

# STUDIE

Berechnungen des Bauschadensfreiheitspotentials von  
Wärmedämmungen in Holz- und Stahlbaukonstruktionen

Feuchtevariable Dampfbremsen  
pro clima DB+ und INTELLO mit  
intelligentem Feuchtemanagement

– Dach, Wand, Decke –

## DEUTSCHLAND

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

## Literatur

[1] Konsenspapier des 2. Internationalen Holz[Bau]Physik-Kongresses: 10./11.02.2011 Leipzig, <http://holzbauphysik-kongress.eu/flachdach-konsens.html>

[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 Wasserdampfdiffusion Heft 1/1997, Seite 8-10

[8] H.M. Künzel; Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Diffusion durch angrenzendes Mauerwerk wksb 41/1996; Heft 37; Seite 34-36

[9] WUFI 2D 2.1 (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](http://www.wufi.de)

[10] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klima-bedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2001

[11] DIN EN 13788: Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, Beuth-Verlag, Berlin, 11/2001

[12] WUFI 5.1 pro (Wärme und Feuchte instationär); PC-Programm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Infos unter [www.wufi.de](http://www.wufi.de)

[13] Meteonorm; Globale und meteorologische Datenbank für jeden Ort der Welt; Meteotest; Infos unter [www.meteotest.com](http://www.meteotest.com)

[14] DIN EN 15026: Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2007

[15] E-DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, 11/2009

## Bauphysik Studie

Literatur / Kontakt	2	<b>4. Konstruktionsempfehlungen</b>	
<b>1. Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen</b>		4.1 Konstruktionen	18
1.1 Übersicht und Einleitung	3	4.2 Innenseitige Bekleidung	18
1.2 Kondensation – Taupunkt – Tauwassermenge	4	4.3 Permanent feuchte Räume	18
1.3 Feuchtebelastungen der Konstruktion	4	4.4 Wohn- und neubaubedingte Feuchtigkeit – Die 60/2-Regel	18
1.3.1 Feuchtebelastung durch Diffusion	5	4.5 Feuchträume in Wohnungen	18
1.3.2 Feuchtebelastung durch Konvektion	6	4.6 Erhöhte Luftfeuchtigkeit in der Bauphase – Die 70/1,5-Regel	18
1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtigkeit – Flankendiffusion	6	4.7 Unterdach	19
1.3.4 Hohe Einbaufeuchte von Baustoffen	6	4.8 Steildachkonstruktionen	19
1.3.5 Zusammenfassung der Feuchtebelastungen	7	4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen	19
		4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge	19
		4.11 Wände	19
<b>2. „Intelligente“ Dampfbremsen</b>		<b>5. Verlegung und Verarbeitung von INTELLO, INTELLO PLUS und DB+</b>	
2.1 Austrocknung der Konstruktion nach innen	8	5.1 Für platten- und mattenförmige Dämmstoffe	20
2.2 Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes	8	5.2 Verlegerichtung	20
2.2.1 Hoher Diffusionswiderstand im Winter	8	5.3 Empfohlene pro clima Systemkomponenten für die Verklebung	20
2.2.2 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer	9	5.4 Faserförmige Einblasdämmstoffe	20
2.2.3 Ausgewogenes Diffusionsprofil	9	5.5 Bei Schaumdämmstoffen	20
2.2.3.1 Neubauten: Die 60/2-Regel	9	5.6 Dimensionsstabilität	20
2.2.3.2 Bauphase: Die 70/1,5-Regel	9	5.7 Mechanische Festigkeiten	21
2.2.4 Höchste Sicherheit	9	5.8 Zeitpunkt der Verlegung der Dampfbremse	21
		5.9 Transluzente Struktur	21
		5.10 Recycling und Ökologie	21
<b>3. Ermittlung des Sicherheitspotentials einer Dachkonstruktion</b>		<b>6. Fazit</b>	<b>21</b>
3.1 Berechnung der Feuchteströme mit unterschiedlichen Verfahren	10		
3.1.1 Berechnung nach Glaser, DIN EN ISO 13 788	10		
3.1.2 Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte, DIN EN 15026 [14]	10		
3.2 Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials	11		
3.2.1 Definition des Bauschadensfreiheitspotentials	11		
3.2.2 Dachkonstruktionen	11		
3.2.3 Einflussfaktoren auf die Höhe des Bauschadensfreiheitspotentials	11		
3.2.4 Klimadaten Standort Holzkirchen	12		
3.2.5 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Holzkirchen, Nordseite, 40° Dachneigung	12		
3.2.6 Bauschadensfreiheitspotential Flachdächer	12		
3.2.6.1 Bekiestes Flachdach	12		
3.2.6.2 Begrüntes Flachdach	13		
3.2.7 Einfluss der Dämmschichtdicke	13		
3.2.8 Klimadaten Standort Davos	14		
3.2.9 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Davos, Nordseite, 40° Dachneigung	14		
3.2.10 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach	14		
3.2.11 Schlussfolgerungen Bauschadensfreiheitspotential	14		
3.3 Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit	15		
3.3.1 Nachweisfreie Konstruktionen für Flachdächer	15		
3.3.2 Nachweisverfahren	15		
3.3.3 Gebrauchstauglichkeit von Steildachkonstruktionen	15		
3.3.4 Gebrauchstauglichkeit von Kiedachkonstruktionen	16		
3.3.5 Gebrauchstauglichkeit von Gründachkonstruktionen	16		
3.3.6 Schlussfolgerungen Gebrauchstauglichkeit	16		
3.4 Flankendiffusion	16		
3.4.1 Ergebnisse der 2-dimensionalen Simulationsberechnung	17		
3.4.2 Schlussfolgerung bei Flankendiffusion	17		
3.4.3 Wandkonstruktionen	17		

## Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen: Eine Frage der Trocknungsreserven und des intelligenten Feuchtmanagements

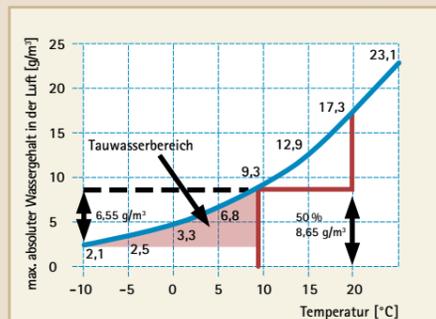
### Feuchtephysik der Luft

Beim Abkühlen der Luft erhöht sich die Luftfeuchtigkeit.

Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur fällt Tauwasser aus.

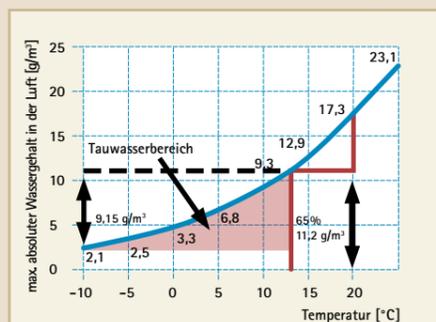
Bei höherer Raumluftfeuchtigkeit erhöht sich die Taupunkttemperatur >>> es fällt früher Tauwasser aus.

#### 1. Feuchtephysik der Luft bei 50 % rel. Luftfeuchtigkeit



Unter Normklimabedingungen (20 °C / 50 % rel. Luftfeuchte) wird der Taupunkt bei 9,2 °C erreicht. Bei -10 °C fällt Kondensat von 6,55 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 -10 °C fällt Kondensat von 9,15 g/m³ Luft aus.

### 1.1 Übersicht und Einleitung

Die Studie beschreibt die Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials einer Steildachkonstruktion, wie Bauschäden in Wärmedämmkonstruktionen entstehen und wie sich Konstruktionen sicher gegen Bauschäden schützen lassen.

Bauschäden entstehen, wenn die Feuchtigkeitseinträge auf 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.

Baukonstruktionen lassen sich allerdings nicht vollständig gegen Feuchteinflüsse 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.

Damit Bauschäden und Schimmel ausgeschlossen werden können, sollte daher das Trocknungsvermögen von Feuchtigkeit aus der Konstruktion heraus im Vordergrund stehen. Konstruktionen mit einem hohen Trocknungsvermögen bei gleichzeitig reduzierten Feuchteinträgen, wie sie Dampfbremsen mit variablem  $s_d$ -Wert ermöglichen, bieten auch bei unvorhergesehenen Feuchtebelastungen eine hohe Sicherheit gegen Bauschäden.

### 1.2 Kondensation – Taupunkt – Tauwassermenge

Die Wärmedämmung in Holz- und Stahlbauten trennt die warme Innenraumluft mit ihrem hohen Feuchtegehalt von der kalten Außenluft mit geringer absoluter Feuchtigkeit. Dringt warme Innenraumluft in der kalten Jahreszeit in ein Bauteil ein, kühlt sie sich auf ihrem Weg durch die Konstruktion ab. Aus dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf kann flüssiges Wasser auskondensieren. Ursächlich für den Wasserausfall 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 fällt an, wenn sich eine diffusionsdichtere Bauteilschicht unterhalb der Taupunkttemperatur befindet. 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 warme 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] Bauteile, deren äquivalente Luftschichtdicke ( $s_d$ -Wert) niedriger als 0,50 m ist. Der  $s_d$ -Wert wird definiert als Produkt der Dampfdiffusionswiderstandszahl ( $\mu$ -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  $\mu$ -Wert bei einer größeren Schichtdicke (z. B. Holzfaserdämmplatten) oder durch einen höheren  $\mu$ -Wert bei einer sehr geringen Schichtdicke (z. B. Unterspannbahnen). Der Wasserdampf orientiert sich zunächst am  $\mu$ -Wert, dann erst an der Dicke der Baustoffschicht.

Das heißt, dass bei einem höheren  $\mu$ -Wert der Tauwasserausfall schneller auftritt als bei einem niedrigen  $\mu$ -Wert. Im Bereich von Unterspannbahnen besteht wegen der häufig fehlenden Temperatur- und Feuchtedifferenz nur ein geringes Dampfdruckgefälle. Das erklärt, warum es auch bei diffusionsoffenen Unterspannbahnen zu Bauschäden kommen kann, wenn der Feuchtestrom im Bauteil erhöht ist. Unterdeck- und Unterspannbahnen mit monolithischer porenfreier Membran, z. B. SOLITEX UD, die SOLITEX MENTO Reihe und SOLITEX PLUS, bieten hier Vorteile, da die Diffusion nicht passiv durch Poren, sondern aktiv entlang der Molekülketten erfolgt.

Der Diffusionswiderstand von SOLITEX UD und SOLITEX PLUS ist variabel. Bei Kondensatgefahr reduziert er sich unter 0,02 m. Die Bahn ermöglicht dann einen extrem schnellen und aktiven Feuchtetransport und schützt die Konstruktion optimal gegen Tauwasser und Schimmelbefall.

Wenn Wasser in der Konstruktion ausfällt, kann es im kalten Winterklima zu einer Reif- oder Eisbildung unterhalb der Unterspann- bzw. Unterdeckbahn kommen. Eis ist für Wasserdampf undurchlässig und stellt eine Dampfsperre auf der Außenseite dar. Konstruktionen, die außen eine diffusionshemmende oder diffusionsdichte Schicht haben, sind bauphysikalisch kritischer als nach außen diffusionsoffener werdende Konstruktionen.

Zu den diffusionsdichten Konstruktionen gehören z. B. Steildächer mit diffusionshemmender Vordeckung, z. B. Bitumenbahnen, Dächer mit Blecheindeckungen, Flachdächer und Gründächer. An der diffusionsdichten Schicht staut sich die Feuchtigkeit in der Konstruktion und es kommt zu einem Kondensat ausfall.

### 1.3 Feuchtebelastungen der Konstruktion

Eine Feuchtebelastung innerhalb einer Wärmedämmkonstruktion, z. B. im Dach, kann verschiedene Ursachen haben. Zum Beispiel kann durch eine undichte Dachhaut Wasser eindringen. Dies können große Mengen Feuchtigkeit sein, bei denen das Wasser in den bewohnten Raum tropft. Geringe Leckagen können zu einer schleichenden Aufwechung führen. Diese ist oft begleitet durch Schimmelbefall der in der Konstruktion enthaltenen Materialien. Eine Belastung der Konstruktion durch Feuchtigkeit kann aber auch von innen erfolgen durch:

#### Vorhersehbare Feuchtebelastung:

- Diffusionsvorgänge

#### Unvorhergesehene Feuchtebelastung:

- Konvektion, d. h. Luftströmung (Undichtheiten in der Luftdichtungsebene)
- Konstruktiv bedingter Feuchtetransport (z. B. Flankendiffusion durch angrenzendes Mauerwerk)
- Erhöhte Einbaufeuchte der verwendeten Baustoffe
- Nicht koordinierter Bauablauf

### Fazit

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

### 1.3.1 Feuchtebelastung durch Diffusion

Je weniger Feuchtigkeit in eine Konstruktion eindringen kann, umso geringer ist die Gefahr eines Bauschadens – so dachte man früher.

Das heißt, die Verwendung von Dampfsperren mit hohen Diffusionswiderständen würde Bauschäden verhindern. Dass die Realität anders ist, wurde bereits vor über 15 Jahren bei der Markteinführung der pro clima 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“.

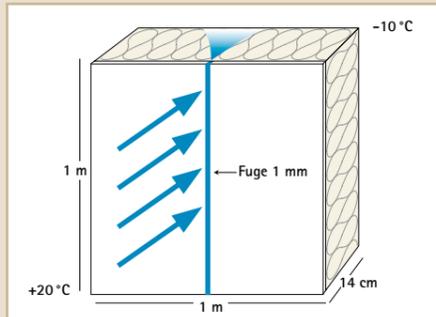
Ein Konsenspapier, das als Ergebnis des 2. Internationalen Holz[Bau]Physik-Kongresses im Februar 2011 veröffentlicht wurde, macht zu unbelüfteten Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise die folgende Angabe: Dampfsperren „unterbinden die sommerliche Umkehrdiffusion, die zur Trocknung des winterlichen Feuchteintrags 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 Rücktrocknungspotentiale verfügen. Dies kann z. B. durch die Wahl einer geeigneten Dampfbremse- und Luftdichtungsbahn auf der Innenseite des Bauteils erreicht werden.

Des Weiteren zeigen Untersuchungen an Außenwänden in Nordamerika aus dem 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 Kondensatmenge, welche durch eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 3,3 m während eines Winters diffundiert [3].

## Feuchteintrag in die Konstruktion durch Undichtheiten in der Dampfbremse

### 3. Feuchtigkeitsmenge durch Konvektion



#### Feuchtetransport

durch Dampfbremse:  $0,5 \text{ g/m}^2 \times 24 \text{ h}$   
 durch 1 mm Fuge:  $800 \text{ g/m}^2 \times 24 \text{ h}$

Erhöhung Faktor: 1.600

#### Randbedingungen:

Dampfbremse  $s_d$ -Wert = 30 m  
 Innentemperatur = +20 °C  
 Außentemperatur = -10 °C  
 Druckdifferenz = 20 Pa  
 entsprechend  
 Windstärke 2-3

Messung: Institut für Bauphysik, Stuttgart [4]

### 1.3.2 Feuchtebelastung 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)

Für Konstruktionen mit außen diffusionsdichten Bauteilschichten hat ein Feuchteintrag über Konvektion schnell einen Bauschaden zur Folge. Konvektive Feuchtemengen können wegen ihrer hohen Feuchtelast aber auch für diffusionsoffene Bauteile auf der Außenseite gefährlich werden, v. a., wenn bereits Tauwasser ausgefallen ist.

### 1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtigkeit – Flankendiffusion

Es sind in der Praxis Bauschäden aufgetreten, die sich allein mit Diffusions- und Konvektionsvorgängen nicht erklären ließen. Ruhe [5] und Klopfer [6] haben 1995 bzw. 1997 bei einem Bauschaden auf das Problem der Flankendiffusion hingewiesen [7].

#### Die Konstruktion:

Dach, außenseitig Holzschalung und Bitumendachbahn, innenseitig Kunststoffolie aus Polyethylen (PE), dazwischen der mit Mineralwolle voll ausgedämmte Sparrenzwischenraum. 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 größtenteils verfault.

Diskutiert wurde der Feuchteintrag durch Flankendiffusion. Dabei dringt Feuchtigkeit über die Flanke des seitlichen Luftdichtungsanschlusses, hier ein porisiertes Ziegelmauerwerk, ins Dach ein. Der Feuchtestrom umgeht dadurch die PE-Folie. (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 Feuchte- transports mit WUFI 2D [9] rechnerisch nachwies.

Nach der Berechnung erhöhte sich die Holzfeuchtigkeit über dem Ziegelmauerwerk bereits nach einem Jahr auf ca. 20 % und damit bereits über die schimmelkritische Grenze, nach 3 Jahren stieg sie auf 40 % und nach 5 Jahren auf 50 %.

### 1.3.4 Hohe Einbaufeuchte von Baustoffen

Werden Baustoffe mit einem erhöhten Feuchtegehalt verarbeitet, ist die Konstruktion darauf angewiesen, dass diese Feuchtigkeit wieder austrocknen kann. Auch wenn es sich heute durchgesetzt hat, dass trockenes Bauholz verwendet wird, kann ein Regenschauer zu einer erhöhten Holzfeuchtigkeit führen.

#### In konkreten Zahlen heißt das:

Ein Dach mit Sparren 6/24 und einem Sparrenabstand  $e = 0,70 \text{ m}$  hat pro  $\text{m}^2$  Dachfläche 1,5 lfm Sparren. Bei 10 % Feuchtigkeit enthält diese Dachfläche ca. 1,1 l Wasser aus dem Sparrenanteil.

#### Das bedeutet:

Wenn die Holzfeuchte zu Beginn 30 % beträgt, muss, damit die schimmelkritische Feuchtigkeit von 20 % unterschritten wird, 1,1 l Wasser/ $\text{m}^2$  Dachfläche austrocknen können. Dieses Rechenbeispiel gilt auch für eine Holzschalung von 20 mm Stärke. Der Feuchtegehalt bei 10 % Holzfeuchte beträgt ca. 1,2 l Wasser pro  $\text{m}^2$ . Bei 30 % rel. Anfangsfeuchtigkeit, nach einem Regentag keine Seltenheit, muss zur Unterschreitung der Schimmelgrenze 1,2 l Wasser pro  $\text{m}^2$  Dachfläche austrocknen. Für Sparren und Holzschalung zusammen sind das ca. 2,3 l pro  $\text{m}^2$  Dachfläche.

Die Gesamtmenge an Feuchtigkeit wird häufig unterschätzt. Beim Massivbau kann durch die Neubaufeuchtigkeit eine erhebliche Feuchtigkeitsmenge hinzugefügt werden. Wenn sich dann auf der Innenseite eine diffusionsdichte Folie aus Polyethylen und außen eine Bitumendachbahn als Vordeckung befindet, kann es schnell zu einem Bauschaden kommen.

### 1.3.5 Zusammenfassung der Feuchtebelastungen

Die vielfältigen Möglichkeiten des Feuchteintrags zeigen, dass im Baualltag die Feuchtebelastung einer Konstruktion nie auszuschließen ist. Wenn es darum geht schadens- 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

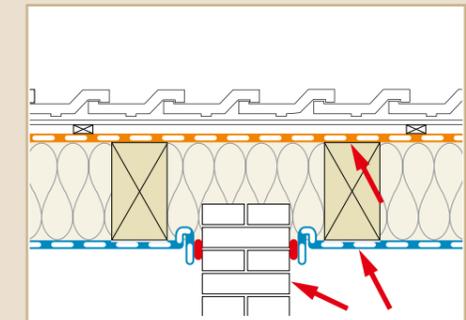
Nur wenn das Trocknungsvermögen kleiner ist als die Feuchtebelastung, kann ein Bauschaden entstehen.

„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.

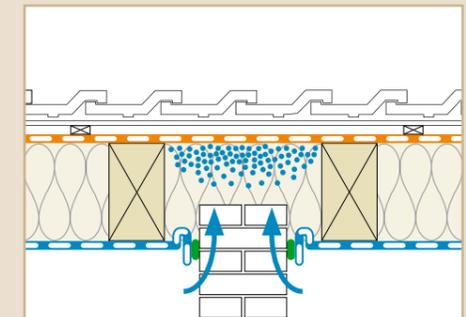
## Flankendiffusion

### 4. Bauschaden: Feuchteintrag trotz luftdichtem Anschluss und Verwendung einer Dampfsperre



Luftdichte Konstruktion mit PE-Folie und luftdichter Putzschicht, außen Bitumendachbahn

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



Feuchteintrag durch Flankendiffusion über das angrenzende Mauerwerk

# „Intelligente“ Dampfbremsen

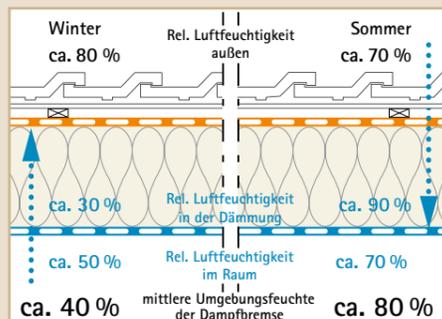
## Feuchtesituation in der Konstruktion

Der Diffusionsstrom geht immer von der warmen zur kalten Seite. Daraus folgt:

Im Winter:  
Erhöhte Feuchtigkeit auf der Außenseite

Im Sommer:  
Erhöhte Feuchtigkeit auf der Innenseite

## 6. Funktionsprinzip feuchtevariabler Bahnen



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

Umgebende Feuchtigkeit der Dampfbremse

- im Winter in einem Bereich geringer Luftfeuchtigkeit > die feuchtevariable Dampfbremse ist diffusionsdichter
- im Sommer in einem Bereich hoher Luftfeuchtigkeit > die feuchtevariable Dampfbremse ist diffusionsoffener

## 7. Diffusionsströme der feuchtevariablen pro clima Dampfbremsen

Diffusionsstrom	W <sub>DD</sub> -Wert in g/m <sup>2</sup> pro Woche	
	im Winter	im Sommer
Diffusionsrichtung	nach außen Richtung Unterdach	nach innen Richtung Dampfbremse
DB+	28	175
INTELLO INTELLO PLUS INTESANA	7	560

## 2.1 Austrocknung der Konstruktion nach innen

Eine entscheidende Trocknungsmöglichkeit bietet sich für das Bauteil nach innen: Immer wenn die Temperatur außenseitig der Dämmung höher ist als innenseitig, kehrt sich der Diffusionsstrom um – im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit drängt zur Innenseite. Dies erfolgt bereits bei sonnigen Tagen im Frühjahr und im Herbst sowie verstärkt in den Sommermonaten.

Wäre eine Dampfbrems- und Luftdichtungsebene diffusionsoffen, könnte die eventuell in der Konstruktion befindliche Feuchtigkeit nach innen austrocknen. Eine diffusionsoffene Dampfbremse würde aber im Winter zu viel Feuchtigkeit in die Konstruktion diffundieren lassen und dadurch einen Bauschaden verursachen.

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 Bauteile Feuchtefallen begünstigen, wurde diesen im Falle von Flachdachkonstruktionen 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 niedrigen Diffusionswiderstand im Sommer. Seit Jahren haben sich diese „intelligenten“ Dampfbremsen mit feuchtevariablem s<sub>d</sub>-Wert bewährt. Sie verändern ihren Diffusionswiderstand entsprechend der mittleren sie umgebenden relativen Luftfeuchtigkeit. So sind sie im winterlichen Klima diffusionsoffener und schützen die Konstruktion vor Feuchtigkeit. Im sommerlichen Klima sind sie diffusionsoffener und ermöglichen somit eine Austrocknung von Feuchtigkeit, die sich evtl. in der Konstruktion befindet, in den Innenraum.

## 2.2 Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes

Die Richtung des Diffusionsstroms wird durch das Gefälle des Wasserdampfdruckes bestimmt. Dieser ist abhängig von der Temperatur und dem Feuchtegehalt der Luft in bzw. außerhalb eines Gebäudes.

Betrachtet man vereinfacht nur die Temperatur, so strömt die Feuchtigkeit von der warmen Seite zur kalten Seite. Im Winter von innen nach außen und im Sommer von außen nach innen.

Messungen in Dachkonstruktionen haben gezeigt, dass im winterlichen Klima durch den Transport der Feuchtigkeit im Sparrenfeld nach außen die Dampfbremse in einer mittleren Umgebungfeuchtigkeit von ca. 40 % liegt. Im sommerlichen Klima kommt es bei Feuchtigkeit im Sparrenfeld dagegen zu einer erhöhten relativen Luftfeuchtigkeit an der Dampfbremse, z. T. sogar zu Sommerkondensat. (Siehe Abb. 6)

Dampfbremsen mit einem feuchtevariablen Diffusionswiderstand sind in trockener Umgebung diffusionsdichter und in feuchter Umgebung diffusionsoffener.

Seit 1991 hat sich die pro clima DB+ in Millionen verlegten m<sup>2</sup> bewährt. Ihr Diffusionswiderstand kann s<sub>d</sub>-Werte zwischen 0,6 m und 4 m annehmen.

Im Jahr 2004 hat die Firma MOLL bauökologische Produkte GmbH die Hochleistungs-Dampfbremse pro clima INTELLO entwickelt. INTELLO hat – wie auch die INTELLO PLUS und die INTESANA – einen besonders großen, in allen Klimabereichen wirksamen feuchtevariablen Diffusionswiderstand von 0,25 m bis über 10 m. (Siehe Abb. 9)

### 2.2.1 Hoher Diffusionswiderstand im Winter

Der Diffusionswiderstand der Dampfbremsen INTELLO, INTELLO PLUS und INTESANA ist so eingestellt, dass die Bahn im winterlichen Klima einen s<sub>d</sub>-Wert von mehr als 10 m erreichen kann. Das bewirkt, dass im Winter, 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 kalten langen 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<sub>d</sub>-Wert ist auch bei außen diffusionsoffenen Dächern von Vorteil, wenn es um eine Reif- und Eisbildung (Dampfsperre) an einer diffusionsoffenen Unterspannbahn geht. (Siehe Abb. 9)

### 2.2.2 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer

Der Diffusionswiderstand im sommerlichen Klima kann auf einen s<sub>d</sub>-Wert von 0,25 m fallen. 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/m<sup>2</sup> H<sub>2</sub>O pro Stunde, entsprechend ca. 80 g/m<sup>2</sup> H<sub>2</sub>O pro Tag bzw. 560 g/m<sup>2</sup> H<sub>2</sub>O pro Woche. (Siehe Abb. 7) Dieses hohe Austrocknungsvermögen bewirkt, dass ein Bauteilgefach schon im Frühjahr schnell austrocknet. Dampfbremsen, die im feuchten Bereich nur einen s<sub>d</sub>-Wert von 1 m erreichen können, bieten keine nennenswerten zusätzlichen Sicherheiten.

### 2.2.3 Ausgewogenes Diffusionsprofil

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

#### 2.2.3.1 Neubauten: Die 60/2 Regel

In Neubauten und in Feuchträumen von Wohnhäusern (Bäder, Küchen) herrscht bau- und wohnbedingt eine erhöhte

Raumluftfeuchte von ca. 70 %. Der Diffusionswiderstand einer Dampfbremse sollte so eingestellt sein, dass bei dieser Feuchtigkeit ein Diffusionswiderstand von mindestens 2 m erreicht wird, um die Konstruktion ausreichend vor Feuchteeintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung zu schützen. INTELLO, INTELLO PLUS und INTESANA haben bei 60 % mittlerer Feuchtigkeit (70 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Feuchtigkeit an der Wärmedämmung) einen s<sub>d</sub>-Wert von ca. 4 m. (Siehe Abb. 10)

#### 2.2.3.2 Bauphase: Die 70/1,5-Regel

In der Bauphase, wenn verputzt oder Estrich gelegt wurde, herrscht im Gebäude eine sehr hohe Raumluftfeuchte von zum Teil über 90 %. Der s<sub>d</sub>-Wert einer Dampfbremse sollte dann mehr als 1,5 m betragen, um die Konstruktion vor einem zu hohen Feuchteeintrag aus dem Baustellenklima zu schützen. INTELLO, INTELLO PLUS und INTESANA haben bei 70 % mittlerer Feuchte (90 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % in der Dämmebene) einen s<sub>d</sub>-Wert von 2 m. Übermäßige Raumluftfeuchte in der Bauphase über einen langen Zeitraum schädigt alle 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)

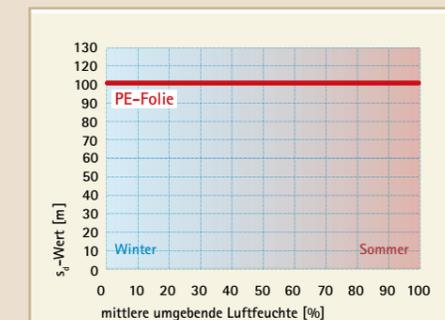
#### 2.2.4 Höchste Sicherheit

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, Undichtheiten, Flankendiffusion oder erhöhte Einbaufeuchtigkeit von Bauholz oder Dämmstoff. Die feuchtevariablen pro clima Dampfbremsen wirken wie eine Feuchtigkeitstransportpumpe, die aktiv Feuchtigkeit aus dem Bauteil zieht, welche sich evtl. unvorhergesehen in ihm befindet.

## s<sub>d</sub>-Wert-Verhalten von Dampfbremsen

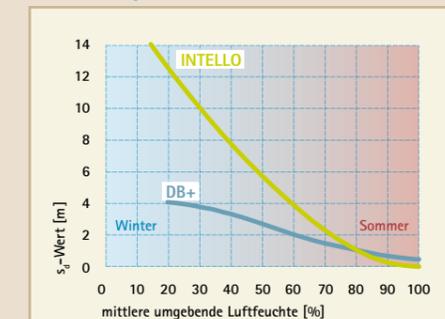
Je größer die Variabilität des Diffusionswiderstandes zwischen Winter und Sommer ist, umso mehr Sicherheit bietet die Dampfbremse.

### 8. s<sub>d</sub>-Wert-Verhalten PE-Folie



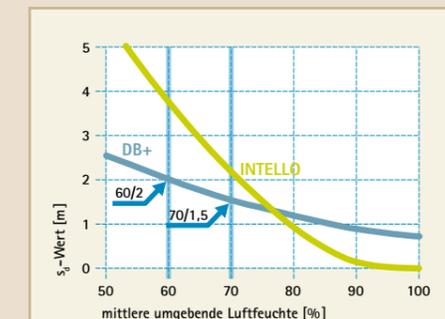
PE-Folie: keine Feuchtevariabilität

### 9. s<sub>d</sub>-Wert-Verhalten pro clima Dampfbremsbahnen



DB+: Mittlere Feuchtevariabilität  
INTELLO: Hohe Feuchtevariabilität

### 10. Neubau und Bauphase Regel 60/2 und 70/1,5

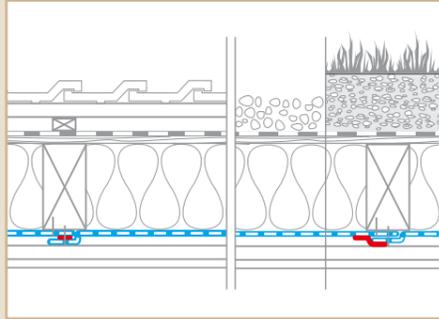


Empfohlene Mindest-s<sub>d</sub>-Werte während der Bauphase, bei Neubaufeuchte und für Feuchträume von Wohnhäusern

## Ermittlung des Sicherheitspotentials einer Dachkonstruktion

### Bauphysikalische Beurteilung von Dachkonstruktionen

#### 11. Aufbau der Dachkonstruktionen



##### Bauteilschichten:

- Außenseitig diffusionsdicht (Bitumendachbahn  $s_d$ -Wert = 300 m)
- Vollholzschalung 20 mm
- Faserige Dämmung 200 mm
- Dampfbremsen mit unterschiedlichen  $s_d$ -Werten
- Installationsebene 25 mm
- Gipsbauplatte

##### Betrachtete Dachvarianten:

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

Alle Konstruktionen sind unbeschattet.

### 3.1 Berechnung der Feuchteströme mit unterschiedlichen Verfahren

Zur Berechnung von Feuchtebelastungen innerhalb von Bauteilen stehen stationäre und dynamische Rechenverfahren zur Verfügung. Nach wie vor sind die stationären Berechnungsverfahren nach Glaser mit der Ausnahme von Gründachkonstruktionen für alle anderen Dachkonstruktionen zugelassen. Jedoch sind sie nicht in der Lage materialspezifische und konstruktionsabhängige sowie lage- und klimabedingte Einflüsse zu berücksichtigen. So wird z. B. Materialverhalten wie kapillares Leitungsvermögen und Sorptionsverhalten nur in dynamischen Verfahren berücksichtigt.

#### 3.1.1 Berechnung nach Glaser, DIN EN ISO 13788

In der DIN 4108-3 [10] und DIN EN ISO 13788 [11] wird weiterhin auf das Verfahren nach Glaser zurückgegriffen. Dieses berechnet anfallende Kondensatmengen in Konstruktionen unter Annahme eines Blockwinterklimas und eines Blocksommerklimas:

##### Randbedingungen DIN 4108-3: „Glaserverfahren“ (stationär)

##### Winter (Dauer 60 Tage)

Innen: +20 °C / 50 % rel. Luftfeuchte  
Außen: -10 °C / 80 % rel. Luftfeuchte

##### Sommer (Dauer 90 Tage)

Innen: +12 °C / 70 % rel. Luftfeuchte  
Außen: +12 °C / 70 % rel. Luftfeuchte

#### 3.1.2 Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte, DIN EN 15026 [14]

Das Verfahren nach Glaser ist eine Näherung für die Beurteilung von Konstruktionen, entspricht aber nicht der Realität. Einerseits unterscheiden sich die Blockklimadaten vom realen Klima, andererseits werden wichtige Transportmechanismen wie Sorption und Kapillarität nicht berücksichtigt.

Die DIN 4108-3 [10] verweist deshalb darauf, dass dieses Verfahren nicht für begrünte Dachkonstruktionen als Nachweis der Bauschadensfreiheit geeignet

ist, sondern instationäre Simulationsverfahren verwendet werden müssen. Bekannte Softwarelösungen sind Delphin vom Institut für Bauklimatik, Dresden und WUFI pro [12] vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen. Diese Programme berechnen den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport von mehrschichtigen Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen, inkl. der Berücksichtigung von Temperatur und Feuchte, Sonnenlichteinfluss (direkt und diffus), Wind, Verdunstungskälte wie auch von Sorption und Kapillarität der Baustoffe. Die Programme 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. Es stehen Klimadaten von einigen tausend Messstationen rund um den Erdball zur Verfügung. Eine Software, welche diese für Wufi-Berechnungen verfügbar macht ist z. B. das Meteororm [13]. Die Software enthält sowohl gemäßigte als auch extreme Klimabereiche.

Für die Simulationsberechnungen wird das Bauteil mit seiner Schichtenfolge in das Programm eingegeben und ein mehrjähriger Verlauf analysiert. Es ist dann ersichtlich, ob sich Feuchtigkeit im Bauteil akkumuliert, d. h. der Gesamtfeuchtegehalt der Konstruktion über den betrachteten Zeitraum ansteigt, oder ob das Bauteil trocken bleibt. Auf diese Weise ist aber nicht erkennbar, wie hoch die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist.

### 3.2 Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials (BSFP)

Um die Sicherheiten eines Bauteils bei unvorhergesehenem Feuchteeintrag (z. B. durch Konvektion oder Flankendiffusion) zu ermitteln, wird folgender Ansatz verwendet:

Zu Beginn der Berechnung wird eine definierte Feuchtemenge in die Wärmedämmung eingebracht. 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 Bauschadensfreiheitspotential 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 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.

#### 3.2.1 Definition des Bauschadensfreiheitspotentials

**Das Bauschadensfreiheitspotential gibt an, wie viel Feuchtigkeit unvorhergesehen durch Undichtheiten, Flankendiffusion, feuchte Baustoffe in eine Konstruktion eindringen kann, ohne einen Bauschaden oder einen Schimmelbefall zu verursachen.**

#### 3.2.2 Dachkonstruktion

Exemplarisch die im Folgenden als bauphysikalisch kritisch geltende Konstruktion. Standorte und Dampfbremsen werden variiert.

##### Aufbau der Konstruktion:

Es handelt sich um ein nordorientiertes Steildach mit 200 mm Dämmung (Mineralwolle). Dieses wird mit roten Dachziegeln belegt. (Siehe Abb. 11 links)

Dampfbremsen:	$s_d$ -Wert:
• PE-Folie	100 m konstant
• Dampfbremse	5 m konstant
• pro clima DB+	0,6 - 4 m feuchtevariabel
• pro clima INTELLO	0,25 - 10 m feuchtevariabel

##### Dachvarianten:

- Steildach mit 40° Neigung zur Nordseite, rote Dachsteine
- Flachdach mit 5 cm Kies
- Flachdach mit 10 cm Gründachaufbau

##### Standorte:

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

##### Berechnung:

- Mit WUFI pro [12]
- Anfangsfeuchtigkeit in der Wärmedämmung 4000 g/m<sup>2</sup>

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

#### 3.2.3 Einflussfaktoren auf die Höhe des Bauschadensfreiheitspotentials

Eine wesentliche Größe für die Bauschadens- und Schimmelfreiheit ist die Rückdiffusion im Sommer und damit verbunden die Austrocknung der Konstruktion nach innen. Deren Höhe hängt von der Außentemperatur ab, genauer gesagt von der Temperatur an der Außenseite der Wärmedämmung. Durch die Sonneneinstrahlung hat die Dach-/Wandoberfläche eine höhere Temperatur als die Luft. Die Zeit, welche die Wärme von außen braucht, bis sie an der Wärmedämmung ankommt, ist entscheidend. Bei einem Steildach ist dies schneller der Fall als bei einem bekiesten oder begrüntem Flachdach.

Bei einem Steildach hängt die Höhe der Dachoberflächentemperatur ab von der Dachneigung, der Ausrichtung des Daches (Norden/Süden) und der Farbe der Dach-eindeckung bzw. Dachabdichtung (heller/dunkler). Das Bauschadensfreiheitspotential wird weiterhin durch die gewählte Dämmschichtdicke beeinflusst. Große Dämmstärken führen i. d. R. zu verringerten Rücktrocknungsmengen, da die Durchwärmung des Bauteils langsamer erfolgt und

als Folge die Rücktrocknungszeiträume kürzer werden.

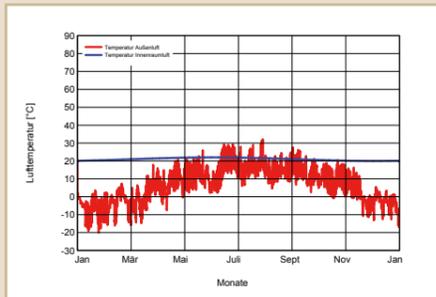
##### Ungünstige Faktoren sind:

- Dachneigung nach Norden
- Hohe Dachneigung (> 25°)
- Helle Farbe der Dacheindeckung oder Abdichtungsbahn
- Diffusionsdichtes Unterdach
- Kaltes Klima, z. B. im Gebirge
- Große Dämmschichtdicken
- Kies-/Gründachschichten oberhalb der Abdichtung

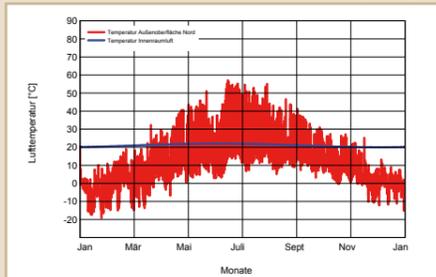
Um den Einfluss der Dampfbremse auf das Bauschadensfreiheitspotential zu verdeutlichen, wird in der Berechnung ein diffusionsdichtes Unterdach angenommen. Zudem können im Winter diffusionsoffene Unterdächer durch gefrierendes Tauwasser zu Dampfsperren werden.

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

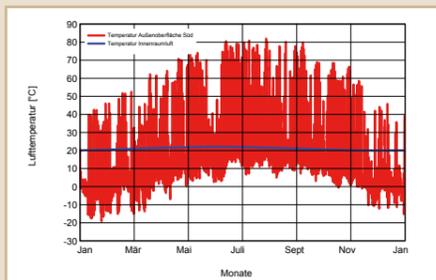
**12. Lufttemperaturen  
(Feuchtereferenzklima)**



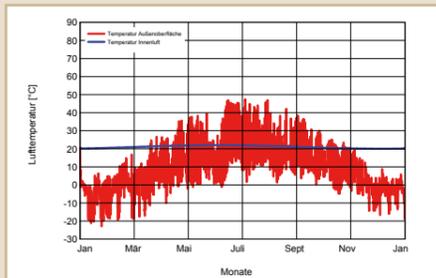
**13. Dachoberflächentemperatur  
Nordseite, 40° Dachneigung**



**14. Dachoberflächentemperatur  
Südseite, 40° Dachneigung**



**15. Dachoberflächentemperatur  
Kiesdach**



**3.2.4 Klimadaten Standort  
Holzkirchen**

Holzkirchen liegt zwischen München und Salzburg auf einer Seehöhe von 680 m mit einem rauen, kalten Klima. Für die Klimarandbedingungen wurde aus dem Wufi das Feuchtereferenzjahr ausgewählt, welches ein besonders feuchtes und kaltes Jahr abbildet. Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Temperaturverläufe über ein Jahr. Die blaue Linie zeigt die Innen-, die roten Balken die Außentemperaturen. (Siehe Abb. 12 bis 15)

Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Globalstrahlung ergibt sich, verglichen mit der Lufttemperatur, eine z. T. wesentlich höhere Dachoberflächentemperatur. Wenn die Außentemperatur (rot) die Innentemperatur (blau) überschreitet, findet bei feuchtevariablen Dampfbremsen eine Austrocknung nach innen statt. Selbst bei Nordausrichtung 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 des Daches mit 40° Neigung.

**3.2.5 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in  
Holzkirchen, Nordseite,  
40° Dachneigung**

Die Trocknungsgeschwindigkeit der erhöht angenommenen Anfangsfeuchtigkeit beschreibt das Bauschadensfreiheitspotential der Konstruktion bei unvorhergesehener Feuchtigkeit (Konvektion, Flankendiffusion etc.). Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die PE-Folie ( $s_d$ -Wert 100 m) keine Austrocknung der in der 200 mm starken Dämmschicht ermöglicht. Feuchtigkeit, die sich in der Konstruktion befindet, kann nicht mehr entweichen.

Bei einer Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m bestehen nur geringen Trocknungsreserven. Die Konstruktion mit der pro clima DB+ führt zu einer wesentlich schnelleren Austrocknung und weist erhebliche Sicherheitsreserven auf von 1800 g/m<sup>2</sup> x Jahr.

Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion ge-

mäß den WUFI pro [10]-Berechnungen mit ca. 3.400 g/m<sup>2</sup> Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (Siehe Abb. 16)

**3.2.6 Bauschadensfreiheitspotential Flachdächer**

Für die Berechnung von Grün- und Kiesdächern stehen aktuell überarbeitete Datensätze vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) zur Verfügung. Diese wurden auf der Grundlage von Messungen an verschiedenen begrünten und bekiesten Dachkonstruktionen an mehreren Standorten erstellt.

Neu ist, dass die zeitliche Veränderungen einer begrünten bzw. bekiesten Konstruktion stärker berücksichtigt wurden. So sind z. B. eine stärkere Berücksichtigung von Effekten aus dem Bewuchs (Verschattung durch Pflanzenbewuchs (Gräser)) bereits im Datensatz enthalten. Das Fraunhofer IBP kennzeichnet diese als den aktuellen Stand der Forschung.

**3.2.6.1 Bekiestes Flachdach**

Das bekieste Flachdach weist geringere Sicherheiten auf als das Steildach, da die Bauteilschichten (Kies) über der Wärmedämmung nur langsam durchwärmt werden.

Als Folge stellt sich eine geringere Durchwärmung der darunter liegenden Bauteilschichten inklusive der Dämmebene ein. Abb. 13 bis 15 zeigen die Temperaturen einer nord- bzw. südgeneigten Steildachkonstruktion im Vergleich zu einem bekiesten Flachdach. Besonders deutlich wird der Unterschied bei dem südgeneigten Steildach, aber auch das nordorientierte Steildach hat ca. 8-10 °C höhere Spitzentemperaturen als das bekieste Flachdach.

Wie beim Steildach besteht beim Kiesdach mit der PE-Folie keine Austrocknung aufgrund des mit 100 m  $s_d$ -Wert hohen Diffusionswiderstandes. Auch die Dampfbremse mit dem konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m bietet in dieser Kiesdachkonstruktion keine Rücktrocknungssicherheiten.

Dies ist eine Folge der verringerten Bauteiltemperaturen, welche die Rückdiffusion reduzieren. Bereits bei geringen unvorhergesehenen Feuchtebelastungen entsteht ein Bauschaden.

Dahingegen verfügt die Konstruktion mit der pro clima DB+ über ein Bauschadensfreiheitspotential von 700 g/m<sup>2</sup> x Jahr. Obwohl die Oberflächentemperaturen des Kiesdaches deutlich reduziert sind, bietet die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO der Konstruktion ein ansehnliches Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann das Bauteil gemäß den WUFI pro [12]-Berechnungen pro Jahr mit ca. 1.500 g/m<sup>2</sup> Wasser belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (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 bzw. INTELLO PLUS über ein Bauschadensfreiheitspotential von 700 g/m<sup>2</sup> x Jahr. Das Bauteil verfügt über ausreichende Sicherheiten bei einem unvorhergesehenen Feuchteeintrag. Hier wird der berücksichtigte Einfluss aus dem Bewuchs (Verschattung) und die dadurch im Datensatz enthaltene Sicherheit deutlich. Für begrünte Flachdächer sind die INTELLO und INTELLO PLUS die erste Wahl. Die DB+ bietet für Gründachkonstruktionen ausreichende Bauschadensfreiheitspotentiale bis zu einer Höhenlage von 400 m ü. NN.

**3.2.7. Einfluss der Dämmschichtdicke**

In den letzten Jahren hat sich nicht zuletzt durch die regelmäßig steigenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung die Stärke der eingebauten Dämmschichten erhöht. Dämmstärken von 300 mm oder mehr, die bei konventionellen Gebäuden in der Vergangenheit nur äußerst selten verwendet wurden, treten in immer größerer Zahl auf.

Hoch wärmedämmte Konstruktionen haben ein reduziertes Bauschadensfreiheitspotential. Der Hintergrund ist, dass bei steigender Dämmstärke die Durchwärmung des Bauteils zögerlicher verläuft. Dadurch wird der Vorgang der Verdunstung von unvorhergesehenen Feuchteinträgen verlangsamt. Da die Außenklimabedingungen jedoch identisch bleiben, sinken die Rücktrocknungsmengen auf ein Jahr bezogen.

INTELLO:

Abb. 19 zeigt das Bauschadensfreiheitspotential der oben vorgestellten Konstruktion mit der INTELLO mit den Dämmstärken 200, 300 und 400 mm.

Bei 200 mm Dämmstärke beträgt das Bauschadensfreiheitspotential ca. 3400, bei 300 mm ca. 3000 und bei 400 mm noch 2500 g/m<sup>2</sup> x Jahr.

DB+:

Auch bei der DB+ hat die Dämmstärke einen Einfluss auf das Bauschadensfreiheitspotential. Die Konstruktion mit der DB+ verfügt bei 200 mm Dämmung über ein Bauschadensfreiheitspotential von 1800 g/m<sup>2</sup> x Jahr, bei 300 mm von 900 g/m<sup>2</sup> x Jahr und bei 400 mm Dämmschichtdicke über ein Bauschadensfreiheitspotential von 700 g/m<sup>2</sup> x Jahr.

$s_d$ -Wert 5 m:

Bei 200 mm Dämmstärke hat die Konstruktion mit der Dampfbremse mit dem konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m bereits ein sehr geringes Bauschadensfreiheitspotential. Bei höheren Dämmstärken sinkt dieses nochmals. Jedoch sind die Sicherheiten bereits bei geringen Dämmschichtdicken so gering, dass eine Verwendung bei außen diffusionsdichten Bauteilen sowohl bei geringen als auch bei hohen Dämmstärken nicht empfehlenswert ist. (Siehe Abb. 19)

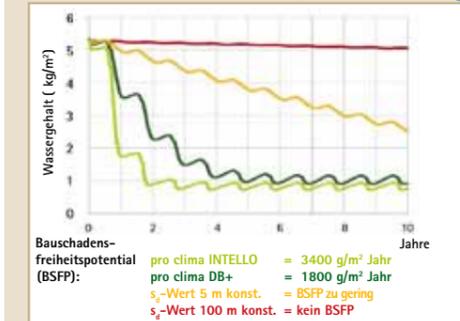
Für die INTELLO und die DB+ gilt demnach: Auch bei nordorientierten außen diffusionsdichten Steildachkonstruktionen (40°) mit hohen Dämmstärken und roten Dachziegeln sind Bauteile ausreichend sicher für Höhenlagen bis 1000 m (DB+) bzw. 1600 m (INTELLO).

Bekieste oder begrünte Konstruktionen sollten bei hohen Dämmschichtdicken im Einzelfall betrachtet werden.

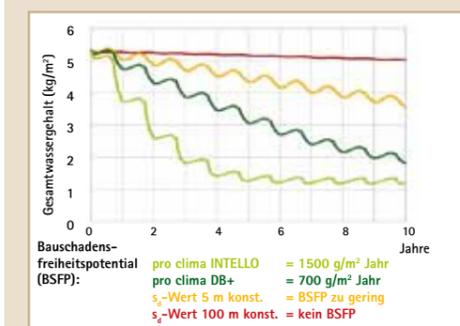
**Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials Standort Holzkirchen, Dach**

Angenommene zusätzl. Feuchtigkeit zu Beginn: 4.000 g/m<sup>2</sup>  
Feuchtegehalt der Konstruktion im Trockenzustand (= Feuchtegehalt der Holzschalung bei 15 %): 1.700 g/m<sup>2</sup>

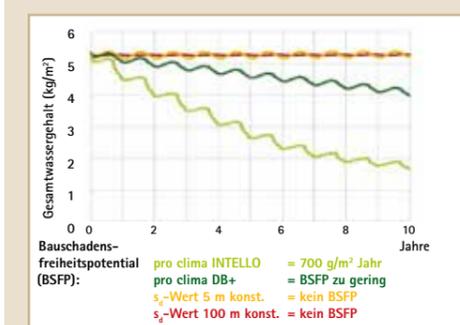
**16. Bauschadensfreiheitspotential Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung**



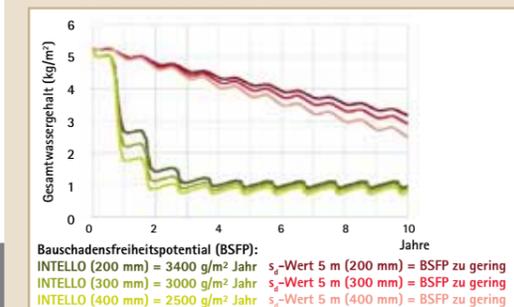
**17. Bauschadensfreiheitspotential Flachdach mit 5 cm Kies**



**18. Bauschadensfreiheitspotential Gründach mit 10 cm Aufbau**



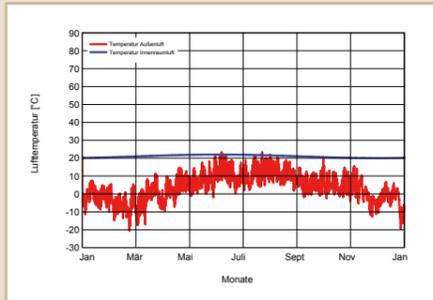
**19. BSFP mit INTELLO und  $s_d$ -Wert 5 m: verschiedene Dämmstärken**



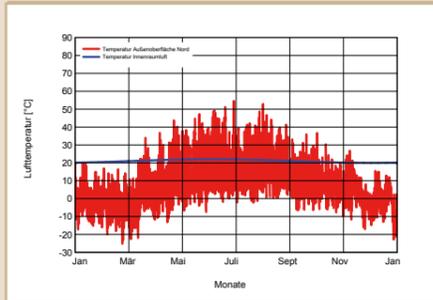
... und die Dämmung ist perfekt

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

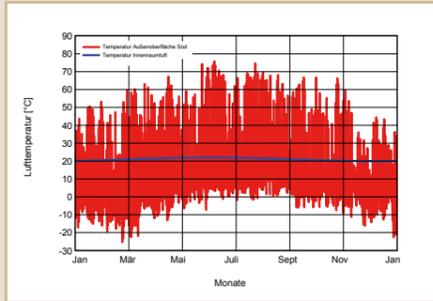
### 20. Lufttemperaturen (Davos, kalt)



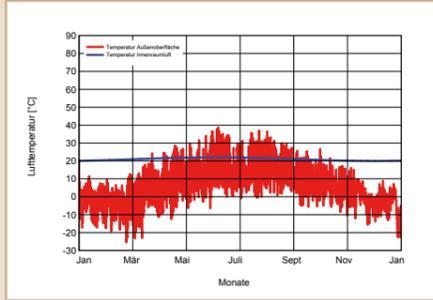
### 21. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



### 22. Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung



### 23. Dachoberflächentemperatur Kiesdach



### 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 Innentemperatur. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Globalstrahlung stellt sich, verglichen zur Lufttemperatur, eine höhere Dachoberflächentemperatur ein. In nordgeneigten Dächern sind die Temperaturen allerdings wesentlich niedriger als in Holzkirchen. Im Vergleich ist an weniger Tagen im Jahr eine Rückdiffusion möglich. Bei südgeneigten 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 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Davos, 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 Ziegeldachdeckung. Die äußerst niedrige Temperatur im Winter führt zu einem hohen Tauwasserausfall, so dass sich sogar die Konstruktion mit der PE-Folie aufweicht, auch wenn man annimmt, dass keine unvorhergesehene Feuchtebelastung gegeben ist. Bei einer Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m ist kein Bauschadensfreiheitspotential ablesbar. Das Bauschadensfreiheitspotential der Konstruktion mit der DB+ ist zu gering – die Austrocknung nicht ausreichend. Nur die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet eine bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion und zusätzlich ein Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den WUFI pro [12]-Berechnungen bis ca. 1300 g/m<sup>2</sup> Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (Siehe Abb. 25)

### 3.2.10 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach

Für das anspruchsvolle Gebirgsklima von Davos sind die Rücktrocknungsreserven mit den aktuellen Kiesdach- und Gründachdatensätzen nicht ausreichend. Die INTELLO bietet zwar eine minimale Reserve, jedoch ist diese mit 200 g/m<sup>2</sup> pro Jahr zu gering bemessen. (Siehe Abb. 25) 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 Bauschadensfreiheitspotential

Mit den pro clima Dampfbremse- und Luftdichtungsbahnen INTELLO/INTELLO PLUS und DB+ können für die mit einer Dämmschichtdicke/Dämmdicke von 200 mm berechneten Steildachkonstruktionen für Gebäudehöhenlagen bis 1000 m ü. NN sehr hohe Bauschadensfreiheitspotentiale realisiert werden. Auch bei zusätzlicher Feuchtigkeit durch unvorhergesehene Einflüsse bleiben die Konstruktionen bauschadensfrei. Flankendiffusion bei einem Ziegelmauerwerk, wie von Ruhe [4], Klopfer [5], [6] und Künzel [7] beschrieben, können INTELLO, INTELLO PLUS und DB+ kompensieren, sollten aber bei großen Höhenlagen durch eine entsprechende Detailplanung vermieden werden. Die pro clima DB+ hat sich seit über 20 Jahren in vielen Mio. m<sup>2</sup> in kritischen Konstruktionen mit ihrer Bauschadensfreiheit bewährt. Auch beim Einsatz in beküsten Dachkonstruktionen gemäß Abb. 11 sind hohe Sicherheiten für Höhenlagen wie in Holzkirchen vorhanden, welche die Bauschadensfreiheit der Bauteile fördern. Gründachkonstruktionen können in diesen Lagen mit der INTELLO und INTELLO PLUS für sichere Bauteile sorgen. Mit der DB+ liegt die maximale Höhenlage bei 400 m. In Gebirgslagen haben außen diffusionsdichte Steildächer mit INTELLO ein ausreichendes Bauschadensfreiheitspotential. Auch hier hat die Dicke der Dämmschicht einen Einfluss auf die Bauschadensfreiheit. Gemäß den Berechnungsbeispielen sind für Steildächer die Sicherheiten für die gebräuchlichen Dämmdicken bis 400 mm ausreichend hoch. Bei Grün- und Kiesdächern kann es in Abhängigkeit der gewünschten

Dämmdicke erforderlich sein, die Gesamtdämmung in einen Teil zwischen den Traghölzern und einen Teil oberhalb der Tragkonstruktion anzuordnen. Für diese Konstruktionen kann die technische Hotline von pro clima objektbezogene Bauteilfreigaben erstellen. Nach Möglichkeit sollten Flachdachkonstruktionen ohne zusätzliche Bauteilschichten außen geplant werden. Besonders hohe Sicherheiten haben unverschattete Bauteile mit schwarzen Bahnen ( $a \geq 80\%$ ). Diese sind unter Berücksichtigung weiterer Parameter (u. a. geringe Materialfeuchten, durch Prüfung sichergestellte Luftdichtheit) entsprechend [1] nachweisfrei.

### 3.3 Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit

Neben dem Bauschadensfreiheitspotential ist es weiterhin entscheidend, welche Feuchtegehalte sich im Bauteil im Gebrauchszustand einstellen.

#### 3.3.1 Nachweisfreie Konstruktionen für Flachdächer

Zur einfachen Bemessung wurden in dem unter Punkt 1.3.1 angegebenen Konsenspapier zu Flachdachkonstruktionen unter den folgenden Randbedingungen die „7 goldenen Regeln für ein nachweisfreies Flachdach“ [1] für Wohnräume nach DIN EN 15026 identifiziert:

1. Das Flachdach hat ein Gefälle  $\geq 3\%$  vor bzw.  $\geq 2\%$  nach Verformung und es
2. ist dunkel (Strahlungsabsorption  $a \geq 80\%$ ), unverschattet und es hat
3. keine Deckschichten (Bekiesung, Gründach, Terrassenbeläge), aber
4. eine feuchtevariable Dampfbremse und
5. keine unkontrollierbaren Hohlräume auf der kalten Seite der Dämmschicht und
6. eine geprüfte Luftdichtheit und es
7. wurden vor dem Schließen des Aufbaus die Holzfeuchten von Tragwerk und Schalung ( $u \leq 15 \pm 3\%$  M-%) bzw. Holzwerkstoffbeplankung ( $u \leq 12 \pm 3\%$  M-%) dokumentiert.

#### 3.3.2 Nachweisverfahren

Handelt es sich um eine Konstruktion, welche nicht die Voraussetzungen der Nachweisfreiheit erfüllt, kann die Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung eines Luftinfiltrationsmodells des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik ermittelt werden. Dieses bietet die Möglichkeit, kontinuierliche unvorhergesehene Feuchtigkeitseinträge durch Konvektion 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. Das Luftinfiltrationsmodell unterscheidet standardmäßig drei Luftdichtigkeitsklassen A, B, C, welche einem  $q_{50}$ -Wert von 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x h (Klasse A), 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x h (Klasse B) und 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x 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 verwendet werden, um die unvorhergesehene Feuchtebelastung durch Leckagen zu simulieren. Für eine maximal sichere Konstruktion sollte an jedem Bauteil eine Luftdichtheitsprüfung mit Leckageortung durchgeführt werden. Dann kann die Luftdichtigkeitsklasse A für den Nachweis verwendet werden.

Das Luftinfiltrationsmodell unterscheidet standardmäßig drei Luftdichtigkeitsklassen A, B, C, welche einem  $q_{50}$ -Wert von 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x h (Klasse A), 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x h (Klasse B) und 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x 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 verwendet werden, um die unvorhergesehene Feuchtebelastung durch Leckagen zu simulieren. Für eine maximal sichere Konstruktion sollte an jedem Bauteil eine Luftdichtheitsprüfung mit Leckageortung durchgeführt werden. Dann kann die Luftdichtigkeitsklasse A für den Nachweis verwendet werden.

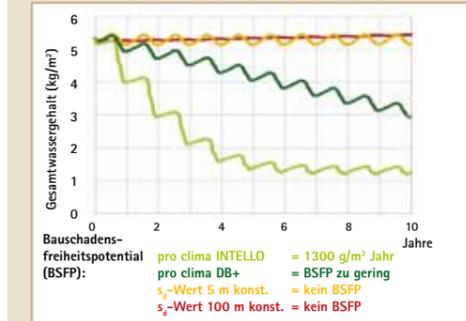
#### 3.3.3 Gebrauchstauglichkeit von Steildachkonstruktionen

Für die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit wurde die Steildachkonstruktion aus Abb. 11 in Holzkirchen bei einer Dämmschichtdicke von 400 mm mit den 3 Luftdichtigkeitsklassen mit dem Klima von Holzkirchen berechnet. Variiert wurden außerdem die Dampfbremse- und Luftdichtungsebenen – es kamen zum Einsatz die pro clima INTELLO und eine Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m. Abb. 26 zeigt die Feuchtegehalte in der 20 mm starken Fichtenschalung unterhalb der Bitumenbahn über einen Zeitraum von 10 Jahren. Nach aktuell vorherrschender Lehrmeinung ist entscheidend, dass in der unter der Abdichtung vorhandenen Fichtenschalung die Feuchtegehalte unterhalb von 20% (OSB-Platten 18%) liegen, dann gilt die Bauteilsicherheit als ausreichend. Mit der INTELLO hat die Konstruktion bei der Berechnung mit allen 3 Luftdichtigkeitsklassen keine erhöhten Materialfeuchten – die Gebrauchstauglichkeit ist bestätigt. Darüber hinaus sind noch weitere Sicherheiten vor unvorhergesehenen Feuchtebelastungen vorhanden. Die Dampfbremse mit dem  $s_d$ -Wert von 5 m

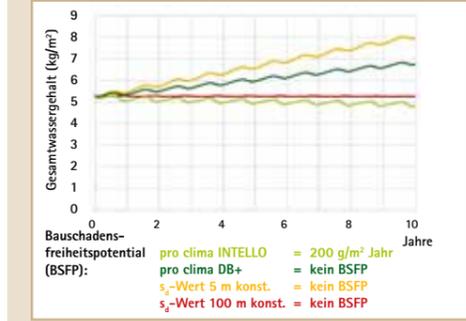
## Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials Standort Davos, Dach

Angaben siehe Berechnung Holzkirchen Seite 73

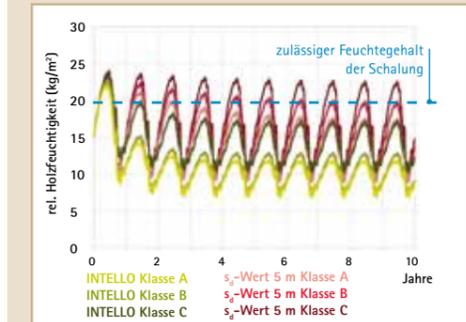
### 24. Bauschadensfreiheitspotential Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung



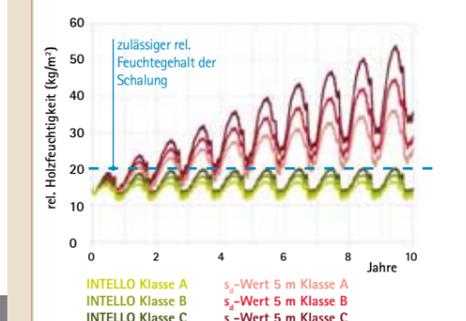
### 25. Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Kiesdach



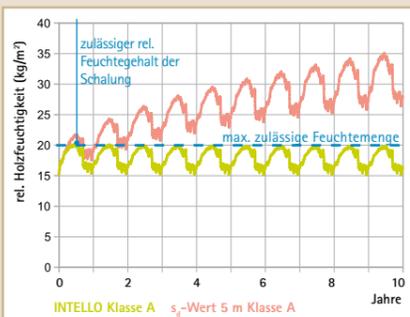
### 26. Gebrauchstauglichkeit von Steildachkonstruktionen (40°/bis 400 mm Dämmung/Holzkirchen)



### 27. Gebrauchstauglichkeit Kiesdächer (bis 300 mm Dämmung/Holzkirchen)

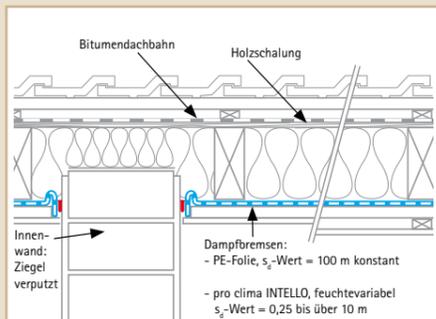


28. Gebrauchstauglichkeit Gründächer (bis 200 mm Dämmung/Holzkirchen)



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

29. Konstruktionsaufbau: Einbindende Wand

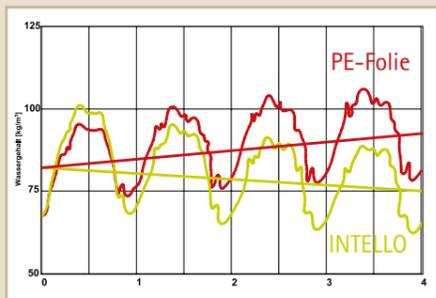


30. Feuchterhöhung mit einer PE-Folie

>>> 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 10 m feuchtevariabel

hat in der gleichen Konstruktion deutlich höhere rel. Holzfeuchtigkeiten in der Fichtenschalung zur Folge. Mit der Luftdichtigkeitsklasse C werden 20 % Holzfeuchte in der Schalung überschritten. Bereits geringfügige, weitere unvorhergesehene Feuchtelasten können schnell zu Feuchtegehalten über 20 % führen. Damit ist ein Bauschaden deutlich wahrscheinlicher.

3.3.4 Gebrauchstauglichkeit von Kiesdachkonstruktionen

Die bekieste Dachkonstruktion wurde analog zur Konstruktion aus Abb. 11 mit einer Dämmdicke von 300 mm für das Klima in Holzkirchen berechnet. Der Feuchtegehalt der Fichtenschalung in diesem Bauteil unterschreitet beim Einsatz der INTELLO die oben angegebenen 20 %, so dass bei dieser Konstruktion die Gebrauchstauglichkeit bestätigt ist (siehe Abb. 27). Kiesdächer mit Dampfbremsen mit einem  $s_d$ -Wert von 5 m bestehen diese Gebrauchstauglichkeitsprüfung nicht. Die Feuchtegehalte der Fichtenschalung liegen bei allen Luftdichtigkeitsklassen deutlich oberhalb von 20 %. Diese Kombinationen sind nicht empfehlenswert. Größere Dämmstärken können es erforderlich machen, dass ein Teil der Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion angeordnet und feuchte technisch von der Dämmung getrennt werden muss. Sind höhere Dämmstärken geplant, sprechen Sie bitte die technische Hotline von pro clima an.

3.3.5 Gebrauchstauglichkeit von Gründachkonstruktionen

Gründachkonstruktionen können mit der INTELLO und INTELLO PLUS für das Klima in Holzkirchen bei einer Dämmdicke von 200 mm gemäß Abb. 11 bestätigt werden. Dazu muss die Luftdichtungsebene sorgfältig verlegt und verklebt werden – im Anschluss muss eine Überprüfung mittels Unterdrucktest und Leckageortung erfolgen, um konvektive Feuchteinträge zu vermeiden. Soll das Gebäude in einer größeren Höhenlage oder mit einer größeren Dämmdicke errichtet werden, kann es erforderlich sein, einen Teil der Dämmebene oberhalb der Tragkonstruktion anzuordnen. Bitte wenden Sie sich in diesem Fall an die technische Hotline von pro clima. Der Einsatz einer Dampfbremse mit einem

konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m ist bei den betrachteten Gründächern nicht empfehlenswert. (Siehe Abb. 28)

3.3.6 Schlussfolgerungen Gebrauchstauglichkeit

Auch außen diffusionsdichte Flachdachkonstruktionen gemäß 3.3.1 können ohne rechnerischen Nachweis mit den feuchtevariablen Dampfbremsen INTELLO, INTELLO PLUS und INTESANA ausgeführt werden. Die Gebrauchstauglichkeit von außen diffusionsdichten Steildächern, bekiesten oder begrünten Flachdachkonstruktionen wurde für den Standort Holzkirchen bis zu den in der Berechnungen angegebenen Dämmschichtdicken mit Fichtenschalungen bestätigt. Abweichende Konstruktionen können bei der technischen Hotline von pro clima angefragt werden. Dampfbremsen mit konstanten  $s_d$ -Werten (hier 5 m) führen im Vergleich beim Steildach zu deutlich erhöhten Materialfeuchten. Bei den betrachteten Kies- und Gründächern mit Fichtenschalungen wird die 20 %-Grenze z. T. deutlich überschritten, so dass ein Bauschaden unter den angenommenen Randbedingungen wahrscheinlich ist. Alle Gebrauchstauglichkeitsberechnungen setzen voraus, dass die Konstruktionen unverschattet sind. In allen Bauteilen ist es entscheidend, dass die Luftdichtheit mittels Unterdrucktest und Leckageortung überprüft wird, um Feuchteintrag durch Konvektion zu vermeiden.

3.4 Flankendiffusion

Für die Ermittlung des Einflusses des Feuchteintrages über Bauteilflanken wird der Anschluss einer einbindenden Außenwand an eine Wärmedämmkonstruktion betrachtet. Die Konstruktion verfügt auf der Außenseite im Unterdachbereich über eine diffusionsdichte Bitumendachbahn. (Siehe Abb. 29) Mauerwerk hat einen geringeren Diffusionswiderstand als die Dampfbrems- und Luftdichtungsebene der angrenzenden Holzbaukonstruktion. Dadurch ist es möglich, dass die Diffusion von Feuchtigkeit über diese Flanke in die Wärmedämmkonstruktion erfolgt. Für dieses Beispiel wird eine Neubausituation gewählt. Das Mauerwerk und die Putzschicht verfügen über einen dann

üblichen Feuchtegehalt vom 30 kg/m<sup>3</sup>. Der faserförmige Wärmedämmstoff ist trocken eingebaut, die rel. Holzfeuchtigkeit der Dachschalung liegt bei 15 %. Als Dampfbrems- und Luftdichtungsebene wird bei einer Konstruktion eine diffusionshemmende PE-Folie ( $s_d$ -Wert 100 m) eingesetzt, bei einer zweiten Konstruktion die feuchtevariable pro clima INTELLO ( $s_d$ -Wert 0,25 bis über 10 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 [8] implementiert ist, berechnet, kommt es zu folgendem 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 der 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 Verrottung. Bei der Konstruktion mit der Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO kann die enthaltene Feuchtigkeit nach innen entweichen. Das Bauteil ist vor Feuchtigkeitsansammlung geschützt – diese wird zügig in den Innenraum abgegeben (grüner Graph). Dadurch sinkt der Feuchtegehalt stetig über den Betrachtungszeitraum von 4 Jahren.

Die Konstruktionen mit INTELLO und DB+ verfügen über eine hohes Bauschadensfreiheitspotential.

3.4.2 Schlussfolgerung bei Flankendiffusion

Feuchteinträge 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 Bauschadensfreiheitspotential sollen Flankendiffusionsvorgänge konstruktiv vermieden werden.

3.4.3 Wandkonstruktionen

Wandkonstruktionen haben durch ihre senkrechte Ausrichtung eine geringere Sonnenlichtabsorption als Dächer. Daher ist das Rücktrocknungspotential geringer. Im Regelfall sind Wände im Gegensatz zu Dächern außenseitig nicht diffusionsdicht. Es werden keine Bitumendachbahnen verwendet. Eine hohe Anforderung an Wasserdichtigkeit wie z. B. bei Flachdächern und Gründächern im Wandbereich existiert nicht. 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)

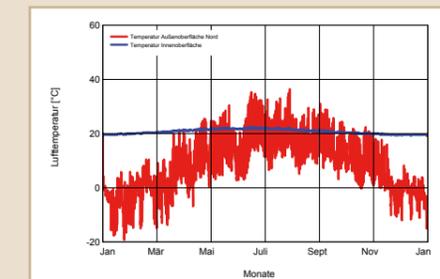
Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet auch bei Wandkonstruktionen ein erhebliches Bauschadensfreiheitspotential. Berechnungen mit Wufi pro [10] mit dem Klima von Holzkirchen zeigen für eine nach Norden ausgerichtete Außenwand mit diffusionsdichter Außenbekleidung in heller Farbe mit der INTELLO und INTELLO PLUS immer noch ein ausreichendes Sicherheitspotential. Damit sind die INTELLO und die INTELLO PLUS auch bei außen vorhandenen Holzwerkstoffplatten wie OSB- oder Spanplatten auf der Außenseite die ideale Lösung für ein hohes Bauschadensfreiheitspotential. Die Gefahr von Schimmelbildung wird deutlich verringert.

Auch in kälteren Klimaregionen bis zu Hochgebirgsstandorten wie Davos sind Wandkonstruktionen mit außenseitig der Dämmung befindlichen Bauteilschichten bis zu einem  $s_d$ -Wert von 3 m mit der Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO sicher. Für DB+ dürfen für das Klima Holzkirchen die außenseitig der Dämmung befindlichen Bauteile einen  $s_d$ -Wert von max. 6 m, für Davos max. 0,10 m haben.

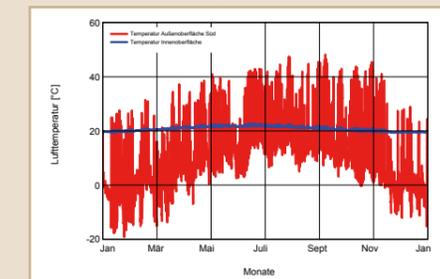
Temperaturverläufe Holzkirchen und Davos Wand, Putzfassade hell

Holzkirchen

31. Wandtemperatur Nordseite

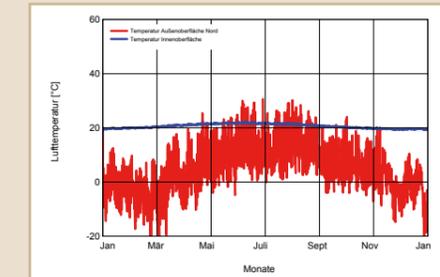


32. Wandtemperatur Südseite

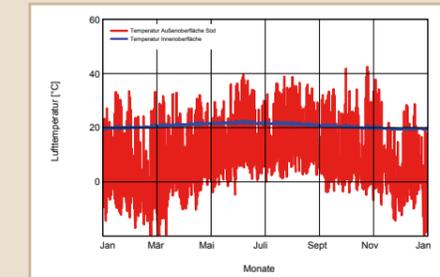


Davos

33. Wandtemperatur Nordseite



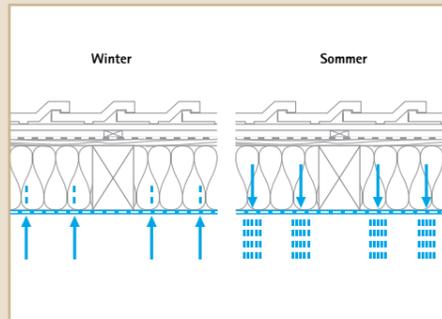
34. Wandtemperatur Südseite



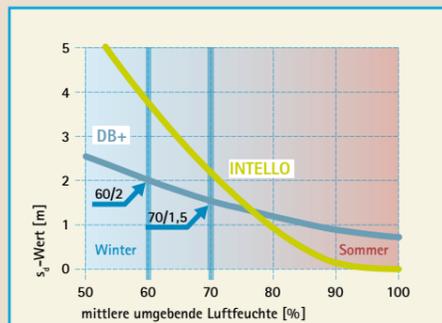
... und die Dämmung ist perfekt

Voraussetzung für die Wirkung von feuchtevariablen Dampfbremsen

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



35. Schutz der Wärmedämmkonstruktion im Neubau und in der Bauphase



Der  $s_d$ -Wert der Bahnen stellt sich auf die unterschiedlichen Umgebungsfeuchten ein. Das Einhalten der 60/2- und 70/1,5-Regel sichert ein hohes Bauschadensfreiheitspotential der Wärmedämmkonstruktion.

4.1 Konstruktionen

Die bauphysikalischen Untersuchungen mit realen Klimadaten zeigen das enorm große Bauschadensfreiheitspotential für die Konstruktionen bei Verwendung der Hochleistungs-Dampfbremse pro clima INTELLO, INTELLO PLUS und INTESANA mit dem besonders großen, in allen Klimabereichen wirksamen feuchtevariablen Diffusionswiderstand und der seit 20 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 gegen Bauschäden. Dazu dürfen Konstruktionen z. B. nicht durch Bäume, Gebäudesprünge bzw. Nachbargebäude, PV-Anlagen oder die Topografie beschattet werden.

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 Bauschadensfreiheitspotential. Vorteilhaft sind Materialien mit offener Struktur, z. B. Profiltrettschalungen, Holzwoleleichtbauplatten mit Putz und Gipsbauplatten.

Konstruktionen mit diffusionsdichten Bauteilschichten auf der Außenseite sollten ausschließlich mit diffusionsoffenen Innenbekleidungen kombiniert werden. Dann erhalten die Bauteile eine maximale Sicherheit vor einem Bauschaden.

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 Wohn- und Neubaubedingte Feuchtigkeit – Die 60/2-Regel

Durch Einhalten der 60/2-Regel werden Wärmedämmkonstruktionen in Neubauten, welche prinzipbedingt über eine erhöhte Raumluftfeuchtigkeit verfügen,

wirksam geschützt. Die pro clima DB+ und INTELLO erfüllen beide diese Anforderung und fördern dadurch das hohe Bauschadensfreiheitspotential der Bauteile.

4.5 Feuchträume in Wohnungen

Nass- und Feuchträume in Wohngebäuden haben eine temporär erhöhte rel. Feuchtigkeit von 70 %.

Die feuchtevariablen Dampfbremsen pro clima DB+ und INTELLO 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 einen optimalen Schutz. Damit ist die Konstruktion auch bei der bau- und wohnbedingten Neubaufeuchtigkeit ausreichend vor Feuchteintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung geschützt. (Siehe Abb. 35)

4.6 Erhöhte Luftfeuchtigkeit in der Bauphase – Die 70/1,5-Regel

Die pro clima DB+ und die INTELLO erfüllen beide die 70/1,5-Regel und bieten für das Bauteil in der Bauphase gegen die Feuchtebelastungen einen hohen Schutz. Die  $s_d$ -Werte sollten auch bei diesem erhöhten Feuchtigkeitsdruck oberhalb von 1,5 m liegen. INTELLO hat bei 70 % mittlerer rel. Luftfeuchtigkeit (90 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Luftfeuchtigkeit in der Dämmung) einen  $s_d$ -Wert von ca. 2 m. (Siehe Abb. 35)

Dadurch haben Konstruktionen mit den feuchtevariablen Dampfbremsbahnen auch während der Bauphase einen guten Schutz gegen Schimmelbildung.

Übermäßige Luftfeuchtigkeit während der Bauphase über einen zu langen Zeitraum kann grundsätzlich zu Auffeuchtungen in der Konstruktion führen. Feuchtigkeit soll zügig und konsequent durch stetiges Dauerlüften abgelüftet werden. Bautrockner helfen, die Feuchtebelastung zu verringern. Dauerhaft hohe relative Luftfeuchtigkeiten in der Bauphase werden dadurch vermieden.

4.7 Unterdach

Optimal ist die Wahl diffusionsoffener Werkstoffe als Unterdach (z. B. Holzfaserver-Unterdachplatten oder SOLITEX Unterdeck- oder Unterspannbahnen mit porenfreier Membran), welche eine hohe Austrocknung nach außen ermöglichen.

Konstruktionen mit diffusionsdichten Außenbauteilen, z. B. Bitumenbahnen, Flachdächer und Gründächer sowie Dächer mit Blecheindeckungen, verringern die bauphysikalischen Sicherheiten des Bauteils. Vollholzschalungen bieten höhere Sicherheiten als Holzwerkstoffplatten (z. B. OSB), da Holz einen feuchtevariablen Diffusionswiderstand hat und kapillar leitend ist. INTELLO bietet durch die große Feuchtevariabilität ein sehr hohes Sicherheitspotential, auch bei Holzwerkstoffen. Bei der pro clima DB+ muss bei diffusionsdichtem Unterdach auf Holzwerkstoffplatten verzichtet werden.

4.8 Steildachkonstruktionen

In Verbindung mit außen diffusionsoffenen Konstruktionen bestehen derartig hohe Trocknungsreserven, dass es bei Verwendung der Dampfbremsen pro clima DB+, INTELLO/INTELLO PLUS und INTESANA keine Begrenzung der Höhenlage des Standorts gibt. Auch in Höhenlagen von über 3.000 m sind die Konstruktionen sicher. Für außen diffusionsoffene Steildachkonstruktionen (z. B. Vordeckung mit Bitumenbahnen) gelten die Begrenzungen in Abb. 36.

4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen

Flach- und Gründächer haben außen-seitig immer eine diffusionsoffene Außenhaut, welche als Wasserdichtung und Wurzelschutz dient. Sie können in der Regel nicht wirksam hinterlüftet werden, da aufgrund der fehlenden Dachneigung kein Luftauftrieb gegeben ist. Je höher das Flachdach mit Kies oder Substrat (Gründach) belegt ist, umso geringer ist die Erwärmung der Dämmschicht durch die Sonneneinstrahlung. Die Rückdiffusion in den Innenraum und die Sicherheitsreserven verringern sich. Auch hier bietet die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO der Konstruktion durch den feuchtevariablen Diffusionswiderstand eine hohe Sicherheit gegen

Bauschäden, z. B. bei unvorhergesehenen Feuchtebelastungen.

Aus den Simulationsberechnungen mit realen Klimadaten ergeben sich die Anwendungsgrenzen in Abb. 37.

Flach- und Gründächer gehören zu den bauphysikalisch anspruchsvollsten und kritischsten Wärmedämmkonstruktionen im Baubereich.

pro clima INTELLO bietet diesen Konstruktionen aufgrund der extrem großen Feuchtevariabilität des Diffusionswiderstandes die sicherste Lösung. Eventuell eingedrungene oder in der Konstruktion enthaltene Feuchtigkeit kann in besonders hohem Maße wieder austrocknen, ohne dass es zu einer schädlichen Wiederbefeuchtung kommt. Sollen Flach- und Gründächer über höchste Sicherheit verfügen, sollte INTELLO als Dampfbremse verwendet werden. Bei von Abb. 37 abweichenden Randbedingungen kann es ggf. erforderlich sein, eine Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion anzuordnen. Die beiden Dämmebenen müssen dann feuchte-technisch voneinander getrennt werden. Bitte wenden Sie sich in diesem Fall an die technische Hotline von pro clima.

4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge

Außen diffusionsoffene Steildachkonstruktionen können bis in 1.600 m Höhe mit INTELLO sicher ausgestattet werden und haben ein hohes Bauschadensfreiheitspotential. Bauvorhaben, die über 1.600 m über NN liegen, sind selten, kommen aber auch vor, z. B. in Skigebieten. Für die Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials stehen uns Klimadaten bis zu einer Höhe von 2962 m (Zugspitze) zur Verfügung. Bitte kontaktieren Sie dafür die technische Hotline von pro clima.

4.11 Wände

Durch die geringere Sonneneinstrahlung haben Wandkonstruktionen ein geringeres Rückdiffusionspotential und dadurch bedingt niedrigere Sicherheitsreserven. Für Wände gelten außenseitig der Dämmung Diffusionswiderstände entsprechend Abb. 38.

Einsatzbereiche DB+ und INTELLO

36. Steildachkonstruktionen bis 400 mm Dämmung

Konstruktionen	DB+	INTELLO
bei außen diffusionsoffenen Konstruktionen ohne Hinterlüftung (geprüfte Luftdichtheit, keine Beschattungen, innenseitig keine bremsenden Schichten)	Bis 1.000 m ü. NN keine Holzwerkstoffplatten außen	bis 1.600 m ü. NN
bei außen diffusionsoffenen Konstruktionen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

37. Kiesdächer bis 300 mm Dämmung Gründächer bis 200 mm Dämmung

Konstruktionen	DB+	INTELLO
Flachdach mit max. 5 cm Kiesbelag ohne Hinterlüftung (geprüfte Luftdichtheit, keine Beschattungen, innenseitig keine bremsenden Schichten)	bis 800 m ü. NN keine Holzwerkstoffplatten außen	bis 1.000 m ü. NN
Gründach mit max. 10 cm Substrat ohne Hinterlüftung (geprüfte Luftdichtheit, keine Beschattungen, innenseitig keine bremsenden Schichten)	bis 400 m ü. NN keine Holzwerkstoffplatten außen	bis 1.000 m ü. NN

Bei Dachkonstruktionen oberhalb der in Abb. 36 und 37 angegebenen Höhenlagen kann eine Zusatzdämmung oberhalb der Tragkonstruktionen den Einsatz ermöglichen – bitte sprechen Sie die technische Hotline von pro clima an.

38. Wände

Konstruktionen	DB+	INTELLO
außenseitige Bauteilschichten bei Wänden bis 700 m Höhe (innenseitig keine bremsenden Schichten)	Diffusionswiderstand max. 6 m	unbegrenzter Diffusionswiderstand
außenseitige Bauteilschichten bei Wänden bis 1.600 m Höhe (innenseitig keine bremsenden Schichten)	Diffusionswiderstand max. 0,10 m	Diffusionswiderstand max. 3 m
bei außen diffusionsoffenen Konstruktionen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

## Verlegung und Verarbeitung von INTELLO, INTELLO PLUS und DB+

### Verlegeschritte

#### 1. Verlegen / Befestigen



#### 2. Verkleben untereinander



#### 3. Anschluss an Giebel



#### 4. Anschluss an Fenster



#### 5. Anschluss an Durchdringung



#### 5.1 Für platten- und mattenförmige Dämmstoffe

INTELLO und INTELLO PLUS mit der Folienseite (Beschriftung) zum Raum hin verlegen. Wurden die Bahnen mit dem Vlies zur Raumseite verlegt, ist die bauphysikalische Funktion nicht beeinträchtigt. Die Klebebänder z. B. mit pro clima PRESSFIX fest andrücken. Die Verklebung auf der Folienseite ist zu bevorzugen. Die pro clima DB+ ist symmetrisch aufgebaut. Die Seite der Dampfbremse, welche in Richtung Innenraum zeigt, ist daher frei wählbar.

#### 5.2 Verlegerichtung

pro clima INTELLO-, INTELLO PLUS- und DB+ -Bahnen können längs oder quer zu der Tragkonstruktion verlegt werden. Bei Längsverlegung muss sich der Stoß der Bahnen auf der Tragkonstruktion befinden. Bei Querverlegung ist der Abstand der Tragkonstruktion auf maximal 100 cm begrenzt.

#### 5.3 Empfohlene pro clima Systemkomponenten für die Verklebung

Für die Verklebung der Bahnenüberlappungen sind alle pro clima Klebebänder geeignet. Optimal ist, wenn das Grundmaterial des Bandes den mechanischen Werten der Dampfbremse entspricht, v. a. bei der Querverlegung. Für INTELLO sind daher TESCON No.1 und TESCON VANA besonders empfehlenswert, für DB+ das UNI TAPE. Für Anschlüsse an Fenster, Türen und Eckverklebungen ist das Klebeband TESCON PROFIL mit der hohen Durchstoßsicherheit und der doppelt geteilten Trennfolie bestens geeignet.

Mit den Anschlussklebern ORCON F und ORCON CLASSIC (für INTELLO) bzw. ECO COLL (für DB+) werden Verbindungen an angrenzende mineralische Bauteile (z. B. verputzte Giebelwände) sicher ausgeführt. Das Anschlussband CONTEGA PV mit integrierter Putzarmierung dient zur Realisierung eines definierten Anschlusses an unverputztes Mauerwerk.

Weitere Empfehlungen können den pro clima Planungsunterlagen entnommen werden.

#### 5.4 Faserförmige Einblasdämmstoffe

pro clima DB+ kann als begrenzende Schicht für Einblasdämmstoffe aller Art dienen. Innenseitig sollte eine quer laufende Lattung im Abstand von max. 65 cm das Gewicht des Dämmstoffs abtragen. Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO ist aufgrund der hohen Dehnfähigkeit nicht als Innenbegrenzung für Einblasdämmstoffe geeignet. Dafür steht die mit einem kräftigen PP-Gewebe armierte INTELLO PLUS zur Verfügung. Diese bietet das gleiche Bauschadensfreiheitspotential wie INTELLO. Innenseitig sollte eine quer laufende Lattung im Abstand von max. 50 cm das Gewicht des Dämmstoffs abtragen.  
**Weitere Einzelheiten der Verlegung: Siehe Planungsunterlagen.**

#### 5.5 Bei Schaumdämmstoffen

Bei Schaumdämmstoffen kommt der variable Diffusionswiderstand kaum zum Tragen, da die Rückdiffusion erheblich behindert wird. Schaumdämmstoffe sollten deswegen in bauphysikalisch anspruchsvollen und kritischen Konstruktionen, die z. B. außenseitig diffusionsdicht sind, vermieden werden, damit die Rücktrocknung durch die feuchtevariable pro clima Dampfbremse gewährleistet ist. Eine Ausnahme bilden Mischkonstruktionen aus faserförmigen Dämmstoffen zwischen den Traghölzern und Aufdachdämmungen. In diesem Fall kann die Aufdachdämmung aus einem Schaumdämmstoff bestehen. Alternativ kann auch ein faserförmiger Dämmstoff verwendet werden - in beiden Fällen müssen die beiden Dämmebenen durch eine Dampfsperre (z. B. Dachabdichtungsbahn) feuchtechnisch voneinander getrennt werden.

#### 5.6 Dimensionsstabilität

Die Hochleistungs-Dampfbremsen INTELLO und INTELLO PLUS schrumpfen nicht. Sie können straff und ohne Durchhang verlegt werden. INTELLO hat eine hohe Dehnfähigkeit, ohne zu reißen. pro clima DB+ hat nach Befeuchtung und anschließender Trocknung eine geringe Schrumpfung zur Folge. Deswegen sollte die Bahn nicht straff gespannt installiert werden. Der Anschluss an angrenzende

Bauteile muss bei den Bahnen mit einer Dehnschlaufe erfolgen, damit Bauteilbewegungen aufgenommen werden können.

#### 5.7 Mechanische Festigkeiten

INTELLO, INTELLO PLUS und DB+ haben eine hohe Nagelausreißeigenschaft. Dies bewirkt, dass die Bahnen an den Klammerstellen gegen Ausreißen und Weiterreißen gut geschützt sind.

#### 5.8 Zeitpunkt der Verlegung der Dampfbremse

Bei der Verlegung von Dämmung und Dampfbremse ist zu berücksichtigen, dass der Dämmstoff v. a. im Winter unmittelbar nach dem Einbau mit einer luftdicht verklebten Dampfbremse abgedeckt werden muss. Ohne Dampfbremse dringt die Raumluftfeuchtigkeit ungehindert in die Konstruktion ein, kühlt v. a. nachts in der Dämmung ab und führt zu einem Tauwasserausfall. Es ist wichtig, dass Dämmstoff und Dampfbremse Zug um Zug verlegt werden. Die Dampfbremse sollte nach der Verlegung auch sogleich an die

angrenzenden Bauteile angeschlossen werden, um einen Kondensatausfall im Anschlussbereich zu verhindern, mit ORCON F bzw. ORCON CLASSIC bei bestehendem Putz und CONTEGA PV bei noch nicht vorhandenem Putz. Bei der Verwendung von Einblasdämmstoffen muss vor allem im Winter unmittelbar nach dem Verlegen und Verkleben der Bahnen der Dämmstoff in die Gefache eingebracht werden.

#### 5.9 Transluzente Struktur

Die Hochleistungs-Dampfbremsen INTELLO und INTELLO PLUS sind transluzent, d. h. hinter der Bahn anstehende Materialien sind durch die Bahn zu erkennen. INTELLO und INTELLO PLUS sind nicht völlig transparent, so dass die Kanten der Bahn gut zu sehen sind. Dies ist beim Anschluss an angrenzende Bauteile vorteilhaft, wie z. B. an First- und Mittelpfetten, Dachfenster und Schornsteine, wie auch beim Verkleben der Bahnenüberlappungen.

#### 5.10 Recycling und Ökologie

Die Hochleistungs-Dampfbremsen INTELLO und INTELLO PLUS bestehen aus 100 % Polyolefin - die Spezialmembran aus Polyethylencopolymer -, das Vlies und das Gewebe aus Polypropylen. Dies ermöglicht ein leichtes Recycling. Bei der pro clima DB+ besteht das Papier zu 50 % aus Recyclingzellulose und zu 50 % aus Frischzellulose. Sie wird wegen des Glasseidengeleges thermisch verwertet.

### 6. Fazit

Konstruktionen mit DB+ und INTELLO bzw. INTELLO PLUS und INTESANA haben in Abhängigkeit von der Lage und der Konstruktion enorm große Sicherheitsreserven und beugen mit intelligentem Feuchtmanagement Bauschäden und Schimmelbildung vor. Selbst bei unvorhergesehenen oder in der Baupraxis nicht zu vermeidenden Feuchbelastungen haben die Konstruktionen dank der hohen Trocknungsreserven durch die feuchtevariablen Diffusionswiderstände ein sehr hohes Bauschadensfreiheitspotential. Die Hochleistungs-Dampfbremsen INTELLO, INTELLO PLUS und INTESANA haben eine besonders große, in allen Klimabereichen wirksame Variabilität des

Diffusionswiderstandes und bieten damit für Wärmedämmkonstruktionen eine bisher unerreichte Sicherheit - ob bei außen diffusionsoffenen oder auch bei bauphysikalisch anspruchsvollen Konstruktionen wie Flachdächern, Gründächern, Metalleindeckungen sowie Dächern mit diffusionsdichten Vordeckungen gemäß den Vorgaben.

Die Leistungsfähigkeit von INTELLO und INTELLO PLUS zeigt sich auch bei extremen Klimabedingungen, wie im Hochgebirge. Die bewährte pro clima DB+ bietet bis in mittlere Höhenlagen (z. B. in Holzkirchen) hohe Sicherheiten für Steildachkonstruktionen.

Entsprechend den Voraussetzungen der E-DIN 68 800-2 [15] kann mit feuchtevariablen Dampfbremsen auf chemischen Holzschutz verzichtet werden. Zusätzliche Sicherheit bietet pro clima mit der 6-jährigen Systemgewährleistung.

Mit INTELLO, INTELLO PLUS, INTESANA und DB+ wird wieder einmal mehr die pro clima Sicherheitsregel verwirklicht: „Je höher die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist, umso höher kann die unvorhergesehene Feuchtebelastung sein und trotzdem bleibt die Konstruktion bauschadensfrei.“

Weitere Informationen über die Verarbeitung und Konstruktionsdetails enthalten die pro clima Planungsunterlagen.

Sie erreichen die Technik-Hotline von pro clima unter:

Fon: 0 62 02 - 27 82.45

Fax: 0 62 02 - 27 82.51

E-Mail: [technik@proclima.de](mailto:technik@proclima.de)



---

[www.proclima.com](http://www.proclima.com)

MOLL bauökologische Produkte GmbH  
Rheintalstraße 35 – 43  
68723 Schwetzingen  
Germany  
Fon: +49 (0) 62 02 – 27 82.0  
Fax: +49 (0) 62 02 – 27 82.21  
E-mail: [info@proclima.de](mailto:info@proclima.de)