



WKI · FRAUNHOFER-INSTITUT · Bienroder Weg 54 E · D-38108 Braunschweig

GUTEX Holzfaserplattenwerk
H.Henselmann GmbH & Co.
Gutenberg 5

79761 Waldshut-Tiengen

Institutsleiter:
Prof. Dr. Rainer Marutzky

Bienroder Weg 54 E
D-38108 Braunschweig

Telefon +49 (0) 531/2155-0
Telefax +49 (0) 531/351587
<http://www.wki.fraunhofer.de>

Bearbeiter
Dipl.-Ing. (FH) Norbert Rüther
Durchwahl +49 (0) 531/2155-402
Telefax +49 (0) 531/2155-451
norbert.ruether@wki.fraunhofer.de

Ihr Zeichen

Ihre Nachricht vom

Unser Zeichen

Braunschweig, den
19. Februar 2008

Untersuchungsbericht Nr. U 628/2008

Auftrag vom: 08. Januar 2008

Auftraggeber: GUTEX Holzfaserplattenwerk
H.Henselmann GmbH & Co.
Gutenberg 5
79761 Waldshut-Tiengen

**Gegenstand des
Untersuchungsberichtes:** Untersuchung des bauphysikalischen Verhaltens von Innen-
dämmungen mit Holzfaserdämmplatten „GUTEX Thermo-
room“

**Inhalt des Untersuchungsbe-
richtes :** siehe Inhaltsverzeichnis Seite 2

Der Untersuchungsbericht enthält mit Anhang insgesamt 31 Seiten.

Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nur mit schriftlicher Zustimmung des Fraunhofer-
Instituts für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut, Bienroder
Weg 54 E, in 38108 Braunschweig statthaft.

WKI ist eine eingetragene Marke
der Fraunhofer-Gesellschaft

Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e.h. mult. Dr. h.c. mult.
Hans-Jörg Bullinger, Präsident
Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Buller
Dr. rer. pol. Alfred Gossner

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e. V., München

Bankverbindung: Deutsche Bank, München
Konto 75-21 933 BLZ 700 700 10
IBAN: DE8670070010 0752 193300
BIC (SWIFT-Code): DEUTDEMM
UST-Id-Nr. DE 129515865
Steuernummer 143/215/20392



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Systematik der Konstruktionen	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	Bauteilaufbau	5
3	Systematik der Untersuchungen	6
3.1	Rechenprogramme	6
3.2	Parametervariation	7
3.3	Konstruktionsvarianten	8
4	Ergebnisse	9
4.1	Randbedingungen für Innendämmungen – Einsatzgrenzen	10
4.1.1	Allgemein	10
4.1.2	Einsatzgrenzen und -grundsätze von Innendämmungen	11
5	Zusammenfassung	12
6	Anhang	13
6.1	Ergebnistabellen und Abbildungen	13
6.2	Klimate	21
6.2.1	Glaser	21
6.2.2	Holzkirchen	22
6.2.3	Braunschweig	24
6.3	Materialdaten	26
6.4	Sonstige Randbedingungen	31

1 Aufgabenstellung

Das Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) / Braunschweig wurde von der Fa. GUTEX Holzfaserplattenwerk H. Henselmann GmbH / Waldshut-Tiengen beauftragt, das bauphysikalische Verhalten von Konstruktionen mit Innendämmungen des Systems „GUTEX Thermoroom“ zu untersuchen, sowie Konstruktionsvorschläge zu unterbreiten und zu bewerten.

2 Systematik der Konstruktionen

2.1 Allgemeines

Innendämmungen werden üblicherweise zur Renovierung und energetischen Ertüchtigung im Gebäudebestand eingesetzt. Somit ergibt sich eine sehr große Vielzahl an Konstruktionsvarianten – vom Fachwerk mit seinen diversen Hölzern und Gefachungen über Natursteine unterschiedlicher Herkunft und Eigenschaften bis zum großformatigen Fertigbau des sozialen Wohnungsbaus. Alle Konstruktionen können jedoch hinsichtlich ihres bauphysikalischen Verhaltens mit einer relativ geringen Anzahl an Parametern beschrieben werden. Hier sind vor allem der U-Wert, der hauptsächlich durch die Wärmeleitfähigkeit und die Dicke des Bauteils bestimmt wird, und der sd-Wert, der sich durch Multiplikation des μ -Wertes mit der Bauteildicke ergibt, relevant.

Weiterhin sind kapillare Transportvorgänge bei Auftreten von flüssigem Wasser wichtig, die jedoch im ersten Ansatz auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt wurden. Da eventuell anfallendes Kondenswasser in der Grenzschicht zwischen Innendämmung und alter Wand auftritt, werden kapillaraktive Baustoffe dieses Wasser aus der Ebene heraus ableiten, über einen größeren Querschnitt verteilen und somit den Wassergehalt in der Grenzschicht erheblich verringern.

Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass die alten Konstruktionen intakte Fassaden aufweisen und dass keine aufsteigende Feuchtigkeit eindringt. Konstruktionen mit außerplanmäßigem Feuchteeintrag müssen individuell betrachtet und können nicht über pauschale Annahmen bewertet werden.

Zur systematischen Bewertung wurden die Konstruktionen in Schichten aufgeteilt, die jeweils bestimmte Eigenschaften übernehmen müssen:

- Innere Schicht: Die erste innere Funktionsschicht ist üblicherweise eine Dampfbremse, Dampfsperre oder ähnliches. Der einzige, für diese Untersuchungen relevante Kennwert, ist der s_d -Wert. Da innerhalb dieser Untersuchungen auch sehr diffusionsoffene Varianten untersucht worden sind, wird diese Schicht in der Regel nicht mit Dampfbremse (DB) o.ä. bezeichnet sondern weiterhin mit „innere Schicht“ (Ausnahme: Tabelle 2).
- Innendämmung: Diese Schicht wird innerhalb einer Materialgruppe durch die Wärmeleitfähigkeit (λ), den μ -Wert und die Rohdichte (ρ) hinreichend genau beschrieben. Zwischen den Materialgruppen wie z.B. Mineralfaserdämmung, Schäumen und Holzfaserdämmungen sind jedoch weitere relevante Unterscheidungsparameter wie z.B. das Sorptionsverhalten relevant. Da innerhalb dieses Vorhabens jedoch ausschließlich Holzfaserdämmungen berücksichtigt wurden, wurden keine weiteren Parameter variiert.
- Klebeschicht: Damit keine außerplanmäßigen Hohlräume zwischen Innendämmung und alter Wand entstehen, erscheint es sinnvoll, die Dämmung vollflächig mit der alten Wand zu verkleben. Neben mechanischen Eigenschaften, die innerhalb dieser Untersuchungen nicht betrachtet wurden, sollte diese Schicht möglichst kapillarakktiv und diffusionsoffen sein, da üblicherweise in dieser Ebene planmäßig die größte Menge Kondenswasser ausfällt. Diese Schicht wird im Folgenden weiter als Klebeschicht bezeichnet, obwohl sie nicht zwangsläufig Klebewirkungen aufweisen muss. Aufgrund der erforderlichen hohen Feuchtespeicherfähigkeit der Klebeschicht werden im Allgemeinen ausschließlich mineralische Kleber wie z.B. Klebemörtel o.ä. Verwendung finden.
- Alte Wand: Diese Schicht kann, wie schon erwähnt, die vielfältigsten Kombinationen, vom Fachwerk, über Natur- und Mauersteine bis zum Beton aufweisen. Alle werden jedoch nach erstem Ansatz, bei Vernachlässigung der Eigenschaften gegenüber dem Transport von flüssigem Wasser, hinreichend genau über die Kennwerte Wärmeleitfähigkeit, μ -Wert und Rohdichte beschrieben. Nach den ersten Ergebnissen der Parametervariation zeigte sich, dass auch die Rohdichte im üblichen Rohdichtebereich von Außenwandmaterialien von eher untergeordneter Bedeutung ist.

2.2 Bauteilaufbau

Das Prinzip des Bauteilaufbaus ist in Abbildung 1 dargestellt. Den einzelnen Schichten sind für die jeweils relevanten Eigenschaften unterschiedliche Werte zugeordnet worden, die innerhalb dieses Berichtes näher beschrieben werden (siehe auch Tabelle 1 und Tabelle 2, sowie die exemplarische Auflistung der Eingabeparameter für die Simulationssoftware im Anhang dieses Berichtes).

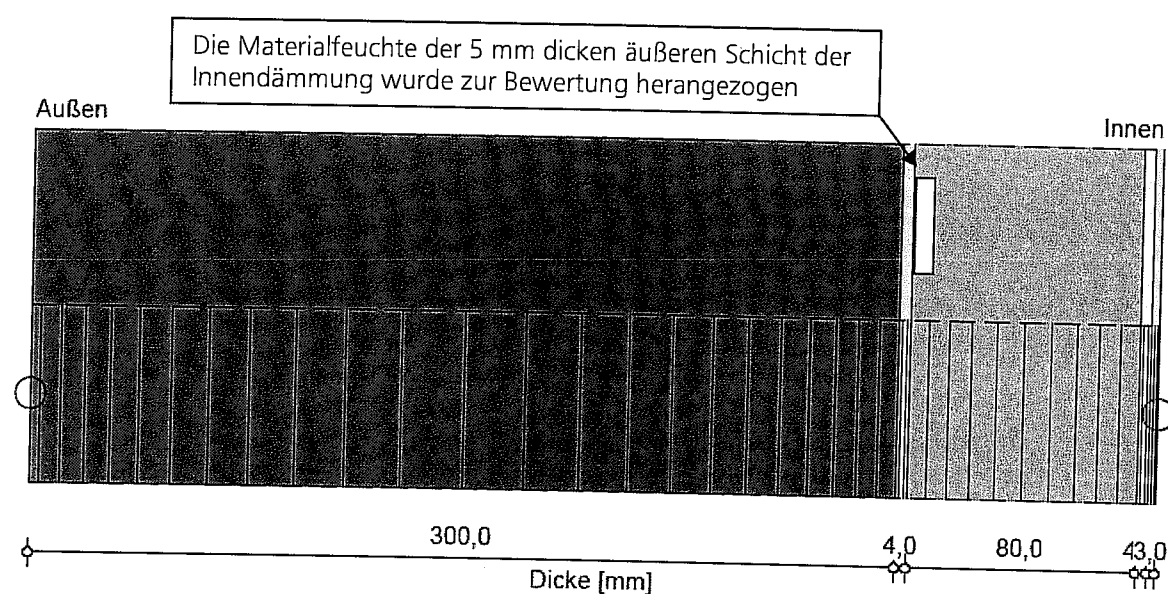


Abbildung 1: Exemplarische, systematische Darstellung der berechneten Wandaufbauten mit Kennzeichnung der Stelle, dessen Materialfeuchtigkeit zur Bewertung herangezogen wurde

3 Systematik der Untersuchungen

Die Untersuchung des bauphysikalischen Verhaltens erfolgte mit Hilfe numerischer Verfahren. Dazu wurden zwei unterschiedliche Rechenprogramme genutzt. Mit Hilfe des Programms TUN wurde eine umfangreiche Parametervariation durchgeführt und mit WUFI wurde das bauphysikalische Verhalten einzelner Konstruktionen berechnet und ausgewertet.

3.1 Rechenprogramme

Die Programme TUN und WUFI erlauben die Berechnung mehrdimensionaler und instationärer Wärme- und Feuchtetransportvorgänge. Der Wärmetransport wird durch die Fourier'sche Differentialgleichung modelliert, der Feuchtetransport durch das 1. Fick'sche Gesetz. Die Wärmeleitfähigkeit λ kann als Konstante und als feuchteabhängiger Wert $\Delta\lambda/\Delta u$ angegeben werden. Der Diffusionskoeffizient D wird nach der empirisch ermittelten Schirmer-Beziehung bestimmt, die sich auch in DIN 52615 und DIN EN ISO 12572 findet:

$$D = 0,083 \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,81} \quad \text{Gl.(1)}$$

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ wird programmintern nach einer Gleichung von Husseini berechnet, die um einen Faktor μ_1 erweitert wurde und die μ nicht als Funktion der relativen Luftfeuchte sondern als Funktion der Materialfeuchte darstellt:

$$\mu = \mu_1 + \mu_0 \cdot e^{k_\mu \cdot u} \quad \text{Gl.(2)}$$

In dieser Gleichung stellt μ_1 eine untere Schranke für den Diffusionswiderstand dar, während μ_0 die Diffusionswiderstandszahl bei einer Materialfeuchte von 0 M.-% angibt, für den Fall, dass $\mu_1=0$ ist. Die stoffspezifische Konstante k_μ kann nach einer Methode von Husseini aus den Diffusionswiderstandszahlen des Trocken- und des Nassbereiches nach DIN 52615 bzw. DIN EN ISO 12572 ermittelt werden. Zur Beschreibung des Sorptionsverhaltens sind im Programm mehrere Sorptionsisothermen hinterlegt. Sie können über Parameter an materialspezifische Verhältnisse angepasst werden. Das Programm benötigt als weitere Materialkennwerte für die Berechnungen die spezifische Wärmekapazität c , die Rohdichte ρ , die Porosität und, wenn mit Kapillarleitung gerechnet werden soll, die Leitwerte für kapillares Saugen und Weiterleiten. Die Differentialgleichungen werden für die Simulation nach der Methode von Crank-Nicolson in Differenzgleichungen umgestellt. Dazu wird ein Bauteil, je nach Problemstellung, in 1-, 2- oder 3-dimensionale Elemente, also in Streckenabschnitte, Rechtecke oder Quader zerlegt (Elementierung). Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt iterativ nach der sukzessiven Überrelaxation oder der Methode der konjugierten Gradienten. Die numerische Stabilität der Rechnung hängt außer von der gewählten Lösungsmethode auch von den Elementgrößen und der Zeitschrittwei-

te ab. Bei festgelegter Elementierung ist die Zeitschrittweite nach oben begrenzt, eine feinere Elementierung hat einen überproportional wachsenden Rechenaufwand zur Folge. Für die Berechnungen gibt es zwei Abbruchkriterien, zum einen eine maximale Anzahl an Iterationsschritten und zum anderen eine vorgegebene obere Schranke bei den Lösungsdifferenzen aufeinander folgender Iterationsschritte.

Über eine Steuerdatei werden dem Simulationsprogramm die benötigten Parameter für Wärme- und Feuchteleitung sowie Wärme- und Feuchtespeicherung, die klimatischen Randbedingungen, die geometrische Zerlegung, also Elementierung des Bauteils, sowie bestimmte Steuer- und Ausgabeparameter vorgegeben. Die Steuerdatei kann bei TUN in einem beliebigen Texteditor bearbeitet werden, bei WUFI erfolgt die Bearbeitung menügesteuert.

Die Berechnungsergebnisse können als Textdatei ausgegeben und mit geeigneten Computerprogrammen ausgewertet werden.

Mit dem Programm TUN lassen sich über automatische Parametervariationen sehr viele Varianten automatisch erzeugen und berechnen, so dass sich dieses Programm hervorragend dazu eignet, systematische Untersuchungen zur Ermittlung von Tendenzen durchzuführen. Das Programm WUFI hat komfortablere und umfangreichere Eingabemöglichkeiten als TUN und eignet sich somit sehr gut zur weitestgehend exakten Bewertung konkreter Bausituationen.

3.2 Parametervariation

Zur ersten groben Einstufung der Konstruktionsvarianten und zur Abschätzung weiterer erforderlicher Untersuchungen wurden, wie bereits erwähnt, Parametervariationen vorgenommen. Tabelle 1 zeigt, welcher Kennwert einer jeweiligen Ebene mit welchen Werten zur Berechnung herangezogen wurde. Es wurde eine vollfaktorielle Variation vorgenommen, so dass sich insgesamt 324 Varianten ergeben.

Tabelle 1: Faktoren der Parametervariation

innere Schicht (DB)	Innendämmung			Klebeschicht	alte Wand		
	μ	λ	ρ		μ	λ	ρ
sd-Wert [m]	[-]	[W/(m*K)]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[W/(m*K)]	[kg/m ³]
0,1	3	0,04	50	10	5	0,2	600
1			150		20	0,5	1000
10			200		100	1,0	1500
100							

3.3 Konstruktionsvarianten

In weiteren Schritten nach der Parametervariation wurden weitere Konstruktionsvarianten berechnet, wobei diesmal auch unterschiedliche Klimate berücksichtigt wurden: Das Klima, welches nach dem Glaserverfahren üblicherweise angesetzt wird (-10°C/80% LF), das sogenannte Holzkirchener Klima (Hoki) von 1991 als für Deutschland relativ extremes Klima und ein gemäßigtes Klima aus dem norddeutschen Raum (Klimastandort Braunschweig – BS). Im Anhang sind Details zu den einzelnen Klimaten grafisch dargestellt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Varianten.

Tabelle 2: Beschreibung der berechneten Varianten

Variante	Kleber		Innendämmung		alte Wand		DB	Klima
	Dicke		Rohdichte	λ	μ	λ	s_d	
	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[W/(m*K)]		[W/(m*K)]	[m]	
1	10	60	150	0,04	100	1,0	0,1	Glaser
2	4							
3	10							
4	4							
5								
6	10							
7								
8	4	130	0,04	30	0,8	1	Glaser	
9								
10	10	20	100	2	0,1	1	BS	
11		80						
12								
13		20						
14								
15	80							
16								
17	div.					0,3	Glaser	

4 Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt beispielhaft einzelne Ergebnisse der Parametervariation. Es ist jeweils die maximale Materialfeuchte des äußersten, 5 mm dicken Elementes der Holzfaserdämmung jeder Variante zum Ende der Berechnung aufgetragen. Jede Variante unterscheidet sich ausschließlich durch einen Parameter von einer anderen Variante (siehe auch Tabelle 3). Bei den Varianten 1 bis 3, 4 bis 6, 7 bis 9... und 34 bis 36 wird jeweils ausschließlich der μ -Wert der äußeren Wand ($\mu = 5, 20$ und 100) variiert. Die Varianten 1, 4, 7 und 10 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Parameter ausschließlich im sd-Wert der inneren Schicht ($sd = 0,1, 1, 10$ und 100 m), die Varianten 1, 13 und 25 in der Wärmeleitfähigkeit der äußeren Wand. Aus dieser Abbildung lassen sich sehr deutlich nachstehend aufgeführte Tendenzen ablesen:

1. Je diffusionsdichter die äußere Wand ist, desto mehr Kondenswasser fällt an (Linie 1). Der Einfluss wird jedoch umso geringer, je diffusionsdichter die innere Schicht ist (Linie 1a).
2. Je größer die Wärmeleitfähigkeit der äußeren Wand ist, desto mehr Kondenswasser fällt an (Linie 2). Der Einfluss wird jedoch umso geringer, je diffusionsdichter die innere Schicht ist (Linie 2a).
3. Je diffusionsdichter die innere Schicht ist, desto weniger Kondenswasser fällt an (Linie 3), wobei der Unterschied zwischen $0,1$ m und 1 m (z.B. Variante 1 und 4) wesentlich (!) größer ist als zwischen 10 m und 100 m (z.B. Variante 8 und 11). Der Unterschied zwischen $0,1$ m und 10 m ist wiederum umso größer, je höher die Wärmeleitfähigkeit der äußeren Wand ist (Linie 3a) und je niedriger (!) der sd-Wert der inneren Schicht (z.B. Vergleich der Varianten 1 und 4 bzw. 3 und 6)

In Abbildung 3 wird der Einfluss der Diffusionseigenschaften der inneren Schicht noch mal verdeutlicht, ebenso jedoch auch die Wichtigkeit, für eine ausreichend große Menge Speicherkapazität zu sorgen. Auch hier ist wiederum die Materialfeuchte des äußersten 5 mm dicken Elementes der Holzfaserdämmung aufgetragen, jedoch über den Rechenverlauf. Während bei Var 2 die Materialfeuchte auf weit über 100% steigt, beträgt die errechnete Materialfeuchte bei Var 3 nur ca. $1/3$ der von Var 2. Dieser Effekt wird nur dadurch erzielt, dass anstelle einer 4 mm dicken Speicherschicht (Klebeschicht) eine 10 mm dicke bei der Berechnung angesetzt worden ist. Durch eine Erhöhung des sd-Wertes der inneren Schicht von $0,1$ m auf $0,3$ m (Var 2 – Var 9) wird in etwa eine Halbierung der Materialfeuchte erreicht. Abbildung 6 zeigt den Einfluss des sd-Wertes der inneren Schicht auf die Materialfeuchte der Dämmung, beispielhaft an Konstruktionen mit einer Dicke der Klebers von 4 mm, einer Dicke der Dämmung von 60 mm, einem μ -Wert der alten Wand von 100, einer Wärmeleitfähigkeit der alten Wand von $1,0$ $W/(m \cdot K)$ und einem variierten sd-Wert der inneren Schicht von $0,1$ m, $0,3$ m, $1,0$ m, $2,0$ m und $5,0$ m.

Abbildung 4 verdeutlicht den Einfluss des Gebäudestandortes und des vorherrschenden Klimas. Die Varianten 4 und 5 unterscheiden sich ausschließlich im zur Berechnung angesetzten Klima. Während bei Var 4 mit dem extremen Alpenvorlandklima (Holzkirchen) die errechnete Material-

feuchte an der einen betrachteten Stelle auf ca. 90 % steigt, feuchtet die Dämmung an der gleichen Stelle, jedoch bei Berücksichtigung des analogen Braunschweiger Klimas (Var 5) auf nur ca. 30 % auf. Abbildung 8 zeigt die gleichen Tendenzen in anderer Darstellungsweise.

Abbildung 7 zeigt anschaulich den Einfluss der Dicke der feuchtespeicherfähigen Schicht für zwei unterschiedlich dicke Innendämmungen. Bei relativ geringer Dicke der speicherfähigen Schicht unter ca. 10 mm steigt die Materialfeuchte der Dämmung stark überproportional an. Eine mehr als ca. 20 mm dicke Schicht hat wiederum nur untergeordnete Auswirkungen. Auf den ersten Blick wirkt es erstaunlich, dass die Materialfeuchte bei dickerer Dämmung, trotz kälterer Außenwand, geringer ist als bei dünnerer Dämmung. Dieser Effekt ist jedoch nur bei relativ dünner Dicke der feuchtespeicherfähigen Schicht zu beobachten. Zu erklären ist dieser Effekt mit der im Vergleich zu Mineralwolle hohen Speicherfähigkeit der Holzfaserdämmung. Im Vergleich zu massiven mineralischen Baustoffen ist die Feuchtespeicherfähigkeit von Holzfaserdämmstoffen jedoch relativ gering, weshalb eine geringere Dicke der speicherfähigen Schicht nicht kompensiert werden kann. Abbildung 9 zeigt gleiche Tendenzen wie zuvor beschrieben, exemplarisch für Konstruktionen mit unterschiedlichen Diffusionseigenschaften der inneren Schicht.

4.1 Randbedingungen für Innendämmungen – Einsatzgrenzen

4.1.1 Allgemein

Durch Innendämmungen wird die tragende Wandkonstruktion im Winter vor einem Wärmeeintrag aus dem Innenraum und im Sommer vor einer Wärmeabgabe an den Innenraum gehindert. Somit erfüllen gut geplante und ausgeführte Innendämmungen die wesentlichen Grundbedingungen für eine komfortable Raumtemperierung. Da außen liegende Wärmedämmungen (z.B. Wärmedämm-Verbundsysteme mit Holzfaserdämmung) die tragende Wand vor hohen Temperaturschwankungen schützen und bei richtiger Ausführung einen guten Wetterschutz bieten, sind diese in mitteleuropäischen Klimaten prinzipiell besser geeignet. Jedoch gibt es Situationen wie z.B. Forderungen aus dem Denkmalschutz, die eine Innendämmung erforderlich machen. Dadurch, dass die tragende Wand im Winter durch die Innendämmung relativ kalt wird, ist es sehr wahrscheinlich, dass Kondenswasser in der Grenzschicht von Innendämmung zur alten Wand anfällt. Eine Verhinderung einer Kondenswasserbildung ist nahezu unmöglich, da z.B. Dampfsperren erfahrungsgemäß an den Anschlüssen und Durchdringungen zu Problemen führen. Die Erkenntnisse der letzten Jahrzehnte zeigen, dass die oberste Priorität dahingehend gesetzt werden muss, eventuell anfallendes Kondenswasser zu verteilen, zu speichern und bei entsprechenden Klimabedingungen wieder abzugeben. Konstruktionen die, auch zur Raumseite hin, relativ diffusionsoffen sind und Feuchtigkeit zwischenspeichern können, weisen aufgrund des hohen Austrocknungspotentials in der Regel eine wesentlich größere Sicherheit auf, als Konstruktionen, die mit nicht speicherfähigen (Mineralwolle, Hartschäume) und gering diffusionsfähigen (Hartschäume, PE-Folien) Materialien erstellt werden. Solche Materialien haben eine größere Fehleranfälligkeit bei unplanmäßig eindringender Feuchtigkeit, da diese dann in der Regel als freies Wasser anfällt.

4.1.2 Einsatzgrenzen und -grundsätze von Innendämmungen

Grundsätzlich sind Innendämmungen bei eindringender Feuchtigkeit (z.B. aufgrund von aufsteigender Feuchtigkeit aus dem Erdreich oder schadhafter Fassaden) kritisch zu betrachten.

Weiterhin sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Eine Dampf bremsende Wirkung der innersten, zum Raum zugewandten Ebene vermindert den Kondenswasseranfall. Bei unbekanntem Außenkonstruktion sollte die innerste Ebene einen s_d -Wert von ca. einem bis ca. drei Meter aufweisen. Dampfdichtere Materialien führen nicht unbedingt zu sicheren Konstruktionen. Aus Abbildung 10 und Abbildung 11 geht hervor, dass die Materialfeuchte der Innendämmung an der Grenzschicht zur alten Wand bei ungünstigen Randbedingungen sehr stark ansteigen kann, wenn die innere Schicht nicht Dampf bremsend wirkt. Bei Verwendung z.B. einer Sanierungstapete mit Dampf bremsenden Eigenschaften, bleibt die Materialfeuchte selbst bei ansonsten ungünstigen Randbedingungen auf einem unkritischen Niveau (Abbildung 11).
- Die Konstruktionen werden umso sicherer, je besser anfallendes Kondenswasser durch Kapillarkräfte über die Konstruktion verteilt und gespeichert werden kann. Abbildung 12 zeigt Temperatur und Feuchtigkeit in einer Konstruktion mit Innendämmung und sehr diffusionsoffener, raumseitiger Beschichtung (Lehmputz), bei der jedoch die Innendämmung auf einer günstig wirkenden alten Wand aufgebracht wurde.
- Die Dämmung sollte die Fähigkeit aufweisen, so viel Wasserdampf wie möglich zwischenspeichern zu können. Dies gelingt durch die Verwendung schwerer, sorptiver Dämmungen wie z.B. Holzfaserdämmungen. Eine Holzfaserdämmung mit einer Rohdichte von z.B. 130 kg/m^3 kann ca. 10 bis 15 Liter Wasser je m^3 speichern, ohne die Eigenschaften relevant zu verändern. Bei einer Mineralfaserdämmung mit einer Rohdichte von ca. 25 kg/m^3 beträgt die speicherfähige Masse nur ca. 1 bis 1,5 Liter Wasser je m^3 .
- Die raumseitig zugewandte Oberfläche der alten Wand sollte so kapillaraktiv wie möglich sein, damit eventuell anfallendes Kondenswasser schnell und zuverlässig aus der Ebene abgeleitet und über einen größeren Querschnitt verteilt wird. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Kapillaraktivität unterschiedlicher Materialien. Eventuelle Tapeten, Anstriche und Grundierungen müssen sorgfältig entfernt werden.
- Unplanmäßige Hohlräume sind zu vermeiden. Es erscheint am sichersten, Dämmplatten mit einem mineralischen, möglichst wenig hydrophobierten Kleber vollflächig mit der alten Wand zu verkleben. Organische Kleber und Ortschäume sind ungeeignet.

5 Zusammenfassung

Das Fraunhofer WKI wurde von der Fa. GUTEX damit beauftragt, Innendämmungen mit dem Produkt „GUTEX Thermoroom“ zu untersuchen. Zur Untersuchung wurden zwei rechnergestützte Finite-Differenzen-Programme „TUN“ und „WUFI“ genutzt, mit denen das wärme- und feuchtetechnische Verhalten diverser Konstruktionsvarianten untersucht wurde.

Als Ergebnisse der Untersuchungen wurden Einsatzgrundsätze und –grenzen für Innendämmungen ermittelt, die zusammengefasst wie folgt lauten:

- Die innerste, dem Raum zugewandte Ebene sollte einen sd-Wert von ca. 3 m nicht wesentlich überschreiten.
- Die Ebene, in der planmäßig Kondenswasser anfällt (Grenzschicht Innendämmung zur alten Wand), sollte so kapillaraktiv wie möglich sein.
- Die Verwendung schwerer, sorptiver Dämmungen wie z.B. Holzfaserdämmungen wirkt sich aufgrund ihrer Speichereigenschaften positiv auf die Gesamtkonstruktion aus.
- Unplanmäßige Hohlräume zwischen Innendämmung und alter Wand sind zu vermeiden.

Weiter konnte festgestellt werden, dass Dämmsysteme mit der Holzfaserdämmplatte „GUTEX Thermoroom“, die zur Raumseite hin eine Wasserdampf bremsende Ebene mit einem sd-Wert von ca. 1 m bis 3 m aufweisen, auch bei ansonsten ungünstigen Randbedingungen anwendbar sind (Abbildung 11). Eine intakte Fassade, sowie keine aufsteigende Feuchtigkeit in der alten Wand werden jedoch vorausgesetzt. Unter nachstehend aufgeführten Randbedingungen kann auf eine Dampfbremse sogar verzichtet werden:

1. Die alte Innenseite der Außenwand muss kapillaraktiv wirksam sein, damit eventuell anfallendes Kondenswasser schnell aus der Kondensationsebene abgeleitet und über einen größeren Querschnitt verteilt werden kann.
2. Die alte Wand muss so diffusionsoffen wie möglich (sd-Wert möglichst kleiner ca. 1 m) und relativ gut Wärme dämmend (U möglichst kleiner ca. $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) sein.

Für die Institutsleitung



Dipl.-Ing. (FH) Norbert Rüter
Sachbearbeiter



Dipl.-Ing. Dirk Kruse
Fachbereichsleiter

6 Anhang zum Untersuchungsbericht U 628 / 2008

6.1 Ergebnistabellen und Abbildungen

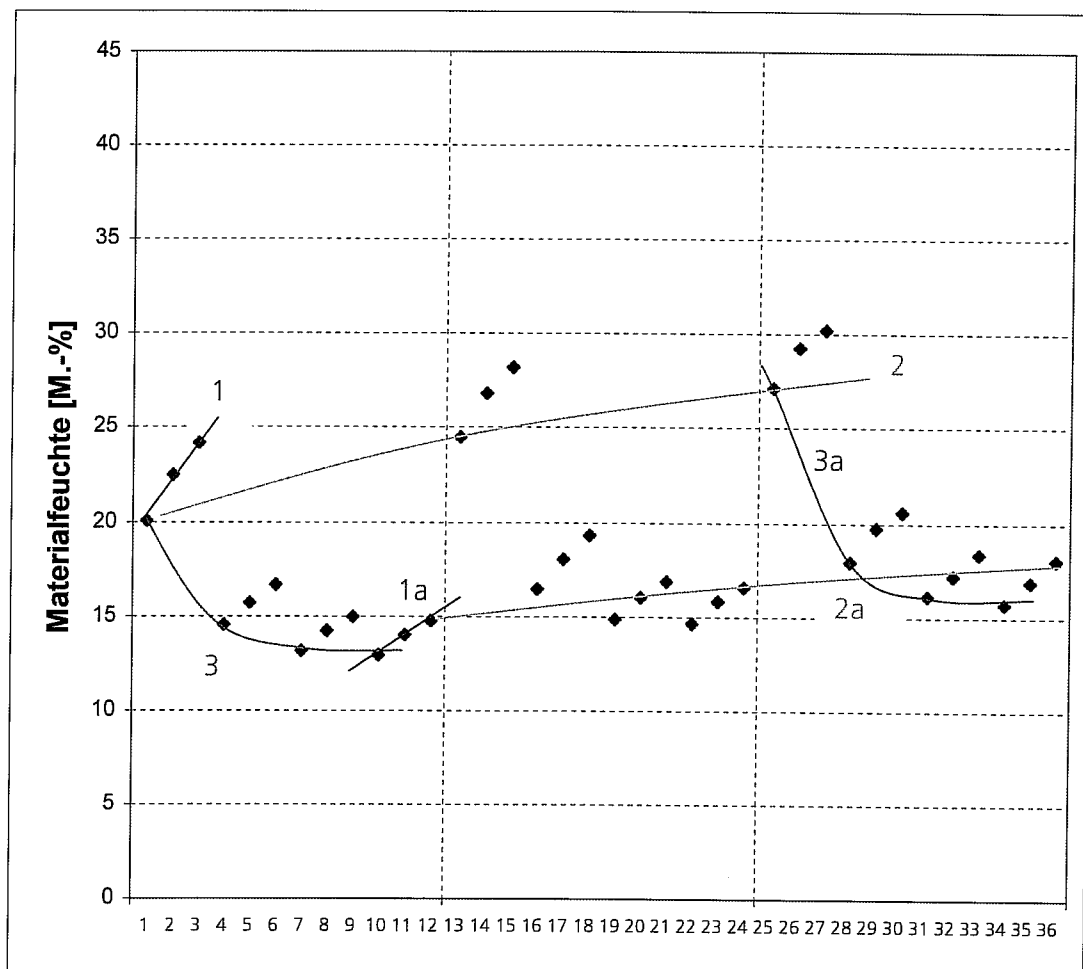


Abbildung 2: Automatische Parametervariation – grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse der Varianten gemäß Tabelle 3

Tabelle 3: Automatische Parametervariation - exemplarische Auflistung einzelner, relevanter Varianten – die Berechnungsergebnisse dieser Varianten sind in Abbildung 2 grafisch dargestellt

Variante Nr.	alte Wand	innere Schicht	alte Wand
	μ	sd	λ
1	5	0,1	0,2
2	20	0,1	0,2
3	100	0,1	0,2
4	5	1	0,2
5	20	1	0,2
6	100	1	0,2
7	5	10	0,2
8	20	10	0,2
9	100	10	0,2
10	5	100	0,2
11	20	100	0,2
12	100	100	0,2
13	5	0,1	0,5
14	20	0,1	0,5
15	100	0,1	0,5
16	5	1	0,5
17	20	1	0,5
18	100	1	0,5
19	5	10	0,5
20	20	10	0,5
21	100	10	0,5
22	5	100	0,5
23	20	100	0,5
24	100	100	0,5
25	5	0,1	1,0
26	20	0,1	1,0
27	100	0,1	1,0
28	5	1	1,0
29	20	1	1,0
30	100	1	1,0
31	5	10	1,0
32	20	10	1,0
33	100	10	1,0
34	5	100	1,0
35	20	100	1,0
36	100	100	1,0

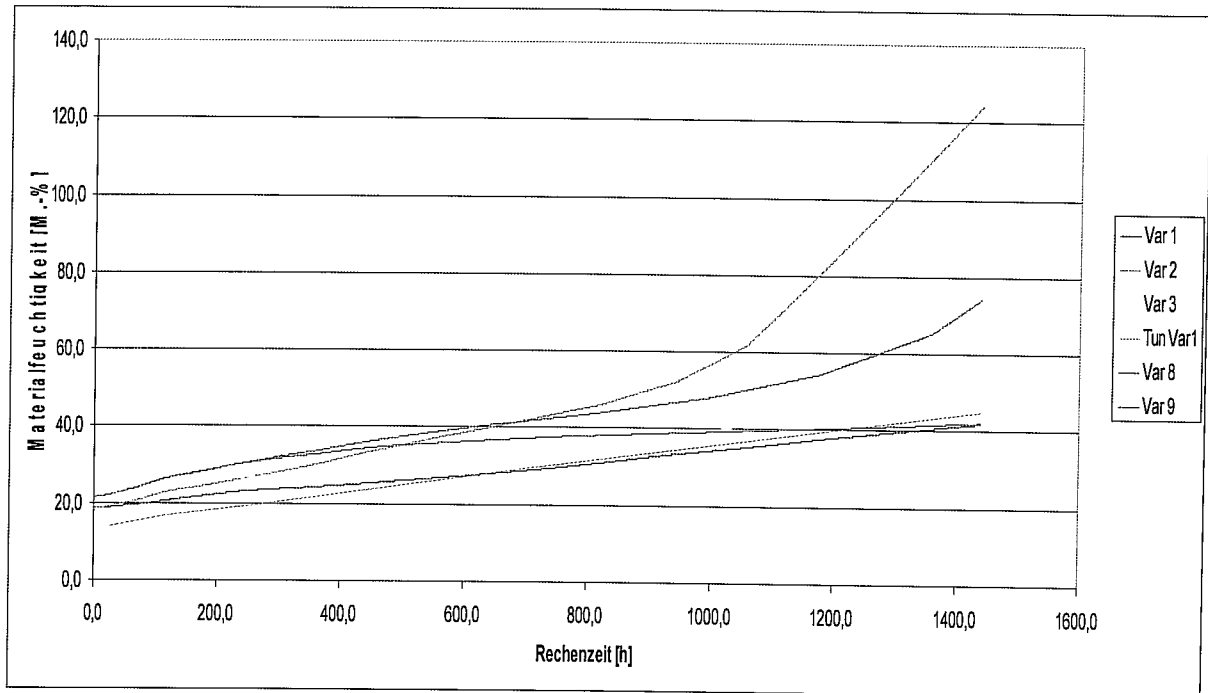


Abbildung 3: Ergebnisse der Berechnungen mit den Randbedingungen nach Glaser

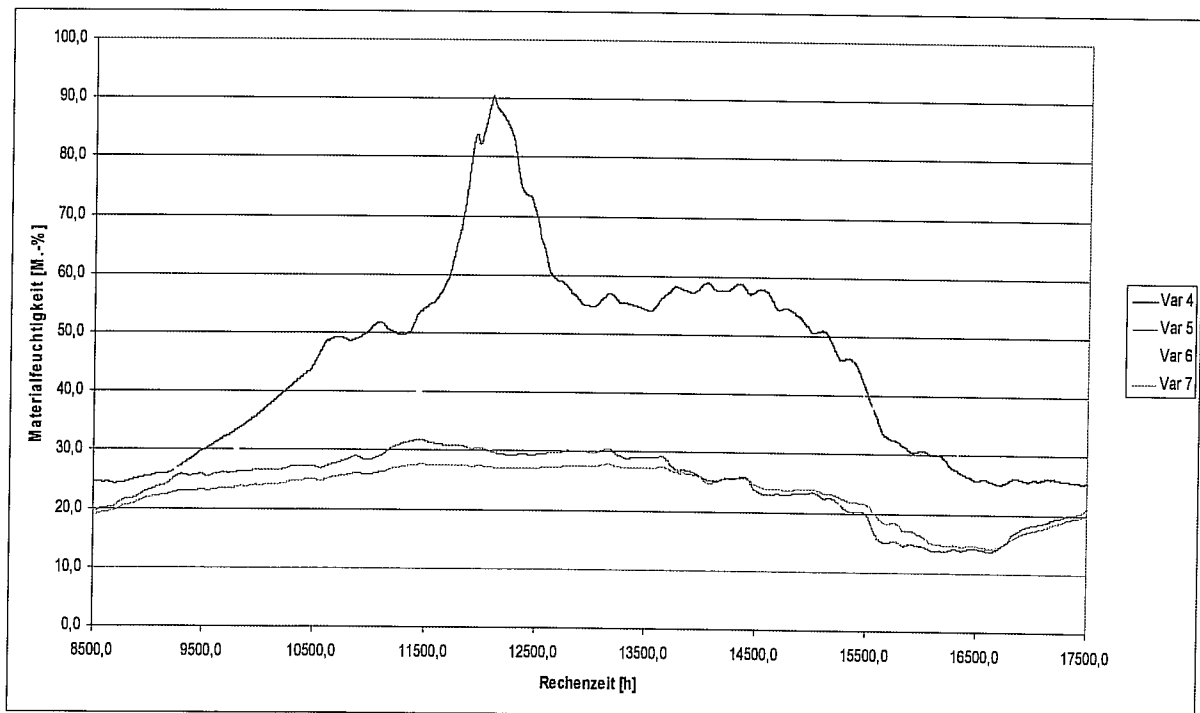


Abbildung 4: Ergebnisse der Berechnungen mit instationären klimatischen Randbedingungen

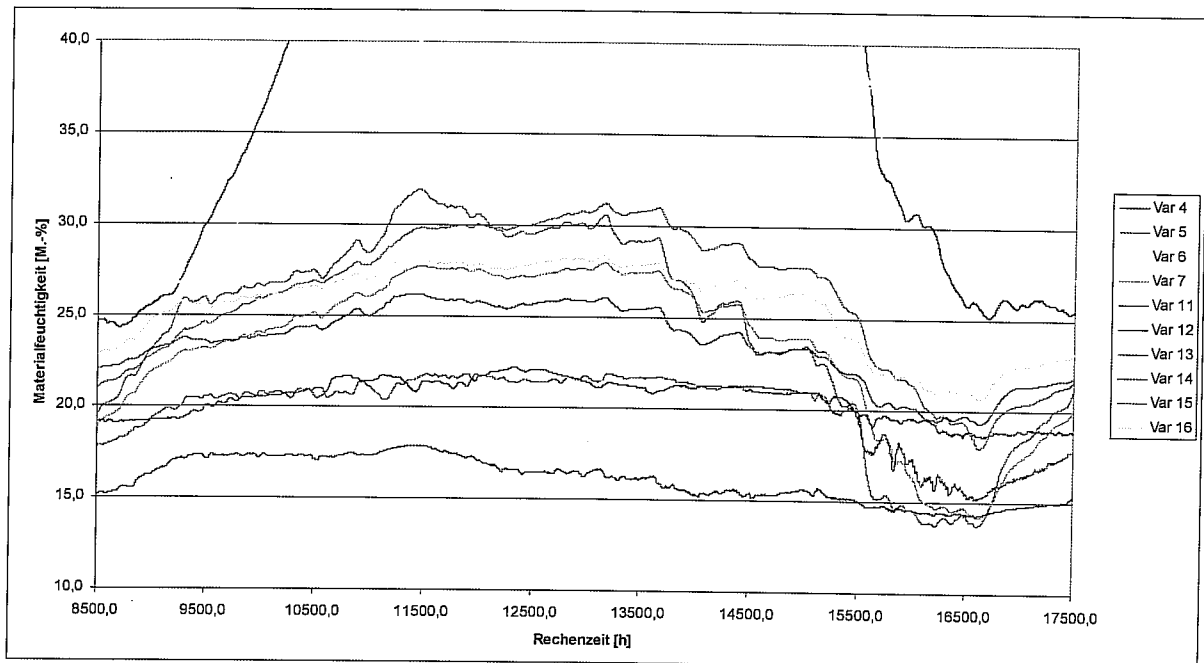


Abbildung 5: Ergebnisse der Berechnungen mit instationären klimatischen Randbedingungen mit eingeschränkter Darstellung der y-Achse

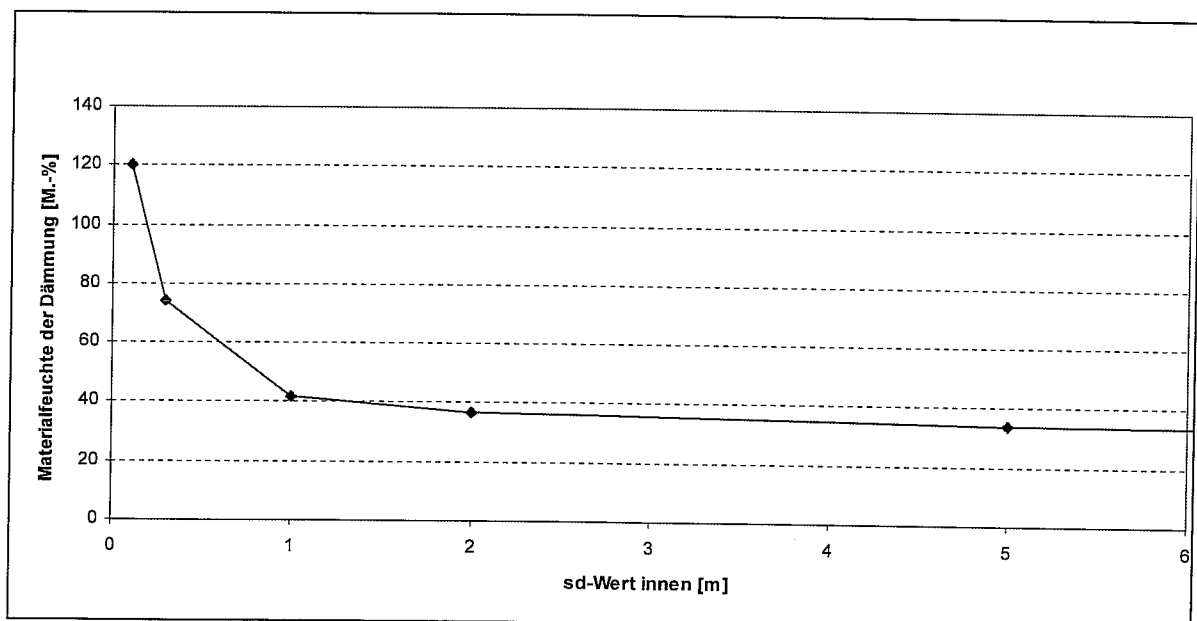


Abbildung 6: Einfluss des inneren sd-Wertes der inneren Schicht auf die Materialfeuchte der Dämmung an einem Rechenbeispiel mit den Parametern Dicke der Klebers 4 mm, Dicke der Dämmung 60 mm, mü-Wert der alten Wand 100; Wärmeleitfähigkeit der alten Wand 1,0 W/(m*K), sd-Wert der inneren Schicht 0,1 – 0,3 – 1,0 – 2,0 – 5,0 m (x-Achse)

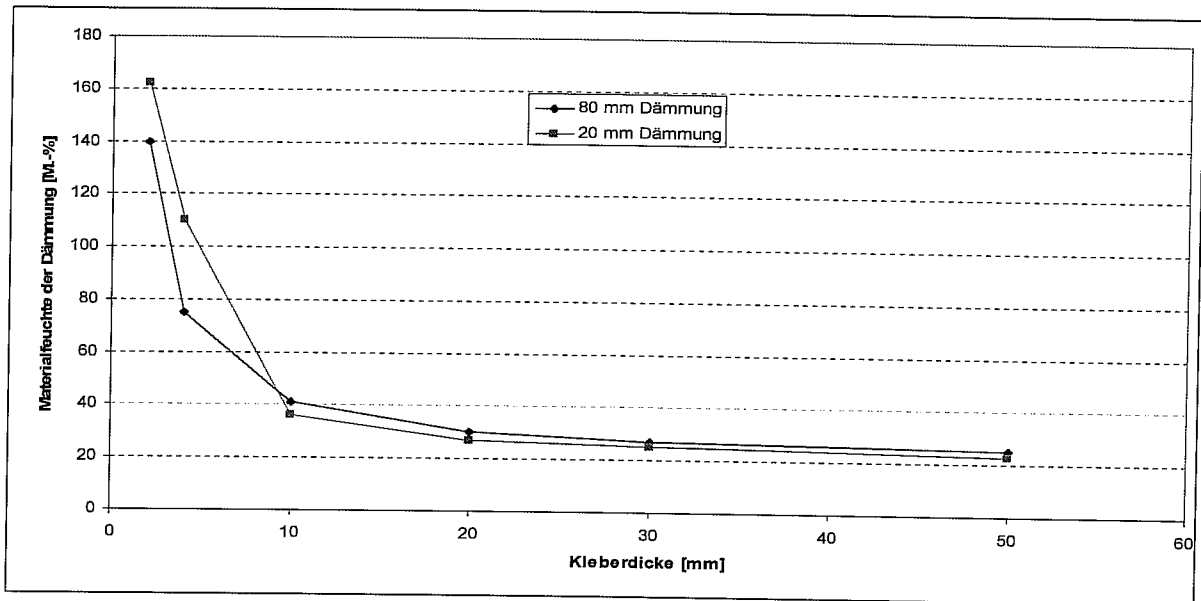


Abbildung 7: Einfluss der Kleberdicke auf die Materialfeuchte der Dämmung an zwei Rechenbeispielen mit den Parametern Dicke der Klebers 2 – 4 – 10 – 20 – 30 – 50 mm (x-Achse), Dicke der Dämmung 20 – 80 mm, mü-Wert der alten Wand 100; Wärmeleitfähigkeit der alten Wand 2,0 W/(m*K), sd-Wert der inneren Schicht 0,3 m

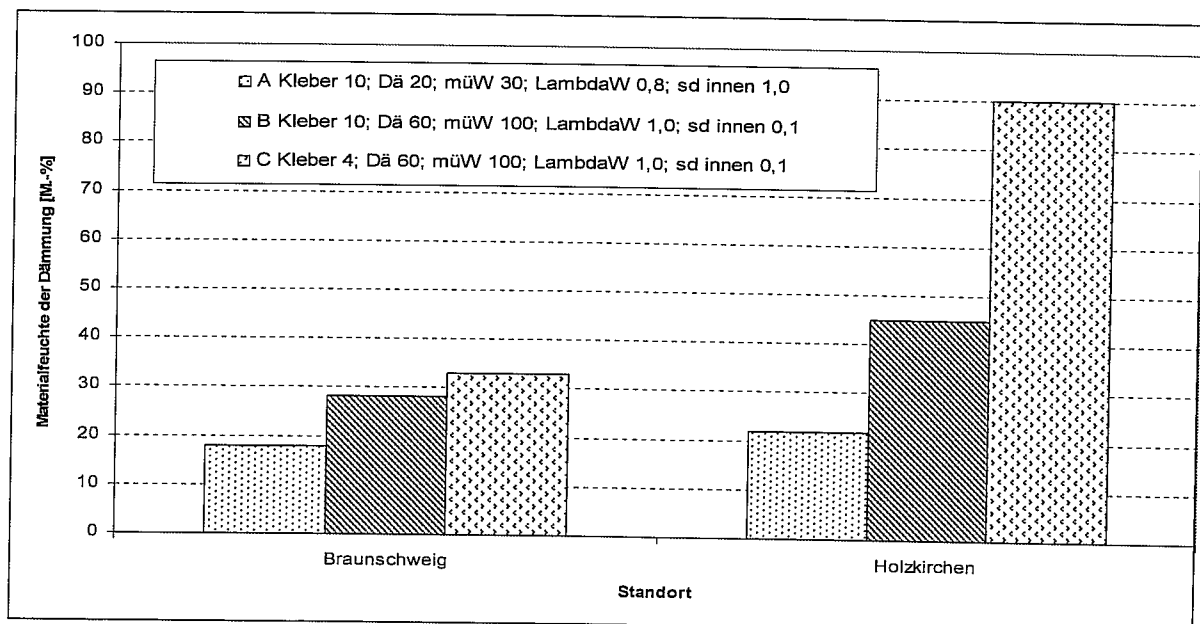


Abbildung 8: Einfluss des Standortes eines Gebäudes auf die Materialfeuchte der Dämmung an drei Rechenbeispielen mit den Parametern Dicke der Klebers 10 (A und B) – 4 (C) mm, Dicke der Dämmung 20 (A) – 60 (B und C) mm, mü-Wert der alten Wand 30 (A) – 100 (B und C), Wärmeleitfähigkeit der alten Wand 0,8 (A) – 2,0 (B und C) W/(m*K), sd-Wert der inneren Schicht 1,0 (A) – 0,1 (B und C) m

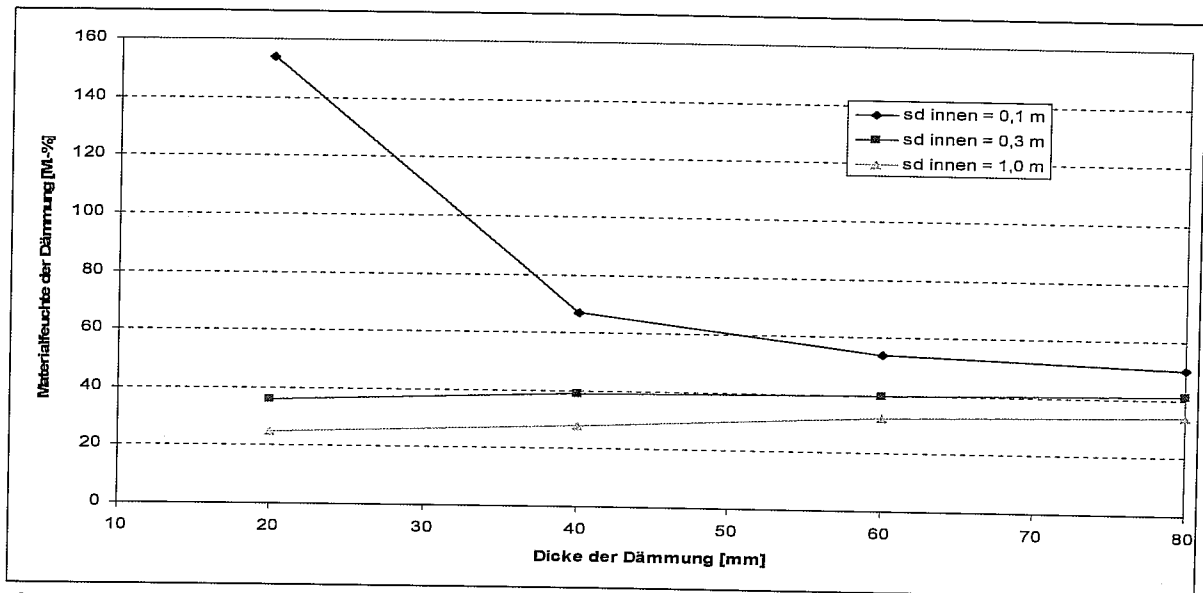


Abbildung 9: Einfluss der Dicke der Dämmung auf die Materialfeuchte der Dämmung bei Variation des inneren sd-Wertes mit den Parametern Dicke der Klebers 10 mm, Dicke der Dämmung 20 bis 80 mm (x-Achse), mü-Wert der alten Wand 100; Wärmeleitfähigkeit der alten Wand 2,0 W/(m*K), sd-Wert der inneren Schicht 0,1 - 0,3 - 1,0 m

Klimaort: Holzkirchen; IBP, Jahr 1991;

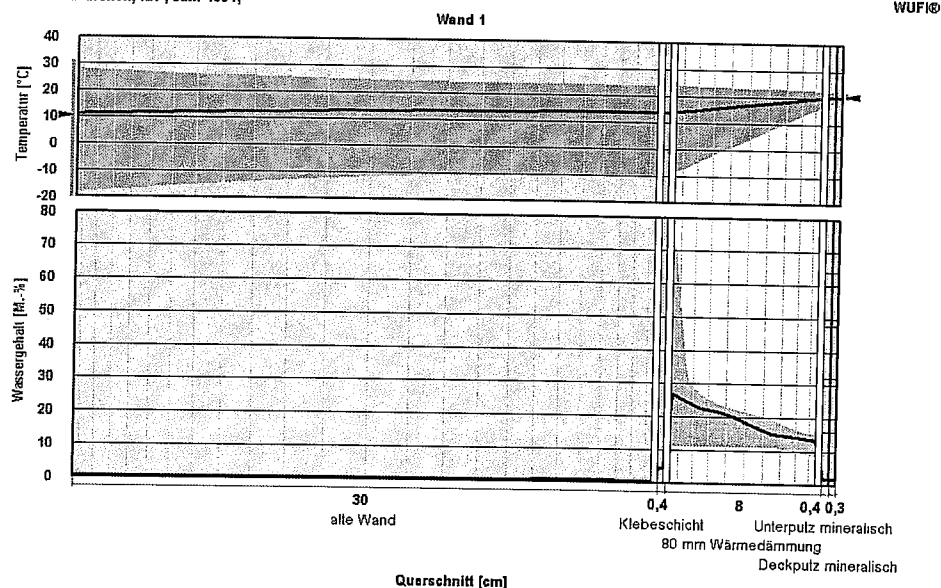


Abbildung 10: Temperatur (oben) und Materialfeuchte (unten) über den Bauteilquerschnitt bei ungünstigen Randbedingungen: alte Wand mit hoher Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), hohem μ -Wert ($\mu = 100$) und geringer Kapillaraktivität (w -Wert = $< 0,01 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}^{0,5})$), innere Schicht relativ diffusionsoffen ($sd = 0,1 \text{ m}$) und relativ extremem Klima (Alpenvorland)

01.10.03 00:00

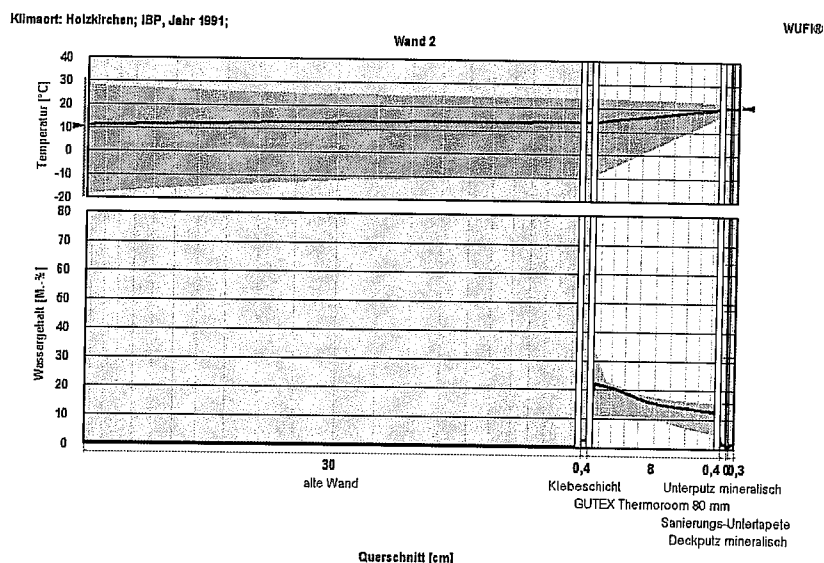


Abbildung 11: Temperatur (oben) und Materialfeuchte (unten) über den Bauteilquerschnitt bei ungünstigen Randbedingungen, jedoch mit zusätzlicher Dampfbremse auf der Innenseite: alte Wand mit hoher Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), hohem μ -Wert ($\mu = 100$) und geringer Kapillaraktivität (w -Wert = $< 0,01 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$), innere Schicht Dampf bremsend ($sd = 2,3 \text{ m}$) und relativ extremem Klima (Alpenvorland)

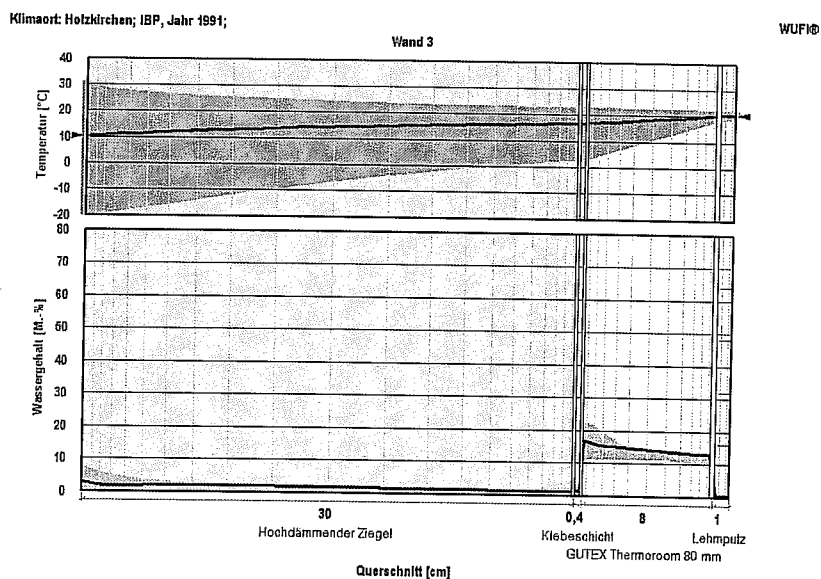


Abbildung 12: Temperatur (oben) und Materialfeuchte (unten) über den Bauteilquerschnitt mit sehr diffusionsoffener, raumseitiger Beschichtung (Lehmputz, $sd = \text{ca. } 0,1 \text{ m}$) und relativ extremem Klima (Alpenvorland), jedoch aufgebracht auf eine günstig wirkende alte Wand mit niedriger Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 0,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), niedrigem μ -Wert ($\mu = 30$) und hoher Kapillaraktivität (w -Wert = $> 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$)



Tabelle 4: Kapillaraktivität unterschiedlicher Materialien

Kapillaraktivität	Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert)	Flüssigtransportkoeffizient weiterverteilen D _{ww}	Beispiele
	[kg/(m ² *s ^{0,5})]	[m ² /s]	
sehr gering	< 0,01	< 1 E-11	Kunststoffe, Kunstharzputze, stark hydrophobierte Holzwerkstoffe, sonstige stark hydrophobierte Materialien
gering bis mäßig	0,005 bis 0,1	1 E-8 bis E-12	Holz quer zur Faserrichtung, hydrophobierte Holzwerkstoffe, Außenputze, einige Natursteine
stark	0,05 bis 0,2	1 E-6 bis E-9	Holz in Längsrichtung, mineralische Putze ohne Hydrophobierung, Kalksandstein, Ziegelmauerwerk
sehr stark	> 0,1	> 1 E-7	nicht hydrophobierter Porenbeton, Ziegelmauerwerk, Lehm

Hinweise / Erklärungen:

Der Flüssigtransportkoeffizient ist in der Regel stark wassergehaltsabhängig - etwa exponentiell - und erstreckt sich bei den meisten mineralischen Baustoffen über etwa drei Zehnerpotenzen (!).

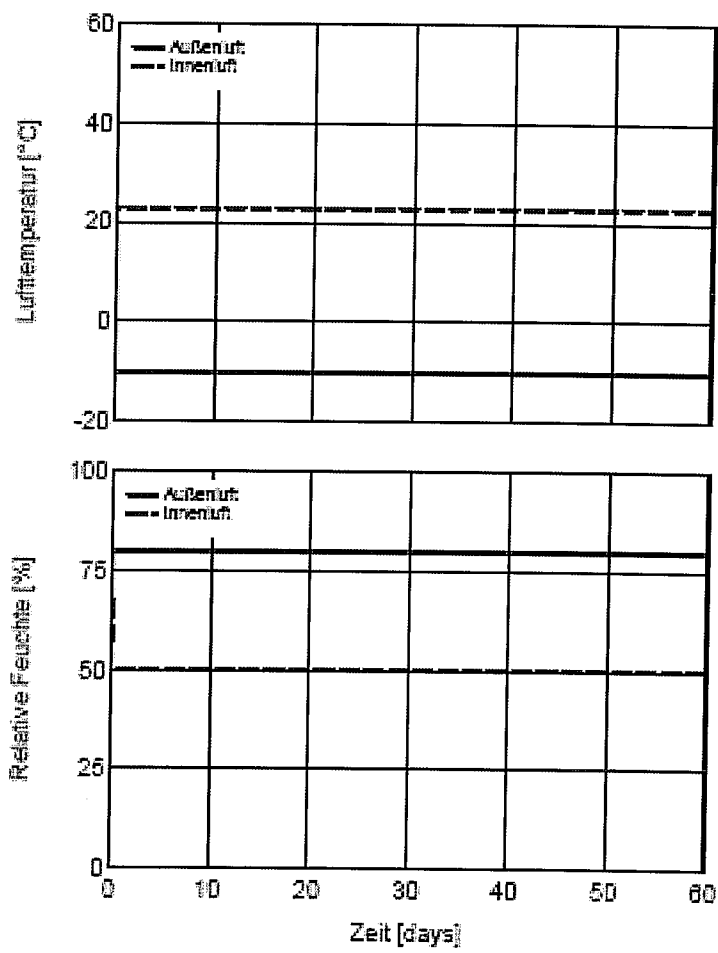
Die Einteilung hinsichtlich der Kapillaraktivität ist sehr stark subjektiv. Ein Geologe verbindet mit „stark kapillaraktiv“ andere Werte als ein Technologe aus der Kunststoffindustrie.

Der Flüssigtransportkoeffizient Weiterverteilen D_{ww} beschreibt die Umverteilung des aufgesaugten Wassers, wenn nach Beendigung der Benetzung kein neues Wasser mehr eindringt und das vorhandene Wasser sich zu verteilen beginnt. Im Bauteil entspricht dies der Feuchtewanderung in Abwesenheit von Regen. Das Weiterverteilen wird von den kleineren Kapillaren bestimmt, da sie mit ihrer größeren Saugkraft die großen Kapillaren leer saugen (siehe auch WUFI-Hilfe).

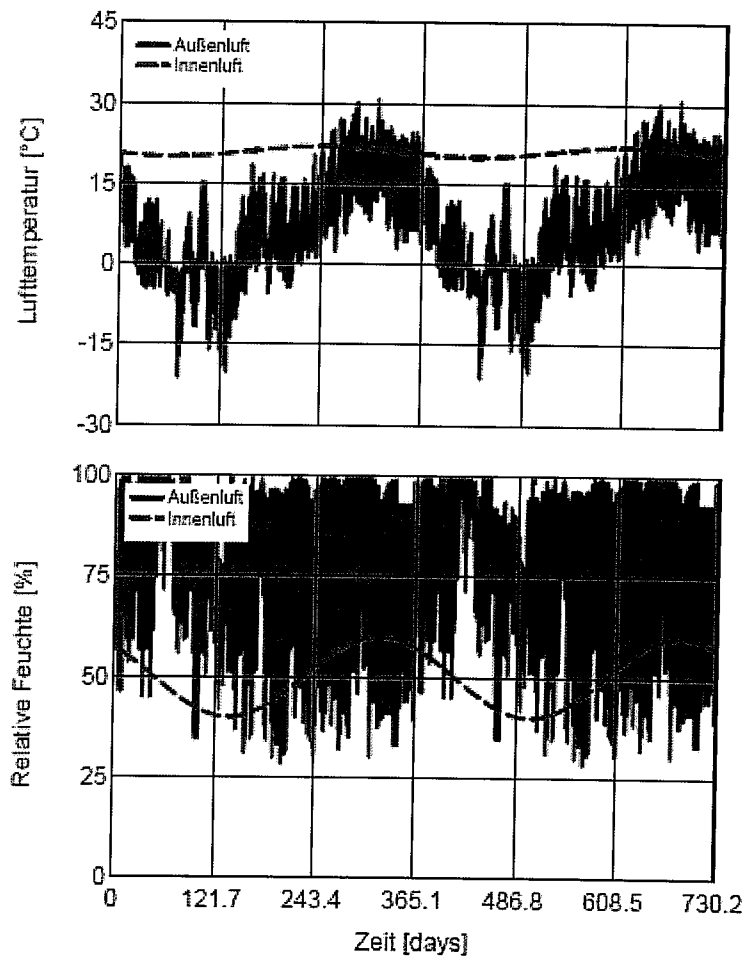
Der Wasseraufnahmekoeffizient ist in den SI-Einheiten [kg/m²s^{0,5}] angegeben. Den häufiger gebräuchlichen Wert in der Einheit [kg/m²h^{0,5}] erhält man durch Multiplikation der oben aufgeführten Werte mit dem Faktor 60.

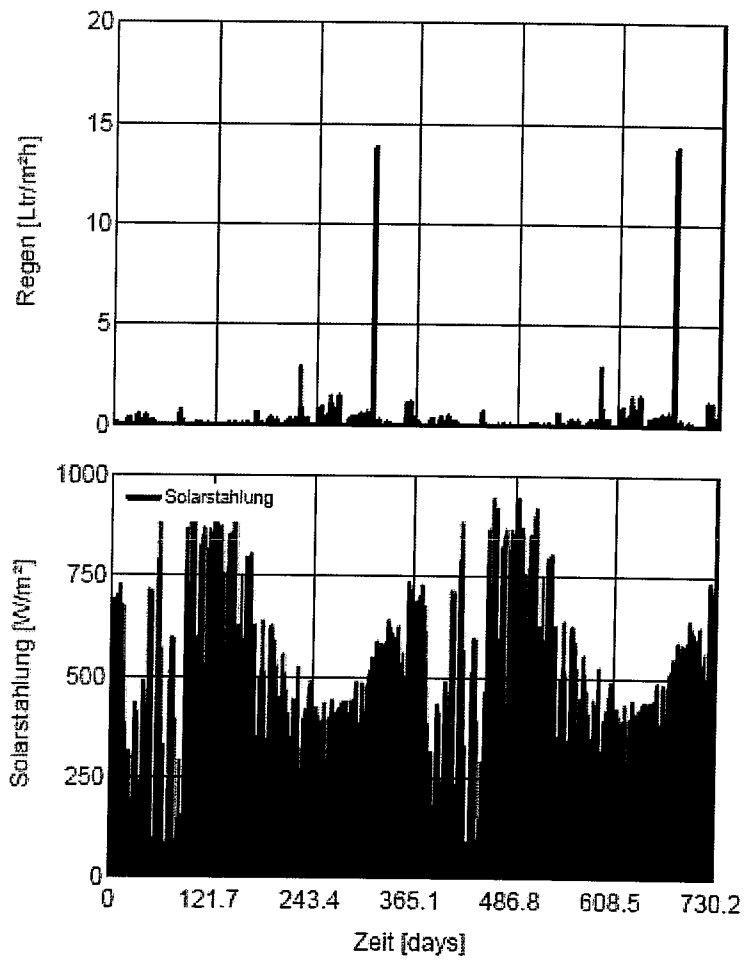
6.2 Klimate

6.2.1 Glaser

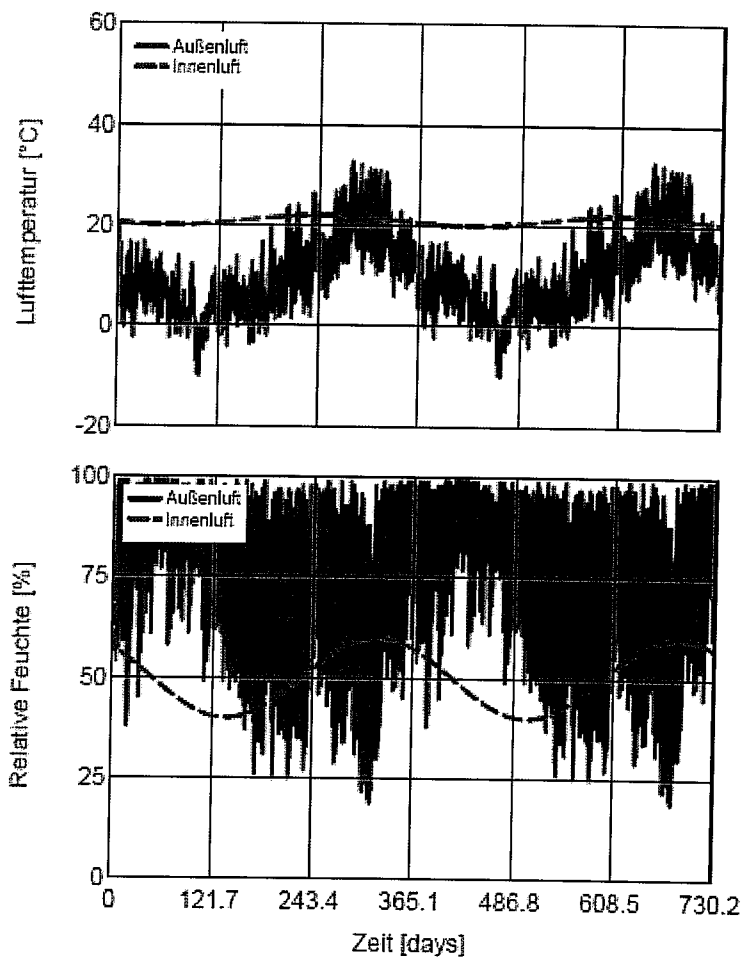


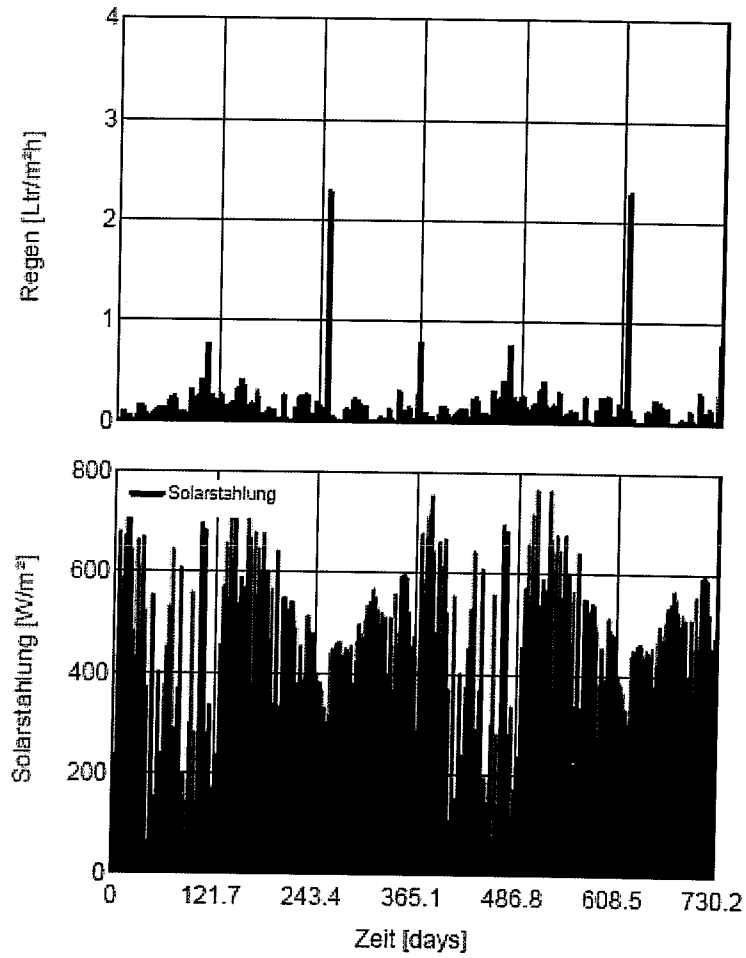
6.2.2 Holzkirchen





6.2.3 Braunschweig





6.3 Materialdaten

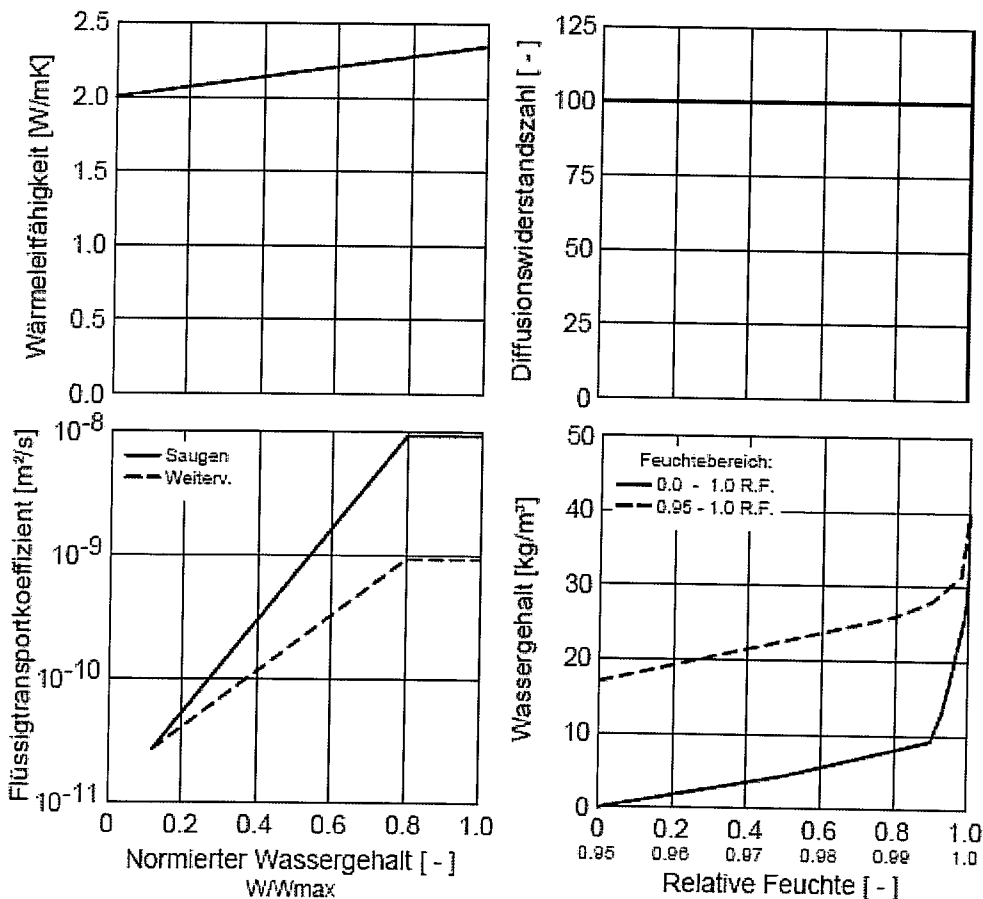
WUFI® Pro 4.1 IBP



Material : alte Wand

Zusammenstellung der Rechengrößen

Kennwert	Einheit	Wert
Rohdichte	[kg/m ³]	2300,0
Porosität	[m ³ /m ³]	0,05
Wärmekapazität trocken	[J/kgK]	850,0
Wärmeleitfähigkeit trocken	[W/mK]	2,0
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	[-]	100
Bezugsfeuchtegehalt	[kg/m ³]	6,0
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	40,0
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m ² s ^{0.5}]	0,002
Wärmeleitfähigkeitszuschlag	[%/M.-%]	8,0



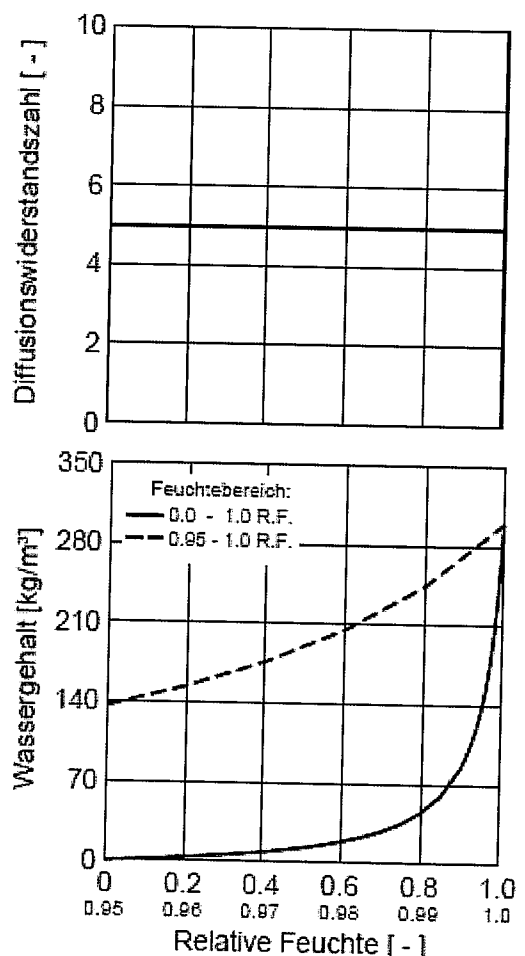
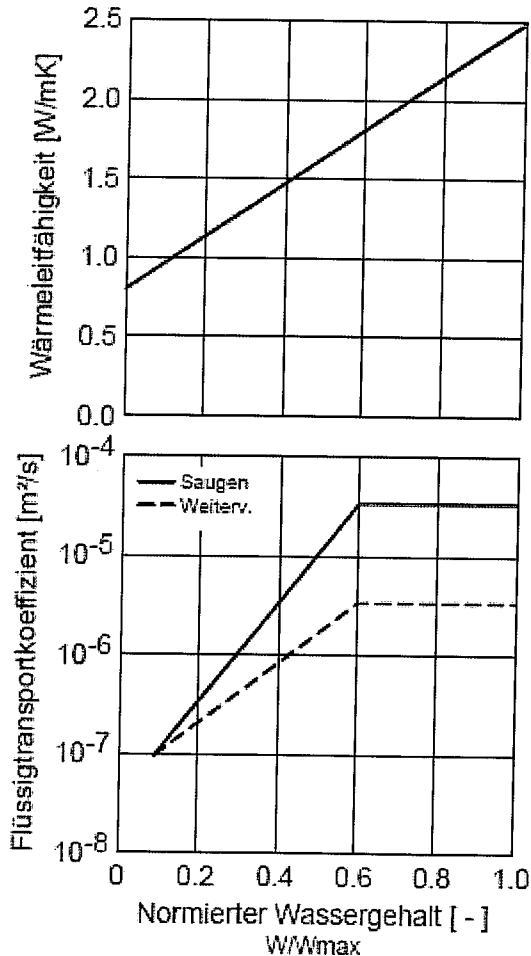
WUFI® Pro 4.1 IBP



Material : Klebeschicht

Zusammenstellung der Rechengrößen

Kennwert	Einheit	Wert
Rohdichte	[kg/m ³]	1900,0
Porosität	[m ³ /m ³]	0,5
Wärmekapazität trocken	[J/kgK]	850,0
Wärmeleitfähigkeit trocken	[W/mK]	0,8
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	[-]	5
Bezugsfeuchtegehalt	[kg/m ³]	45,0
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	300
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m ² s ^{0.5}]	0,9
Wärmeleitfähigkeitszuschlag	[%/M.-%]	8,0



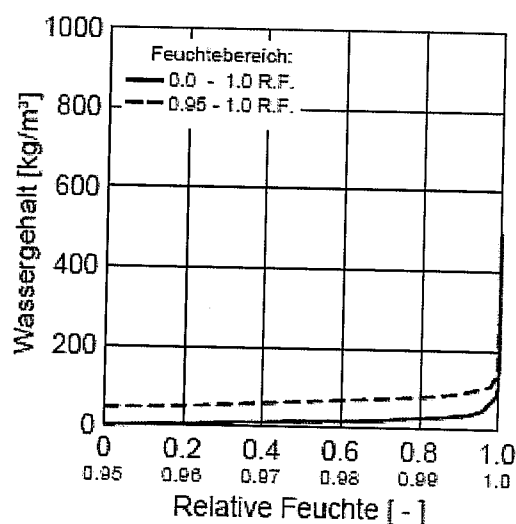
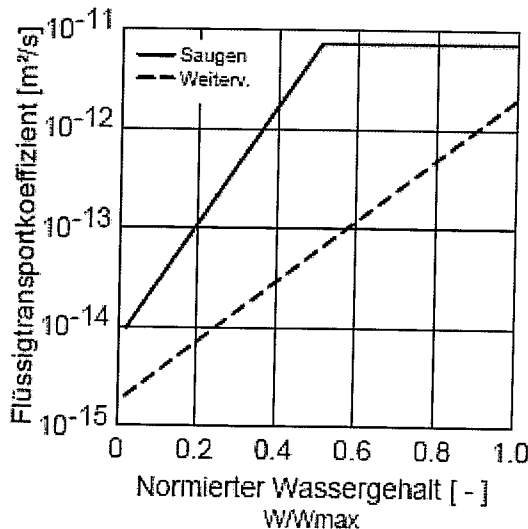
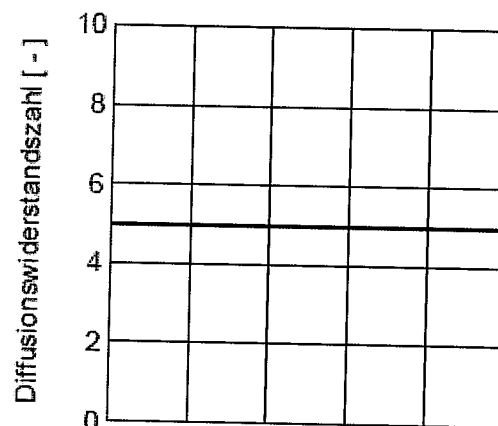
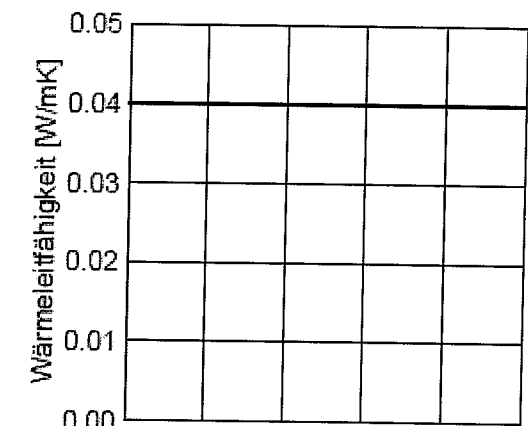
WUFI® Pro 4.1 IBP



Material : 80 mm Wärmedämmung

Zusammenstellung der Rechengrößen

Kennwert	Einheit	Wert
Rohdichte	[kg/m ³]	130
Porosität	[m ³ /m ³]	0,981
Wärmekapazität trocken	[J/kgK]	2000,0
Wärmeleitfähigkeit trocken	[W/mK]	0,04
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	[-]	5
Bezugsfeuchtegehalt	[kg/m ³]	19,0
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	500
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m ² s ^{0.5}]	0,0007
Wärmeleitfähigkeitszuschlag	[%/M.-%]	0



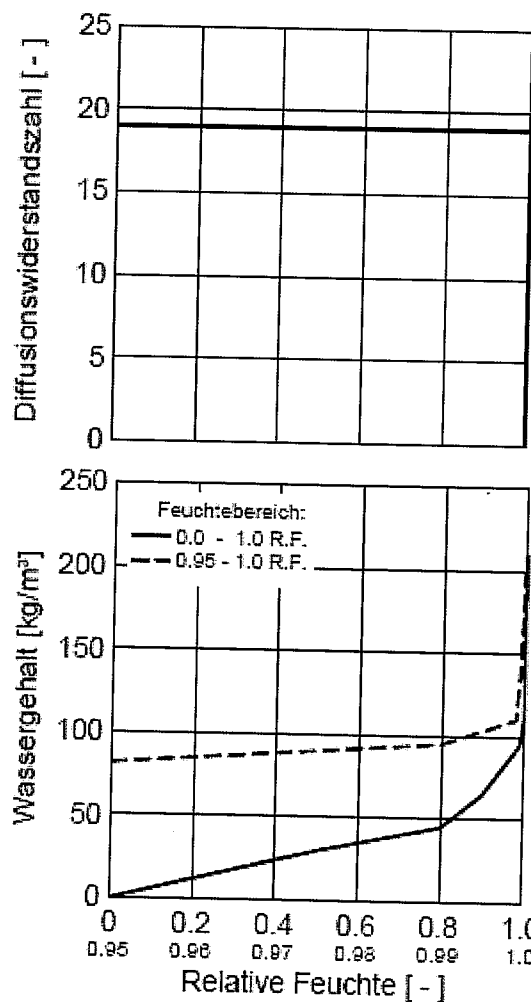
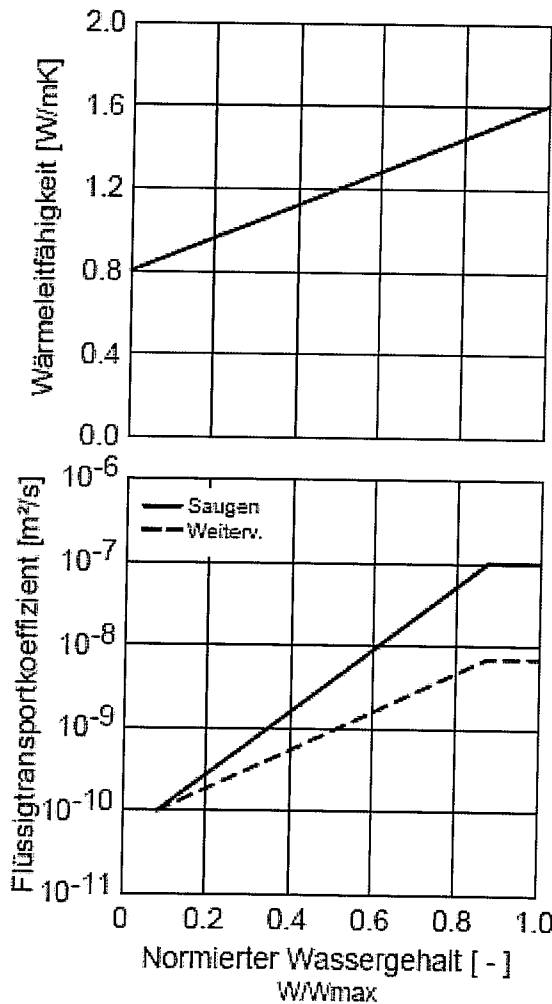
WUFI® Pro 4.1 IBP



Material : Unterputz mineralisch

Zusammenstellung der Rechengrößen

Kennwert	Einheit	Wert
Rohdichte	[kg/m ³]	1000,0
Porosität	[m ³ /m ³]	0,24
Wärmekapazität trocken	[J/kgK]	850,0
Wärmeleitfähigkeit trocken	[W/mK]	0,8
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	[-]	19,0
Wärmeleitfähigkeitszuschlag	[%/M.-%]	8,0



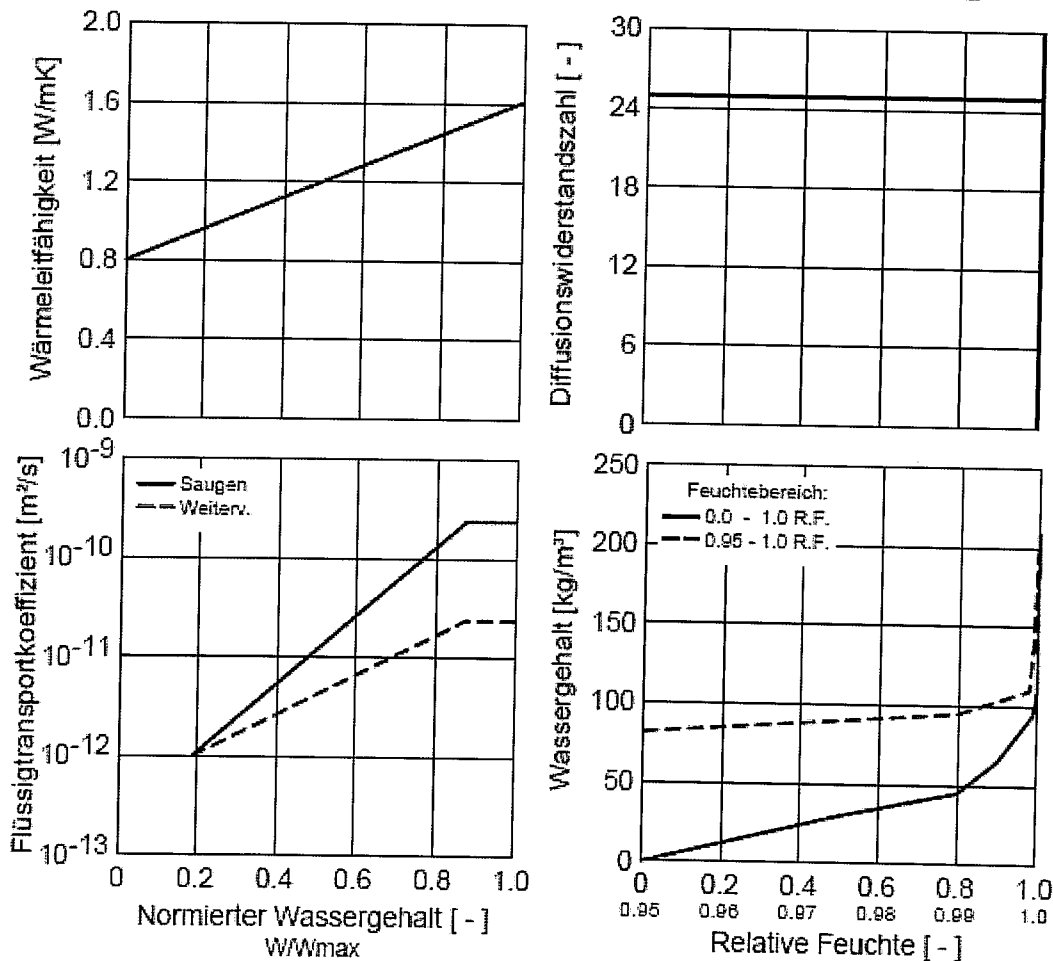
WUFI® Pro 4.1 IBP



Material : Deckputz mineralisch

Zusammenstellung der Rechengrößen

Kennwert	Einheit	Wert
Rohdichte	[kg/m ³]	1900,0
Porosität	[m ³ /m ³]	0,24
Wärmekapazität trocken	[J/kgK]	850,0
Wärmeleitfähigkeit trocken	[W/mK]	0,8
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	[-]	25,0
Bezugsfeuchtegehalt	[kg/m ³]	45,0
Freie Wassersättigung	[kg/m ³]	210,0
Wasseraufnahmekoeffizient	[kg/m ² s ^{0.5}]	0,00167
Wärmeleitfähigkeitszuschlag	[%/M.-%]	8,0



6.4 Sonstige Randbedingungen

WUFI® Pro 4.1 IBP



Randbedingungen

Außen (linke Seite)

Klimaort: Holzkirchen; IBP, Jahr 1991
Orientierung / Neigung: Süd / 90 °

Innen (rechte Seite)

Innenklima: WTA-Merkblatt 6-2-01/D
Raumklimabedingungen, normale Feuchtelast

Oberflächenübergangskoeffizienten

Außen (linke Seite)

Bezeichnung	Einheit	Wert	Bemerkung
Wärmeübergangswiderstand	[m ² K/W]	0,0688	Außenwand
Sd-Wert	[m]	---	Keine Beschichtung
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl	[-]	---	Keine Absorption/Emission
Langwellige Strahlungsemissionszahl	[-]	---	Keine Absorption/Emission
Regenwasserabsorptionszahl	[-]	0,7	Keine Regenwasserabsorption

Innen (rechte Seite)

Bezeichnung	Einheit	Wert	Bemerkung
Wärmeübergangswiderstand	[m ² K/W]	0,126	Außenwand
Sd-Wert	[m]	---	Keine Beschichtung

Explizite Strahlungsbilanz

Außen (linke Seite)

Bezeichnung	Wert
Eingeschattet	nein