

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 Feuchtetransports
von Dach- und Wandkonstruktionen unter
Berücksichtigung der natürlichen Klimabedin-
gungen und innerbaustofflichen Flüssigkeits-
transporte**



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 1639 ff.
- [4] DAB 1995; Heft 8, Seite 1479
- [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 Bauphysikmarkt: 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
- [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



www.proclima.de

© pro clima 01.2010 | ID DIG-003

Die dargestellten Sachverhalte beziehen sich auf den Stand der aktuellen Forschung und der praktischen Erfahrung. Wir behalten uns Änderungen der empfohlenen Konstruktionen und der Verarbeitung sowie die Weiterentwicklung und die damit verbundene Qualitätsänderung der einzelnen Produkte vor. Wir informieren Sie gern über den aktuellen technischen Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Verlegung.

MOLL
Bauökologische Produkte GmbH
Rheintalstraße 35 – 43
68723 Schwetzingen

Fon: +49 (0) 62 02 – 27 82.0
Fax: +49 (0) 62 02 – 27 82.21
eMail: info@proclima.de



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

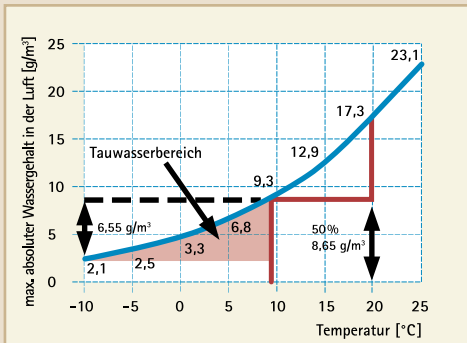
Feuchtephysik der Luft

Beim Abkühlen der Luft erhöht sich die Luftfeuchtigkeit.

Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur fällt Tauwasser aus.

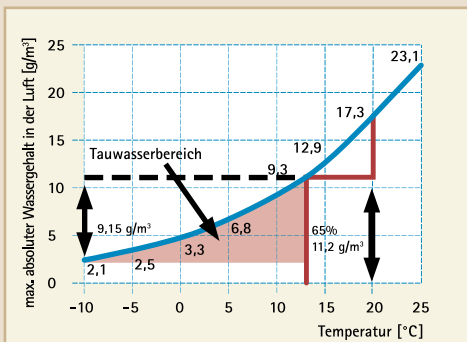
Bei höherer Raumluftfeuchtigkeit erhöht sich die Taupunkttemperatur >>> es fällt früher Tauwasser aus.

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



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

Abb. 2 Feuchtephysik der Luft bei 65 % rel. Luftfeuchtigkeit



Bei erhöhter Raumluftfeuchtigkeit von 65 % rel. Luftfeuchte wird der Taupunkt schon bei 13,2°C erreicht. Bei -10°C fällt Kondensat von 9,15 g/m³ Luft aus.

1.1 Übersicht und Einleitung

Die Studie beschreibt die Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials einer 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 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 reduzierter Feuchtebelastung, wie sie Dampfbremsen mit variablem s_d -Wert bieten, bieten auch bei unvorhergesehenen Feuchtebelastungen eine hohe Sicherheit gegen Bauschäden.

1.2 Kondensation - Taupunkt - Tauwassermenge

Die Wärmedämmung in Holz- und Stahlbauten 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 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 nach DIN 4108-3 Bauteile, deren äquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert) niedriger als 0,50 m ist. Der s_d -Wert wird definiert als Produkt der Dampfdiffusionswiderstandszahl (μ -Wert) als Materialkonstante und der Dicke des Bauteils in Meter:

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

Ein niedriger s_d -Wert kann erreicht werden durch einen niedrigen μ -Wert bei einer größeren Schichtdicke (z. B. Holzfaserdämmplatten) oder durch einen höheren μ -Wert bei einer sehr geringen Schichtdicke (z. B. Unterspannbahnen). Der Wasserdampf orientiert sich zunächst am μ -Wert, dann erst an der Dicke der Baustoffschicht. Das heißt, dass bei einem höheren μ -Wert der Tauwasserausfall schneller auftritt, als bei einem niedrigen μ -Wert. Im Bereich von Unterspannbahnen besteht wegen der häufig fehlenden Temperatur- und Feuchtedifferenz nur ein geringes Dampfdruckgefälle. Das erklärt, warum es auch bei diffusionsoffenen Unterspannbahnen zu Bauschäden kommen kann, wenn der Feuchtestrom im Bauteil erhöht ist. Unterdeck- und Unterspannbahnen mit monolithischer porenfreier Membran, z. B. SOLITEX UD, MENTO und PLUS, bieten hier Vorteile, da die Diffusion nicht passiv durch Poren, sondern aktiv entlang der Molekülketten erfolgt. Der Diffusionswiderstand von SOLITEX ist variabel. Bei Kondensatgefahreduziert er sich unter 0,02 m. Die Bahn ermöglicht dann einen extrem schnellen und aktiven Feuchtetransport und schützt die Konstruktion optimal gegen Tauwasser und Schimmelbefall.

Wenn Wasser in der Konstruktion ausfällt, kann es im kalten Winterklima zu einer Reif- oder Eisbildung unterhalb der Unterspann- bzw. Unterdeckbahn kommen. Wasser und Eis sind für Wasserdampf undurchlässig und können eine Dampfsperre auf der Außenseite darstellen. Konstruktionen, die außen eine diffusionshemmende oder diffusionsdichte Schicht haben, sind bauphysikalisch kritischer als nach außen diffusionsoffener werdende Konstruktionen. Zu den diffusionsdichten Konstruktionen gehören z. B. Steildächer mit diffusionshemmender Vordeckung, z. B. 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, 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 Aufwechfung führen. Diese ist oft begleitet durch Schimmelbefall der in der Konstruktion enthaltenen Materialien. Eine Belastung der Konstruktion durch Feuchtigkeit kann aber auch von innen erfolgen durch:

Vorhersehbare Feuchtebelastung:

- Diffusionsvorgänge

Unvorhergesehene Feuchtebelastung:

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

1.3.1 Feuchtebelastung durch Diffusion

Je weniger Feuchtigkeit in eine Konstruktion eindringen kann, umso geringer ist die Gefahr eines Bauschadens – so dachte man früher. Das heißt, die Verwendung von sehr dichten Dampfsperren würde Bauschä-

den 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 Feuchtigkeits-eintrag durch eine Dampfsperre infolge Konvektion selbst bei fachgerechter Verlegung eine Tauwassermenge von ca. 250 g/m² 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

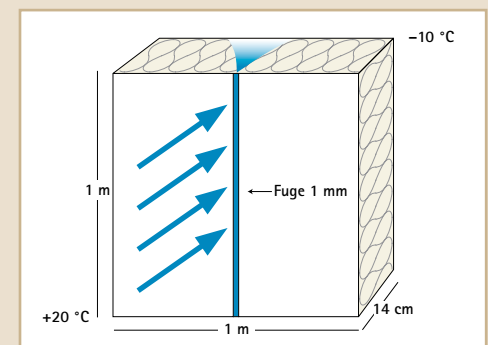
Durch Konvektion, also Luftströmung, werden wesentlich größere Feuchtemengen in die Konstruktion transportiert als durch Diffusion.

Die konvektiv eingebrachte Feuchtemenge kann leicht das 1000fache 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 Bauteile auf der Außenseite gefährlich werden, v. a. wenn bereits Tauwasser ausgefallen ist.

Feuchteeintrag in die Konstruktion durch Undichtheiten in der Dampfbremse

Abb. 3
Feuchtigkeitsmenge durch Konvektion



Feuchtetransport

durch Dampfbremse: 0,5 g/m² x 24 h
durch 1 mm Fuge: 800 g/m x 24 h

Erhöhung Faktor: 1.600

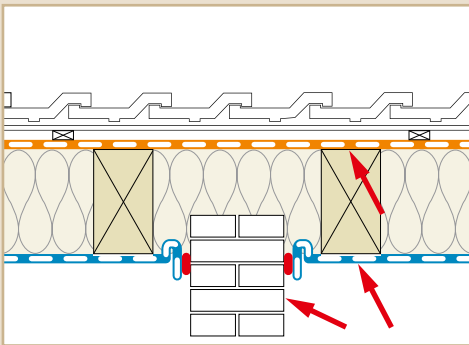
Randbedingungen:

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

Messung: Institut für Bauphysik, Stuttgart [3]

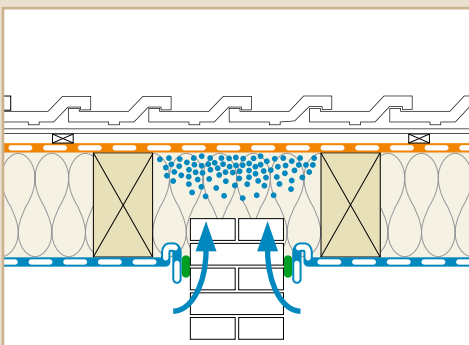
Flankendiffusion

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



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

Abb. 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 allein mit 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. Dabei dringt Feuchtigkeit über die Flanke des seitlichen Luftdichtungsanschlusses, hier ein porositätes Ziegelmauerwerk, ins Dach ein.

Der Feuchtestrom umgeht dadurch die PE-Folie. (Siehe Abb. 4 und 5)

Unter Bauphysikern wurde der Sachverhalt zu Beginn kontrovers diskutiert, bis Künzel [7] 1997 die Flankendiffusion mit Hilfe von Berechnungen des zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransports mit WUFI 2D [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 diese Dachfläche ca. 1,1 l Wasser aus dem Sparrenanteil.

Das bedeutet:

Wenn die Holzfeuchte zu Beginn 30 % beträgt, muss, damit die schimmelkritische Feuchtigkeit von 20 % unterschritten wird, 1,1 l Wasser/ 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, müssen zur Unterschreitung der Schimmelfeuchtegrenze 1,2 l Wasser pro m^2 Dachfläche austrocknen.

Für Sparren und Holzschalung 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 erhebliche Feuchtigkeitsmenge hinzugefügt werden.

Wenn sich dann auf der Innenseite eine diffusionsdichte Folie aus Polyethylen und außen eine Bitumendachbahn als Vordeckung befindet, kann es schnell zu einem Bauschaden kommen.

1.3.5 Zusammenfassung der Feuchtebelastungen

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

Intelligentes Feuchtemanagement

Sicherheitsformel:

**Trocknungsvermögen > Feuchtebelastung
=> Bauschadensfreiheit**

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

„Je höher die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist, umso höher kann die unvorhergesehene Feuchtebelastung sein und trotzdem bleibt die Konstruktion bauschadensfrei.“

Konstruktionen, die außen diffusionsoffen sind, haben eine größere Trocknungsreserve als außenseitig diffusionsdichte Konstruktionen.

„Intelligente“ Dampfbremsen

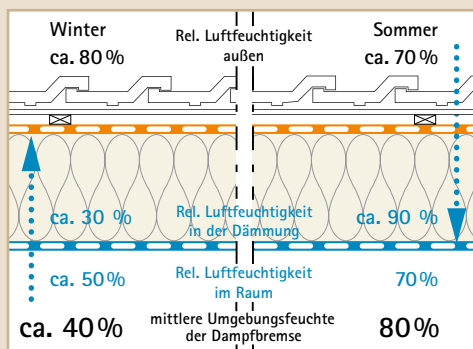
Feuchtesituation in der Konstruktion

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

Im Winter:
Erhöhte Feuchtigkeit auf der Außenseite.

Im Sommer:
Erhöhte Feuchtigkeit auf der Innenseite.

Abb. 6 Funktionsprinzip feuchtevariabler Bahnen



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

Umgebende Feuchtigkeit der Dampfbremse

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

Abb. 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 – im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit strömt zur Innenseite. Dies erfolgt bereits bei sonnigen Tagen im Frühjahr und im Herbst sowie 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 und dadurch einen Bauschaden verursachen.

Bei Verwendung von Dampfsperren scheint die Konstruktion auf den ersten Blick gegen Feuchtigkeit geschützt. Erfolgt allerdings ein Eintrag von Feuchtigkeit durch Konvektion, Flankendiffusion oder erhöhte Baustofffeuchtigkeit, ist eine Rücktrocknung im Sommer nach innen nicht möglich. Dann wird die Dampfsperre schnell zur Feuchtefalle.

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 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 Wasserdampfdruckes bestimmt. Dieser ist abhängig von der Temperatur und dem Feuchtegehalt der Luft in bzw. außerhalb eines Gebäudes.

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

Messungen in Dachkonstruktionen haben gezeigt, dass im winterlichen Klima durch den Transport der Feuchtigkeit im Sparrenfeld nach außen die Dampfbremse in einer mittleren 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 Werte zwischen 0,6 und 4 m annehmen.

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

2.2.1 Hoher Diffusionswiderstand im Winter

Der Diffusionswiderstand der Dampfbremse INTELLO ist so eingestellt, dass die Bahn im winterlichen Klima einen s_d -Wert von mehr als 10 m erreichen kann. Das bewirkt, dass im Winter, wenn der Feuchtigkeitsdruck auf die Konstruktion am größten ist, die Dampfbremse fast keine Feuchtigkeit in das Bauteil gelangen lässt.

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 (Dampfsperre) an einer diffusionsoffenen Unterspannbahn geht. (Siehe Abb. 9)

2.2.2 Niedriger Diffusionswiderstand im Sommer

Der Diffusionswiderstand im sommerlichen Klima kann auf einen s_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/m² H₂O pro Stunde, entsprechend ca. 80 g/m² H₂O pro Tag, bzw. 560 g/m² H₂O pro Woche. (Siehe Abb. 7)

Dieses hohe Austrocknungsvermögen bewirkt, dass ein Bauteilgefach schon im Frühjahr schnell austrocknet. Dampfbremsen, die im feuchten Bereich s_d -Werte von mehr als 1 m aufweisen, bieten keine nennenswerten zusätzlichen Sicherheiten.

2.2.3 Ausgewogenes Diffusionsprofil

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

2.2.3.1 Neubauten: Die 60/2-Regel

In Neubauten und in Feuchträumen von Wohnhäusern (Bädern, Küchen) herrscht bau- und wohnbedingt eine erhöhte Raumluftfeuchte von ca. 70 %. Der Diffusionswiderstand einer Dampfbremse sollte so eingestellt sein, dass bei dieser Feuchtigkeit ein Diffusionswiderstand von mindestens 2 m erreicht wird, um die Konstruktion ausreichend vor Feuchteeintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung zu schützen.

INTELLO hat bei 60 % mittlerer Feuchtigkeit (70 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Feuchtigkeit an der Wärmedämmung) 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 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 Feuchteeintrag aus dem Baustellenklima zu schützen. INTELLO hat 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 zügig durch Fensterlüftung entweichen können. Bautrockner beschleunigen die Trocknung. (Siehe Abb. 10)

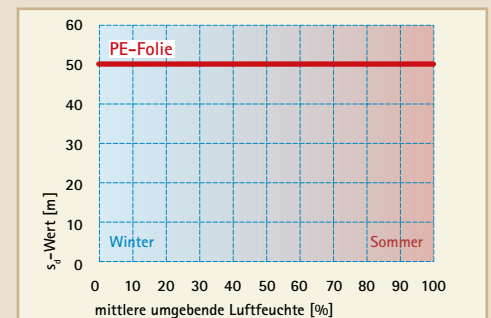
2.2.4 Höchste Sicherheit

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

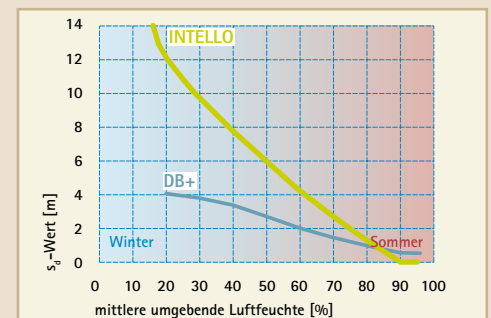
Je größer die Variabilität des Diffusionswiderstandes zwischen Winter und Sommer ist, umso mehr Sicherheit bietet die Dampfbremse.

Abb. 8 s_d -Wert-Verhalten PE-Folie



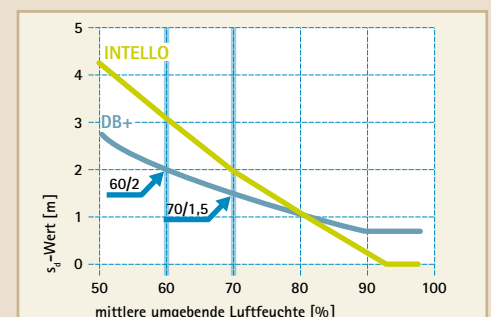
PE-Folie: keine Feuchtevariabilität

Abb. 9 s_d -Wert-Verhalten pro clima Dampfbremsbahnen



DB+: Mittlere Feuchtevariabilität
INTELLO: Hohe Feuchtevariabilität

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

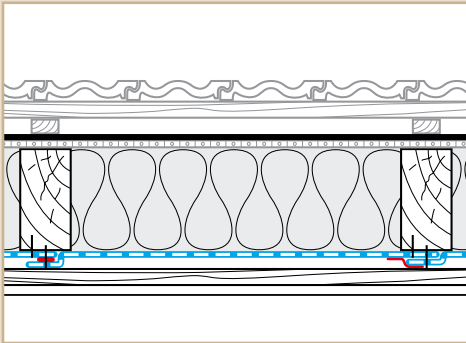


Empfohlene Mindest- s_d -Werte während der Bauphase, bei Neubaufeuchte und für Feuchträume von Wohnhäusern.

Ermittlung des Sicherheitspotentials einer Dachkonstruktion

Bauphysikalische Beurteilung von Dachkonstruktionen

Abb. 11
Aufbau der Dachkonstruktion



Bauteilschichten:

- Außenseitig diffusionsdicht (Bitumendachbahn s_d -Wert = 300 m)
- Vollholzschalung 24 mm
- Faserige Dämmung
- Dampfbremsen mit unterschiedlichen s_d -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 Pflanzsubstrat mit extensiver Begrünung

3.1 Berechnung der Feuchteströme mit unterschiedlichen Verfahren

Zur Berechnung von Feuchtebelastungen innerhalb von Bauteilen stehen stationäre und dynamische Rechenverfahren zur Verfügung. Die Norm lässt derzeit im Regelfall nur stationäre Berechnungsverfahren zu. Materialverhalten wie kapillares Leitungsvermögen und Sorptionsverhalten werden nur in dynamischen Verfahren berücksichtigt, die noch keinen Eingang in den allgemeinen Normenalltag gefunden haben.

3.1.1 Berechnung nach Glaser, DIN EN ISO 13 788

In der DIN 4108-3 [9] und DIN 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: „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 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 [10] vom Fraunhofer-

Institut für Bauphysik, Holzkirchen. Diese Programme berechnen den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport von mehrschichtigen Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen, inkl. der Berücksichtigung von Temperatur und Feuchte, 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 Klimadaten eines Jahres als Stundenwerte benötigt. Es stehen Klimadaten von einigen tausend Messstationen rund um den Erdball zur Verfügung. Diese beinhalten sowohl gemäßigte als auch extreme Klimabereiche.

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

3.2 Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials

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

Zu Beginn der Berechnung wird eine definierte Feuchtemenge in die Wärmedämmung eingebracht. Die Berechnung zeigt, wie schnell diese wieder austrocknen kann. Die Trocknungsmenge, die pro Jahr unter der Annahme der erhöhten Anfangsfeuchtigkeit aus der Konstruktion entweichen kann, ist das Bauschadensfreiheitspotential der Konstruktion. Die Berechnungen erfolgen unter ungünstigen Bedingungen (z. B. Nordseite eines Steildaches), in unterschiedlichen Klimabereichen (z. B. Hochgebirge) und mit unterschiedlichen Dachformen (Steildach, Flachdach, Gründach). Bauphysikalisch günstigere Konstruktionen bieten entsprechend höhere Sicherheiten.

3.2.1 Definition des Bauschadensfreiheitspotentials

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

3.2.2 Dachkonstruktion

Es wird eine als bauphysikalisch kritisch geltende Konstruktion in mehreren Dachvarianten betrachtet. Standorte und Dampfbremsen werden variiert.

Aufbau der Konstruktion:
(Siehe Abb. 11 links)

Dampfbremsen:	s_d -Wert:
– PE-Folie	50 m konstant
– Dampfbremse	2,3 m konstant
– pro clima DB+	0,6 – 4 m feuchtevariabel
– pro clima INTELLO	0,25 – 10 m feuchtevariabel

Dachvarianten:

- Steildach mit 40° Neigung zur Nordseite, rote Dachsteine
- Flachdach mit 5 cm Kies
- 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 pro [10]
- Anfangsfeuchtigkeit in der Wärmedämmung 4000 g/m²

3.2.3 Einflussfaktoren auf die Höhe des Bauschadensfreiheitspotentials

Eine wesentliche Größe für die Bauschadens- und Schimmelfreiheit ist die Rückdiffusion im Sommer und damit verbunden die Austrocknung der Konstruktion nach innen. Deren Höhe hängt von der Außentemperatur ab, genauer gesagt von der Temperatur an der Außenseite der Wärmedämmung. Durch die Sonneneinstrahlung hat die Dach-/Wandoberfläche eine höhere

Temperatur als die Luft. Die Zeit, welche die Wärme von außen braucht, bis sie an der Wärmedämmung ankommt, ist entscheidend. Bei einem Steildach ist dies schneller der Fall als bei einem bekiesten oder 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

Abb. 12 Lufttemperatur

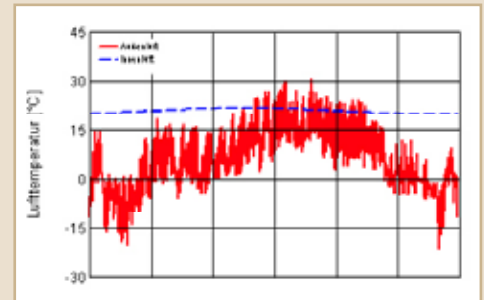


Abb. 13 Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung

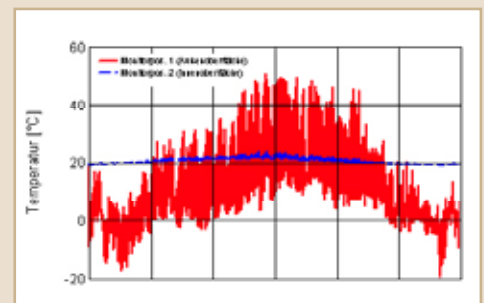


Abb. 14 Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung

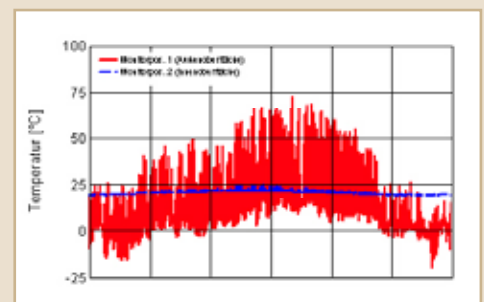
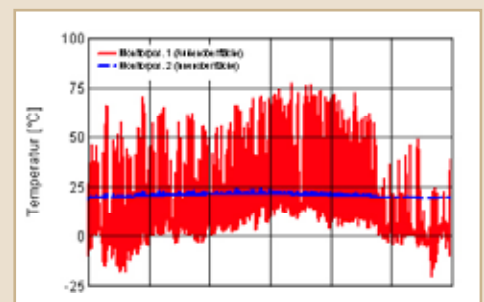


Abb. 15 Dachoberflächentemperatur Flachdach



Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials Standort Holzkirchen, Dach

Angenommene zusätzl. Feuchtigkeit zu Beginn: 4.000 g/m²

Feuchtegehalt der Konstruktion im Trockenzustand (= Feuchtegehalt der Holzschalung bei 15 %): 1.700 g/m²

Abb. 16
Bauschadensfreiheitspotential Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung

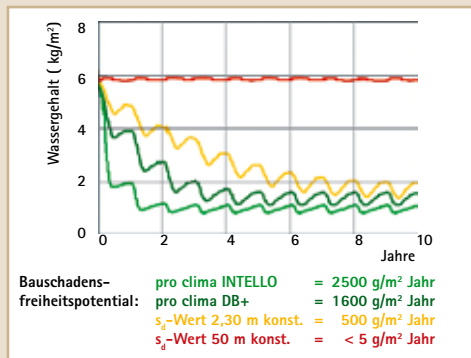


Abb. 17
Bauschadensfreiheitspotential Gründach mit 13 cm Erde/Kies

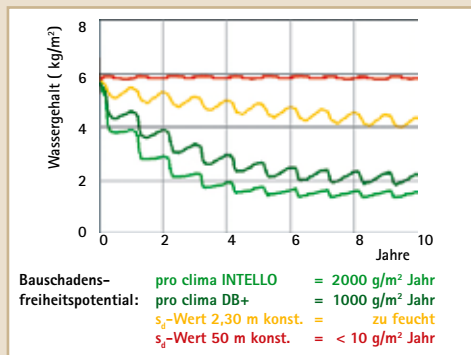
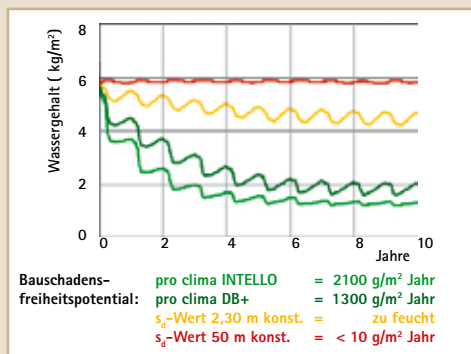


Abb. 18
Bauschadensfreiheitspotential Flachdach mit 5 cm Kies



3.2.5 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Holzkirchen, Nordseite, 40° Dachneigung

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_d-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 auf.

Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion gemäß den WUFI pro [10] Berechnungen mit ca. 4.000 g/m² Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (Siehe Abb. 16)

3.2.6 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach

Beide Konstruktionen weisen geringere Sicherheiten auf 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_d-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 auf. Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet der Konstruktion das größte Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion

gemäß den WUFI pro [10] Berechnungen mit ca. 2.000 bzw. 2.100 g/m² Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (Siehe Abb. 17 und 18)

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

Abb. 19 Lufttemperatur

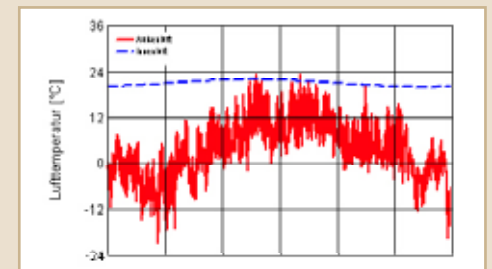


Abb. 20 Dachoberflächentemperatur Nordseite, 40° Dachneigung

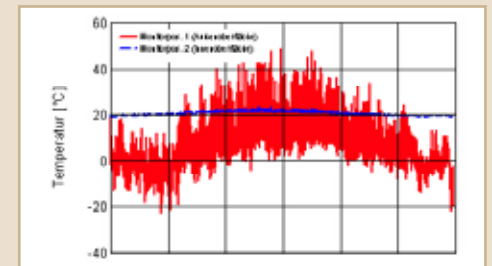


Abb. 21 Dachoberflächentemperatur Südseite, 40° Dachneigung

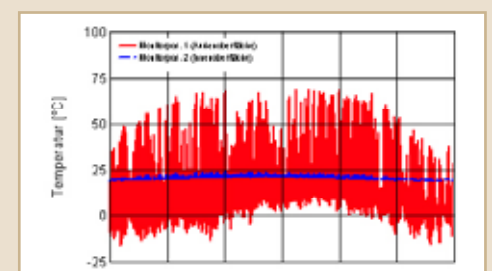
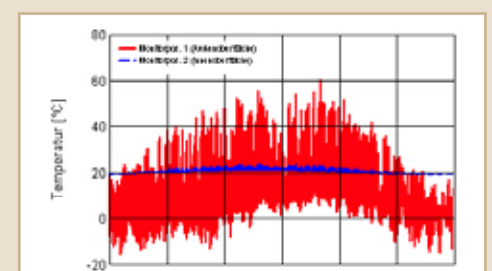


Abb. 22 Dachoberflächentemperatur Flachdach



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 im Sommer 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 und roter Ziegelddeckung.

3.2.8 Bauschadensfreiheitspotential Steildach in Davos, Nordseite, 40° Dachneigung

Die äußerst niedrige Temperatur im Winter führt zu einem hohen Tauwasseranfall, 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 Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet eine bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion und zusätzlich ein Sicherheitspotential. Innerhalb eines Jahres kann die Konstruktion

gemäß den WUFI pro [10] Berechnungen bis ca. 1500 g/m² Wasser pro Jahr belastet werden, ohne dass ein Bauschaden eintritt. (Siehe Abb. 23)

3.2.9 Bauschadensfreiheitspotential Gründach und Flachdach

Beide Konstruktionen weisen geringere Sicherheiten als das Steildach auf, 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 Hochleistungs-Dampfbremse 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. Hier müssen konstruktive Lösungen gewählt werden. (Siehe Abb. 24 und 25)

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. m² in kritischen Konstruktionen mit ihrer Bauschadensfreiheit bewährt. Mit INTELLO haben außen diffusionsdichte Steildächer und bekieste Flachdächer im Hochgebirge ein ausreichendes Bauschadensfreiheitspotential.

Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials Standort Davos, Dach

Angaben siehe Berechnung Holzkirchen Seite 57/58

Abb. 23

Bauschadensfreiheitspotential Steildach, Nordseite, 40° Dachneigung

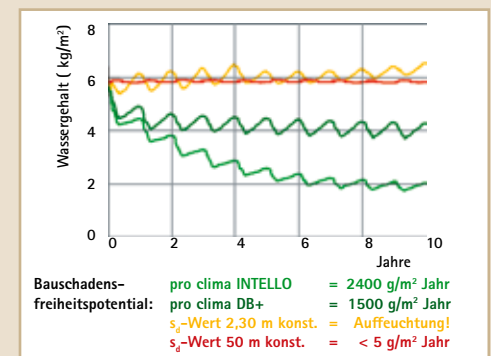


Abb. 24

Bauschadensfreiheitspotential Gründach mit 13 cm Erde/Kies

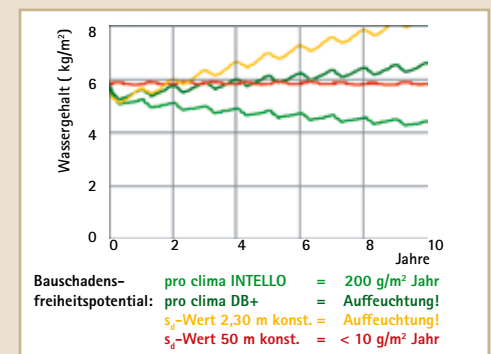
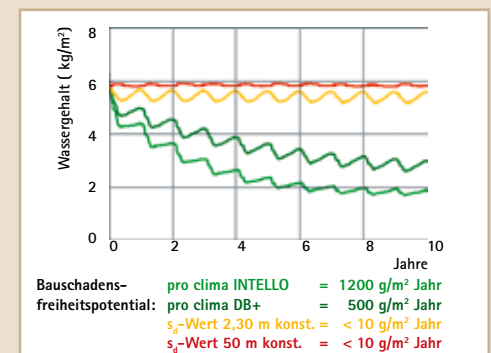


Abb. 25

Bauschadensfreiheitspotential Flachdach mit 5 cm Kies



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

Abb. 26
Konstruktionsaufbau:
Einbindende Wand

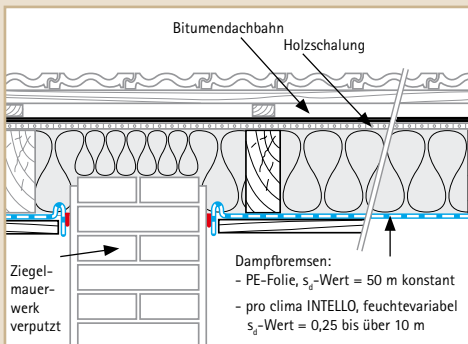
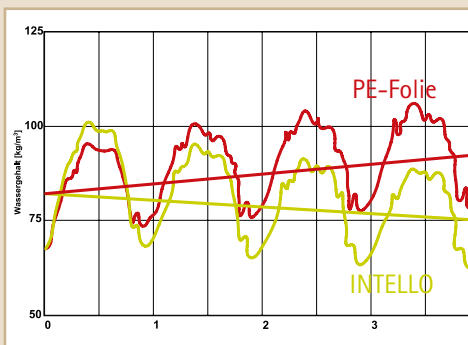


Abb. 27
Feuchteerhöhung mit einer PE-Folie >>>
Auffeuchtung = Bauschaden

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 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 Nebausituation gewählt. Das Mauerwerk und die Putzschicht verfügen über einen dann üblichen Feuchtegehalt von 30 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 [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 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 Bauschadensfreiheitspotential.

3.2.13 Schlussfolgerung bei Flankendiffusion

Feuchteinträge durch Flankendiffusion bei einer in die Wärmedämmkonstruktion einbindenden Innenwand, wie von Ruhe [4], Klopfer [5], [6] und Künzel [7] beschrieben, können durch INTELLO und DB+ wieder aus dem Bauteil entweichen.

3.2.14 Wandkonstruktionen

Wandkonstruktionen haben durch ihre senkrechte Ausrichtung eine geringere Sonnenlichtabsorption als Dächer. Daher ist das Rücktrocknungspotential geringer. Im Regelfall sind Wände im Gegensatz zu Dächern außenseitig nicht diffusionsdicht. Es werden keine Bitumendachbahnen verwendet. Eine hohe Anforderung an Wasserdichtigkeit, wie z. B. bei Flachdächern und Gründächern, im Wandbereich existiert nicht. Temperaturen in der Außenwand hängen im Wesentlichen von der Farbe der Fassade ab. Auf hellen Fassaden werden durch die Sonneneinstrahlung niedrigere Temperaturen erreicht als auf dunkleren Fassaden.

Die dargestellten Temperaturprofile auf der Außenwand entstehen bei normal hellen Putzfassaden.

(Siehe Abb. 28 bis 31)

Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO bietet auch bei Wandkonstruktionen ein erhebliches Bauschadensfreiheitspotential.

Berechnungen mit WUFI pro [10] mit dem Klima von Holzkirchen zeigen für eine nach Norden ausgerichtete Außenwand mit diffusionsdichter Außenbekleidung in heller Farbe mit der INTELLO immer noch ein erhebliches Sicherheitspotential.

Damit ist die INTELLO auch bei außen vorhandenen Holzwerkstoffplatten wie OSB- oder Spanplatten die ideale Lösung für ein hohes Bauschadensfreiheitspotential. Die Gefahr von Schimmelbildung wird deutlich verringert.

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

Für DB+ dürfen für das Klima Holzkirchen die außenseitig der Dämmung befindlichen Bauteile einen s_d -Wert von max. 6 m, für Davos max. 0,10 m haben.

Temperaturverläufe Holzkirchen und Davos Wand, Putzfassade hell

Holzkirchen

Abb. 28 Wandtemperatur Nordseite

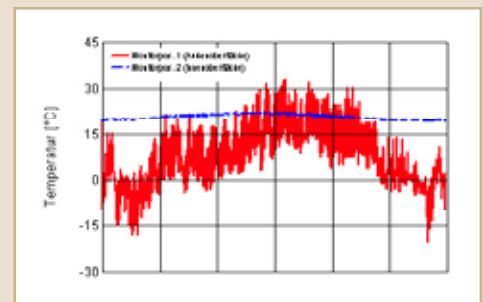
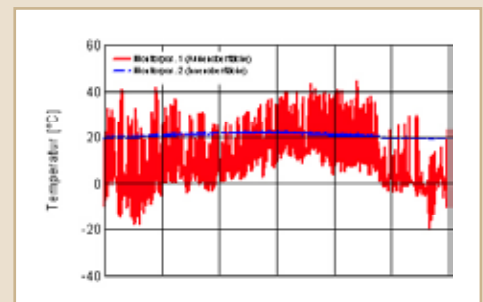


Abb. 29 Wandtemperatur Südseite



Davos

Abb. 30 Wandtemperatur Nordseite

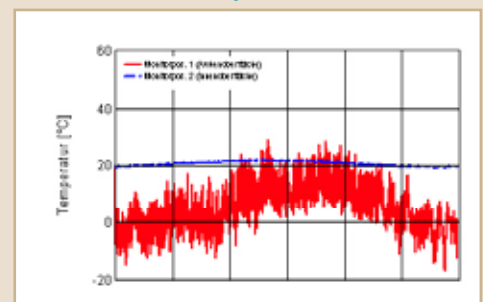
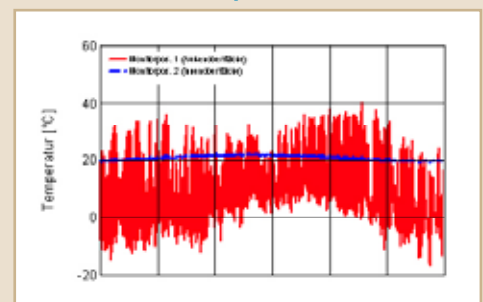


Abb. 31 Wandtemperatur Südseite



Konstruktionsempfehlungen

Voraussetzung für die Wirkung von feuchtevariablen Dampfbremsen

Abb. 32

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

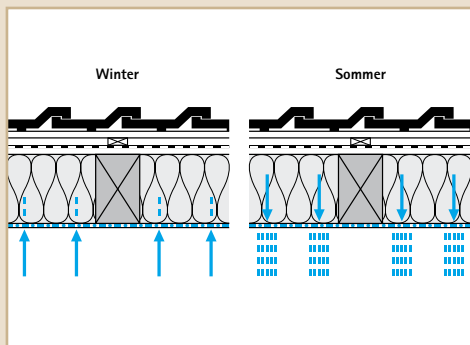
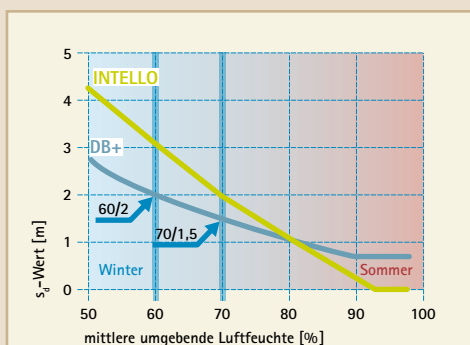


Abb. 33

Schutz der Wärmedämmkonstruktion im Neubau und in der Bauphase



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

4.1 Konstruktionen

Die bauphysikalischen Untersuchungen mit realen Klimadaten zeigen das enorm große Bauschadensfreiheitspotential für die Konstruktionen bei Verwendung der Hochleistungs-Dampfbremse pro clima INTELLO mit dem besonders großen, 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, Holzwoleleichtbauplatten mit Putz und Gipsbauplatten.

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

4.3 Permanent feuchte Räume

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

4.4 Wohn- und neubaubedingte Feuchtigkeit – Die 60/2-Regel

Durch Einhalten der 60/2-Regel werden Wärmedämmkonstruktionen in Neu-

bauten, welche prinzipbedingt über eine erhöhte Raumluftfeuchtigkeit verfügen, wirksam geschützt. Die pro clima DB+ und INTELLO erfüllen beide diese Anforderung und fördern dadurch das hohe Bauschadensfreiheitspotential der Bauteile.

4.5 Feuchträume in Wohnungen

Nass- und Feuchträume in Wohngebäuden haben eine temporär erhöhte rel. Feuchtigkeit von 70%. Die feuchtevariablen Dampfbremsen pro clima DB+ und INTELLO bieten durch die Einhaltung der 60/2-Regel – bei 70% Raumluftfeuchtigkeit und 50% Feuchtigkeit in der Dämmebene (60% mittlerer Feuchtigkeit), einen s_d -Wert größer 2 m – auch für diese Räume einen optimalen Schutz. Damit ist die Konstruktion auch bei der bau- und wohnbedingten Neubaufeuchtigkeit ausreichend vor Feuchteintrag aus der Raumluft und dadurch bedingt vor Schimmelbildung geschützt. (Siehe Abb. 33)

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

Die pro clima DB+ und die INTELLO erfüllen beide die 70/1,5-Regel und bieten für das Bauteil in der Bauphase gegen die Feuchtebelastungen einen hohen Schutz. Die s_d -Werte sollten auch bei diesem erhöhten Feuchtigkeitsdruck oberhalb von 1,5 m liegen. INTELLO hat bei 70 % mittlerer rel. Luftfeuchtigkeit (90 % Raumluftfeuchtigkeit und 50 % Luftfeuchtigkeit in der Dämmung) einen s_d -Wert von ca. 2 m. (Siehe Abb. 33)

Dadurch haben Konstruktionen mit den feuchtevariablen Dampfbremsbahnen auch während der Bauphase einen guten Schutz gegen Schimmelbildung. Übermäßige Luftfeuchtigkeit während der Bauphase über einen zu langen Zeitraum kann grundsätzlich zu Auffeuchtungen in der Konstruktion führen. Feuchtigkeit soll zügig abgelüftet werden. Bautrockner helfen, die Feuchtebelastung zu verringern. Dauerhaft hohe relative Luftfeuchtigkeiten in der Bauphase werden dadurch vermieden.

4.7 Unterdach

Optimal ist die Wahl diffusionsoffener Werkstoffe als Unterdach (z. B. 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. 34.

4.9 Flachdach- und Gründachkonstruktionen

Flach- und Gründächer haben außen-seitig 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 Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO der Konstruktion durch den feuchtevariablen Diffusionswiderstand eine hohe Sicherheit gegen Bauschäden, z. B. bei unvorhergesehenen Feuchtebelastungen.

Aus den Simulationsberechnungen mit realen Klimadaten ergeben sich die Anwendungsgrenzen in Abb. 35.

Flach- und Gründächer gehören zu den bauphysikalisch anspruchsvollsten und kritischsten Wärmedämmkonstruktionen im Baubereich. pro clima INTELLO bietet diesen Konstruktionen aufgrund der extrem großen Feuchtevariabilität des Diffusionswiderstandes die sicherste Lösung. Eventuell eingedrungene oder in der Konstruktion enthaltene Feuchtigkeit kann in besonders hohem Maße wieder austrocknen, ohne dass es zu einer schädlichen Wiederbefeuchtung kommt. Sollen Flach- und Gründächer über höchste Sicherheit verfügen, sollte INTELLO als Dampfbremse verwendet werden.

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. 36.

Einsatzbereiche DB+ und INTELLO

Abb. 34

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 1.600 m ü. NN
bei außen diffusionsoffenen Konstruktionen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

Abb. 35

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 1.600 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

Abb. 36

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
bei außen diffusionsoffenen Konstruktionen	ohne Höhenbegrenzung	ohne Höhenbegrenzung

Verlegung und Verarbeitung von INTELLO, INTELLO PLUS und DB+

Verlegeschritte

1. Verlegen / Befestigen



2. Verkleben untereinander



3. Anschluss an Giebel



4. Anschluss an Fenster



5. Anschluss an Durchdringung



5.1 Für platten- und mattenförmige Dämmstoffe

INTELLO 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 den mechanischen Werten der Dampfbremse entspricht, v. a. bei der Querverlegung. Für INTELLO sind daher TESCON No.1 und TESCON VANA besonders empfehlenswert, für DB+ das UNI TAPE. Für Anschlüsse an Fenster, Türen und Eckverklebungen ist das Klebeband TESCON PROFIL mit der hohen Durchstoßsicherheit und der doppelt geteilten Trennfolie bestens geeignet.

Mit den Anschlussklebern ORCON F (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 den pro clima Planungsunterlagen entnommen werden.

5.4 Faserförmige Einblasdämmstoffe

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

Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO ist aufgrund der hohen Dehnfähigkeit nicht als Innenbegrenzung für Einblasdämmstoffe geeignet. Dafür steht die mit einem kräftigen PP-Gewebe armierte INTELLO PLUS zur Verfügung. Diese bietet das gleiche Bauschadensfreiheitspotential wie INTELLO.

Innenseitig sollte eine quer laufende Lattung im Abstand von max. 50 cm das Gewicht des Dämmstoffes abtragen. Weitere Einzelheiten der Verlegung: siehe Planungsunterlagen.

5.5 Bei Schaumdämmstoffen

Bei Schaumdämmstoffen kommt der variable Diffusionswiderstand kaum zum Tragen, da die Rückdiffusion erheblich behindert wird. Schaumdämmstoffe sollten deswegen in bauphysikalisch anspruchsvollen und kritischen Konstruktionen, die z. B. außenseitig diffusionsdicht sind, vermieden werden.

5.6 Dimensionsstabilität

Die Hochleistungs-Dampfbremse 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 unmittelbar nach dem Einbau mit einer luftdicht verklebten Dampfbremse abgedeckt werden muss. Ohne Dampfbremse dringt die Raumluftfeuchtigkeit ungehindert in die Konstruktion ein, kühlt v. a. nachts in der Dämmung ab und führt zu einem Tauwasserausfall.

Es ist wichtig, dass Dämmstoff und Dampfbremse Zug um Zug verlegt werden. Die Dampfbremse sollte nach der Verlegung auch sogleich an die angrenzenden Bauteile angeschlossen werden, um einen Kondensatausfall im Anschlussbereich zu verhindern, mit ORCON F bei bestehendem Putz und CONTEGA PV bei noch nicht vorhandenem Putz.

5.9 Transluzente Struktur

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

6. Fazit

Konstruktionen mit DB+ und INTELLO haben enorm große Sicherheitsreserven und beugen mit intelligentem Feuchte-management Bauschäden und Schimmelbildung vor. Selbst bei unvorhergesehenen oder in der Baupraxis nicht zu vermeidenden Feuchtebelastungen haben die Konstruktionen dank der hohen Trocknungsreserven durch die feuchtevariablen Diffusionswiderstände ein sehr hohes Bauschadensfreiheitspotential. Die Hochleistungs-Dampfbremse INTELLO hat eine besonders große, in allen Klimabereichen wirksame Varia-

ibilität des Diffusionswiderstandes und bietet damit für Wärmedämmkonstruktionen eine bisher unerreichte Sicherheit – ob bei außen diffusionsoffenen oder auch bei bauphysikalisch anspruchsvollen Konstruktionen wie Flachdächern, Gründächern, Metalleindeckungen sowie Dächern mit diffusionsdichten Vordeckungen.

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

„Je höher die Trocknungsreserve einer Konstruktion ist, umso höher kann die unvorhergesehene Feuchtebelastung sein und trotzdem bleibt die Konstruktion bauschadensfrei.“

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

Sie erreichen die Technik-Hotline von pro clima unter:

Fon: 0 62 02 - 27 82.45

Fax: 0 62 02 - 27 82.51

eMail: technik@proclima.de