

INNENDÄMMUNG UND SCHIMMELPILZVERMEIDUNG



M. Krus

© Fraunhofer IBP

intern

1

- Anbringung und Auswahl der Innendämmung
- Rechnerische Eignungstests
- Messergebnisse Innendämmprojekt
- Vergleichende Bewertung



»Eigentlich lese ich selten, die Bücher
brauche ich zur Wärmedämmung . . .«

© Fraunhofer

intern

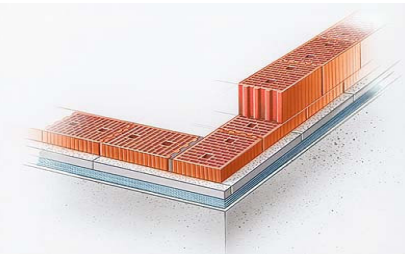
2

Fraunhofer
IBP

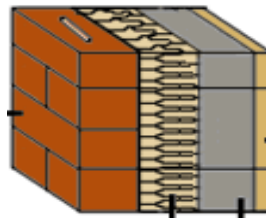
2

Wärmeschutz der Gebäudehüllkonstruktion

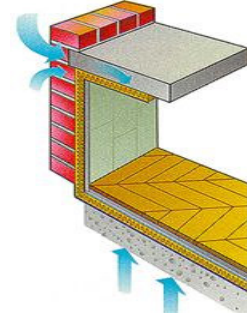
Außendämmung



Kerndämmung



Innendämmung



Welche Nachteile, welche Vorteile
haben diese Konstruktionen ?

© Fraunhofer

intern

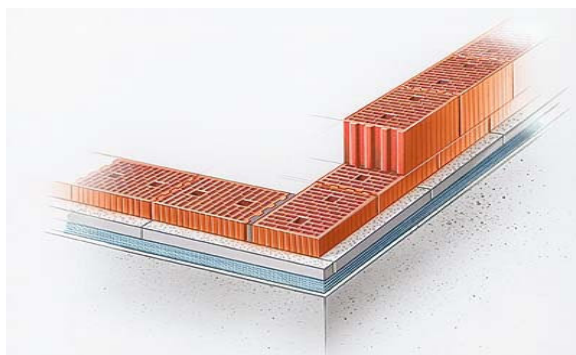
3

Fraunhofer
IBP

3

Wärmeschutz der Gebäude-Hüllkonstruktion

Außendämmung



Bewertung

+	thermische Beanspruchung
+	sommerlicher Wärmeschutz
+	Wärmebrücken

-	Wetterschutz des Dämmst.
-	Fluchtlinie
-	Kosten
-	städtebauliches Bild
-	außen mehr Tauwasser

© Fraunhofer

intern

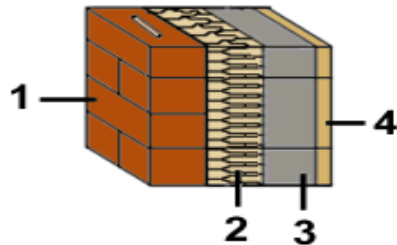
4

Fraunhofer
IBP

4

Wärmeschutz der Gebäude-Hüllkonstruktion

Kerndämmung



Bewertung	
+	bauphysikalisch optimal
-	Durchfeuchtung
-	Kosten
-	kaum nachträglich

© Fraunhofer

intern

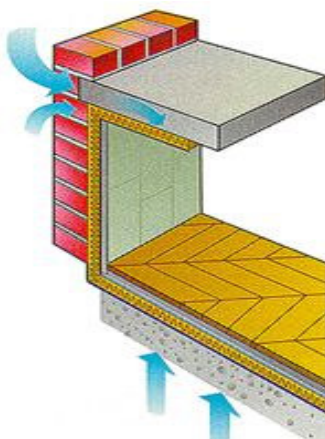
5

Fraunhofer
IBP

5

Wärmeschutz der Gebäude-Hüllkonstruktion

Innendämmung



Bewertung	
+	bequeme Anbringung
+	rasches Wiederanheizen
+	geringere Kosten
-	Sommerlicher Wärmeschutz
-	Brandschutz
-	Wohnfläche
-	Mieterbeeinträchtigung
-	Wärmebrücken
-	Tauwasser
-	Trocknungsverzögerung

© Fraunhofer

intern intern

6

Fraunhofer
IBP

6

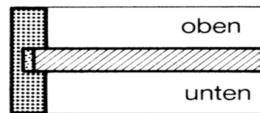
Wärmebrückeneffekte

Einfluss auf die Wärmeverluste:

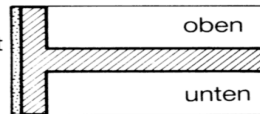
Deckenanschlüsse

Ebene Wand
(ohne Wärmebrücke): $q = 18 \text{ W/m}^2$
100 %

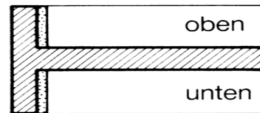
üblich
113 %



außengedämmt
107 %



innengedämmt
166 %



intern

© Fraunhofer

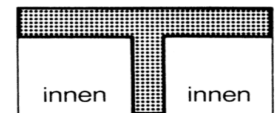
7

Fraunhofer
IBP

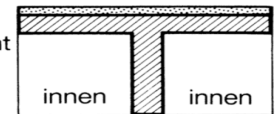
Wandanschlüsse

Ebene Wand
(ohne Wärmebrücke): $q = 18 \text{ W/m}^2$
100 %

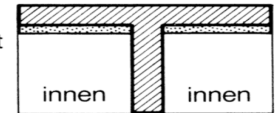
monolithisch
107 %



außengedämmt
109 %



innengedämmt
171 %

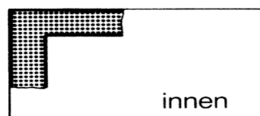


Wärmebrückeneffekte

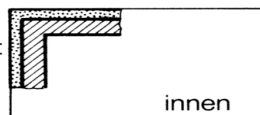
Außenecken

Ebene Wand
(ohne Wärmebrücke): $q = 18 \text{ W/m}^2$
100 %

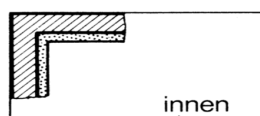
monolithisch
110 %



außengedämmt
125 %



innengedämmt
100,5 %



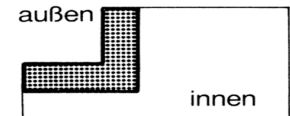
intern

© Fraunhofer

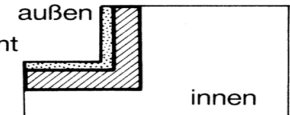
Innenecken

Ebene Wand
(ohne Wärmebrücke): $q = 18 \text{ W/m}^2$
100 %

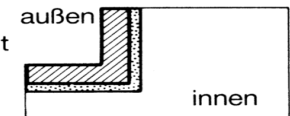
monolithisch
72 %



außengedämmt
65 %



innengedämmt
89 %



8

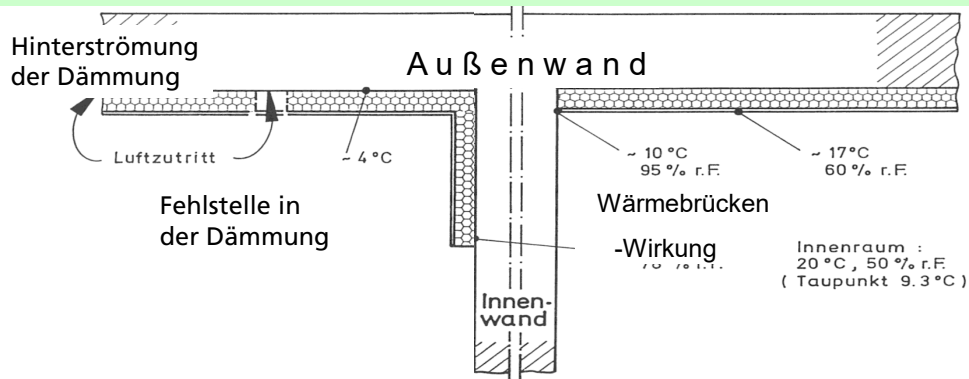
Fraunhofer
IBP

Wärmeschutz der Gebäude-Hüllkonstruktion

Innendämmung ist aus unterschiedlichen Gründen

(Denkmalschutz, Eigentumswohnung etc.)

häufig aber die einzig durchführbare Dämmmaßnahme im Altbau



© Fraunhofer

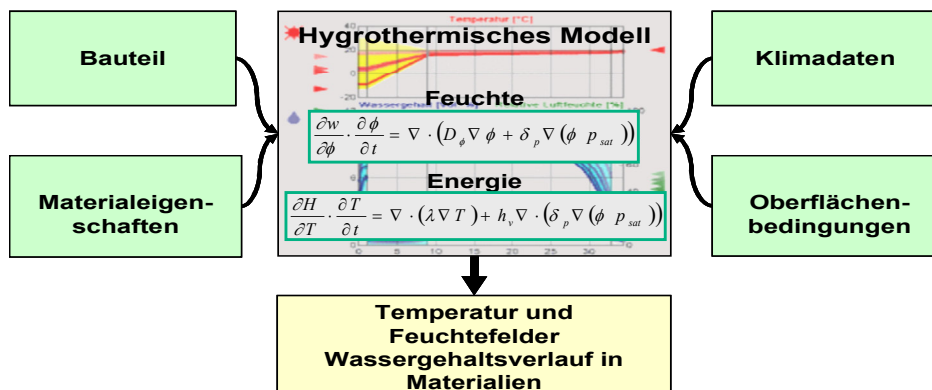
intern

9

Fraunhofer
IBP

9

Durchführung der Untersuchungen mit WUFI®



- Ziegelmauerwerk nahe Minstdämmstandard ($U\text{-Wert} = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Wohnraumnutzung
- Holzkirchner Klima

© Fraunhofer

intern

10

Fraunhofer
IBP

10

© Fraunhofer



11

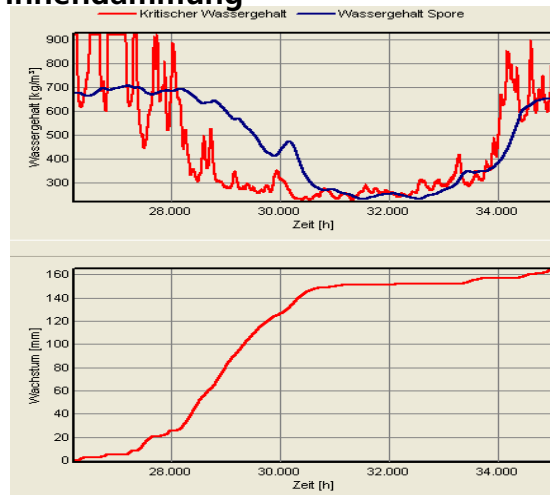
© Fraunhofer

intern

12

Hinterströmung der Innendämmung

Substratklasse II



- Im Sommer trockener, aber im Winter deutlich feuchter
- Eintrag von Sporen → Schimmelpilzwachstum

© Fraunhofer

intern

13

Fraunhofer
IBP

13

Fehlstelle in der Innendämmung



1 mm dicke durchgängige Fehlstelle

© Fraunhofer

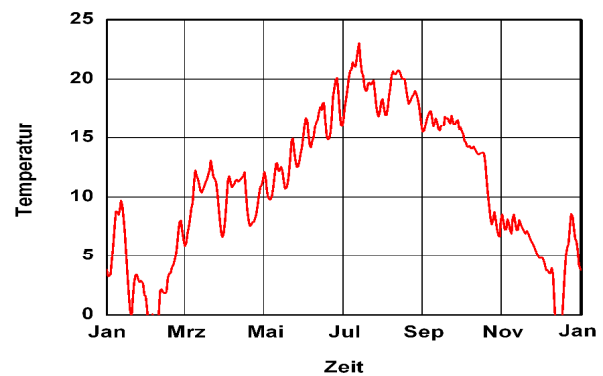
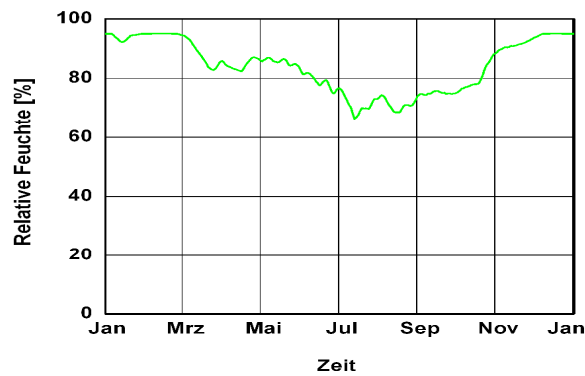
intern

14

Fraunhofer
IBP

14

Fehlstelle in der Innendämmung



© Fraunhofer
intern

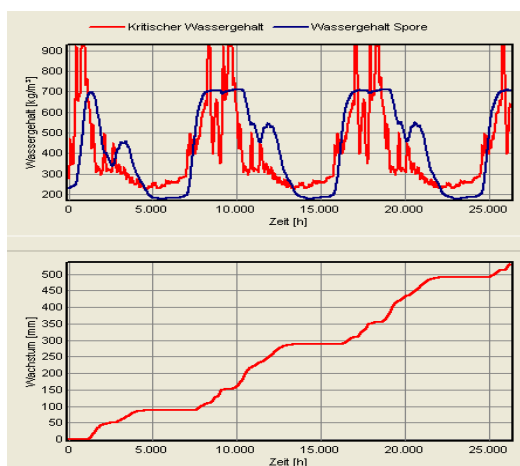
15

Fraunhofer
IBP

15

Fehlstelle in der Innendämmung

Substratklasse II



Deutliches Schimmelpilzwachstum

Kalziumsilikatplatten gelten als besonders schimmelpilzresistent

→ Messung deren Isoplethen

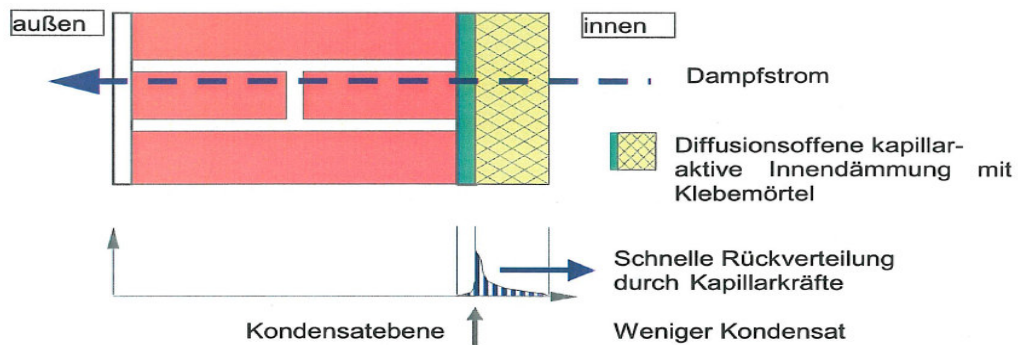
© Fraunhofer
intern

16

Fraunhofer
IBP

16

Wirkprinzip



Vorteil

1. geringere Tauwassermengen
2. Verminderung der lokalen Belastung über Querverteilung

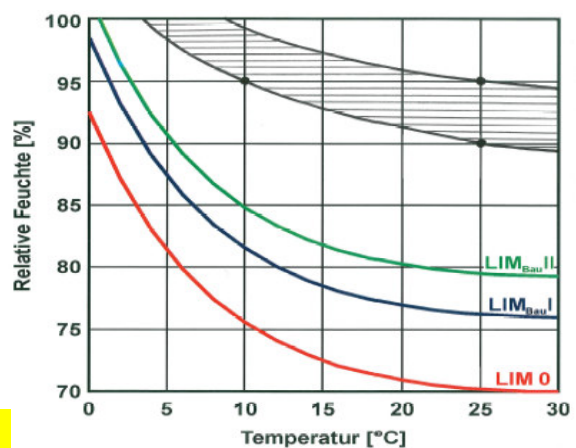
17

Bestimmung der Schimmelpilzanfälligkeit

Substratgruppen

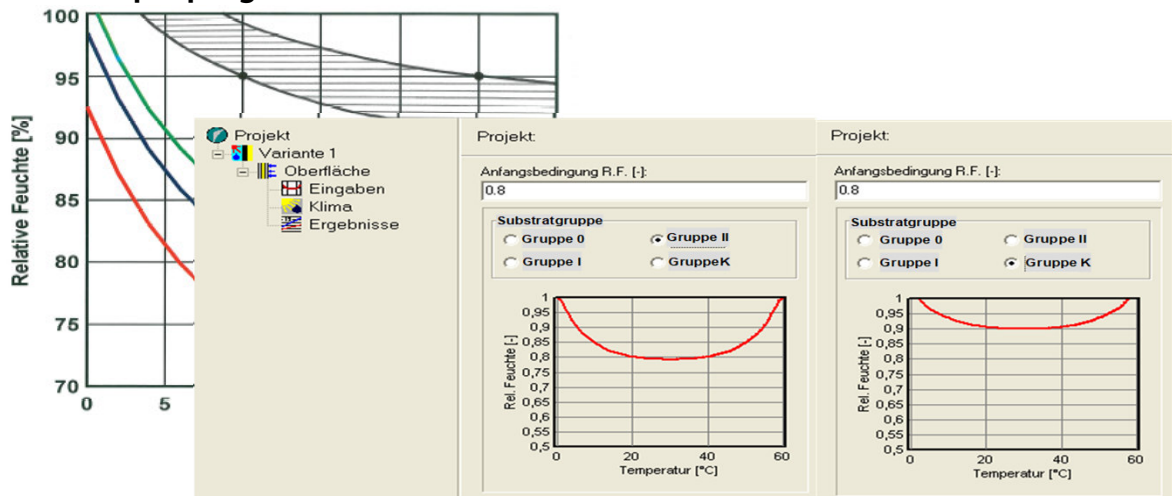
- II biologisch kaum verwertbare Substrate
(z.B. mineralische Baustoffe)
- I biologisch gut verwertbare Substrate
(z.B. Tapeten, Verschmutzung)
- 0 optimales Substrat
(biologische Vollmedien)

Untersuchung an
mehrere Jahre altem Material !



18

Schimmelpilzprognosemodell



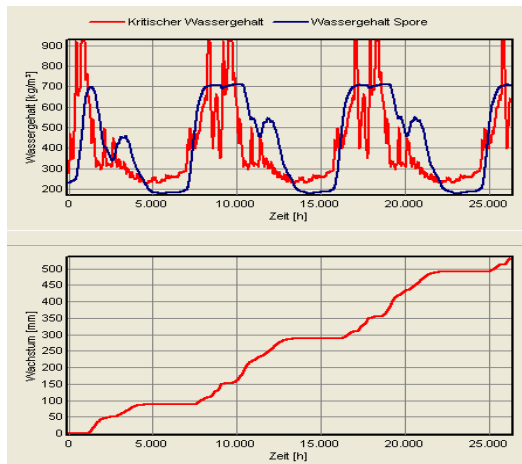
© Fraunhofer intern

19 Fraunhofer IBP

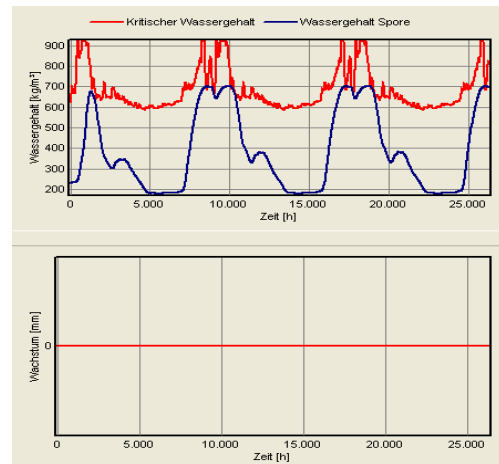
19

Fehlstelle in der Innendämmung

Substratklasse II



Substratklasse K



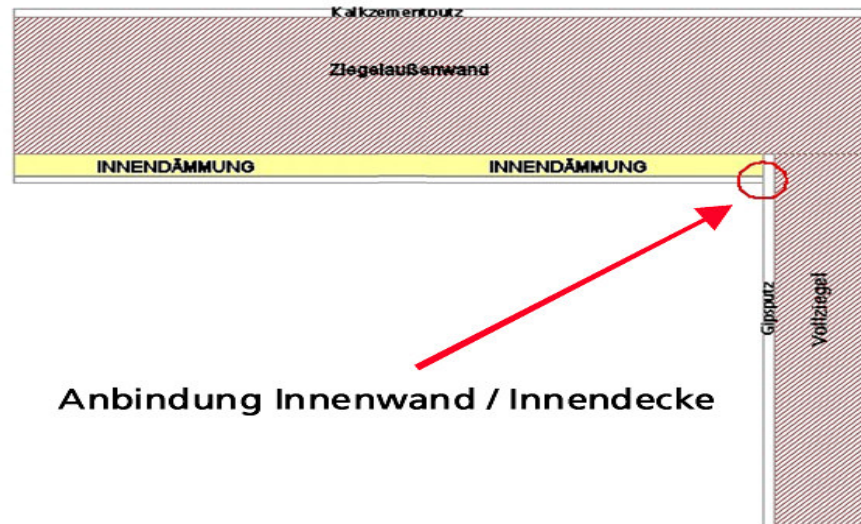
Dieses Ergebnis gilt nur für das untersuchte Material!

© Fraunhofer intern

20 Fraunhofer IBP

20

Anbindung Innenwand / Innenecke



Anbindung Innenwand / Innendecke

© Fraunhofer

intern

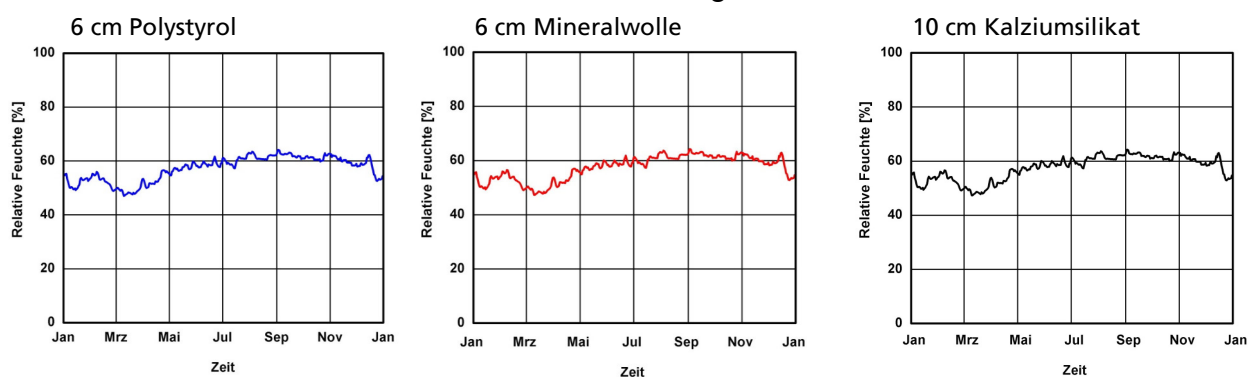
21

Fraunhofer
IBP

21

Anbindung Innenwand / Innenecke

Innenwand aus Ziegel



An dieser Stelle kein Einfluss des Dämmstoffes (gleicher R-Wert)
Offensichtlich kein Schimmelpilzrisiko

© Fraunhofer

intern

22

Fraunhofer
IBP

22

Anbindung Innenwand / Innenecke



Innendecke aus Beton

© Fraunhofer

intern

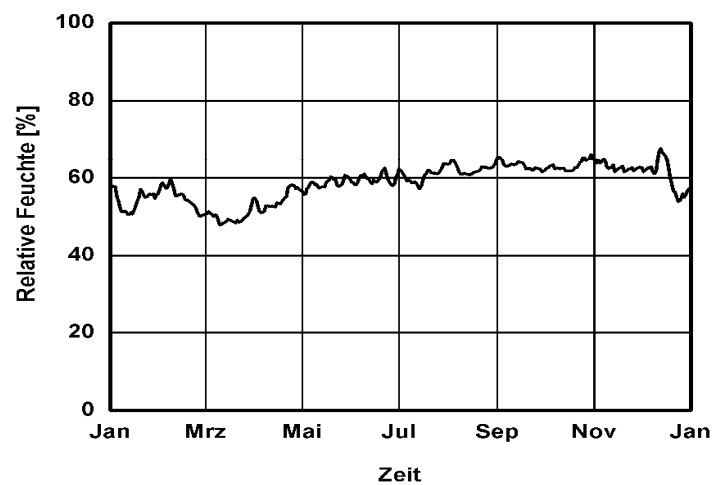
23

Fraunhofer
IBP

23

Anbindung Innenwand / Innenecke

Innendecke aus Beton



© Fraunhofer

intern

24

Fraunhofer
IBP

24

Anbindung Innenwand / Innendecke



Innendecke aus Beton,
mit Estrichdämmung

© Fraunhofer

intern

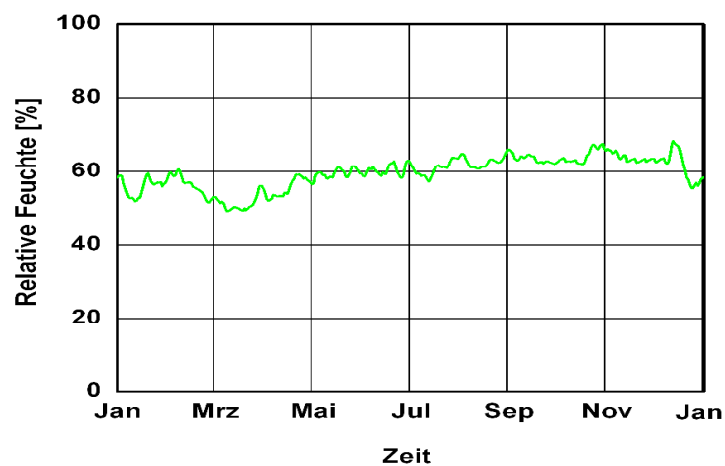
25

Fraunhofer
IBP

25

Anbindung Innenwand / Innenecke

Innendecke aus Beton



© Fraunhofer

intern

26

Fraunhofer
IBP

26

Anbindung Innenwand / Innenecke



Innendecke aus Beton
mit Estrichdämmung
und Fehlstelle zur Decke

© Fraunhofer

intern

27

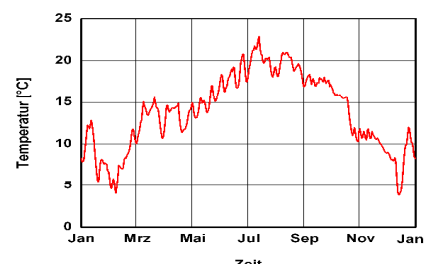
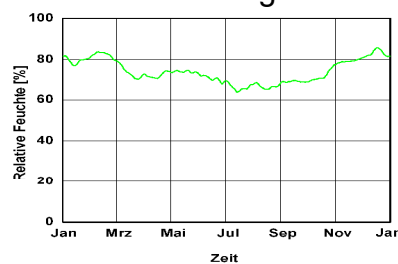
Fraunhofer
IBP

27

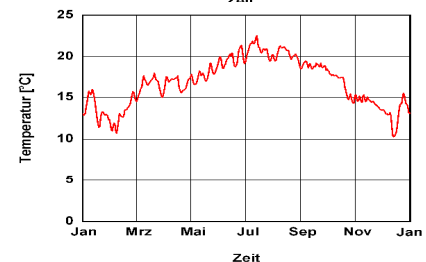
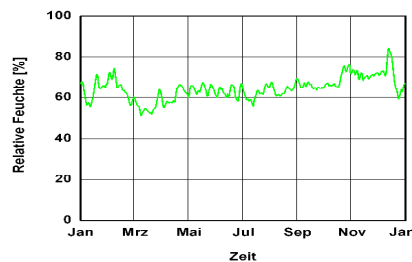
Anbindung Innenwand / Innenecke

Innendecke aus Beton mit Estrichdämmung und Fehlstelle zur Decke

Fehlstelle
an der
Deckeneinbindung



Ohne
Innendämmung



© Fraunhofer

intern

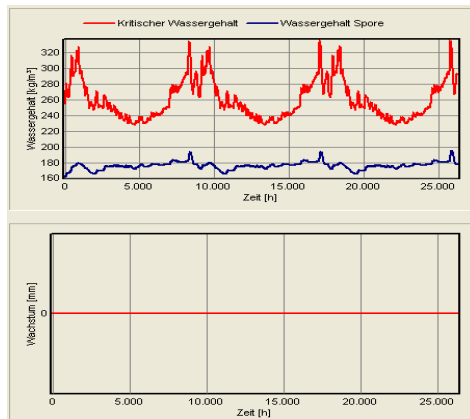
28

Fraunhofer
IBP

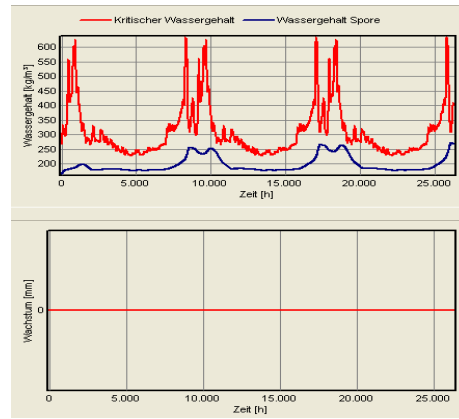
28

Anbindung Innenwand / Innenecke

Ohne Innendämmung



Fehlstelle an der Deckeneinbindung



Warum trotz Wärmebrücke kein Schimmelpilzrisiko?

© Fraunhofer

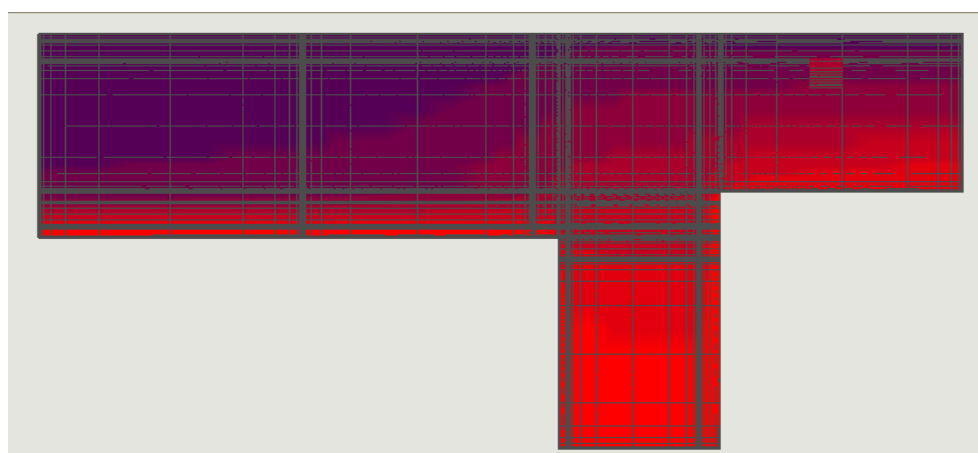
intern

29

Fraunhofer
IBP

29

Anbindung Innenwand / Innenecke



© Fraunhofer

intern

30

Fraunhofer
IBP

30

Zusammenfassung

- Eine Hinterströmung der Innendämmung ist unbedingt zu vermeiden
→ vollflächige Verklebung; flexible Dämmstoffe hier vorteilhaft
- Fehlstellen im Regelquerschnitt sind ebenfalls zu vermeiden;
manche Materialien (z.B. das hier gezeigte Kalziumsilikat) bieten aufgrund deren hohen LIM eine gewisse Fehlertoleranz
- Problematik der Innendämmung an einbindender Wand bzw. Decke entgegen Lehrmeinung eher unbedeutend selbst Fehlstellen in diesem Bereich nur wenig kritischer

Grund:

Einbindende Wand/Decke bildet an dieser Stelle eine Wärmebrücke zum Rauminnen

Trotzdem kommen Probleme an dieser Stelle vor, aber sie nicht durch die Innendämmung begründet;

Sondern durch:

Änderung der Nutzung, des Lüftungsverhaltens (dichte neue Fenster) etc.

© Fraunhofer

intern

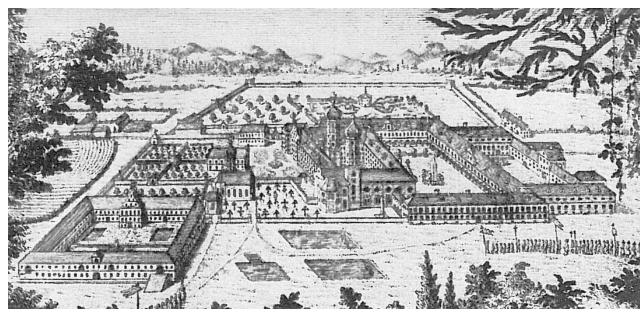
31

Fraunhofer
IBP

31

Vergleichende Untersuchung zur Innendämmung

Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege im Kloster Benediktbeuern



© Fraunhofer

intern

32

Fraunhofer
IBP

32

Klosteranlage Benediktbeuern



© Fraunhofer

intern

33

Fraunhofer
IBP

33

Alte Schäferei, Kloster Benediktbeuern



© Fraunhofer

intern

34

Fraunhofer
IBP

34

Applikation der Innendämmung

Denkmalpflegerische Fragestellung:

- Reversible Montage
- Schadensfreiheit originaler Putze und Malschichten



➔ **Bewahrung historischer Original-Befunde**

© Fraunhofer

intern

Fraunhofer-Zentrum
Benediktbeuern

Fraunhofer
IBP

35

Entwicklung einer reversiblen Innendämmung

Bei Innendämmsystemen mit Schütt- oder Einblasdämmung und vorgeständerter Konstruktion einfache Lösung: z.B. Japanpapier als Zwischenlage

➔ Entwicklungsbedarf nur für auf den Untergrund verklebte Dämmsysteme

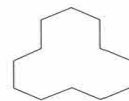
Grundidee:

Anwendung eines flüchtigen Bindemittels

➔ Cyclododecan,
für das im Restaurierungsbereich
umfangreiche Erfahrungen vorliegen

1. Schicht zur Anbindung an
Cyclododecan
➔ Mörtel mit nichtpolarem
Latex als Bindemittel
2. Untergrundmaterial für die Anbindung
der Klebemörtel der Innendämmsysteme
➔ Entwicklung eines Leichtputzsystems

Cyclododecan



Chemische Bezeichnung:
Cyclododecan



**Musterplatte mit Schaummörtel und
Leichtputzmörtelproben**

© Fraunhofer

intern

36

Fraunhofer
IBP

36

Entwicklung einer reversiblen Innendämmung



© Fraunhofer

intern

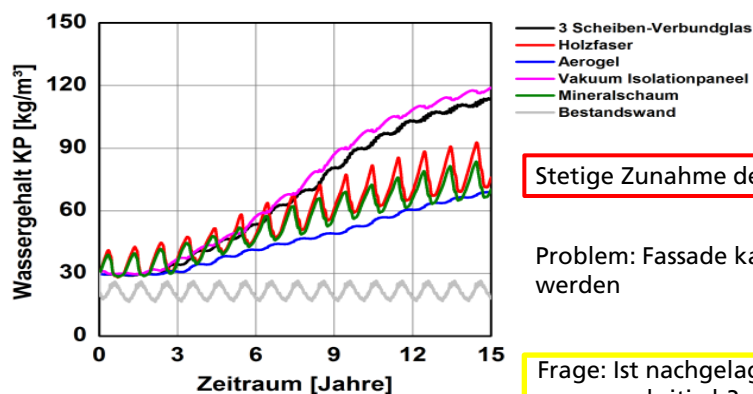
37

Fraunhofer
IBP

37

Eignungsberechnung zur Schadensvermeidung

- Große Schwankungsbreite des w -Wertes am bestehenden Außenputzes von ca. $1,8 - 7,7 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5} \Rightarrow$ Annahme für Berechnung $4,2 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$



Stetige Zunahme des Wassergehaltes

Problem: Fassade kann vor dem Aufbau nicht saniert werden

Frage: Ist nachgelagerte Fassadensanierung unkritisch?

© Fraunhofer

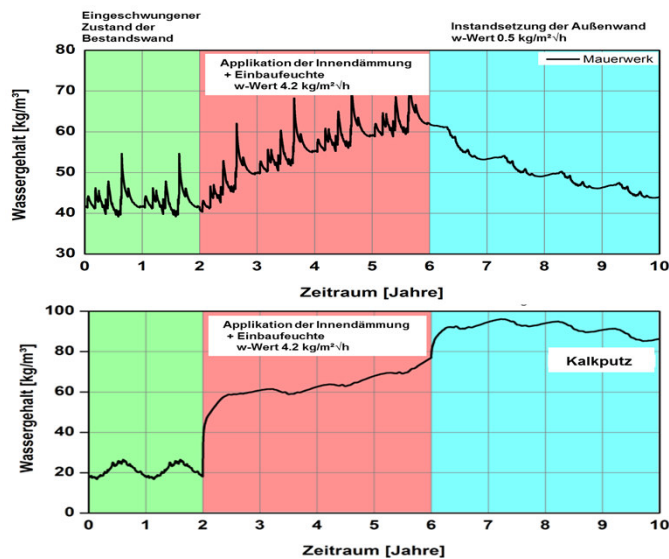
intern

38

Fraunhofer
IBP

38

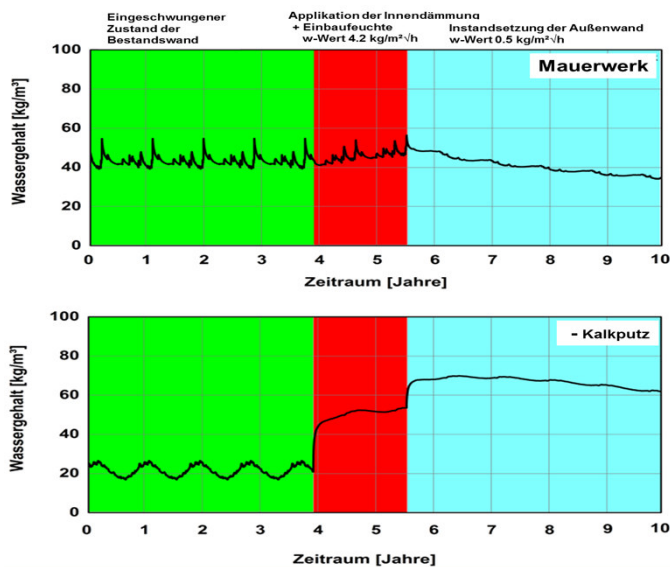
Eignungsberechnung zur Schadensvermeidung



Auch 4 Jahre nachgelagerte Fassadensanierung ohne Schadensfolgen!

39

Eignungsberechnung zur Schadensvermeidung



Die Fassadensanierung erfolgte ca. 1,5 Jahre nach Einbau der Dämmungen

40

Innendämmung – Materialauswahl

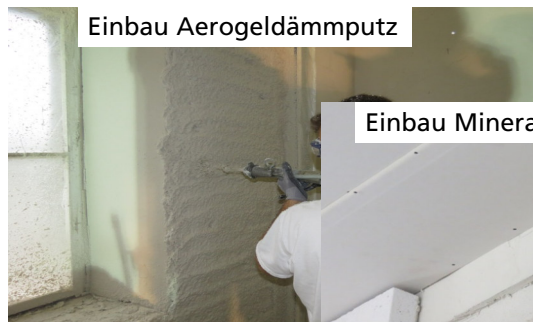
- Hochleistungsdämmstoffe
- Kapillaraktive mineralische Dämmstoffe
- Nachwachsende Dämmstoffe
- Trockenbausysteme

In unterschiedlichen Anwendungsformen:

- Plattenmaterial
- Dämmstoffmatten
- Dämmputze
- Einblasdämmungen



Applikation der Innendämmung



Einbau Aerogeldämmputz



Einbau Mineralschaumdämmung



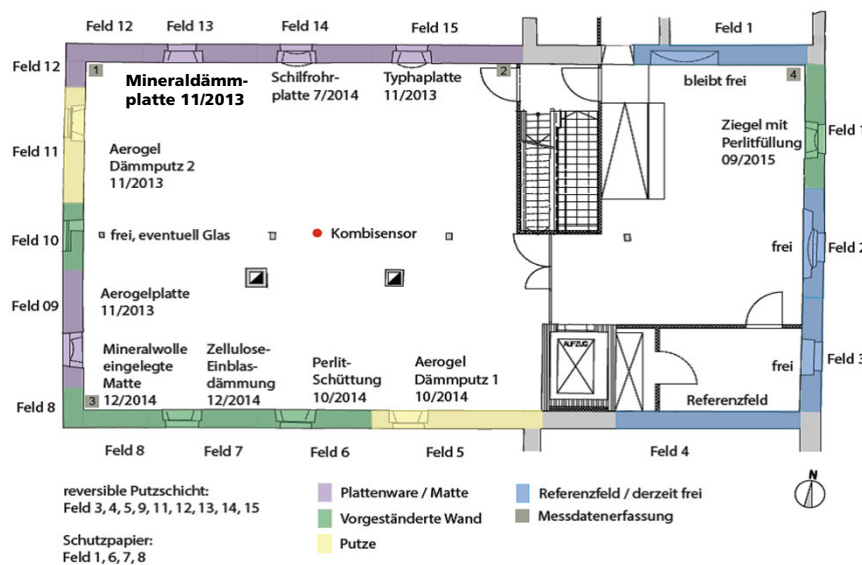
Einbau Typhadämmung

EnOB: Innendämmung – Auswahl Dämmstoffe

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Dicke [cm]	Form
Aerogel-dämmputz	0,028	4,5	Dämmputz
Rohrkolben dämmung Typha	0,055	9	Dämmplatten
Mineraldämmplatten	0,042	10	
Historisches Material Schilfrohr	0,043	11	
Zellulose-Flocken	0,04	8	Dämmschüttung
Perlite-Schüttung	0,05	8	
Mineralwolle-matten	0,035	6,5	Dämmmatten
Aerogel_matten	0,018	4	

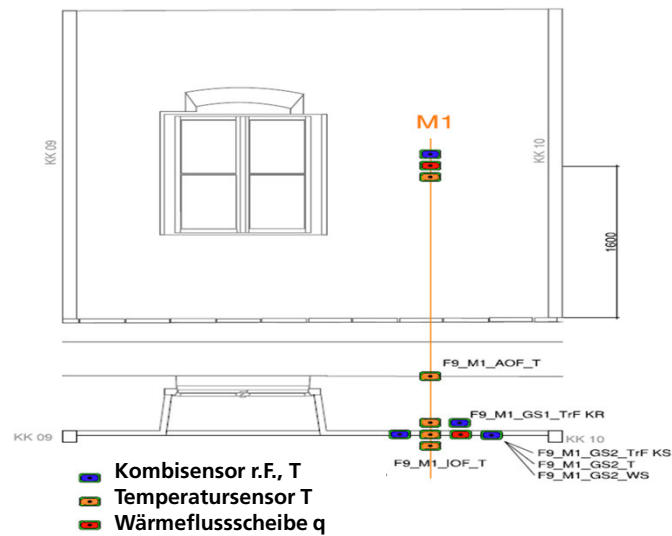
43

Verbaute Innendämmungen



44

Innendämmsysteme - Monitoring



© Fraunhofer

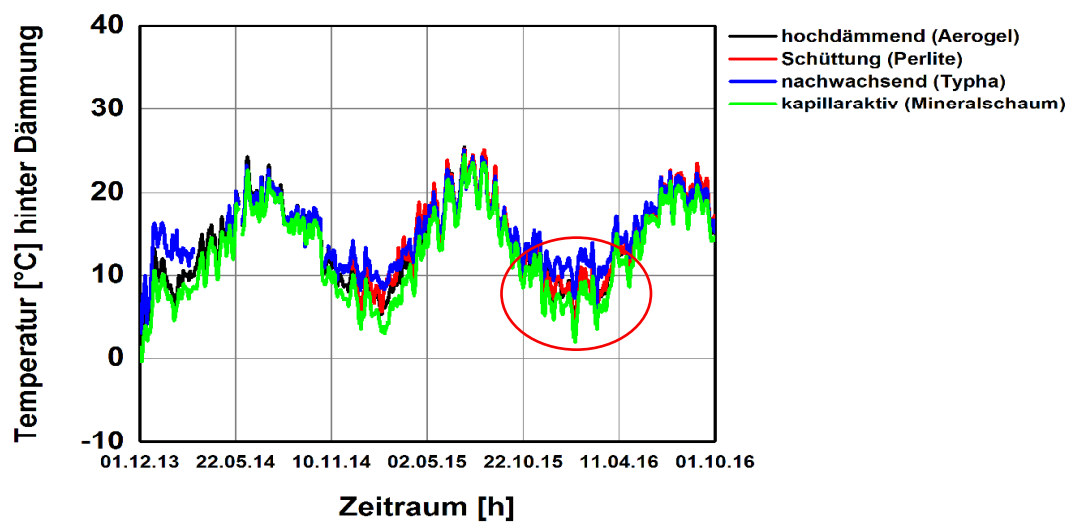
intern

45

Fraunhofer
IBP

45

Messergebnisse



© Fraunhofer

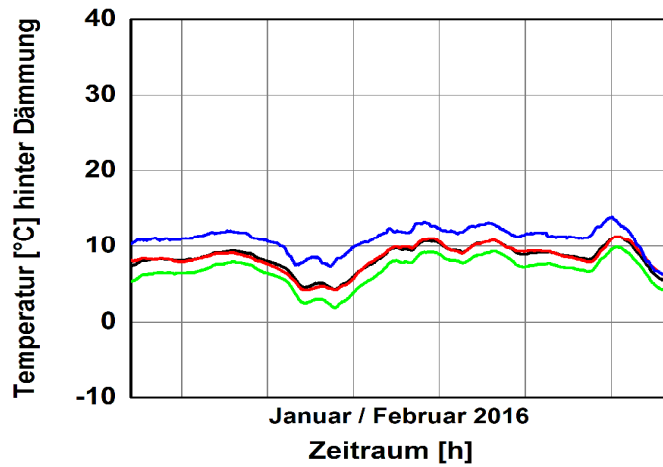
intern

46

Fraunhofer
IBP

46

Messergebnisse



Wärme-
Widerstand
R-Wert:
2,14 W/m²K
1,60 W/m²K
1,73 W/m²K
2,38 W/m²K

Trotz niedrigem Dämmwert hat die Schüttung nicht die höchste Temperatur!

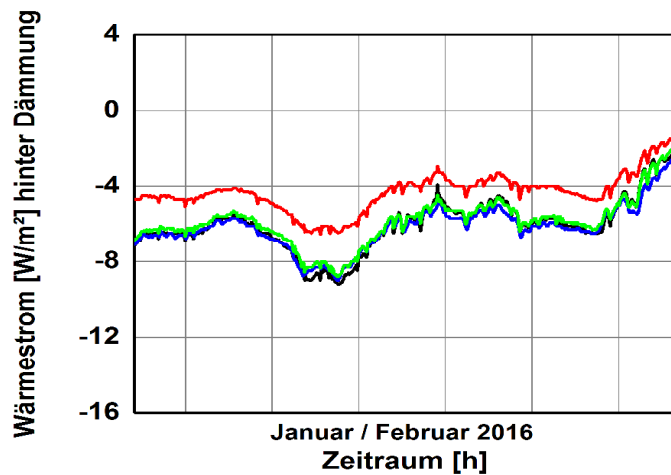
© Fraunhofer intern

47

Fraunhofer IBP

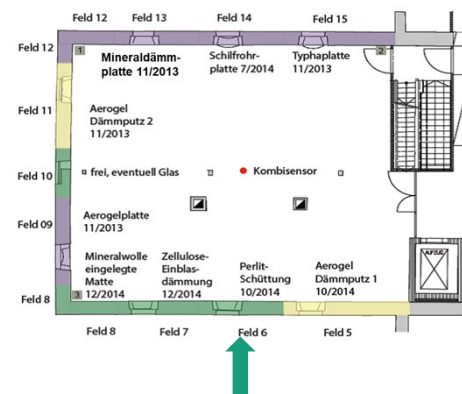
47

Messergebnisse



R-Wert:
2,14 W/m²K
1,60 W/m²K
1,73 W/m²K
2,38 W/m²K

— hochdämmend (Aerogel)
— Schüttung (Perlite)
— nachwachsend (Typha)
— kapillaraktiv (Mineralschaum)



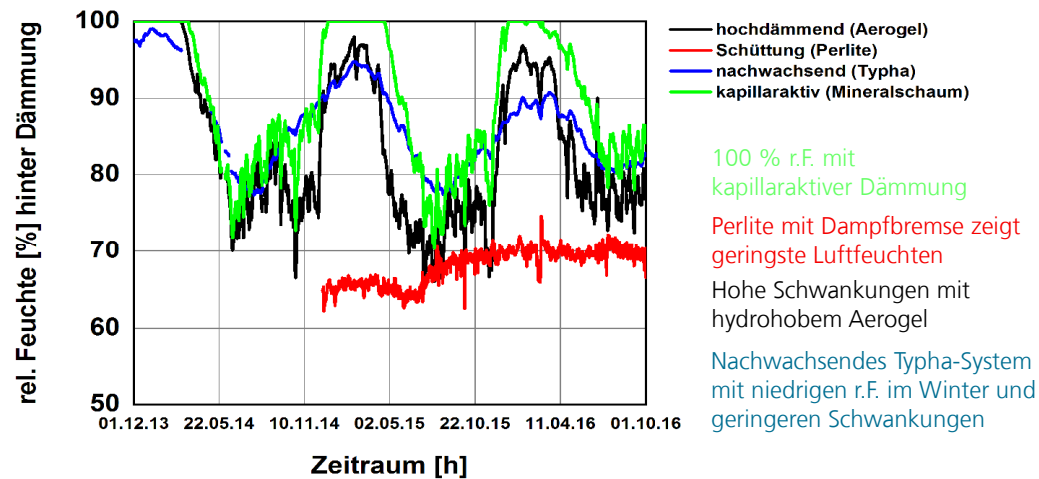
© Fraunhofer intern

48

Fraunhofer IBP

48

Messergebnisse



© Fraunhofer

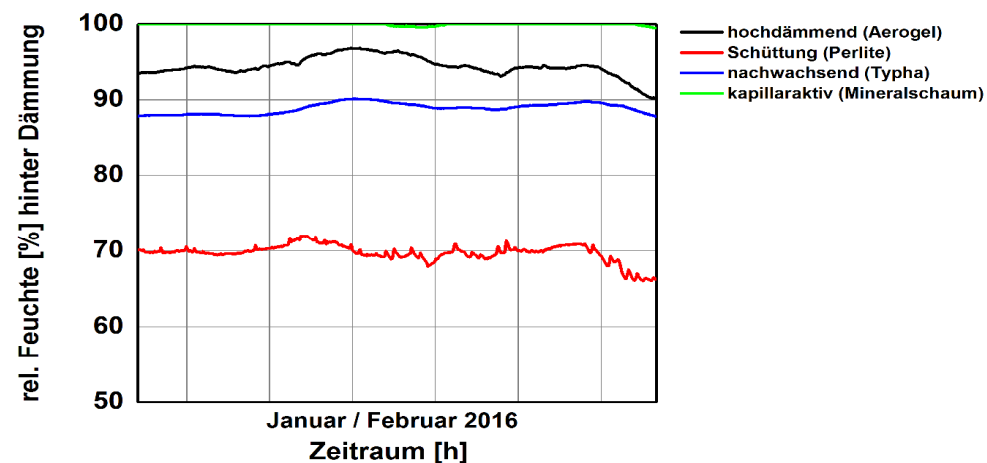
intern

49

Fraunhofer
IBP

49

Messergebnisse



© Fraunhofer

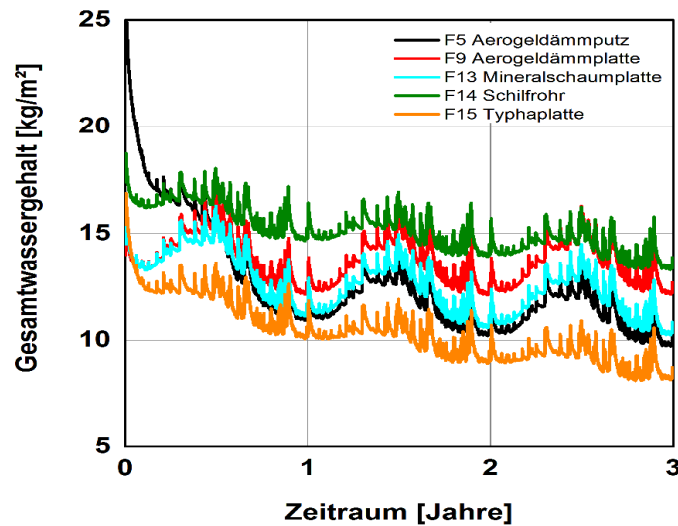
intern

50

Fraunhofer
IBP

50

Austrocknung der Einbaufeuchte



Aerogeldämmputz mit hohen Einbaufeuchten, aber schnelle Trocknung

Schilfrohr mit geringen Einbaufeuchten, aber langsamer Trocknung

Aerogeldämmplatte mit geringen Einbaufeuchten, aber rel. hoher langfristiger Feuchte

Niedrigste Feuchten bei Typha

© Fraunhofer

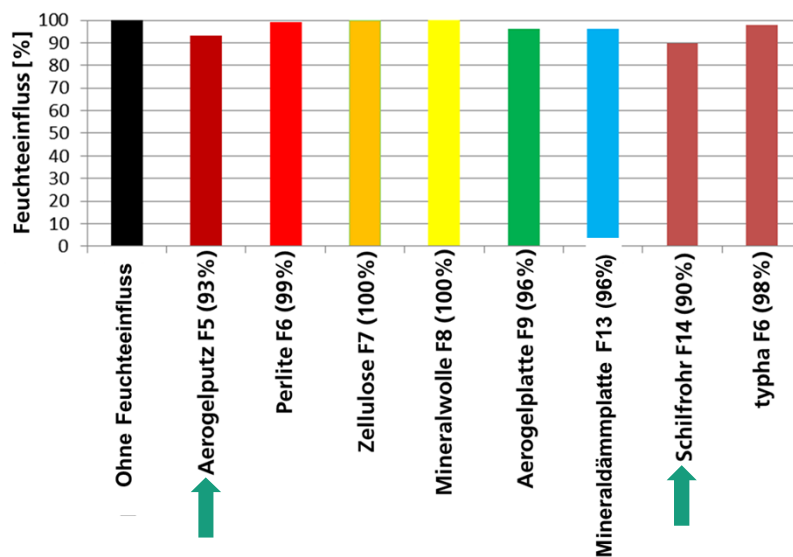
intern

51

Fraunhofer IBP

51

Einfluss der Feuchtegehalte



© Fraunhofer

intern

52

Fraunhofer IBP

52

Bewertung - Kriterien

Aspekt	Kriterium	Bewertungsmaßstab
Denkmalpflege	Aufwand für Reversibilität	++ Trockenbausysteme, bei denen als Trennschicht lediglich Japanpapier erforderlich ist + geklebte Systeme, die ein spezielles reversibles Vorputzsystem erfordern
	Beeinträchtigung der Originalsubstanz	++ verklebte Systeme (ohne zusätzliche Dübel) auf reversiblen Grund + Ständerkonstruktion, die speziellen Boden- bzw. Deckenanschluss zum Halten der Ständerkonstruktion erfordern o Systeme, die eine Ständerkonstruktion und eine Verklebung benötigen
	Einbauvariante Laibung	++ gleicher Systemaufbau in Wandfläche wie in der Laibung + systemähnlicher Aufbau, gleiche Materialgruppe in Wandfläche und Laibung o kompletter Systemwechsel, unterschiedliche Systemaufbauten in Wandfläche und Laibung
Energieeffizienz	Wärmedurchlasswiderstand/Systemdicke	++ über die gesamte Aufbaudicke gemittelt Wärmeleitfähigkeit liegt unter 0,035 W/mK o über die gesamte Aufbaudicke gemittelt Wärmeleitfähigkeit liegt über 0,045 W/mK
	Feuchteinfluss Wärmeleitfähigkeit	++ die Wärmedurchlasswiderstand des Systems wird durch die vorhandene Feuchte um weniger als 3 % reduziert o der Wärmedurchlasswiderstand des Systems wird durch die vorhandene Feuchte um mehr als 5 % reduziert
Feuchteschutz	Einbaufeuchte	++ Trockenbausysteme mit sehr geringer Einbaufeuchte + mit Außenwand verklebt, Baufeuchte nur durch Kleber und evtl. reversibles Putzsystem; trockener Dämmstoff o relativ hohe Baufeuchte im gesamten Innendämmsystem, z.B. Dämmputz
	Trocknungszeit	++ sehr schnelle Austrocknung der Baufeuchte (Trockenbausysteme) + relativ diffusionsoffene Systeme mit relativ schneller Austrocknung o Systeme mit relevanter Einbaufeuchte, aber langsamer Austrocknung (z.B. aufgrund vorhandener Dampfbremse)
	Schimmelrisiko Bestandsoberfläche*	++ Mould-Index der ersten Winterperiode < 1 o Mould-Index der ersten Winterperiode > 3
	Schimmelrisiko hinter der Dämmung*	++ Mould-Index der ersten Winterperiode < 1 o Mould-Index der ersten Winterperiode > 3
	Schimmelrisiko langfristig* (nach 2 Jahren)	++ Mould-Index der ersten Winterperiode < 1 o Mould-Index der ersten Winterperiode > 3
	Fehlertoleranz	++ kapillaraktive Systeme ohne Dampfbremse, wegen Vorteilen bei punktuell Feuchteeintrag + hydrophobe Systeme ohne Dampfbremse o Systeme mit Dampfbremse, wegen möglicher Schadensanfälligkeit durch nachträgliche Einbauten (z.B. Steckdose)
Bautechnisch	Brandschutz	++ schwer entflammbares Material und hoher Feuerwiderstand des Gesamtsystems + normal entflammbares Material und mittlerer Feuerwiderstand des Gesamtsystems o normal entflammbares Material und geringer Feuerwiderstand des Gesamtsystems
	Mechanische Belastbarkeit	++ Anbringung von Hängeschränken möglich + Anbringung von Dekorationsselementen (z.B. gerahmte Bilder) möglich
Ökonomie	Materialkosten	++ geringe Materialkosten (< 100 €/m²) + mittlere Materialkosten zwischen 100 €/m² und 500 €/m² o hohe Materialkosten (> 500 €/m²)
	Einbauaufwand	++ wieder Ständerkonstruktion noch zusätzliche Ausgleichsschicht erforderlich + entweder Ständerkonstruktion oder zusätzliche Ausgleichsschicht erforderlich o sowohl Ständerkonstruktion als auch zusätzliche Ausgleichsschicht erforderlich
Ökologie	Primärenergieeinsatz Dämmstoff	++ sehr geringer energetischer Aufwand für Materialherstellung + mittlerer energetischer Aufwand für Materialherstellung o hoher energetischer Aufwand für Materialherstellung
	Materialursprung	++ nachwachsend + mineralisch o petrochemisch

© Fraunhofer

Fraunhofer
IBP

53

Bewertung

Kriterium/Material	Aerogelputz	Perlite	Zellulose	Mineralwolle	Aerogelplatten	Aerogelputz	Mineraldämmplatten	Schilfrohmatten	Typhaboard	gefüllter Ziegel	Wichtung innerhalb Bewertungsbereich
Feld	5	6	7	8	9	11	13	14	15	1	[%]
Aufwand für Reversibilität	+	++	++	++	+	+	+	+	+	++	30
Beeinträchtigung der Originalsubstanz	++	+	+	+	++	++	++	o	++	+	40
Einbauvariante Laibung	++	+	o	n.b.	++	++	++	++	++	+	30
Wärmedurchlasswiderstand/Systemdicke	++	o	+	+	++	++	+	o	o	o	80
Feuchteinfluss Wärmeleitfähigkeit	o	++	++	++	+	o	+	o	++	++	20
Einbaufeuchte	o	++	++	++	+	o	+	+	+	++	25
Trocknungszeit	+	++	++	++	+	+	+	+	+	++	20
Schimmelrisiko Bestandsoberfläche*	+	++	++	++	++	+	o	o	++	n.b.	10
Schimmelrisiko hinter Dämmung*	o	++	++	++	+	o	+	o	++	n.b.	10
Schimmelrisiko längerfristig (nach 2 Jahren)*	++	++	++	++	++	++	++	+	++	n.b.	10
Fehlertoleranz	++	o	o	o	+	++	++	o	++	+	25
Brandschutz	++	++	+	++	++	++	++	o	++	++	60
mechanische Belastbarkeit	o	+	++	+	o	o	o	+	++	++	40
Materialkosten	o	++	++	++	o	o	+	++	o	+	40
Einbauaufwand	++	+	+	+	+	++	+	o	+	o	60
Primärenergieeinsatz Dämmstoff	o	+	++	++	o	o	++	++	++	+	40
Nachwachsend/Mineralisch/Petrochemisch	+	+	++	+	+	+	+	++	++	+	30
Treibhauspotential/Rückbau/Recycling	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	30

* stark von den Randbedingungen abhängig und bei korrekter Bauausführung von untergeordneter Bedeutung

© Fraunhofer

Fraunhofer
IBP

54

Bewertung

Benotungssystem:

++ =1

+ =2

o =3

Kriterium/Material	Aerogelputz	Perlite	Zellulose	Mineralwolle	Aerogelplatten	Aerogelputz	Mineraleisplatten	Schilfrohmatten	Typhaboard	Gefüllter Ziegel	Wichtung der einzelnen Aspekte
Feld	5	6	7	8	9	11	13	14	15	1	
Denkmalpflegerische Aspekte	1,3	1,7	2,0	1,8	1,3	1,3	1,3	2,1	1,3	1,7	15
Energetische Aspekte	1,4	2,6	1,8	1,8	1,2	1,4	2,0	3,0	2,6	2,6	20
Feuchteschutzaspekte	2,0	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0	1,8	2,7	1,3	1,4	30
Bautechnische Aspekte	1,8	1,4	1,6	1,4	1,8	1,8	1,8	2,6	1,0	1,0	10
Ökonomische Aspekte	1,8	1,6	1,6	1,6	2,4	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	10
Ökologische Aspekte	2,4	2,0	1,3	1,6	2,4	2,4	1,6	1,3	1,0	2,0	15
Mittelwert aller Aspekte	1,8	1,8	1,6	1,6	1,8	1,8	1,7	2,4	1,6	1,8	100

Schraffierte Felder: nicht alle Kriterien wurden untersucht

© Fraunhofer

Fraunhofer
IBP

55

Zusammenfassung

- Reversible Applikationssysteme für Innendämmung entwickelt
- Auch nach 3 Jahren noch rel. Einfache schadensarme Entfernung möglich
- Durch rechnerische Eignungstests wurde vor Einbau der Systeme die Schadensfreiheit sicher gestellt
- Die Messungen zeigen vor allem im feuchtetechnischen Verhalten Unterschiede
- Es wurde eine vergleichende Bewertung durchgeführt :

**Jedes System zeigt spezifische Vor- und Nachteile
(z.B. Nachhaltigkeit versus Kosten)**

- je nach Zielsetzung und Schwerpunkten bei der Sanierung kann damit das passendste System ausgewählt werden

© Fraunhofer

intern

56

Fraunhofer
IBP

56