

# Studie zur Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials

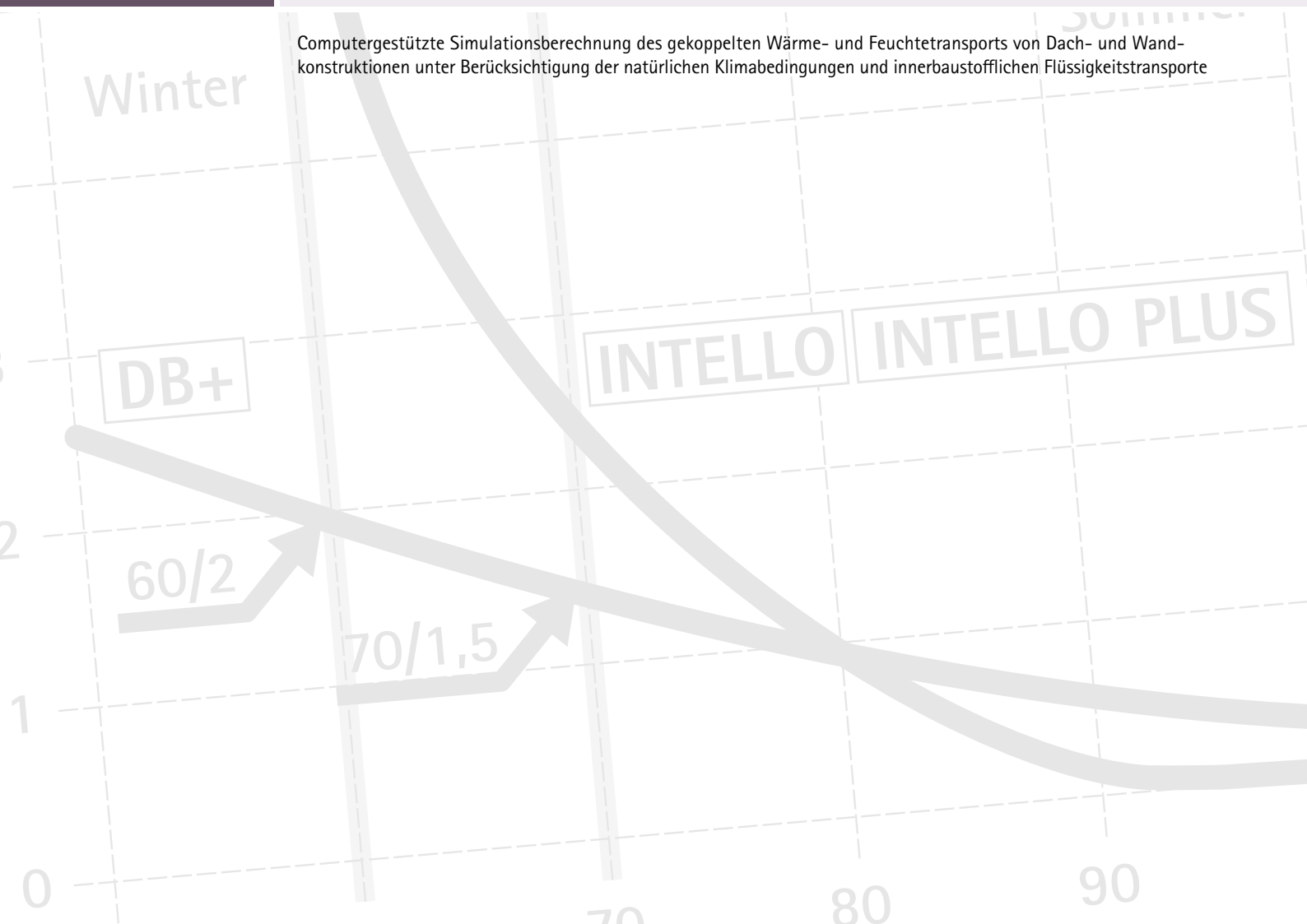
Berechnungen des Bauschadensfreiheitspotenzials von Wärmedämmungen in Holz- und Stahlbaukonstruktionen

Feuchtevariable Dampfbremsen pro clima INTELLO / INTELLO PLUS und DB+ mit intelligentem Feuchtmanagement

Dach, Wand, Decke

Deutschland, Österreich, Schweiz

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



## Lieber Leserin, lieber Leser,

*wer Wärmedämmkonstruktionen sicher planen und ausführen will, benötigt bauphysikalisches Hintergrundwissen. Manchmal wirken bauphysikalische Zusammenhänge jedoch kompliziert und schwer verständlich. Darum haben wir das Kapitel Bauphysik und die beiden darin enthaltenen Studien mit einfachen Erklärungen und Illustrationen aufgebaut. Die Studie zur Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials untersucht und bewertet auf Basis der aktuellen Empfehlungen des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik verschiedene Konstruktionsvarianten und zeigt den Weg zur robusten, praxisgerechten, nachhaltig sicheren Planung und Ausführung mit möglichst großen Sicherheitsreserven. Dabei haben wir explizit Bauteile mit großen Dämmdicken berücksichtigt. In der Sanierungsstudie untersuchen wir die Sicherheit unterschiedlicher Sanierungslösungen und geben Ihnen in einer 10-Punkte-Liste klare Empfehlungen zur Realisierung dauerhaft sicherer Konstruktionen. Das pro clima Know-how geht weit über das Kapitel Bauphysik oder dieses Planungshandbuch hinaus. Unser Ingenieurteam aus Holzbau und Bauwesen steht in permanentem Austausch mit Partnern aus Verbänden und Forschung & Lehre. Gemeinsam mit Praktikern aus Planung und Verarbeitung entstehen dann innovative Systemlösungen für langlebige, bauschadensfreie und wohngesunde Gebäude. Wissen ist der Schlüssel zum Erfolg. Wir möchten unser Wissen mit Ihnen teilen.*

*Viel Spaß beim Entdecken neuer Erkenntnisse wünschen*



**Lothar Moll**

*Dipl.-Ing. Holztechnik, Geschäftsführung Forschung und Entwicklung, Produktion, Qualitätssicherung Export*



**Michael Förster**

*Dipl.-Ing. Bauwesen, Betriebswirt (IWW), Leiter Anwendungstechnik, Forschung und Entwicklung, Qualitätssicherung, Seminare*

# Bauphysik-Studie

1.	<b>Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen</b>	4	3.3.4	Gebrauchstauglichkeit von Gründachkonstruktionen	16
1.1	Übersicht und Einleitung	4	3.3.5	Schlussfolgerungen Gebrauchstauglichkeit	16
1.2	Kondensation - Taupunkt - Tauwassermenge	4	3.4	Flankendiffusion	16
1.3	Feuchtebelastungen der Konstruktion	5	3.4.1	Ergebnisse der 2-dimensionalen Simulationsberechnung	16
1.3.1	Feuchtebelastung durch Diffusion	5	3.4.2	Schlussfolgerung bei Flankendiffusion	17
1.3.2	Feuchtebelastung durch Konvektion	6	3.4.3	Wandkonstruktionen	17
1.3.3	Konstruktiv bedingte Feuchtigkeit - Flankendiffusion	6	4.	<b>Konstruktionsempfehlungen</b>	18
1.3.4	Hohe Einbaufeuchte von Baustoffen	6	4.1	Konstruktionen	18
1.3.5	Zusammenfassung der Feuchtebelastungen	7	4.2	Innenseitige Bekleidung	18
2.	<b>»Intelligente« Dampfbremsen</b>	8	4.3	Permanent feuchte Räume	18
2.1	Austrocknung der Konstruktion nach innen	8	4.4	Wohn- und neubaubedingte Feuchtigkeit - Die 60/2-Regel	18
2.2	Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes	8	4.5	Feuchträume in Wohnungen	18
2.2.1	Zulassung	8	4.6	Erhöhte Luftfeuchtigkeit in der Bauphase - Die 70/1,5-Regel	18
2.2.2	Hoher Diffusionswiderstand im Winter	9	4.7	Unterdach / Unterdeckung	19
2.2.3	Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer	9	4.8	Steildachkonstruktionen	19
2.2.4	Ausgewogenes Diffusionsprofil Neubauten: Die 60/2-Regel	9	4.9	Flachdach- und Gründachkonstruktionen	19
	Bauphase: Die 70/1,5-Regel	9	4.10	Steildachkonstruktionen im Hochgebirge	19
2.2.5	Höchste Sicherheit	10	4.11	Wände	20
3.	<b>Ermittlung des Sicherheitspotenzials einer Dachkonstruktion</b>	10	5.	<b>Verlegung und Verarbeitung von INTELLO, INTELLO PLUS und DB+</b>	76
3.1	Berechnung der Feuchteströme mit unterschiedlichen Verfahren	10	5.1	Für platten- und mattenförmige Dämmstoffe	20
3.1.1	Berechnung nach Glaser	10	5.2	Verlegerichtung	20
3.1.2	Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte	10	5.3	Empfohlene pro clima Systemkomponenten für die Verklebung	20
3.2	Definition des Bauschadensfreiheitspotenzials	11	5.4	Faserförmige Einblasdämmstoffe	20
3.2.1	Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials	11	5.5	Bei Schaumdämmstoffen	20
3.2.2	Dachkonstruktionen	11	5.6	Dimensionsstabilität	21
3.2.3	Einflussfaktoren auf die Höhe des Bauschadensfreiheitspotenzials	11	5.7	Mechanische Festigkeiten	21
3.2.4	Klimadaten Standort Holzkirchen	12	5.8	Zeitpunkt der Verlegung der Dampfbremse	21
3.2.5	Bauschadensfreiheitspotenzial Steildach in Holzkirchen, Nordseite, 40° Dachneigung	12	5.9	Transluzente Struktur	21
3.2.6	Bauschadensfreiheitspotenzial Flachdächer	12	5.10	Recycling und Ökologie	21
3.2.6.1	Bekiestes Flachdach	12	6.	<b>Fazit</b>	21
3.2.6.2	Begrüntes Flachdach	13		<b>Kontakt</b>	
3.2.7	Einfluss der Dämmschichtdicke	13			
3.2.8	Klimadaten Standort Davos	14			
3.2.9	Bauschadensfreiheitspotenzial Steildach in Davos, Nordseite, 40° Dachneigung	14			
3.2.10	Bauschadensfreiheitspotenzial Gründach und Flachdach	14			
3.2.11	Schlussfolgerungen Bauschadensfreiheitspotenzial	14			
3.3	Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit	15			
3.3.1	Nachweisverfahren	15			
3.3.2	Gebrauchstauglichkeit von Steildachkonstruktionen	15			
3.3.3	Gebrauchstauglichkeit von Kiedachkonstruktionen	15			

## 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 Bauphysik: 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 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](http://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, 11/2014

[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, 05/2013

[12] WUFI 5.3 pro (Wärme und Feuchte instationär); PC-Programm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchte-transports in Bauteilen; Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Infos unter [www.wufi.de](http://www.wufi.de)

[13] Meteororm 7; Globale und meteorologische Datenbank für jeden Ort der Welt; Meteotest; Infos unter [www.meteororm.com](http://www.meteororm.com)

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

[15] DIN 68800-2: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, 02/2012

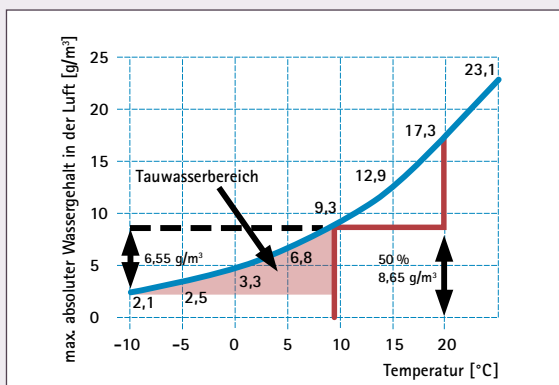
# Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen:

Eine Frage der Trocknungsreserven und des intelligenten Feuchtmanagements

## Feuchtephysik der Luft

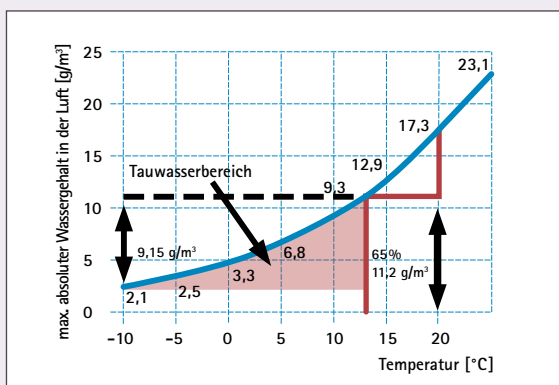
- Beim Abkühlen der Luft erhöht sich die Luftfeuchtigkeit.
  - Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur fällt Tauwasser aus.
  - Bei höherer Raumluftfeuchtigkeit erhöht sich die Taupunkttemperatur
- es fällt früher Tauwasser aus.

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



Bei einem Innenklima von 20 °C / 50 % rel. Luftfeuchte wird der Taupunkt bei 9,2 °C erreicht. Bei -5 °C fällt Kondensat von 6,55 g/m<sup>3</sup> 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 9,15 g/m<sup>3</sup> Luft aus.

## 1.1 Übersicht und Einleitung

Die Studie beschreibt die Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials verschiedener Dach- und Wandkonstruktionen, 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 der Gebäudehülle 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 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. Unterdeckbahnen). 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 Unterdeckbahnen 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 bei winterlich kalten Temperaturen 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 diffusionsdichter Vordeckung, z. B. Bitumenbahnen, Dächer mit Blecheindeckungen, Flachdächer und begrünte oder bekieste Dachkonstruktionen. 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, 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 in der Konstruktion zu einer schleichenden Auffeuchtung führen. Als Folge treten oft Schimmelbefall der in der Konstruktion enthaltenen Materialien bis hin zum Entstehen holzerstörender Pilze auf. Eine Belastung der Konstruktion durch Feuchtigkeit kann aber auch von innen erfolgen 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
- Fehler im Bauablauf

#### 1.3.1 Feuchtebelastung 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 20 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 Rücktrocknungspotenziale verfügen. Dies kann z. B. durch die Wahl einer geeigneten Dampfbremse- 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/m<sup>2</sup> 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].

#### Fazit

*Auch in Konstruktionen mit Dampfsperren, deren rechnerische  $s_d$ -Werte 50 m, 100 m oder mehr betragen, werden*

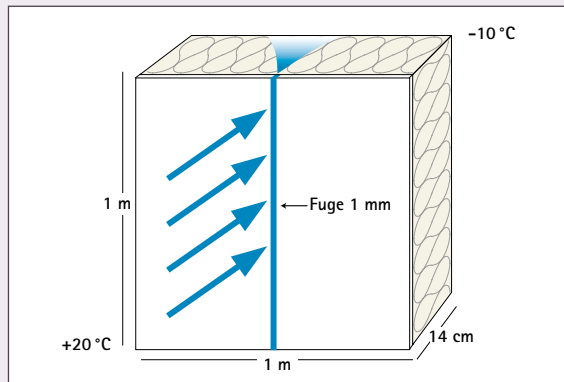
*letztendlich erhebliche Mengen an Feuchtigkeit eingetragen. Dampfsperren lassen aber keine*

*Rücktrocknung zu. Dadurch entstehen Feuchtefallen.*



## Feuchteintrag in die Konstruktion durch Undichtheiten in der Dampfsperre

### 3. Feuchtigkeitsmenge durch Konvektion



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

Erhöhung Faktor: 1.600

Randbedingungen:

Dampfsperre  $s_d$ -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).

Durch Leckagen in Konstruktionen mit äußeren diffusionsdichten Bauteilschichten eingedrungene Feuchtigkeit kann schnell zu einem Bauschaden führen. Konvektive Feuchteinträge können wegen ihrer hohen Feuchtelast aber auch für außen diffusionsoffene Bauteile gefährlich werden, v. a. wenn bereits Tauwasser ausgefallen ist und es im winterlich kalten Klima zur Bildung von Eisschichten gekommen ist.

### 1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtigkeit – 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 durch holzerstörende Pilze geschädigt.

Diskutiert wurde der Feuchteintrag 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 Sachver-

halt 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 wieder austrocknen kann. In der Regel werden heute vorgetrocknete Hölzer (KVH) eingesetzt. Diese verfügen definitionsgemäß über eine rel. Materialfeuchte von bis zu 18 %. Kommt es zur weiteren Feuchteaufnahme durch Freibwitterung kann dieser Wert deutlich überschritten werden.

#### Ein Beispiel:

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.

#### Bei erhöhter Feuchte bedeutet das:

Die aktuelle DIN 68800-2 [15] fordert, dass Hölzer, die während der Bauphase über eine rel. Feuchte von 20 % aufgefuechtet 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/ $\text{m}^2$  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, müssen 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 Mauerwerksbau kann durch die Neubaufeuchtigkeit eine erhebliche Feuchtigkeitsmenge hinzuge-

fügt werden. Wenn sich dann auf der Innenseite eine diffusionsdichte Dampfsperrierfolie aus Polyethylen und außen eine Bitumendachbahn als Vordeckung befindet, ist ein Bauschaden unausweichlich.

die Erhöhung des Trocknungsvermögens eine wesentlich effektivere und sicherere Lösung, als sich darauf zu konzentrieren, möglichst wenig Feuchtigkeit in die Konstruktion gelangen zu lassen.

### 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

#### Intelligentes Feuchtmanagement Sicherheitsformel



**Trocknungsvermögen > Feuchtebelastung = Bauschadensfreiheit**

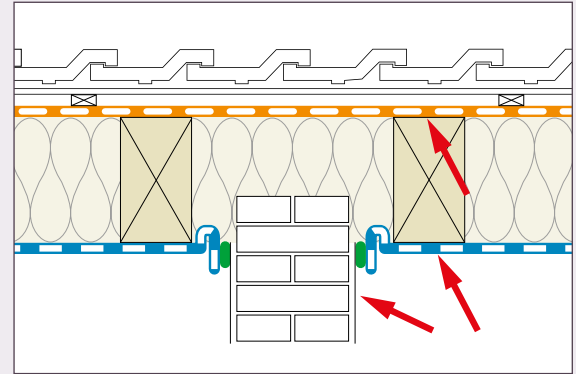
*Nur wenn das Trocknungsvermögen kleiner ist als die Feuchtebelastung, kann ein Bauschaden entstehen.*

*»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.*

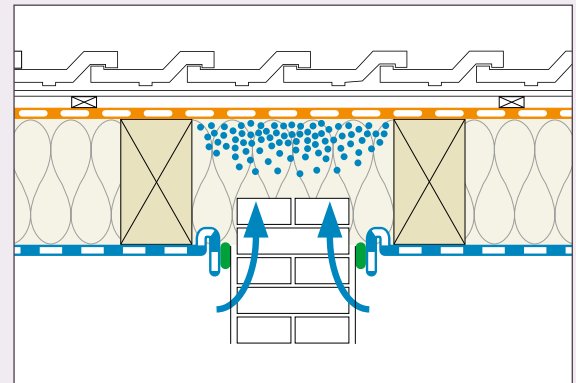
#### Flankendiffusion

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



Luftdichte Konstruktion mit Dampfsperrierfolie (PE) 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 richtet sich in der Regel von der warmen zur kalten Seite. Daraus folgt:

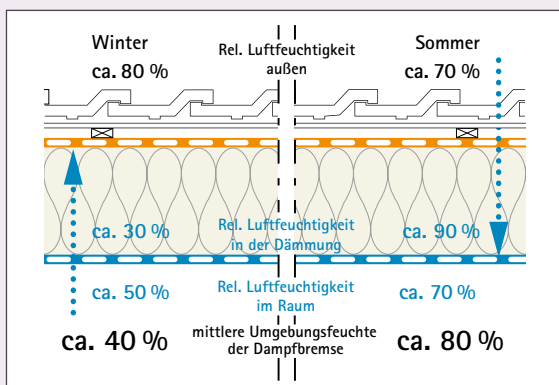
### Im Winter:

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 $g/m^2$ pro Woche	
	im Winter	im Sommer
Diffusionsrichtung	nach außen Richtung Unterdeckung	nach innen Richtung Dampfbremse
DB+	28	175
INTELLO INTELLO PLUS INTESANA	7	560

## 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 innenseitig, kehrt sich der Diffusionsstrom um – im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit drängt zur Innenseite. Dieser Effekt setzt bereits bei sonnigen Tagen im Frühjahr und im Herbst ein – er erfolgt verstärkt in den Sommermonaten. Wäre eine Dampfbremse- 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 – die erhöhten Feuchtemengen würden 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 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  $s_d$ -Wert bewährt.

Sie verändern ihren Diffusionswiderstand entsprechend der mittleren sie umgebenden relativen Luftfeuchtigkeit. So sind sie im winterlichen Klima diffusionsdichter und schützen die Konstruktion vor Feuchtigkeitseintrag.

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 Wasserdampfdrucks 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 Umgebungsfeuchtigkeit 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  $m^2$  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 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 25 m (siehe Abb. 9).

### 2.2.1 Zulassung

Die aktuelle DIN 68800-2 fordert in den »Konstruktionsprinzipien für Außenbauteile, bei denen die Bedingungen der Gebrauchsklasse 0 erfüllt sind« (siehe DIN 68800-2, Abschnitt 7) einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis für feuchtevariable diffusionshemmende Schichten, die raumseitig eingesetzt werden.

Die pro clima INTELLO/INTELLO PLUS verfügen unter der Zulassungsnummer Z-9.1-853 und die DB+ verfügt unter der Zulassungsnummer Z-9.1-852 über die



erforderliche Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) – sie darf damit sowohl in Konstruktionen eingesetzt werden, die auf Außenseite diffusionsoffen sind, als auch in Bauteilen, die außen diffusionsdichte Bauteilschichten aufweisen, wie z. B. Metalleindeckungen oder Abdichtungsbahnen auf Schalungen. Die Bauteile können damit – wie vorgeschrieben – ohne weiteren chemischen Holzschutz realisiert werden. Zusätzlich wird durch die durchgeführten beschleunigten Alterungsprüfungen die Dauerhaftigkeit der Feuchtevariabilität unabhängig bestätigt.

**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 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  $s_d$ -Wert ist auch bei außen planmäßig diffusionsoffenen Dächern von Vorteil, wenn es z. B. Reif- und Eisbildung an einer eigentlich diffusionsoffenen Unterdeckbahn eine Dampfsperre bilden (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 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  $s_d$ -Wert von 1 m erreichen können, bieten keine nennenswerten zusätzlichen Sicherheiten.

**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: 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 Feuchteintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung zu schützen. INTELLO, INTELLO PLUS und DB+ haben bei 60 % mittlerer Feuchtigkeit (70 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Feuchtigkeit an der Wärmedämmung) einen  $s_d$ -Wert von über 5 m (siehe Abb. 10).

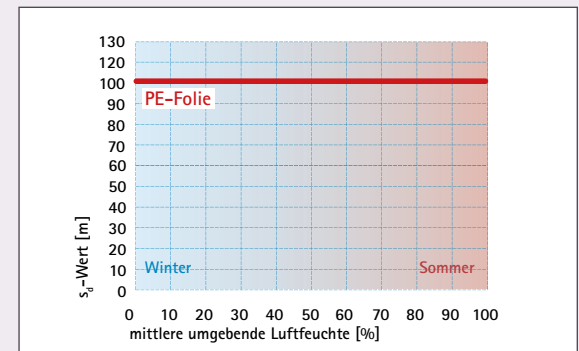
**Bauphase: Die 70/1,5-Regel**

In der Bauphase, wenn verputzt oder Estrich gelegt wurde, herrscht im Gebäude eine sehr hohe Raumluftfeuchte von zum Teil über 90 %. Der  $s_d$ -Wert einer Dampfbremse sollte dann mehr als 1,5 m betragen, um die Konstruktion vor einem zu hohen Feuchteintrag aus dem Baustellenklima zu schützen. INTELLO, INTELLO PLUS und DB+ haben bei 70 % mittlerer Feuchte (90 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % in der Dämmebene) einen  $s_d$ -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).

**$s_d$ -Wert-Verhalten von Dampfbremsen**

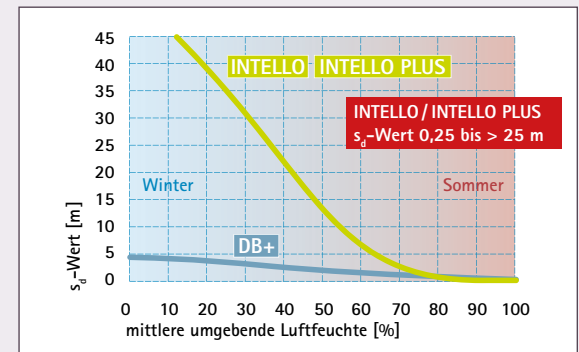
Je größer die Variabilität des Diffusionswiderstandes zwischen Winter und Sommer ist, umso mehr Sicherheit bietet die Dampfbremse.

**8.  $s_d$ -Wert-Verhalten PE-Folie**



PE-Folie: keine Feuchtevariabilität

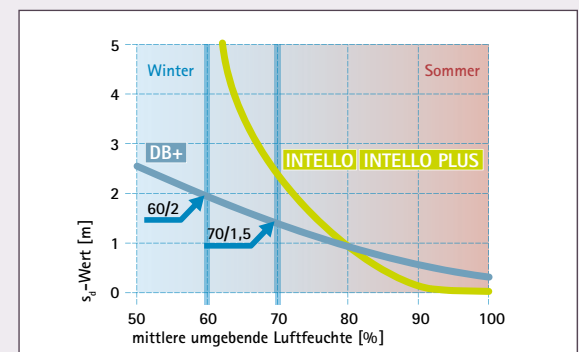
**9.  $s_d$ -Wert-Verhalten pro clima Dampfbremsbahnen**



DB+: Mittlere Feuchtevariabilität

INTELLO/INTELLO PLUS: Hohe Feuchtevariabilität

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



Empfohlene Mindest- $s_d$ -Werte während der Bauphase, bei Neubaufeuchte und für Feuchträume von Wohnhäusern

### 2.2.5 Höchste Sicherheit

Das »intelligente« Verhalten der feuchtevariablen Dampfbremsen von pro clima macht Wärmedämmkonstruktionen je nach Bauart und Lage sehr sicher, auch

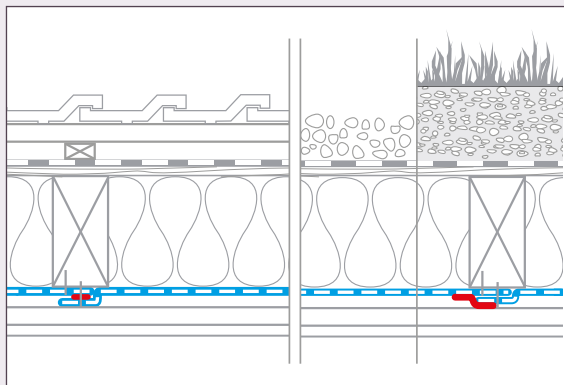
bei unvorhergesehenem Feuchtigkeitseintrag in die Konstruktion, z. B. durch widrige Klimabedingungen, Undichtheiten, Flankendiffusion oder erhöhte Einbaufeuchtigkeit von Bauholz oder Dämmstoff. Die feuchtevariablen pro clima Dampf-

bremsen wirken wie eine Feuchtigkeits-transportpumpe, die aktiv Feuchtigkeit aus dem Bauteil zieht, welche sich evtl. unvorhergesehen in ihm befindet.

## Ermittlung des Sicherheitspotenzials einer Dachkonstruktion

### Bauphysikalische Beurteilung von Dachkonstruktionen

#### 11. Aufbau der Dachkonstruktionen



#### Bauteilschichten:

- Außenseitig diffusionsdicht (Bitumendachbahn  $s_d$ -Wert = 300 m)
- Vollholzschalung 20 mm
- Faserdämmung (Mineralwolle) WLK 0,035 W/mK 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 extensiver Begrünung: 10 cm Pflanzensubstrat

Alle Konstruktionen sind unverschattet.

### 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 zulässig. 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

In 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. Dadurch ist es nicht möglich realitätsnahe Berechnungen des Feuchteverhaltens einer Konstruktion mit dem Verfahren nach Glaser durchzuführen. In DIN 4108-3 wird dazu ausgeführt: »Das »Glaser-Verfahren [...] bildet nicht die realen physikalischen Vorgänge in Ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge ab.«.

#### 3.1.2 Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte

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 z. B. 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 Softwarelösungen berechnen den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport von mehrschichtigen Bauteilen unter realitätsnahen Klimabedingungen, inkl. der Berücksichtigung von Temperatur und Feuchte, Sonnenstrahlung (direkt und diffus), Wind, Verdunstungskälte wie auch Sorptionsverhalten und Kapillarität der Baustoffe. 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 einer meteorologischen Datenbank lassen sich die erforderlichen Klimadaten für nahezu jeden Ort auf der Welt erstellen. Dieses ist möglich mit der schweizer Softwarelösung Meteonorm [13] – es ermöglicht die Erstellung von Klimadatenätzen, die direkt in WUFI pro verwendet werden können.

Für die Simulationsberechnungen wird das Bauteil mit seiner Schichtenfolge berücksichtigt und ein mehrjähriger Verlauf der Feuchtegehalte (gesamt oder einzelne Bauteilschichten) analysiert.

Das Berechnungsergebnis zeigt, 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 Definition des Bauschadensfreiheitspotenzials

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

### 3.2.1 Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials (BSFP)

Um die Sicherheiten eines Bauteils bei unvorhergesehenem Feuchteintrag (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 Bauschadensfreiheitspotenzial 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.

### 3.2.2 Dachkonstruktion

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 ein nordorientiertes Steildach mit 200 mm Dämmung (Mineralwolle WLG 035). Dieses wird mit roten Dachziegeln belegt (siehe Abb. 11 links).

<b>Dampfbremsen:</b>	<b><math>s_d</math>-Wert:</b>
• PE-Folie	100 m konstant
• Dampfbremse	5 m konstant
• pro clima DB+ (Z-9.1-852)	0,4 - 4 m feuchtevariabel

- pro clima INTELLO/ INTELLO PLUS (Z-9.1-853) 0,25 - 25 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>

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 Bauschadensfreiheitspotenzials

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 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 Bauschadensfreiheitspotenzial 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.

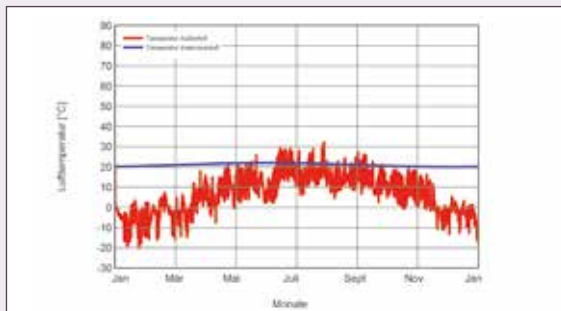
#### Ungünstige Faktoren sind:

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

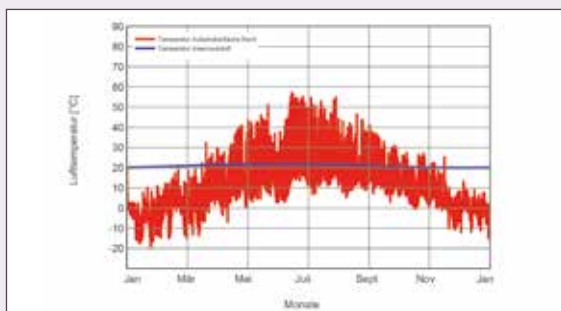
Um den Einfluss des Diffusionswiderstandes der Dampfbremsen oder -sperrern auf das Bauschadensfreiheitspotenzial zu ermitteln, wird in den Berechnungen ein diffusionsdichtes Unterdach angenommen. Dieser Ansatz kann während der kalten Wintertemperaturen (bei Minusgraden) dazu verwendet werden, um den Einfluss von Vereisungen und damit diffusionsdichter Unterdeck- und Unterspannbahnen auf den Feuchtegehalt innerhalb der Konstruktion zu ermitteln.

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

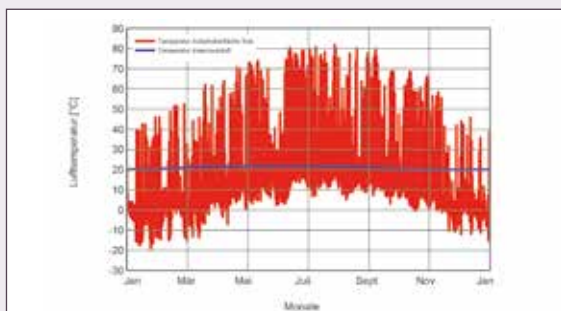
### 12. Lufttemperaturen (Feuchtereferenzklima)



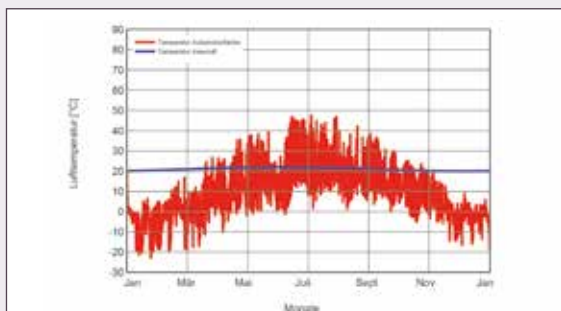
### 13. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



### 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 WUFI pro das sogenannte Feuchtereferenzjahr ausgewählt, welches ein besonders feuchtes und kaltes Jahr abbildet. Die links abgebildeten 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 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 der Dachfläche mit 40° Neigung.

### 3.2.5 Bauschadensfreiheitspotenzial Steildach in Holzkirchen, Nordseite, 40° Dachneigung

Die Trocknungsgeschwindigkeit der erhöht angenommenen Anfangsfeuchtigkeit beschreibt das Bauschadensfreiheitspotenzial der Konstruktion beim Auftreten unvorhergesehener Feuchtigkeit (Konvektion, Flankendiffusion usw.).

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die PE-Folie ( $s_{d0}$ -Wert 100 m) keine Austrocknung der Feuchtigkeit aus der 200 mm starken Dämmschicht ermöglicht. In der Wärmedämmebene ausgefallenes Kondensat kann nicht mehr entweichen.

Bei einer Dampfbremse mit einem konstanten  $s_{d0}$ -Wert von 5 m bestehen nur geringe Trocknungsreserven.

Die Konstruktion mit der pro clima DB+ führt zu einer wesentlich schnelleren Austrocknung und weist erhebliche Sicherheitsreserven auf von 1.800 g/m<sup>2</sup> x Jahr. Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotenzial. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß 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 Bauschadensfreiheitspotenzial Flachdächer

Für die Berechnung von Grün- und Kiesdächern stellt WUFI pro eine Reihe verschiedener Materialdatensätze für begrünte Dächer sowie einen 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 (Gräser)) 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 mit 100 m  $s_{d0}$ -Wert hohen Diffusionswiderstandes. Auch die Dampfbremse mit konstantem  $s_{d0}$ -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 Bauschadens-



freiheitspotenzial von  $700 \text{ g/m}^2 \times \text{Jahr}$ . Obwohl die Oberflächentempertur des Kiesdachs deutlich reduziert ist, bietet die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO der Konstruktion ein ansehnliches Sicherheitspotenzial. Innerhalb eines Jahres kann das betrachtete Bauteil gemäß den WUFI pro [12]-Berechnungen pro Jahr mit ca.  $1.500 \text{ g/m}^2$  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  $35\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Trotzdem verfügt die unbeschattete Konstruktion mit  $200 \text{ mm}$  Dämmstärke und einer INTELLO bzw. INTELLO PLUS über ein Bauschadensfreiheitspotenzial von  $700 \text{ g/m}^2 \times \text{Jahr}$ . (siehe Abb. 18)

Das Bauteil verfügt über ausreichende Sicherheiten bei unvorhergesehenem Feuchteintrag. 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. Bitte beachten Sie, dass es bei begrünten Dachkonstruktionen in Abhängigkeit der verwendeten Materialien und der gewünschten Dämmdicken erforderlich sein kann, eine Zusatzdämmung oberhalb der Abdichtungsbahn anzubringen. Bei Fragen zu Bauteilen wenden Sie sich gerne an die technische Hotline von pro clima.

**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. Konstruktionen mit Dämmdicken von  $300 \text{ mm}$  oder mehr, die bei konventionellen Gebäuden in der Vergangenheit nur äußerst selten verwendet wurden, treten in immer größerer Anzahl auf. Hoch wärmedämmte Konstruktionen haben ein reduziertes Bauschadensfreiheitspotenzial. Der Hintergrund ist, dass

bei steigender Dämmdicke 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 Bauschadensfreiheitspotenzial der oben vorgestellten Konstruktion bei Verwendung der INTELLO mit den Dämmdicken  $200, 300$  und  $400 \text{ mm}$ . Bei  $200 \text{ mm}$  Dämmdicke beträgt das Bauschadensfreiheitspotenzial ca.  $3.400$ , bei  $300 \text{ mm}$  ca.  $3.000$  und bei  $400 \text{ mm}$  noch  $2.500 \text{ g/m}^2 \times \text{Jahr}$ .

**DB+:**

Auch bei der DB+ hat die Dämmdicke einen Einfluss auf das Bauschadensfreiheitspotenzial. Die Konstruktion mit DB+ verfügt bei  $200 \text{ mm}$  Dämmung über ein Bauschadensfreiheitspotenzial von  $1.800 \text{ g/m}^2 \times \text{Jahr}$ , bei  $300 \text{ mm}$  von  $900 \text{ g/m}^2 \times \text{Jahr}$  und bei  $400 \text{ mm}$  Dämmdicke über ein Bauschadensfreiheitspotenzial von  $700 \text{ g/m}^2 \times \text{Jahr}$ .

**s<sub>g</sub>-Wert 5 m:**

Bei  $200 \text{ mm}$  Dämmdicke hat die Konstruktion mit der Dampfbremse mit dem konstanten s<sub>g</sub>-Wert von  $5 \text{ m}$  bereits ein sehr geringes Bauschadensfreiheitspotenzial. 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. (siehe Abb. 19)

**Für die INTELLO und die DB+ gilt demnach:**

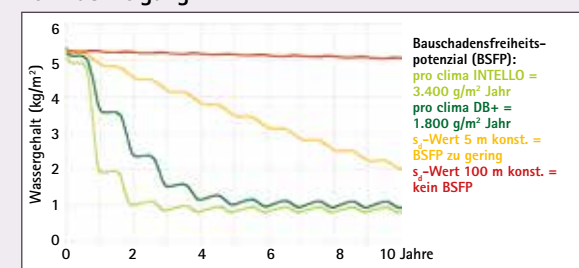
Auch bei nordorientierten, außen diffusionsdichten Steildachkonstruktionen (DN 40°) mit hohen Dämmdicken und roten Dachziegeln sind Bauteile ausreichend sicher.

Unterstützung bei der feuchtetechnischen Bemessung von Steildächern, Bahndächern sowie Flachdächern mit zusätzlichen Bauteilschichten oberhalb der Abdichtungsbahn (z. B. Bekiesungen, Begrünungen, Terrassenbelagen) bietet die technische Hotline von pro clima.

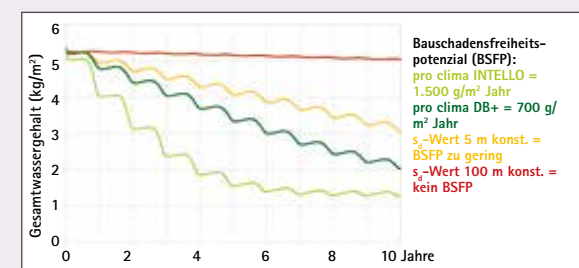
**Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials Standort Holzkirchen, Dach**

**Angenommene zusätzl. Feuchtigkeit zu Beginn:  $4.000 \text{ g/m}^2$  Feuchtegehalt der Konstruktion im Trockenzustand (= Feuchtegehalt der Holzschalung bei 15 %):  $1.700 \text{ g/m}^2$**

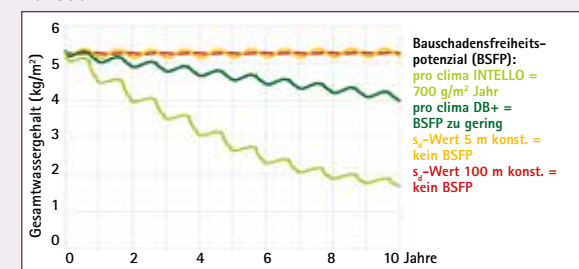
**16. Bauschadensfreiheitspotenzial Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung**



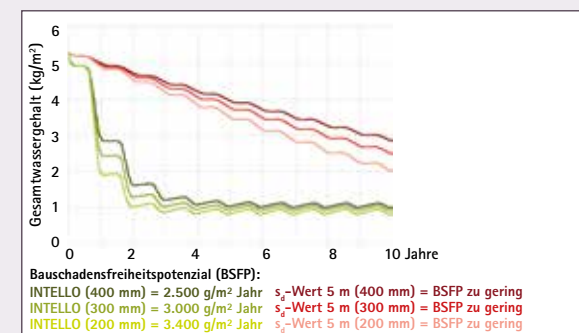
**17. Bauschadensfreiheitspotenzial Flachdach mit 5 cm Kies**



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

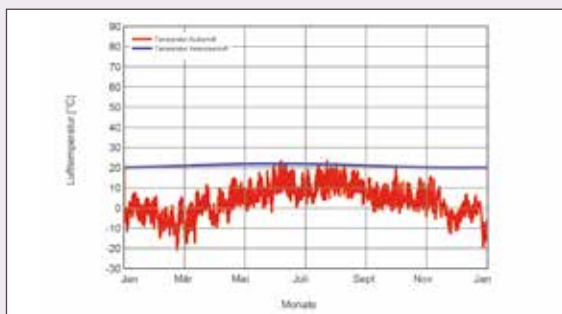


**19. BSFP mit INTELLO und s<sub>g</sub>-Wert 5 m: verschiedene Dämmdicken**

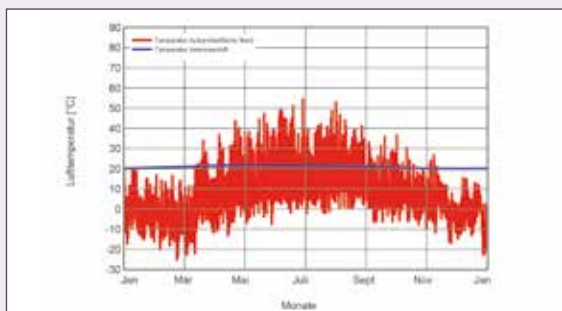


Jahrestemperaturverläufe Davos,  
Höhe: 1.560 m über NN, Schweiz, rote Ziegel/Kies

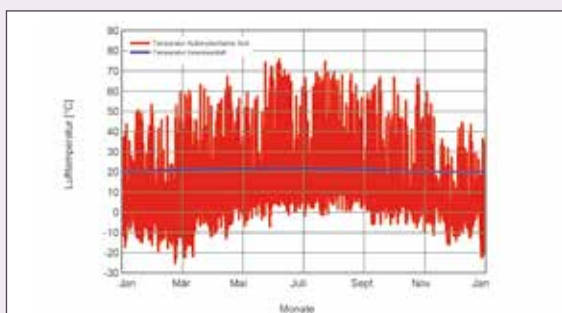
### 20. Lufttemperaturen (Davos, kalt)



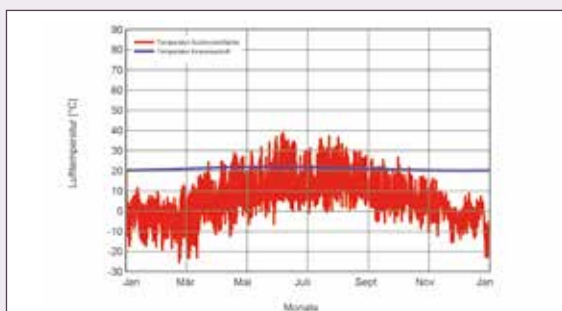
### 21. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



### 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 Bauschadensfreiheitspotenzial 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 Ziegelddeckung. 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 Bauschadensfreiheitspotenzial ablesbar. Das Bauschadensfreiheitspotenzial der Konstruktion mit der DB+ ist zu gering - die Austrocknung nicht ausreichend.

Nur die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet eine bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion und ein zusätzliches Sicherheitspotenzial. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den WUFI pro [12]-Berechnungen mit bis zu ca. 1.300 g/m<sup>2</sup> Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (siehe Abb. 24)

## 3.2.10 Bauschadensfreiheitspotenzial 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 Bauschadensfreiheitspotenzial

Mit den pro clima Dampfbremse- und Luftdichtungsbahnen INTELLO/INTELLO PLUS und DB+ können für die mit einer Dämmschichtdicke von 200 mm berechneten Steildachkonstruktionen für Gebäudehöhenlagen bis 700 m ü. NN sehr hohe Bauschadensfreiheitspotenziale 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 bekiesten 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 Bauschadensfreiheitspotenzial.

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 aufzuteilen. Für diese Konstruktionen kann die technische Hotline von pro clima objektbezogene Bauteilbeurteilungen erstellen. Nach Möglichkeit sollten Flachdachkonstruktionen ohne zusätzliche Bauteilschichten außen geplant werden. Besonders hohe Sicherheiten haben unverschattete Bauteile mit schwarzen Bahnen ( $\alpha \geq 80\%$ ).

### 3.3 Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit

Neben dem Bauschadensfreiheitspotenzial ist es weiterhin entscheidend, welche Feuchtigkeitsgehalte sich im Bauteil im Gebrauchszustand einstellen.

#### 3.3.1 Nachweisverfahren

Für eine feuchtetechnische Bemessung ist es sinnvoll, Feuchteinträge durch Konvektion zu berücksichtigen. Dazu bietet WUFI pro die Möglichkeit mithilfe des Luftinfiltrationsmodells des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik. Dieses simuliert den Feuchteintrag infolge Konvektion in die Wärmedämmebene. 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  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  (Klasse A),  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  (Klasse B) und  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  (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. Die folgenden Untersuchungen und die abgeleiteten Gebrauchstauglichkeiten beziehen sich

auf Wärmedämmungen aus Mineral- oder Steinwolle WLG 035.

#### 3.3.2 Gebrauchstauglichkeit von Steildächern (40° Dachneigung)

Für die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit wurde die Steildachkonstruktion aus Abb. 11 in Holzkirchen bei einer Mineralwolldämmung WLG 035 von 400 mm unter Ansatz der 3 Luftdichtigkeitsklassen mit dem Klima von Holzkirchen berechnet. Variiert wurden außerdem die Dampfbremsen. Es kamen die pro clima INTELLO und eine Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 5 m zum Einsatz.

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 Berechnungen mit allen 3 Luftdichtigkeitsklassen keine erhöhten Materialfeuchtigkeiten - die Gebrauchstauglichkeit ist bestätigt. Darüber hinaus sind noch weitere Reserven für unvorhergesehene Feuchtebelastungen vorhanden. Die Verwendung einer Dampfbremse mit  $s_d$ -Wert von 5 m hat in der gleichen Konstruktion deutlich höhere rel. Holzfeuchtigkeiten in der Schalung zur Folge. Bei Luftdichtigkeitsklasse C werden 20 % Holzfeuchte in der Schalung überschritten. Bereits geringfügige, weitere unvorhergesehene Feuchtebelastungen können schnell zu Feuchtegehalten weit über 20 % führen. Damit ist ein Bauschaden deutlich wahrscheinlicher.

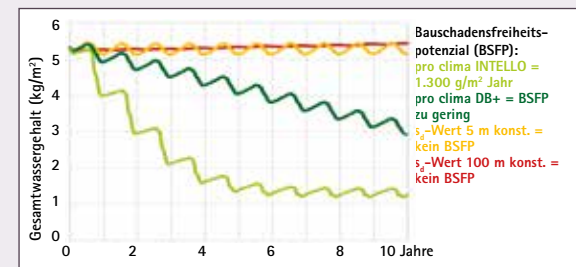
#### 3.3.3 Gebrauchstauglichkeit von Kiesdachkonstruktionen

Die bekieste Dachkonstruktion wurde analog zur Konstruktion aus Abb. 11 mit einer Dämmung aus Mineralwolle WLG 035 mit einer Dicke 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).

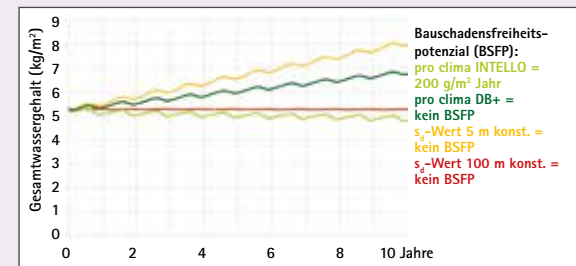
## Berechnung des Bauschadensfreiheitspotenzials Standort Davos, Dach

Angaben siehe Berechnung Holzkirchen Seite 75

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

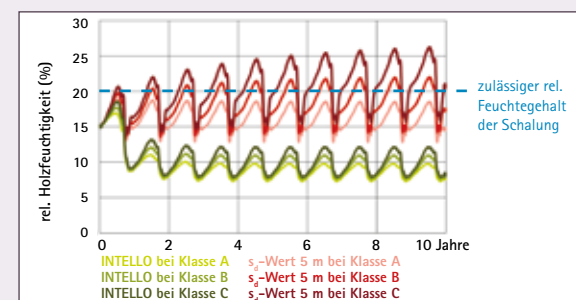


### 25. Bauschadensfreiheitspotenzial Gründach und Kiesdach

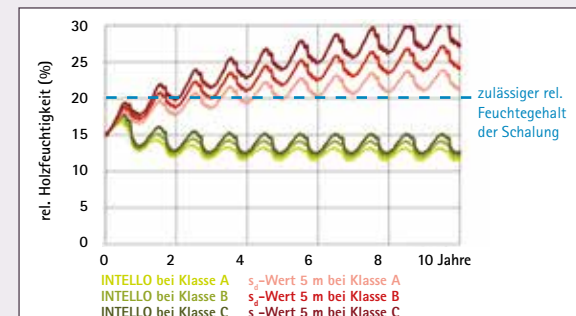


## Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit für Bauteile nach Abb. 11, Seite 10

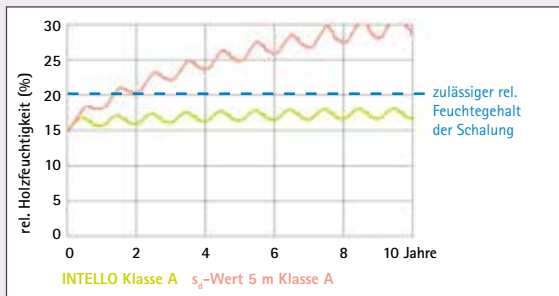
### 26. Gebrauchstauglichkeit von Steildachkonstruktionen (40°/400 mm Mineralwolle 035 / Holzkirchen)



### 27. Gebrauchstauglichkeit Kiesdächer (bis 300 mm Mineralwolle 035 / Holzkirchen)

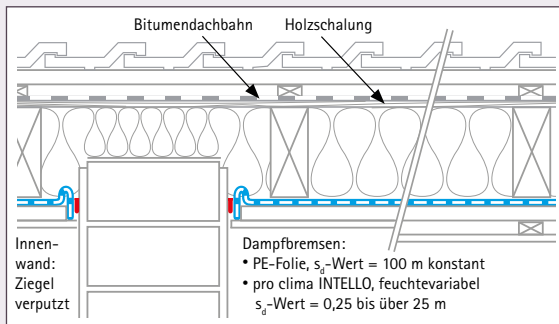


## 28. Gebrauchstauglichkeit Gründächer (200 mm Mineralwolle 035 / Holzkirchen)



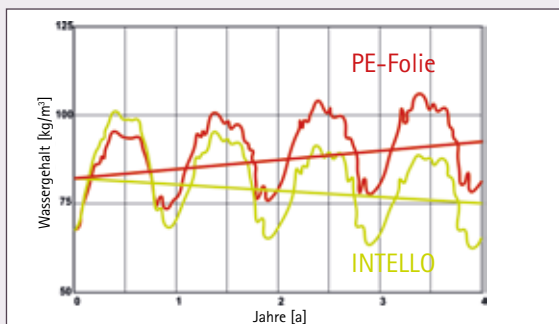
## 2-dimensionale Berechnung der Wärme- und Feuchteströme mit WUFI 2D

### 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 25 m feuchtevariabel

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 Dämmdicken können es erforderlich machen, dass ein Teil der Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion angeordnet und feuchtetechnisch von der Dämmung zwischen der Tragkonstruktion getrennt werden muss. Sind höhere Dämmdicken geplant, sprechen Sie bitte die technische Hotline von pro clima an.

### 3.3.4 Gebrauchstauglichkeit von Gründachkonstruktionen

Gründachkonstruktionen können mit INTELLO und INTELLO PLUS für das Klima in Holzkirchen bei einer Dämmdicke von 200 mm Mineralwolle WLG 035 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)

### 3.3.5 Schlussfolgerungen Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit von außen diffusionsdichten Steildächern (40° Dachneigung), bekieseten oder begrünten Flachdachkonstruktionen wurde für den Standort Holzkirchen bis zu den in den Berechnungen angegebenen Dämmschichtdicken mit Mineralwolle WLG 035 und 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 Innenwand 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 Dampfbremse- 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 von 30 kg/m<sup>3</sup>. Der faserförmige Wärmedämmstoff ist trocken eingebaut. Die rel. Holzfeuchtigkeit der Dachschalung liegt bei 15 %. Als Dampfbremse- 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 [8] 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 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 ein hohes Bauschadensfreiheitspotenzial.

### 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 Bauschadensfreiheitspotenzial sollten Flankendiffusionsvorgänge konstruktiv vermieden werden.

### 3.4.3 Wandkonstruktionen

Wandkonstruktionen haben durch ihre senkrechte Ausrichtung eine geringere Sonnenlichtabsorption 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 zu Flach- und Gründächern keine hohen Anforderungen an die Wasserdichtigkeit 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

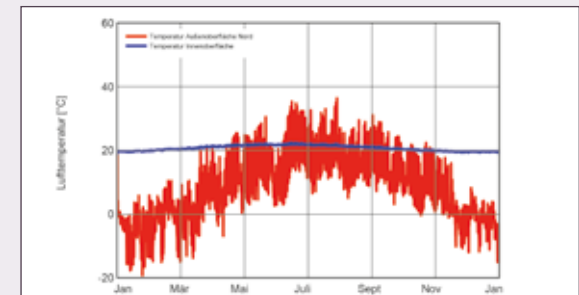
entstehen bei normal hellen Putzfassaden (siehe Abb. 31 bis 34).

Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet auch bei Wandkonstruktionen ein erhebliches Bauschadensfreiheitspotenzial. Berechnungen mit Wufi pro [10] mit dem Klima von Holzkirchen zeigen für eine nach Norden ausgerichtete Außenwand mit diffundiondichter Außenbekleidung in heller Farbe bei Verwendung von INTELLO und INTELLO PLUS immer noch ein ausreichendes Sicherheitspotenzial. Damit sind INTELLO und INTELLO PLUS auch bei Holzwerkstoffplatten wie OSB- oder Spanplatten auf der Außenseite die ideale Lösung für ein hohes Bauschadensfreiheitspotenzial. Die Gefahr von Schimmelbildung wird deutlich verringert. Auch in kälteren Klimaregionen, bis hin zu Hochgebirgsstandorten wie Davos, sind Wandkonstruktionen mit außenseitig der Dämmung befindlichen Bauteilschichten mit einem  $s_d$ -Wert von bis zu 3 m mit der Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO sicher.

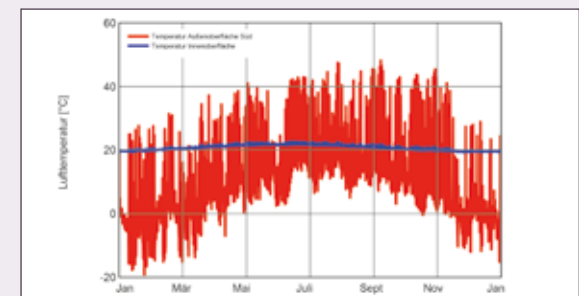
## Temperaturverläufe Holzkirchen und Davos Wand, Putzfassade hell

### Holzkirchen:

#### 31. Wandtemperatur Nordseite

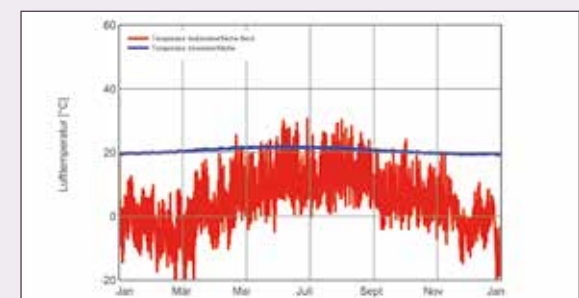


#### 32. Wandtemperatur Südseite

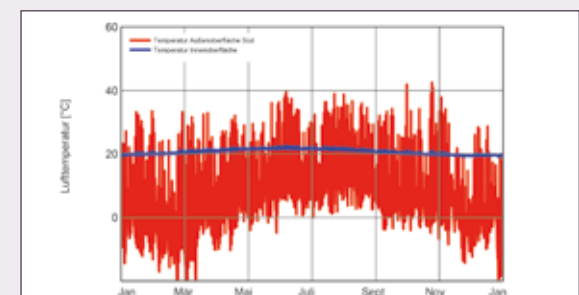


### Davos:

#### 33. Wandtemperatur Nordseite



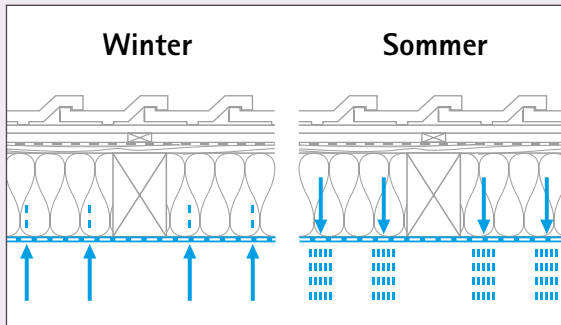
#### 34. Wandtemperatur Südseite



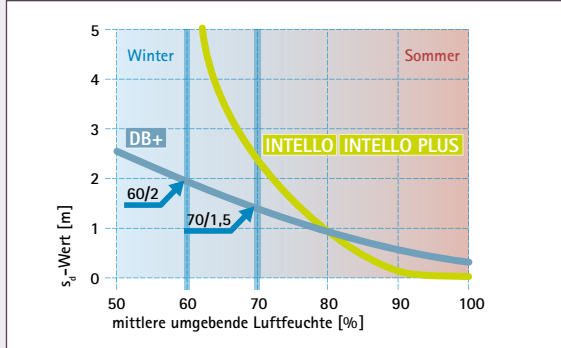
# Konstruktionsempfehlungen

## 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 Bauschadensfreiheitspotenzial der Wärmedämmkonstruktion.

## 4.1 Konstruktionen

Die bauphysikalischen Untersuchungen mit realen Klimadaten zeigen das enorm große Bauschadensfreiheitspotenzial für die Konstruktionen bei Verwendung der Hochleistungs-Dampfbremse pro clima INTELLO und INTELLO PLUS mit dem besonders großen, in allen Klimabereichen wirksamen feuchtevariablen Diffusionswiderstand und der seit fast 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 gegen Bauschäden. Die Verschattung von Konstruktionen z. B. durch Bäume, Gebäudesprünge bzw. Nachbargebäude, PV-Anlagen oder die Topografie muss gesondert berücksichtigt werden – sie kann abhängig von der Schichtenfolge eine Zusatzdämmung oberhalb der Tragkonstruktion erfordern. Bitte wenden Sie sich in diesem Fall an 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 Bauschadensfreiheitspotenzial. Vorteilhaft sind diffusionsoffene Materialien, z. B. Profilbrettschalungen, Holzwoleleichtbauplatten 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 Wohn- und Neubaubedingte Feuchtigkeit – Die 60/2-Regel

Durch Einhalten der 60/2-Regel werden Wärmedämmkonstruktionen in Neubauten, welche prinzipbedingt über eine erhöhte Raumlufffeuchtigkeit verfügen, wirksam geschützt. pro clima INTELLO / INTELLO PLUS und DB+ erfüllen diese Anforderung und fördern dadurch das hohe Bauschadensfreiheitspotenzial 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 INTELLO / INTELLO PLUS und DB+ bieten durch die Einhaltung der 60/2-Regel – bei 70 % Raumlufffeuchtigkeit 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 Feuchteintrag aus der Raumluff und dadurch bedingte Schimmelbildung geschützt (siehe Abb. 35).

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

pro clima INTELLO / INTELLO PLUS und DB+ erfüllen die 70/1,5-Regel und bieten für das Bauteil in der Bauphase gegen die Feuchtebelastungen hohen Schutz. Die  $s_d$ -Werte sollten auch bei dieser erhöhten Feuchtebelastung oberhalb von 1,5 m liegen. INTELLO/INTELLO PLUS hat bei 70 % mittlerer rel. Luftfeuchtigkeit (90 % Raumlufffeuchtigkeit und 50 % Luftfeuchtigkeit in der Dämmung) einen  $s_d$ -Wert von ca. 1,8 m (siehe Abb. 35). Dadurch verfügen Konstruktionen mit den feuchtevariablen Dampfbremsbahnen auch während der Bauphase über einen guten Schutz vor Schimmelbildung. Übermäßige Luftfeuchtigkeit während der Bauphase über einen zu langen Zeitraum kann grundsätzlich zu Aufweichungen in der Konstruktion führen. Feuchtigkeit



muss daher zügig und konsequent durch stetiges Dauerlüften abgeführt werden. Bautrockner helfen die Feuchtelast zu verringern. Dauerhaft hohe relative Luftfeuchtigkeiten in der Bauphase werden dadurch vermieden.

## 4.7 Unterdach/Unterdeckung

Optimal ist die Wahl diffusionsoffener Werkstoffe für die Unterdeckung (z.B. Holzfaserverankerplatten 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. Vollholzschalungen bieten höhere Sicherheiten als Holzwerkstoffplatten (z. B. OSB), da Holz über einen feuchtevariablen Diffusionswiderstand verfügt und kapillar leitend ist. INTELLO / INTELLO PLUS bietet durch die große Feuchtevariabilität ein sehr hohes Sicherheitspotenzial, auch bei Dachschalungen aus dampfbremsenden Holzwerkstoffen.

## 4.8 Steildachkonstruktionen

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

## 4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen

Flach- und Gründächer haben außenseitig immer eine diffusionsdichte Außenhaut, welche als Abdichtung dient. Sie können in der Regel nicht wirksam hinterlüftet werden, da aufgrund der fehlenden Dachneigung kein thermischer Auftrieb (Kamineffekt) 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-Dampfbremsen INTELLO / INTELLO PLUS der Konstruktion durch den feuchtevariablen Diffusionswiderstand 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 / INTELLO PLUS 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 Auffeuchtung kommt. Sollen Flach- und Gründächer über höchste Sicherheit verfügen, sollte INTELLO / INTELLO PLUS als Dampfbremse verwendet werden. Bei abweichenden Randbedingungen kann es ggf. erforderlich sein, eine Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion anzuordnen. Die beiden Dämmebenen müssen dann feuchtetechnisch voneinander getrennt werden. Bitte wenden Sie sich in diesem Fall an die technische Hotline von pro clima.

## 4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge

Außen diffusionsdichte Steildachkonstruktionen können bis in 1.600 m Höhe mit INTELLO / INTELLO PLUS sicher geplant und ausgeführt werden und haben ein hohes Bauschadensfreiheitspotenzial. Bauvorhaben, die über 1.600 m über NN liegen, sind selten, kommen aber auch vor, z. B. in Skigebieten. Auch für Höhenlagen oberhalb von 1.200 m stehen Klimadaten für feuchtetechnische Bemessungen zur Verfügung. Bitte kontaktieren Sie in diesem Fall die technische Hotline von pro clima.

## Einsatzbereiche DB+ und INTELLO / INTELLO PLUS

Die Empfehlungen gelten für unverschattete Konstruktionen mit Mineralwolle WLK 035 und Fichtenholzschalungen bis 5 m Gebäudehöhe. Innenbekleidungen dürfen nicht dampfbremsend sein. Bei abweichenden Materialien, Konstruktionen oder Höhenlagen wenden Sie sich bitte an die technische Hotline von pro clima.

### 36. Steildächer (bis 50°)

Konstruktionen	INTELLO	DB+
außen diffusionsdicht bis 400 mm Mineralwolle WLK 035 ohne Hinterlüftung (geprüfte Luftdichtheit $q_{s0} \leq 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ )	bis 1.600 m ü. NN	Bis 700 m ü. NN
außen diffusionsoffen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

### 37. Kiesdächer und Gründächer

Konstruktionen	INTELLO	DB+
Flachdach mit max. 5 cm Kiesbelag ohne Hinterlüftung (geprüfte Luftdichtheit $q_{s0} \leq 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ )	bis 1.600 m ü. NN, bis 300 mm Mineralwolle WLK 035	bis 700 m ü. NN, bis 200 mm Mineralwolle WLK 035
Flachdach mit max. 10 cm Gründachsubstrat ohne Hinterlüftung (geprüfte Luftdichtheit $q_{s0} \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ )	bis 700 m ü. NN, bis 200 mm Mineralwolle WLK 035	Bitte technische Hotline kontaktieren

Bei abweichenden Randbedingungen (z. B. Höhenlage, Gebäudedichtheit) oder andere Materialkombinationen als angegeben, wenden Sie sich bitte an die technische Hotline von pro clima.

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

## Einsatzbereiche DB+ und INTELLO / INTESANA

### 38. Wände – helle Oberfläche (a=0,4)

Konstruktionen	INTELLO	DB+
Bauteilschichten außen (geprüfte Luftdichtheit $q_{50} \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ )	unbegrenzter $s_d$ -Wert, bis 700 m ü. NN, bis 300 mm Mineralwolle WLG 035	$s_d$ -Wert max. 2 m, bis 400 m ü. NN, bis 140 mm Mineralwolle
Bauteilschichten außen (geprüfte Luftdichtheit ( $q_{50} \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ))	$s_d$ -Wert max. 2 m, bis 1.600 m ü. NN, bis 300 mm Mineralwolle WLG 035	-
bei außen diffusions-offenen Konstruktionen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

#### Hinweis

Bei der bauphysikalischen Bewertung von Wänden spielt die Farbe der äußeren Schichten eine entscheidende Rolle. Bitte wenden Sie sich zur Abstimmung an die technische Hotline von pro clima.

## Verlegeschritte



1. Verlegen / Befestigen



2. Verkleben untereinander



3. Anschluss an Giebel



4. Anschluss an Fenster



5. Anschluss Durchdringung

## 4.11 Wände

Durch die geringere Sonneneinstrahlung haben Wandkonstruktionen ein geringeres Rückdiffusionspotenzial und dadurch bedingt niedrigere Sicherheitsreserven. Dunkle Oberflächen bieten Vorteile bzgl. der Rücktrocknung. Für Wände mit hellen Oberflächen (z. B. heller Putz a=0,4), gelten außenseitig der Dämmung maximale Diffusionswiderstände entsprechend **Abb. 38**.

### 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 und INTELLO PLUS ist daher TESCON VANA besonders empfehlenswert, für DB+ das Klebeband UNI TAPE. Für Anschlüsse an Fenster, Türen und Eckverklebungen ist das vorgefaltete Eck-Klebeband TESCON PROTECT mit hoher Durchstoßsicherheit bestens geeignet. Mit dem Anschlusskleber ORCON F und dem Anschlusskleber von der Rolle

ORCON LINE (für INTELLO / INTELLO PLUS) 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 Bauschadensfreiheitspotenzial wie INTELLO. Innenseitig sollte eine quer laufende Lattung im Abstand von max. 50 cm das Gewicht des Dämmstoffs abtragen. Weitere Einzelheiten der Verlegung sind in den Planungsunterlagen zu finden.

### 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, innerhalb und raumseitig der Tragebene 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) feuchtetechnisch 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 verbaut werden.

Der Anschluss an angrenzende Bauteile muss bei den Bahnen mit einer Dehnschleife 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 Klammern gegen Aus- 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 Tauwasseranfall.

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 Kondensat ausfall im Anschlussbereich zu verhindern, mit ORCON F bzw. ORCON LINE 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 pro clima DB+ besteht das Papier zu 50 % aus Recycling- und zu 50 % aus Frischzellulose. Sie wird wegen des Glasseidengeleges thermisch verwertet.

## 6. Fazit

*Konstruktionen mit DB+ und INTELLO bzw. INTELLO PLUS 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 Bauschadensfreiheitspotenzial. Die Hochleistungs-Dampfbremsen INTELLO und INTELLO PLUS 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 Flachdächer, Gründächer, Metall-eindeckungen sowie Dächer mit diffusionsdichten Vordeckungen gemäß den Vorgaben. Die Leistungsfähigkeit von INTELLO und INTELLO PLUS zeigt sich auch bei extremen Klimabedingungen, wie z. B. im Hochgebirge. Die bewährte pro clima DB+ bietet bis zu mittleren Höhenlagen (z. B. in Holzkir-*

*chen) hohe Sicherheiten für Steildachkonstruktionen. Entsprechend den Voraussetzungen der DIN 68800-2 [15], kann mit feuchtevariablen Dampfbremsen auf chemischen Holzschutz verzichtet werden. Zusätzliche Sicherheit bietet pro clima mit einer leistungsstarken, transparenten und fairen Systemgewährleistung. Mit INTELLO, INTELLO PLUS 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 ohne dass ein Bauschaden entsteht.«*

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

Sie erreichen die Technik-Hotline von pro clima unter:

**Technik Deutschland:** Tel: 0 62 02 - 27 82.45 · Fax: 0 62 02 - 27 82.51 · eMail: [technik@proclima.de](mailto:technik@proclima.de)

**Technik Schweiz:** Tel: 052 - 543 05 50 · Fax: 052 301 54 57 · eMail: [technik@proclima.ch](mailto:technik@proclima.ch)

Mehr Informationen finden Sie in unserer aktuellen Broschüre:

»Sanierungs-Studie«

