

# Studie

**Berechnung des  
Bauschadensfreiheitspotentials  
von Wärmedämmkonstruktionen  
in Holzbau- und Stahlbauweise**

**- Dach, Wand, Decke -**

**Feuchtevariable Dampfbremsen  
pro clima DB+ und INTELLO®  
mit intelligentem Feuchtmanagement**

Computergestützte Simulationsberechnung  
des gekoppelten Wärme- und Feuchttrans-  
ports von Dach- und Wandkonstruktionen  
unter Berücksichtigung der natürlichen  
Klimabedingungen und innerbaustofflichen  
Flüssigkeitstransporten





<b>1. Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen: Eine Frage der Trocknungsreserven</b>	<b>4</b>
1.1 Übersicht und Einleitung	4
1.2 Kondensation - Taupunkt - Tauwassermenge	4
1.3 Feuchtebelastungen der Konstruktion	5
1.3.1 Feuchtebelastung durch Diffusion	5
1.3.2 Feuchtebelastung durch Konvektion	5
1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtigkeit - Flankendiffusion	6
1.3.4 Hohe Einbaufeuchte von Baustoffen	6
1.3.5 Zusammenfassung der Feuchtebelastungen	6
<b>2. "Intelligente" Dampfbremsen</b>	<b>8</b>
2.1 Austrocknung der Konstruktion nach innen	8
2.2 Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes	8
2.2.1 Hoher Diffusionswiderstand im Winter	9
2.2.2 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer	9
2.2.3 Ausgewogenes Diffusionsprofil	9
2.2.3.1 Neubau: Die 60/2 Regel	9
2.2.3.2 Bauphase: Die 70/1,5 Regel	9
2.2.4 Höchstes Sicherheitspotential	9
<b>3. Ermittlung des Bauschadensfreiheitspotentials einer Dachkonstruktion</b>	<b>10</b>
3.1 Berechnung der Feuchteströme mit unterschiedlichen Verfahren	10
3.1.1 Berechnung nach Glaser - DIN 4108-3	10
3.1.2 Berechnung der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte bei natürlichen Klimabedingungen	10
3.2 Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials für Konstruktionen	11
3.2.1 Definition des Bauschadensfreiheitspotentials	11
3.2.2 Einflußfaktoren auf die Höhe des Bauschadensfreiheitspotentials	11
3.2.3 Dachkonstruktionen	11
3.2.4 Klimadaten Standort Holzkirchen	11
3.2.5 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Holzkirchen, Nordseite, 40° Dachneigung	12
3.2.6 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach	12
3.2.7 Klimadaten Standort Davos	13
3.2.8 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Davos, Nordseite, 40° Dachneigung	13
3.2.9 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach	13
3.2.10 Schlussfolgerungen für Dachkonstruktionen	13
3.2.11 Flankendiffusion	14
3.2.12 Ergebnisse der 2-dimensionalen Simulationsberechnung der Wärme- und Feuchteströme	14
3.2.13 Schlussfolgerung bei Flankendiffusion	14
3.2.14 Wandkonstruktionen	15
<b>4. Konstruktionsempfehlungen</b>	<b>16</b>
4.1 Konstruktionen	16
4.2 Innenseitige Bekleidung	16
4.3 Permanent feuchte Räume	16
4.4 Wohnbedingte Neubaufeuchtigkeit - Die 60/2 Regel	16
4.5 Feuchträume in Wohnungen	16
4.6 Erhöhte Feuchtigkeit in der Bauphase - Die 70/1,5 Regel	16
4.7 Unterdach	17
4.8 Steildachkonstruktionen	17
4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen	17
4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge	17
4.11 Wände	17
<b>5. Verlegung und Verarbeitung von INTELLO®, INTELLO® PLUS und DB+</b>	<b>18</b>
5.1 Für platten- und mattenförmige Dämmstoffe	18
5.2 Verlegerichtung	18
5.3 Empfohlene pro clima Systemkomponenten für die Verklebung	18
5.4 Faserige Einblasdämmstoffe	18
5.5 Bei Schaumdämmstoffen	18
5.6 Dimensionsstabilität	18
5.7 Mechanische Festigkeiten	18
5.8 Zeitpunkt der Verlegung	19
5.9 Transuzente Struktur	19
5.10 Recycling und Ökologie	19
<b>6. Fazit</b>	<b>19</b>
<b>Literatur</b>	<b>20</b>

# 1. Bauschadensfreiheit von Wärmedämmungen in Holzbaukonstruktionen: Eine Frage der Trocknungsreserven und des intelligenten Feuchtemanagements

## Feuchtephysik der Luft

Beim Abkühlen der Luft erhöht sich die Luftfeuchtigkeit.

Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur fällt Tauwasser aus.

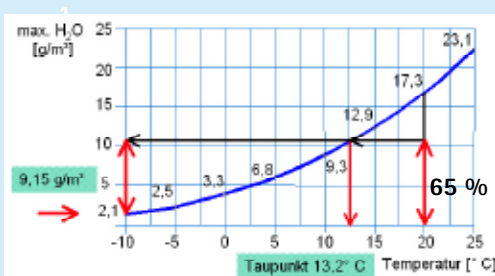
Bei höherer Raumluftfeuchtigkeit erhöht sich die Taupunkttemperatur → es fällt früher Tauwasser aus.

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



Unter Normklimabedingungen (20° C / 50 % rel. Luftfeuchte) wird der Taupunkt bei 9,2° C erreicht.  
Bei -10° 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 -10°C fällt Kondensat von 9,15 g/m<sup>3</sup> Luft aus.

## 1.1 Übersicht und Einleitung

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

Bauschäden entstehen, wenn die Feuchtigkeitsbelastung auf eine Konstruktion höher ist als das Trocknungsvermögen der Konstruktion. 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 aber bauwerksbedingt nicht völlig auszuschließen sind. Um Bauschäden und Schimmel auszuschließen, sollte man sich daher neben der Feuchtebelastung vor allem auf das Trocknungsvermögen einer Konstruktion konzentrieren. Konstruktionen mit einem hohen Trocknungsvermögen bei gleichzeitig reduzierter Feuchtebelastung, wie sie Dampfbremsen mit variablem  $s_d$ -Wert bieten, haben auch bei unvorhergesehenen Feuchtebelastungen eine hohe Sicherheit gegen Bauschäden.

## 1.2 Kondensation – Taupunkt – Tauwassermenge

Die Wärmedämmung in Holzbau- und Stahlbauweise trennt die warme Innenluft mit ihrem hohen Feuchtegehalt von der kalten Außenluft mit geringer absoluter Feuchtigkeit. Dringt warme Innenraumluft in ein Bauteil ein, kühlt sie sich bei winterlichem Außenklima auf ihrem Weg durch die Konstruktion ab. Es kann Wasser kondensieren. 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 Bauteile, deren äquivalente Luftschichtdicke ( $s_d$ -Wert) niedriger als 0,20 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 Membrane, z.B. SOLITEX UD und SOLITEX PLUS bieten hier Vorteile, da die Diffusion nicht passiv durch Poren, sondern aktiv entlang der Molekülketten erfolgt. Der Diffusionswiderstand von SOLITEX reduziert er sich unter 0,02 m. Die Bahn ermöglicht dann einen extrem schnellen und aktiven Feuchtettransport 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 auf der Unterspannbahn bzw. dem Unterdach kommen. Wasser und Eis sind für Wasserdampf undurchlässig und können eine Unterspannbahn dann zu einer Dampfsperre auf der Außenseite werden lassen. Konstruktionen, die außen eine diffusionshemmende oder diffusionsdichte Schicht haben, sind bauphysikalisch kritischer als nach außen diffusionsoffener werdende Bauteilschichten.

Zu den diffusionsdichten Konstruktionen gehören z.B. Steildächer mit diffusionshemmender Vordeckung, z.B. Bitumbahnen, Dächer mit Blecheindeckungen, Flachdächer und Gründächer. 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 im Holzbau, 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 schleichen- den Aufwechtung 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

#### 1.3.1 Feuchtebelastung durch Diffusion

Je weniger Feuchtigkeit in eine Konstruktion eindringen kann, um

so geringer ist die Gefahr eines Bauschadens – so dachte man früher. Das heißt, die Verwendung von sehr dichten Dampfsperren 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.

Des Weiteren zeigen Untersuchungen an Außenwänden in Nordamerika aus dem Jahre 1999 [1], dass der Feuchtigkeitseintrag durch eine Dampfsperre infolge Konvektion selbst bei fachmännischer Verlegung eine Tauwassermenge von ca. 250 g/m<sup>2</sup> pro Tauperiode beträgt. Das entspricht einer Kondensatmenge, welche durch eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 3,3 m während eines Winters diffundiert [2].

#### 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.

#### 1.3.2 Feuchtebelastung durch Konvektion

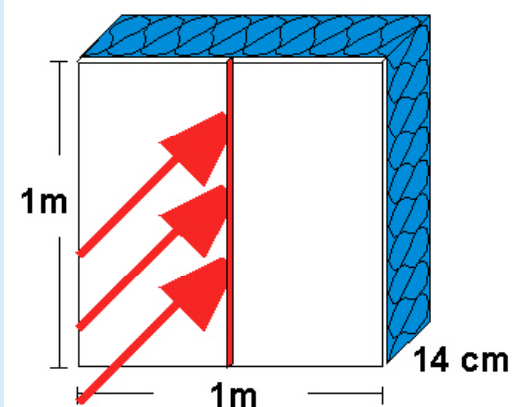
Durch Konvektion, also Luftströmung, werden wesentlich größere Feuchtemengen in die Konstruktion transportiert als durch Diffusion.

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 Feuchteeintrag über Konvektion schnell einen Bauschaden zur Folge. Konvektive Feuchtemengen können wegen ihrer hohen Feuchtelast aber auch für diffusionsoffene Baueile auf der Außenseite gefährlich werden, v.a., wenn bereits Wasser ausgefallen ist.

## Feuchteintrag in die Konstruktion durch Undichtheiten in der Dampfbremse

### 3. 1 mm Fuge = 800 g/24h pro m Fugenlänge



Feuchtetransport

durch Dampfbremse: 0,5 g/m<sup>2</sup> x 24h

durch 1 mm Fuge: 800 g/m x 24h

**Erhöhung Faktor: 1.600**

Randbedingungen:

Dampfbremse  $s_d$ -Wert = 30 m

Innentemperatur = +20° C

Außentemperatur = -10° C

Druckdifferenz = 20 Pa

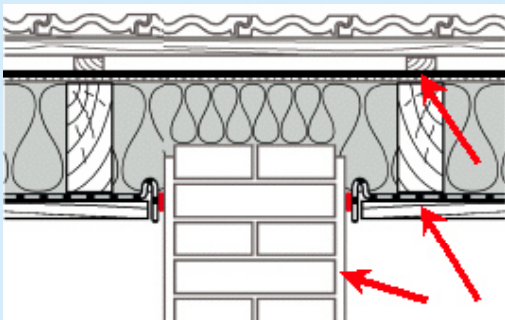
entsprechend

Windstärke 2-3

Messung: Institut für Bauphysik, Stuttgart [3]

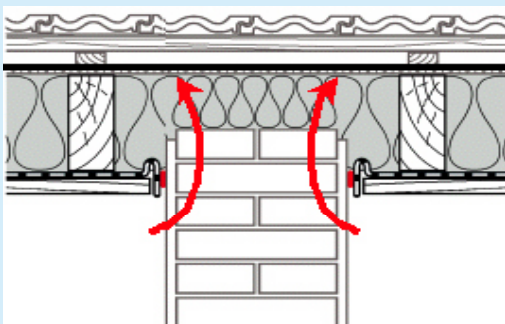
## Flankendiffusion

### 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

### 1.3.3 Konstruktiv bedingte Feuchtigkeit – Flankendiffusion

Es sind in der Praxis Bauschäden aufgetreten, die sich mit alleinigen Diffusions- und Konvektionsvorgängen nicht erklären ließen. Ruhe [4] und Klopfer [5], [6] haben 1995 bzw. 1997 bei einem Bauschaden auf das Problem der Flankendiffusion hingewiesen.

#### Die Konstruktion:

Dach, außenseitig Holzschalung und Bitumendachbahn, innenseitig Kunststoffolie aus Polyethylen (PE) dazwischen Mineralwolle. 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. Darunter versteht man, dass Feuchtigkeit über die Flanke des seitlichen Luftdichtungsanschlusses, hier ein porisiertes Ziegelmauerwerk, ins Dach eindringt. Der Feuchtstrom umgeht quasi die Dampfbremse. (siehe Abb. 4 und 5) Unter Bauphysikern wurde der Sachverhalt zu Beginn kontrovers diskutiert bis Künzel [7] 1997 die Flankendiffusion mit Hilfe von Berechnungen des zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransports mit WUFI 2D 2.1 [8] 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 8/18 und einem Sparrenabstand  $e = 0,70$  m hat pro  $m^2$  Dachfläche 1,5 lfm Sparren.

Bei 10 % Feuchtigkeit enthält dieser Sparrenanteil ca. 1,1 l Wasser.

#### Das bedeutet:

Wenn die Holzfeuchte zu Beginn 30 % beträgt, muss, damit die schimmelkritische Feuchtigkeit von 20 % unterschritten wird, 1,1 l Wasser/ $m^2$  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  $m^2$ .

Bei 30 % rel. Anfangsfeuchtigkeit, nach einem Regentag keine Seltenheit, muss zur Unterschreitung der Schimmeltgrenze 1,2 l Wasser pro  $m^2$  Dachfläche austrocknen.

Für Holzschalung und Sparren zusammen sind das ca. 2,3 l pro  $m^2$  Dachfläche.

Die Gesamtmenge an Feuchtigkeit wird häufig unterschätzt.

Beim Massivbau kann durch die Neubaufeuchtigkeit eine zusätzliche 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 eine 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, um so 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.

Was uns wichtig ist,  
müssen wir  
**schützen**

pro clima DB+  
die ökologische Lösung  
der Luftdichtung



DB+ Dampfbremse und Luftdichtung

## DB+ Baupappe

Die sympathische Lösung



MOLL  
bauökologische Produkte GmbH  
Rheintalstr. 35-43  
68723 Schwetzingen  
www.proclima.de

## 2. „Intelligente“ Dampfbremsen

### Feuchtesituation in der Konstruktion

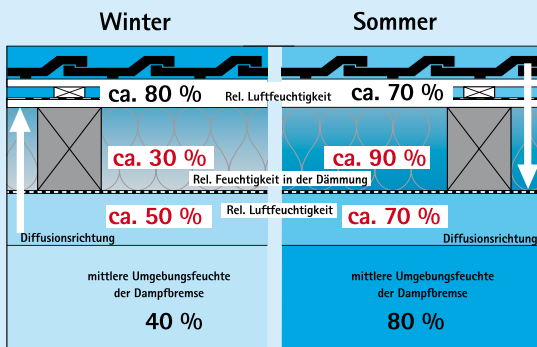
Der Diffusionsstrom geht immer von der warmen zur kalten Seite:

Im Winter:  
erhöhte Feuchtigkeit auf der Außenseite

Im Sommer:  
erhöhte Feuchtigkeit auf der Innenseite

### 6. Die Dampfbremse befindet sich

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



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

### 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 Unterdach	nach innen Richtung Dampfbremse
DB+	28	175
INTELLO®	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 – die Feuchtigkeit aus dem Bauteil strömt nach innen. Dies erfolgt bereits bei sonnigen Tagen im Frühjahr und im Herbst, sowie verstärkt in den Sommermonaten.

Wäre eine Dampfbremse- und Luftdichtungsebene diffusionsoffen, kann die eventuell in der Konstruktion befindliche Feuchtigkeit nach innen austrocknen. Eine diffusionsoffene Dampfbremse würde aber im Winter zuviel 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 erhöhter Baustofffeuchtigkeit, ist eine Rücktrocknung im Sommer nach innen nicht möglich. Dann wird die Dampfsperre schnell zur Feuchtefalle.

Ideal ist 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 sie umgebenden relativen Luftfeuchtigkeit. So sind sie im winterlichen Klima diffusionsdichter 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, nach außen.

### 2.2 Wirkungsweise des feuchtevariablen Diffusionswiderstandes

Die Richtung des Diffusionsstroms wird durch das Gefälle des Wasserdampfteildrucks bestimmt. Dieser ist abhängig von der Temperatur und dem Feuchtegehalt der Luft 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 bewegt sich zwischen 0,6 und 4 m.

Im Jahr 2004 hat die Firma MOLL bauökologische Produkte GmbH die Hochleistungsdampfbremse pro clima INTELLO® entwickelt. INTELLO® hat den weltweit größten 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 Dampfbremse INTELLO® wurde so eingestellt, dass die Bahn im winterlichen Klima einen  $s_d$ -Wert von mehr als 10 m haben 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.

Dies gilt auch bei extremen Klimabedingungen wie im Hochgebirge, bei kalten und langen Wintern. Aber auch bei Flach- und Gründächern, Dächern mit diffusionsdichten Vordeckbahnen (z.B. Bitumenbahnen) und Dächern mit Blecheindeckungen wird die Konstruktion vor Feuchtigkeit wirksam geschützt. Der hohe  $s_d$ -Wert ist auch bei außen diffusionsoffenen Dächern von Vorteil, wenn es um eine Reif- und Eisbildung (= Diffusionssperre) an einer diffusionsoffenen Unterspannbahn geht. (siehe Abb. 9)

### 2.2.2 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer

Der Diffusionswiderstand im sommerlichen Klima kann auf einen  $s_d$ -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.

### 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 eine wichtige Bedeutung zu.

### 2.2.3.1 Neubauten: Die 60/2 Regel

In Neubauten herrscht bau- und wohnbedingt eine erhöhte Raumluftfeuchtigkeit. Der Diffusionswiderstand einer Dampfbremse sollte so eingestellt sein, dass auch bei 60 % mittlerer relativer Luftfeuchtigkeit ein  $s_d$ -Wert von mindestens 2 m erreicht wird, um die Konstruktion ausreichend vor Feuchteintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung zu schützen. INTELLO® hat bei 60 % rel. LF einen  $s_d$ -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 verlegt wurde, herrscht im Gebäude eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit. Der  $s_d$ -Wert einer Dampfbremse sollte bei 70 % mittlerer rel. LF mehr als 1,5 m betragen, um die Konstruktion vor einem zu hohen Feuchteintrag aus dem Baustellenklima und vor Schimmelbildung zu schützen. Besonders bei Holzwerkstoffplatten auf der Außenseite der Konstruktion ist ein hoher Feuchte-schutz erforderlich. INTELLO® hat bei 70 % rel. LF einen  $s_d$  Wert von 2 m. Übermäßige Luftfeuchtigkeit in der Bauphase über einen zu langen Zeitraum kann grundsätzlich zu Aufweichungen in der Konstruktion führen. Baubedingte Feuchtigkeit sollte deshalb zügig durch Fensterlüftung entweichen können. Bautrockner beschleunigen die Trocknung. (siehe Abb. 10)

### 2.2.4 Höchste Sicherheit

Das „intelligente“ Verhalten der feuchtevariablen Dampfbremsen von pro clima macht Wärmedämmkonstruktionen 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.

## Diffusionsverläufe von Dampfbremsen

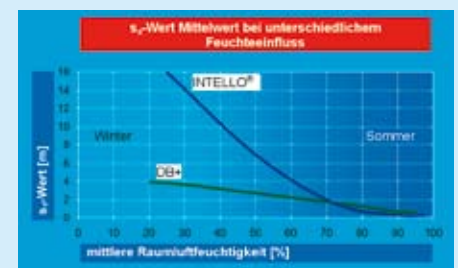
Je größer die Variabilität des Diffusionswiderstandes zwischen Winter und Sommer ist, um so mehr Sicherheit bietet die Dampfbremse.

### 8. Diffusionsverlauf einer PE-Folie Keine Feuchtevariabilität



Konstanter  $s_d$ -Wert PE-Folie

### 9. Diffusionsverlauf pro clima Dampfbremsbahnen



DB+: mittlere Feuchtevariabilität  
INTELLO®: hohe Feuchtevariabilität

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

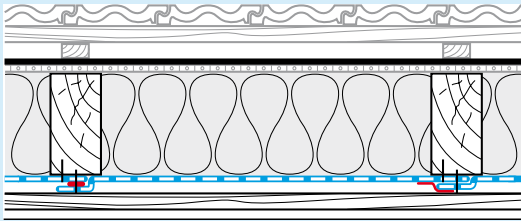


Empfohlene Mindest- $s_d$ -Werte während der Bauphase und bei Neubaufuchte

### 3. Ermittlung des Sicherheitspotentials einer Dachkonstruktion

## Bauphysikalische Beurteilung von Dachkonstruktionen

### 11. Aufbau der Dachkonstruktion



Bauteilschichten:

- außenseitig diffusionsdicht (Bitumendachbahn  $s_{p}$ -Wert = 300 m)
- Vollholzschalung 24 mm
- Faserige Dämmung
- Dampfbremsen mit unterschiedlichen  $s_{p}$ -Werten
- Installationsebene
- Gipsbauplatten

betrachtete Dachvarianten:

- Steildach mit 40 ° Neigung zur Nordseite, Eindeckung rote Dachsteine
- Flachdach mit 5 cm Kiesschicht
- Gründach mit 5 cm Kiesschicht (18/32) und 8 cm Pflanzensubstrat mit extensiver Begrünung

### 3.1 Berechnung der Feuchtströme mit unterschiedlichen Verfahren

Trocknungsreserven ergeben sich nicht nur aus Diffusionsvorgängen, sondern auch aus Sorptions- und Kapillarleitungsvorgängen innerhalb der Bauteilschichten.

#### 3.1.1 Berechnung nach Glaser EN ISO 13 788

In der DIN 4108-3 [9] und EN ISO 13 788 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 [9]: „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 bei natürlichen Klimabedingungen

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 [9] verweist deshalb darauf, dass dieses Verfahren nicht für begrünte und bekiesete Dachkonstruktionen als Nachweis der Bauschadensfreiheit geeignet ist, sondern instationäre Simulationsverfahren verwendet werden müssen. Bekannte Softwarelösungen sind Delphin 4 vom Institut für Bauklimatik, Dresden und WUFI 4.1 pro [10] vom Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen. Diese Programme berechnen den gekoppelten Wärme- und Feuchtetrans-

port von mehrschichtigen Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen, inkl. der Berücksichtigung von Temperatur und Feuchte, Sonnenlichtabsorption, Wind, Verdunstungskälte, wie auch von Sorption und Kapillarität der Baustoffe. Die Programme wurden mehrfach validiert, d.h. dass die Ergebnisse aus den Rechnungen mit Freilandversuchen verglichen wurden. Für die Berechnung werden die entsprechenden Wetterdaten eines Jahres als Stundenwerte benötigt. Es stehen weltweit Klimadaten zur Verfügung, von Europa, wie auch Nordamerika und Asien sowohl von gemäßigten, als auch von extremen Klimabereichen.

Für die Simulationsberechnungen wird das Bauteil mit seiner Schichtenfolge in das Programm eingegeben und über mehrere Jahre 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

Zur Ermittlung, wie sicher eine Konstruktion bei unvorhergesehenem Feuchteeintrag, z.B. infolge Konvektion, Flankendiffusion oder erhöhter Einbaufeuchtigkeit ist, verwendet man eine zusätzliche Vorgabe: Man befeuchtet die Wärmedämmung zu Beginn der Berechnung und untersucht, wie schnell die Feuchtigkeit austrocknet. Die Trocknungsmenge, die pro Jahr unter der Annahme der erhöhten Anfangsfeuchtigkeit aus der Konstruktion entweichen kann, bezeichnet als das Bauschadensfreiheitspotential der Konstruktion. Die Berechnungen erfolgen unter ungünstigen Bedingungen (z.B. Nordseite eines Steildaches), in unterschiedlichen Klimabereichen (z.B. Hochgebirge), mit unterschiedlichen Dachformen (Steildach, Flachdach, Gründach). Bauphysikalisch günstigere Konstruktionen bieten entsprechend höhere Sicherheiten.

### 3.2.1 Definition des Bauschadensfreiheitspotentials

Als Bauschadensfreiheitspotential bezeichnet man die Menge unvorhergesehener Feuchtigkeit, die pro Jahr in eine Konstruktion eindringen kann und sie bleibt dennoch bauschadens- und schimmelfrei.

### 3.2.2 Dachkonstruktionen

Es werden mehrere als bauphysikalisch kritisch geltende Konstruktionen mit unterschiedlichen Dampfbremsen betrachtet.

Aufbau der Konstruktion:  
(siehe Abb. 11 links)

Dampfbremsen:	$s_d$ -Wert:
• PE-Folie	50 m konstant
• Dampfbremse	2,3 m konstant
• pro clima DB+	0,8 - 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
- Gründach mit 5 cm Kies (18/32) und 8 cm Pflanzensubstrat

Standorte:

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

Berechnung

- mit WUFI 4.1 pro [10]
- Anfangsfeuchtigkeit in der Wärmedämmung 4000 g/m<sup>2</sup>

### 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 bekieseten oder begrünten Flachdach. Bei einem Steildach hängt die Höhe der Dachoberflächentemperatur ab von der Dachneigung, der Ausrichtung des Daches (Norden/Süden) und der Farbe der Dacheindeckung (heller/dunkler).

Ungünstige Faktoren sind:

- Dachneigung nach Norden
- hohe Dachneigung (> 25 °)
- helle Farbe der Dacheindeckung,
- diffusionsdichtes Unterdach
- kaltes Klima, z.B. im Gebirge

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.

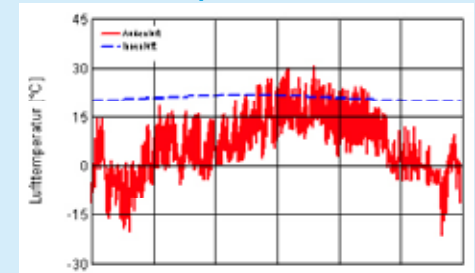
### 3.2.4 Klimadaten Standort Holzkirchen

Holzkirchen liegt zwischen München und Salzburg auf einer Seehöhe von 680 m mit einem rauen, kalten Klima. 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)

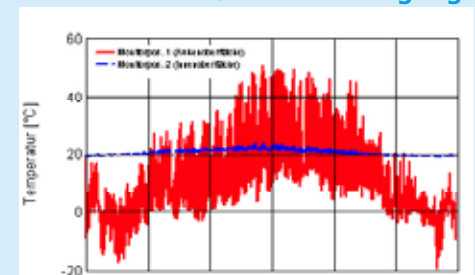
Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Globalstrahlung ergibt sich, verglichen mit der Lufttemperatur eine z.T. wesentlich höhere Dachoberflächentemperatur. Wenn die Außentemperatur (rot) die Innentemperatur (blau) überschreitet, findet bei feuchtevariablen Dampfbremsen eine Austrocknung nach innen statt. 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. Der Berechnungszeitraum beträgt 10 Jahre.

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

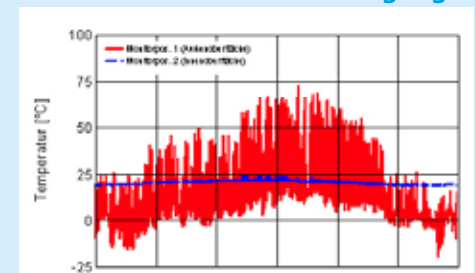
### 12. Lufttemperatur



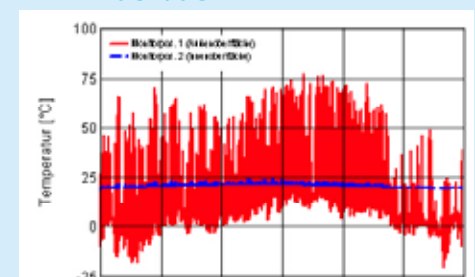
### 13. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



### 14. Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung



### 15. Dachoberflächentemperatur Flachdach

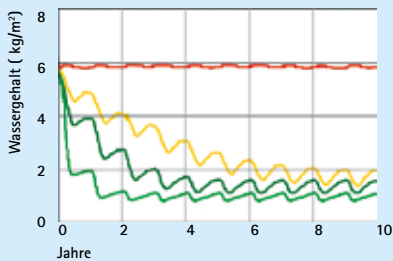


## Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials Standort Holzkirchen, Dach

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>

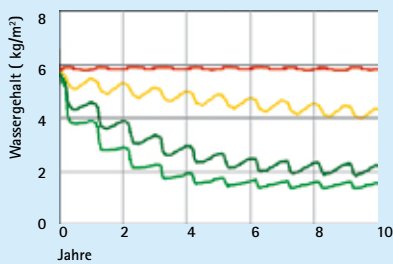
### 16. Bauschadensfreiheitspotential Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung



Bauschadensfreiheitspotential:

- pro clima INTELLO® = 4000 g/m<sup>2</sup> Jahr
- pro clima DB+ = 2100 g/m<sup>2</sup> Jahr
- s<sub>d</sub>-Wert 2,30 m konst. = 500 g/m<sup>2</sup> Jahr
- s<sub>d</sub>-Wert 50 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr

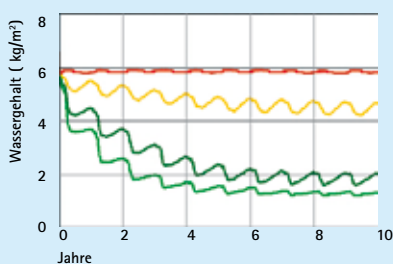
### 17. Bauschadensfreiheitspotential Gründach mit 13 cm Erde/Kies



Bauschadensfreiheitspotential:

- pro clima INTELLO® = 2000 g/m<sup>2</sup> Jahr
- pro clima DB+ = 1000 g/m<sup>2</sup> Jahr
- s<sub>d</sub>-Wert 2,30 m konst. = zu feucht
- s<sub>d</sub>-Wert 50 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr

### 18. Bauschadensfreiheitspotential Flachdach mit 5 cm Kies



Bauschadensfreiheitspotential:

- pro clima INTELLO® = 2100 g/m<sup>2</sup> Jahr
- pro clima DB+ = 1300 g/m<sup>2</sup> Jahr
- s<sub>d</sub>-Wert 2,30 m konst. = zu feucht
- s<sub>d</sub>-Wert 50 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr

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

(siehe Abb. 16)

Die Trocknungsgeschwindigkeit der erhöht angenommenen Anfangsfeuchtigkeit beschreibt das Bauschadensfreiheitspotential der Konstruktion gegenüber unvorhergesehener Feuchtigkeit (Konvektion, Flankendiffusion etc.). Die Berechnung zeigt, dass die PE-Folie keine Austrocknung ermöglicht. Feuchtigkeit, die sich in der Konstruktion befindet, kann nicht mehr entweichen.

Bei einer Dampfbremse mit einem konstanten s<sub>d</sub>-Wert von 2,30 m bestehen nur geringen Trocknungsreserven. Die Konstruktion mit der pro clima DB+ führt zu einer wesentlich schnelleren Austrocknung und weist erhebliche Sicherheitsreserven aus.

Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den WUFI 4.1 pro [10] Berechnungen mit 4.000 g/m<sup>2</sup> Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt.

### 3.2.6 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach

(siehe Abb. 17 und 18)

Beide Konstruktionen weisen geringere Sicherheiten aus als das Steildach, da die dicken Bauteilschichten über der Wärmedämmung langsamer durchwärmt werden. Das Flachdach bietet wegen der dünneren Kiesauflage eine höhere Sicherheit als das Gründach.

Wie beim Steildach besteht bei der PE-Folie keine Austrocknung. Bereits bei geringen unvorhergesehenen Feuchtebelastungen entsteht ein Bauschaden.

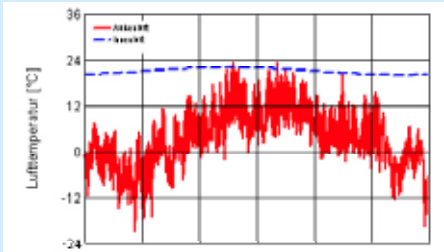
Bei einer Dampfbremse mit konstantem s<sub>d</sub>-Wert von 2,30 m stellt sich ein zu hoher Gesamtfeuchtegehalt in der Konstruktion ein. Auch hier würde ein Bauschaden entstehen.

Die Konstruktion mit der pro clima DB+ führt zu einer Austrocknung und weist

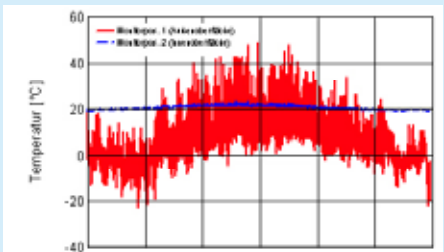
noch Sicherheitsreserven aus. Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den WUFI 4.1 pro [10] Berechnungen mit ca. 2.000 bzw. 2.100 g/m<sup>2</sup> Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt.

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

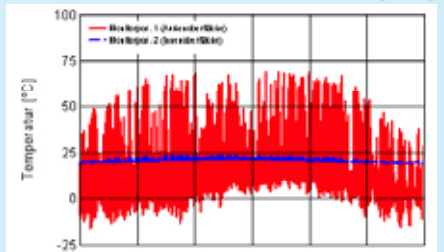
### 19. Lufttemperatur



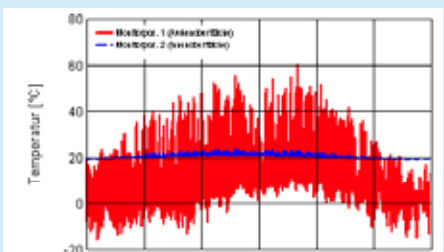
### 20. Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung



### 21. Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung



### 22. Dachoberflächentemperatur Flachdach



### 3.2.7 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. 19 bis 22)

Betrachtet man die Lufttemperatur in Davos, zeigt sich nur an sehr wenigen Tagen im Jahr eine höhere Außen- als Innenraumtemperatur.

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. Nur an wenigen Tagen im Jahr ist eine Rückdiffusion möglich. Bei südgeneigten Dächern werden in Davos fast die gleichen Temperaturen wie in Holzkirchen erreicht.

Die winterlichen Nachttemperaturen sind hochgebirgsspezifisch und liegen wesentlich tiefer.

Für die Berechnung wurde, um die Sonneneinstrahlung zu minimieren, ebenfalls der ungünstigste Fall angenommen, d.h. eine Nordausrichtung des Daches mit 40° Neigung.

### 3.2.8 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Davos, Nordseite, 40° Dachneigung

(siehe Abb. 23)

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 2,30 m stellt sich eine schnelle Aufweitung ein. Auch die pro clima DB+ kann die Konstruktion nicht trocken halten. Nur die Hochleistungsdampfbremse

INTELLO® bietet eine bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion und zusätzlich ein Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den WUFI 4.1 pro [10] Berechnungen mit ca. 1500 g/m<sup>2</sup> Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt.

### 3.2.9 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach

(siehe Abb. 24 und 25)

Beide Konstruktionen weisen geringere Sicherheiten als das Steildach aus, da die dicken Bauteilschichten über der Wärmedämmung langsamer durchwärmt werden. Mit der PE-Folie ist wie in Holzkirchen keine Austrocknung möglich. Bereits bei geringen unvorhergesehenen Feuchtebelastungen entsteht ein Bauschaden.

Bei einer Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 2,30 m kommt es bei beiden Konstruktionen zu einer sehr schnellen Aufweitung. Die Konstruktion mit der pro clima DB+ führt beim Flachdach zu einer zu hohen Feuchtigkeit.

Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® bietet für das Flachdach mit 5 cm Kies noch eine Lösung mit hohem Sicherheitspotential. Für das Gründach reicht die Außentemperatur in Davos für eine Rücktrocknung nicht mehr aus.

### 3.2.10 Schlussfolgerungen für Dachkonstruktionen

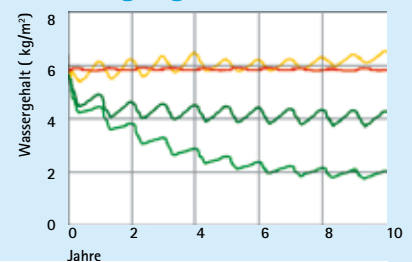
Mit der pro clima DB+ und der INTELLO® werden im Dachbereich sehr hohe Bauschadensfreiheitspotentiale erreicht. Auch bei zusätzlicher Feuchtigkeit durch unvorhergesehene Einflüsse bleiben die Konstruktionen bauschadensfrei. Flankendiffusion bei einem Ziegelmauerwerk, wie von Ruhe [4], Klopfer [5], [6] und Künzel [7] beschrieben, können INTELLO® und DB+ kompensieren.

Die pro clima DB+ hat sich seit über 10 Jahren in vielen Mio. m<sup>2</sup> in kritischen Konstruktionen mit ihrer Bauschadensfreiheit bewährt. Mit INTELLO® haben außen diffusionsdichte Steildächer und bekiesete Flachdächer im Hochgebirge ein ausreichendes Bauschadensfreiheitspotential.

## Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials Standort Davos, Dach

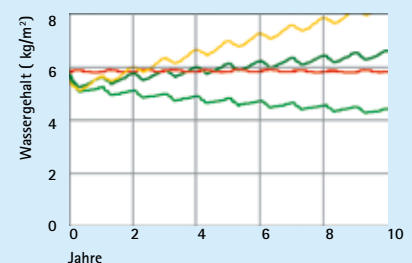
Angaben siehe Berechnung Holzkirchen Seite 12

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



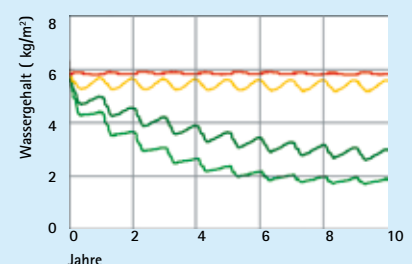
Bauschadensfreiheitspotential: pro clima INTELLO® = 1500 g/m<sup>2</sup> Jahr  
pro clima DB+ = zu feucht  
 $s_d$ -Wert 2,30 m konst. = Aufweitung!  
 $s_d$ -Wert 50 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr

### 24. Bauschadensfreiheitspotential Gründach mit 13 cm Erde/Kies



Bauschadensfreiheitspotential: pro clima INTELLO® = 200 g/m<sup>2</sup> Jahr  
pro clima DB+ = Aufweitung!  
 $s_d$ -Wert 2,30 m konst. = Aufweitung!  
 $s_d$ -Wert 50 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr

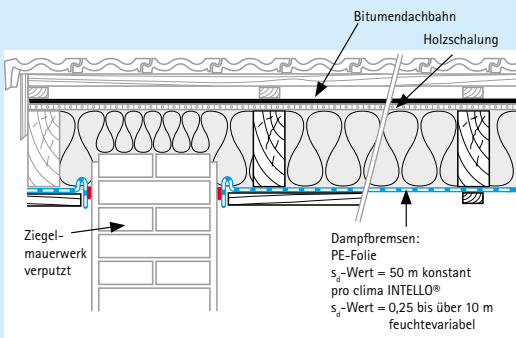
### 25. Bauschadensfreiheitspotential Flachdach mit 5 cm Kies



Bauschadensfreiheitspotential: pro clima INTELLO® = 1200 g/m<sup>2</sup> Jahr  
pro clima DB+ = 500 g/m<sup>2</sup> Jahr  
 $s_d$ -Wert 2,30 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr  
 $s_d$ -Wert 50 m konst. = < 10 g/m<sup>2</sup> Jahr

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

### 26. Konstruktionsaufbau: Einbindende Wand

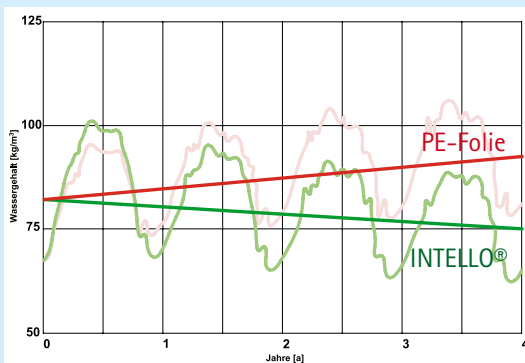


### 27. Feuchterhöhung mit einer PE-Folie

→ **Auffeuchtung = Bauschaden**

### Feuchtereduzierung mit der INTELLO®

→ **Austrocknung = Bauschadensfreiheit**



Ansteigender Feuchtegehalt im Bauteil mit PE-Folie  $s_d$ -Wert = 50 m konstant

Abnehmender Feuchtegehalt im Bauteil mit pro clima INTELLO®  $s_d$ -Wert = 0,25 bis über 10 m feuchtevariabel

### 3.2.11 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. 26)

Mauerwerk hat einen wesentlich 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  $30 \text{ kg/m}^3$ . Der faserförmige Wärmedämmstoff ist trocken eingebaut, die rel. Holzfeuchtigkeit der Dachschalung liegt bei 15 %.

Als Dampfbrems- und Luftdichtungsebenen wird bei einer Konstruktion eine diffusionshemmende PE-Folie ( $s_d$ -Wert 50 m) eingesetzt, bei einer zweiten Konstruktion die feuchtevariable pro clima INTELLO® ( $s_d$ -Wert 0,25 bis über 10 m).

### 3.2.12 Ergebnisse der 2-dimensionalen Simulationsberechnung

Wird eine derartige Konstruktion mit dem 2-dimensionalen Berechnungsverfahren für Wärme- und Feuchteströme, welches in WUFI 2D 2.1 [8] implementiert ist, berechnet, kommt es zu folgendem Ergebnis: (siehe Abb. 27)

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 Hochleistungsdampfbremse INTELLO® kann die enthaltene Feuchtigkeit nach innen entweichen. Das Bauteil ist vor Feuchteakkumulation 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.

### 3.2.13 Schlussfolgerung bei Flankendiffusion

Flankendiffusion bei einem Mauerwerk, wie von Ruhe [4], Klopfer [5], [6] und Künzel [7] beschrieben, können INTELLO® und DB+ kompensieren.

### 3.2.14 Wandkonstruktionen

Wandkonstruktionen haben durch Ihre senkrechte Ausrichtung eine geringere Sonnenlichtabsorption als Dachkonstruktionen. Daher ist das Rückdiffusionspotential 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. 28 bis 31)

Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® bietet auch bei Wandkonstruktionen ein erhebliches Bauschadensfreiheitspotential. Berechnet man mit WUFI 4.1 pro [10] für das Klima Holzkirchen eine nach Norden ausgerichtete Außenwand mit einer außenseitigen Bitumendachbahn  $s_d$ -Wert = 300 m in normal heller Farbe der Außenfassade, hat die Konstruktion bei Verwendung der Dampfbremse INTELLO® immer noch ein erhebliches Sicherheitspotential zu bieten.

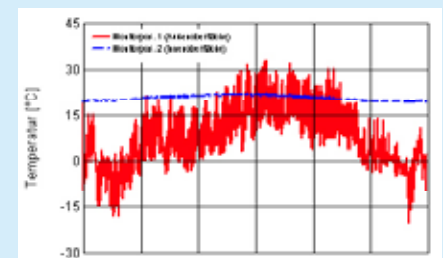
Auch in kälteren Klimaregionen bis zu Hochgebirgsstandorten wie Davos sind Wandkonstruktionen mit außenseitig der Dämmung befindlichen Bauteilschichten bis zu einem  $s_d$ -Wert von 10 m mit der Hochleistungsdampfbremse INTELLO® sicher.

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.

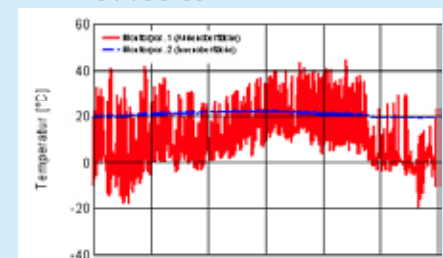
## Temperaturverläufe Holzkirchen und Davos Wand, Putzfassade hell

Wandtemperaturen Holzkirchen

### 28. Wandtemperatur Nordseite

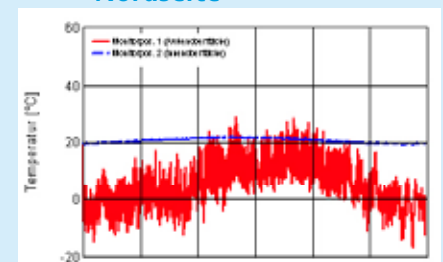


### 29. Wandtemperatur Südseite

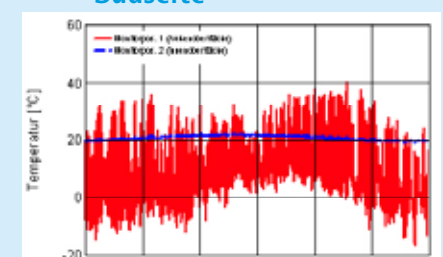


Wandtemperaturen Davos

### 30. Wandtemperatur Nordseite



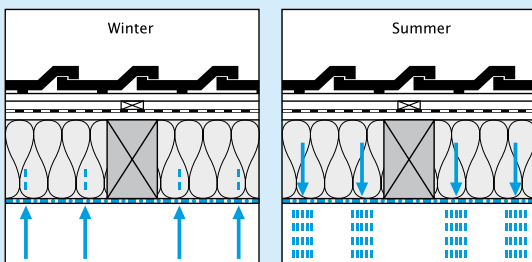
### 31. Wandtemperatur Südseite



## 4. 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.



### 32. Schutz der Wärmedämmkonstruktion im Neubau und in der Bauphase



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 Hochleistungsdampfbremse pro clima INTELLO® mit dem weltweit größten in allen Klimabereichen wirksamen feuchtevariablen Diffusionswiderstand und der seit mehr als 10 Jahren bewährten feuchtevariablen Dampfbremse pro clima DB+.

Mit pro clima DB+ und INTELLO® erreichen die Konstruktionen auch bei erhöhten Feuchtebelastungen eine hohe Sicherheit gegen Bauschäden. Voraussetzung ist eine nicht verschattete Situation, d.h. keine Bäume oder beschattende Nachbargebäude.

#### 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. Profilbrettschalungen, Holzwolleleichtbauplatten mit Putz und Gipsbauplatten.

#### 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 Wohnbedingte Neubaufeuchtigkeit – Die 60/2 Regel

Durch Einhalten der 60/2 Regel werden Wärmedämmkonstruktionen in Neubauten, welche prinzipbedingt über eine erhöhte Raumluftheuchteitungsdruck 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.

Die feuchtevariablen Dampfbremsen pro clima DB+ und INTELLO® bieten durch die Einhaltung der 60/2 Regel auch für diese Räume einen optimalen Schutz. Damit ist die Konstruktion auch bei der bau- und wohnbedingten Neubaufeuchtigkeit ausreichend vor Feuchteintrag aus der Raumluftheuchteitungsdruck und dadurch bedingt vor Schimmelbildung geschützt. (siehe Abb. 32)

#### 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 liegen auch bei diesem erhöhten Feuchteitungsdruck oberhalb von 1,5 m (INTELLO® hat bei 70 % rel. Luftfeuchteitungsdruck einen  $s_d$ -Wert von ca. 2 m). (siehe Abb. 32)

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

Übermäßige Luftfeuchteitungsdruck während der Bauphase über einen zu langen Zeitraum kann grundsätzlich zu Aufwechungen in der Konstruktion führen. Feuchtigkeit soll zügig abgelüftet werden. Bautrockner helfen, die Feuchteitungsdrucklast zu verringern. Dauerhaft hohe relative Luftfeuchteitungsdruck in der Bauphase werden dadurch vermieden.

## 4.7 Unterdach

Optimal ist die Wahl diffusionsoffener Werkstoffe als Unterdach (z.B. Holzfaser-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+ soll 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+ und INTELLO® 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. Vordeckung mit Bitumenbahnen) gelten die Begrenzungen in [Abb. 33](#).

## 4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen

Flach- und Gründächer haben außenseitig immer eine diffusionsdichte 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, um so geringer ist die Erwärmung der Dämmschicht durch die Sonneneinstrahlung. Die Rückdiffusion in den Innenraum und die Sicherheitsreserven verringern sich. Auch hier bietet die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® der Konstruk-

tion durch den feuchtevariablen Diffusionswiderstand eine hohe Sicherheit gegen Bauschäden, auch bei außerplanmäßigen Feuchtebelastungen.

Aus den Simulationsberechnungen mit realen Klimadaten ergeben sich die Anwendungsgrenzen in [Abb. 34](#).

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 sich in der Konstruktion befindliche 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.

## 4.10 Steildachkonstruktionen im Hochgebirge

Außen diffusionsdichte Steildachkonstruktionen können bis in 1.600 m Höhe mit INTELLO® sicher ausgestattet werden und haben ein hohes Bauschadensfreiheitspotential.

Bauvorhaben, die über 1.500 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. Die Berechnungen zeigen, dass es für außen diffusionsdichte Steildächer selbst bei diesem Klima ein ausreichendes Bauschadensfreiheitspotential gibt. Es müssen dafür aber entsprechende planerische Vorgaben berücksichtigt werden. Bitte kontaktieren Sie dafür die pro clima Hotline.

## 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. 35](#).

## Einsatzbereiche DB+ und INTELLO®

### 33. Steildachkonstruktionen

Konstruktionen	DB+	INTELLO®
bei außen diffusionsdichten Konstruktionen ohne Hinterlüftung (keine Beschattungen, innenseitig keine bremsenden Schichten)	Bis 1.000 m ü. NN keine Holzwerkstoffplatten	bis 1600 m ü. NN
bei außen diffusionsoffenen Konstruktionen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

### 34. Flachdach- und Gründachkonstruktionen

Konstruktionen	DB+	INTELLO®
Flachdach mit max. 5 cm Kiesbelag ohne Hinterlüftung (keine Beschattungen, innenseitig keine bremsenden Schichten)	bis 800 m ü. NN keine Holzwerkstoffplatten	bis 1600 m ü. NN
Gründach mit max. 15 cm Kies und Substrat ohne Hinterlüftung (keine Beschattungen, innenseitig keine bremsenden Schichten)	bis 800 m ü. NN keine Holzwerkstoffplatten	bis 1.000 m ü. NN

### 35. 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. 10 m

## 5. 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® mit der Folienseite (Beschriftung) zum Raum hin verlegen. Wurde INTELLO® mit dem Vlies zur Raumseite verlegt, ist die bauphysikalische Funktion von INTELLO® nicht beeinträchtigt. Die Klebebänder sind fest anzudrücken. 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®- 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 von den mechanischen Werten der Dampfbremse entspricht, v.a. bei der Querverlegung. Für INTELLO® ist daher Tescon No.1 besonders empfehlenswert, für DB+ das Uni Tape. Für Anschlüsse an Fenster, Türen und Eckverklebungen ist das Kleband TESCON PROFIL mit der hohen Durchstoßsicherheit und der doppelt geteilten Trennfolie bestens geeignet.

Mit den Anschlussklebern ORCON F (für INTELLO®) bzw. ECO COLL (für DB+) werden Verbindungen an angrenzende 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 der Broschüre 'pro clima System Innendichtung' entnommen werden.

#### 5.4 Faserige Einblasdämmstoffe

pro clima DB+ kann als begrenzendes Schicht für Einblasdämmstoffe aller Art dienen. Innenseitig sollte eine quer laufende Lattung im Abstand von max. 65 cm das Gewicht des Dämmstoffs abtragen.

Die Hochleistungsdampfbremse 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 Dämmstoffes abtragen. Weitere Einzelheiten der Verlegung: Siehe 'pro clima System Innendichtung'

#### 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.

#### 5.6 Dimensionsstabilität

Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® schrumpft nicht. Sie kann 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 Dehnschleife erfolgen, damit Bauteilbewegungen aufgenommen werden können.

#### 5.7 Mechanische Festigkeiten

INTELLO® 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 nicht lange ohne Dampfbremse sein darf. 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 / ORCON F bei bestehendem Putz und CONTEGA PV bei noch nicht vorhandenem Putz.

## 5.9 Transluzente Struktur

Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® ist transluzent, d.h. hinter der Bahn anstehende Materialien sind durch die Bahn zu erkennen. INTELLO® ist 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 Hochleistungsdampfbremsen INTELLO® und INTELLO® PLUS bestehen aus 100 % Polyolefin - die Spezialmembran aus Polyethylen-copolymer, 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 50 % aus Frischzellulose. Sie kann wegen des Glasseidengeleges nur thermisch verwertet werden.

## 6. Fazit

Konstruktionen mit DB+ und INTELLO® haben enorm große Sicherheitsreserven und beugen mit intelligentem Feuchtemanagement Bauschäden und Schimmelbildung vor. Selbst bei unvorhergesehenen oder in der Baupraxis nicht zu vermeidenden Feuchbelastungen haben die Konstruktionen dank der hohen Trocknungsreserven der feuchtevariablen Hochleistungsdampfbremsen ein sehr hohes Bauschadensfreiheitspotential.

Die Hochleistungsdampfbremse INTELLO® hat die weltweit größte in allen Klimabereichen wirksame Variabilität des Diffusionswiderstandes und bietet damit für Wärmedämmkonstruktionen eine bisher unerreichte Sicherheit - ob bei außen diffusionsoffenen oder auch bei bauphysikalisch anspruchsvollen Konstruktionen wie Flachdächern, Gründächern, Metall-eindeckungen sowie Dächern mit diffusionsdichten Vordeckungen.

Die Leistungsfähigkeit von INTELLO® 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 die Dachkonstruktionen.

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

Mit den Dampfbremse- und Luftdichtungsbahnen INTELLO® und DB+ wird wieder einmal mehr die pro clima Sicherheitsregel verwirklicht:

**„Je höher die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist, um so höher kann die unvorhergesehene Feuchbelastung sein und trotzdem bleibt die Konstruktion bauschadensfrei.“**

Weitere Informationen über die Verarbeitung und Konstruktionsdetails enthält die pro clima Broschüre ‚pro clima System Innendichtung‘. Sie erreichen die technische Hotline von pro clima unter:  
Fon: 0 62 02 - 27 82.45  
Fax: 0 62 02 - 27 82.51  
eMail: [technik@proclima.de](mailto:technik@proclima.de)

## Weltweit einzigartige Sicherheit für Groß und Klein

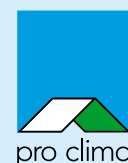
INTELLO® schützt vor Schimmel - intelligent und ökologisch!



INTELLO® Dampfbremse und Luftdichtung

# INTELLO®

Die intelligente Haut fürs Haus



MOLL  
bauökologische Produkte GmbH  
Rheintalstr. 35-43  
68723 Schwetzingen  
[www.proclima.de](http://www.proclima.de)

## 6. Literatur

- [1] TenWolde, A. et al.: "Air pressures in wood frame walls, proceedings thermal VII." Ashrae Publication Atlanta, 1999
- [2] IBP Mitteilungen 355: „Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?“
- [3] Deutsche Bauzeitung; Heft 12/89  
Seite 1639ff
- [4] DAB 1995; Seite 1479; Heft 8
- [5] Klopfer, Heinz; Bauschäden-Sammlung, Band 11, Günter Zimmermann (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1997
- [6] Klopfer, Heinz; ARCONIS: Wissen zum Planen und Bauen und zum Baumarkt: Flankenübertragung bei der Wasserdampfdiffusion  
Heft 1/1997, Seite 8-10
- [7] H.M. Künzel; Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Diffusion durch angrenzendes Mauerwerk  
wksb 41/1996; Heft 37; Seite 34-36
- [8] 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)
- [9] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung  
Beuth-Verlag, Berlin 07/2001
- [10] WUFI 4.1 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)

## INFO

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

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  
eMail: [info@proclima.de](mailto:info@proclima.de)  
Internet: [www.proclima.de](http://www.proclima.de)