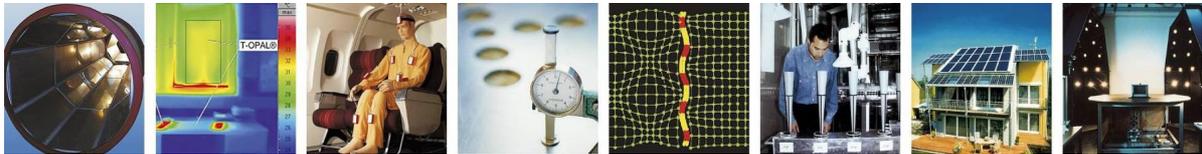


Konvektionsbedingter Feuchteintrag in sorgfältig abgedichtete Holzkonstruktionen

Hartwig Künzle, Fraunhofer IBP

Auf Wissen bauen



© Fraunhofer IBP

 **Fraunhofer**
IBP

Inhalt

Einleitung

Laborversuche zum konvektiven Feuchteintrag

Normative Vorgaben

- DIN 4108-3
- DIN 68800-2

Bemessung durch hygrothermische Simulation

Schlussfolgerungen

© Fraunhofer IBP

 **Fraunhofer**
IBP

Einleitung

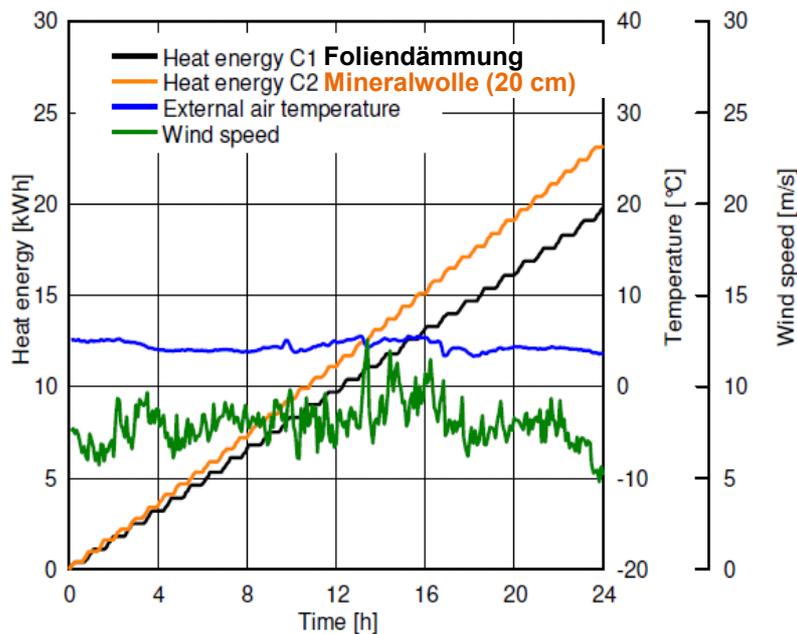
IBP Freilandversuche:

Vergleich des energetischen Verhaltens von ausgebauten Dächern mit Folien- und Mineralwolledämmung (Auftrag eines Dämmfolienherstellers)



Einleitung

Messergebnisse: Vergleich der Heizenergieverbräuche in den Dachgeschossen an einem windigen Wintertag (Mittlere WG 8 m/s)

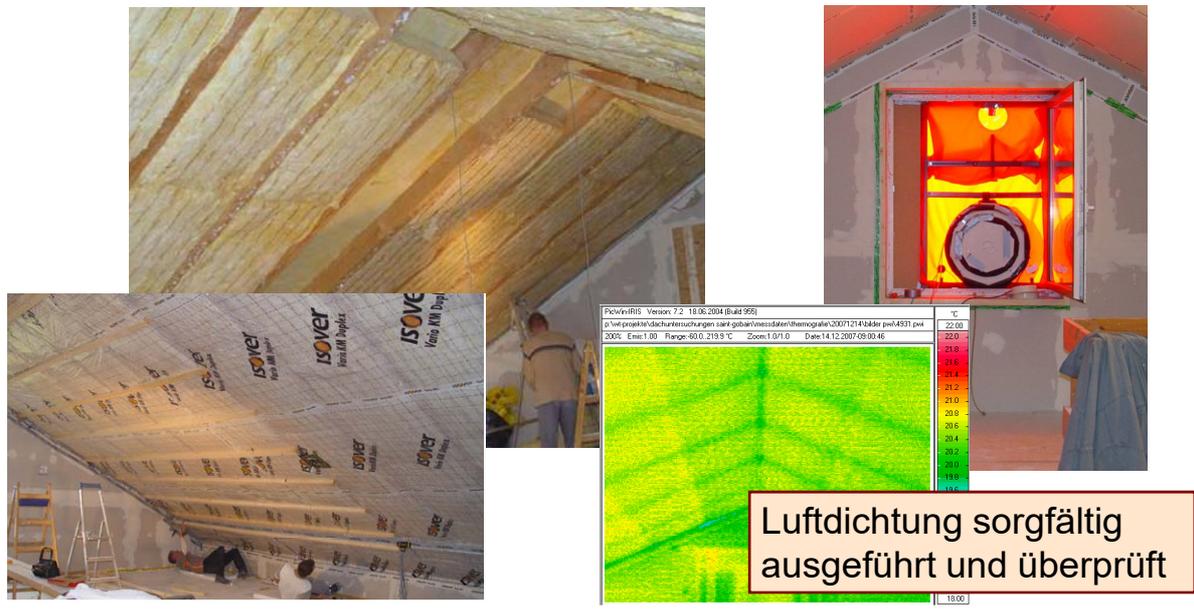


Das Ergebnis zeigt die mangelnde **Luft-** und **Winddichtheit** der Dachkonstruktion mit MW-Dämmung

Einleitung

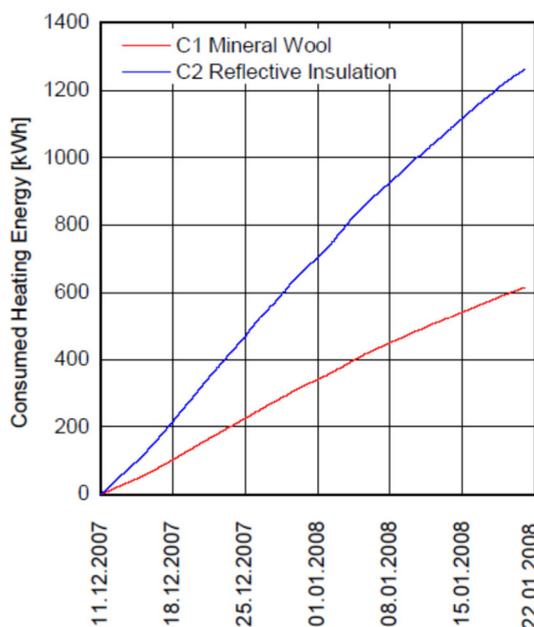
IBP Freilandversuche:

Vergleich des energetischen Verhaltens von ausgebauten Dächern mit Folien- und Mineralwolledämmung (Auftrag eines MW-Herstellers)



Einleitung

Heizenergieverbrauch im Dachgeschoss über 6 Wochen akkumuliert:



Dachgeschoss mit Foliendämmung verbraucht etwa doppelt soviel Heizenergie

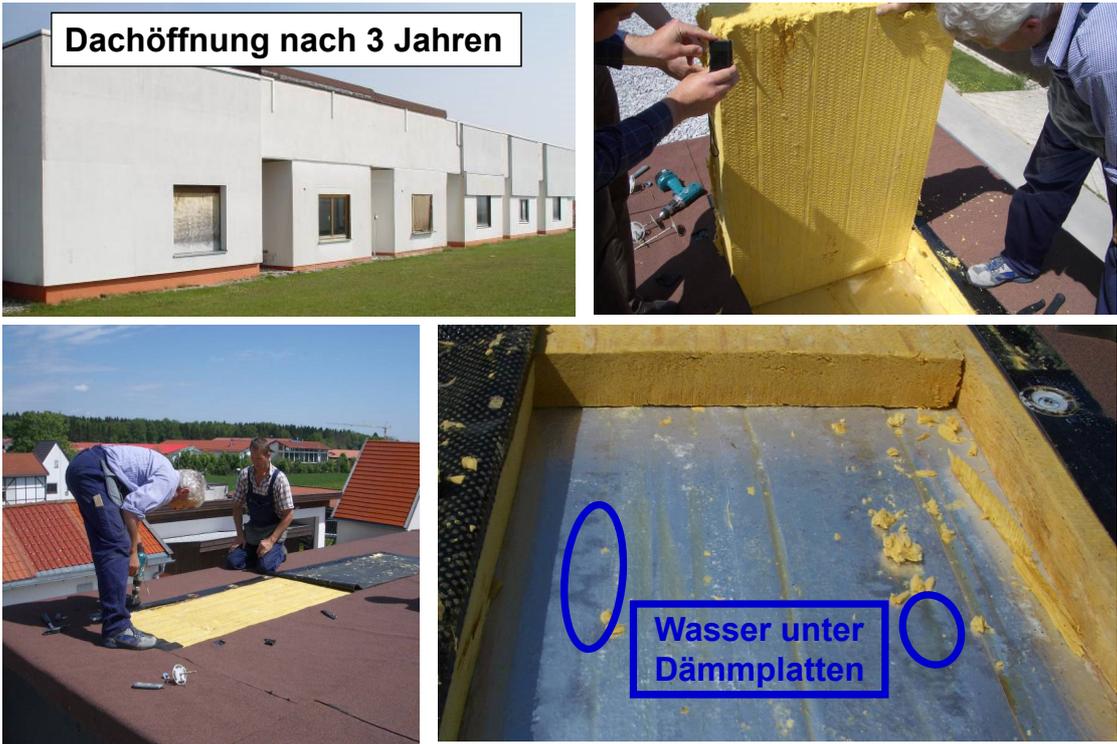
Ergebnisse wurden veröffentlicht in:
IBP Mitteilung 36 (2009) Nr. 495
und
Bauphysik 33 (2011), Heft 1, Seite 33-42

Einleitung

Verhalten feuchter Holzkonstruktionen

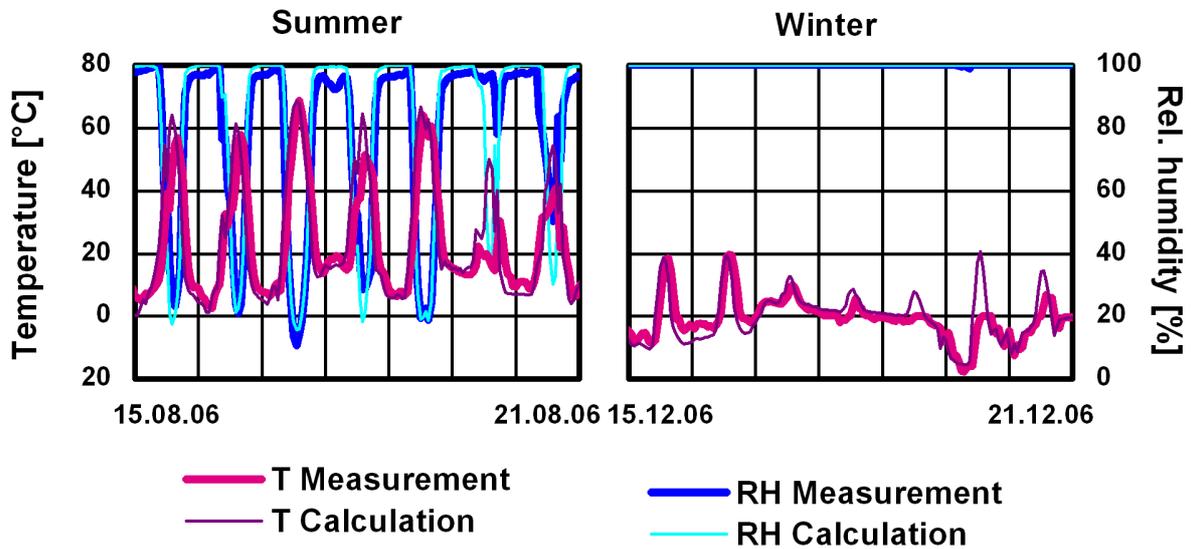
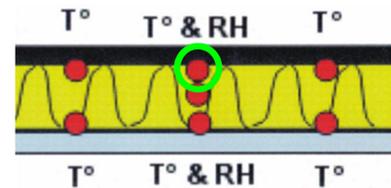


Einleitung



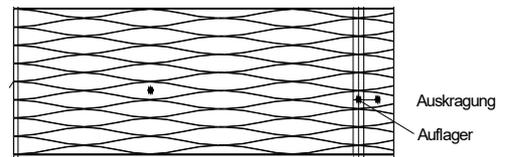
Einleitung

Vergleich von Messung und Rechnung in feuchtem Flachdach (Position unter der Abdichtung)



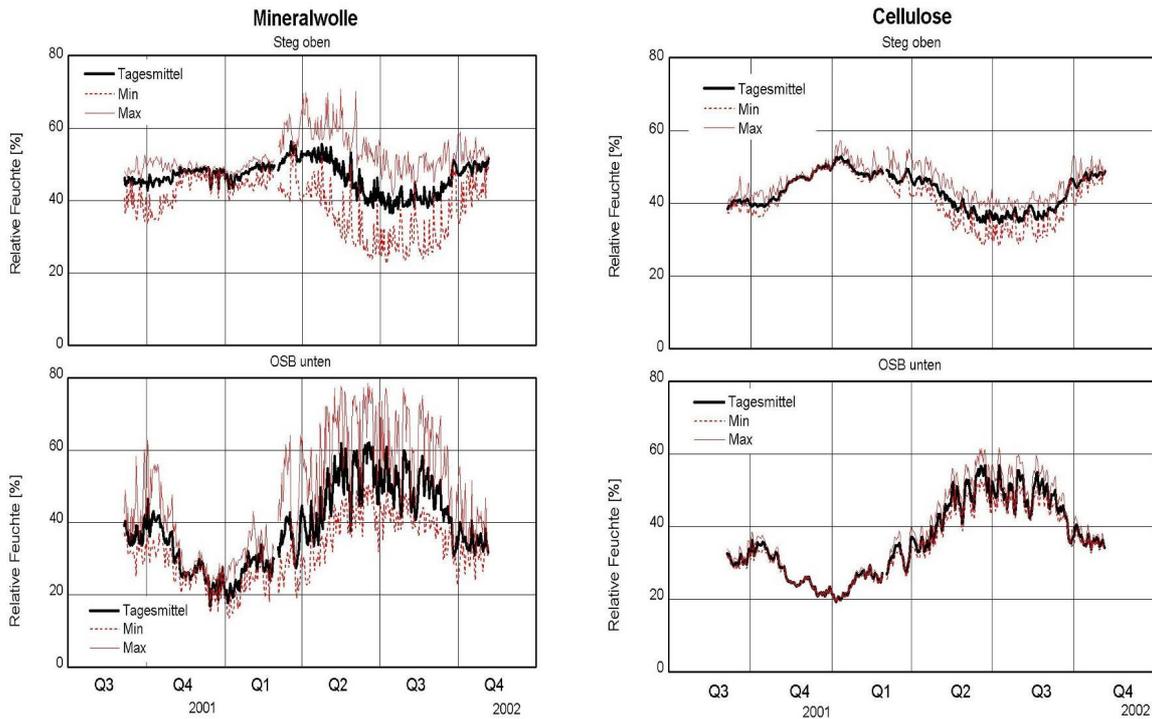
Einleitung

Verhalten trockener Holzkonstruktionen



Einleitung

Messergebnisse

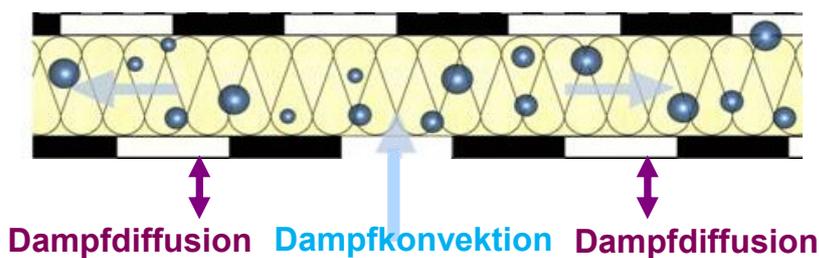


Einleitung

DAMPFKONVEKTION – DAS UNTERSCHÄTZTE RISIKO

This block contains three main visual elements: a photograph of a roof edge showing insulation and vapor barrier details; a photograph of a wooden roof structure with insulation; and a technical cross-section diagram of a roof assembly showing insulation, vapor barrier, and structural elements. To the right is a portrait of Robert Borsch-Laaks, Aachen.

Robert Borsch-Laaks, Aachen



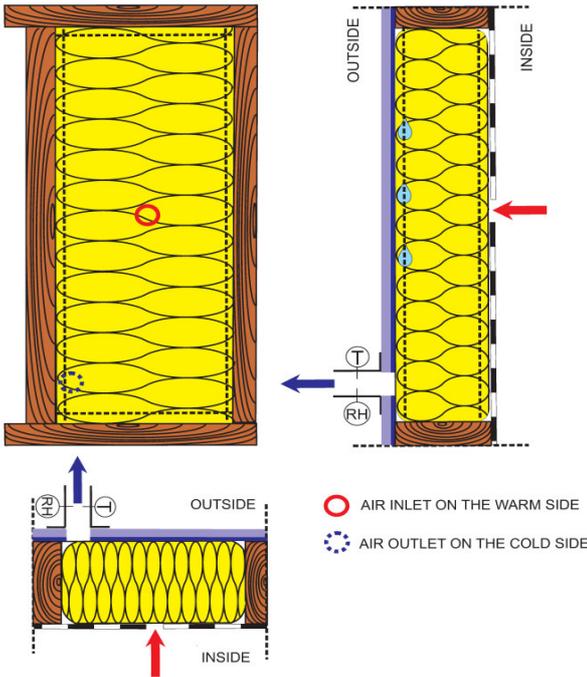
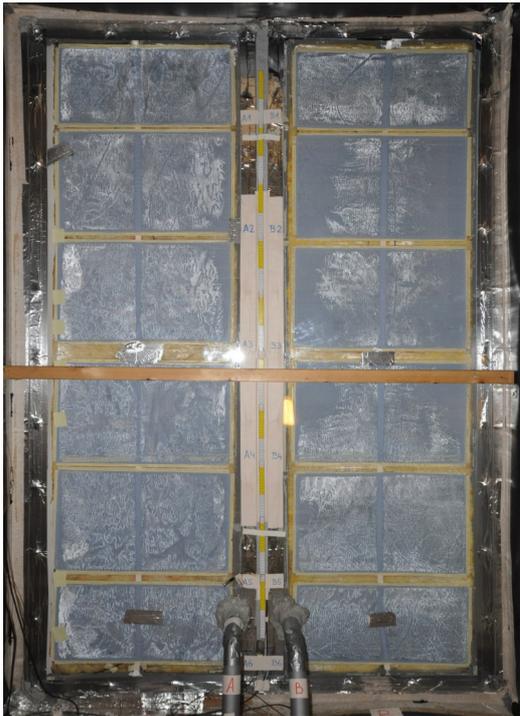
Wie groß sind die Feuchteinträgen aufgrund von Konvektion?

Lassen sie sich vollständig unterbinden?

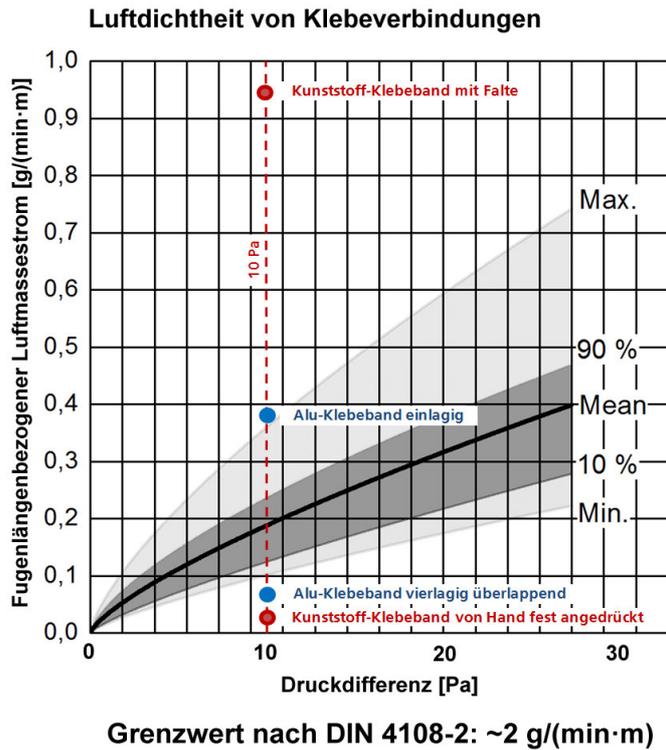
Laborversuche zum konvektiven Feuchteintrag



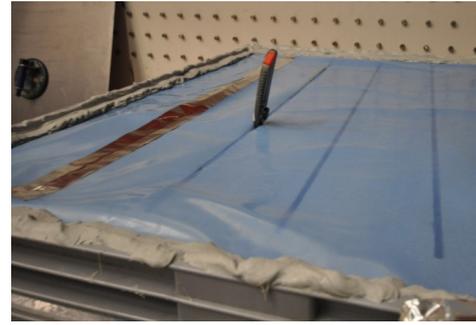
Laborversuche zum konvektiven Feuchteintrag



Laborversuche zum konvektiven Feuchteintrag



Luftdichte Box



Normale Klebeverbindungen sind etwa 10 mal so dicht, wie die Anforderungen an Bauteil-fugen

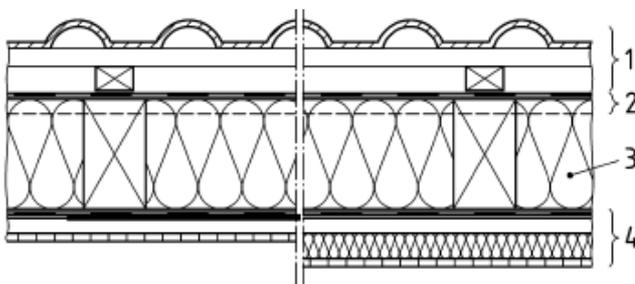
Aber: sie sind niemals absolut luftdicht (Alterung ??)

Normative Vorgaben – DIN 4108-3 (Nov. 2014)

Nachweisfreie Dachkonstruktionen

Nicht belüftete Dächer

- mit belüfteter Dachdeckung oder mit belüfteter Luftschicht unter nicht belüfteter Dachdeckung,
- und einer nicht diffusionsdichten Wärmedämmung,
- und zusätzlicher regensichernder Schicht bei einer Zuordnung der Werte der wasserdampfdiffusionsäquival. Luftschichtdicken s_d nach **Tabelle 3**.



Nachweisfreiheit für **nicht klimatisierte** Wohnräume oder wohnähnlich genutzte Räume

Normative Vorgaben – DIN 4108-3 (Nov. 2014)

Nachweisfreie Dachkonstruktionen

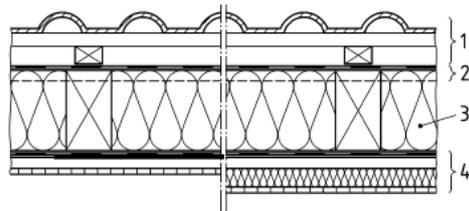


Tabelle 3 — Zuordnung für Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der außen- und raumseitig zur Wärmedämmschicht liegenden Schichten

Zeile	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke in Metern	
	außen $s_{d,e}^a$	innen $s_{d,i}^b$
1	$\leq 0,1$	$\geq 1,0$
2	$0,1 < s_{d,e} \leq 0,3$	$\geq 2,0$
3	$0,3 < s_{d,e} \leq 2,0$	$\geq 6 \cdot s_{d,e}$
4	$> 2,0^c$	$\geq 6 \cdot s_{d,e}^c$

c gilt nur ohne Holz oder Holzwerkstoffe zwischen $s_{d,e}$ und $s_{d,i}$

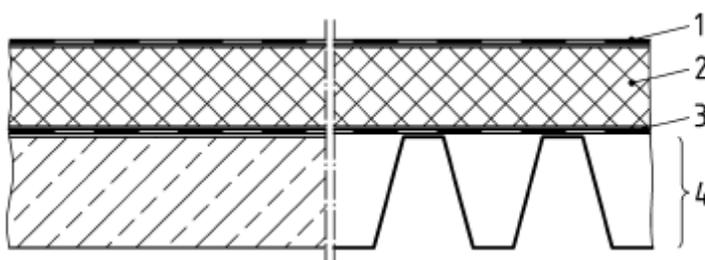
Normative Vorgaben – DIN 4108-3 (Nov. 2014)

Nachweisfreie Dachkonstruktionen

z.B. nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung

und einer diffusionshemmenden Schicht mit $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$ unterhalb der Wärmedämmschicht, wenn sich **weder Holz noch Holzwerkstoffe** zwischen Dachabdichtung und $s_{d,i}$ befinden.

Für Dächer in Holzbauweise, bei denen sich Holz oder Holzwerkstoffe oberhalb einer Schicht $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$ befinden, gilt dies nicht.



Legende

- 1 $s_{d,e}$ Dachabdichtung
- 2 Aufdachdämmung
- 3 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht
- 4 Massivdecke/Stahlkonstruktion

Normative Vorgaben – DIN 68 800-2 (Feb. 2012)

Tauwasserschutznachweis in der deutschen Holzschutznorm

5.2.4 Tauwasser

Der Tauwasserschutz für die raumseitige Oberfläche und für den Querschnitt der Bauteile ist nach DIN 4108-3 oder DIN EN 15026 nachzuweisen. Ein solcher Nachweis ist für die Konstruktionen nach Anhang A nicht erforderlich, mit Ausnahme der in Bild A.23 dargestellten Balkone/Terrassen.

Für beidseitig geschlossene Bauteile der Gebäudehülle ist bei der Berechnung mit den Verfahren nach DIN 4108-3 (Glaser-Verfahren) zur Berücksichtigung eines konvektiven Feuchteintrages und von Anfangsfeuchten eine zusätzliche rechnerische Trocknungsreserve $\geq 250 \text{ g/(m}^2\text{a)}$ bei Dächern und $\geq 100 \text{ g/(m}^2\text{a)}$ bei Wänden und Decken nachzuweisen. Beim Nachweis mit numerischen Simulationsverfahren nach DIN EN 15026 ist der konvektive Feuchteintrag entsprechend der geplanten Luftdurchlässigkeit mit dem q_{50} -Wert nach DIN 4108-7 in Rechnung zu stellen. Die rechnerische Berücksichtigung eines konvektiven Feuchteintrages und von Anfangsfeuchten ist nicht erforderlich für Konstruktionen nach Anhang A und für Bauteile mit wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken nach Tabelle 1.

siehe IBP-Mitteilung 355

Über Konvektion erfolgt bei Leichtbaukonstruktionen regulär ein Feuchteintrag:
– stationär wird hier eine zusätzliche Trocknungsreserve von 250 g/m^2 gefordert
– instationär ist der konvektive Feuchteintrag abhängig von der geplanten Luftdurchlässigkeit (q_{50} -Wert) zu berücksichtigen (**Infiltrationsmodell des IBP**)

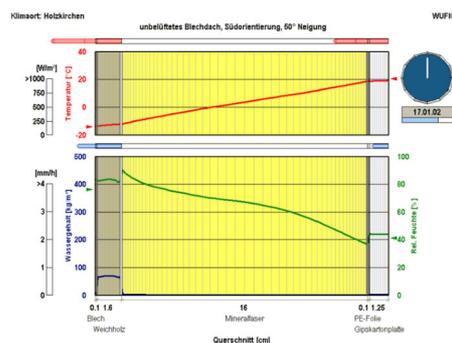
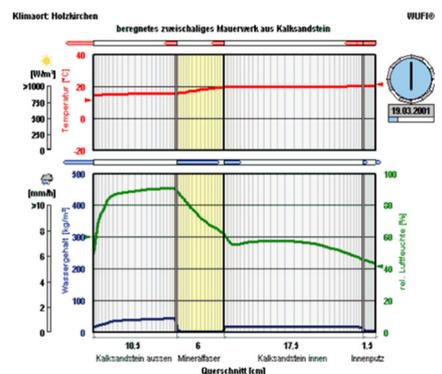
Bemessung durch hygrothermische Simulation

Dynamische Berechnung mit stündlich wechselnden Randbedingungen

Europäische Norm DIN EN 15026

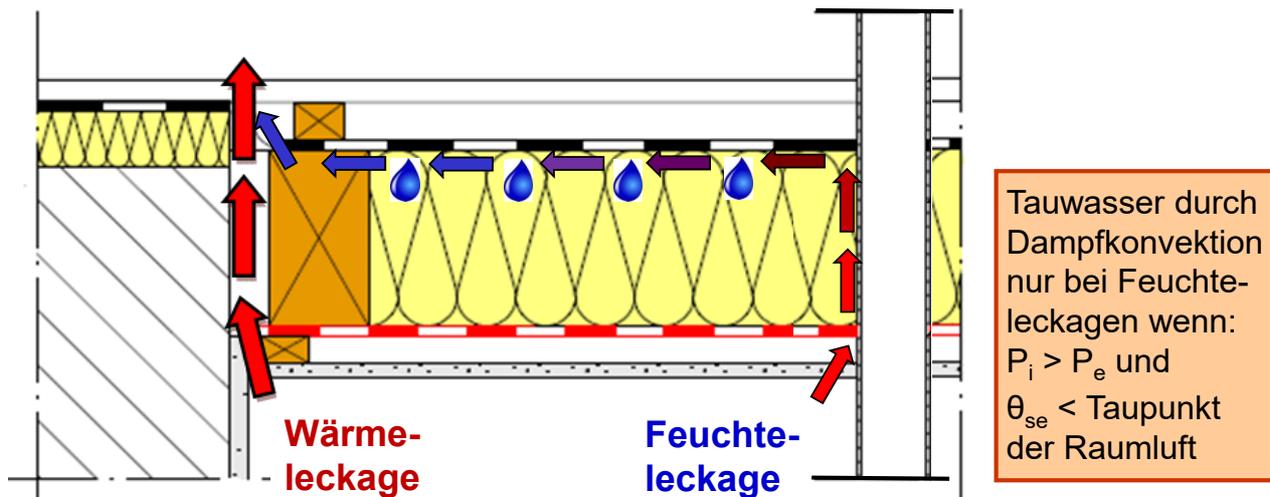
zur Feuchteschutzbeurteilung durch
hygrothermische Simulation

DEUTSCHE NORM		ICS 91.120.01	July 2007
DIN EN 15026		DIN	
Wärme- und feuchtechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007			
Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation; German version EN 15026:2007			
Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments – Evaluation du transfert d'humidité par simulation numérique; Version allemande EN 15026:2007			



Bemessung durch hygrothermische Simulation

Berücksichtigung von Feuchteinträgen aufgrund von Konvektion

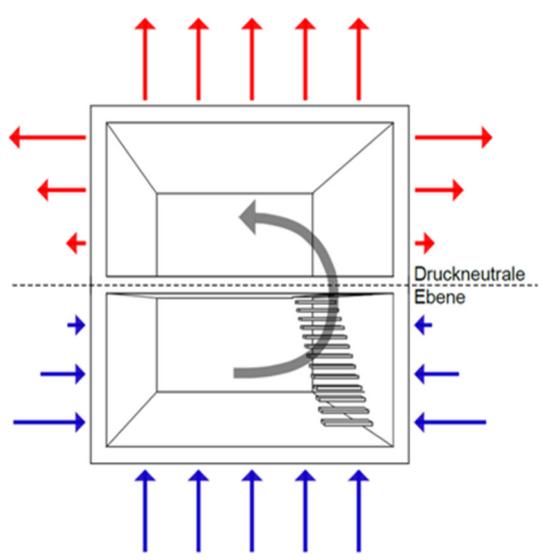


Erwärmung des Bauteils bei stärkerer Durchströmung
 ⇒ i.d. R. geringe Befeuchtung

Abkühlung des Luftstroms bei langsamer Durchströmung
 ⇒ ggf. starke Befeuchtung

Bemessung durch hygrothermische Simulation

Ursachen für Überdruck im Gebäude



$$\Delta P = \rho \cdot \frac{T_a - T_i}{T_i} \cdot g \cdot \frac{h}{2}$$

- ΔP Druckdifferenz innen-außen [Pa]
- ρ Dichte der Außenluft = 1,3 kg/m³
- T_a Lufttemperatur außen [K]
- T_i Lufttemperatur innen [K]
- g Fallbeschleunigung = 9,81 m/s²
- h Höhe des zusammenhängenden Luftraums [m]

- Überdruck infolge thermischen Auftriebs ist proportional zur
- Temperaturdifferenz zwischen innen und außen
 - Höhe des zusammenhängenden Luftraums innen

Überdruck durch thermischen Auftrieb (wirkt im Winter permanent)

Bemessung durch hygrothermische Simulation

Quantifizierung der konvektiven Befeuchtung

Strömungswege durch Bauteile sind zufällige (nicht fassbare) 3D-Gebilde, bedingt durch Fehlstellen, Bauteilinhomogenitäten, etc.

>> Modellhafte Abb. deshalb als homogene (1D) laminare Strömung

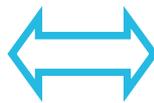
$$q_{CL} = k_{CL} \cdot (P_i - P_e)$$

CL = Component Leakage

k_{CL} · muss aus Bauteildichtheitsmessungen ermittelt werden

q_{CL} [m³/m²h] Luftvolumenstrom durch Bauteil

k_{CL} [m³/m²h·Pa] Durchlässigkeitskoeffizient



Bemessung durch hygrothermische Simulation

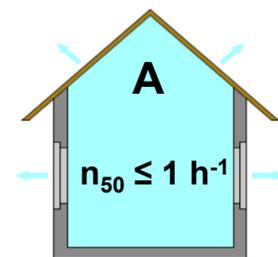
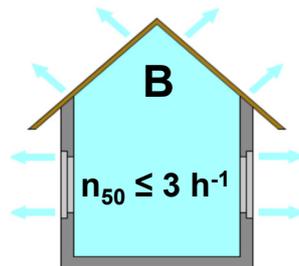
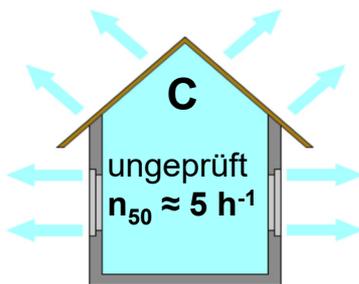
Luftdichtheitsklassen

Feuchtequelle infolge Dampfkonvektion S_{CL}

$$S_{CL} = q_{CL} \cdot (c_i - c_{sat, xp})$$

c_i [kg/m³] Dampfkonz.

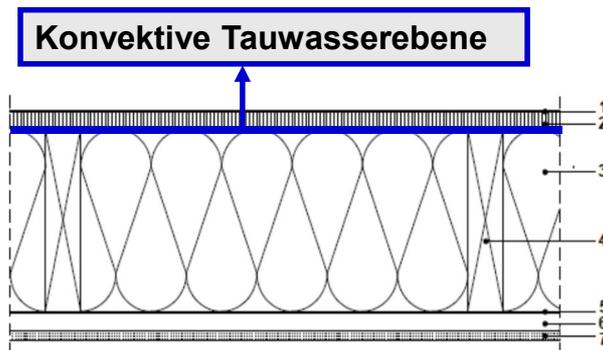
$c_{sat, xp}$ [kg/m³] Sättigungskonz. an Position. xp



Luftdichtheitsklasse	Durchströmung Hülle q_{50} [m ³ /hm ²]	Durchlässigkeit Bauteil k_{CL} [m ³ /(m ² h·Pa)]
A	≤ 1,0	0,0015
B	≤ 3,0	0,004
C	≈ 5,0	0,007

Bemessung durch hygrothermische Simulation

Anwendungsbeispiel Flachdach



Variation der Dampfbremse:
 moderate Sperrwirkung $s_d = 2 \text{ m}$
 hohe Sperrwirkung $s_d = 100 \text{ m}$

- | | | |
|---|------------------------------|---------|
| 1 | Dachabdichtung | |
| 2 | OSB-Platte | 22 mm |
| 3 | Mineralfaserdämmung | 240 mm |
| 4 | Tragkonstruktion | 240 mm |
| 5 | Dampfbremse | |
| 6 | Installationsebene ungedämmt | 24 mm |
| 7 | Gipskartonplatte | 12,5 mm |

Raumklima in allen Fällen: normale Feuchtelast nach WTA (40% – 60% r.F.)

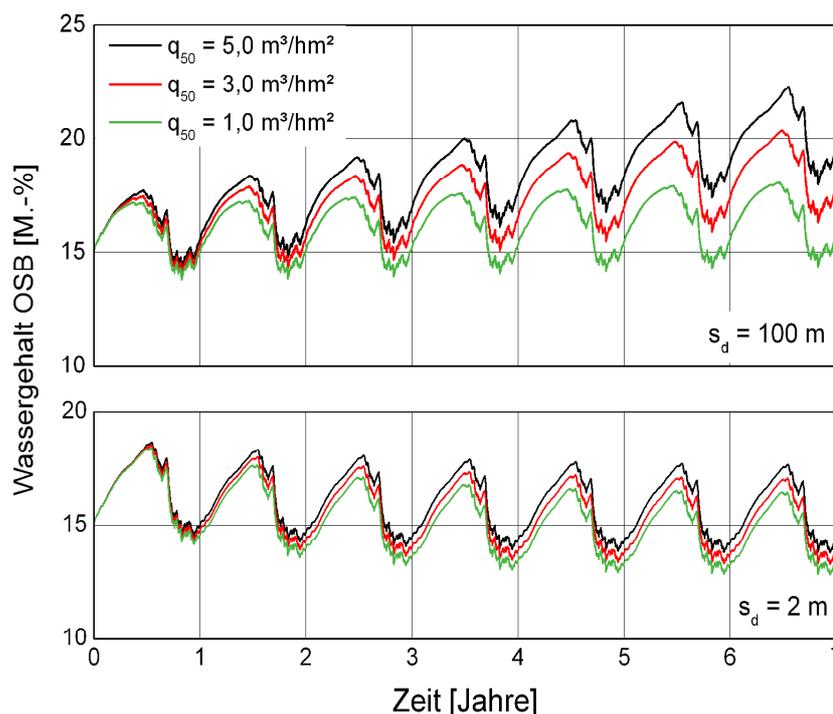
Referenzfall (schwarze Ergebniskurve):

- Holzkirchner Klima
- Gebäudehöhe 5 m
- Luftdichtheitsklasse C ($n_{50} = 5 \text{ h}^{-1} / q_{50} = 5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$)

Beurteilung der langfristigen Feuchteentwicklung in der OSB-Schalung

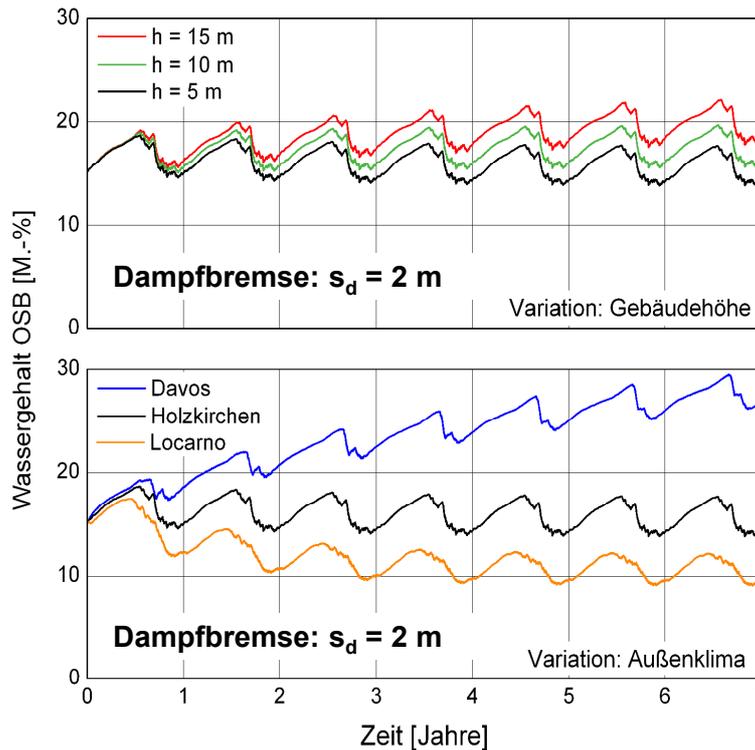
Bemessung durch hygrothermische Simulation

Hygrothermische Simulation mit WUFI®



Variation von Luftdichtheit und Dampfbremse (s_d -Wert)

Bemessung durch hygrothermische Simulation



Variation der Gebäudehöhe

Variation des Standorts

Verbesserung der Austrocknung durch den Einsatz feuchtevariabler DB

Schlussfolgerungen

Neben der Dampfdiffusion aus dem Raum sind bei Holzdächern auch **konvektionsbedingte Feuchtequellen** und **Einbaufeuchte** zu beachten

Deshalb sollten Holzkonstruktionen nur **so dampfdicht wie nötig** und **so diffusionsoffen wie möglich** geplant und ausgeführt werden

Für **nicht klimatisierte** Wohngebäude oder wohnähnlich genutzte Gebäude gibt die DIN 4108-3 konkrete Planungshinweise. Für alle anderen Fälle ist eine Feuchteschutzbemessung durch hygrothermische Simulation **mit konv. Feuchtequellen** zu empfehlen

Literatur: Kehl, D. & Künzel, H.M.: Außen dampfdichte Steildächer – ein Planungsleitfaden. Tagungsband 7. Internationaler Holzbauphysikkongress, Leipzig 2016, S. 51-55. Nachdruck: Holzbau (2015), H.2, S. 21-25.