Luftdichtungs-Studie

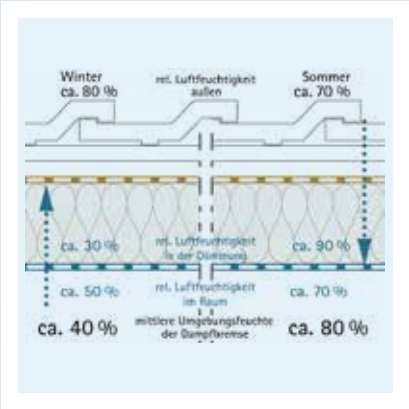
Berechnung des Bauschadens-Freiheits-Potenzials

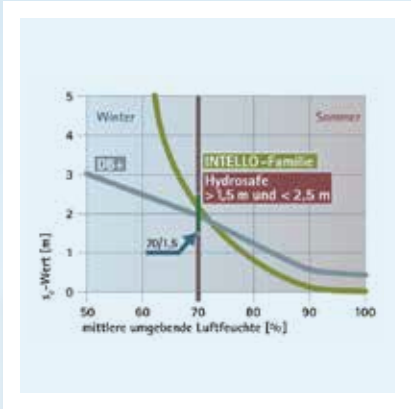
Berechnungen des Bauschadens-Freiheits-Potenzials von Wärmedämmungen in Holz- und Stahlbaukonstruktionen

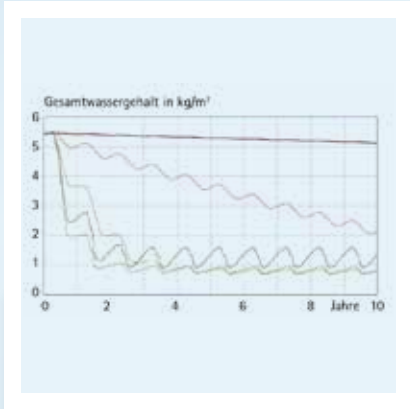
Feuchtevariable Dampfbremsen der pro clima INTELLO-Familie und DB+ mit intelligentem Feuchtemanagement

Dach, Wand, Decke

Computergestützte Simulationsberechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports von Dach- und Wandkonstruktionen unter Berücksichtigung der natürlichen Klimabedingungen und innerbaustofflichen Flüssigkeitstransporte.







Deutschland, Österreich, Schweiz

Literatur

[1] Konsenspapier des 2. Internationalen Holz[Bau]Physik-Kongresses: 10./11.02.2011 Leipzig
[2] Ten Wolde, A. et al.: »Air pressures in wood frame walls, proceedings thermal VII.« Ashrae Publication Atlanta, 1999
[3] IBP Mitteilungen 355: »Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?«
[4] Deutsche Bauzeitung; Heft 12/89, Seite 1639 ff.
[5] DAB 1995; Seite 1479; Heft 8
[6] Klopfer, Heinz; Bauschäden-Sammlung, Band 11, Günter Zimmermann (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1997
[7] Klopfer, Heinz; ARCONIS: Wissen zum Planen und Bauen und zum Baumarkt: Flankenübertragung bei der Wasserdampf-diffusion, Heft 1/1997, S. 8-10
[8] H.M. Künzel; Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Diffusion durch angrenzendes Mauerwerk, wksb 41/1996; Heft 37; S. 34-36
[9] WUFI 2D 3.4 (Wärme und Feuchte instationär); PC-Programm zur Berechnung des gekoppelten 2-dimensionalen Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Infos unter www.wufi.de
[10] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Beuth-Verlag, Berlin, 10/2018
[11] OENORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 01/2020
[12] SIA 180: Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2014
[13] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächen-temperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren, Beuth-Verlag, Berlin, 05/2013
[14] Delphin 5.9.3; Simulationsprogramm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Institut für Bauklimatik; Infos unter www.bauklimatik-dresden.de
[15] WUFI 6.7 pro (Wärme und Feuchte instationär); Simulationsprogramm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Infos unter www.wufi.de
[16] Meteonorm 8; Globale und meteorologische Datenbank für jeden Ort der Welt; Meteotest; Infos unter www.meteonorm.com
[17] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchte-übertragung durch numerische Simulation, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2007
[18] Robert Borsch-Laaks: Bauphysik für Fortgeschrittene – Bemessungsregeln für Flachdächer; Holzbau – die neue quadriga; Verlag Kastner; Wolnzach; 05/2011
[19] DIN 68800-2: Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, 02/2022
[20] WTA-Merkblatt 6-8: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulation, Fraunhofer IRB-Verlag, 08/2016

Luftdichtungs-Studie

1. Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen . . . 4
1.1 Übersicht und Einleitung . . . 4
1.2 Kondensation – Taupunkt – Tauwassermenge . . . 4
1.3 Feuchtebelastungen der Konstruktion . . . 5
1.3.1 Durch Diffusion . . . 5
1.3.2 Durch Konvektion . . . 5
1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtelast – Flankendiffusion . . . 6
1.3.4 Hohe Einbaufeuchte von Baustoffen . . . 6
1.3.5 Zusammenfassung der Feuchtebelastungen . . . 6

2. »Intelligente« Dampfbremsen . . . 7
2.1 Austrocknung der Konstruktion nach innen . . . 7
2.2 Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes . . . 7
2.2.1 Nachweis der Dauerhaftigkeit . . . 7
2.2.2 Hoher Diffusionswiderstand im Winter . . . 8
2.2.3 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer . . . 8
2.2.4 Ausgewogenes Diffusionsprofil (Trocknungsphase (60/2-Regel), Hydrosafe-Wert (70/1,5-Regel) . . . 8
2.2.5 Höchste Sicherheit . . . 8

3. Ermittlung des Sicherheitspotenzials einer Dachkonstruktion . . . 9
3.1 Rechnerischer Nachweis von Bauteilen . . . 9
3.1.1 Berechnung nach Glaser . . . 9
3.1.2 Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte . . . 9
3.2 Definition des Bauschadens-Freiheits-Potenzials . . . 9
3.2.1 Berechnung des Bauschadens-Freiheits-Potenzials . . . 9
3.2.2 Dachkonstruktionen . . . 10
3.2.3 Einflussfaktoren auf die Höhe des Bauschadens-Freiheits-Potenzials . . . 10
3.2.4 Klimadaten Standort Holzkirchen . . . 10
3.2.5 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung . . . 11
3.2.6 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Flachdächer . . . 11
3.2.7 Einfluss der Dämmschichtdicke . . . 11
3.2.8 Klimadaten Standort Davos . . . 12
3.2.9 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung . . . 12
3.2.10 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Kiesdach und Gründach . . . 12
3.2.11 Schlussfolgerungen Bauschadens-Freiheits-Potenzial . . . 13
3.3 Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit . . . 13
3.3.1 Verfahren zur Bemessung . . . 13
3.3.2 Gebrauchstauglichkeit außen diffusionsdichtes Steildach . . . 14
3.3.3 Gebrauchstauglichkeit bekiestes Flachdach . . . 14
3.3.4 Gebrauchstauglichkeit begrüntes Flachdach . . . 14
3.3.5 Schlussfolgerungen Gebrauchstauglichkeit . . . 15
3.4 Flankendiffusion . . . 15
3.4.1 Ergebnisse der 2-dimensionalen Simulationsberechnung . . . 15
3.4.2 Schlussfolgerung Flankendiffusion . . . 15
3.4.3 Wandkonstruktionen . . . 15

4. Konstruktionsempfehlungen . . . 16
4.1 Konstruktionen . . . 16
4.2 Innenseitige Bekleidung . . . 16
4.3 Permanent feuchte Räume . . . 16
4.4 Neubauten: Trocknungsphase (60/2-Regel) . . . 16
4.5 Feuchträume in Wohnungen . . . 16
4.6 Bauphase: Hydrosafe-Wert (70/1,5-Regel) . . . 16
4.7 Unterdach / Unterdeckung . . . 17
4.8 Steildachkonstruktionen . . . 17
4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen . . . 17
4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge . . . 17
4.11 Wände . . . 17
4.12 Qualitätssicherung . . . 18

5. Fazit . . . 18
Kontakt . . . 18

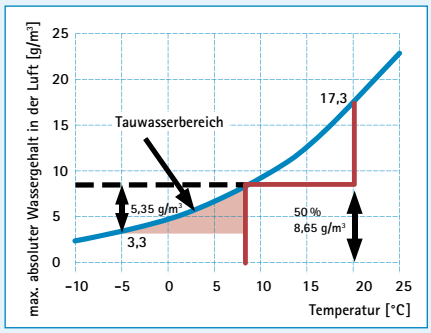
Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen

Eine Frage der Trocknungsreserven und des intelligenten Feuchtemanagements

Feuchtephysik der Luft

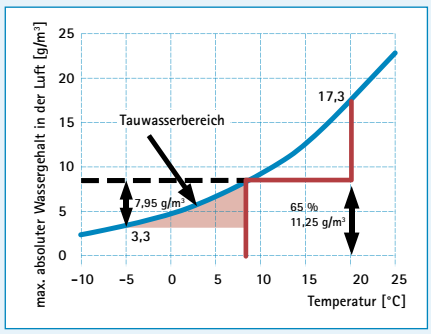
- Beim Abkühlen der Luft erhöht sich die Luftfeuchtigkeit.
- Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur fällt Tauwasser aus.
- Bei höherer Raumluftfeuchtigkeit erhöht sich die Taupunkttemperatur
  » es fällt früher Tauwasser aus.

1. Feuchtephysik der Luft bei 50 % rel. Luftfeuchtigkeit



Bei einem Innenklima von 20 °C / 50 % rel. Luftfeuchte wird der Taupunkt bei 8,7 °C erreicht. Bei -5 °C fällt Kondensat von 5,35 g/m³ Luft aus.

2. Feuchtephysik der Luft bei 65 % rel. Luftfeuchtigkeit



Bei erhöhter Raumluftfeuchtigkeit von 65 % rel. Luftfeuchte wird der Taupunkt schon bei 13,2 °C erreicht. Bei -5 °C fällt Kondensat von 7,95 g/m³ Luft aus.

1.1 Übersicht und Einleitung

Diese Studie beschreibt die Berechnung des Bauschadens-Freiheits-Potenzials verschiedener Dach- und Wandkonstruktionen, wie Bauschäden in Wärmedämmkonstruktionen entstehen und wie sich Konstruktionen sicher gegen Bauschäden schützen lassen. Bauschäden entstehen, wenn die Feuchtigkeitseinträge in eine Konstruktion höher sind als die mögliche Austrocknung aus dem Bauteil heraus. Um Bauschäden zu vermeiden, konzentriert man sich üblicherweise auf die Reduzierung der Feuchtigkeitsbelastung von Bauteilen. Diese lassen sich allerdings nicht vollständig gegen Feuchteeinflüsse schützen. Die vorhersehbaren Feuchtebelastungen durch Diffusion sind so gut wie nie Ursache für Bauschäden. In der Regel sind es die unvorhergesehenen Feuchtebelastungen, die nicht völlig ausgeschlossen werden können. Um Bauschäden und Schimmel zu vermeiden, sollte daher das Trocknungsvermögen von Feuchtigkeit aus der Konstruktion heraus im Vordergrund stehen. Es werden Konstruktionen hinsichtlich Ihrer möglichen Austrocknungspotenziale vergleichend betrachtet.

1.2 Kondensation – Taupunkt – Tauwassermenge

Die Wärmedämmung der Gebäudehülle trennt im winterlichen Klima die warme Innenraumluft mit ihrem hohen Feuchtegehalt von der kalten Außenluft mit geringer absoluter Feuchtigkeit. Dringt warme Innenraumluft in das Bauteil ein, kühlt sie sich auf ihrem Weg durch die Konstruktion ab. Aus dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf kann dann flüssiges Wasser auskondensieren. Ursächlich für den Ausfall von Wasser ist das physikalische Verhalten der Luft: Warme Luft kann mehr Wasser aufnehmen als kalte Luft. Bei höherer rel. Raumluftfeuchtigkeit (z. B. Neubauten mit 65 %) erhöht sich die Taupunkttemperatur und als unmittelbare Folge die Tauwassermenge (**siehe Abb. 1 und 2**). Tauwasser kann im Bauteil anfallen, wenn die Taupunkttemperatur unterschritten wird und enthaltener Wasserdampf durch diffusionsdichtere Bauteilschichten auf der Außenseite nicht aus dem Bauteil heraustrocknen kann. Das heißt: Bauphysikalisch ungünstig sind Bauteilschichten, die auf der Außenseite der Wärmedämmung diffusionsdichter sind als die Bauteilschichten auf der Innenseite. Sehr problematisch ist es, wenn feuchtwarme Luft durch konvektive Ströme, d. h. infolge von Undichtheiten in der Luftdichtungsebene, in das Bauteil gelangen kann. Als diffusionsoffen gelten nach DIN 4108-3 [10] Baustoffe, deren äquivalente Luftschichtdicke (s_d-Wert) niedriger als 0,50 m ist. Der s_d-Wert wird definiert als Produkt der Dampfdiffusionswiderstandszahl (µ-Wert) als Materialkonstante und der Dicke des Bauteils in Meter:

$$s_d = \mu \times s \text{ [m]}$$

Ein niedriger s_d-Wert kann erreicht werden durch einen niedrigen µ-Wert bei einer größeren Schichtdicke (z. B. Holzfaserdämmplatten) oder durch einen höheren µ-Wert bei einer sehr geringen Schichtdicke (z. B. Unterdeckbahnen). Maßgeblich ist also zunächst der µ-Wert und erst dann die Dicke der Baustoffschicht. Das heißt, dass bei einem hohen µ-Wert ein Tauwasserausfall im Vergleich früher auftreten kann als bei einem niedrigen µ-Wert. Im Bereich von diffusionsoffenen Unterdeckbahnen besteht wegen der insbesondere während der kalten Jahreszeiten fehlenden Temperatur- und Feuchtedifferenz nur ein geringes Dampfdruckgefälle. Das erklärt, warum es auch in Kombination mit diffusionsoffenen Unterdeckbahnen zu Bauschäden kommen kann, wenn der Feuchtestrom bedingt durch unvorhergesehene Feuchteeinträge im Bauteil erhöht ist. Unterdeck- und Unterspannbahnen mit monolithischer porenfreier Membran, z. B. aus der pro clima SOLITEX-Familie, bieten in diesem Fall große Vorteile, da die Diffusion aufgrund der speziellen Polymerkombination nicht passiv durch Poren, sondern aktiv entlang der Molekülketten erfolgt.
Die Bahnen ermöglichen dadurch einen extrem schnellen aktiven Feuchtetransport aus dem Bauteil heraus und schützen die Konstruktion optimal vor hoher Tauwasserbildung und Schimmelpilzbefall. Fällt Tauwasser auf der Innenseite der Unterdeckung aus, kann es bei winterlich kalten Temperaturen zu einer Reif- oder Eisbildung auf der Innenoberfläche der Bahnen kommen. Eis ist für Wasserdampf undurchlässig und führt zur Bildung einer Dampfsperre auf der Außenseite des Bauteils. Die Folge ist, dass die Austrocknung nach außen aus dem Bauteil heraus stark reduziert, wenn nicht sogar ganz gestoppt wird. Konstruktionen die auf der kalten Außenseite mit diffusionshemmenden oder diffusionsdichten Schichten versehen sind, gelten als bauphysikalisch kritischer als außen diffusionsoffene Konstruktionen. Unterdeckbahnen mit aktivem Feuchtetransport reduzieren die Gefahr von Bauschäden im Vergleich deutlich. Bei Flachdachkonstruktionen lassen sich stark diffusionshemmende Bahnenmaterialien auf der

Außenseite nicht vermeiden. Der Hintergrund ist, dass die Wasserdichtheit der Bahnen im Vordergrund steht und insbesondere bei begrünten oder bekiesten Dachkonstruktionen mit langfristig hohen Feuchtegehalten der Schichten oberhalb der Abdichtung zu rechnen ist. Diffusionsoffene oder leicht dampfbremsende Materialien würden zu einem hohen Feuchteeintrag von außen in das Bauteil hinein führen. Zu den diffusionsdichten Konstruktionen gehören z. B. auch unbelüftete Steildächer mit Bitumenbahnen oder Dächer mit unbelüfteten Blecheindeckungen. An der diffusionsdichten Schicht staut sich die Feuchtigkeit in der Konstruktion und es kommt zu einem Kondensatausfall.

1.3 Feuchtebelastungen der Konstruktion

Eine Feuchtebelastung innerhalb einer Wärmedämmkonstruktion kann verschiedene Ursachen haben. Zum Beispiel kann durch eine undichte Flachdachabdichtung Wasser von außen in ein Bauteil eindringen. Diese Feuchtigkeitsmengen können so groß sein, dass Wasser in den bewohnten Bereich tropft. Geringe Leckagen in Abdichtungen können dagegen in der Konstruktion zu einer allmählichen Auffeuchtung führen. Als Folge treten oft Schimmelbefall der enthaltenen Materialien bis hin zum Entstehen holzzerstörender Pilze auf. Feuchtigkeit kann aber auch von der beheizten Innenseite in eine Konstruktion eindringen durch:

Vorhersehbare Feuchtebelastung:
- Diffusionsvorgänge

Unvorhergesehene Feuchtebelastungen:
- Konvektion, d. h. Luftströmung (Undichtheiten in der Luftdichtungsebene)
- Konstruktiv bedingter Feuchtetransport (z. B. Flankendiffusion durch angrenzendes Mauerwerk)
- Erhöhte Einbaufeuchte der verwendeten Baustoffe (z. B. der Hölzer)
- Fehler im Bauablauf

1.3.1 Durch Diffusion

Je höher der innenseitige s_d-Wert ist, desto geringer ist die Gefahr eines Bauschadens - so dachte man früher. Es hieß, dass die Verwendung von Dampfsperren mit hohen Diffusionswiderständen Bauschäden verhindern würde. Dass die Realität anders ist, wurde bereits vor über 25 Jahren bei der Markteinführung der ersten feuchtevariablen Dampfbremse DB+ mit einem s_d-Wert von 2,30 m durch bauphysikalische Berechnungen belegt.

Aktuell entsprechen diese sogenannten Dicht-Dicht-Bauteile bei Flachdachkonstruktionen (innen Dampfsperre s_d > 100 m – außen dampfdichte Abdichtung) nach Aussagen von anerkannten Bauphysikern aus Wissenschaft und Praxis nicht mehr den »Regeln der Technik«. Ein Konsenspapier, das als Ergebnis des 2. Internationalen Holz[Bau]Physik-Kongresses im Februar 2011 veröffentlicht wurde, trifft zu unbelüfteten Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise die folgende Aussage: Dampfsperren »unterbinden die sommerliche Umkehrdiffusion, die zur Trocknung des winterlichen Feuchteeintrags aus Dampftransport per Luftströmung (Konvektion) durch unvermeidliche Restleckagen erforderlich ist«. [1]
Insofern dürfen derartige Bauteile entweder nur funktionsfähig belüftet ausgeführt werden oder wenn nachgewiesen wird, dass die Bauteile über ein ausreichendes Rücktrocknungspotenzial verfügen. Dies kann z. B. durch die Wahl einer geeigneten Dampfbrems- und Luftdichtungsbahn auf der Innenseite des Bauteils erreicht werden.
Untersuchungen an Außenwänden in Nordamerika zeigten bereits im Jahre 1999 [2], dass der Feuchtigkeitseintrag durch eine Dampfsperre infolge Konvektion selbst bei fachgerechter Verlegung eine Tauwassermenge von ca. 250 g/m² während der kalten Jahreszeit (Tauperiode) beträgt. Das entspricht einer Feuchtigkeitsmenge, die durch eine Dampfbremse mit einem s_d-Wert von 3,3 m während eines Winters diffundiert [3].

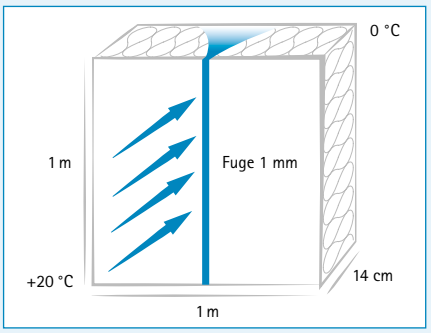
Feuchtephysik der Luft:
- Beim Abkühlen der Luft erhöht sich die Luftfeuchtigkeit.
- Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur fällt Tauwasser aus.
- Bei höherer Raumluftfeuchtigkeit erhöht sich die Taupunkttemperatur
  > es fällt früher Tauwasser aus.

1.3.2 Durch Konvektion

Durch Konvektion, also Luftströmung, werden wesentlich größere Feuchtemengen in die Konstruktion transportiert als durch Diffusion. Die konvektiv eingebrachte Feuchtemenge kann leicht das 1000-fache der durch Diffusion eingetragenen Menge übersteigen (**siehe Abb. 3**).
Durch Leckagen in Konstruktionen mit äußeren diffusionsdichten Bauteilschichten eingedrungene Feuchtigkeit kann schnell zu einem Bauschaden führen. Konvektive Feuchteeinträge können wegen ihrer hohen Feuchtelast aber auch für außen diffusionsoffene Bauteile

Feuchteeintrag in die Konstruktion durch Undichtheiten in der Dampfsperre

3. Feuchtigkeitsmenge durch Konvektion



Feuchtetransport
durch Dampfsperre: 0,5 g / (m² x 24 h)
durch 1 mm Fuge: 800 g / (m x 24 h)
Erhöhung Faktor: 1.600

Randbedingungen
Dampfsperre s_d-Wert = 30 m
Innentemperatur = +20 °C
Außentemperatur = 0 °C
Druckdifferenz = 20 Pa (entsprechend Windstärke 2-3)

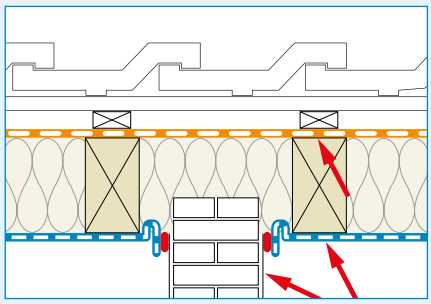
Messung: Institut für Bauphysik, Stuttgart [4]

Fazit

Auch in Konstruktionen mit Dampfsperren, deren rechnerische sd-Werte 50 m, 100 m oder mehr betragen, werden letztendlich erhebliche Mengen an Feuchtigkeit eingetragen. Dampfsperren lassen aber keine Rücktrocknung zu. Dadurch entstehen Feuchtefallen.

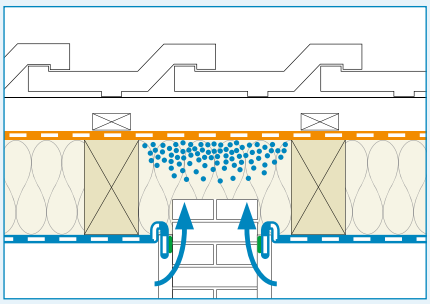
Flankendiffusion

4. Bauschaden: Feuchteeintrag trotz luftdichtem Anschluss und Verwendung einer Dampfsperre



Luftdichte Konstruktion mit Dampfsperrfolie (PE) und luftdichter Putzschicht, außen Bitumendachbahn

5. Ursache des Feuchteeintrags: Feuchtetransport über die Flanke, hier das Mauerwerk



Feuchteeintrag durch Flankendiffusion über das angrenzende Mauerwerk

gefährlich werden, v. a. wenn bereits Tauwasser ausgefallen und es im winterlich kalten Klima zur Bildung von Eisschichten z. B. an der Unterdeckung gekommen ist.

1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtelast – Flankendiffusion

Verschiedene Bauschäden wurden in der Literatur dokumentiert, die sich allein mit Diffusions- und Konvektionsvorgängen durch Dampfsperren nicht erklären ließen. Ruhe [5] und Klopfer [6] haben 1995 bzw. 1997 bei einem Bauschaden auf das Problem der Flankendiffusion hingewiesen [7].

Die Konstruktion:

Steildach: außen Bitumenbahn auf Holzschalung, innen Dampfsperre aus Polyethylen (PE), der Zwischenraum ist vollständig mit Mineralwolle ausgedämmt. Trotz perfekter Luftdichtheit tropfte im Sommer Wasser aus den Anschlüssen der Bahn auf die unteren angrenzenden Bauteile. Zunächst wurde angenommen, dass die Ursache erhöhte Einbaufeuchtigkeit sei. Da das Abtropfen von Jahr zu Jahr zunahm, war dies ausgeschlossen. Nach 5 Jahren wurde das Dach geöffnet. Die Holzschalung war bereits erheblich durch holzzerstörende Pilze geschädigt.
Diskutiert wurde der Feuchteeintrag durch Flankendiffusion. Dabei dringt Feuchtigkeit über die Flanke des angrenzenden Mauerwerks (hier porosierter Ziegel) ins Dach ein. Der Feuchtestrom umgeht dadurch die Dampfsperrfolie (**siehe Abb. 4 und 5**).
Unter Bauphysikern wurde der Sachverhalt zu Beginn kontrovers diskutiert bis Künzel [8] 1997 die Flankendiffusion mit Hilfe von Berechnungen des zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransports mit WUFI 2D [9] rechnerisch nachwies.
In der Simulation erhöhten sich die rel. Feuchtegehalte der Schalung über dem Ziegelmauerwerk bereits nach einem Jahr auf ca. 20 %, nach 3 Jahren stieg sie auf 40 % und nach 5 Jahren auf 50 %.

1.3.4 Hohe Einbaufeuchte von Baustoffen

Werden Baustoffe mit einem höheren Feuchtegehalt als im Gebrauchszustand eingesetzt, ist die Konstruktion darauf angewiesen, dass diese Feuchtigkeit austrocknen kann. In der Regel werden heute technisch vorgetrocknete Hölzer (Konstruktionsvollholz) eingesetzt. Diese verfügen definitionsgemäß über eine rel. Materialfeuchte von bis zu 18 %. Kommt es zur weiteren Feuchteaufnahme z. B. durch Freibewitterung kann dieser Wert deutlich überschritten werden.

Ein Beispiel:

Ein Dach mit Sparren 6/24 und einem Sparrenabstand e = 0,70 m hat pro m² Dachfläche 1,5 lfm Sparren. Bei 10 % Feuchtigkeit enthält diese Dachfläche ca. 1,1 l Wasser aus dem Sparrenanteil.

Bei erhöhter Feuchte bedeutet das:

Die aktuelle DIN 68800-2 [19] fordert, dass Hölzer, die während der Bauphase über eine rel. Feuchte von 20 % aufgefeuchtet werden, innerhalb von höchstens 3 Monaten eine Holzfeuchte von weniger als 20 % erreichen müssen. Wenn die rel. Holzfeuchte 30 % beträgt, müssen zur Einhaltung der Norm 1,1 l Wasser/m² Dachfläche austrocknen können. Dieses Rechenbeispiel gilt auch für eine Holzschalung von 24 mm Stärke. Der Feuchtegehalt bei 10 % Holzfeuchte beträgt ca. 1,2 l Wasser pro m². Bei 30 % rel. Anfangsfeuchtigkeit, nach einem Regentag keine Seltenheit, müssen 1,2 l Wasser pro m² Dachfläche austrocknen, damit 20 % rel. Holzfeuchte erreicht werden. Für Sparren und Holzschalung zusammen sind das ca. 2,3 l pro m² Dachfläche. Die Gesamtmenge an Feuchtigkeit wird häufig unterschätzt. Beim Mauerwerksbau kann durch die Neubaufeuchtigkeit eine erhebliche Feuchtigkeitsmenge zusätzlich ins Holz gelangen. Wird dann auf der Innenseite einer vollgedämmten Konstruktion eine diffusionsdichte Dampfsperrfolie aus Polyethylen eingebaut und außen mit einer Bitumendachbahn als Vordeckung kombiniert, ist ein Bauschaden unausweichlich.

1.3.5 Zusammenfassung der Feuchtebelastungen

Die vielfältigen Möglichkeiten des Feuchteeintrags zeigen, dass im Baualltag die Feuchtebelastung einer Konstruktion nie ganz auszuschließen ist. Wenn es darum geht schaden- und schimmelfrei zu bauen, ist die Erhöhung des Trocknungsvermögens eine wesentlich effektivere und sicherere Lösung, als sich darauf zu konzentrieren, möglichst wenig Feuchtigkeit in die Konstruktion gelangen zu lassen.

Intelligentes Feuchtemanagement Sicherheitsformel

Trocknungsvermögen > Feuchtebelastung = Bauschadensfreiheit

Nur wenn das Trocknungsvermögen kleiner ist als die Feuchtebelastung, kann ein Bauschaden entstehen. »Je höher die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist, umso höher kann die unvorhergesehene Feuchtebelastung sein und trotzdem bleibt die Konstruktion bauschadensfrei.« Konstruktionen, die außen diffusionsoffen sind, haben eine größere Trocknungsreserve als außenseitig diffusionsdichte Konstruktionen.

»Intelligente« Dampfbremsen

2.1 Austrocknung der Konstruktion nach innen

Eine zusätzliche entscheidende Trocknungsmöglichkeit bietet sich für das Bauteil durch Aktivierung der inneren Rücktrocknungsfläche: Immer wenn die Temperatur außenseitig der Dämmung höher ist als innerhalb des Gebäudes, kehrt sich der Diffusionsstrom um – im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit drängt dann zur Gebäudeinnenseite. Dieser Effekt setzt bereits bei sonnigen Tagen im Frühjahr ein und wirkt bis in den Herbst hinein – er erfolgt verstärkt in den Sommermonaten. Würde statt einer Dampfbrems- und Luftdichtungsbahn eine diffusionsoffene Luftdichtungsbahn verbaut werden, könnte die eventuell in der Konstruktion befindliche Feuchtigkeit nach innen austrocknen.
Eine diffusionsoffene Bahn würde aber im Winter zu viel Feuchtigkeit in die Konstruktion gelangen lassen – die großen Feuchtemengen würden unweigerlich zu einem Bauschaden führen. Bei Verwendung von Dampfsperren scheint die Konstruktion auf den ersten Blick gegen Feuchtigkeit geschützt. Erfolgt allerdings ein Eintrag von Feuchtigkeit durch Konvektion, Flankendiffusion oder erhöhte Baustofffeuchtigkeit, ist eine Rücktrocknung im Sommer nach innen nicht möglich. Da diese Bauweise Feuchtefallen begünstigt, wurde ihnen der Status der anerkannten Regeln auf dem 2. Holz[Bau]Physik-Kongress im Februar 2011 aberkannt [1].
Ideal ist daher eine Dampfbremse mit einem hohen Diffusionswiderstand im Winter und einem sehr niedrigen Diffusionswiderstand im Sommer. Seit Jahren haben sich diese »intelligenten« Dampfbremsen mit feuchtevariablem s_d-Wert bewährt. Sie verändern ihren Diffusionswiderstand entsprechend der mittleren umgebenden relativen Luftfeuchtigkeit. So sind sie im winterlichen Klima diffusionsdichter und schützen die Konstruktion vor Feuchtigkeitseintrag. Im sommerlichen Klima sind sie diffusionsoffener und ermöglichen dadurch die Austrocknung von Feuchtigkeit, die sich evtl. in der Konstruktion befindet, in den Innenraum. Idealerweise kann im Sommer der s_d-Wert 0,50 m deutlich unterschreiten – erst unterhalb dieses Wertes gilt ein Material als diffusionsoffen (vgl. DIN 4108-3 [10]). Liegt der mögliche s_d-Wert im Sommerfall oberhalb von 0,50 m ist die Austrocknung aus dem Bauteil deutlich reduziert.

2.2 Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes

Die Richtung des Diffusionsstroms wird durch das Gefälle des Wasserdampfteildrucks bestimmt. Dieser ist abhängig von der Temperatur und dem Feuchtegehalt der Luft inner- bzw. außerhalb eines Gebäudes. Werden vereinfacht nur die das Bauteil umgebenden Temperaturen betrachtet, so diffundiert Feuchtigkeit von der warmen zur kalten Seite – im Winter von innen nach außen und im Sommer von außen nach innen. Messungen der Feuchtegehalte in Dachkonstruktionen haben gezeigt, dass im winterlichen Klima durch den Transport der Feuchtigkeit im Sparrenfeld nach außen die Dampfbremse in einer mittleren Umgebungsfeuchtigkeit von ca. 40 % liegt. Im sommerlichen Klima kommt es bei warmen Außentemperaturen zu erhöhten relativen Luftfeuchtigkeiten an der Dampfbremse, bei unvorhergesehenen Feuchteeinträgen z. T. sogar zu Sommerkondensat (siehe Abb. 6).
Diese Klimabedingungen steuern die Funktion von feuchtevariablen Dampfbremsen – dadurch sind sie im Winterfall diffusionsdichter und im Sommerfall diffusionsoffener.
Seit 1991 hat sich die pro clima DB+ in Millionen verlegten m² bewährt. Ihr Diffusionswiderstand kann s_d-Werte zwischen 0,4 m und 4 m annehmen. Im Jahr 2004 hat die Firma MOLL bauökologische Produkte GmbH die Hochleistungs-Dampfbremse pro clima INTELLO eingeführt. INTELLO hat – wie auch alle anderen Bahnen aus der INTELLO-Familie (INTELLO PLUS, INTELLO X und INTELLO X PLUS) – einen besonders großen, in allen Klimabereichen wirksamen feuchtevariablen Diffusionswiderstand von 0,25 m bis über 25 m (siehe Abb. 9). Laut ETA-18/1146 können die INTELLO und INTELLO PLUS s_d-Werte bis 55 m erreichen. Somit wird im oben beschriebenen Winterfall das Bauteil sehr gut vor bauteilschädigendem Feuchteeintrag durch Diffusion geschützt.

2.2.1 Nachweis der Dauerhaftigkeit

Die europäische Normung für Dampfbremsen (DIN EN 13984) kennt aktuell kein Nachweisverfahren zur Überprüfung des Verlaufs und der Dauerhaftigkeit von feuchtevariablen Eigenschaften. Dementsprechend können nach der EN nur Dampfbremsen mit konstanten Diffusionswiderständen überprüft werden. Aus diesem Grund wurde die Alterungsbeständigkeit der Feuchtevariabilität von INTELLO und INTELLO PLUS nach einem durch einen unabhängigen Sachverständigenausschuss des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) festgelegten Verfahren nachgewiesen. Dabei wurden die beiden Dampfbremsbahnen im Vergleich zur DIN EN 13984 unter deutlich verschärften Beanspruchungen (erhöhte Temperatur und verdoppelter Alterungszeitraum) beschleunigt gealtert.
Bei der Auswertung wurden zudem die zulässigen Abweichungen der gealterten von den ungealterten Diffusionswiderständen gegenüber der europäischen Norm deutlich verschärft.
Durch die Europäisch Technische Bewertung

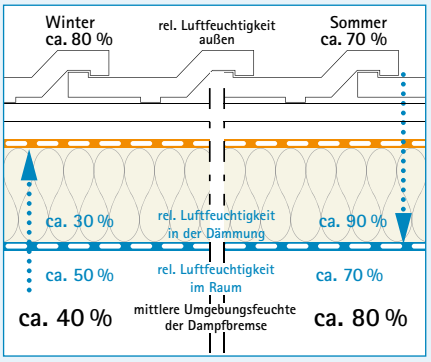
Feuchtesituation in der Konstruktion

Der Diffusionsstrom ist in der Regel von der warmen zur kalten Seite gerichtet. Daraus folgt:

Im Winter:
Erhöhte Feuchtigkeit auf der Außenseite des Bauteils

Im Sommer:
Erhöhte Feuchtigkeit auf der Innenseite des Bauteils

6. Funktionsprinzip feuchtevariabler Bahnen



Darstellung der rel. Luftfeuchtigkeiten an der Dampfbremse abhängig von der Jahreszeit

Umgebende Feuchtigkeit der Dampfbremse

- im Winter: geringe Luftfeuchtigkeit
  → die feuchtevariable Dampfbremse ist diffusionsdichter
- im Sommer: hohe Luftfeuchtigkeit
  → die feuchtevariable Dampfbremse ist diffusionsoffener

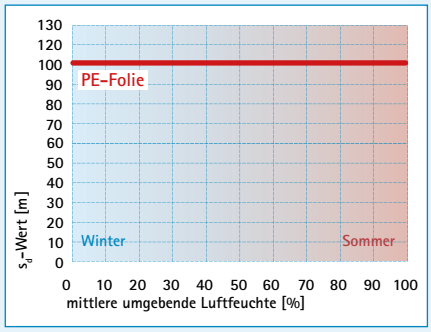
7. Diffusionsströme der feuchtevariablen pro clima Dampfbremsen

Diffusionsstrom	W_{DD}-Wert in g/m² pro Woche	
	im Winter	im Sommer
Diffusionsrichtung	nach außen Richtung Unterdeckung	nach innen Richtung Dampfbremse
DB+	28	175
INTELLO INTELLO PLUS INTELLO X INTELLO X PLUS	7	560

s_d-Wert-Verhalten von Dampfbremsen

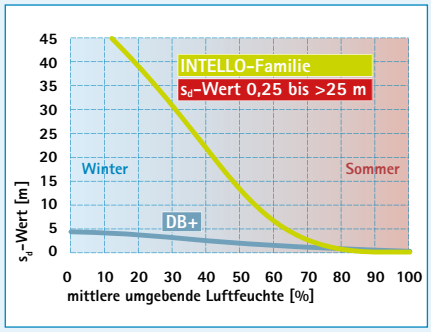
Je größer die Variabilität des Diffusionswiderstandes zwischen Winter und Sommer ist, umso mehr Sicherheit bietet die Dampfbremse.

8. s_d-Wert-Verhalten PE-Folie



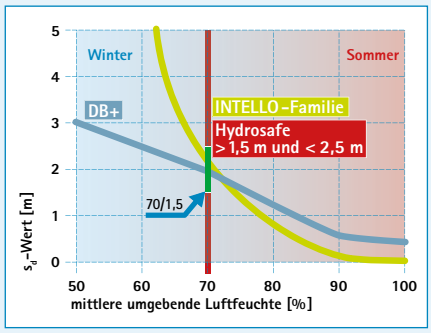
PE-Folie: keine Feuchtevariabilität

9. s_d-Wert-Verhalten pro clima Dampfbremsbahnen



DB+: Mittlere Feuchtevariabilität
Bahnen der INTELLO-Familie: Hohe Feuchtevariabilität

10. Nutzung und Bauphase (Austrocknung und Hydrosafe-Wert)



Für hohen Bauteilschutz während der Bauphase wird ein Hydrosafe-Wert zwischen 1,5 und 2,5 m empfohlen.

(ETA-18/1146) verfügen INTELLO und INTELLO PLUS über den nach DIN 68800-2 für Dampfbremsen mit feuchtevariablem Diffusionswiderstand geforderten Nachweis der Alterungsbeständigkeit.

2.2.2 Hoher Diffusionswiderstand im Winter

Der Diffusionswiderstand der Dampfbremsen mit dem INTELLO Funktionsfilm ist so eingestellt, dass die Bahn im winterlichen Klima einen s_d-Wert von mehr als 25 m erreichen kann. Das bewirkt, dass während der kalten Jahreszeit wenn der Feuchtigkeitsdruck auf die Konstruktion am größten ist, die Dampfbremse fast keine Feuchtigkeit in das Bauteil gelangen lässt. Die Funktion des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes ist unabhängig von der Gebäudehöhenlage. Auch bei langen kalten Wintern bleibt die Eigenschaft erhalten. Bei Konstruktionen mit diffusionsdichten Abdichtungsbahnen auf der Außenseite, können die Bahnen den Feuchtehaushalt regulieren und die Bauteile wirksam vor Feuchtigkeit schützen. Der hohe s_d-Wert ist auch bei außen planmäßig diffusionsoffenen Dächern von Vorteil, wenn es z. B. durch Reif- und Eisbildung an einer eigentlich diffusionsoffenen Unterdeckbahn zur Bildung einer Dampfsperre kommt (**siehe Abb. 9**).

2.2.3 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer

Der Diffusionswiderstand im sommerlichen Klima kann auf einen s_d-Wert von unter 0,25 m sinken. Dies bewirkt eine schnelle Austrocknung von Feuchtigkeit, die sich evtl. in der Konstruktion befindet, nach innen. Je nach Höhe des Dampfdruckgefälles entspricht das einer Austrocknungskapazität von 5 – 12 g/m² Wasser pro Stunde, entsprechend ca. 80 g/m² Wasser pro Tag bzw. 560 g/m² Wasser pro Woche (**siehe Abb. 7**).
Dieses hohe Austrocknungsvermögen bewirkt, dass ein Bauteilgefach schon im Frühjahr schnell austrocknet. Entscheidend ist, dass Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand im feuchten Bereich (Sommerfall) einen s_d-Wert deutlich kleiner als 0,5 m aufweisen. Ansonsten sind die Sicherheiten bei unvorhergesehenen Feuchteeinträgen zu gering.

2.2.4 Ausgewogenes Diffusionsprofil

In Zeiten besserer Luftdichtungen und damit verbundenen erhöhten Luftfeuchtigkeiten in Neubauten in Mauerwerksbauweise kommt dem Diffusionswiderstand bei höherer rel. Luftfeuchtigkeit (LF) eine wichtige Bedeutung zu.

Neubauten: Trocknungsphase (60/2-Regel)
In Neubauten und in Feuchträumen (Bäder, Küchen) von Wohnhäusern oder Häusern mit wohnähnlicher Nutzung herrscht bau- und wohnbedingt eine erhöhte Raumluftfeuchte von ca. 70 %. Der Diffusionswiderstand einer Dampfbremse sollte so eingestellt sein, dass bei dieser Feuchtigkeit ein s_d-Wert von mindestens 2 m erreicht wird, um die Konstruktion ausreichend vor Feuchteeintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung zu schützen. Alle INTELLO Bahnen haben bei 60 % mittlerer Feuchtigkeit (70 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Feuchtigkeit an der Wärmedämmung) einen s_d-Wert von über 6 m, die DB+ von ca. 2,5 m (**siehe Abb. 10**).

Bauphase: Hydrosafe-Wert (70/1,5-Regel)
In der Bauphase, wenn Wände verputzt oder Estrich gelegt wurde, herrscht im Gebäude eine sehr hohe Raumluftfeuchte von zum Teil über 90 %.
Der Schutz von gedämmten Holzbau-Konstruktionen während der Bauphase vor baubedingt erhöhter Innenraumfeuchte (Baufeuchte) wird durch den Hydrosafe-Wert beschrieben. Dieser gibt an, welche äquivalente Luftschichtdicke (s_d-Wert) eine auf der Innenseite verlegte feuchtevariable Dampfbrems- und Luftdichtungsbahn mindestens aufweisen muss, damit Dämmung und Konstruktion in allen Phasen ausreichend vor Feuchtigkeit geschützt sind. Als ausreichend sicher wird ein Hydrosafe-Wert von mindestens 1,5 m bei einer mittleren rel. Luftfeuchtigkeit von 70 % beschrieben (siehe DIN 68800-2 [19]).
Die Bahnen aus der INTELLO-Familie erreichen bei 70 % mittlerer Feuchte (90 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % in der Dämmebene) einen s_d-Wert von über 2 m (DB+ 2 m) und bieten den Bauteilen auch während baubedingt erhöhten rel. Luftfeuchtigkeiten einen ausreichenden Schutz.
Übermäßige Raumluftfeuchte in der Bauphase über einen langen Zeitraum schädigt alle Materialien bzw. Bauteile im Gebäude, führt zu deren Feuchteanreicherung und sollte konsequent zügig und stetig durch Fensterlüftung entweichen können. Ggf. können Bautrockner erforderlich sein (**siehe Abb. 10**).

2.2.5 Höchste Sicherheit

Das »intelligente« Verhalten der feuchtevariablen Dampfbremsen von pro clima macht Wärmedämmkonstruktionen je nach Bauart und Lage sehr sicher. Auch bei unvorhergesehenem Feuchtigkeitseintrag in die Konstruktion, z. B. durch widrige Klimabedingungen, unvermeidbare Restleckagen, Flankendiffusion oder erhöhte Einbaufeuchtigkeit von Bauholz oder Dämmstoff können Bauteile von der Schutzfunktion profitieren. Die feuchtevariablen pro clima Dampfbremsen fördern aktiv das Austrocknen von Feuchtigkeit aus dem Bauteil heraus, welche unvorhergesehen in dieses eingedrungen ist.

Ermittlung des Sicherheitspotenzials einer Dachkonstruktion

3.1 Rechnerischer Nachweis von Bauteilen

Zur Berechnung von Feuchtebelastungen innerhalb von Bauteilen stehen stationäre und dynamische Rechenverfahren zur Verfügung. Stationäre Nachweise von Bauteilen können mit dem Verfahren nach Glaser erstellt werden. Dieses ist die Grundlage für verschiedene nationale und internationale Normen (z. B. DIN 4108-3 [10], OENORM B 8110-2 [11] oder SIA 180 [12] bzw. DIN EN ISO 13788 [13]). Werden detaillierte Feuchtegehalte z. B. einzelner Materialien gewünscht kann ein instationäres (dynamisches) Verfahren nach DIN EN 15026 [17] angewendet werden.

3.1.1 Berechnung nach Glaser

Das Glaser-Verfahren ist ein vereinfachtes, stationäres Nachweisverfahren für eine feuchteschutztechnische Abschätzung von Bauteilen. Dies erfolgt durch Betrachtung des auftretenden Diffusionstransports bei stationären Zuständen unter pauschalen Randbedingungen. Bei dieser Art von Nachweis handelt es sich um »ein modellhaftes Nachweis- und Bewertungsverfahren als Hilfsmittel für den Fachmann zur Beurteilung des klimabedingten Feuchteschutzes. Es bildet nicht die realen physikalischen Vorgänge in ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge ab« (aus: DIN 4108-3 [10]). Die Einfachheit des Verfahrens bedeutet zugleich eine starke Einschränkung, da sich z. B. weder Verschattungen noch zusätzliche Bauteilschichten wie Bekiesungen oder Begrünungen berücksichtigen lassen. Weiterhin werden die tatsächlichen Feuchtegehalte, die Kapillarität sowie die Sorptionsfähigkeit von Baustoffen nicht in die Berechnungen einbezogen.
Dadurch kann das Glaser-Verfahren gerade für die Berechnung von bauphysikalisch anspruchsvollen Holzbaukonstruktionen nicht verwendet werden.

3.1.2 Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte

Detaillierte Betrachtungen der Feuchtegehalte innerhalb von Bauteilen können mit instationären Berechnungsverfahren durchgeführt werden. Diese sind u.a. sowohl in der Lage die von außen auf ein Bauteil einwirkenden Klimarandbedingungen (Innen- und Außenklima), als auch Baustoffeigenschaften wie Feuchtegehalt, Sorption und Kapillarität usw. in der Berechnung zu berücksichtigen.
Bekannte Softwarelösungen sind Delphin [14] vom Institut für Bauklimatik, Dresden und WUFI pro [15] vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen. Die Verfahren wurden mehrfach validiert, d. h. dass die Ergebnisse aus den Rechnungen anhand von Freilandversuchen überprüft wurden. Für die Berechnung werden die entsprechenden Klimadaten eines Jahres als Stundenwerte benötigt. Mit Hilfe der meteorologischen Datenbank Meteonorm [16] lassen sich die erforderlichen Klimadatensätze für nahezu jeden Ort auf der Welt erstellen.
Für die Simulationsberechnungen wird das Bauteil mit seiner Schichtenfolge berücksichtigt und ein mehrjähriger Verlauf der Feuchtegehalte für das gesamte Bauteil oder in einzelnen Bauteilschichten analysiert.
Das Berechnungsergebnis zeigt z. B., ob sich die Feuchtigkeitsgehalte einzelner Materialien oder an ausgewählten Stellen im Bauteil im zulässigen Rahmen bewegen. Wird der Verlauf des Gesamtfeuchtegehaltes betrachtet kann die maximal mögliche Austrocknung von verschiedenen Bauteilen ermittelt werden. Diese wird auch als Bauschadens-Freiheits-Potenzial bezeichnet.

3.2 Definition des Bauschadens-Freiheits-Potenzials

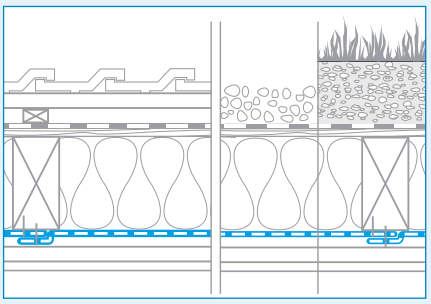
Das Bauschadens-Freiheits-Potenzial ist eine theoretische Größe und erlaubt es die Leistungsfähigkeit von Konstruktionen hinsichtlich des Austrocknungsvermögens miteinander zu vergleichen. Es gibt an, wie viel Feuchtigkeit theoretisch durch unvermeidbare Restleckagen, Flankendiffusion oder feuchte Baustoffe eindringen könnte. Vergleichsgröße ist die Menge an Feuchtigkeit, die innerhalb eines Jahres aus dem Bauteil heraustrocknen kann. Dadurch können verschiedene Konzepte vergleichend gegenüber gestellt werden. Je größer das Bauschadens-Freiheits-Potenzial, desto größer die Sicherheit vor einem Bauschaden.

3.2.1 Berechnung des Bauschadens-Freiheits-Potenzials

Um die Sicherheiten eines Bauteils bei unvorhergesehenem Feuchteeintrag zu ermitteln, wird folgender Ansatz verwendet: Zu Beginn der Berechnung wird der Feuchtegehalt in der Wärmedämmebene definiert auf 20 kg Wasser pro m³ Dämmstoff erhöht. Die Berechnung zeigt, wie schnell diese wieder austrocknen kann. Die Trocknungsmenge, die pro Jahr unter der Annahme der erhöhten Anfangsfeuchtigkeit aus der Konstruktion entweichen kann, ist das Bauschadens-Freiheits-Potenzial der Konstruktion. Die Berechnungen erfolgen unter ungünstigen Bedingungen (z. B. Nordseite eines Steildaches), in unterschiedlichen Klimabereichen (z. B. Hochgebirge) und mit unterschiedlichen Dachformen (Steildach, bekiestes oder begrüntes Flachdach). Bauphysikalisch

Bauphysikalische Beurteilung von Dachkonstruktionen

11. Aufbau der Dachkonstruktionen



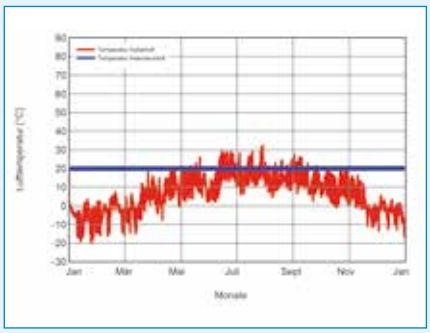
Bauteilschichten:
- Außenseitig diffusionsdicht (Abdichtungsbahn s_d-Wert = 300 m)
- Vollholzschalung, 24 mm
- Faserdämmung (Mineralwolle) WLG 0,035 W/mK, 200 mm
- Dampfbremsen/-sperren mit unterschiedlichen s_d-Werten
- Installationsebene, 25 mm
- Gipsbauplatte, 12,5 mm

Betrachtete Dachvarianten:
- Steildach mit 40° Neigung zur Nordseite, Eindeckung rote Dachsteine
- Flachdach mit 5 cm Kiesschicht
- Gründach mit extensiver Begrünung: 10 cm Pflanzensubstrat

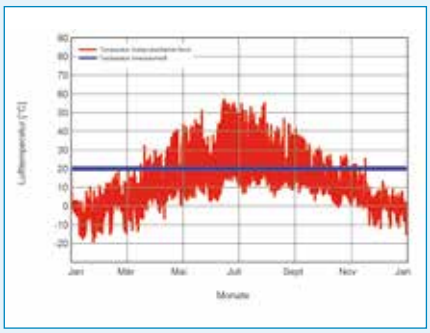
Alle Konstruktionen sind unverschattet.

Jahrestemperaturverläufe Holzkirchen, Höhe: 680 m über NN, Südbayern, Deutschland Dach: rote Ziegel bzw. Kies

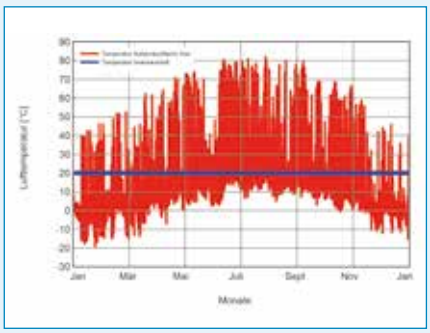
12. Lufttemperaturen (Feuchtereferenzklima)



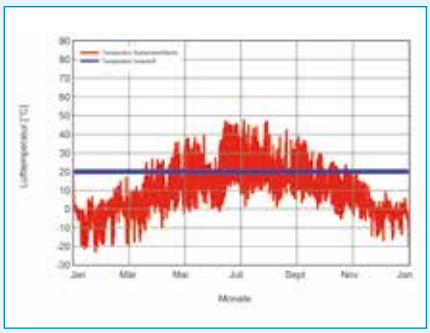
13. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



14. Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung



15. Dachoberflächentemperatur Kiesdach



günstigere Konstruktionen bieten entsprechend höhere Sicherheiten.
Weiteres Kriterium für die Funktion einer Konstruktion sind die maximalen Feuchtegehalte, die sich in den Bauteilschichten einstellen. Diese Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen erfolgen ab **Abschnitt 3.3**.

3.2.2 Dachkonstruktionen

Exemplarisch wird zum Vergleich die im Folgenden als bauphysikalisch kritisch geltende Konstruktion herangezogen. Standorte und Dampfbremsen werden variiert.

Aufbau der Konstruktion:
Es handelt sich um eine Konstruktion mit 200 mm Dämmung (Mineralwolle WLG 035). Auf der Außenseite verfügt das Bauteil über eine diffusionsdichte Abdichtungsbahn (**siehe Abb. 11 links**).

Dampfbremsen:	**s_d-Wert:**
• Dampfbremse	5 m konstant
• Dampfbremse	0,8 – 35 m richtungsabhängig variabel
• pro clima DB+	0,4 - 4 m feuchtevariabel
• pro clima INTELLO	0,25 - >25 m feuchtevariabel (ETA-18/1146)

Die pro clima INTELLO wird bei den Berechnungen stellvertretend für alle Bahnen aus der INTELLO-Familie verwendet.

Dachvarianten:
- Steildach mit 40° Neigung zur Nordseite, rote Dachsteine
- Flachdach mit 5 cm Kies oberhalb der Abdichtung
- Flachdach mit 10 cm Gründachaufbau oberhalb der Abdichtung

Betrachtete Standorte:
- Holzkirchen, Deutschland, Höhenlage über NN = 680 m
- Davos, Schweiz, Höhenlage über NN = 1.560 m

Berechnung:
- Mit Delphin 5.9.3 [14]
- Anfangsfeuchtigkeit in der Wärmedämmung: 4.000 g/m² (= 20 kg/m³)

Verschattungen (z. B. durch Photovoltaik-Anlagen, Gebäudesprünge, hohe Bäume oder Topografie) werden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

3.2.3 Einflussfaktoren auf die Höhe des Bauschadens-Freiheits-Potenzials

Eine wesentliche Größe für die Bauschadensfreiheit ist die Rückdiffusion im Sommer und damit verbunden die Austrocknung der Konstruktion nach innen. Die Menge der Austrocknung hängt von der Außentemperatur ab, genauer gesagt von der Temperatur an der Außenseite der Wärmedämmung sowie von der Diffusionsoffenheit der Dampfbrems- und Luftdichtungsbahn im Sommerfall. Durch Sonneneinstrahlung (auch diffus) weisen Bauteiloberflächen eine höhere Temperatur auf als die angrenzende Luft. Die Zeitdauer, welche die Wärme von außen benötigt bis sie an der Wärmedämmung ankommt, ist entscheidend. Bei einem Steildach ist dies schneller der Fall als bei einer bekiesten oder begrünten Flachdachkonstruktion.
Bei einem Steildach hängt die Höhe der Dachoberflächentemperatur ab von der Dachneigung, der Orientierung der Dachflächen (Norden/Süden) und der Farbe der Dacheindeckung bzw. Dachabdichtung (hell/dunkel). Das Bauschadens-Freiheits-Potenzial wird weiterhin durch die gewählte Dämmschichtdicke beeinflusst. Große Dämmstärken führen im Vergleich zu verringerten Rücktrocknungsmengen, da die Durchwärmung des Bauteils langsamer erfolgt und als Folge die Rücktrocknungszeiträume kürzer werden.

Ungünstige Faktoren sind:
- Dachorientierung nach Norden
- Große Dachneigung (> 25°)
- Helle Farbe der Dacheindeckung oder Abdichtungsbahn
- Flachdachabdichtung diffusionsdicht
- Kaltes Klima, z. B. im Gebirge
- Große Dämmschichtdicken
- Zusätzliche Schichten oberhalb der Abdichtung (Begrünungen, Terrassenbeläge usw.)

Um den Einfluss des Diffusionswiderstandes der Dampfbremsen oder -sperren auf das Bauschadens-Freiheits-Potenzial zu ermitteln, wird in den Berechnungen auf der Außenseite eine diffusionsdichte Abdichtungsbahn (s_d-Wert = 300 m) angenommen. Dieser Ansatz kann während der kalten Wintertemperaturen (bei Minusgraden) dazu verwendet werden, um den Einfluss von Vereisungen und damit diffusionsdichter Unterdeck- und Unterspannbahnen auf den Feuchtegehalt innerhalb der Konstruktion zu ermitteln.

3.2.4 Klimadaten Standort Holzkirchen

Holzkirchen liegt südlich von München auf einer Seehöhe von 680 m mit einem kalten, rauen Klima. Für die Klimarandbedingungen wurde aus das Feuchtereferenzjahr des Fraunhofer Instituts für Bauphysik ausgewählt, welches ein besonders feuchtes und kaltes Jahr abbildet. Die links dargestellten Diagramme zeigen die Temperaturverläufe über ein Jahr. Die blaue Linie zeigt die Innen-, die rote die Außentemperaturen (**siehe Abb. 12 bis 15**). Unter Berücksichtigung der Globalstrahlung (direkte Sonneneinwirkung plus Streulicht) ergibt sich, verglichen mit der Lufttemperatur, eine z. T. wesentlich höhere Dachoberflächentemperatur. Wenn die Außentemperatur (rot) die Innentemperatur (blau) überschreitet, findet in Konstruktionen mit feuchtevariablen Dampfbremsen eine Austrocknung nach innen

statt. Selbst bei nordorientierten Steildächern ist dadurch in Holzkirchen an vielen Tagen im Jahr eine Rückdiffusion möglich, bei Südorientierung bereits im Winter an sonnigen Tagen. Im vorliegenden Berechnungsfall wurde der ungünstigste Fall angenommen: Nordausrichtung der Dachfläche mit 40° Neigung.

3.2.5 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung

Die aus der Konstruktion innerhalb eines Jahres austrocknende Feuchtigkeitsmenge in g/m² beschreibt das Bauschadens-Freiheits-Potenzial und definiert damit die Höhe des Schutzes bei unvorhergesehen eingedrungener Feuchtigkeit (z. B. durch Konvektion, Flankendiffusion usw.). Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die PE-Folie (s_d-Wert 100 m) keine signifikante Austrocknung der Feuchtigkeit aus der 200 mm starken Dämmschicht ermöglicht. In der Wärmedämmebene ausgefallenes Kondensat kann nicht mehr entweichen.
Auch mit einer Dampfbremse mit einem konstanten s_d-Wert von 5 m bestehen im Vergleich nur sehr geringe Trocknungsreserven. Für die richtungsabhängig variable Dampfbremse ergibt sich eine Trocknungsreserve von 1.700 g/m²·Jahr. Diese ist geringer als die der Konstruktion mit der pro clima DB+. Diese verfügt über eine wesentlich höhere Austrocknung und weist erhebliche Sicherheitsreserven von 2.900 g/m²·Jahr auf.
Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotenzial. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den Delphin [14]-Berechnungen ca. 3.500 g/m² Wasser austrocknen. (siehe Abb. 16).

3.2.6 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Flachdächer

Für die Berechnung von Grün- und Kiesdächern stehen eine Reihe verschiedener Materialdatensätze für begrünte Dächer sowie einer für bekieste Konstruktionen zur Verfügung. Diese wurden auf der Grundlage von Messungen an verschiedenen Dachkonstruktionen an mehreren Standorten erstellt.
In den Datensätzen wird die zeitliche Veränderung einer begrünten bzw. bekiesten Konstruktion berücksichtigt. So sind z. B. verändernde Effekte aus dem Bewuchs (Verschattung durch Pflanzenbewuchs) im Datensatz enthalten. Damit sind zuverlässige Simulationen der hygrothermischen Verhältnisse in und unter Gründächern bzw. Kiesdächern bei beliebigen Nutzungen in Mitteleuropa möglich.

3.2.6.1 Bekiestes Flachdach

Das bekieste Flachdach weist geringere Sicherheiten auf als das Steildach, da der Kies über der Abdichtung nur langsam durchwärmt wird. Als Folge stellt sich eine verzögerte Erwärmung der darunter liegenden Bauteilschichten inklusive der Dämmebene ein. Abb. 13 bis 15 zeigen die Temperaturen einer nord- bzw. südorientierten Steildachkonstruktion im Vergleich zu einem bekiesten Flachdach. Besonders deutlich wird der Unterschied bei dem nach Süden ausgerichteten Steildach. Aber auch das nordorientierte Steildach weist ca. 8-10 °C höhere Spitzentemperaturen als das bekieste Flachdach auf. Wie beim Steildach besteht beim Kiesdach mit PE-Folie keine Austrocknung aufgrund des hohen s_d-Wertes von 100 m. Auch die Dampfbremse mit einem konstanten s_d-Wert von 5 m bietet keine nennenswerten Rücktrocknungssicherheiten. Dies ist eine Folge der verringerten Bauteiltemperaturen, welche die Rückdiffusion reduzieren. Bereits bei geringen unvorhergesehenen Feuchtebelastungen ist ein Bauschaden unvermeidbar. Die richtungsabhängig feuchtevariable Dampfbremse bietet eine mögliche Austrocknung von 1.200 g/m²·Jahr. Die Konstruktion mit der pro clima DB+ verfügt über ein höheres Bauschadens- Freiheits-Potenzial von 1.700 g/m²·Jahr. Obwohl die Oberflächentemperatur des Kiesdachs deutlich reduziert ist, bietet die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO der Konstruktion im Vergleich ein sehr hohes Sicherheitspotenzial. Innerhalb eines Jahres kann das betrachtete Bauteil gemäß den Delphin-Berechnungen [14] ca. 2.200 g/m² Wasser austrocknen (siehe Abb. 17).

3.2.6.2 Begrüntes Flachdach

Begrünte Flachdachkonstruktionen verhalten sich aufgrund der dicken Substratschicht und den darin gespeicherten Wassermengen nochmals etwas träger als die Variante mit Kiesschüttung.
Die Temperaturen auf der Abdichtungsbahn erreichen im Sommer Maximalwerte von 35-40 °C. Trotzdem verfügt die unbeschattete Konstruktion mit 200 mm Dämmstärke und einer INTELLO über ein Bauschadens-Freiheits-Potenzial von 1.200 g/m²·Jahr (siehe Abb. 18). Das Bauteil verfügt über ausreichende Sicherheiten bei unvorhergesehenem Feuchteeintrag. Hier wird der berücksichtigte Einfluss aus dem Bewuchs (Verschattung) und die dadurch im Datensatz enthaltene Sicherheit deutlich.
Die Bauschadens-Freiheits-Potential der DB+ ist zwar nur geringfügig geringer, jedoch ist die INTELLO aufgrund der zügigeren Austrocknung über die Jahre betrachtet für die anspruchsvollen Gründachkonstruktionen die bessere Alternative. Die richtungsabhängig variable Dampfbremse sowie die Dampfbremse mit einem s_d-Wert von 5 m liegen unter 1.000 g/m²·Jahr (siehe Abb. 18) und verfügen demnach über deutlich geringere Rücktrocknungsreserven im Vergleich. Für begrünte Flachdächer ist eine Bahn aus der INTELLO-Familie aufgrund der höheren Reserven die bessere Wahl.

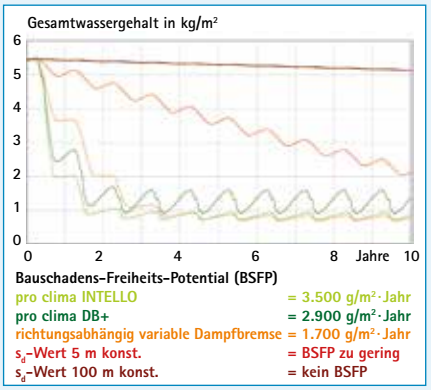
3.2.7. Einfluss der Dämmschichtdicke

In den letzten Jahren hat sich nicht zuletzt durch die regelmäßig steigenden Anforderun-

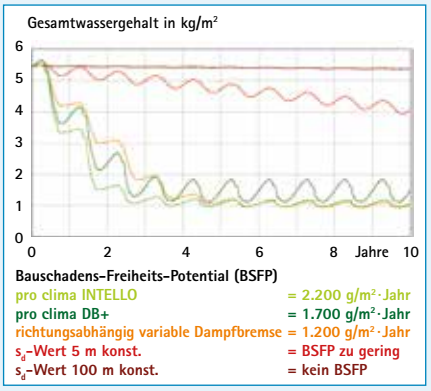
Berechnung des Bauschadens-Freiheits-Potenzials Standort Holzkirchen, Dach

Angenommene zusätzl. Feuchtigkeit zu Beginn: 4.000 g/m² Feuchtegehalt der Konstruktion im Trockenzustand (= Feuchtigkeitsgehalt der Holzschalung bei 15 %): 1.700 g/m²

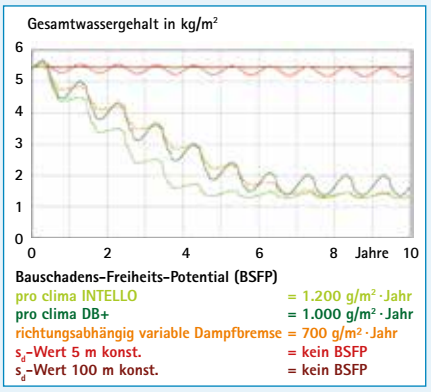
16. Bauschadens-Freiheits-Potenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung



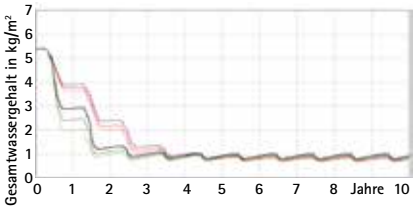
17. Bauschadens-Freiheits-Potenzial Flachdach mit 5 cm Kies



18. Bauschadens-Freiheits-Potenzial Gründach mit 10 cm Aufbau



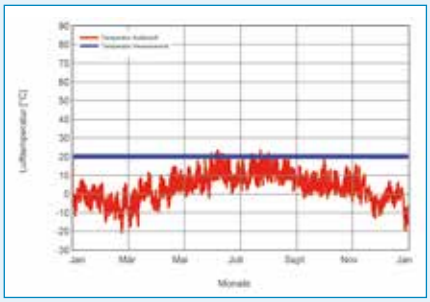
19. BSFP mit INTELLO und richtungsabhängig variabler Dampfbremse: verschiedene Dämmdicken



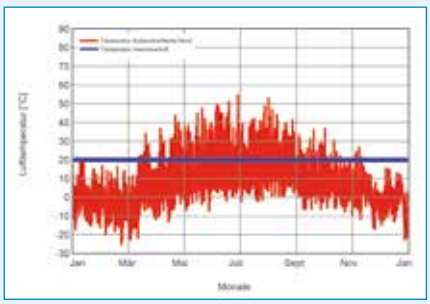
Bauschadens-Freiheits-Potenzial (BSFP):
INTELLO (400 mm) = 2.600 g/m²·Jahr
INTELLO (300 mm) = 3.000 g/m² Jahr
INTELLO (200 mm) = 3.500 g/m² Jahr
richtungsabhängig variable DB (400 mm) = 1.600 g/m²·Jahr
richtungsabhängig variable DB (300 mm) = 1.700 g/m²·Jahr
richtungsabhängig variable DB (200 mm) = 1.800 g/m²·Jahr

Jahrestemperaturverläufe Davos, Höhe: 1.560 m über NN, Schweiz, rote Ziegel/Kies

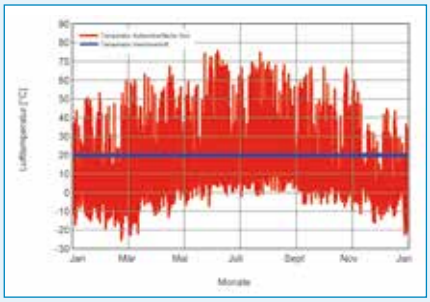
20. Lufttemperaturen (Davos, kalt)



21. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



22. Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung



gen der Energieeinspar-Gesetzgebung die Stärke der eingebauten Dämmschichten erhöht. Konstruktionen mit Dämmdicken von 300 mm oder mehr, die bei konventionellen Gebäuden in der Vergangenheit nur äußerst selten verwendet wurden, treten in immer größerer Anzahl auf. Hoch wärmegedämmte Konstruktionen haben ein reduziertes Bauschadens-Freiheits-Potenzial. Der Hintergrund ist, dass bei steigender Dämmdicke die Durchwärmung des Bauteils zögerlicher verläuft. Dadurch wird der Vorgang der Verdunstung von unvorhergesehenen Feuchteeinträgen verlangsamt. Da die Außenklimabedingungen jedoch identisch bleiben, sinken die Rücktrocknungsmengen auf ein Jahr bezogen.

INTELLO:
Abb. 19 zeigt das Bauschadens-Freiheits-Potenzial der oben vorgestellten Konstruktion bei Verwendung der INTELLO mit den Dämmstärken 200, 300 und 400 mm.
Bei 200 mm Dämmdicke beträgt das Bauschadens-Freiheits-Potenzial ca. 3.500, bei 300 mm ca. 3.000 und bei 400 mm noch 2.600 g/m²·Jahr.

DB+:
Auch bei der DB+ hat die Dämmdicke einen Einfluss auf das Bauschadens-Freiheits-Potenzial. Die Konstruktion mit DB+ verfügt bei 200 mm Dämmung über ein Bauschadens-Freiheits-Potenzial von 2.900 g/m²·Jahr, bei 300 mm von 1.900 g/m²·Jahr und bei 400 mm Dämmdicke über ein Bauschadens-Freiheits-Potenzial von 1.600 g/m²·Jahr (ohne Abb.).

Richtungsabhängig variable Dampfbremse:
Im Vergleich mit der INTELLO und der DB+ bietet diese Dampfbremse insgesamt ein geringeres Sicherheitspotential. Bei 200 mm liegt es bei 1.800, bei 300 mm bei 1.700 und bei 400 mm bei 1.600 g/m²·Jahr (siehe Abb. 19).

s_d-Wert 5 m:
Bei 200 mm Dämmdicke hat die Konstruktion mit der Dampfbremse mit dem konstanten s_d-Wert von 5 m bereits ein sehr geringes Bauschadens-Freiheits-Potenzial.
Bei höheren Dämmdicken sinkt dieses nochmals. Jedoch sind die Sicherheiten bereits bei geringen Dämmdicken so gering, dass eine Verwendung bei außen diffusionsdichten Bauteilen sowohl bei geringen als auch bei hohen Dämmdicken nicht empfehlenswert ist (ohne Abb.).

Für die INTELLO-Familie und die DB+ gilt demnach:
Auch bei nordorientierten, außen diffusionsdichten Steildachkonstruktionen (DN 40°) mit hohen Dämmdicken und roten Dachziegeln sind Bauteile ausreichend sicher und bieten im Vergleich die größten Bauschadens-Freiheits-Potentiale. Unterstützung bei der feuchtetechnischen Bemessung von Steildächern, Bahnendächern sowie Flachdächern mit zusätzlichen Bauteilschichten oberhalb der Abdichtungsbahn (z. B. Bekiesungen, Begrünungen, Terrassenbelägen) bietet die technische Hotline von pro clima.

3.2.8 Klimadaten Standort Davos

Davos liegt auf einer Seehöhe von 1.560 m und zählt zum Hochgebirgsklima. Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Temperaturverläufe über ein Jahr betrachtet. Die blaue Linie zeigt die Innentemperatur, die roten Balken die Außentemperaturen (siehe Abb. 20 bis 23).
Betrachtet man die Lufttemperatur in Davos, zeigt sich nur an sehr wenigen Tagen im Jahr eine höhere Außen- als Inneraumtemperatur. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Globalstrahlung stellt sich, verglichen zur Lufttemperatur, eine höhere Dachoberflächentemperatur ein.
In nordorientierten Dächern sind die Temperaturen allerdings wesentlich niedriger als in Holzkirchen. Im Vergleich ist an weniger Tagen im Jahr eine Rückdiffusion möglich. Bei nach Süden geneigten Dächern werden in Davos im Sommer fast die gleichen Temperaturen wie in Holzkirchen erreicht. Die winterlichen Nachttemperaturen sind hochgebirgsspezifisch und liegen wesentlich tiefer.

3.2.9 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung

Für die Berechnung wurde, um die Sonneneinstrahlung zu minimieren, ebenfalls der ungünstigste Fall angenommen, d. h. eine Nordausrichtung des Daches mit 40° Neigung und roter Ziegeldeckung. Die äußerst niedrige Temperatur im Winter führt zu einem hohen Tauwasserausfall, so dass sich sogar die Konstruktion mit der PE-Folie auffeuchtet, auch wenn man annimmt, dass keine unvorhergesehene Feuchtebelastung gegeben ist. Bei einer Dampfbremse mit einem konstanten s_d-Wert von 5 m ist kein Bauschadens-Freiheits-Potenzial ablesbar. Die Dampfbremse mit dem richtungsabhängig variablen Diffusionswiderstand ermöglicht nur eine vergleichsweise geringes Bauschadens-Freiheits-Potenzial von 1.300 g/m². Das Bauschadens-Freiheits-Potenzial der Konstruktion mit der DB+ liegt da mit ca. 1.800 g/m² Rücktrocknung darüber.
Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet eine bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion und ein zusätzliches Sicherheitspotenzial. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den Delphin [14] Berechnungsergebnissen 2.400 g/m² Wasser austrocknen. (siehe Abb. 24).

3.2.10 Bauschadens-Freiheits-Potenzial Kiesdach und Gründach

Für das anspruchsvolle Gebirgsklima von Davos sind die Rücktrocknungsreserven mit den aktuellen Kiesdach- und Gründachdatensätzen in allen Fällen nicht ausreichend. Für das Kiesdach bietet die INTELLO zwar eine

minimale Reserve von 800 g/m²·Jahr, diese ist jedoch zu gering bemessen (**siehe Abb. 25**). Das Bauschadens-Freiheits-Potential mit der richtungsabhängig variablen Dampfbremse liegt mit 500 g/m²·Jahr nochmals darunter. Die DB+ bzw. die Dampfbremse mit dem konstanten s_d-Wert von 5 m bieten für dieses Bauteil keine signifikanten Sicherheiten. Bei der begrünten Dachkonstruktion wiederum sind die Bauschadens-Freiheits-Potentiale für den Standort Davos für alle Konstruktionen geringer. Für diese Bauteile müssen in Gebirgslagen die Traghölzer in Abhängigkeit von einer objektbezogenen Berechnung teilweise oder vollständig überdämmt werden. Bitte sprechen Sie die technische Hotline von pro clima an.

3.2.11 Schlussfolgerungen Bauschadens-Freiheits-Potenzial

Mit den pro clima Dampfbrems- und Luftdichtungsbahnen der INTELLO-Familie und der DB+ können für die mit einer Dämmschichtdicke von 200 mm berechneten Steildachkonstruktionen für Gebäudehöhenlagen bis 700 m ü. NN sehr hohe Bauschadens-Freiheits-Potenziale realisiert werden. Auch bei zusätzlicher Feuchtigkeit durch unvorhergesehene Einflüsse bleiben die Konstruktionen bauschadenfrei. Flankendiffusion bei einem Ziegelmauerwerk, wie von Ruhe [4], Klopfer [5], [6] und Künzel [7] beschrieben, können die INTELLO-Bahnen und die DB+ kompensieren, sollten aber bei großen Höhenlagen durch eine entsprechende Detailplanung vermieden werden. Die pro clima INTELLO und DB+ haben sich in in der langjährigen Anwendung (INTELLO > 20 Jahre, DB+ > 30 Jahre) in vielen Mio. m² in kritischen Konstruktionen durch hohe Bauschadens-Freiheits-Potenziale bewährt.

Der Einsatz der feuchtevariablen Dampfbremsen vor pro clima sorgt in bekiesten Dachkonstruktionen gemäß **Abb. 11** für hohe Sicherheiten in Holzkirchen. Diese fördern die Bauschadensfreiheit der Bauteile.

Die Bahnen der INTELLO-Familie können für dieses Klima auch in Gründachkonstruktionen für sichere Bauteile sorgen. Die Dicke der Dämmschicht nimmt Einfluss auf die Bauschadensfreiheit. Gemäß den Berechnungsbeispielen sind für Steildächer die Rücktrocknungssicherheiten für die gebräuchlichen Dämmdicken bis 400 mm ausreichend hoch. In Gebirgslagen bis 1.600 m ü. NN verfügen außen diffusionsdichte Steildächer mit einer der INTELLO-Bahnen ein ausreichendes Bauschadens-Freiheits-Potenzial.

Bei nicht hinterlüfteten Flachdächern mit Dämmung zwischen den Traghölzern ist es empfehlenswert, die Gesamtdämmung in einen Teil zwischen den Traghölzern und einen Teil oberhalb der Tragkonstruktion aufzuteilen. Für diese Konstruktionen kann die technische Hotline von pro clima objektbezogene Bauteilbeurteilungen erstellen. Richtungsabhängig variable Dampfbremsen verfügen im Vergleich aller Konstruktionen mit der einer Bahn aus der INTELLO-Familie bzw. der DB+ über geringere Bauschadens-Freiheits-Potenziale. Dies liegt darin begründet, dass sie im feuchten Bereich einen erhöhten Diffusionswiderstand aufweisen, der nach DIN 4108-3 [10] als diffusionshemmend (dampfbremsend) bezeichnet wird. Dieser behindert die Austrocknung unvorhergesehen eingedrungener Feuchtigkeitsmengen. Bezogen auf das Bauschadens-Freiheits-Potenzial liegen die möglichen Rücktrocknungsreserven pro Jahr bezogen auf die betrachteten Konstruktionen jeweils ca. 40 % unterhalb denen mit den pro clima Hochleistungs-Dampfbremsen mit dem INTELLO-Funktionsfilm.

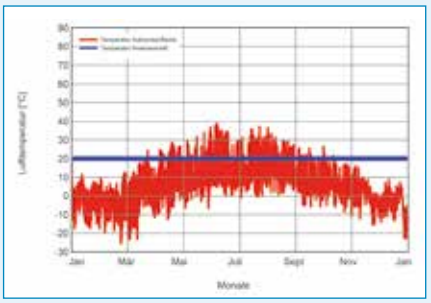
3.3 Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit

Neben dem Bauschadens-Freiheits-Potenzial ist es weiterhin entscheidend, welche Feuchtigkeitsgehalte sich im Bauteil im Gebrauchszustand einstellen. Bei einer feuchtetechnischen Bemessung wird zunächst ermittelt, welche Schichten im Bauteil einer kritischen Betrachtung unterzogen werden müssen. Im Regelfall sind diese Schichten außen angeordnete Holzschalungen oder Holzwerkstoffplatten (OSB- oder 3-Schicht-Platten). Sind diese identifiziert werden instationäre Berechnungen durchgeführt und das Bauteil im Bemessungsprozess erforderlichenfalls so lange durch eine wachsende Zusatzdämmung oberhalb der Tragkonstruktion ergänzt bis sich die Feuchtegehalte in der oder den kritischen Schichten unterhalb von zulässigen Werten einstellen. Die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion ist neben der Schichtenfolge von der Lage des geplanten Bauwerkes abhängig. So ist eine Konstruktion im Voralpenland (Holzkirchen) widrigeren Klimabedingungen ausgesetzt als in der norddeutschen Tiefebene. Die Berechnungen zur Gebrauchstauglichkeit werden hier mit WUFI pro durchgeführt.

3.3.1 Verfahren zur Bemessung

Für eine feuchtetechnische Bemessung ist es sinnvoll, Feuchteeinträge durch unvermeidbare Restleckagen (Konvektion) zu berücksichtigen. Dazu bietet WUFI pro die Möglichkeit mithilfe des Luftinfiltrationsmodells den Feuchteeintrag infolge Konvektion in die Wärmedämmebene zu simulieren. Der Maßstab ist der hüllflächenbezogene Luftwechsel q_{50}, der sich nicht wie der n_{50}-Wert auf das Volumen, sondern auf die Außenhülle eines Gebäudes bezieht. Der q_{50}- und der n_{50}-Wert sind bis zu einem A/V-Verhältnis (Hüllfläche zu Volumen des betrachteten Gebäudes) von 0,9 1/m in etwa zahlengleich. Bei kleineren A/V-Verhältnissen sinkt der q_{50}-Wert im Vergleich zum n_{50}-Wert (z. B. A/V = 0,7 1/m: q_{50}-Wert = 2,3 m³/m²·h bei n_{50} = 3 1/h) (vgl. [18], S. 18).

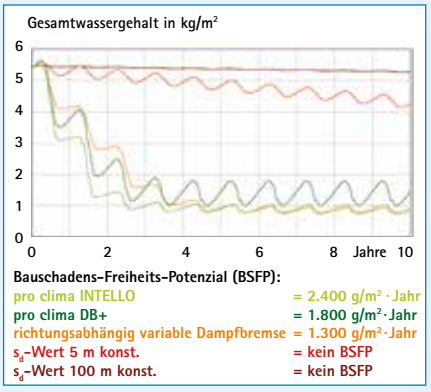
23. Dachoberflächentemperatur Kiesdach



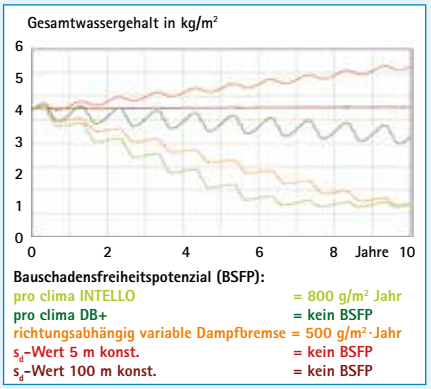
Berechnung des Bauschadens-Freiheits-Potenzials Standort Davos, Dach

Angaben siehe Berechnung Holzkirchen Seite 11

24. Bauschadens-Freiheits-Potenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung

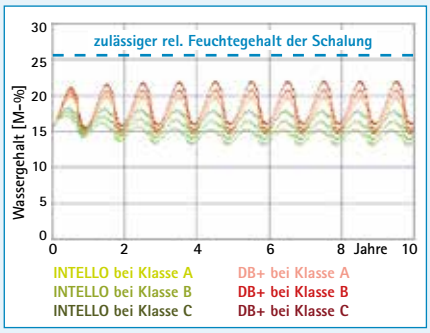


25. Bauschadens-Freiheits-Potenzial Kiesdach

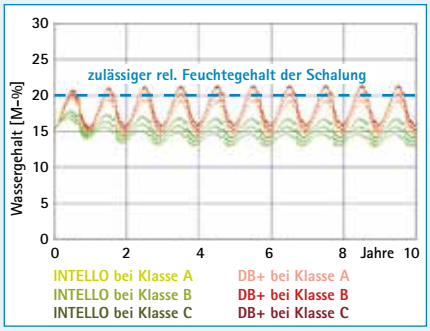


Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit für Bauteile nach Abb. 11

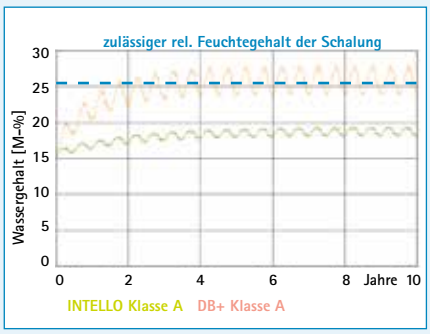
26. Gebrauchstauglichkeit Steildach (40°/ Mineralwolle 035 (INTELLO 400 mm; DB+ 200 mm) / Holzkirchen)



27. Gebrauchstauglichkeit Kiesdächer (Mineralwolle 035 (INTELLO 300 mm; DB+ 200 mm) / Holzkirchen)



28. Gebrauchstauglichkeit Gründächer (Mineralwolle 035 (INTELLO 200 mm; DB+ 180 mm) / Holzkirchen)



Das Luftinfiltrationsmodell unterscheidet standardmäßig drei Luftdichtigkeitsklassen (A, B, C), welche einem q_{50}-Wert von 1 m³/m²·h (Klasse A), 3 m³/m²·h (Klasse B) und 5 m³/m²·h (Klasse C) entsprechen. Klasse A kann bei vorelementierten Bauteilen bzw. bei geprüfter Luftdichtheit mit Leckageortung, Klasse B bei geprüfter Luftdichtheit und Klasse C bei Konstruktionen mit ungeprüfter Luftdichtheit angenommen werden, um die unvorhergesehene Feuchtelast durch Leckagen zu simulieren. Für eine maximal sichere Konstruktion sollte bei jedem Bauteil eine Luftdichtheitsprüfung mit Leckageortung durchgeführt werden. Dann kann die Luftdichtigkeitsklasse A für den Nachweis verwendet werden. Die folgenden Untersuchungen und die abgeleiteten Gebrauchstauglichkeiten beziehen sich auf Wärmedämmungen aus Mineral- oder Steinwolle WLG 035. Die Randbedingungen der Berechnung und die Bewertung der Ergebnisse erfolgt nach den Empfehlungen des WTA-Merkblattes 6-8 [20] für die konstruktiven Aspekte (Abschnitt 6.4b). Aus Gründen der Bauteilsicherheit kann es bereits in der Planungsphase sinnvoll sein, eine Zusatzdämmung oberhalb der ersten Abdichtungsbahn anzuordnen. Auch wenn diese aus bauphysikalischer Sicht nicht erforderlich ist, bietet sie u.a. den Vorteil, dass Feuchtigkeit z. B. durch eine undichte äußere Abdichtung nicht in die Ebene des Holztragwerkes gelangen kann. Dieses bleibt somit geschützt. Grundsätzlich ist eine regelmäßig Begehung (Wartung) aller Konstruktionen empfehlenswert.

3.3.2 Gebrauchstauglichkeit außen diffusionsdichtes Steildach

Für die beispielhafte Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit in Holzkirchen wurde die Steildachkonstruktion aus Abb. 11 mit roten engobierten Dachziegeln mit pro clima INTELLO und mit pro clima DB+ betrachtet. Dazu wurde die Konstruktion mit der INTELLO mit einer Dämmschichtdicke von 400 mm Mineralwolle berechnet. Das Bauteil mit der DB+ verfügt über eine Dämmschichtdicke von 200 mm Mineralwolle. Die Wufi pro Berechnungen erfolgten unter Ansatz der 3 Luftdichtigkeitsklassen und einer Höhe der gedämmten Gebäudehülle von 5 m.
Die maßgebend kritische Schicht in diesen Bauteilen ist die Fichtenschalung unterhalb der Abdichtung. **Abb. 26** zeigt die Feuchtegehalte in der 24 mm starken Schalung über einen Zeitraum von 10 Jahren. Auf der sicheren Seite liegend ist es entscheidend, dass in der Fichtenschalung die Feuchtegehalte unterhalb von 20 % liegen (bei Holzwerkstoffplatten liegt die Grenze bei 18 %). Dann ist das Bauteil im Gebrauchszustand funktionsfähig.
Mit der INTELLO weist die Fichtenschalung der Konstruktion bei Berechnungen mit allen 3 Luftdichtigkeitsklassen keine erhöhten Materialfeuchtigkeiten auf – die Gebrauchstauglichkeit ist damit für alle Luftdichtheitsklassen bestätigt. Darüber hinaus sind noch Reserven für weitere unvorhergesehene Feuchtebelastungen vorhanden. Die Verwendung einer DB+ hat in der gleichen Konstruktion höhere rel. Holzfeuchtigkeiten in der Fichtenschalung zur Folge. Bei geprüfter Luftdichtheit mit Leckageortung (LDK A) kann die DB+ in Holzkirchen bis zu einer Dämmschichtdicke von 200 mm Mineralwolle als Luftdichtungs- und Dampfbremsebene eingesetzt werden. Bei den Luftdichtigkeitsklassen B und C werden 20 % Holzfeuchte in der Schalung planmäßig überschritten. Die Färbung der äußeren Ziegeldeckung hat einen erheblichen Einfluss auf die Bauteilerwärmung von außen. Für die Konstruktion mit der DB+ können mattschwarze Dachziegel eine Erhöhung der Mineralwolldämmschicht, bzw. Luftdichtigkeitsklasse B ermöglichen. Dieses muss im Einzelfall gesondert nachgewiesen werden.

3.3.3 Gebrauchstauglichkeit bekiestes Flachdach

Die bekieste Dachkonstruktion wurde wie bei den Steildachkonstruktionen sowohl mit der INTELLO als auch mit der DB+ berechnet. Die Konstruktion mit der INTELLO weist eine Dämmstärke der Mineralwolle von 300 mm, die mit der DB+ von 200 mm auf. Der Feuchtegehalt der Fichtenschalung in diesem Bauteil unterschreitet beim Einsatz der INTELLO den maximal zulässigen Wert von 20 %, so dass für diese Konstruktionen die Gebrauchstauglichkeit bestätigt ist (**siehe Abb. 27**).
Die Konstruktion mit der DB+ lässt sich für diesen Fall nur für die Luftdichtigkeitsklasse A nachweisen. Die Luftdichtigkeitsklassen B und C führen für den Standort Holzkirchen zu rel. Feuchtegehalten von über 20 % in der äußeren Fichtenschalung. Konstruktionen mit der DB+ lassen sich mit höheren Dämmstärken oder abweichender Luftdichtheitsklasse für das Klima in Holzkirchen nur mit zusätzlichen Aufdachdämmungen realisieren.

3.3.4 Gebrauchstauglichkeit begrüntes Flachdach

Gründachkonstruktionen können mit INTELLO für das Klima in Holzkirchen bei einer Dämmdicke von 200 mm Mineralwolle WLG 035 gemäß **Abb. 11** bemessen werden (**siehe Abb. 28**). Dazu ist es erforderlich, dass die Luftdichtheit überprüft und eine Leckageortung durchgeführt wird (Luftdichtigkeitsklasse A), damit Feuchteeinträge durch Konvektion vermieden werden. Die anderen Luftdichtheitsklassen führen in der Bemessung zu höheren konvektiven Feuchteeinträgen. In der Folge steigt die Feuchtigkeit in der Schalung auf über 20 %. Um dies zu vermeiden kann eine zusätzliche Aufdachdämmung vorgesehen werden.
Der Einsatz einer DB+ ohne Zusatzdämmung oberhalb der ersten äußeren Abdichtungsbahn

ist bei den betrachteten Gründächern nicht empfehlenswert.

3.3.5 Schlussfolgerungen Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit von außen diffusionsdichten Steildächern (40° Dachneigung), bekiesten oder begrünten Flachdachkonstruktionen wurde für den Standort Holzkirchen bis zu den in den jeweils angegebenen Dämmschichtdicken mit Mineralwolle WLG 035 und Fichtenschalung rechnerisch nachgewiesen. Abweichende Konstruktionen (höhere Dämmschichtdicken, Holzwerkstoffplatten statt Schalungen, sorptive Dämmstoffe statt Mineralwolle) und andere Lagen (Städte/Orte, Verschattungen) können aus bauphysikalischer Sicht die Anordnung einer zusätzlichen Aufdachdämmung mit zweiter Abdichtungsebene erfordern. Grundsätzlich wirkt sich diese bei allen vollgedämmten Flachdächern positiv auf die Bauteilsicherheit aus, da die doppelte Abdichtung das Tragwerk vor Feuchtigkeitseintritt von außen schützt, sollte eine Leckage in der oberen Abdichtung entstehen. Bei allen Dächern (z. B. Bahnendächer, bekiesten und begrünten Konstruktionen) ist zudem die jährliche Wartung (Inspektion) empfehlenswert, um die Funktion der Dachkonstruktion inklusive aller Abflüsse sicherzustellen. Grundsätzlich ist es sinnvoll die Gebrauchstauglichkeit von Konstruktionen mit außen diffusionsdichten Bauteilschichten durch einen Bauphysiker überprüfen zu lassen. Bitte wenden Sie sich zur Überprüfung und Bemessung von Bauteilen an die technische Hotline von pro clima.

3.4 Flankendiffusion

Für die Ermittlung des Einflusses des Feuchteeintrages über Bauteilflanken wird der Anschluss einer einbindenden Innenwand an eine Wärmedämmkonstruktion betrachtet. Die Konstruktion verfügt auf der Außenseite über eine diffusionsdichte Bitumendachbahn (siehe Abb. 29).
Mauerwerk hat einen geringeren Diffusionswiderstand als die Dampfbrems- und Luftdichtungsebene der angrenzenden Holzbaukonstruktion. Dadurch findet über die Flanke eine stärkere Diffusion von Feuchtigkeit in die Wärmedämmkonstruktion statt, als in den angrenzenden Bereichen mit Dampfbremse.
Für dieses Beispiel wird eine Neubausituation gewählt. Das Mauerwerk und die Putzschicht verfügen über einen dann üblichen Feuchtegehalt vom 30 kg/m³. Der faserförmige Wärmedämmstoff ist trocken eingebaut. Die rel. Holzfeuchtigkeit der Dachschalung liegt bei 15 %.
Als Dampfbrems- und Luftdichtungsebene wird bei einer Variante eine diffusionshemmende PE-Folie (s_d-Wert 100 m) eingesetzt, bei einer zweiten die feuchtevariable pro clima INTELLO (s_d-Wert 0,25 bis über 25 m).

3.4.1 Ergebnisse der 2-dimensionalen Simulationsberechnung

Wird eine derartige Konstruktion mit dem 2-dimensionalen Berechnungsverfahren für Wärme- und Feuchteströme, welches in WUFI 2D [9] implementiert ist, berechnet, erhält man folgendes Ergebnis (siehe Abb. 30): Nach einem jahreszeitlich bedingten Anstieg des Feuchtegehaltes in beiden Konstruktionen befinden sich beide auf einem annähernd gleich hohen Niveau.
Bei der Variante mit PE-Folie als Luftdichtungs- und Dampfbremsebene ist über den betrachteten Zeitraum von 4 Jahren in jedem Jahr eine deutliche Steigerung des Gesamtwassergehaltes zu beobachten (roter Graph). In dieser Konstruktion kommt es zu einer Akkumulation von Feuchtigkeit in den verwendeten Baustoffen, da keine Rücktrocknung durch die PE-Folie in Richtung Innenraum möglich ist. Die Folge: Schimmelbildung auf dem Holz bzw. beginnende Holzzerstörung.
Bei der Konstruktion mit der Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO kann die enthaltene Feuchtigkeit nach innen entweichen. Das Bauteil ist vor Feuchtigkeitsansammlungen geschützt – diese wird zügig in den Innenraum abgegeben (grüner Graph). Dadurch sinkt der Feuchtegehalt stetig über den Betrachtungszeitraum. Die Konstruktionen mit INTELLO und DB+ verfügen über ein hohes Bauschadens-Freiheits-Potenzial.

3.4.2 Schlussfolgerung Flankendiffusion

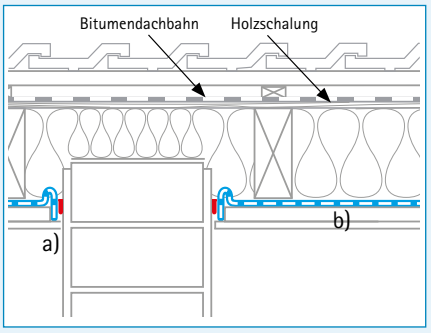
Feuchteeinträge durch Flankendiffusion bei einer in die Wärmedämmkonstruktion einbindenden Innenwand, wie von Ruhe [5], Klopfer [6], [7] und Künzel [8] beschrieben, können durch INTELLO und DB+ wieder aus dem Bauteil entweichen. Bei Konstruktionen mit geringem Bauschadens-Freiheits-Potenzial sollten Flankendiffusionsvorgänge konstruktiv vermieden werden.

3.4.3 Wandkonstruktionen

Wandkonstruktionen erfahren durch ihre senkrechte Ausrichtung eine geringere Erwärmung durch die Sonne als Dächer. Daher ist das Rücktrocknungspotenzial geringer. Im Regelfall sind Wände im Gegensatz zu Dächern außenseitig nicht diffusionsdicht. Es werden keine Bitumenbahnen verwendet, da im Gegensatz z. B. zu Flach- und Gründächern keine hohen Anforderungen an die Wasserdichtheit bestehen.
Die Temperaturen in der Außenwand hängen im Wesentlichen von der Farbe der Fassade ab. Auf hellen Fassaden werden durch die Sonneneinstrahlung niedrigere Temperaturen erreicht als auf dunkleren Fassaden. Die dargestellten Temperaturprofile auf der Außenwand entstehen bei normal hellen Putzfassaden (siehe Abb. 31 bis 34).
Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet auch bei Wandkonstruktionen ein

2-dimensionale Berechnung der Wärme- und Feuchteströme mit WUFI 2D

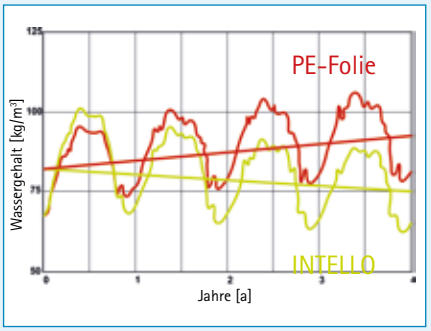
29. Konstruktionsaufbau: Einbindende Wand



a) Innenwand: Ziegel verputzt;
b) Dampfbremsen:
- PE-Folie, s_d-Wert = 100 m konstant
- pro clima INTELLO, feuchtevariabel s_d-Wert = 0,25 bis über 25 m

30. Feuchteerhöhung mit einer PE-Folie
➔ Auffeuchtung = Bauschaden

Feuchtereduzierung mit der INTELLO
➔ Austrocknung = Bauschadensfreiheit

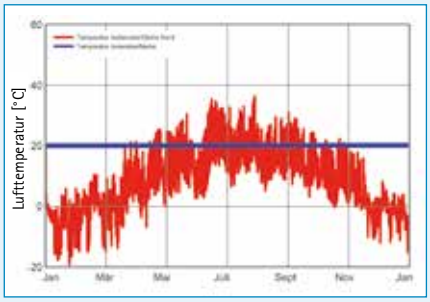


Ansteigender Feuchtegehalt im Bauteil mit PE-Folie s_d-Wert = 100 m konstant

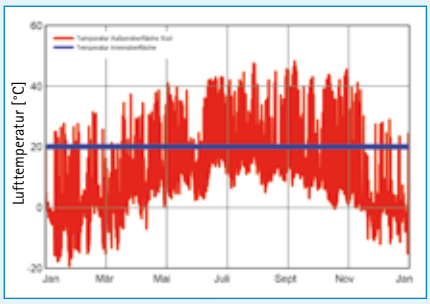
Abnehmender Feuchtegehalt im Bauteil mit pro clima INTELLO, s_d-Wert = 0,25 bis über 25 m feuchtevariabel

Temperaturverläufe Holzkirchen und Davos: Wand, Putzfassade hell

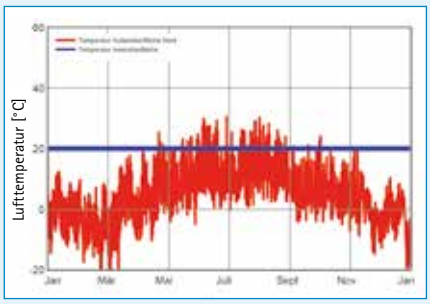
Holzkirchen:
31. Wandtemperatur Nordseite



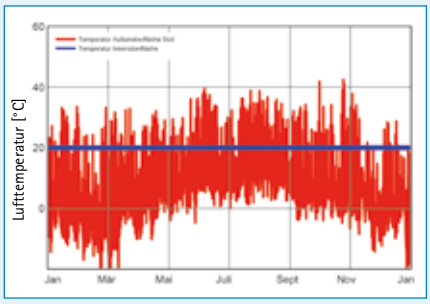
32. Wandtemperatur Südseite



Davos:
33. Wandtemperatur Nordseite



34. Wandtemperatur Südseite



erhebliches Bauschadens-Freiheits-Potenzial. Berechnungen mit Delphin [14] mit dem Klima von Holzkirchen zeigen für eine nordorientierte Außenwand mit diffusionsdichter Außenbekleidung bei Verwendung von Bahnen mit dem INTELLO Funktionsfilm immer noch ein ausreichendes Sicherheitspotenzial.
Damit sind die Bahnen aus der INTELLO-Familie auch bei Holzwerkstoffplatten wie OSB- oder Spanplatten auf der Außenseite die ideale Lösung für ein hohes Bauschadens-Freiheits-Potenzial. Die Gefahr von Schimmelbildung wird deutlich verringert. Feuchteschutz ist eine Bemessungsaufgabe. Bitte wenden Sie sich dazu an einen Bauphysiker. pro clima bietet im Rahmen der technischen Hotline die Beurteilung von Bauteilen an.

Konstruktionsempfehlungen

4.1 Konstruktionen

Die bauphysikalischen Untersuchungen mit realen Klimadaten zeigen das enorm große Bauschadens-Freiheits-Potenzial für die Konstruktionen bei Verwendung der Hochleistungs-Dampfbremsen der pro clima INTELLO-Familie mit dem besonders großen, in allen Klimabereichen wirksamen feuchtevariablen Diffusionswiderstand und der seit mehr als 25 Jahren bewährten feuchtevariablen Dampfbremse pro clima DB+.
Mit den feuchtevariablen pro clima Dampfbremsen und Luftdichtungsbahnen erreichen die Konstruktionen auch bei erhöhten Feuchtebelastungen eine hohe Sicherheit vor Bauschäden. Bei der Feuchteschutzbemessung können neben den Auswirkungen außen diffusionsdichter Materialien zusätzliche Bauteilschichten oberhalb der Holzbaukonstruktionen, wie z. B. Begrünungen oder Bekiesungen, sowie Verschattungen durch Gebäude, Topografie oder PV-Anlagen usw. berücksichtigt werden. Bitte wenden Sie sich für eine Bemessung an einen Bauphysiker oder die technische Hotline von pro clima.

4.2 Innenseitige Bekleidung

Voraussetzung für die hohen Sicherheitsreserven ist die ungehinderte Austrocknung in den Innenraum. Innenseitig der feuchtevariablen Dampfbremse angeordnete Bekleidungen mit diffusionshemmender Wirkung, wie Holzwerkstoffe (z. B. OSB-oder Mehrschichtplatten), reduzieren die Rücktrocknungsmenge an Feuchtigkeit nach innen und verringern dadurch das Bauschadens-Freiheits-Potenzial. Vorteilhaft sind diffusionsoffene Materialien, z. B. Profilbrettschalungen, Holzwolleleichtbauplatten mit Putz und Gipsbauplatten. Konstruktionen mit diffusionsdichten Bauteilschichten auf der Außenseite sollten ausschließlich mit diffusionsoffenen Innenbekleidungen kombiniert werden. Dann erhalten die Bauteile maximale Sicherheit vor Bauschäden.

4.3 Permanent feuchte Räume

Feuchtevariable Dampfbremsen können nicht in dauerhaft feuchten Klimabedingungen, wie z. B. Schwimmbädern, Spas, Gärtnereien oder Großküchen verwendet werden.

4.4 Neubauten: Trocknungsphase (60/2-Regel)

Durch Einhalten der 60/2-Regel werden Wärmedämmkonstruktionen in Neubauten, welche prinzipbedingt über eine erhöhte Raumluftfeuchtigkeit verfügen, wirksam geschützt. Die Membranen der INTELLO-Familie und DB+ erfüllen diese Anforderung und fördern dadurch das hohe Bauschadens-Freiheits-Potenzial der Bauteile.

4.5 Feuchträume in Wohnungen

Während der Bauphase mit baubedingt erhöhten Raumluftfeuchten ist es ganz besonders wichtig, dass feuchtevariable Dampfbremsen einen ausreichend hohen Hydrosafe-Wert aufweisen. Nass- und Feuchträume in Wohngebäuden haben eine temporär erhöhte rel. Feuchtigkeit von 70 %.
Die feuchtevariablen Dampfbremsen mit dem INTELLO-Funktionsfilm und die DB+ bieten durch die Einhaltung der 60/2-Regel – bei 70 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Feuchtigkeit in der Dämmebene (60 % mittlerer Feuchtigkeit) mit einem s_d-Wert größer 2 m – auch für diese Räume optimalen Schutz. Damit ist die Konstruktion auch bei der bau- und wohnbedingten Neubaufeuchtigkeit ausreichend vor Feuchteeintrag aus der Raumluft und dadurch bedingte Schimmelbildung geschützt (siehe Abb. 36).

4.6 Bauphase: Hydrosafe- Wert (70/1,5-Regel)

Der INTELLO-Funktionsfilm und die DB+ verfügen über einen Hydrosafe-Wert von über

2,0 m und bieten für das Bauteil in der Bauphase gegen die Feuchtebelastungen hohen Schutz (siehe Abb. 36).
Dadurch verfügen Konstruktionen mit den feuchtevariablen Dampfbremsbahnen auch während der Bauphase über einen guten Schutz vor Schimmelbildung.
Baufeuchte muss zügig und konsequent durch stetiges Dauerlüften abgeführt werden. Bautrockner helfen die Feuchtelast zu verringern. Die Reduzierung der Feuchtegehalte der feuchte eingebauten Materialien (Mauerwerk, Putz, Estrich, Beton usw.) ist nicht zuletzt deshalb wichtig, da dadurch Neubauschimmel auf Oberflächen verhindert werden kann.

4.7 Unterdach / Unterdeckung

Optimal ist die Wahl diffusionsoffener Werkstoffe für die Unterdeckung (z.B. Holzfaserunterdeckplatten oder SOLITEX Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen mit porenfreier Membran), welche eine hohe Austrocknung nach außen ermöglichen.
Konstruktionen mit außenseitig diffusionsdichtem Aufbau, z. B. Bitumenbahnen, Flachdächer und Gründächer sowie Dächer mit Blecheindeckungen, verringern die bauphysikalischen Sicherheiten des Bauteils. Die INTELLO-Familie bietet durch die große Feuchtevariabilität ein sehr hohes Sicherheitspotenzial.

4.8 Steildachkonstruktionen

In Verbindung mit außen diffusionsoffenen Konstruktionen bestehen derartig hohe Trocknungsreserven, dass es bei Verwendung der Dampfbremsen der INTELLO-Familie sowie der DB+ keine Begrenzung der Höhenlage des Standorts gibt. Auch in Höhenlagen von über 3.000 m sind die Konstruktionen sicher. Bei Steildachkonstruktionen mit außen diffusionsdichten Bauteilschichten wenden Sie sich bitte an den Bauphysiker oder die technische Hotline von pro clima.

4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen

Flachdächer haben außenseitig immer eine Abdichtungsbahn zum Schutz vor Wasser. Diese weisen wenigstens den Diffusionswiderstand einer starken Dampfbremse auf und können aber auch absolut dampfdicht sein (s_d-Wert > 1.500 m) wenn es sich um einer Bitumenbahn mit einer Aluminiumeinlage handelt. In jedem Fall reduzieren Sie die mögliche Austrocknung nach außen auf ein Minimum.
Belüftete Konstruktionen sind bei Beachtung von Belüftungshöhen und -längen möglich, sowie durch gewährleisten einer Mindestquerschnittsöffnung an den Zu- und Abluftöffnungen (siehe z. B. DIN 4108-3 und DIN 68800-2).
Entscheidend ist jedoch auch, dass sich die beiden Öffnungen »sehen« können, damit die Luftdurchströmung möglichst ungehindert erfolgen kann. Belüftungen durch ein Labyrinth sind in der Regel funktionslos und dadurch bauteilschädlich, da sie Sicherheiten vortäuschen die nicht vorhanden sind. Belüftungen sorgen allerdings für höhere Bauteilquerschnitte, die erheblichen Einfluss auf die Architektur eines Gebäude nehmen können. Belüftungsquerschnitte müssen detailliert geplant werden und es muss sicher gestellt werden, dass diese funktionieren, da unbelüftete oder mangelhaft belüftete Querschnitte oberhalb gedämmter Flachdachkonstruktionen zu Bauschäden führen können.
Unbelüftete Flachdächer können effizient und sicher mit den INTELLO-Bahnen ausgeführt werden. Diese können auch mit zusätzlichen Bauteilschichten wie Kies, Gründachsubstrat oder Terrassenbelägen oberhalb der Abdichtung geplant und ausgeführt werden.
Hier bieten die INTELLO Hochleistungs-Dampfbremsen durch den feuchtevariablen Diffusionswiderstand hohe Sicherheiten vor Bauschäden bei unvorhergesehenen Feuchtebelastungen. Feuchtigkeit kann in besonders hohem Maße wieder aus Bauteilen austrocknen, ohne das es zu einer schädlichen Auffeuchtung kommt.
Die Feuchteschutzbemessung muss durch einen Bauphysiker oder durch die technische Hotline von pro clima erfolgen.

4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge

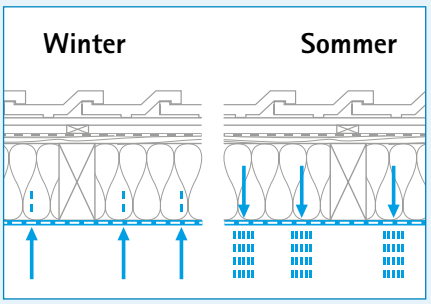
Außen diffusionsdichte Steildachkonstruktionen können im Hochgebirge mit dem INTELLO-Funktionsfilm sicher geplant und ausgeführt werden und haben ein hohes Bauschadens-Freiheits-Potenzial.
Entscheidend ist für außen diffusionsdichte Steildachkonstruktionen die Bemessung des Feuchteschutzes durch den Bauphysiker oder die technische Hotline von pro clima.

4.11 Wände

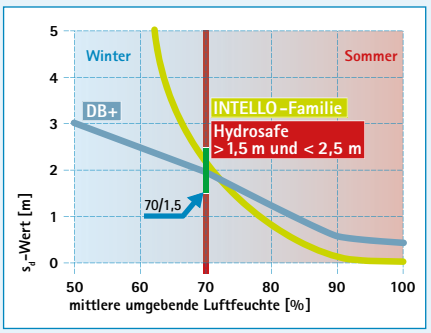
Wände in Holzrahmenbauweise mit diffusionsoffenen Schichten außen (z. B. pro clima SOLITEX FRONTA WA, Holzfaserplatten oder MDF-Platten) hinter belüfteten Fassaden können mit DB+ und den Bahnen der INTELLO-Familie in jeder Höhenlage ausgeführt werden.
Für Holzrahmenbau-Wandkonstruktionen mit WDV-Systemen aus Schaumdämmstoffen oder für Innendämmungen von Konstruktionen aus Mauerwerk oder Beton können die feuchtevariablen Dampfbremsen ebenfalls eingesetzt werden. Für die feuchtetechnische Bewertung muss muss ein Bauphysiker beauftragt werden. Die technische Hotline von pro clima kann hier ebenfalls Unterstützung bieten.

Voraussetzung für die Wirkung von feuchtevariablen Dampfbremsen

35. Innenseitig dürfen sich nur diffusionsoffene Bauteilschichten befinden, um eine Austrocknung von Feuchtigkeit durch die Rückdiffusion zum Innenraum nicht zu behindern.



36. Schutz der Wärmedämmkonstruktion im Neubau und in der Bauphase



Der s_d-Wert der Bahnen stellt sich auf die unterschiedlichen Umgebungsfeuchten ein. Ein Hydrosafe-Wert zwischen 1,5 und 2,5 m schützt das Bauteil vor baubedingt erhöhter rel. Luftfeuchtigkeit. Gleichzeitig sichert er ein hohes Bauschadens-Freiheits-Potenzial von vollgedämmten Holzbaukonstruktionen.

37. Schutz der Wärmedämmkonstruktion im Neubau und in der Bauphase sowie Ermittlung der Luftwechselrate (n_{50}-Wert)

BlowerDoor

4.12 Qualitätssicherung

Die Luftdichtheit der Konstruktionen wird idealerweise direkt nach Fertigstellung der Luftdichtungsebene baubegleitend überprüft. Wird eine Leckageortung durchgeführt können Fehlstellen leicht aufgefunden und nachgearbeitet werden. Damit werden Bauteile besonders sicher.
Die Überprüfung kann z. B. mit einer BlowerDoor (**Abb. 37**) schon während der Bauphase bei provisorisch abgedichteten Gebäuden (Türen, Fenster usw.) erfolgen.
Die Schlussmessung mit Bestimmung des n_{50}-Werte erfolgt dann nach Fertigstellung des Gebäudes ebenfalls mit der BlowerDoor. Eine möglichst gute Luftdichtheit ist die Voraussetzung für ein behagliches Klima, geringe Energieverlusten sowie einer hohen Sicherheit vor Schäden infolge Durchfeuchtung durch Konvektion.

Fazit

Konstruktionen mit DB+ und den Membranen der INTELLO-Familie weisen in Abhängigkeit von Lage und Konstruktion enorm große Sicherheitsreserven auf und beugen mit intelligentem Feuchtemanagement Bauschäden und Schimmelbildung vor. Selbst bei unvorhergesehenen bzw. in der Baupraxis nicht zu vermeidenden Feuchtbelastungen, verfügen die Konstruktionen dank der hohen Trocknungsreserven durch die feuchtevariablen Diffusionswiderstände über ein sehr hohes Bauschadens-Freiheits-Potenzial.
Die INTELLO Hochleistungs-Dampfbremsen haben eine besonders große, in allen Klimabereichen wirksame Variabilität des Diffusionswiderstandes und bieten damit für Wärmedämmkonstruktionen eine bisher unerreichte Sicherheit. Das gilt bei außen diffusionsoffenen oder auch bei bauphysikalisch anspruchsvollen Konstruktionen wie Flachdächer, Gründächer, Metalleindeckungen sowie Dächer mit diffusionsdichten Vordeckungen gemäß den Vorgaben.
Die Leistungsfähigkeit des INTELLO-Funktionsfilms zeigt sich auch bei extremen Klimabedingungen, wie z. B. im Hochgebirge. Die bewährte pro clima DB+ bietet bis zu mittleren Höhenlagen (z. B. in Holzkirchen) hohe Sicherheiten für Steildachkonstruktionen. Entsprechend den Vorgaben der DIN 68800-2, kann mit feuchtevariablen Dampfbremsen auf chemischen Holzschutz verzichtet werden. Zusätzliche Sicherheit bietet pro clima mit einer leistungsstarken, transparenten und fairen Systemgewährleistung.

»Je höher die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist, umso höher kann die unvorhergesehene Feuchtebelastung sein ohne dass ein Bauschaden entsteht.«

Die intelligente Funktionsweise von allen Bahnen der INTELLO-Familie und der DB+ unterstützt diese Sicherheitsregel und ermöglicht die Realisation von besonders sicheren Konstruktionen.

Weitere Informationen über die Verarbeitung und Konstruktionsdetails enthalten die pro clima Planungsunterlagen.
Sie erreichen die Technik-Hotline von pro clima unter:

Technik Deutschland:
Tel.: +49 (0) 62 02 – 27 82.45 · eMail: technik@proclima.de
Technik Schweiz:
Tel.: +41 (0) 61 511 38 45 · eMail: technik@proclima.ch

Notizen

MOLL bauökologische Produkte GmbH
Rheintalstraße 35 - 43 · D-68723 Schwetzingen
Tel.: +49 (0) 62 02 - 27 82.0 · eMail: info@proclima.de · **proclima.de**

pro clima®

Mehr Informationen finden Sie
in unserer aktuellen Broschüre:

»Sanierungs-Studie«

proclima.de/sanierungsstudie

Ihr pro clima Partner

2024-07 15425