an overview
Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2012,
63, 3, 315-339
[DOI 10.1007/s10971-012-2792-9](https://doi.org/10.1007/s10971-012-2792-9)

Recent history: 1980-today



Risiko- beurteil- ung des Aerogel dämm- putzes.



Ergebnis Human-toxikologische Sicherheitsbewertung und stoffliche Beurteilung von Fixit 222 Aerogel Hochleistungsdämmputz

Die Firma NanoCASE, St.Gallerstr. 58 in 9032 Engelburg hat im Auftrag der Fixit AG neben weiteren die folgenden Fragestellungen untersucht:

Enthält das Aerogelgranulat im Fixit 222 Nanopartikel ?

Nein, das im Fixit 222 enthaltene Aerogelgranulat gehört nicht zu den Nanoobjekten. Das heisst, dass die darin enthaltenen Partikel grösser als 100 nm sind. Das im Fixit 222 verwendete Aerogelgranulat bewegt sich in seiner Grössenverteilung sogar im hohen Mikrometer- und Millimeterbereich. Das Aerogel selbst gehört nach ISO-Definition ISO/TS 80004-1:2010 zu den Nanomaterialien.

Dies jedoch aufgrund seiner nanoporösen Struktur, das heisst das Aerogel enthält Poren, deren Durchmesser im Nanometerbereich liegen, also kleiner als 100nm sind.

Darauf basiert die Wirkungsweise der Aerogele, der grosse Anteil von mehr als 90 % an Luft in den Poren ist für die dämmenden Eigenschaften verantwortlich.

Für den Umgang und den Einsatz von Aerogelgranulat gelten keine besonderen zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen; das Material ist generell (SUVA, MAK-Kommission der DFG, EU) als ungefährlich eingestuft. Es gelten aber wie für alle Mörtelprodukte die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Belastung am Arbeitsplatz für inerte Stäube (3 mg/m^3), speziell für amorphe Kieselsäure / Aerogel gelten 4 mg/m^3 als maximaler Grenzwert.

Bestehen gesundheitliche Risiken im Zusammenhang mit Fixit 222 ?

Nein, beim Fixit 222 handelt es sich um einen mineralischen Wärmedämmputz auf Basis von natürlichem

Externe
Sicherheits-
bewertung ->
http://www.fixit.ch/aerogel/?w=fachinfo_2

Risiko- beurteil- ung des Aerogel- dämm- putzes. (Teil 2)

Bestehen gesundheitliche Risiken im Zusammenhang mit Fixit 222 ?

Nein, beim Fixit 222 handelt es sich um einen mineralischen Wärmedämmputz auf Basis von natürlichem hydraulischen Kalk und Aerogelgranulat als Zuschlagstoff.

Das aufgrund seiner extrem hohen Porosität für die hervorragenden Dämmeigenschaften des Fixit 222 verantwortliche Aerogelgranulat besteht hauptsächlich aus amorphem Siliciumdioxid. Dieses Material ist gesundheitlich unbedenklich, was auch dessen Zulassung als Lebensmittelzusatzstoff (E 551) verdeutlicht.

Hinsichtlich der Beimischung von Aerogel entsteht kein zusätzlicher Risikofaktor im Gemisch des Produkts. Daher sind keine weiteren Sicherheitsmassnahmen als die für diese Klasse von Produkten vorgeschriebenen Sicherheitsvorkehrungen notwendig.

In allen handelsüblichen Putzmischungen resp. Kalk- und Zementprodukten sind Stoffe enthalten welche die Haut und die Augen reizen können. Die meisten dieser Produkte sind daher entsprechend gekennzeichnet (R37/38) und die dazu gehörenden Sicherheitsbestimmungen zum Schutz von Haut und Augen (S-Sätze 2, 22, 24, 26, 37/39, 46) müssen erfüllt werden.

Die Sicherheitsanforderungen des schweizerischen Chemikaliengesetzes sind für den Fixit 222 Aerogel Hochleistungsdämmputz vollumfänglich erfüllt.

Severin Hartmeier
Produktmanagement Fixit AG
Putze/Sanierung/Renovation

Prof. Dr. Harald F. Krug¹
Toxikologe
Gesellschafter NanoCASE

¹ Diese Kurzfassung gilt nur für die Formulierung des Produktes, für die das Hauptgutachten erstellt wurde.

Für andere Zwecke werden SiO₂ –Nanopartikel herstellt:

Literatur: Krug (2014), Nanosicherheitsforschung – sind wir auf dem richtigen Weg? Angew. Chem. DOI: [10.1002/ange.201403367](https://doi.org/10.1002/ange.201403367)
Seite 13

Angewandte
Aufsätze

silic

H. F. Krug

Bereich einer Feinstaubexposition. Ausgewertet für die sechs am häufigsten untersuchten ENMs ist das Verhältnis von Inhalation zu Instillation für nahezu alle Materialien gleich, einzig für Silber wurden mehr Inhalations- als Instillationsstudien gefunden (Abbildung 5, Mitte). Aufgeschlüsselt nach den Wirkungskategorien sind die sechs ENMs sehr unterschiedlich zu bewerten. Die CNTs sind abhängig von ihrer Beschaffenheit sicher eine Stoffgruppe, die sehr kritisch bewertet wird. Dies macht auch das Verhältnis zwischen ernstesten Wirkungen (Asbest- und Quarz-ähnlich) und leichteren Effekten (Feinstaub-ähnlich oder kein Effekt) deutlich (Abbildung 5, unten). Für alle anderen ENMs überwiegen die weniger schwerwiegenden Effekte; am besten sind sie vergleichbar zu den Wirkungen von Feinstaub mit einer transienten Entzündungsreaktion zwischen dem ersten und dem siebten Tag nach Expositionsbeginn, mit dem völligen Abklingen aller Symptome, sobald keine weitere Exposition

Im Kontext der publizierten Ergebnisse wird auch deutlich, dass die bisherigen Studien im Wesentlichen in kurzen Zeiträumen durchgeführt wurden. Da es außerdem noch keine Situation zu geben scheint, in der eine epidemiologische Studie zu ENMs durchgeführt werden könnte, da die Belastungen am Arbeitsplatz bzw. der Allgemeinbevölkerung noch zu gering bzw. die Kollektive zu klein sind, gibt es keine belastbaren Aussagen zu möglichen Langzeitwirkungen. Andererseits werden manche der Materialien auch in Nanogröße seit vielen Jahrzehnten in größeren Mengen hergestellt (Carbon Black seit den 1920er Jahren, Nanosilber seit mehr als hundert Jahren, Titandioxid und Siliciumdioxid seit mehr als 50 Jahren) und seit dieser Zeit haben sich keine besorgniserregenden Resultate in den toxikologischen Studien gezeigt. Dies scheint sich auch grundsätzlich in den ausgewerteten Studien widerzuspiegeln.

vgl NZZ 5.11.2015 <http://www.nzz.ch/wissenschaft/medizin/empa-forscher-bemaengelt-qualitaet-toxikologischer-studien-1.18418115>

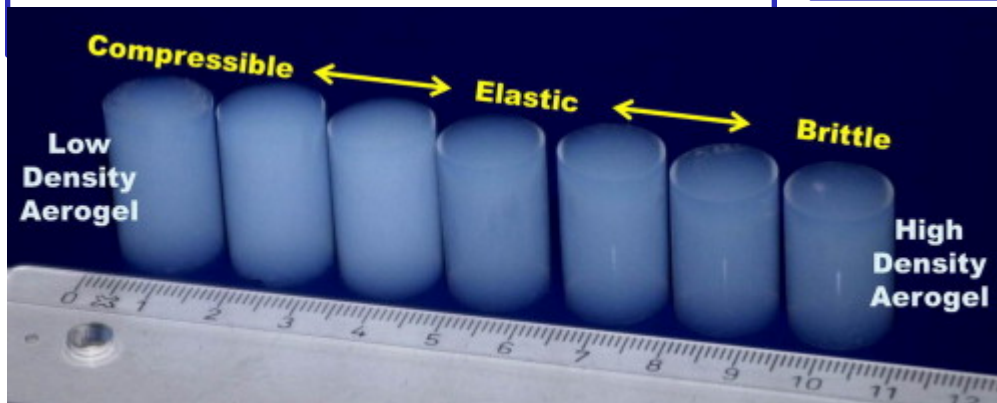


Neues aus der Forschung: Eigene Aerogele (Empa Team um Matthias Koebel)

Empa Aerogel

Microporous and Mesoporous Materials, 183, 23-29, 2014
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2013.08.029>
An image out of this, one of Empa's newest Aerogel paper is

Und aus EU-Projekt Beitrag in TV Euronews
<http://www.euronews.com/2014/09/08/new-skins-for-leaky-buildings/>
(war 9. bis 14. Sept auf EuroNews TV Sender)
braucht aber noch weitere Jahre bis zur Produktreife
(nur Kleinstmengen an der Empa)



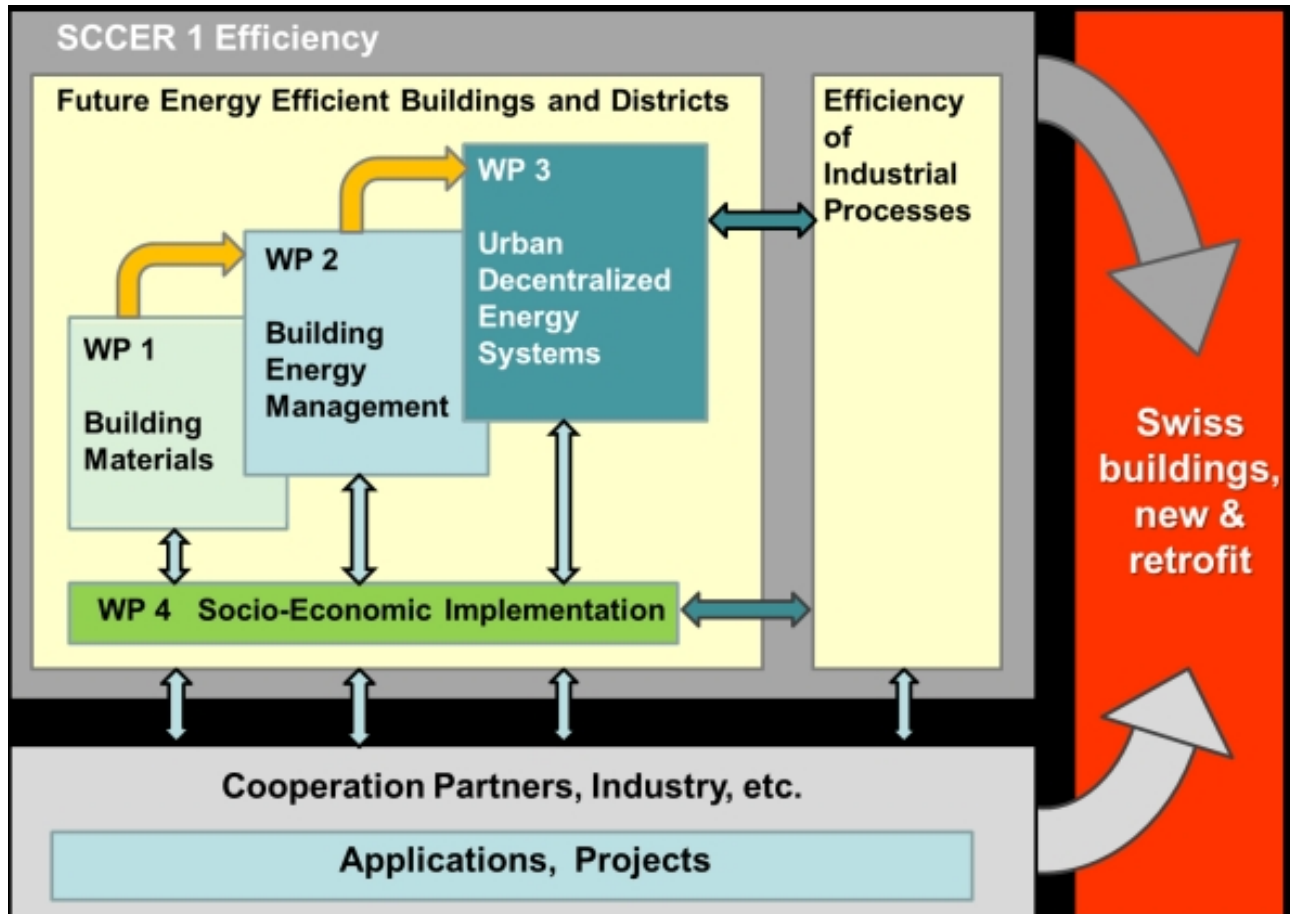
Matthias Koebel, Arnaud Rigacci, Patrick Achard
Aerogel-based thermal superinsulation: an overview
Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2012, 63, 3, 315-339
DOI 10.1007/s10971-012-2792-9
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10971-012-2792-9?null>
And the "Handbook of Aerogel" from 2011,
<http://www.springer.com/materials/special+types/book/978-1-4419-7477-8>



Ausblick zu Effizienz und Energiewende: SCCER FEEB&D



future energy efficient
buildings & districts



www.empa.ch/FEEBad/

WP1 Building Materials

Kontakt :

Matthias Koebel,
Leiter der Empa Abt.

**Materialien und
Komponenten für
energieeffiziente
Gebäude**

Zusammenfassung

Hochleistungs­dämmung (HLWD) – eine Option, wo schlank gedämmt werden soll.

- Aerogeldämmputz – die Innovation ist am Markt
- VIP Messwerte von 6.8 mW/m K nach 8.8 Jahren im Flachdach sind attraktiv tief (trotz Feuchten über 90%).
Im Labor bei 23°C 80%rh hochfeucht 10 J. 6.1, bzw. 6.8 mW/m K
Im Labor bei 23°C 33%rh trocken 10 Jahre 4.5 und 5.2 mW/m K
damaligen Qualität mit Deklaration 008, d.h. 8 mW/m K für 23°C 50%
- Aerogel-Staub : ein zu viel gilt es wie bei jedem anderen normalen Staub zu vermeiden.
- International ist die Schweiz der Pionier-Markt der HWLD



Hochleistungswärmedämmung

Samuel Brunner

E-mail: samuel.brunner@empa.ch

Tel +41 58 765 47 68



Materials Science & Technology



Lichtdurchlässige
Elemente mit
Aerogel-Granulat

Turnhalle von 2002
in Zürich



Vakuumisolations-
paneele (VIP)

-> Alterungsverhalten
untersucht seit 2003

Aerogelmatten
z.B. an Fassaden

-> Vorredner
Beat Kämpfen



Aerogeldämmputz
mit hohem Anteil
Aerogel-Granulat

2012 Empa Innovationspreis
2014 Schweizer Umweltpreis

