

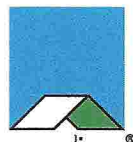
**Berekening van de mogelijkheid tot vermindering van bouwschade bij thermische isolatieconstructies in de houtbouw.**

**- Dak, Wand, Plafond -**

**Vocht-Variabele Damp remmen**

**pro clima DB+ and INTELLO®**

Computerondersteunde en gesimuleerde berekening van gecombineerd transport van warmte en vocht in dak en wand constructies, met inachtneming van natuurlijke klimatologische omstandigheden en het transport van vocht in bouwmaterialen.



pro clima

<b>Bescherming tegen bouwschade door thermische isolatie bij Houtbouw constructie systemen: Een kwestie van drogingsreserves</b>	
1.1 Samenvatting en introductie	4
1.2 Condensatie – Dauwpunt - Hoeveelheid Condensatie	
1.3 Vochtbelasting van een bouwconstructie	5
1.3.1 Vochtbelasting door diffusie	5
1.3.2 Vochtbelasting door convectie	5
1.3.3 Vocht door ontwerp-flank diffusie	6
1.3.4 Hoge vochtigheid van samenstellende delen	6
1.3.5 Samenvatting vochtbelasting	
<b>2. “Intelligente” folie</b>	<b>8</b>
2.1 Drogen naar de binnenzijde	8
2.2 Hoe vocht-variabele diffusie weerstand werkt	8
2.2.1 Hoge diffusie weerstand in de winter	9
2.2.2 Lagere diffusie weerstand in de zomer	9
2.2.3 Goed gebalanceerd diffusie profiel	9
2.2.3.1 Nieuwe gebouwen: De 60/10 regel	9
2.2.3.2 Constructie tijd : De 70/7.5 regel	
2.2.4 Maximale veiligheid	
<b>3. Het bepalen van het veiligheidspotentieel van een dak systeem</b>	<b>10</b>
3.1 Diverse methoden van berekening van vocht transport	10
3.1.1 Berekening volgens Glaser – EN 13788	10
3.1.2 Berekening van gepaard warmte en vocht transport onder natuurlijke klimatologische omstandigheden	10
3.2 Berekening van de potentiële vrijwaring van bouwschade voor een bouwconstructie	10
3.2.1 Dak constructies	11
3.2.2 Klimaat gegevens: Holzkirchen Locatie	11
3.2.3 Potentiële vrijwaring van bouwschade – steil-hellend dak in Holzkirchen, Noordzijde, 40° dakhelling	12
3.2.4 Potentiële vrijwaring van bouwschade - groen dak en plat dak	12
3.2.5 Klimaat gegevens: Davos Locatie	13
3.2.6 Potentiële vrijwaring van bouwschade- steil-hellend dak in Davos, Noord-zijde, 40° dakhelling	13
3.2.7 Potentiële vrijwaring van bouwschade - groen dak en plat dak	13
3.2.8 Conclusies ten aanzien van dak constructies	13
3.2.9 Flank Diffusie	14
3.2.10 Resultaten van tweedimensionale simulatieve berekening van warmte en vocht transport	14
3.2.11 Muur constructies	
<b>4. Aanbevelingen voor ontwerp</b>	<b>16</b>
4.1 Constructies	16
4.2 Samengestelde lagen binnen	16
4.3 Permanent vochtige ruimtes	16
4.4 Vochtige ruimtes in woningen	16
4.5 Bouwvocht op de bouwplaats	16
4.6 Onderdak systemen	16
4.7 Steil-hellende dak systemen	17
4.8 Platte daken en groene daken	17
4.9 Dak systemen in Alpine gebieden	17
4.10 Wanden	
<b>5. Installatie INTELLO®, INTELLO®PLUS en DB+</b>	<b>18</b>
5.1 Voor Board-Type en Mat-Type Isolatie materialen	18
5.2 Richting van installatie	18
5.3 Aanbevolen pro clima componenten voor bevestiging	18
5.4 Inblaas isolatie materialen	18
5.5 Schuim isolatie materialen	18
5.6 Maatvastheid	18
5.7 Mechanische sterkte	18
5.8 Doorschijnende structuur	19
5.9 Hergebruik en ecologische overwegingen	19
<b>6. Samenvatting</b>	<b>19</b>
<b>Bibliografie</b>	<b>20</b>

# Bescherming tegen bouwschade door thermische isolatie bij Houtbouw constructie systemen: Een kwestie van drogingsreserves.

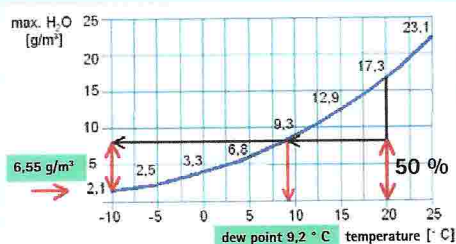
## Lucht vochtigheid

De luchtvochtigheid neemt toe wanneer de lucht afkoelt.

Condensatie ontwikkelt zich beneden de dauwpunt temperatuur.

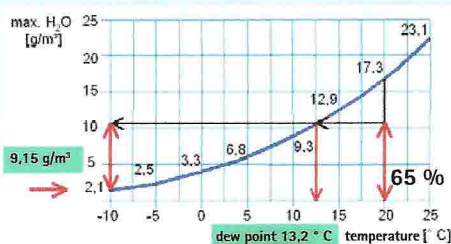
Wanneer de vochtigheid binnen omhoog gaat dan stijgt de dauw-----> punt temperatuur en ontwikkelt de condensatie zich sneller..

### 1. Ontwikkeling van condensatie bij een relatieve vochtigheid van 50%



Onder normale klimatologische omstandigheden (20° C / 50 % relatieve vochtigheid) wordt het dauwpunt bereikt bij 9.2° C. Bij -10°C, slaat de condensatie neer met een dichtheid van 6.55 g / m³ lucht.

### 2. Ontwikkeling van condensatie bij een relatieve vochtigheid van 65%



Bij een hoge relatieve vochtigheid, binnen van 65 %, wordt het dauwpunt al bereikt bij 13.2° C. Dan slaat de condensatie neer bij -10°C met een dichtheid van 9.15 g/m³ lucht.

### 3. Voor conversie naar Ierse en Britse normen geldt:

$$s \text{ (m)} \times 5.1 = mvtr \text{ (MN/g)}$$

$s_d$  = waterdamp diffusie-als equivalent van lucht-laagdikte

mvtr = snelheid waarmee vocht wordt doorgelaten

## 1.1 Samenvatting en Introductie

De voorliggende studie beschrijft hoe bouwschade kan ontstaan bij systemen voor thermische isolatie en hoe dergelijke systemen betrouwbaar en veilig kunnen worden beschermd tegen dergelijke schade.

Bouwschade ontstaat wanneer de vochtbelasting van een bouw constructie groter is dan de drogingscapaciteit van de constructie zelf. Om bouwschade te voorkomen concentreert men zich bij de gebruikelijke aanpak op het verminderen van de vochtbelasting. Bouwconstructies kunnen echter niet volledig beschermd worden tegen de invloeden van vochtigheid of vocht. Voorzienne vochtbelasting is vrijwel nooit de oorzaak van bouwschade, omdat de gebruikelijke oorzaak onverwachte vochtbelasting is, die niet volledig kan worden uitgesloten bij het ontwerpen van het gebouw.

Om de kans op bouwschade en schimmelgroei uit te sluiten, wordt geadviseerd om naast de aanpak van vochtbelasting, zich te concentreren op de drogingscapaciteit van een constructie. Systemen met een hoge drogingscapaciteit en een gelijktijdige verlaging van de vochtbelasting met behulp van dampremmen met een hoge  $s_d$  waarde, worden erg veilig en betrouwbaar beschermd tegen bouwschade zelfs als deze blootstaan aan onvoorziene vochtbelasting.

## 1.2 Condensatie - Dauwpunt - Hoeveelheid condensatie

Thermische isolatie bij houtbouw constructies scheidt warme binnenlucht met een hoge vochtigheid van koude buitenlucht met een lage absolute vochtigheid.

Wanneer warme binnenlucht in de constructie doordringt dan koelt het -bij winterse omstandigheden buiten- af bij zijn weg door de constructie. Vocht zal bij dit proces condenseren, deze neerslag van water is toe te schrijven aan de eigenschappen van luchtvochtigheid. Warme lucht kan meer vocht absorberen dan koude lucht. Bij een hogere relatieve luchtvochtigheid binnen (b.v. 65%), gaat de dauwpunt

temperatuur omhoog en als een direct gevolg stijgt de hoeveelheid condensatie eveneens. (zie afbeelding 1 en 2) Condensatie ontstaat wanneer de hoge diffusieweerstand van bouwelementen beneden de dauwpunttemperatuur ligt hetgeen impliceert:

Bouwelementen met een hogere diffusieweerstand aan de buitenzijde van de thermische isolatie dan de elementen aan de binnenzijde zijn onbevredigend. Een groot probleem ontstaat wanneer warme lucht lekt in de constructie door een convectie stroming die ontstaat als gevolg van lekkage in de luchtafdichting.

Bouwdelen worden geacht erg open te zijn voor diffusie wanneer hun  $s_d$  waarde minder is dan 0.20 m (<1 MNs/g). De  $s_d$  waarde wordt gedefinieerd als het veelvoud van de dampdiffusie weerstand coëfficiënt (u waarde) - als materiaal constante - en de dikte van het element in meters:

$$s = u \times s \text{ (m)} \quad S \cdot X \cdot 5.1 = mvtr \text{ (MN/g)}$$

(zie afbeelding 3) Een lage  $s_d$  waarde kan aldus verkregen worden door middel van een lage u waarde en een grotere laagdikte (b.v. hout vezelplaat), of door een hogere u waarde en een hele kleine laagdikte (b.v. onderdakfolie). Waterdamp wordt in de eerste plaats beïnvloed door de u waarde, en pas daarna door de dikte van het bouw materiaal. Dit betekent dat de neerslag van condensatie eerder begint bij een hogere u waarde dan bij een lage. Bovendien veroorzaakt onderdakfolie maar een geringe verlaging van de dampdruk omdat er weinig tot geen verschil is in temperatuur en vochtigheid. Dit verklaart waarom bouwschade nog steeds kan optreden bij toepassing van diffusie-open onderdakfolie wanneer de stroom van vocht in het bouwelement hoog is.

Onderdakfolie met niet -poreuze doordringbare membranen zoals SOLITEX UD en SOLITEX PLUS zijn in dit verband in het voordeel omdat diffusie veel meer actief verloopt via de moleculaire ketens dan passief via de poriën. Als water eenmaal gecondenseerd is in een bouw constructie dan kan er rijp of zelfs ijs ontstaan onder de onderdakfolie

in koude winterse omstandigheden. Water en ijs zijn ondoordringbaar voor waterdamp en kunnen een isolatieplaat veroorzaken die fungeert als een dampafsluiting aan de buitenzijde. Bouweenheden met een diffusie remmende of zelfs een diffusie dichte laag aan de buitenzijde zijn veeleisender qua constructie dan bouwelement- lagen die open zijn voor diffusie naar de buitenzijde. Diffusie dichte bouw systemen omvatten ook steile hellende daken met een diffusie remmende onderlaag, b.v. bitumen bedekking, daken met flexibele metaalbeplating, platte daken en groene daken.

### 1.3 Vochtbelasting van een bouw constructie

Er zijn diverse verschillende redenen voor vochtbelasting binnen een thermisch isolatiesysteem bij houtbouw. In de eerste plaats kan water doordringen als gevolg van een lekkend dak. Er kunnen grote hoeveelheden vocht ontstaan die er de oorzaak van zijn dat water gaat druppelen in de verblijven. Kleinere lekken kunnen leiden tot kruipwater, wat vaak gepaard gaat met meeldauw of schimmelvorming op de materialen van de bouw constructie. Een bouw constructie kan ook worden aangetast door vochtbelasting van binnenuit, als gevolg van:

#### Verwachte of voorziene vochtbelasting:

- diffusie processen

#### Niet voorziene vochtbelasting:

- convectie, b.v. luchtstroom (lekkage in de damprem)
- verhoogd vochtgehalte van de gebruikte bouwmaterialen
- vochttransport als gevolg van het ontwerp (b.v. flank diffusie door aangrenzend metselwerk)

### 1.3.1 Vochtbelasting door diffusie

Hoe kleiner de hoeveelheid vocht is die kan doordringen in een bouwconstructie des te meer wordt het risico verminderd op bouwschade. Dat was althans de heersende opvatting. Met andere woorden, zeer dichte dampremmen zouden gebouwen beschermen tegen schade. Het feit dat

dit niet echt waar was werd al zo'n tien jaar geleden bewezen

op basis van bouwkundige berekeningen ter gelegenheid van de introductie van pro clima's DB+ met zijn  $s_d$  waarde van 2.30 m (12 MNs/g).

Verder onderzoek op buitenmuren uitgevoerd in Noord-Amerika in 1999 [1] toonde aan dat het binnendringen van vocht door een dampremmer als gevolg van convectie zelfs wanneer professioneel geïnstalleerd, een hoeveelheid condensatie produceert van ongeveer  $250 \text{ g/m}^2$  per dauw periode. Dat komt overeen met de hoeveelheid condensatie diffusie door een dampmembraan met een  $s_d$  waarde van 3.3 m (16.5 MNs/g) gedurende een winter [2].

#### Samenvatting:

Aanzienlijke hoeveelheden vocht zullen nog steeds doordringen in de bouwconstructie met dampremmen die een berekende  $s_d$  waarde hebben van 50, 100 m (250-500 MNs/g) of hoger. Maar dampschermen laten geen latere verdamping toe, waardoor vochtvallen zich als gevolg ontwikkelen.

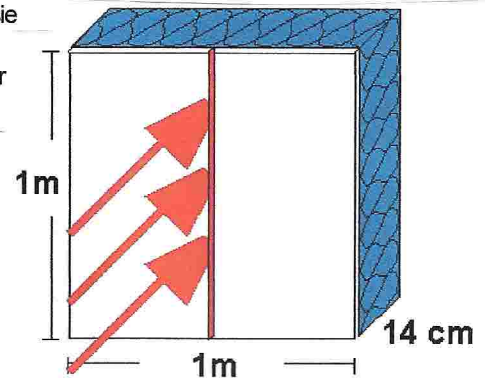
### 1.3.2 Vochtbelasting door convectie

Convectie, met andere woorden luchtstroom, transporteert aanzienlijk grotere hoeveelheden vocht in een bouwconstructie dan diffusie doet. De hoeveelheid vocht vervoerd door convectie kan de hoeveelheid door diffusie gemakkelijk duizend maal overtreffen. (zie afbeelding 4).

Als condensatie eenmaal convectieve hoeveelheden vocht ontwikkelt, dan kan, als gevolg van de hoge vochtbelasting, dit een risico worden voor de buitenzijde zelfs waar bouwelementen open zijn voor diffusie.. Waterfilms kunnen fungeren als een dampscherm op dezelfde manier als ijs. Een dergelijke situatie heeft in het algemeen bouwschade tot gevolg vergelijkbaar met bouwconstructies waar sprake is van diffusie-dichte elementen aan de buitenzijde.

## Binnendringen van vocht in de bouwconstructie als gevolg van lekken in het dampscherm

### 4. 1 mm Gap = 800 g/24h per m Gap Lengte



Vocht overdracht

Door dampremmer:  $0.5 \text{ g/m}^2 \times 24\text{h}$   
 door 1 mm voeg:  $800 \text{ g/m}^2 \times 24\text{h}$

**Factor: 1,600**

Randvoorwaarden:

dampremmer  $s_d$ -waarde = 30 m (150 MNs/g)

binnen temperatuur:  $+20^\circ \text{C}$

buiten temperatuur:  $-10^\circ \text{C}$

druk verschil: 20 Pa

overeenkom

end met

windkracht

2-3

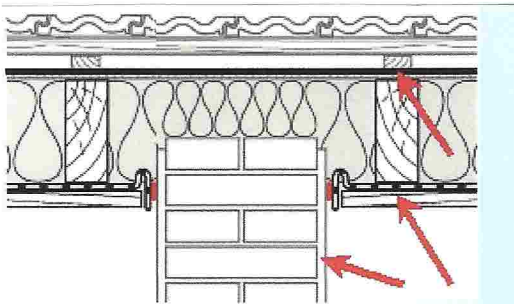
Metingen door:

Institute for Building Physics, Stuttgart



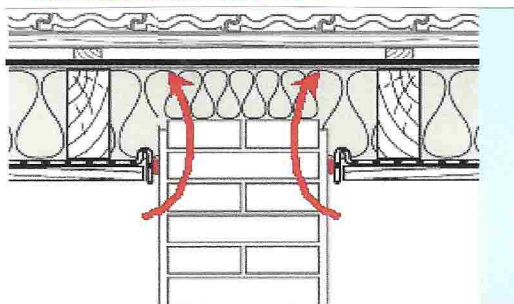
## Flank diffusie

### 5. Bouwschade: Binnendringen van vocht ondanks luchtdichte verbindingen en het gebruik van een dampremmer



Luchtdichte constructie met gebruik van een PE-plaat en een bitumen luchtdichte laag aan de buitenzijde

### 6. Oorzaak van het binnendringen van vocht: Vochttransport langs de flanken, hier door het metselwerk



Binnendringen van vocht als gevolg van flankdiffusie door aanliggend metselwerk

### 1.3.3 Vocht door ontwerp - Flankdiffusie

In de praktijk, ontstaat bouwschade op manieren die niet simpelweg verklaard kunnen worden door diffusie of convectie processen. Ruhe [4] en Klopfer [5], [6] rapporteerden in 1995 en respectievelijk 1997 over het probleem van flankdiffusie in een geval van bouwschade.

De bouwconstructie in kwestie bestond uit een dak met houtbetimmering en een bitumen laag aan de buitenzijde, PE plaat aan de binnenzijde en mineraal wol daartussen. Ondanks een perfecte luchtdichte afsluiting druppelde er water in de zomer van de kruispunten van de platen op de aangrenzende bouwelementen daaronder. Er werd aanvankelijk aangenomen dat het fenomeen was toe te schrijven aan hoge vochtigheid in de constructie. Dit moest echter worden uitgesloten omdat het druppelen ieder jaar erger werd. Na vijf jaar werd het dak open gemaakt. Het grootste deel van de houten beplating was al begonnen te rotten..

De mogelijkheid van binnendringen van vocht door flankdiffusie werd besproken. Onder flankdiffusie wordt verstaan het binnendringen van vocht in het dak via de flank of rand van de laterale luchtdichte afdichting, die bestond uit poreus metselwerk in het onderzochte geval. De vochtstroom omzeilt zo grotendeels het vochtscherm.(zie afbeelding 5 en 6).

De situatie was aanvankelijk zeer omstreken onder bouwkundigen totdat Künze [7], in 1997, wiskundig bewijs leverde van flank diffusie met behulp van tweedimensionale berekeningen van warmte en vocht transport met gebruik van WUFI 2D 2.1 [8]. Volgens zijn berekening was het vochtgehalte van het hout boven het metselwerk gestegen tot 20% na slechts een jaar, dus al meer dan de matris-kritische grens, na drie jaar steeg het vochtgehalte naar 40%, en daarna naar 50% naar vijf jaar.

### 1.3.4 Hoge vochtigheid van samenstellende delen

Wanneer bouwmaterialen die veel vocht bevatten worden gebruikt dan is

het belangrijk om zeker te stellen dat de constructie in staat is om de vochtigheid weer te laten uitdrogen. Hoewel het nu normaal gebruik is geworden om voor bouw werken alleen droog hout te gebruiken, kan een enkele regenbui de hoeveelheid vocht in hout verhogen.

### Uitgedrukt in concrete cijfers:

Een dak met 8/18 spanten en een spantafstand van  $e = 0.70$  m heeft 1.5 strekkende meter aan spanten per  $m^2$  dakoppervlak. Bij 10 % vocht, bevat dit aantal spanten 1.1 liter water.

Bijgevolg:

Als de vochtigheid van het hout in het begin 30% bedraagt, dan moet het mogelijk zijn om 1.1 liter water per  $m^2$  dakoppervlak te laten verdampen om onder de schimmel-kritische grens van 20% vochtigheid te komen..

Deze voorbeeld berekening is ook van toepassing op het 20-mm dik houten dakbeschot. Het vochtgehalte van 10% houtvochtigheid komt overeen met ongeveer 1.2 liter water. Bij 30 % vocht in het begin, zeker geen uitzondering na een dag regen, is het belangrijk dat 1.2 liter water per  $m^2$  dakoppervlak verdampt om onder de schimmel limiet te komen.. In totaal bedraagt dit ongeveer 2.3 liter per  $m^2$  dakoppervlak. De totale hoeveelheid vocht wordt vaak onderschat. Bij betonconstructies kan de luchtvochtigheid van de nieuwbouw een extra hoeveelheid vocht toevoegen. Bouwschade ontstaat snel als dan een PE- plaat wordt geplaatst aan de binnen zijde en bitumen dakbedekking aan de buitenzijde.

### 1.3.5 Samenvatting vochtbelasting

De vele manieren waarop vocht kan binnendringen zijn een duidelijke aanwijzing dat in de dagelijkse bouwpraktijk, de mogelijkheid van vochtbelasting bij een bouwconstructie nooit kan worden uitgesloten. Wanneer het doel van de uitvoering is om te bouwen zonder de kans op schade, dan is het voorzien in meer drogingsreserves een veel meer effectieve en betrouwbare oplossing dan een strikte concentratie op het binnenlaten van zo weinig mogelijk vocht in de bouwconstructie.



**Veiligheids formule:**  
**drogingscapaciteit > vochtbelasting**  
**=> vrij van bouwschade**

Bouwschade kan alleen ontstaan wanneer de drogingscapaciteit minder is dan de vochtbelasting

„Hoe groter de drogingsreserves van een bouwconstructie zijn, des te beter kan het de onvoorziene vochtbelasting opnemen en de constructie vrijwaren van bouwschade “.

Bouwconstructies die open zijn voor diffusie aan de buitenzijde hebben een grotere drogingsreserve dan constructies met een diffusie-dichte buitenzijde.

.Beschermen  
wat van waarde  
is.

pro clima DB+ De  
ecologische oplossing voor  
luchtdichtheid



DB+ Damprem en luchtdichte afdichting

**DB+** cellulose vapour check

De vriendelijke oplossing



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

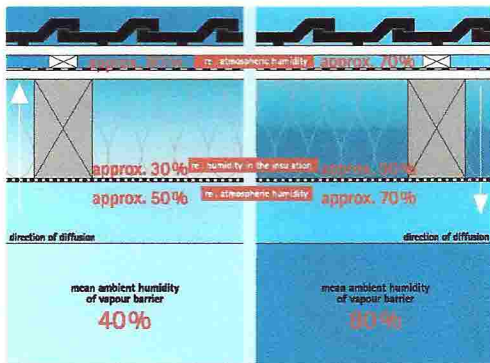
## 2. „Intelligente” folie

### Structurele luchtvochtigheid situatie

Diffusie stroom gaat altijd van de warme naar de koude zijde  
 In de winter:  
 Verhoogde vochtigheid aan de buitenzijde  
 In de zomer:  
 Verhoogde vochtigheid aan de binnenzijde

### 7. De damprem wordt bloot gesteld

- aan droge atmosferische vochtigheid in de winter.  
 > de vocht-variabele damprem bemoeilijkt diffusie
- aan hoog atmosferische vochtigheid in de zomer  
 > de vocht-variabele damprem is open voor diffusie



Seizoensgebonden afhankelijkheid van de relatieve luchtvochtigheid bij de damprem

### 8. Diffusie stromen van de vocht-variabele pro clima dampremmen

Diffusie stroom	$W_{\text{D}}$ -waarde in $\text{g m}^2$ per week in winter	$W_{\text{D}}$ -waarde in $\text{g m}^2$ per week in de zomer
Richting van diffusie	Naar onderdak: Bevochtiging	Naar de damprem: Verdamping
DB+	28	175
INTELLO®	7	560

### 2.1 Drogen naar de binnenzijde

Drogen naar de binnenzijde is een andere belangrijke optie voor bouwelementen. Wanneer de temperatuur van een isolatielaag aan de buitenzijde hoger is dan aan de binnenzijde, dan draait de diffusiestroom om en vocht stroomt vanuit het bouwelement naar binnen. Dit kan gebeuren op zonnige dagen in de lente en de herfst en des te meer in de zomer maanden.

Indien een damprem of luchtdichte laag open zou zijn voor diffusie, dan kan vocht dat aanwezig is in de constructie uitdrogen naar de binnenzijde.

Een diffusie-open damprem zou echter te veel vocht door diffusie toelaten in de constructie gedurende de winter en aldus de bouwschade verhogen.

Een bouwconstructie zou op het eerste gezicht goed beschermd lijken tegen vocht wanneer deze is uitgerust met dampremmen. Wanneer echter vocht binnendringt door convectie, flank diffusie of hoge vochtigheid van bouwelementen, dan is het systeem niet in staat om weer naar de binnenzijde te verdampen gedurende de zomer. Afhankelijk van het ontwerp wordt de damprem een vochtval. Een damprem met een hoge diffusie weerstand in de winter en een lage diffusie weerstand in de zomer is ideaal.

„Intelligente” dampremmen met een vochtvariabele  $s_d$  waarde hebben hun waarde nu al jaren bewezen. Zij wijzigen hun diffusie weerstand in relatie tot de relatieve atmosferische vochtigheid.

In winterse omstandigheden worden zij meer diffusie-dicht en beschermen de bouwconstructie tegen vocht. In de zomer zijn zij meer diffusie-open en laten vocht dat in de constructie aanwezig kan zijn, dan toe om te verdampen naar de binnen zijde.

### 2.2 Hoe Vocht-variabele diffusie weerstand werkt.

De richting van de diffusiestroom wordt bepaald door het verschil in waterdamp partiëlespanning, die afhangt van de temperatuur en vochtigheid van de lucht binnen en buiten een gebouw. Als we ons concentreren op het temperatuur aspect, vocht stroomt van de warme zijde naar de koude zijde, dus, in de winter van binnen naar buiten, in de zomer, van buiten naar binnen..

Metingen bij dak systemen hebben uitgewezen dat, in de winter het transport van vocht binnen de dak ruimte naar buiten bij de damprem een gemiddelde vochtigheid van 40% achterlaat. In de zomer daarentegen produceert vocht in de dak ruimte een verhoogde atmosferische vochtigheid op de damprem, daarbij wordt soms zelfs zomer condensatie gevormd. (zie afbeelding 7).

Vochtrekken met een vocht-variabele diffusie weerstand zijn dichter voor diffusie in een droge omgeving en meer open voor diffusie in een vochtige omgeving. pro clima DB+ heeft zijn waarde bewezen in miljoenen vierkante meters die werden geïnstalleerd sinds 1991, met een diffusie weerstand van 3.5 tot 0.8 m (16.5 tot 4 MNs/g).

Moll bauökologische Produkte GmbH ontwikkelde hun pro clima INTELLO® high-performance damprem in 2004. INTELLO® heeft 's werelds meest effectieve vocht-variabele diffusie weerstand 0.25 m tot over 10 m (1.25 tot over 50 MNs/g en daarmee geschikt voor ieder klimaattype (zie afbeeldingen 9– 11).

### 2.2.1 Hoge diffusie weerstand in de winter

De diffusie weerstand van de pro clima INTELLO® damprem is zo ontworpen, dat de rem een  $s_d$  waarde kan leveren van meer dan 10 m (50 MNs/g) bij winterse omstandigheden. Als gevolg, zal de damprem vrijwel geen vocht laten, doordringen in een bouwconstructie gedurende de winter wanneer de druk van de luchtvochtigheid op de constructie het hoogst is. Hetzelfde kan worden gezegd van buitengewone klimatologische omstandigheden zoals die voorkomen in de Alpengebieden, waar de winters koud en lang zijn. Een effectieve bescherming tegen vocht wordt ook gegeven voor daken met diffusiedichte onderdak platen (b.v. bitumen bedekking) en daken met flexibele metalen platen. In daken met diffusie-open onderdaken, is de hoge  $s_d$  een duidelijk voordeel in het geval van rijp en ijsvorming (= diffusie afsluiting) bij diffusie-open isolatiefolie. (zie afbeelding 10)

### 2.2.2 Lagere diffusie weerstand in de zomer

De diffusie weerstand in de zomer kan kan worden verlaagd tot een  $s_d$  van 0.25 m (1.25 MNs/g) en laat vocht dat in het dak aanwezig kan zijn toe, om snel te verdampen naar de binnenzijde. Afhankelijk van de grootte van het dampdrukverschil, komt dit overeen met een verdampingssnelheid van 5 tot 12 g/m<sup>2</sup> of H<sub>2</sub>O per uur overeenkomend met ongeveer 80 g/m<sup>2</sup> H<sub>2</sub>O per dag of 560 g/m<sup>2</sup> H<sub>2</sub>O per week. (zie afbeelding 7)

Deze hoge verdampingscapaciteit betekent dat een constructie van bouwelementen al in het voorjaar snel zal beginnen met uitdrogen.

### 2.2.3 Goed gebalanceerd diffusie profiel

In tijden van verbeterde niveaus van luchtdichtheid met bijbehorende hogere luchtvochtigheid in nieuwe gebouwen van metselwerk, wordt diffusie weerstand die zorgt voor een verhoogde luchtvochtigheid een belangrijke factor .

### 2.2.3.1 Nieuwe gebouwen: De 60/10 regel

Als gevolg van de recente voltooiing van een gebouw en de korte tijd van bezetting, is de relatieve vochtigheid binnen in een nieuw gebouw hoog. De diffusie weerstand van een damprem moet zodanig worden ontworpen dat een  $s_d$  waarde van tenminste 2 m (10 MNs/g) wordt bereikt zelfs bij gemiddeld 60 % relatieve luchtvochtigheid, ten einde de constructie adequaat tegen vocht te beschermen. Bij een relatieve vochtigheid van 60 % heeft INTELLO® een  $s_d$  waarde van 4 m (20 MNs/g).

### 2.2.3.2 Constructie tijd: De 70/7,5 Regel

Gedurende de bouwtijd, na het stuken of het installeren van een dekvloer, is de relatieve vochtigheid in een gebouw erg hoog. Bij een gemiddelde relatieve vochtigheid van 70 %, moet de diffusie weerstand van een damprem hoger zijn dan 1.5 m (7.5 MNs/g) teneinde de constructie te beschermen tegen overmatig binnendringen van vocht uit de bouwplaats en van schimmelgroei. Een effectieve bescherming tegen vocht is vooral nodig waar afgeleide houtproducten zijn gemonteerd aan de buitenzijde van de constructie. Bij 70 % met een  $s_d$  waarde van 1.5 m (7,5 MNs/g) overschrijdt INTELLO dit vereiste ruimschoots. In het algemeen moet bouwvocht zo snel mogelijk ontsnappen uit de constructie via open ramen. Ontvochtigers kunnen dit proces versnellen gedurende de winter.

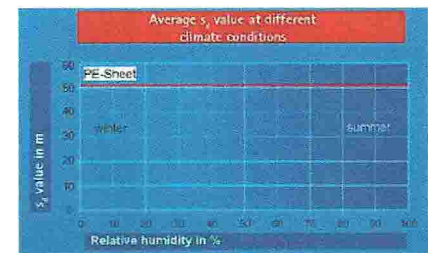
### 2.2.4 Maximale veiligheid

De 'intelligente' vocht-variabele dampremmen zorgen voor zeer betrouwbare, goed beschermde thermische isolatiesystemen, zelfs waar binnendringen van vocht in de constructie niet kan worden voorzien b.v. door ongunstige weersomstandigheden, lekken, flank diffusie, of een hoog vochtgehalte in hout of isolatiematerialen. De pro clima vocht-variabele dampremmen fungeren als een vocht transportpomp door het actief extraheren van onverwacht vocht dat aanwezig kan zijn in een deel van de constructie. Pro clima DB+ and INTELLO bieden een hoge veiligheid, zelfs in klimaten met een hoge luchtvochtigheid.

### Diffusie grafieken voor diverse dampremmen

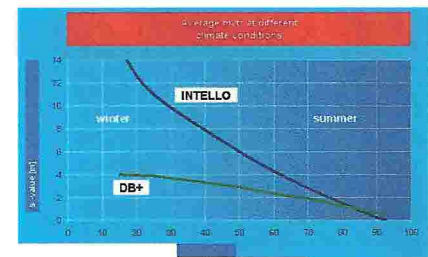
Hoe meer de diffusieweerstand varieert tussen winter en zomer, des te meer veiligheid en betrouwbaarheid wordt geboden door de dampremmen.

### 9. Diffusie grafiek voor een PE plaat. Geen vocht variabiliteit.



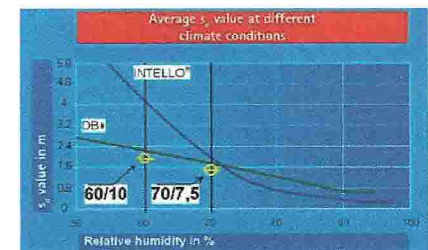
Constante  $s_d$ -waarde PE plaat

### 10. Diffusie grafiek pro clima DB+ en INTELLO. Gemiddelde en hoge vocht variabiliteit.



Vocht -variabele  $s_d$ -waarde pro clima DB+ en INTELLO

### 11. Diffusie grafiek INTELLO® Hoge vocht variabiliteit



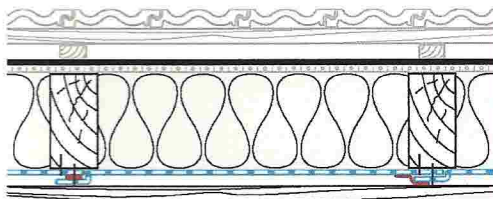
INTELLO en DB+ voldoen aan de 60/1 en 70/7.5 regel



# Het bepalen van het veiligheidspotentieel van een dak systeem

## Bouwkundig onderzoek van een dakconstructie

### 12. Ontwerp van een dakconstructie



- diffusie-dicht aan de buitenzijde (bitumen dakbedekking,  $s_d$  waarde = 300 m)
- 24 mm massief houten dakplaten
- Vezelachtige isolatie
- Dampremmen met verschillende  $s_d$  waarden
- regelwerk
- gips bouwplaten

Dak varianten :

- steil hellende daken met een helling van 40° gericht op het noorden, rode dakpannen van klei
- plat dak met 5 cm gravel
- groen dak met 5 cm gravel (18/32) en 8 cm plantaardig substraat met extensieve begroeiing

### 3.1 Diverse methoden voor berekening van vocht transport

Drogingsreserves zijn niet alleen het gevolg van diffusie processen, maar ook van sorptie en capillaire processen tussen de lagen van bouwelementen

#### 3.1.1 Berekening volgens Glaser EN ISO 13788

EN ISO 13788 berust nog steeds sterk op Glaser's methode, die de hoeveelheden condensatie in bouwconstructies berekent onder de veronderstelling van een maandelijks block klimaat.

#### 3.1.2 Berekening van gepaard warmte en vocht transport onder natuurlijke klimatologische omstandigheden

The Glaser methode verschaft een benadering voor het onderzoek van bouwconstructies, maar houdt geen rekening met de werkelijkheid. Aan de ene kant verschillen de block data van het werkelijke klimaat en aan de andere kant wordt geen rekening gehouden met belangrijke transport mechanismen als sorptie en capillariteit.

EN ISO 13788 geeft daarom aan dat deze methode niet geschikt is als middel om te bepalen of groene dak systemen worden gevrijwaard van bouwschade, waarbij warmte en vochttransport moet worden berekend aan de hand van een non-transient simulatie programma. Erkende software oplossingen op dit gebied zijn Delphin van het Instituut of Building Climatology in Dresden en WUFI door het Fraunhofer Institute of Building Physics in Holzkirchen. Deze programma's berekenen het gecombineerd transport van warmte en vocht in meerdere bouwlagen onder natuurlijke klimatologische omstandigheden samen met de temperatuur en vochtigheid, licht absorptie, wind, latente warmte, sorptie en capillariteit.

De programma's zijn herhaaldelijk bevestigd, dat wil zeggen dat het resultaat van de berekeningen is vergeleken met dat van

veldonderzoek. Actuele weer gegevens over een periode van 1 jaar zijn daarbij noodzakelijk voor waarden op uurbasis.

Klimaatgegevens zijn verkrijgbaar voor de gehele wereld, te weten Europa, Noord Amerika en Azië, inclusief temperatuur en buitengewone klimatologische regio's.

Om een normale simulatieve berekening te maken van het gecombineerd transport van warmte en vocht, onder gewone klimatologische omstandigheden, wordt de bouwconstructie in de volgorde van haar bouwlagen in het programma ingebracht, en worden de warmte en vochtstromen geanalyseerd over een periode van meerdere jaren onder randvoorwaarden die dicht aansluiten bij de werkelijkheid. Het resultaat laat dan zien of vocht zich heeft opgehoopt in de constructie, b.v. of het totale vochtgehalte van de constructie is gestegen in de periode van onderzoek, of dat het onderdeel droog is gebleven. Het is echter niet mogelijk met deze methode om de drogingsreserves van een constructie vast te stellen.

### 3.2 Berekening van de potentiële vrijwaring van bouwschade van een bouwconstructie

Een andere ingang wordt gebruikt om te berekenen hoe betrouwbaar en goed beschermd een bouwconstructie is tegen onvoorziene indringing van vocht b.v. als resultaat van convectie, flank diffusie, of toegenomen opgenomen vochtigheid.

De thermische isolatie wordt gehydrateerd bij het begin van de berekening en de snelheid waarmee dit vocht droogt wordt naar behoren onderzocht. **De hoeveelheid vocht die uit de constructie "wegdroogt" in relatie tot het extra toegevoegde vocht bepaalt het veiligheidspotentieel tegen bouwschade voordat de constructie essentiële schade lijdt.**

Met behulp van verschillende dampremmen, zijn berekeningen uitgevoerd van diverse bouwconstructies die vanuit het oogpunt van bouwfysica als moeilijk worden beschouwd: onder ongunstige omstandigheden (noordzijde), in verschillende klimaatzones (laag gelegen landen en alpine landen), met verschillende daktypes (steil-hellend, plat, groen). Minder geavanceerde systemen op het gebied van bouwfysica bieden natuurlijk een nog hoger niveau van veiligheidspotentieel.

### 3.2.1 Dak constructies

#### Ontwerp van de constructie:

(zie afbeelding 12 aan de linker zijde)

#### Dampschermen

- PE plaat

$s_d$  waarde/mvtr constant  
50 m (25 MNs/g)

- Dampfolie

$s_d$  waarde/mvtr constant  
2.3 m (12 MNs/g)

- pro clima DB+

$s_d$  waarde/mvtr humidity-variable  
2.3 m: 3.5-0.8 m  
(12: 17-4 MNs/g)

- pro clima INTELLO®

$s_d$  waarde/mvtr humidity-variable  
7.5 m: 10-0.25 m  
(38: 50-1.25 MNs/g)

#### dak varianten:

- steil-hellend met 40° helling naar de noordzijde, rode klei dakpan
- plat dak met 5 cm gravel
- groen dak met 5 cm gravel (18/32) en 8 cm grond met extensieve begroeiing

#### Locaties:

- Holzkirchen, Duitsland, Hoogte boven zeeniveau = 680 m
- Davos, Switzerland, Hoogte boven zeeniveau = 1,560 m

#### Berekening

- gebruik van WUFI 3.3 pro [10]
- vocht in de isolatie bij het begin: 4,000 g/m<sup>2</sup>

Een belangrijke factor bij het bepalen van bescherming tegen bouwschade en schimmelgroei is de terug-diffusie capaciteit in de zomer, en in samenhang daarmee, de mogelijkheid van de constructie om te verdampen naar de binnenzijde. Terug diffusie kan ontstaan wanneer de partiële luchtdruk aan de buitenzijde van de isolatie groter is dan aan de binnenzijde, of om het eenvoudiger te zeggen, wanneer de temperatuur aan de buitenzijde groter is dan in het woonvertrek. De beslissende temperatuur in deze context is die, welke is waargenomen aan de buitenzijde van de isolatie, niet die op het dakoppervlak. Dit betekent dat het van groot belang is om de hitte de benodigde tijd te geven om door te dringen in de lagen boven de isolatie. De warmte penetratietijd is korter voor een steil-hellend dak dan voor een plat dak met grave laag, of zelfs een groen dak. Platte daken zonder gravel bijvoorbeeld, hebben grotere veiligheidsreserves dan steil-hellende daken op de noordzijde.

De temperatuur aan de buitenzijde van de isolatie wordt beïnvloed door de temperatuur van de omgeving en door blootstelling aan zonlicht.

### 3.2.2 Klimaat gegevens: Holzkirchen Locatie

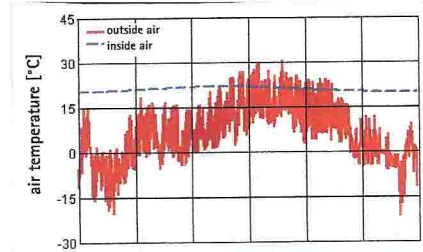
Holzkirchen ligt tussen München en Salzburg op 680 m boven zeeniveau. Het klimaat is typisch stevig en koud. Het volgende diagram toont het temperatuurverloop gedurende een jaar. De blauwe lijn geeft de binnentemperatuur aan. En de rode staven tonen de buitentemperatuur. (zie afbeeldingen 13-16).

Zonne- en algemene straling in aanmerking genomen, is de dakoppervlak temperatuur af en toe aanzienlijk hoger dan de luchttemperatuur. Als gevolg daarvan is terug diffusie in Holzkirchen mogelijk op veel dagen van het jaar, zelfs op de noordzijde en zelfs op zonnige dagen in de winter op de zuidzijde.

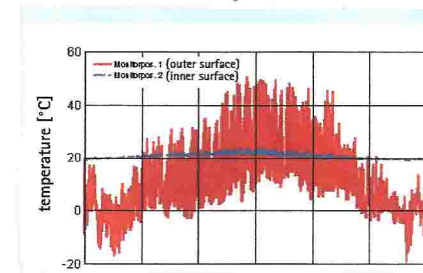
Onze eigen berekening is gebaseerd op de minst gunstige situatie t.w. op een 40° hellend dak op de noordzijde. De berekeningsperiode was tien jaar.

### Temperatuur grafieken, Holzkirchen 680 m boven zeeniveau, Zuid Bavaria, Duitsland Dak: rode pannen of gravel

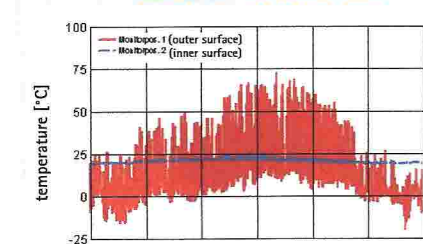
#### 13. Lucht temperatuur:



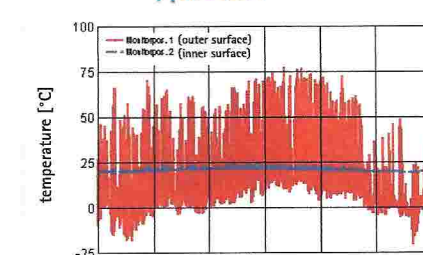
#### 14. Dak oppervlak temperatuur, noord zijde, 40° hellend dak



#### 15. Dak oppervlak temperatuur, zuid, 40° hellend dak



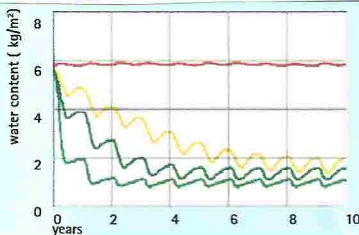
#### , plat dak



### Berekening van de potentiële vrijwaring van bouwschade in Holzkirchen, dak

Aangenomen extra vocht bij het begin: 4,000 g/m<sup>2</sup>  
 Vochtgehalte van de constructie in droge staat (= vochtgehalte van het dakbeschot bij 15 %): 1,700 g/m<sup>2</sup>

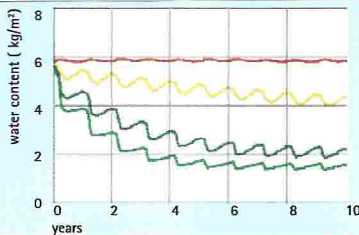
#### 17. Verloop van de droging bij overmatig Vocht, steil-hellend dak, noordzijde 40° dakhelling



Potential freedom from structural damage:

pro clima INTELLO®	= 4000 g/m <sup>2</sup> per year
pro clima DB+	= 2100 g/m <sup>2</sup> per year
$s_d$ -value 2,30 m constant	= 600 g/m <sup>2</sup> per year
$s_d$ -value 50 m constant	= < 10 g/m <sup>2</sup> per year

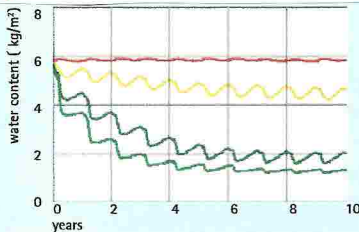
#### 18. Verloop van de droging bij overmatig vocht, groen dak met 13 cm grond/gravel



Potential freedom from structural damage:

pro clima INTELLO®	= 2000 g/m <sup>2</sup> per year
pro clima DB+	= 1000 g/m <sup>2</sup> per year
$s_d$ -value 2,30 m constant	= 10 humid
$s_d$ -value 50 m constant	= < 10 g/m <sup>2</sup> per year

#### 19. Verloop van de droging bij overmatig vocht, plat dak met 5 cm gravel



Potential freedom from structural damage:

pro clima INTELLO®	= 2100 g/m <sup>2</sup> per year
pro clima DB+	= 1300 g/m <sup>2</sup> per year
$s_d$ -value 2,30 m constant	= 10 humid
$s_d$ -value 50 m constant	= < 10 g/m <sup>2</sup> per year

### 3.2.3 Potentiële vrijwaring van bouwschade - Steil-hellend dak in Holzkirchen, Noordzijde, 40° dakhelling (zie afbeelding 17)

De verdampingsnelheid van het aangenomen extra vocht bij het begin, bepaalt de potentiële vrijwaring van de constructie voor bouwschade in verhouding tot onvoorzien vocht (convectie, flank diffusie, enz). Het is zichtbaar dat de PE plaat het niet mogelijk maakt de constructie uit te drogen.. vocht dat aanwezig is in de constructie kan niet langer ontsnappen.

Een damprem met een constante  $s_d$  waarde van 2.30 m (12 MNs/g) voorziet in een constructie die goed voldoet aan de normen van bouwfysica, maar de drogingsreserves van de constructie zijn minimaal. De constructie voorzien van pro clima DB+ verdampt veel sneller en heeft aanzienlijke veiligheidsreserves. De hoog-presterende INTELLO® damp membraan biedt de hoogste graad van veiligheidspotentieel voor de constructie. In een jaar kan de constructie, volgens de WUFI 3.3 pro [10] berekening, bevochtigd worden met 4.000 g/m<sup>2</sup> water zonder dat bouwschade ontstaat..

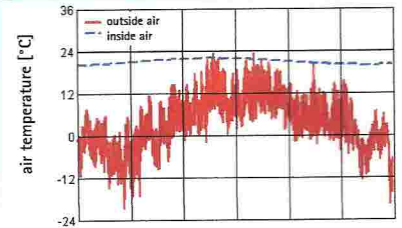
### 3.2.4 Potentiële vrijwaring van bouwschade - Groen dak en plat dak (zie afbeeldingen 18 en 19)

Beide constructies zijn niet zo veilig als het steil-hellend dak, omdat warmte er langer over doet om de dikke lagen van de bouw elementen te doordringen boven de thermische isolatie laag. Door de dunnere gravel laag biedt het platte dak een grotere veiligheid dan het groene dak. Net zoals bij het steil-hellende dak is het duidelijk dat verdamping niet kan plaatsvinden door de PE plaat, waardoor bouwschade al ontstaat bij een betrekkelijk laag niveau van onvoorzien vochtbelasting. Een veel te hoog vochtgehalte blijft in de constructie aanwezig bij een damprem met een constante  $s_d$  waarde van 2.30 m (12 MNs/g). Bouwschade zal in dit geval ook ontstaan. De constructie met pro clima DB+ droogt sneller uit en heeft grotere veiligheidsreserves.

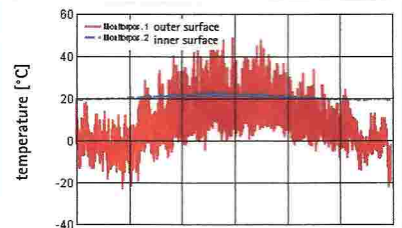
De hoog-presterende INTELLO® damp membraan biedt de hoogste graad van veiligheidspotentieel voor de constructie. In een jaar kan de constructie, volgens de WUFI 3.3 pro [10] berekening, respectievelijk, ongeveer 2.000 of 2.100 g/m<sup>2</sup> water verwerken zonder dat bouwschade ontstaat.

### Temperatuur verloop – Davos 1560 m boven zeeniveau; Zwitserland, rode pannen/gravel

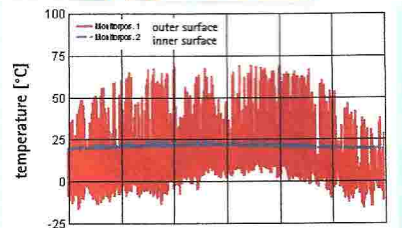
#### 20. Luchttemperatuur



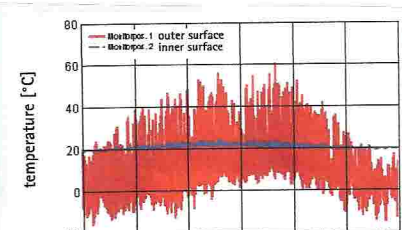
#### 21. Dak oppervlak temp. noord, 40° dak helling



#### 22. Dak oppervlak temperatuur, zuid, 40° dak helling



#### 23. Dak oppervlak temperatuur, plat dak



### 3.2.5 Klimaat gegevens - Davos Locatie

Davos ligt op 1.560 m boven de zeespiegel en heeft daardoor een alpine klimaat. De volgende grafieken tonen het temperatuur verloop voor de periode van een jaar. De blauwe lijn geeft de binnen temperatuur aan en de rode staven de buitentemperatuur. (zie afbeeldingen 20-23). Bij een eenvoudige observatie van de luchttemperatuur in Davos, is de buitentemperatuur slechts op enkele dagen per jaar hoger dan de binnentemperatuur. Wanneer de zon- en algemene straling in aanmerking worden genomen, dan is de dakoppervlak temperatuur hoger dan de luchttemperatuur. Op de noord gelegen daken echter zijn de temperaturen belangrijk lager dan in Holzkirchen, waardoor terug diffusie slechts op een paar dagen per jaar mogelijk is. De op het zuiden gelegen daken in Davos bereiken bijna dezelfde temperaturen als in Holzkirchen. Nacht-temperaturen gedurende de winter zijn specifiek voor alpine gebieden belangrijk lager. Om het effect van de zonstraling te minimaliseren hebben we onze berekeningen weer gebaseerd op de minst gunstige situatie t.w. een op het noorden gelegen dak met een 40° helling.

### 3.2.6 Potentiele vrijwaring van bouwschade - Steil-hellend dak in Davos, Noordzijde, 40° dakhelling

(zie afbeelding 24)

De zeer lage temperaturen in de winter verhogen de sterke neerslag van condensatie, zodat zelfs wanneer wordt aangenomen dat er geen onverwachte vochtbelasting zal zijn, een constructie vochtig wordt ondanks de aanwezigheid van PE plaat. Verzadiging gaat heel snel bij aanwezigheid van een damprem met een constante  $s_d$  waarde van 2.30 m (12 MNs/g). Zelfs pro clima DB+ is niet in staat om de constructie droog te houden.

De hoog-presterende INTELLO® damprem is de enige membraan die het juiste antwoord heeft in termen van bouwfysica, terwijl deze ook een hogere

veiligheidspotentie heeft. De constructie kan volgens de WUFI berekening in een jaar

800 g/m<sup>2</sup> extra water opnemen zonder bouwschade.

### 3.2.7 Potentiele vrijwaring van bouwschade - Groen dak en plat dak

(zie afbeeldingen 25 en 26)

Beide constructies zijn minder veilig dan het steil-hellende dak, omdat het voor warmte meer tijd kost om door de dikke bouwelement lagen boven de isolatie heen te dringen.

Zoals in de constructie berekening gebaseerd op Holzkirchen's klimaat data aangegeven, zal de PE plaat de constructie niet toelaten om uit te drogen en treedt bouwschade op zelfs bij een minimaal niveau van onvoorziene vochtbelasting.

Beide constructies verzadigen erg snel wanneer zij zijn uitgerust met een damprem met een constante  $s_d$  waarde van 2.30 m (12 MNs/g). Uitgerust met pro clima DB+, is de vochtigheid in het platte dak te hoog.

De hoog-presterende INTELLO® damprem verschaft een hoog veiligheidspotentieel voor het platte dak met 5 cm gravel, maar voor het grasdak is de buitentemperatuur in Davos onvoldoende om terug diffusie toe te laten.

### 3.2.8 Conclusies ten aanzien van dak constructies

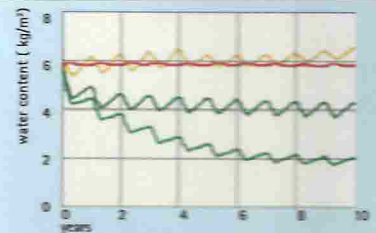
pro clima DB+ en INTELLO® biedt dak systemen met de hoogste graad van veiligheid voor de vrijwaring van bouwschade, zelfs bij aanwezigheid van extra vocht als gevolg van onvoorziene invloed factoren. INTELLO® and DB+ biedt ook compensatie bij flank diffusie in metselwerk zoals beschreven door Ruhe [4], Klopfer [5], [6] en Künzle [7].

In de afgelopen 10 jaar heeft pro clima DB+ een zeer goede reputatie opgebouwd met miljoenen vierkante meters succesvolle oplossingen vrij van bouwschade. Het gebruik van INTELLO® in combinatie met diffusiedichte steil hellende daken en platte daken met gravel in alpine gebieden toont voldoende potentieel voor het vrijwaren van bouwschade.

### Berekening van de potentiele vrijwaring van bouwschade in Davos, dak

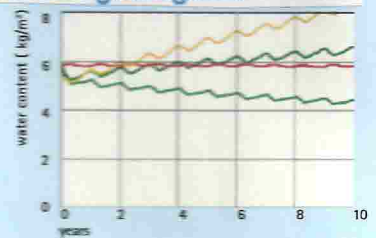
Wij verwijzen u naar de test voorwaarden op blz.12 in Holzkirchen

### 24. Potentiele vrijwaring van bouwschade - Steil-hellend dak in Davos, Noordzijde, 40° dakhelling



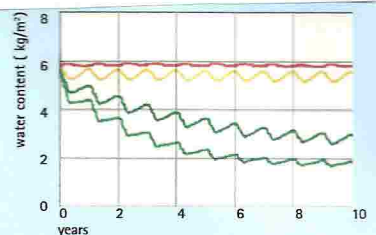
Potential freedom from structural damage: pro clima INTELLO® = 1500 g/m<sup>2</sup> per year  
 pro clima DB+ = to humid!  
 $s_d$ -value 2.30 m constant = humidification!  
 $s_d$ -value 50 m constant = < 10 g/m<sup>2</sup> per year

### 25. Potentiele vrijwaring van bouwschade - Groen dak met 13 cm grond/gravel



Potential freedom from structural damage: pro clima INTELLO® = 200 g/m<sup>2</sup> per year  
 pro clima DB+ = humidification!  
 $s_d$ -value 2.30 m constant = humidification!  
 $s_d$ -value 50 m constant = < 10 g/m<sup>2</sup> per year

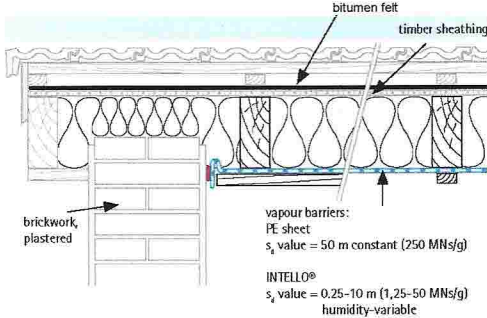
### 26. Potentiele vrijwaring van bouwschade plat dak met 5 cm gravel



Potential freedom from structural damage: pro clima INTELLO® = 1200 g/m<sup>2</sup> per year  
 pro clima DB+ = 500 g/m<sup>2</sup> per year  
 $s_d$ -value 2.30 m constant = < 10 g/m<sup>2</sup> per year  
 $s_d$ -value 50 m constant = < 10 g/m<sup>2</sup> per year

## 2-dimensionale berekening van warmte en vocht transport met gebruik van WUFI

### 27. Constructie ontwerp: Integreren van een muur

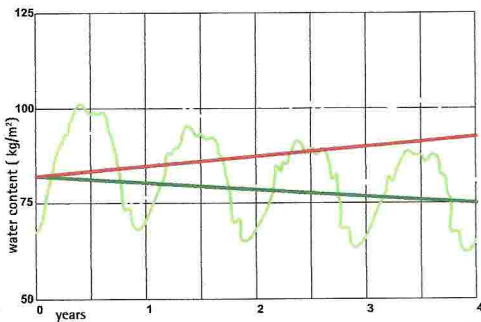


### 28. Toename van vocht bij gebruik van Een PE plaat

-----▶ VERZADIGING= bouwschade

Vermindering van vocht bij gebruik van INTELLO®

▶ VERDAMPING = vrijwaring bouwschade



Toenemend vochtgehalte in de constructie met PE plaat  $s_d$  waarde = 50 m constant (250 MNs/g)

Afnemend vochtgehalte in de constructie met INTELLO®  $s_d$  waarde = 0.25 - 10 m vocht variabel (1.25-50 MNs/g)

### 3.2.9 Flank Diffusie

Om de impact van binnendringen van vocht via bouwelement flanken vast te stellen moeten de aansluitingen tussen de geïntegreerde buitenmuren en de isolatie onderdelen worden onderzocht. Aan de buitenzijde bestaat de constructie uit diffusiedicht bitumen bedekking in de onderdak constructie. (zie afbeelding 27)

Metselwerk heeft doorgaans een aanzienlijk lagere diffusieweerstand dan de damprem en de luchtdichte afdichting van de aangrenzende hout constructies. Dit bevordert de diffusie van vocht door de flanken in de isolatie onderdelen.

Een nieuw gebouw gebruiken we hier als voorbeeld. In een nieuw gebouw hebben metselwerk en pleister gemiddeld een vochtgehalte van 30 kg/m<sup>3</sup>. Het vezelachtige isolatie materiaal is droog gemonteerd en de relatieve vochtigheid van het hout in het dak is ongeveer 15 %.

Een gebouw is uitgerust met diffusie remmend PE plaat ( $s_d$ -waarde 50 m = 50 MNs/g) die dient als een damprem en luchtdichte afdichting. Het tweede gebouw is uitgerust met de vochtvariabele pro clima INTELLO® ( $s_d$ -waarde 0.25 to 10 m = 1.25-50 MNs/g).

### 3.2.10 Resultaat van Twee-Dimensionale simulatieve berekening van warmte en vocht Transport

De resultaten die worden getoond in afbeelding 28 doen zich voor als een constructie wordt berekend met gebruik van de 2-dimensionale berekenmethode voor warmte en vocht transport zoals geïmplementeerd in WUFI 2D zie 2.1 .

Na een seizoensgebonden toename van het vochtgehalte, bereiken beide constructies vrijwel het zelfde niveau van vocht. In het geval van de PE plaat die dienst doet als damprem en een luchtdichte afdichting, kan een duidelijke toename van de totale hoeveelheid water worden waargenomen in ieder jaar gedurende een periode van 4 jaar (zie afbeelding 28 rode lijn). Deze constructie laat een toename zien van vocht in de gebruikte bouwmaterialen omdat de PE plaat vervolgens de droging naar de binnenzijde voorkomt.

Het resultaat is schimmelgroei op het hout en het begin van verval.

In de constructie die het hoog-presterende INTELLO® damprem gebruikt kan het vocht ontsnappen naar de binnenzijde. De constructie is beschermd tegen toename van vocht , omdat vocht snel wordt doorgelaten naar de binnenzijde. (zie afbeelding 28 groene lijn). Aldus neemt de hoeveelheid vocht geleidelijk af in de periode van 4 jaar. Deze constructie toont een hoge potentiële vrijwaring van bouwschade.

### 3.2.11 Muur constructies

Omdat muren verticaal staan absorberen zij minder licht dan dak constructies, dus is er minder mogelijkheid voor terug diffusie.

Gewoonlijk zijn muren, in tegenstelling tot daken, niet diffusiedicht aan de buitenzijde. Bitumen lagen worden niet gebruikt. Aan muren worden niet zulke hoge eisen gesteld met betrekking tot waterdichtheid als aan, zeg maar, een plat dak of een groen dak.

Temperaturen van buitenmuren hangen hoofdzakelijk af van de kleur van de gevel. De zonnestraling veroorzaakt lagere temperaturen op licht gekleurde gevels dan op donkere. De volgende temperatuur profielen op de buitenmuur zijn verkregen van een normale licht gekleurde gepleisterde gevel. (zie afbeeldingen 29-32)

Ook voor muur constructies biedt de hoog-presterende INTELLO® damprem een belangrijk potentieel voor vrijwaring van bouw schade. Bij gebruik van WUFI 3.3 pro [10] voor de berekening van een op het noorden gelegen buitenmuur in het Holzkirchen klimaat, met een bitumen deklaag ( $s_{d+}$  waarde = 300 m ( $m_{vtr}=1,500$  MNs/g)) aan de buitenzijde en een normale licht gekleurde gevel, biedt de constructie een aanzienlijk veiligheids potentieel als deze is uitgerust met de INTELLO® damprem.

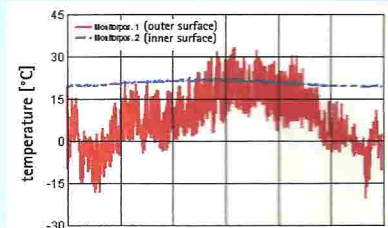
Zelfs in koudere klimaten, op alpine locaties zoals Davos, zijn muur constructies met bouwelementen buiten de isolatie, "veilig" met de INTELLO® hoog-presterende damprem zo lang deze lagen een  $s_{d+}$  waarde hebben van minder dan 10 m (50 MNs/g).

Bij toepassing van DB+, mogen de bouwelementen buiten de isolatie een max.  $s_{d+}$  waarde hebben van 6 m (30 MNs/g) voor het Holzkirchen klimaat en 0.10 m (0.5 MNs/g) voor Davos.

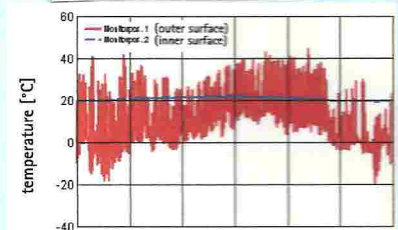
## Temperatuur verloop Holzkirchen en Davos Wand, lichtgekleurd, gepleisterde gevel

Muur temperaturen Holzkirchen  
locatie

### 29. Muur temperaturen, noord zijde

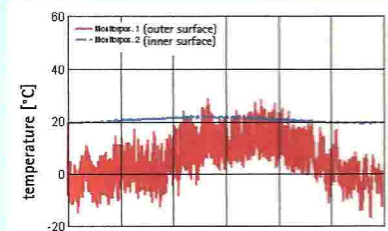


### 30. Muur temperaturen, zuid zijde

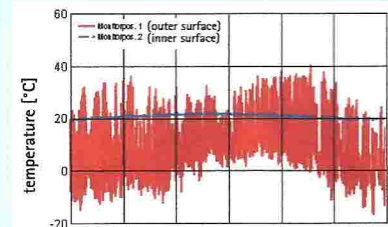


Muur temperaturen Davos  
locatie

### 31. Muur temperaturen, noord zijde



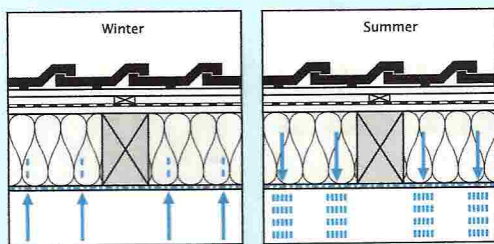
### 32. Muur temperaturen, zuid zijde



## 4. Aanbevelingen voor ontwerp

### Randvoorwaarden voor de effectiviteit van vocht variabele membranen

Aan de binnenzijde mogen alleen bouwelementen worden gebruikt die, diffusie-open zijn teneinde de verdamping van vocht door terug diffusie naar het interieur te bevorderen.



### 4.1 Constructies

Deze bouwfysische onderzoeken gebaseerd op werkelijke klimaat gegevens, tonen de zeer grote mogelijkheden aan voor vrijwaring van bouwschade die geboden worden bij het gebruik van de hoog-presterende pro clima INTELLO® damprem (die de meest effectieve variabele diffusieweerstand heeft voor ieder klimaat gebied) en de pro clima DB+ vocht variabele damprem die zijn waarde nu al heeft bewezen gedurende een periode van meer dan tien jaar.

pro clima DB+ en INTELLO® bieden een hoog niveau van veiligheid voor constructies zelfs bij een hoge vochtbelasting.

Dit vereist een situatie zonder schaduw, b.v. geen bomen of naburige gebouwen die schaduw veroorzaken.

### 4.2 Samengestelde lagen binnen

Hoge veiligheidsreserves hangen af van ongehinderde verdamping naar het interieur. Samengestelde bouwlagen binnen de vochtvariabele damprem met een diffusie remmend effect (hout en materialen zoals OSB platen of laminaat) verminderen de hoeveelheid vocht die terug verdampt wordt naar binnen en minimaliseren daarmee de mogelijke vrijwaring van bouwschade. Materialen met een open structuur zijn veel gunstiger, bijvoorbeeld lambrisering, houtwol platen met pleister en gipsplaten.

### 4.3 Permanent vochtige ruimtes

Vocht variabele dampremmen kunnen niet worden gebruikt in een omgeving met een permanent vochtig klimaat b.v. zwembaden, tuincentra of grootschalige horeca.

### 4.4 Vochtige ruimtes in woningen

Natte of vochtige kamers in woningen worden niet meer dan tijdelijk blootgesteld aan verhoogde luchtvochtigheid. Tijdelijke vochtbelasting van deze aard hindert de functie en veiligheid niet die geboden wordt door pro clima DB+ of INTELLO®.

### 4.5 Bouwvocht op de bouwplaats

De damprem dient te worden aangebracht zodra de isolatie geplaatst is, om zodoende de ontwikkeling van condensatie in de isolatie te voorkomen.

Daarnaast, dient de relatieve vochtigheid op de bouwplaats niet hoger te zijn dan 75% in de winter. Na stucwerk en het aanbrengen van dekvloeren dienen voorzorgsmaatregelen te worden genomen om een goede ventilatie te garanderen. Indien noodzakelijk dient een drogingsinstallatie te worden geplaatst (b.v. een luchtontvochtiger). Het diffusie profiel van de vocht variabele pro clima damprem verzekert dat de diffusie weerstand van de damprem hoger is dan 1 m (5 MNs/g) bij een relatieve vochtigheid van 75%. De vochtbelasting van de constructie tijdens de bouwfase als gevolg van ongewenst vocht kan zo worden geminimaliseerd. Verhoogde atmosferische luchtvochtigheid tijdens de bouwfase dient echter te worden vermeden, omdat de mogelijke vrijwaring van bouwschade dan wordt verminderd door vochtbelasting.

### 4.6 Onderdak systemen

Diffusie-open materialen zijn de beste keuze voor onderdak systemen (b.v. houtvezel platen, SOLITEX-onderdak folies met een niet-poreus, doordringbaar membraan), en bieden uitstekende voorwaarden voor het verdampen naar buiten.

Constructies met diffusiedichte bouwelementen aan de buitenzijde, b.v. bitumen lagen, platte daken, groene daken en daken met flexibele metalen bedekking, verminderen de veiligheid van de constructie vanuit het oogpunt van bouwfysica. Massief houten bekleding biedt meer veiligheid dan afgeleide houtproducten (b.v. OSB), omdat hout een vochtvariabele diffusie weerstand heeft en geleidend is door capillaire werking. INTELLO®'s hoge graad van vocht variabiliteit biedt een zeer hoog veiligheidspotentieel, ook in vergelijking met afgeleide houtproducten. Dit soort panelen of platen dient te worden vermeden bij diffusiedichte dak systemen bij gebruik van pro clima DB+.

#### 4.7 Steil-hellende dak systemen

Drogingsreserves zijn dermate hoog wanneer pro clima DB+ of INTELLO® dampremmen worden gebruikt in combinatie met diffusie open constructies dat er geen begrenzing is aan de hoogte van de bouwplaats, waardoor constructies nog veilig zijn op hoogtes boven de 3000 m. De begrenzingen in afbeelding 33 dienen te worden gelezen met betrekking tot diffusiedichte steil-hellende dak constructies. (b.v. bitumen deklaag).

#### 4.8 Platte daken en groene daken

Platte daken hebben altijd een diffusiedichte laag aan de buitenkant, die dient als waterafdichting en beschermt tegen wortels. In het algemeen kunnen deze daken niet effectief worden geventileerd, doordat er geen luchtstroming is door de afwezigheid van een dakhelling.

De isolatielaag wordt door de zonnestraling veel minder opgewarmd aan de buitenzijde naarmate er meer gravel of substraat (groen dak) op het platte dak ligt. Terug diffusie wordt als gevolg verminderd en veiligheidsreserves zijn lager. In dit geval biedt de vochtvariabele diffusie weerstand van de hoog presterende INTELLO® damprem de constructie een hoge graad van veiligheid tegen bouwschade, zelfs bij onvoorziene vochtbelasting. Onze simulatieve berekeningen gebaseerd op werkelijke klimaat gegevens toonden de beperkingen van het gebruik op platte daken. (zie afbeelding 34).

Platte daken en groene daken behoren tot de meest veeleisende en kritische isolatie constructies op het gebied van bouwfysica. pro clima INTELLO® biedt de veiligste oplossing voor deze constructies als gevolg van de zeer hoge vocht variabiliteit van de diffusie weerstand. Vocht dat aanwezig is of is binnengedrongen in de constructie kan voor een groot deel verdampen zonder dat opnieuw bevochtiging optreedt. Voor de hoogste graad van beveiliging dienen platte daken en groene daken te worden uitgerust met de INTELLO® damprem.

#### 4.9 Dak systemen in Alpine gebieden

Diffusiedichte steil hellende daken kunnen veilig worden geconstrueerd met INTELLO® tot een hoogte van 1.600 m met een hoog potentieel voor vrijwaring van bouwschade. Diffusiedichte steil hellende daken geconstrueerd met INTELLO® hebben een hoog potentieel voor vrijwaring van bouwschade zelfs in arctische klimaten zoals Alaska (b.v. in Anchorage) en Rusland (b.v. in Yakutsk). In hogere gebieden zoals 1.600 m in Europa zou diffusiedichte onderdak ventilatie moeten worden overwogen. Ventilatie systemen moeten echter voldoen aan specifieke eisen als gevolg van de lang perioden van sneeuw op het dak.

Indien gewenst, neem dan s.v.p. contact op met de pro clima hotline voor advies over constructiedetails.

#### 4.10 Wanden

Omdat wanden veel minder blootgesteld worden aan zonnestraling, hebben zij minder terug diffusie potentieel en zij hebben daarom een lagere veiligheidsreserve. Zie afbeelding 35 voor wand diffusieweerstand buiten de isolatie.

### Toepassings mogelijkheden voor INTELLO® and DB+

#### 33. Steil hellende daken

Constructie	INTELLO®	DB+
Voor diffusiedichte constructie aan de buitenzijde zonder ventilatie, (geen schaduw, geen hinderende lagen binnen)	tot 1.600 m boven zee niveau	tot 1.000 m boven zee niveau, geen afgeleide hout producten
constructies onderdak en diffusie-open	Geen hoogte limiet	Geen hoogte limiet

#### 34. Plat dak en groen dak

Constructie	INTELLO®	DB+
Plat dak met max. 5 cm gravel, zonder ventilatie, (geen schaduw, geen hinderende lagen binnen)	tot 1.600 m boven zee niveau	tot 800 m boven zee niveau, geen afgeleide hout producten
Groen dak met max. 15 cm gravel en substraat, zonder ventilatie, (geen schaduw, geen hinderende lagen binnen)	tot 1.000 m boven zee niveau	tot 800 m boven zee niveau, geen afgeleide hout producten

#### 35. Wanden

Constructie	INTELLO®	DB+
Bouwlagen buitenzijde, muren tot op een hoogte van 700 m (geen hinderende lagen binnen)	Diffusie weerstand onbeperkt	Diffusie weerstand Max 6 m
Bouwlagen buitenzijde, muren tot op een hoogte van 1.600 m (geen hinderende lagen binnen)	Diffusie weerstand o max. 10 m	Diffusie weerstand max. 0.10 m



## Installation in five easy steps

### 1. Bevestiging



### 2. Verbindingen



### 3. Bevestiging aan gevels



### 4. Bevestiging aan ramen



### 5. Aansluiting op kruispunten



## 5.1 Voor Board-Type en Mat-Type Isolatie Materialen

Installeer INTELLO® met de folie zijde (belettering) naar de kamer.

INTELLO® zal nog functioneren in bouw fysische termen als het met de stof naar de kamerzijde wordt bevestigd. Druk de zelfklevende tape goed vast. Bevestiging aan de folie zijde heeft de voorkeur pro clima DB+ is symmetrisch ontworpen, zodat de zijde van de damprem die naar het interieur is gekeerd, kan worden gekozen naar eigen inzicht.

## 5.2 Richting van installatie

pro clima INTELLO® en DB+ folie mogen horizontaal of parallel op de dragende constructie worden bevestigd. Bij parallel installatie op het regelwerk moet de folie met overlap bevestigd worden. Bij horizontale installatie mag de tussenruimte van het regelwerk niet meer dan 100 cm bedragen.

## 5.3 Aanbevolen pro clima Componenten voor bevestiging

Elk van de pro clima's zelfklevende tapes is geschikt voor bevestiging van de overlap van de folies. Speciaal aanbevolen worden pro clima RAPID CELL snelle kleefband en de UNI TAPE universele kleefband voor pro clima DB+ en INTELLO®.

TESCON PROFIL kleefband met een hoge lekbestendigheid en een dubbel verdeelde apart afrekbare folie is het meest geschikte type voor verbindingen met ramen en deuren en hoekverlijming

ORCON F aansluitlijm (voor INTELLO®) en ECO COLL (for DB+) biedt een betrouwbare verbinding met aangrenzende bouwdelen (gepleisterde gevelmuur, bijvoorbeeld. CONTEGA PV aansluitband met geïntegreerde pleisterwapening verzekert een zeer goede verbinding met ongepleisterd metselwerk.

Zie s.v.p. onze 'pro clima System Interior Sealing' brochure voor verdere informatie.

## 5.4 Inblaas isolatie materialen

pro clima DB+ kan gebruikt worden als de begrenzende laag voor allerlei soorten inblaas isolatie materiaal. Eronder dienen dwarslatten als ondersteuning te worden aangebracht met een onderlinge tussenruimte van maximaal 65 cm om het gewicht van de isolatie te dragen. Zie pro clima systeem brochure voor verdere details over het aanbrengen.

Omdat het zeer gemakkelijk rekt is de hoog-presterende INTELLO® damprem niet geschikt als een middel om inblaas isolatie materiaal aan de binnenzijde te begrenzen. Dat doel wordt het best gediend met INTELLO® PLUS gewapend met robuuste PP stof die dezelfde vrijwaring voor bouwschade biedt. Zie s.v.p. 'pro clima System Interior Sealing' voor verdere details.

## 5.5 Schuim isolatie materialen

Variabele diffusieweerstand heeft maar een gering voordeel in combinatie met schuim-type isolatie materialen, omdat terug diffusie aanzienlijk wordt afgeremd. Daarom moet schuimisolatie worden vermeden in constructies omdat zij een bouw fysische uitdaging creëren bijvoorbeeld voor systemen die diffusiedicht zijn aan de buitenzijde.

## 5.6 Maatvastheid

De hoog-presterende INTELLO® damprem zal niet krimpen en kan strak geïnstalleerd worden. INTELLO® is zeer geschikt om uit te rekken zonder te scheuren.

pro clima DB+ krimpt licht na bevochtiging gevolgd door droging, zodat de folie niet te strak uitgerekt dient te worden. Een expansie lus dient te worden aangebracht bij verbindingen met aangrenzende bouwelementen om bewegingen van componenten op te vangen.

## 5.7 Mechanische Sterkte

INTELLO® en DB+ zijn goed bestand tegen het verwijderen van spijkers, dus de folie is goed beschermd op de verbindingpunten tegen splijten en scheuren.

## 5.8 Doorschijnende Structuur

De hoog-presterende INTELLO® damprem membraan is doorschijnend, wat betekent dat materialen achter de folie daar doorheen kunnen worden waargenomen. INTELLO® is niet volledig transparant, zodat de randen van de folie goed zichtbaar zijn, een voordeel bij het aanbrengen op aangrenzende bouwelementen, zoals nokgordingen, middengordingen, dakvensters en schoorstenen en bij het verlijmen van folie overlappingsen.

## 5.9 Hergebruik en ecologische overwegingen

De hoog-presterende INTELLO® damp membraan en INTELLO®Plus is gemaakt van 100% polyolefine – de bijzondere membraan is gemaakt van een polyethyleen copolymeer en het weefsel is polypropyleen-en kan dus eenvoudig gerecycled worden.

pro clima DB+ bestaat voor 50% uit recyclebare cellulose en kan alleen thermisch gerecycled worden door de glasfiber inlay

## 6. Samenvatting

Bouwconstructies waarin DB+ en INTELLO® gebruikt worden hebben zeer hoge veiligheidsreserves, die beschermen tegen bouwschade en schimmel. Zelfs waar vochtbelasting is onvoorzien, of waar het onvermijdelijk is in de normale bouw praktijk, bieden de hoge drogingsreserves van deze vochtvariabele veiligheidsdamprem membranen aan constructies een zeer hoge mate van vrijwaring tegen bouwschade.

De hoog-presterende INTELLO® damprem heeft de meest effectieve vochtvariabele diffusie weerstand van de wereld in iedere klimaat zone en biedt thermische isolatie het allerbeste voor een veilige – zowel bij constructies die open zijn voor diffusie aan de buitenzijde, als bij meer uitdagende voorbeelden van bouwfysica zoals een plat dak, groen dak, dak met diffusiedichte onderlaag of een dak met flexibel metalen plaat..

INTELLO® presteert ook effectief onder uitzonderlijke klimatologische omstandigheden, zoals die zich bijvoorbeeld voordoen in alpine regionen. De pro clima DB+ biedt een hoge graad van veiligheid voor dak systemen tot gemiddelde hoogtes (b.v.. Holzkirchen locatie). Volgens DIN Standard 68 800-2, behoeven chemische houtverduurzamingsmiddelen niet te worden gebruikt waar vochtvariabele dampmembranen zijn geïnstalleerd. pro clima biedt een zesjarige systeem garantie om maximale veiligheid en bescherming te bieden.

Nogmaals, met de damprem men luchtdichting INTELLO®and DB+, wordt de pro clima veiligheidsregel wederom in praktijk gebracht.

**„Hoe groter de verdampingsreserves in een constructie zijn, des te meer onverwachte vochtbelasting het kan absorberen en toch gevrijwaard blijven van bouwschade “.**

pro clima's „Inside Sealing“ brochure bevat verdere informatie over het werken met en installeren van dit product. Contact pro clima's technische 'hot line' op

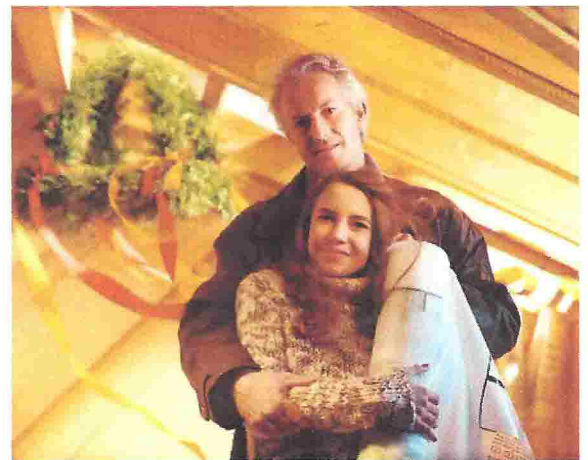
Tel: +49(0)62 02 - 27 82 45

Fax: +49(0)62 02 - 27 82 51

email: [technik@proclima.de](mailto:technik@proclima.de)

Unieke veiligheid voor  
jong en oud  
over de hele wereld

INTELLO® - intelligente en  
ecologische schimmel  
protectie



INTELLO® damprem en luchtafdichting

**INTELLO®**

The intelligent membrane for your home



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

## Bibliografie

- [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.wuf.de](http://www.wuf.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 3.3 pro (Wärme- und Feuchte instationär);  
PC-Programm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen Fraunhofer Institut für Bauphysik Infos unter [www.wuf.de](http://www.wuf.de)

## INFO

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

**MOLL bauökologische Produkte GmbH**  
Ecological Building Products

Rheintalstraße 35 – 43  
68723 Schwetzingen  
Germany

Tel: +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)