

# Grundlagen und *Theorie*



### ■ Dampfdiffusion in Wohnbauten

Eine Betrachtung der bauphysikalischen Vorgänge in einfachen Worten.

Seite 8 – 21

### ■ Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

Notizen zu diesem Thema angesichts der SIA Norm 180 und 232.

Seite 22 – 35

### ■ Winddichtigkeit der Gebäudehülle

Funktion und Anforderung, sowie der Vergleich mit der Luftdichtigkeit. Die Bedeutung der SIA Norm 233.

Seite 36 – 39

### ■ Austrocknungskapazität in Holzbauteilen

Erklärung von Sinn und Zweck sowie Tips für die Ausführung.

Seite 40 – 43

## ■ 1. Vorwort

1.1. Ein Unternehmen stellt sich vor	4
1.2. Lieferprogramm	5
1.3. Feuchtigkeitsschäden an wärme gedämmten Steildächern und Aussenwänden	6
1.4. Hauptgründe für Feuchtigkeitsschäden von innen	7

## ■ 2. Dampfdiffusion

2.1. Der Wasserdampf	8
2.2. Die Luftfeuchtigkeit	9
2.3. Der Wasserdampf in Wohnhäusern	11
2.4. Die Wasserdampfdiffusion	12
2.5. Die Wasserdampfkondensation	14
2.6. Die Vermeidung der Kondensationsgefahr	18
2.7. Dampfbremsen und Dampfsperren	19
2.8. Die möglichen Probleme bei Dampfbremsen und Dampfsperren	20

## ■ 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

3.1. Voraussetzungen zur Vermeidung von Wärmeverlusten	22
3.2. Der Lüftungswärmeverlust	23
3.3. Der Luftwechsel	24
3.4. Die Luftwechselrate	25
3.5. Die SIA Norm 238 «Wärmedämmung in Steildächern»	26
3.6. Die Begriffe und Definitionen	27
3.7. Die Luftdichtigkeitsschicht und Dampfbremse oder Dampfsperre	28
3.8. Die Luftdichtigkeit kann man planen	29
3.9. Die Anschlüsse bei Materialübergängen	30
3.10. Die Durchdringungen	31
3.11. Die Installationsebene	32
3.12. Tips für die Praxis	33
3.13. Die erhöhten Anforderungen an die Luftdichtigkeit	34
3.14. Die Systeme für tiefe Luftwechselraten	35

## ■ 4. Winddichtigkeit

4.1. Die Winddichtung	37
4.2. Die Anforderungen an eine Winddichtung	38
4.3. Die richtige Ausführung der Winddichtung	39

## ■ 5. Austrocknungskapazität

5.1. Das Risiko von Pilzbefall	41
5.2. Die Voraussetzungen für eine hohe Austrocknungskapazität $W_y$	42
5.3. Beispiele für Konstruktionen mit hoher Austrocknungskapazität $W_y$	43

## ■ Anhang

1 Taupunkt- oder Sättigungstemperatur der Luft $\vartheta_T$	44
2 Wasserdampfsättigungsdruck und Wassergehalt	45
3 Die 10 Gebote der Dampfdiffusion	46
4 Literaturhinweise	47

- Wasserdampf ist unsichtbar. Er scheint uns zumeist nicht vorhanden zu sein. Um so deutlicher macht er sich bemerkbar, wenn er in Form von Tauwasser auf der Oberfläche eines Bauteils (zum Beispiel Fenster) oder gar als Schadenursache in einer Konstruktion auftritt.
- Vielen Baufachleuten ist die eigentliche Ursache dieses physikalischen Vorgangs immer noch unklar. Sie sind daher nicht in der Lage, die richtige Konstruktion zu bestimmen bzw. praxismgerechte Problem- und Detaillösungen zu finden. Dies wird uns immer wieder bestätigt durch Bauschäden, welche auf die Missachtung von ganz einfachen Grundregeln zurückzuführen sind.
- Die Luft- und Winddichtigkeit der Gebäudehülle hat ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Feuchtebelastung der einzelnen Bauteile. Diesbezügliche Schwachstellen verschärfen die Gefahr von Wasserdampfkondensaten in den Bauteilen oder konzentrieren den Tauwasseranfall auf die kritischen Stellen.
- Die Austrocknungskapazität beschreibt diejenige Wassermenge, die durch Diffusion während der Austrocknungsperiode abgegeben werden kann. Sie ist massgebend für die Fähigkeit einer Konstruktion, sich bei unbeabsichtigt entstehender Feuchtigkeit selbst wieder zu retten. Systeme mit hoher Austrocknungskapazität erlauben es der Konstruktion, innerhalb kurzer Zeit die übermässige Feuchtigkeit wieder abzugeben, sodass in der Regel keine Schäden an Bauteilen entstehen.
- Die Norm SIA 238 «Wärmedämmung im Steildach» wurde ersetzt und in die Normen SIA 232 «Geneigte Dächer» und SIA 233 «Bekleidete Aussenwände» überführt. Die inhaltlichen Forderungen der alten SIA 238 werden in diesen Normenwerken neu formuliert und definiert. An der Forderung nach luftdichter Planung und Ausführung der Gebäudehülle wird indes auch in den neuen Normen unverändert festgehalten.
- Wir möchten mit dieser Schrift einen Beitrag leisten, solche Schäden zu vermeiden, indem wir versuchen, dem Leser die umfangreichen Themen «Dampfdiffusion, Luftdichtigkeit, Winddichtigkeit und Austrocknungskapazität» in einfacher und leicht verständlicher Form näherzubringen. Wir verzichten bewusst auf eine theoretische Abhandlung mit Diffusionsberechnungen und unendlichen Tabellen, sondern beschränken uns darauf, diese Vorgänge anhand von einfachen Beispielen aufzuzeigen. Der Vollständigkeit halber haben wir im Anhang Auszüge aus den wichtigsten Tabellen aufgeführt.

Ihr Ampack-Team

# 1.1 Ein Unternehmen stellt sich vor



## ■ Ursprung

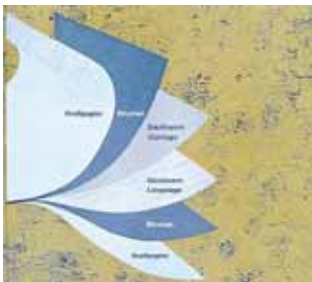
Die **Ampack, 1946 gegründet**, war ursprünglich in der Verpackungsindustrie tätig. Sie entwickelte ihr Know-how aus dem wasser- und feuchtesten Verpacken von Grossmaschinenanlagen für Überseetransporte hin zu bauphysikalisch und bautechnisch ausgereiften Gesamtlösungen für die Bauindustrie. Die ständige Weiterentwicklung dieses Wissens in Zusammenarbeit mit weltweit führenden Herstellern und Branchenverbänden garantiert ein beständig wachsendes und praxisgerechtes Leistungsangebot.



**Firmenänderung**  
Die bekannte Firma Ampack American Packaging Supply, Hungerbühler & Lenn, Kommanditgesellschaft, Rorschach, ist nach beendeter Liquidation erloschen. Aktiven und Passiven sind von der Nachfolgefirma Ampack AG in Rorschach übernommen worden. Das voll liberierte Grundkapital beträgt 400 000 Franken. Dem Verwaltungsrat gehören an Herr Max Zürcher als Präsident und Herr Erich Deschwanden als Delegierter. Geschäftsdomicil Promenadenstrasse 94/96, Rorschach. SHAB 3.3.1960.

## ■ Entwicklung

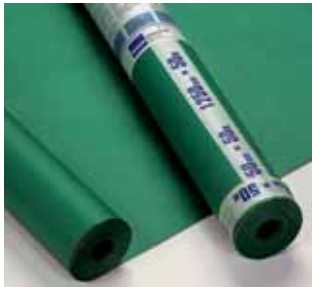
Die **Ampack AG** befasste sich als erstes Unternehmen der Schweiz systematisch mit den Themen Luftdichtigkeit der Gebäudehülle und Dampfdiffusion in Wohnbauten. Schon früh haben wir erkannt, dass bauphysikalische Vorgänge in Gebäuden in direktem Zusammenhang mit dem Wohlbefinden seiner Bewohner stehen.



## ■ Gegenwart und Zukunft

Heute, nach über **50 Jahren** Tätigkeit, ist die **Ampack AG** einer der führenden Anbieter von Lösungen zur Abdichtung der Gebäudehülle gegen Dampf, Luft, Wind und Wasser im gesamten mitteleuropäischen Raum. Dies wollen wir auch bleiben.





### ■ Winddichtungen

Wasserabweisende und dampfdurchlässige Deckschichten aus Papier für Wärmedämmungen in Fassaden.

**Tyvek® H1**  
**Sisalex™ 50**



### ■ Dampfbremsen

Bahnen aus Papier oder Kunststoff zur Kontrolle der Dampfdiffusion und zur Ausbildung der Luftdichtigkeitsschicht.

**Sisalex™ 500, Sisalex™ 510**  
**Ampatex® DB 2**  
**Ampatex® DB 90**



### ■ Unterdachbahnen

Wasserabweisende, aber dampfdurchlässige Abdecklagen zum Schutz der Konstruktion und der Wärmedämmung im Steildach.

**Tyvek® X1, X2, X3**  
**Tyvek® Active Membrane**



### ■ Dampfsperren

Bahnen aus Papier zur Eliminierung der Dampfdiffusion und zur Ausbildung der Luftdichtigkeitsschicht.

**Sisalex™ 514**



### ■ Rieselschutz

Bahnen aus Papier zum Schutz vor Staubpartikeln aus Wärmedämmungen und Ausgleichsschüttungen.

**Sisalex™ 30**



### ■ Feuchtigkeitssperren

Bahnen aus Papier zum Schutz vor aufsteigender und kapillarer Feuchtigkeit.

**Sisalex™ 518**



### ■ Schalungsbahnen

Bahnen aus Papier oder Kunststoff für Aufsparrendämmungen oder Vordeckungen als temporärer Witterungsschutz, zur Kontrolle der Dampfdiffusion und zur Ausbildung der Luftdichtigkeitsschicht.

**Ampatex® SB 130**  
**Ampatop® 25**



### ■ Klebetechnik

Klebe- und Abdichtungsprodukte für die dauerhaft luftdichte Ausbildung von Überlappungen, Randanschlüssen und Durchdringungen. Sie ergänzen die anderen Produkte zu einem optimal abgestimmten, verarbeitungsfreundlichen, sicheren und dauerhaften System.

## 1.3 Feuchtigkeitsschäden an wärmedämmten Steildächern und Aussenwänden



Viele Gebäudehüllen weisen Mängel auf! Diese betreffen nicht nur die Wärmedämmung, sondern oft auch die Dampfbremse, -sperre und Luftdichtungsschicht. Diese Mängel führen glücklicherweise nicht immer zu Bauschäden, oft zeigen sie sich lediglich als Einschränkung des Wohnnutzens oder des Wohlbefindens (Wärmeverlust, Zugluft usw.). Allzuhäufig jedoch sind sie Ursache für Bauschäden mit weitreichenden Folgen.



### ■ Feuchtigkeit von aussen

Eine undichte Aussenhaut führt unweigerlich zu Feuchtigkeitsschäden in der Wärmedämmung und der Tragkonstruktion. Das weiss heute jeder. Also wird dem Schutz gegen Wettereinflüsse grösste Beachtung geschenkt.



### ■ Feuchtigkeit von innen

Wie kommt es aber trotz wasserabweisender Wetterhaut zu Feuchtigkeitsschäden in wärmedämmten Steildächern? Warum wird die ganze Konstruktion derart nass, dass Wasser ins Gebäude tropft?

Schuld daran sind einzig und allein die Phänomene der Wasserdampfkondensation und der Luftfeuchtigkeit.

Der grösste Teil dieser Schäden ist auf fehlende Planung und magelhaftige Arbeitsausführung bzw. Bauführung zurückzuführen. Relativ häufig liegt der Grund auch in einer falschen Konstruktion oder Materialwahl, Materialfehler jedoch sind praktisch nie schuld.

# 1.4 Hauptgründe für Feuchtigkeitsschäden von innen



Die Schadensbilder in feuchtigkeitsbelasteten Aussenwänden und Dächern sind vielfältig und stellen selbst den Fachmann oft vor grosse Rätsel. Bei genauerem Studium der Ursachen können wir feststellen, dass neben der offensichtlichen Undichtigkeit von aussen sehr häufig Feuchtigkeit von innerhalb des Gebäudes zu Problemen führt. Neben dem falschen Bewohnerverhalten lassen sich die folgenden vier hauptsächlichen Gründe feststellen:



## ■ Dampfdiffusion

Wenn mehrschichtige, wärmedämmte Konstruktionen in ihrer Schichtenfolge falsch aufgebaut sind, kann grossflächig Diffusionskondensat auftreten. Häufig spielt hier eine funktionsunfähige Hinterlüftung mit. Vorsicht ist besonders auch bei der Sanierung von Altbauten geboten!



## ■ Luftdichtigkeit

Aufgrund unserer heutigen Ansprüche an Wohnkomfort und Behaglichkeit bauen wir im Gebäudeinneren ein warmes, relativ feuchtes Klima auf. Durch Leckstellen in der Gebäudehülle kann diese Feuchtigkeit konzentriert in die Konstruktion eindringen und so zu starker örtlicher Feuchtigkeitsbelastung führen.



## ■ Winddichtigkeit

Nicht selten kommt es vor, dass kalte Aussenluft durch mangelhafte Gebäudehüllen bis an die Innenverkleidung vordringen kann. Durch die Abkühlung der Innenverkleidung bildet sich Oberflächenkondensat, was zu Verfärbung oder gar Schimmelpilzbefall führen kann.



## ■ Austrocknungskapazität

Nicht jede Feuchtigkeitsbelastung führt gleich zu Schäden. Feuchtigkeit in der Konstruktion kann toleriert werden, solange sie innerhalb nützlicher Frist wieder austrocknet. Bei dampfdichten Konstruktionen hingegen kann Feuchtigkeit oft nur schwer oder gar nicht austrocknen, wenn einmal Feuchtigkeit eindringt, ist der Schaden unausweichlich!

## 2. Dampfdiffusion

### 2.1. Der Wasserdampf

Das Wasser gehört zu den wichtigsten Stoffen überhaupt. Ohne Wasser kein Leben. Entsprechend ist das Wasser praktisch überall vorhanden, in der Erde, in der Luft, in Baustoffen, überall. Dabei kann es seine Form ändern. Wir unterscheiden drei Aggregatzustände:



#### ■ Fest (Eis)

Der Gefrierpunkt des Wassers liegt bei  $0^{\circ}\text{C}$ , unterhalb dieser Temperatur wird Wasser zu Eis.



#### ■ Flüssig (Wasser)

Bei Temperaturen über  $0^{\circ}\text{C}$  zeigt sich das Wasser in seiner «normalen» Form, wie wir ihm täglich begegnen.



#### ■ Gasförmig (Wasserdampf)

Wasserdampf ist unsichtbar. Er ist in unterschiedlicher Menge in der uns umgebenden Luft enthalten, und zwar bei jeder Temperatur, auch noch weit unter  $0^{\circ}\text{C}$ .

Alle drei Zustände machen uns bei Gebäuden zu schaffen. Beim Problem der Dampfdiffusion haben wir es vor allem mit gasförmigem Wasser zu tun. Die Eigenschaften des Wassers, seine Form bei wechselnden Temperaturen zu ändern, stellt uns vor Probleme bei der Planung und Ausführung von Bauwerken.

## 2. Dampfdiffusion

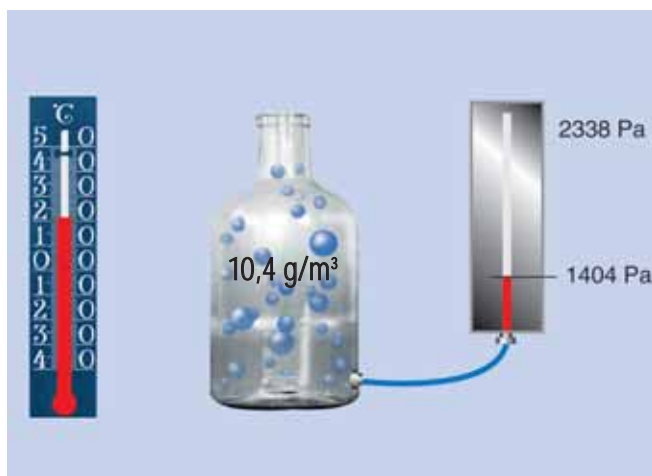
### 2.2 Die Luftfeuchtigkeit

Die Luft besteht hauptsächlich aus Sauerstoff und Stickstoff, dazu kommen einige weitere Gase. Ausserdem kann sie eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Die Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf hängt von der momentanen Temperatur der Luft ab, sie steigt mit zunehmender Lufttemperatur an. Warme Luft kann also mehr Wasserdampf aufnehmen und speichern als kalte.



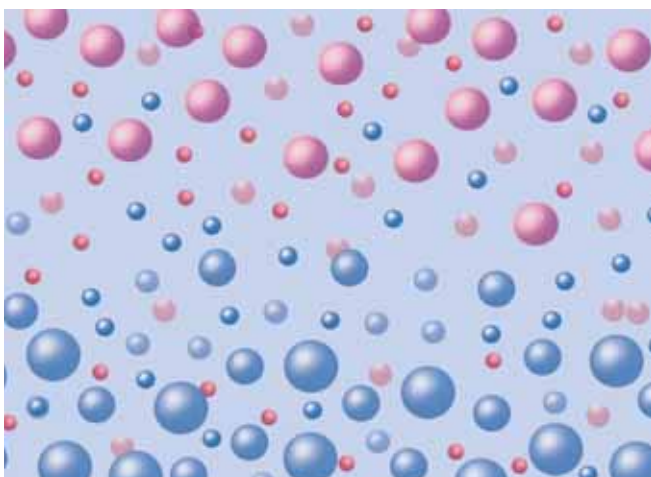
### ■ Gasmisch

Dieses Gemisch aus verschiedenen Gasen, unsere Luft, hat einen bestimmten atmosphärischen Luftdruck, welcher je nach Wetterlage und Meereshöhe variiert. Die Menge des Wasserdampfes in der Luft wird als Luftfeuchtegehalt bezeichnet.



### ■ Absolute Luftfeuchtigkeit

Die absolute Luftfeuchtigkeit  $\rho_D$  (sprich Rho D) bezeichnet den tatsächlichen Wasserdampfgehalt in der Luft. Sie wird in  $\text{g/m}^3$  angegeben.



### ■ Wasserdampfdiffusion

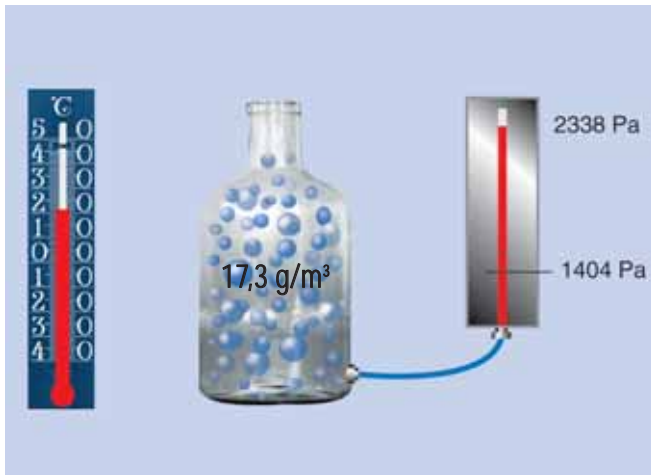
Einem physikalischen Grundgesetz zufolge streben Gase unterschiedlicher Konzentration nach Durchmischung. Die Wasserdampfmoleküle werden also versuchen, von der Seite ihrer höheren Konzentration auf die Seite ihrer niedrigeren Konzentration zu gelangen, bis dass ein Ausgleich erreicht ist. Diese Wanderung bezeichnen wir als Wasserdampfdiffusion.

Die absolute Luftfeuchtigkeit steht in engem Zusammenhang mit der relativen Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur.

## 2. Dampfdiffusion

### 2.2 Die Luftfeuchtigkeit

Die Menge des Wasserdampfes in der Luft (absolute Luftfeuchtigkeit) geben wir in Gramm pro Kubikmeter ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) an. Die wichtige Grösse ist die Lufttemperatur  $\vartheta_L$  (sprich Theta L) in Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Wir unterscheiden nun weitere physikalische Grössen:



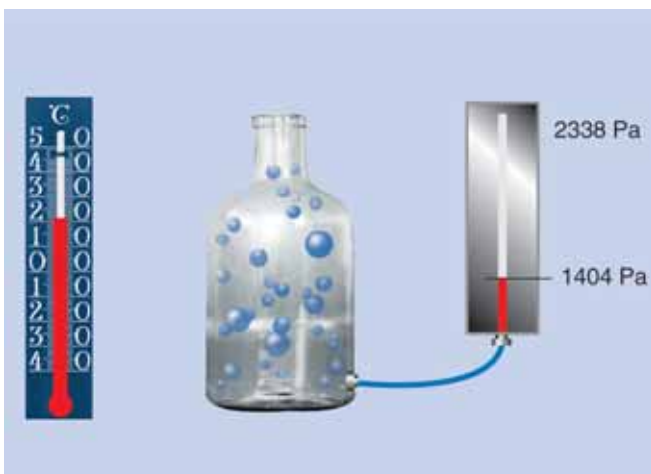
#### ■ Maximale Luftfeuchtigkeit

Abhängig von der Temperatur kann die Luft nur eine bestimmte maximale Menge Wasser aufnehmen. Diese Menge bezeichnet man als maximale Luftfeuchtigkeit in  $\text{g}/\text{m}^3$ . Die maximale Luftfeuchtigkeit entspricht dem Sättigungsdruck ( $p_s$ ) des Wasserdampfes bei der jeweiligen Temperatur.



#### ■ Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  (sprich Phi) definiert man als das Verhältnis von absoluter zu maximaler Luftfeuchtigkeit und gibt diesen Wert in Prozenten (%) an.



#### ■ Teildruck (Partialdruck)

Der Teildruck  $p_{\text{eff}}$  ist eine weitere Kenngrösse für die absolute Luftfeuchtigkeit. Er wird in Pa (sprich Pascal) angegeben. Der maximalen Luftfeuchtigkeit entspricht der Sättigungsdruck  $p_s$ .

In unserem Beispiel können wir die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  nun auf zwei Arten berechnen, nämlich 1. durch Vergleich der absoluten zur maximalen Menge Wasserdampf in der Luft oder 2. durch Vergleich vom effektiven Partialdruck  $p_{\text{eff}}$  zum Sättigungsdruck  $p_s$ .

## 2. Dampfdiffusion

### 2.3 Der Wasserdampf in Wohnhäusern

In bewohnten Gebäuden werden grosse Mengen von Wasserdampf erzeugt, welche den Partialdruck  $p$  stark ansteigen lassen. Partialdrücke erzeugen jedoch keinen Überdruck der gesamten Luft und sind daher nicht spürbar.



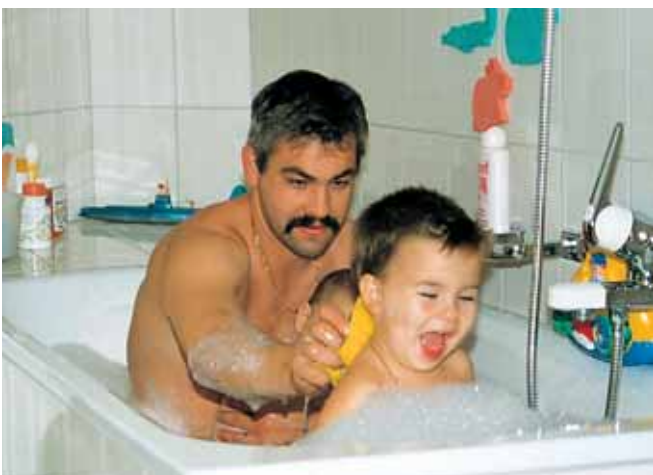
#### ■ Bewohner

Atemluft und Ausdünstung eines Menschen erzeugen pro Tag 1 bis 2l Wasserdampf. In einem 4-Personen-Haushalt (2 Erwachsene + 2 Kinder) fallen somit ca. 5l Wasserdampf an.



#### ■ Kochen

Durch Kochen können in diesem 4-Personen-Haushalt täglich bis zu 2l Wasserdampf anfallen.



#### ■ Baden, Waschen, Pflanzen usw.

Durch Baden, Duschen, Wäsche, Zimmerpflanzen usw. entstehen in unserem 4-Personen-Haushalt jeden Tag weitere 3l Wasserdampf. In diesem Haushalt fallen also total rund 10l Wasserdampf pro Tag an.

In einer  $4\frac{1}{2}$ -Zimmerwohnung mit  $300\text{m}^3$  Rauminhalt, in der kein Wasserdampf entweichen würde, könnte die Raumluf bei  $20^\circ\text{C}$  maximal  $300 \times 17,31\text{g}/\text{m}^3 = \text{ca. } 5\text{l}$  Wasserdampf aufnehmen, dann wäre sie gesättigt! Die anderen 5l würden sich in Form von Kondenswasser auf Fenstern, Wänden, Möbeln usw. niederschlagen. Die Wohnung würde so zu einer wahren «Tropfsteinhöhle»!

## 2. Dampfdiffusion

### 2.4 Die Wasserdampfdiffusion

Ein Wasserdampfmolekül hat die Grösse von nur einem Zehnmillionstel Millimeter (0,0000001 mm), es ist für uns daher absolut unsichtbar. Dies erklärt auch, warum Stoffe, die absolut wasserdicht sind, relativ mühelos von Wasserdampf durchdrungen werden.

Würde ein Gefäss aus porösen Baustoffen bestehen statt aus Glas, wäre der Druckausgleich in kürzester Zeit hergestellt. Die Wasserdampfmoleküle würden durch die Wände des Gefässes hindurchwandern. Diesen Vorgang nennen wir Wasserdampfdiffusion.

Je nachdem, aus welchem Material die Wände bestehen, setzen sie der Wasserdampfdiffusion mehr oder weniger Widerstand entgegen. Der Kennwert dafür ist die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  (sprich Mü). Sie gibt an, wievielfach höher der Diffusionswiderstand des jeweiligen Materials ist als derjenige von Luft gleicher Schichtdicke.



Luft hat eine Diffusionswiderstandszahl von  $\mu = 1$



Mineralwolle hat eine Diffusionswiderstandszahl von  $\mu = 1.5$



Eine **Dampfbremse**, z.B. Ampatex® DB 90 (thermisch verfestigte Endlosfasern mit PP-Füllschicht) hat eine Dampfdiffusionswiderstandszahl von  $\mu = 68'000$



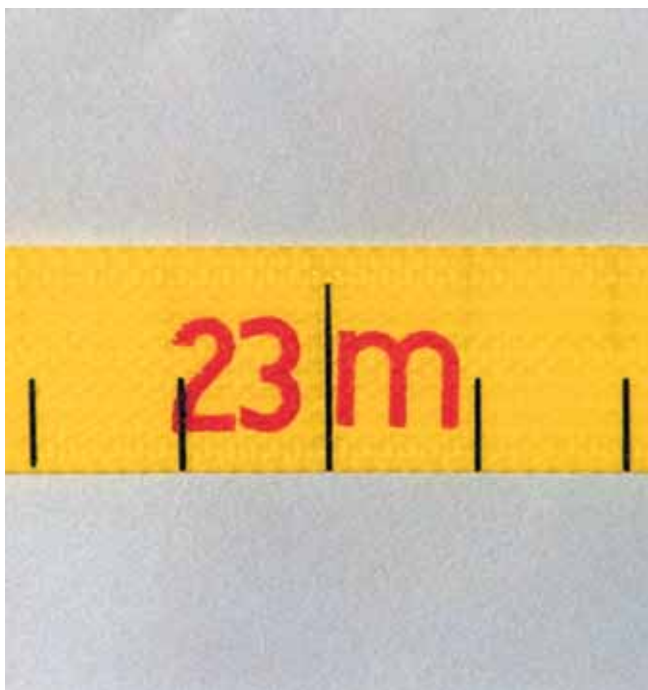
Eine **Dampfsperre**, z. B. Sisalex™ 514 (Kraftpapier + Parafin + Glasfasergewebe + Aluminium) hat eine Dampfdiffusionswiderstandszahl von  $\mu = 6'900'000$

## 2. Dampfdiffusion

### 2.4 Die Wasserdampfdiffusion

Die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  ist eine Stoffkonstante und unabhängig von der Schichtdicke. Für die Praxis am Bau ist sie nicht sehr relevant, weil jedes Material wieder eine andere Dicke hat.

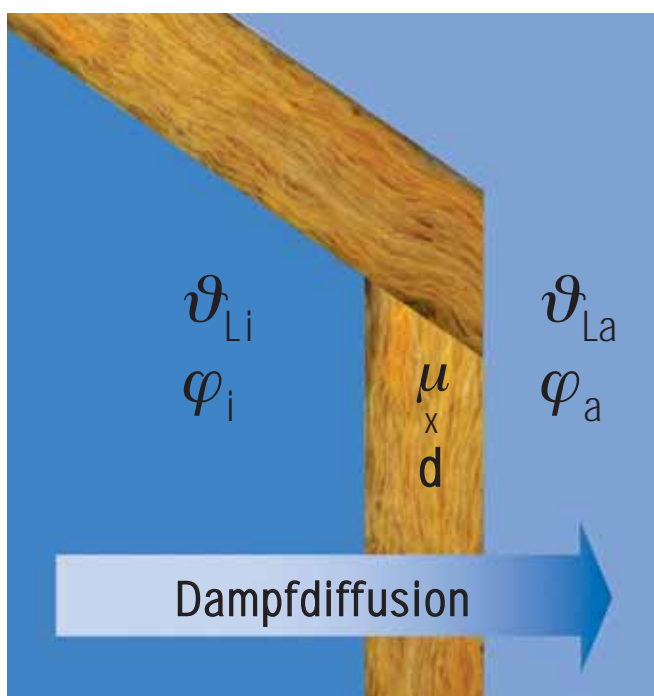
Wir vergleichen deshalb den Diffusionswiderstand eines üblicherweise im Bau verwendeten Materials (z. B. Beton 20cm) mit dem Widerstand einer Luftschicht von 1 Meter Dicke. Diesen Wert nennen wir diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_D$ , welche wir in Meter (m) angeben.



### ■ $s_D$ - Wert

So betrachtet, hat unsere Dampfbremse Ampatex® DB 90, welche vorher den stattlichen  $\mu$ -Wert von 68'000 erreichte, nur noch eine relativ bescheidene diffusionsäquivalente Luftschichtdicke.

$$s_D = \mu\text{-Wert} \times \text{Dicke in m} = 68'000 \times 0,00033 = 23\text{m}$$



### ■ Faktoren für Wasserdampfdurchgang

Die Menge des durchdiffundierenden Dampfes ist abhängig von:

1. Diffusionswiderstandszahl ( $\mu$ )
2. Schichtdicke des Baustoffes (d)
3. Lufttemperatur ( $\vartheta_L$ ) innen und aussen
4. relative Luftfeuchtigkeiten ( $\varphi$ ) innen und aussen (Dampfdruckgefälle)

Der Wasserdampf diffundiert von der Seite mit höherer zu der Seite mit niedrigerer absoluter Luftfeuchtigkeit.

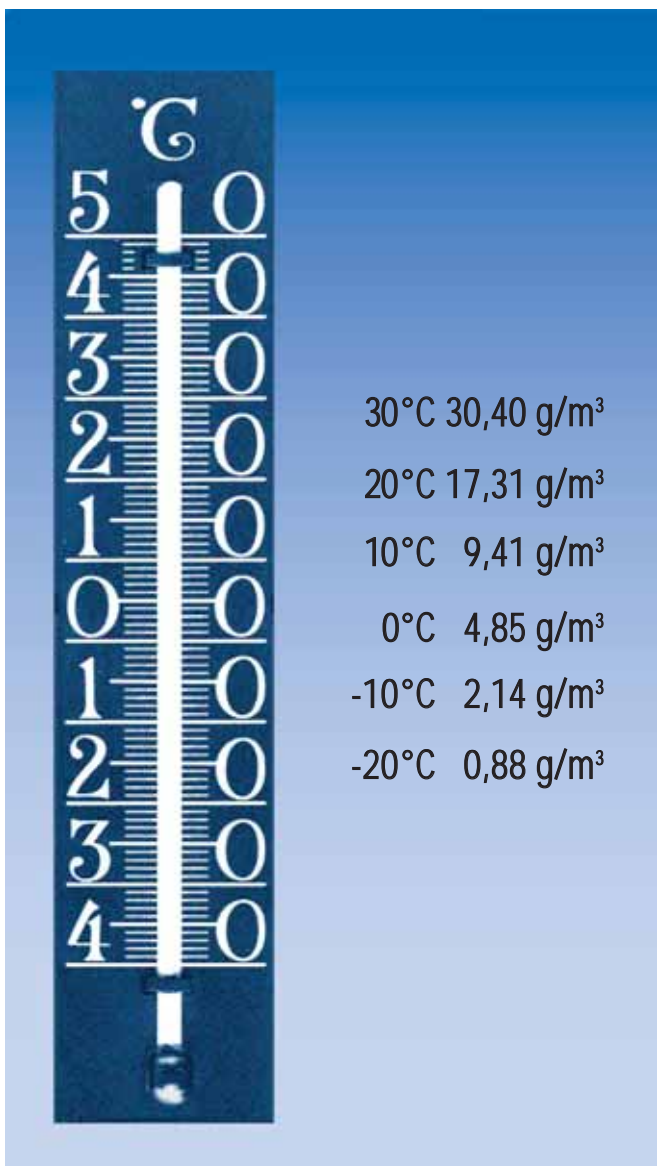
## 2. Dampfdiffusion

### 2.5 Die Wasserdampfkondensation

Wir wissen, dass Wasserdampf wandert. Dies ist auch bei genau gleichen Temperaturen innerhalb und ausserhalb des Gebäudes der Fall, weil ein Unterschied in der relativen Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  und somit eine Partialdruckdifferenz  $\Delta p$  (sprich Delta P) besteht.

Diese Dampfdiffusion ist solange ungefährlich, als auf der Seite mit geringerem Druck nicht auch eine deutliche tiefere Temperatur herrscht. Sobald dies der Fall ist, kann es kritisch werden. Die Temperaturdifferenz heisst  $\Delta\vartheta$  (spricht Delta Theta).

Zuerst ist es von grösster Wichtigkeit zu wissen, dass die maximale Menge Wasserdampf, welche die Luft aufnehmen kann, vor allem von der Lufttemperatur  $\vartheta$  (sprich Theta) abhängt.



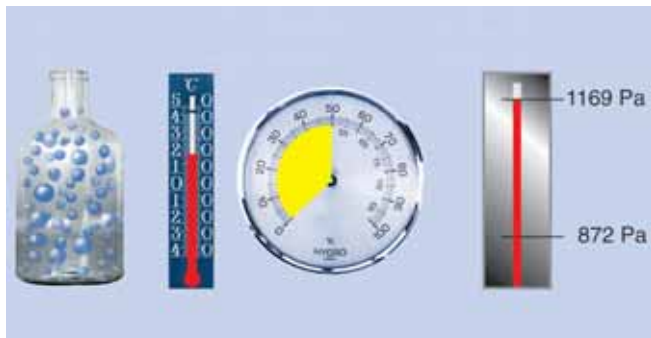
- Bei 30°C kann die Luft noch max. 30,40g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen ( $p_s = 4'241$  Pa).
- Bei 20°C kann die Luft noch max. 17,31g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen ( $p_s = 2'337$  Pa).
- Bei 10°C kann die Luft noch max. 9,41g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen ( $p_s = 1'227$  Pa).
- Bei 0°C kann die Luft noch max. 4,85g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen ( $p_s = 611$  Pa).
- Bei -10°C kann die Luft noch max. 2,14g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen ( $p_s = 260$  Pa).
- Bei -20°C kann die Luft noch max. 0,88g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen ( $p_s = 103$  Pa).

Die Angabe in Klammern zeigt den Sättigungsdruck ( $p_s$ ) auf, zwischen dem ersten Beispiel mit +30°C und dem letzten mit -20°C besteht eine Dampfdruckdifferenz  $\Delta p$  von über 4000 Pa!

## 2. Dampfdiffusion

### 2.5 Die Wasserdampfkondensation

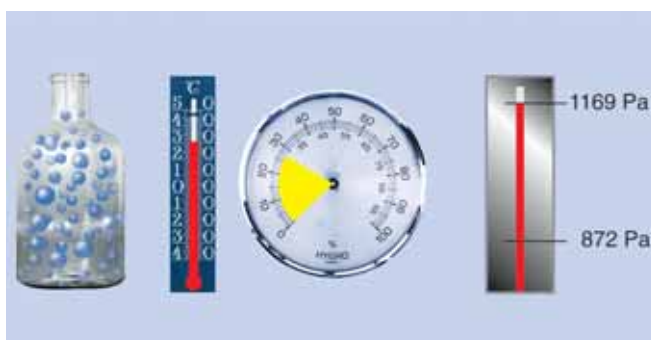
Schauen wir nun was passiert, wenn wir die Luft in einem geschlossenen Gefäß erwärmen.



#### ■ Ausgangslage

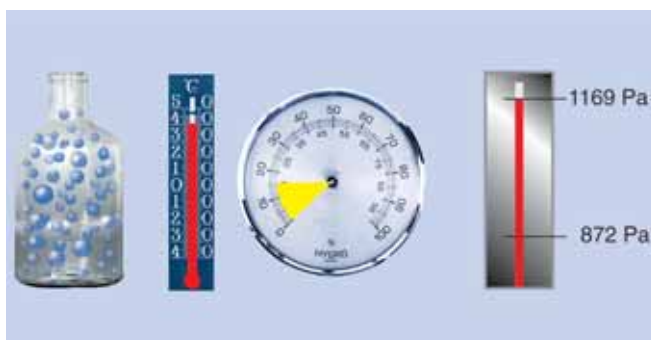
In dem Gefäß befindet sich normale Raumluft mit einer Temperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  von 50%.

Somit sind effektiv 8,65 g/m³ Wasserdampf vorhanden, bei einem Partialdruck  $p$  von 1'169 Pa.



#### ■ Erwärmung um 10°C

Die Temperatur beträgt nun 30°C, Wasserdampfmenge und Partialdruck  $p$  bleiben unverändert. Da die Luft jetzt aber max. 30,4 g/m³ Wasserdampf aufnehmen könnte, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  auf 27,6%.



#### ■ Erwärmung um 20°C

Auch bei 40°C sind noch immer 8,65 g/m³ Wasserdampf vorhanden. Die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  ist aber nur noch 15,8%, der Partialdruck  $p$  bleibt weiterhin 1'169 Pa.



#### ■ Erwärmung um 40°C

Auch bei 60°C sind weiterhin 8,65 g/m³ Wasserdampf vorhanden.  $\varphi = 5,9\%$ ,  $p = 1'169$  Pa.

Diese Erwärmung der Raumluft führt somit zu einer Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  von 50% auf 6%.

## 2. Dampfdiffusion

### 2.5 Die Wasserdampfkondensation

Ganz anders sieht es aber aus, wenn wir die Luft in dem geschlossenen Gefäß abkühlen.



#### ■ Ausgangslage

Wir stellen wieder die Ausgangslage her, wie sie auch beim vorhergehenden Beispiel der Erwärmung war: Luft von 20°C und  $\varphi = 50\%$ .



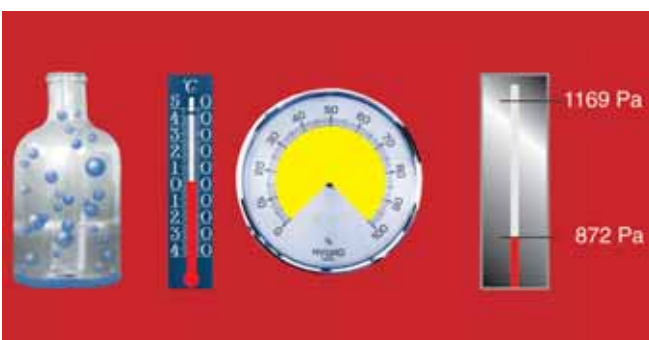
#### ■ Abkühlung um 10°C

Die Temperatur beträgt nun 10°C, es sind immer noch 8,65g/m<sup>3</sup> Wasserdampf vorhanden. Der Partialdruck  $p$  bleibt hier unverändert. Da die Luft jetzt aber nur noch max. 9,41g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen kann, steigt die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  auf 95,2%!



#### ■ Wasserdampfsättigung

Bei der Temperatur von 9,3°C ist die Luft mit 8,65g/m<sup>3</sup> Wasserdampf vollständig gesättigt,  $\varphi$  ist jetzt 100%.  $p = 1169$  Pa ist jetzt der Sättigungsdruck  $p_s$ , diese Sättigungsgrenze von 9,3°C nennt man Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  (sprich Theta T).



#### ■ Wasserdampfkondensation

Eine weitere Abkühlung führt nun unweigerlich zur Kondensation. Bei 5°C kann die Luft nur noch max. 6,8g/m<sup>3</sup> Wasserdampf aufnehmen, die restlichen 1,85g kondensieren zu Wasser! Der Sättigungsdruck  $p_s$  ist jetzt nur noch 872 Pa!

Diese Reihe lässt sich ebenfalls fortsetzen, das Ergebnis ist allerdings viel verheerender als bei fortgesetzter Erwärmung. Bei -20°C würden hier bereits 7,8g Wasser pro m<sup>3</sup> Luft anfallen!

## 2. Dampfdiffusion

### 2.5 Die Wasserdampfkondensation

Genau dasselbe passiert nun, wenn der Wasserdampf, der im Gebäude laufend produziert wird (s. Beispiel S. 11), auf seinem Weg durch die Konstruktion auf Bauteile oder Luftschichten trifft, deren Temperatur  $\vartheta$  (Theta) unter der für das Innenklima relevanten Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  (Theta T) liegt.



#### ■ Oberflächenkondensat bei Dampfproduktion

Wird viel Dampf produziert, z.B. beim Duschen, steigt  $\varphi$  auf beispielsweise 80% bei 22°C. Die Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  für dieses Klima ist 18,4°C. Hat nun die Fensterscheibe eine Oberflächentemperatur von weniger als 18,4°C, schlägt sich darauf Kondenswasser nieder!



#### ■ Kondensationszone in Bauteilen

Findet die Dampfdiffusion bei grossem Temperaturgefälle statt, so kann in stark dampfdurchlässigen einschichtigen Baustoffen eine ausgeprägte Kondensationszone entstehen. Sie liegt in demjenigen Teil der Schicht, welcher kälter als die Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  ist.



#### ■ Kondensationsebene in Bauteilen

In mehrschichtigen Bauteilen können bei ungünstiger Zusammenwirkung von verschiedenen Diffusionswiderständen örtliche Kondensationsebenen entstehen.



#### ■ Kondensation bei Oberflächen

Bei 22°C und  $\varphi = 50\%$  liegt die Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  bei 11,1°C. Wird nun ein Teil dieser Oberfläche unter 11,1°C abgekühlt, z. B. durch Wärmebrücken bildet sich darauf ein Oberflächenkondensat mit Schimmelbildung.

Diese Kondensate führen nicht automatisch zu Bauschäden. Oft sind die Mengen so gering, dass sie problemlos wieder austrocknen können, ohne der Konstruktion geschadet zu haben.

## 2. Dampfdiffusion

### 2.6 Die Vermeidung der Kondensationsgefahr

Eine übermäßige Wasserdampfkondensation muss unbedingt verhindert werden, um Schäden an der Wärmedämmung, oder noch schlimmer, an der tragenden Konstruktion zu vermeiden! Es gibt einige einfache Faustregeln, um die Gefahr von Wasserdampfkondensation in den Griff zu bekommen.



#### ■ Vermeidung von Tauwasser

Durch eine ausreichend dimensionierte Wärmedämmung wird sichergestellt, dass die innere Oberflächentemperatur über der für das Raumklima relevanten Taupunkttemperatur  $\vartheta_T$  liegt.



#### ■ Vermeidung von Kondensat innerhalb der Konstruktion

Der Diffusionswiderstand der verschiedenen Materialien in einer mehrschichtigen Konstruktion muss in der Regel von der Warmseite zur Kaltseite in jeder Schicht abnehmen.



#### ■ Dampfdurchlässigkeit

Es darf auf der Warmseite kein Wasserdampf eindringen, der nicht auf der Kaltseite wieder entweichen kann.



#### ■ Einsatz von Dampfbremsen oder -sperrern

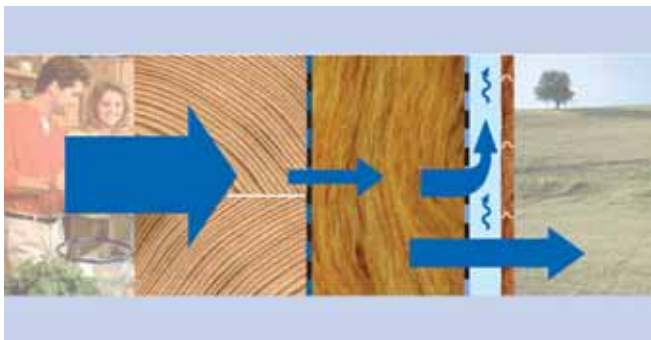
Sind diese Voraussetzungen durch den normalen Aufbau nicht gegeben, so muss warmseitig der Wärmedämmung eine entsprechend dimensionierte Dampfbremse oder Dampfsperre eingebaut werden.

Eine konsequente Beachtung dieser Faustregeln sowie die fachgerechte Ausführung der Arbeiten garantieren eine bauphysikalisch einwandfreie und somit auch dauerhafte Konstruktion.

## 2. Dampfdiffusion

### 2.7 Dampfbremsen und Dampfsperren

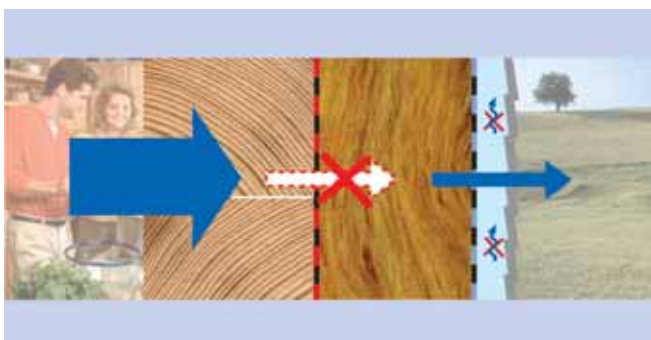
Die SIA Norm 180 "Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau", Ausgabe 1999, macht keinen Unterschied mehr zwischen Dampfbremsen und Dampfsperren. Es wird nur noch von Dampfbremsen gesprochen. Der Wegfall dieser Unterscheidung erfordert nun eine genaue Beurteilung der auszuführenden Konstruktion. Ein reines Denken in zwei Kategorien ist nicht mehr möglich. Dies erfordert eine noch intensivere Auseinandersetzung mit der Konstruktion und dieser Norm. Für den Praktiker lassen sich zusammenfassend aber drei Grundregeln finden.



#### ■ Regel 1

Bei einer Konstruktion mit funktionierender Hinterlüftung oder diffusionsoffener Aussenschicht (z.B. Holzschalung)

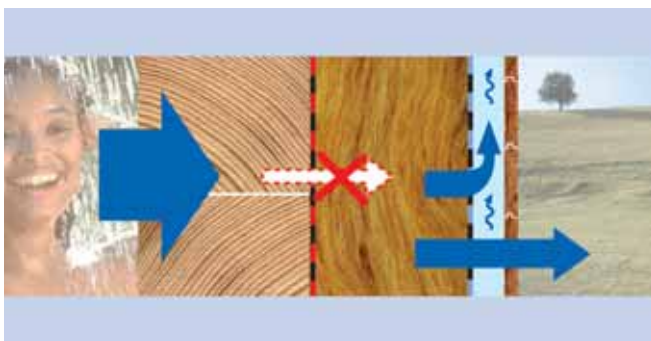
⇒ Dampfbremse mit niedrigem  $s_D$ -Wert  
(z.B. Ampatex® DB 2 mit  $s_D$ -Wert = 2 m, Sisalex™ 500 mit  $s_D$ -Wert = 2 m oder Ampatex® DB 90 mit  $s_D$ -Wert = 23 m)



#### ■ Regel 2

Bei einer Konstruktion ohne funktionierende Hinterlüftung zwischen Wärmedämmung und diffusionshemmender Aussenhaut

⇒ Dampfbremse mit hohem  $s_D$  - Wert  
(z.B. Sisalex™ 514 mit  $s_D$ -Wert > 1'800 m)



#### ■ Regel 3

Räume mit konstant hoher relativer Luftfeuchtigkeit, z.B. Hallenbäder, Saunas, Wäschereien, Hotelküchen usw.

⇒ Dampfbremse mit hohem  $s_D$  - Wert  
(z.B. Sisalex™ 514 mit  $s_D$ -Wert > 1'800 m)

Bei der Festlegung der endgültigen Dampfbremse oder -sperre wählen wir normalerweise diejenige mit dem für unsere Konstruktion tiefstmöglichen Diffusionswiderstand, denn Dampfdiffusion soll nur so stark eingeschränkt werden, wie nötig und nicht so stark wie möglich!

## 2. Dampfdiffusion

### 2.8 Die möglichen Probleme bei Dampfbremsen und Dampfsperren

Trotz Einsatz von Dampfbremsen und Dampfsperren kommt es immer wieder zu Feuchteschäden in der Konstruktion. Dabei treffen wir ständig auf die gleichen Fehler. In den meisten Fällen ist eine mangelhafte Verarbeitung die Ursache. Nachfolgend führen wir einige der häufigsten Ausführungsfehler auf.



#### Die Dampfbremse oder -sperre wird unsauber verarbeitet:

- Stöße werden nicht oder schlecht abgedichtet.
- Randanschlüsse werden schlecht ausgeführt oder «vergessen».
- Durchdringungen werden nicht abgedichtet.
- Beschädigungen in der Fläche werden nicht repariert.
- Verarbeitung ungeeigneter, billiger Klebebänder, welche sich nach kurzer Zeit lösen.



#### Die konstruktiv vorgesehene Hinterlüftung wird durch falsche Detailausführung funktionsunfähig:

- Zu kleine oder gar keine örtlichen Zu- und Abluftöffnungen bei Traufe und First.
- Keine Luftöffnungen bei grossflächigen Durchdringungen wie Dachfenster, Kamine usw.
- Bei zweifach belüfteten Dächern (Kaltdach) wird die Wärmedämmung ans Unterdach gedrückt.



#### Die Baufeuchtigkeit wird nicht berücksichtigt:

- Nach Einbau der nassen Schichten (Unterlagsböden, Gips usw.) werden die Fenster nicht geöffnet bzw. die Räume ungenügend belüftet.
- Ungenügende Trockenzeiten, zu gedrängte Bauprogramme.
- Einschliessen von Bauteilen mit zu hoher Feuchtigkeit (nasse Holzbalken usw.)

Eine saubere und richtige Verarbeitung ist für Dampfbremsen und -sperren enorm wichtig! Mit der Ausführung dieser Arbeiten sollten daher nur qualifizierte und ausgewiesene Fachleute betraut werden.

## 2. Dampfdiffusion

### 2.8 Die möglichen Probleme bei Dampfbremsen und Dampfsperren

Den «schwarzen Peter» dürfen wir jedoch nicht alleine den Handwerkern zuschieben! Auch in den vorgelagerten Planungsstufen werden immer wieder Fehler gemacht, die in ihren Auswirkungen oft weit über die Verarbeitungsmängel hinausgehen. In vielen Fällen ist auch die Zusammenarbeit zwischen Planer und Handwerker mangelhaft.



### Planungsfehler

- Der Planer ordnet eine Dampfbremse an, obwohl für die fragliche Konstruktion eine "Dampfsperre" nötig wäre, bzw. vergisst sie vollständig.
- Der Planer überlässt dem Handwerker die Wahl der Dampfbremse, ohne diesem den weiteren Schichtaufbau und andere bedeutende Faktoren anzugeben.
- Der Planer versäumt es, den richtigen Einbau von Wärmedämmung und Dampfbremse sowie die Funktionsfähigkeit der Hinterlüftung zu überprüfen.



### Materialfehler

- Uns ist kein Fall bekannt, bei dem ein Materialfehler in der Dampfbremse oder Dampfsperre zu einem Schaden geführt hat.

Nur durch die Mithilfe aller beteiligten Planer und Handwerker wird es uns gelingen, diese Fehlerquellen zu eliminieren. Tragen auch Sie Ihren Teil dazu bei. Wir werden Sie gerne unterstützen.

## 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

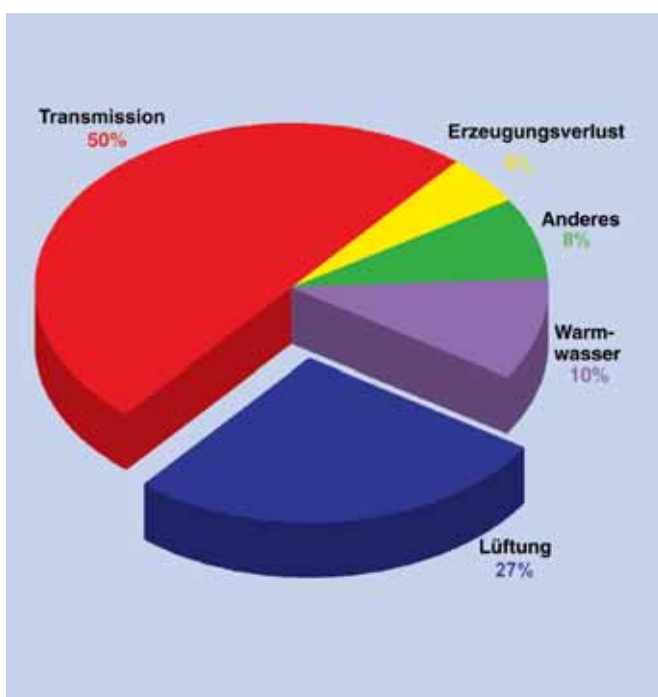
### 3.1. Voraussetzungen zur Vermeidung von Wärmeverlusten

Die SIA Norm 180 "Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau", Ausgabe 1999, gilt für alle Gebäude, bei denen sich infolge des geforderten Raumklimas bauphysikalische Anforderungen an die Gebäudehülle ergeben. Sie legt eindeutig fest, dass der Wärme- und Feuchteschutz zum Grundkonzept eines Gebäudes gehört und bereits im Entwurfsstadium zu berücksichtigen ist. Die SIA 232 "Geneigte Dächer", Ausgabe 2000, sowie die SIA Norm 233 "Bekleidete Aussenwände", Ausgabe 2000 fordern explizit die Ausführung einer Luftdichtung. Der Planer und Handwerker ist daher gut beraten, dieser normativen Forderung zu folgen. Hier nun wollen wir einsetzen: In einer ersten Phase geben wir dem Leser einen allgemeinen Überblick zum Thema Luftdichtigkeit und was passieren kann, wenn diese ungenügend ist. Anschliessend gehen wir auf spezielle Probleme der Luftdichtigkeit ein und zeigen praxisingerechte Lösungen auf.



### ■ Wärmeverluste in der Gebäudehülle

Noch vor 30 Jahren waren unsere Gebäude relativ schlecht isoliert und sehr luftdurchlässig. Um auf die gewünschte Raumtemperatur zu kommen, wurde einfach stark geheizt.



### ■ Anteile am Energieverlust

In der Zwischenzeit vollzog sich ein grosser Sinneswandel. Heute werden Neubauten oder sanierte Objekte mit einer optimierten Wärmedämmung versehen.

Umsomehr fällt nun aber der Wärmeverlust durch Undichtigkeiten der Gebäudehülle ins Gewicht.

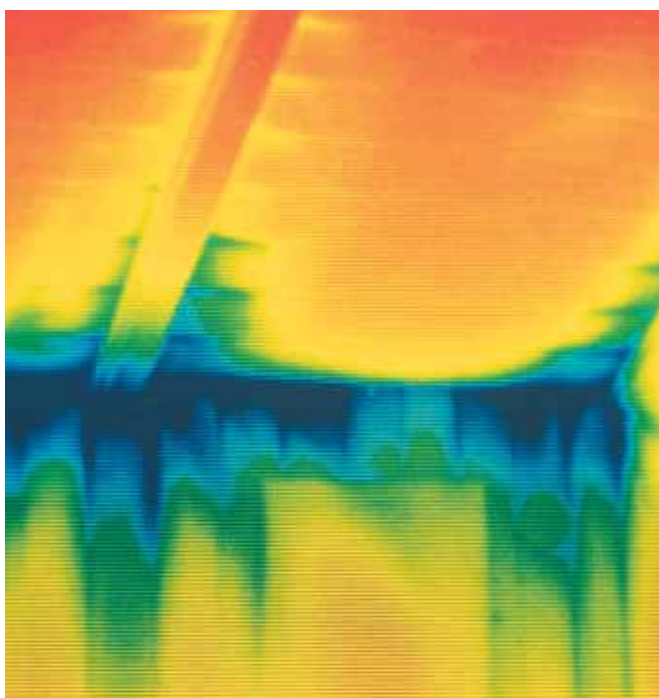
Bei gut isolierten Wohnhäusern kann der Anteil des Energieverlustes durch unkontrollierten Luftaustausch bis zu 30% des Gesamtenergiebedarfes ausmachen, bei hoch wärmedämmten Gebäuden gar bis zu 50%.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

## 3.2 Der Lüftungswärmeverlust

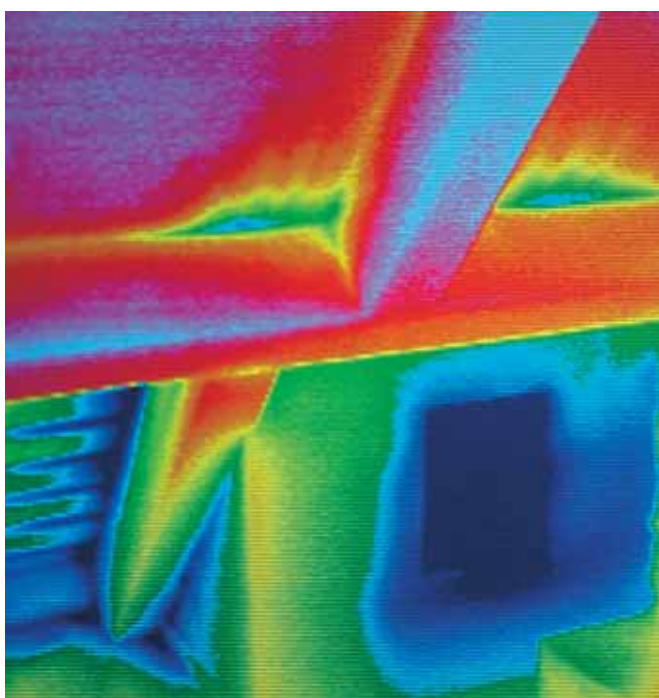
Erst bei den neuen, gut wärmegeämmten Häusern haben wir festgestellt, dass eine Luftdichtigkeit der Gebäudehülle für den Energiebedarf und das Wohnklima von grösster Bedeutung ist. Einerseits machen die Lüftungswärmeverluste einen grossen Teil des Energieverbrauchs aus, andererseits hat eine übermässige Luftbewegung im Gebäudeinnern sehr negative Auswirkungen auf den Wohnkomfort.

Nicht zu unterschätzen ist auch die Gefahr, dass unkontrolliert in die Konstruktion entweichende Raumluft zu starker Wasserdampfkondensation führen kann. Die Folge sind Verschlechterung der Wärmedämmfähigkeit, Schimmelpilzbildung oder gar Zerstörung der tragenden Holzbauteile.



### ■ Hauptverlustquelle

Am grössten ist der Lüftungsverlust in der Regel beim Übergang von der Massiv- zur Holzbauweise, also beim Übergang von Wand- zum Dachbauteil. Durch diese Fugen können im Extremfall bis zu 80% der Verluste verursacht werden.



### ■ Weitere Verlustquellen

Grundsätzlich ist jede Öffnung in der Gebäudehülle eine potentielle Verlustquelle. Während grossflächige Bauteile wie Fenster und Türen schon sehr gut entwickelt sind, werden meistens die Anschlussdetails bei kleineren Durchdringungen wie Kamin, Lüftungen, Installationen usw. stark vernachlässigt.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle



## 3.3 Der Luftwechsel

Bei der Beurteilung eines optimalen Luftwechsels müssen wir unter anderem vier Parameter berücksichtigen:

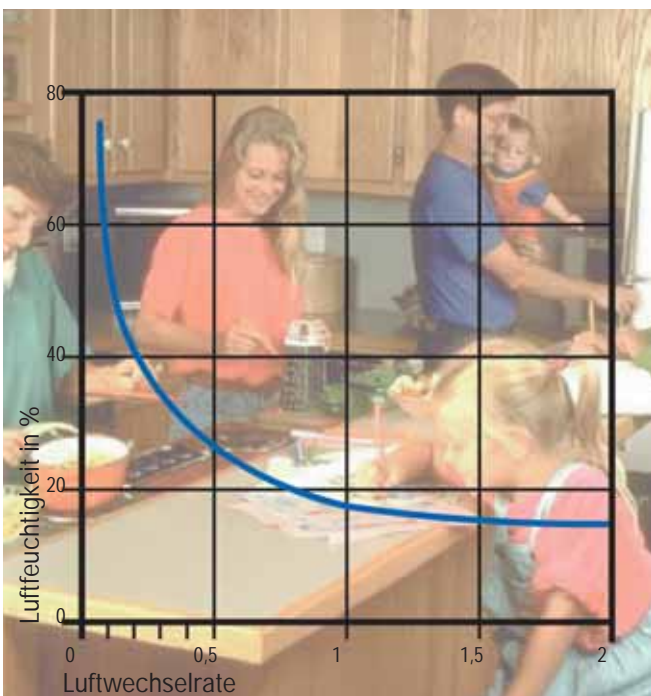
- 1. Reduktion der Wärmeverluste
- 2. Verhinderung von Bauschäden durch Feuchtigkeit
- 3. Ausreichende Zufuhr von Frischluft
- 4. Behaglichkeit

Der dritte Punkt steht in krassem Gegensatz zum ersten. Schauen wir uns also zunächst das Problem der Frischluftzufuhr an.



### ■ Schadstoffbelastung der Raumluft

Die Raumluft wird ununterbrochen belastet durch die Aktivitäten der Bewohner oder durch Ausdünstungen von Baumaterialien und Inneneinrichtungen. Diese Schadstoffmenge muss durch genügende Frischluftzufuhr auf ein erträgliches Mass beschränkt werden.



### ■ Luftwechsel und Luftfeuchtigkeit

Durch Menschen, Zimmerpflanzen und trocknende Wäsche fällt in einer Wohnung immer Feuchtigkeit an, die weggelüftet werden muss. Je kleiner der Luftwechsel ist, desto höher ist die Luftfeuchtigkeit. Ohne Luftwechsel wäre die Raumluft in bewohnten Gebäuden gar nicht in der Lage, den gesamten produzierten Wasserdampf aufzunehmen. (In einem 4-Personen-Haushalt werden gut 10l Wasserdampf pro Tag produziert!)

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle



## 3.4 Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

Grundsätzlich muss die Gebäudehülle nach SIA Norm 180 "Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau", Ausgabe 1999, luftdicht sein. Als Kennwert für die Gesamt-Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle kann der auf die Hüllfläche bezogene Volumenstrom bei Referenzbedingungen von 4 Pa Druckdifferenz verwendet werden. Er heisst  $v_{a,4}$ -Wert in  $m^3/(h \times m^2)$ . Dieser Wert ist international leider weniger bekannt und erlaubt keinen direkten Vergleich mit ausländischen Werten bzw. Gebäuden. Wir sind heute technisch in der Lage, bei konsequenter Beachtung einer optimalen Luftdichtigkeit die geforderten Grenzwerte zu erreichen.



### ■ Die $v_{a,4}$ - Messung

Im Gebäude wird durch Ventilatoren ein Unterdruck erzeugt. Die abgesaugte Luftmenge ist gleich gross wie die Luftmenge, welche durch verschiedene Leckstellen nachströmt. Durch verschiedene Druckstufen wird eine Kennlinie des Volumenstromes für das zu messende Gebäude ermittelt. Dieser Volumenstrom wird nachfolgend auf eine Druckdifferenz von 4 Pa umgerechnet und auf die Hüllfläche bezogen.



### ■ Grenz- und Zielwerte

Die Grenzwerte für die Luftdurchlässigkeit werden in der SIA Norm 180 "Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau", Ausgabe 1999, Tabelle 6 festgelegt. Die Zielwerte gelten für Bauten mit mechanischen Zu-/Abluftanlagen und sind im Sinne der Energieeinsparung anzustreben. Eine Konzentration der Leckverluste in einzelnen Gebäudebereichen (z.B. Dachgeschoss) ist zu vermeiden. Der  $v_{a,4}$ -Wert darf in keiner Zone den Wert von  $2 m^3/(h \times m^2)$  überschreiten.

Tabelle 6 der SIA-Norm 180

	$v_{a,4}$ , max $m^3/(h \times m^2)$	$v_{a,4}$ , max $m^3/(h \times m^2)$
Kategorie	Grenzwert	Zielwert
Neubauten	0.75	0.5
Umbauten, Erneuerungen	1.5	1

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

## 3.5 Die SIA Norm 232 «Geneigte Dächer»

Heute werden wieder vermehrt Häuser mit Steildächern gebaut. In der Zeit vor etwa 1970 hatte das Steildach vorwiegend reine Wetterschutzfunktion, es lag selten direkt über geheizten Räumen. Probleme mit diesen Dächern gab es wenig. Heute sieht die Situation ganz anders aus.



### ■ Getrennte Funktion

Das traditionelle Kaltdach hat nur Wetterschutzfunktion und liegt über einer ungeheizten Pufferzone, welche gut durchlüftet ist. Die Funktion der Wärmedämmung übernimmt der Estrichboden.



### ■ Wärme gedämmtes Steildach

Das heutige Steildach muss beide Funktionen übernehmen, Wetterschutz und Wärmedämmung. Dies hat oft zu Problemen geführt, u.a. wegen der grossen Feuchtigkeitsbelastung von innen.



### ■ Die «Experimentierphase»

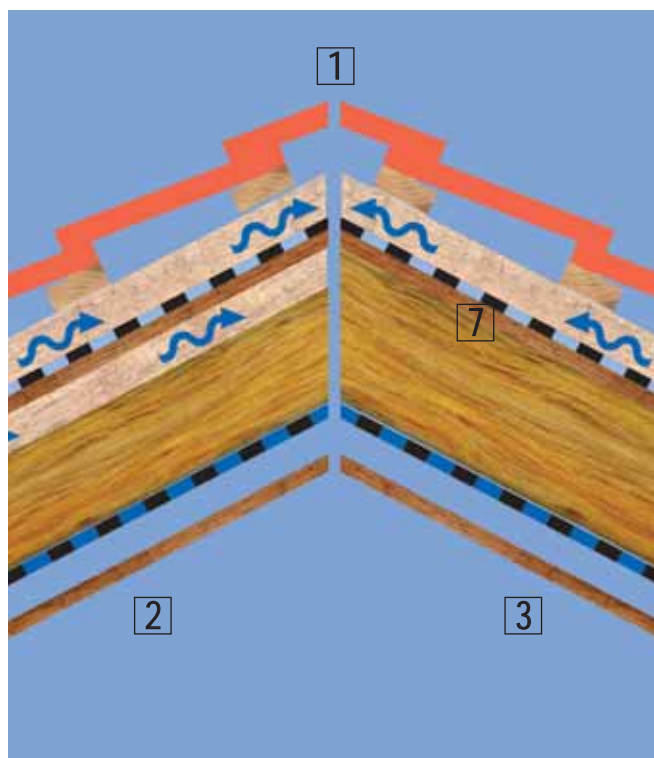
In den ersten Jahren der wärme gedämmten Steildächer kam es zu hässlichen Bauschäden. Diese sind praktisch immer auf ungenügende Luftdichtigkeit der Konstruktion zurückzuführen. Die durch örtliche Lecks strömende warmfeuchte Raumluft transportiert das Tausendfache an Feuchtigkeit im Vergleich zum Dampf durchgang durch eine Dampfbremse.

Leider sind auch in den heutigen Neubauten Mängel noch weitverbreitet. Die SIA Normen 180, 232 und 233 wollen dem entgegenwirken.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

## 3.6 Die Begriffe und Definitionen

Die SIA 232 «geneigte Dächer» beinhaltet Richtlinien für Baustoffhersteller, Bauplaner und Handwerker, welche sicherstellen sollen, dass wärme-gedämmte Holzkonstruktionen den heutigen hohen Anforderungen genügen. Ausserdem trägt sie durch klare Definition der verwendeten Begriffe zur Verständigung unter den Beteiligten bei. Wir nehmen hier die wichtigsten Begriffe heraus.



### 1. Geneigtes Dach

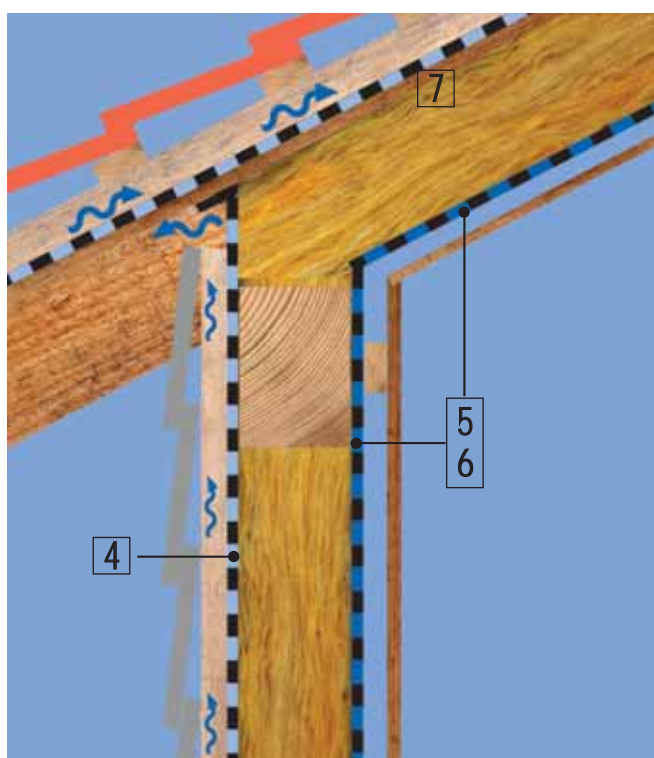
Dach mit einer Neigung, die eine überlappend verlegte oder gefalzte Deckung zulässt.

### 2. Kaltdach (zweifach belüftet)

Wärme-gedämmtes Steildach mit Durchlüftungsraum zwischen Wärmedämmschicht und Unterdach, sowie auch über dem Unterdach.

### 3. Warmdach (einfach belüftet)

Wärme-gedämmtes Steildach ohne Durchlüftungsraum zwischen Wärmedämmschicht und Unterdach, aber Durchlüftungsraum über dem Unterdach.



### 4. Winddichtung

Kaltseitig der Wärmedämmschicht verlegte, wind- und regendichte Schicht

### 5. Luftdichtigkeitsschicht

Warmseitig der Wärmedämmschicht verlaufende, luftdichte Schicht

### 6. Dampfbremse

Die Dampfbremse ist eine Bauteilschicht, welche die Aufgabe hat, die Wasserdampfdiffusion durch diesen Bauteil zu verringern. Sie wird gekennzeichnet durch ihre Diffusionswiderstand Z oder durch ihre diffusionsäquivalente Luftdicke s.

### 7. Unterdachbahn

Von der Deckung getrennte Schicht zur Ableitung von Wasser. Das Unterdach kann bei winddichter Ausführung als Winddichtung im Dach angesehen werden.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle



## 3.7 Die Luftdichtigkeitsschicht und Dampfbremse oder Dampfsperre

Im folgenden wollen wir die für die Luftdichtigkeit wichtigsten Richtlinien anschauen. Wir wollen diese aber nicht einfach in einer Reihe aufzählen, sondern nur die wesentlichsten Stellen herauspicken und diese kurz kommentieren. Die anderen Richtlinien betreffend Wärmedämmung und Unterdach wollen wir im Rahmen dieser Broschüre nicht behandeln.

### SIA Norm 232 Art. 2.2.4.1

Wärmegeädämmte geneigte Dächer müssen luftdicht sein. Die Luftdichtung ist warmseitig der Wärmedämmung anzuordnen. Hohlräume zwischen Luftdichtung und Wärmedämmung, die eine Konvektion ermöglichen, sind nicht zulässig.

- Eine sauber verarbeitete reine Luftdichtigkeitsschicht ist nicht auch automatisch dampfdicht. Demgegenüber ist eine sauber verarbeitete Dampfbremse bzw. -sperre aber in jedem Fall luftdicht. Wir können uns also von vornherein auf die luftdicht verarbeitete Dampfbremse konzentrieren.

### SIA Norm 232 Art. 2.2.4.2

Die Lage und der Verlauf der Luftdichtung in der Fläche, bei den An- und Abschlüssen sowie bei Durchdringungen muss aufgrund eines Luftdichtigkeits-Konzeptes festgelegt sein.

- Dies ist der wohl heikelste Punkt der ganzen Norm. Während eine ausreichende Dichtigkeit in der Fläche problemlos zu erreichen ist, machen uns die Randanschlüsse ganz schön zu schaffen. In den nachfolgenden Kapiteln werden wir genauer darauf eingehen.

### SIA Norm 232 Art. 2.2.4.3

Elektroleitungen und andere Installationen müssen raumseitig der Luftdichtung angeordnet werden. Bei zwischen oder unter dem Tragwerk gedämmten Dächern sind für die Führung der Installationen Hohlräume vorzusehen.

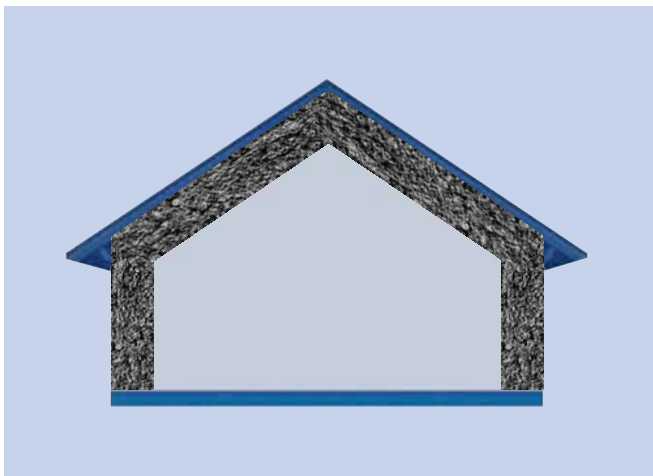
- Diese drei Punkte führen alle zum gleichen Schluss; warmseitig der Luftdichtigkeitsschicht müssen wir eine Installationsebene anordnen. Zwischen dieser Lattung können die Installationen geführt werden. Die Luftdichtigkeitsschicht darf nicht verletzt werden, Durchbrüche sind nur in unumgänglichen Situationen gestattet (E-Rohr für Aussenlicht usw.) und sauber abzudichten. Die Lattung dient anschliessend als Tragsystem für die innere Verkleidung.

Werden diese wichtigsten Richtlinien befolgt, sind keine Probleme durch die Luftdichtigkeitsschicht/Dampfbremse zu erwarten.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

## 3.8 Die Luftdichtigkeit muss man planen

Es genügt keinesfalls, nach dem Aufrichten des Dachstuhls den Handwerker anzuweisen, eine luftdichte Dampfbremse einzubauen. Oft tauchen dann schier unlösbare Detailprobleme auf. Wie soll ein Handwerker z.B. einen Dachstuhl mit unzähligen Kehlbalken, Zangen, Laschen und Streben einwandfrei abdichten? Die Lage und der Verlauf der Luftdichtung muss aufgrund eines Konzeptes festgelegt sein. Dies fordert die SIA 232. Folgende Möglichkeiten stehen zur Wahl.



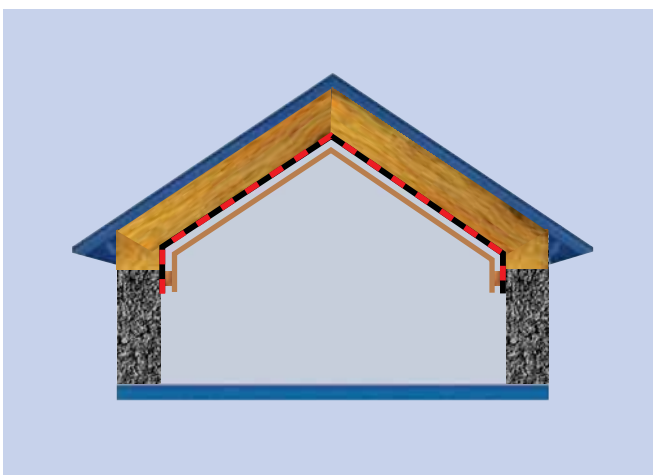
### ■ Massivbauweise

Hülle aus Beton, Backstein und speziellen Isolationssteinen. Installationen im Mauerwerk möglich, ohne Luftdichtung zu verletzen. Für Wände und Flachdächer in Ordnung, für Steildächer eher unüblich.



### ■ Holzbauweise

Luftdichte Dampfbremse warmseitig der Dämmung, Installations-ebene, unabhängige Innenverkleidung. Möglich bei Dämmung unter, zwischen, wie auch über den Sparren. Die SIA 232 und SIA 233 sind hier für Dach und Wand einzuhalten.



### ■ Mischbauweise

Dies ist heute die gebräuchlichste Bauweise. Die Bauteile in sich bieten selten mehr Probleme, besondere Sorgfalt muss jedoch dem Übergang von der massiven Wand in den hölzernen Dachstuhl geschenkt werden. Die SIA 232 ist, hier für den Dachbereich, einzuhalten.

Eine einwandfreie Luft- und Dampfdichtung kann nur dann erreicht werden, wenn bereits in der Planung eine Dichtungsebene definiert wird und die Anschlussdetails vorgängig abgeklärt werden.

## 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

### 3.9 Die Anschlüsse bei Materialübergängen

Wie wir wissen, ist eine Hauptverlustquelle der Übergang von der Massiv- zur Holzbauweise. Wir müssen nun konstruktiv sicherstellen, dass die Luftdichtigkeitsschicht auf die massiven Bauteile angeschlossen und dort auch dauerhaft abgedichtet werden kann.



#### ■ Fussfette – Kniewand

Die Luftdichtigkeitsschicht wird über die Fussfette heruntergezogen, bis auf die massive Kniewand geführt und dort luftdicht verklebt. Eine zusätzliche mechanische Fixierung ist unerlässlich, diese wird normalerweise direkt mit der Schiftlattung ausgeführt. Die Luftdichtigkeitsschicht muss auf den Innenputz geklebt werden.



#### ■ Dach – Giebelwand

Auch die Anschlüsse auf die verputzte Giebelwand müssen sorgfältig ausgeführt werden, mit luftdichter Verklebung und zusätzlicher mechanischer Fixierung.



#### ■ Aufsparrendämmung

Diese Details sind deutlich anspruchsvoller, da die Schalung unterbrochen werden muss. Wenn die Sparren und Pfetten durchlaufen, müssen diese einzeln abgeklebt werden. Wir empfehlen deshalb, das Vordach mit Aufschieblingen und Stichern zu bilden.

Für die Ausführung der Randanschlüsse werden im Markt diverse Materialien angeboten, die jedoch teilweise eher ungeeignet sind. Besonders bewährt haben sich hier die Butylkautschuk-Klebebänder. Sie sind preiswert, leicht zu verarbeiten und sehr alterungsbeständig.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

## 3.10 Die Durchdringungen

Am einfachsten ist es, Durchbrüche möglichst zu vermeiden. Dennoch müssen wir Kamine, Entlüftungen, Installationen usw. nach aussen führen. Auch Fenster und Türen sind Durchbrüche. Hier müssen wir besonders auf gute Luftdichtigkeit achten, denn hier werden die meisten Fehler gemacht.



### ■ Dunstrohre, Lüftungen usw.

Rohrdurchdringungen jeglicher Art, selbst die kleinsten Elektrorohre, müssen dauerhaft abgedichtet werden. Die Dichtungsmaterialien müssen alterungsbeständig sein und flexibel genug, um die teilweise grossen Bewegungen aufzunehmen.



### ■ Türen, Fenster usw.

Grossflächige Öffnungen wie Türen und Fenster werden häufig unterschätzt, sind sie doch nichts anderes als Durchdringungen in der Gebäudehülle und somit potentielle Schwachstellen. Die Luftdichtigkeitsschicht muss auf den Rahmen angeschlossen werden. Spezielle Fenstereinbaubänder schaffen dichte Anschlüsse.

Merke: PU-Schäume dienen zum "Setzen" von Fenster- und Türrahmen, eignen sich aber nicht als Abdichtung.



### ■ Dachflächenfenster

Der Einbau von Dachflächenfenstern ist sehr komplex und sollte nur vom ausgebildeten Fachmann vorgenommen werden. Die Dampfbremse muss luftdicht auf den Rahmen aufgeklebt werden. Erst wenn Dampfbremse, Wärmedämmung und Unterdach richtig angeschlossen sind, ist eine langfristige Funktion gewährleistet.

Für die Abdichtung der Durchdringungen gibt es nur wenige geeignete Materialien. Vergessen Sie grundsätzlich alle Versuche mit Dichtungsmassen, diese sind selten flexibel genug. Auch hier haben sich speziell für diesen Zweck entwickelte Butylkautschuk-Dichtungsbänder seit Jahren bewährt.

## 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

### 3.11 Die Installationsebene

Eine Installationsebene sowie eine Tragkonstruktion für die Innenverkleidung sind in der SIA Norm 232 vorgeschrieben. Diese Massnahme nützt natürlich nur dann etwas, wenn die Installationsebenen der verschiedenen Bauteile miteinander verbunden sind.



#### ■ Vermeidung von Durchdringungen

Die Installationsebene soll sicherstellen, dass die technischen Installationen konsequent warmseitig der Luftdichtigkeitsschicht angeordnet werden können und nicht durch diese hindurch führen. Bei grösseren Installationen wie Sanitär- oder Lüftungsrohren muss die Installationsebene entsprechend gross dimensioniert werden, im Extremfall kommen herabgehängte Decken zur Anwendung.



#### ■ Schutz der Luftdichtigkeitsschicht

Das Tragsystem für die Innenverkleidung, im einfachsten Fall ein Lattenrost, dient neben der Ausbildung einer Installationsebene vor allem auch dem Schutz der Luftdichtigkeitsschicht. Die vielen Täferklammern würden sonst ein Sieb daraus machen, was dann mit Dichtheit wohl nur noch sehr wenig gemeinsam hätte.

Die Führung der Installationen und die entsprechenden Installationsebenen müssen bereits in der Planung berücksichtigt werden, um dann nicht am Bau vor fast unlösbaren Problemen zu stehen.

## 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

### 3.12 Tips für die Praxis

Es wird wohl noch viele Jahre dauern, bis die Einhaltung dieser Grundsätze bei allen Beteiligten zur Routine werden. Planer und Ausführende können einander stark unterstützen, damit diese Neuerungen schnell und reibungslos eingeführt werden.



### Bauplaner

- Erarbeiten Sie eine individuelle Lösung zur Luft- und Dampfdichtigkeit für das jeweilige Objekt.
- Entwickeln Sie ein «Schichtendenken» über die gesamte Gebäudehülle, damit beugen Sie Konflikten an den Bauteilübergängen vor.
- Denken Sie dabei vor allem an die Ausführungsmöglichkeiten am Objekt.
- Diskutieren Sie die Lösung mit dem Handwerker.
- Ziehen Sie den Spezialisten bei, unsere technischen Berater unterstützen Sie gerne.



### Handwerker

- Unterstützen Sie den Architekten.
- Machen Sie ihn auf Versäumnisse aufmerksam (er kann auch nicht alles wissen).
- Bringen Sie Ihre eigenen Ideen ein, am besten schon bei der Planung.
- Besprechen Sie sich auch mit den anderen beteiligten Handwerkern (Arbeitsablauf).
- Ziehen Sie den Spezialisten bei, unsere technischen Berater helfen auch Ihnen.

Nur durch intensive Zusammenarbeit aller beteiligten Planer, Handwerker und Materiallieferanten können wir sichere und langlebige Bauten realisieren. Die Firma Ampack hat vielfältige Lösungen für die zu erwartenden Ausführungsprobleme erarbeitet. Profitieren Sie von diesen Vorarbeiten.

## 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

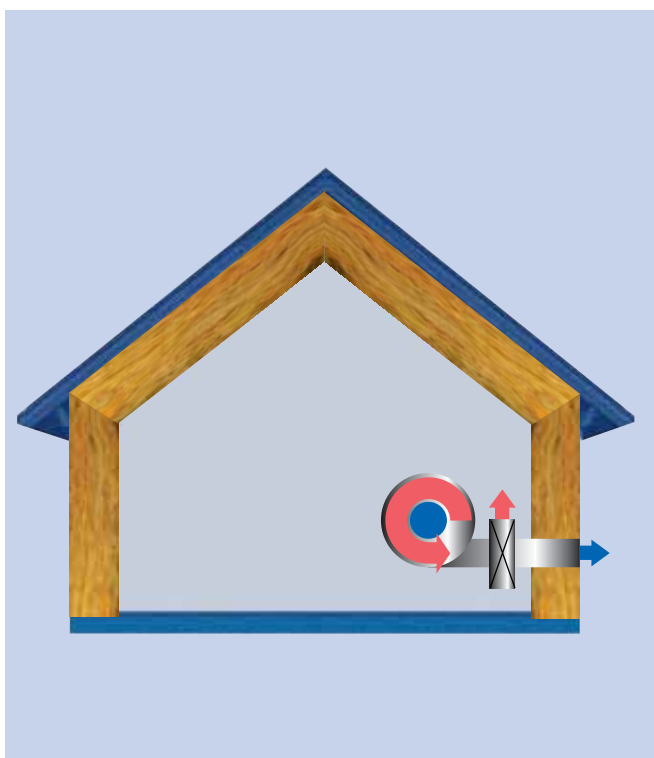
### 3.13 Die Anforderungen an die Luftdichtigkeit

Die Forderungen nach sparsamem Umgang mit Energie werden immer lauter. Besonders die beheizten Gebäude werden immer strengeren Normen und Bestimmungen unterstellt, um Energieverbrauch und Schadstoffausstoss zu verringern.



#### ■ Gute Wärmedämmung

Grosse Dämmstärken um 200mm und mehr sind gut und ökonomisch sinnvoll. Irgendwo stossen wir aber an konstruktive oder finanzielle Grenzen. Zur weiteren Verbesserung der Energiebilanz müssen noch andere Massnahmen her.



#### ■ Wärmerückgewinnung

Die Zukunft bringt uns vermehrt Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung. Statt die verbrauchte Raumluft mit der darin enthaltenen Wärme einfach zum Fenster raus zu lassen, wird sie gesammelt und ihr die Wärme vorher entzogen.

Für mechanisch belüftete Häuser gelten gemäss SIA Norm 180 erhöhte Zielwerte! Diese erhöhten Anforderungen sind nur durch die konsequente Anwendung der wichtigsten Grundsätze zu erfüllen.

# 3. Luftdichtigkeit der Gebäudehülle

## 3.14 Zwei grundlegende Systeme der Luftdichtigkeit

In der SIA 180 unter Punkt 3.3.2 ff sind klare Anforderungen an die Gebäudehülle gestellt. Es wird auch besonders auf die Projektierungs- und Ausführungsphase hingewiesen ohne dabei Abnahmen nach Bauvollendung zu vergessen. Auch die Messung nach Bezug wird nicht ausgeklammert. Hier kommt auf alle Beteiligten eine neue Dimension an Verantwortung zu! Die folgenden grundlegenden Systeme gewinnen an Bedeutung.



### ■ Luftdichtungs-Ebene innen

Die Luftdichtungs-Ebene ist konsequent innerhalb der tragenden Konstruktion angeordnet. Durchdringungen werden möglichst vermieden oder dann gewissenhaft abgedichtet. Dachstühle mit unzähligen Zangen, Stützen usw. können mit diesem System nicht abgedichtet werden.



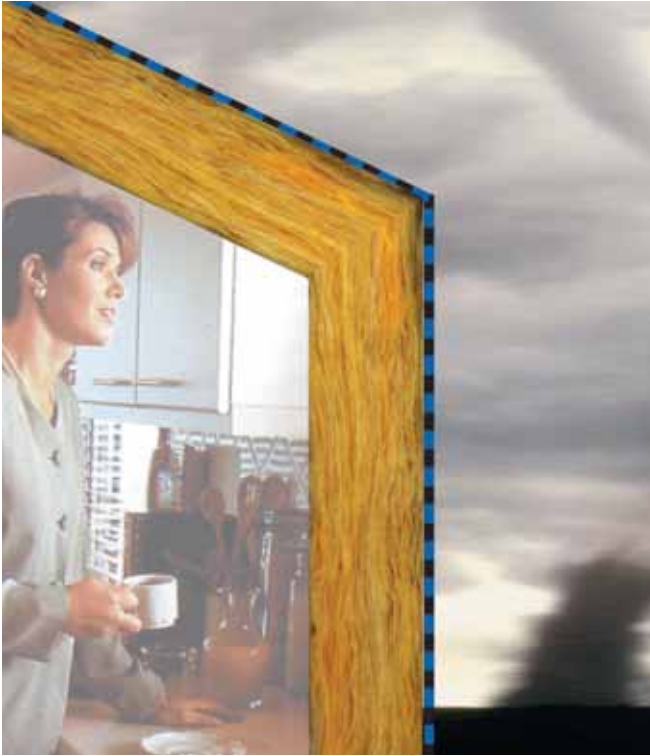
### ■ Luftdichtungs-Ebene aussen

Wenn der Dachstuhl sichtbar bleiben soll oder nach innen mehrfach abgestützt und verstrebt ist, muss die Luftdichtungs-Ebene konsequent ausserhalb der tragenden Konstruktion angeordnet werden. Die Sparren enden auf der Fusspfette, das Vordach wird durch Aufschieblinge und Sticher ausgebildet. Auch hier sind Durchdringungen möglichst zu vermeiden.

Es ist nicht möglich, den hüllflächenbezogenen Volumenstrom auf drei Komma Stellen genau zu planen. Wir können Ihnen jedoch Lösungen anbieten, womit Sie die in den Normen geforderten Werte sicher unterschreiten.

## 4. Winddichtheit

Ein Haus, das winddicht ist, sollte doch eigentlich auch luftdicht sein. Warum werden diese beiden so ähnlichen Begriffe derart deutlich getrennt? Die Antwort ist einfach und einleuchtend. Die Winddichtung schützt die Gebäudehülle vor dem von aussen in alle Ritzen eindringenden Wind, die Luftdichtigkeitsschicht dagegen verhindert das Ausströmen von warmer Raumluft aus dem Gebäudeinnern. War die Bedeutung der Winddichtung bisher nicht besonders geregelt, stellt die neue SIA Norm 233 "Bekleidete Aussenwände", Ausgabe 2000, weitreichende Anforderungen.



### ■ Winddichtung

Die Winddichtung verhindert das Durchströmen der wärmege-  
dämmten Konstruktion mit kalter Aussenluft. Jede Luftzirkulation  
innerhalb der Wärmedämmung vermindert deren Wirkung.

**Die Winddichtung befindet sich daher immer auf der kalten  
Seite der Konstruktion.**

Die SIA Norm 233 Art 2.7.4 legt fest, dass in den Hinterlüftungs-  
raum eingedrungenes Wasser ohne zusätzliche Feuchtebelastung  
der dahinterliegenden Schichten abgeführt werden muss. Art 4.4.2  
legt ebenfalls fest, dass die Warmseite der Wärmedämmung nicht  
mit Aussenluft durchströmt werden darf. Beides kann zuverlässig  
nur durch den Einbau einer Winddichtung mit Abklebung aller  
Überlappungen und Abdichtungen aller Anschlüsse erreicht werden.



### ■ Luftdichtigkeitsschicht

Die Luftdichtigkeitsschicht, soviel wissen wir nun genau, schränkt  
einerseits die Lüftungswärmeverluste ein und verhindert anderer-  
seits das Eindringen von feuchtwarmer Raumluft in die Konstruk-  
tion und somit die gefürchteten Kondensationschäden.

**Die Luftdichtigkeitsschicht befindet sich immer auf der  
warmen Seite der Konstruktion.**

Die SIA Norm 233 Art. 4.3 verlangt eine systemgerechte Abdich-  
tung aller Überlappungen, Anschlüsse und Durchdringungen. Lose  
Verlegungen sind nicht mehr zulässig.

In einer wärmege-  
dämmten Leichtbau- oder Holzkonstruktion darf  
keines von beidem fehlen. Während die Luftdichtigkeitsschicht mit  
Vorteil als luftdichte Dampfbremse ausgeführt wird, muss die  
Winddichtung möglichst dampfdurchlässig sein. Auf diese Weise  
erhalten wir eine bauphysikalisch einwandfreie, langlebige und  
atmungsaktive Gebäudehülle.

## 4. Winddichtheit

### 4.1 Die Winddichtung

Eine Winddichtung kommt hauptsächlich in hinterlüfteten Fassaden zur Anwendung. Bei Dächern hat die Unterdachbahn ebenfalls die Funktion einer Winddichtung zu übernehmen. Neben dem reinen Schutz vor Wind hat sie noch eine ganze Reihe weiterer Funktionen zu erfüllen. Dabei müssen wir zwischen der Bauphase und der Nutzungsphase unterscheiden.



#### ■ Winddichtung in der Bauphase

Vorgehängte Fassaden bleiben oft monatelang ohne Eindeckung. Dies hat verschiedene Gründe und kommt in allen Jahreszeiten vor. Hier schützt die Winddichtung die wärmedämmte Konstruktion vor den äusseren Einflüssen wie Wind, Regen, Schnee usw., welche besonders die Stossfugen belasten.



#### ■ Winddichtung in der Nutzungsphase

Hier verhindert sie das Eindringen von Kaltluft in die Fugen der Wärmedämmung, das Einnisten von Kleintieren wie Insekten, Maden, Spinnen und Mäusen sowie das Herauskippen von unsauber eingepassten Dämmplatten.

Eine Winddichtung hilft generell auch mit, die in der SIA Norm 180 geforderten Luftdichtheitswerte zu erreichen. Ausserdem entschärft sie allfällige Leckstellen in der Luftdichtheitschicht, da sie grosse Luftmassenverschiebungen innerhalb der Konstruktion verhindert.

## 4. Winddichtheit

### 4.2 Die Anforderungen an eine Winddichtung

Damit eine Winddichtung ihre Funktion sowohl in der Bau- wie auch in der Nutzungsphase optimal erfüllen kann, muss sie einige grundsätzliche Eigenschaften aufweisen. Dass sie ausserdem noch schnell und sicher zu verarbeiten sein muss, versteht sich schon fast von selbst.



#### ■ Wasserdampfdiffusion

Eine Winddichtung muss sehr dampfdurchlässig sein, damit die Feuchtigkeit der Konstruktion ungehindert in den Durchlüftungsraum entweichen kann. Bereits während der Bauphase fällt viel Baufeuchte an, später dann die im Gebäudeinnern produzierte Nutzungsfeuchte.



#### ■ Wind- und Wetterschutz

Eine Winddichtung muss luft- und regendicht sein, um Ihre Grundfunktion erfüllen zu können. Es gibt aber nur wenige Materialien, die gleichzeitig regendicht und auch noch dampfdurchlässig sind! Hier wird in der Praxis leider oft mit «beschnittenen» Werten gearbeitet.



#### ■ Mechanische Eigenschaften

Eine Winddichtung muss stabil sein und darf nicht ausbeulen. Eine glatte Oberfläche begünstigt ausserdem die Funktionalität der Hinterlüftung.



#### ■ Beständigkeit

Eine Winddichtung soll schwer entflammbar sein (BKZ 5), eine hohe UV-Stabilität aufweisen, Temperaturbereiche von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+80^{\circ}\text{C}$  vertragen und eine Alterungsbeständigkeit aufweisen, die der Lebensdauer der Fassade entspricht.

Lediglich die Brandklasse ist in den SIA-Normen bzw. Brandschutz-Vorschriften definiert, alle anderen Werte sind nicht vorgeschrieben. In der Praxis zeigt sich aber ziemlich schnell, wo die kritischen Grenzen liegen.

### 4.3 Die richtige Ausführung der Winddichtung

Auch Winddichtungen müssen sauber und sorgfältig verarbeitet werden, nur so können sie ihre Aufgabe richtig erfüllen und den optimalen Nutzen bringen. Speziell folgende Punkte werden in der Praxis immer wieder vernachlässigt:



#### ■ Saubere, faltenfreie Verarbeitung

Die Winddichtung muss flach verlegt sein und darf keine grossen Falten aufweisen. Diese könnten die Hinterlüftung behindern oder im Extremfall gar zu Flattergeräuschen führen.



#### ■ Überlappungen und Anschlüsse

Die Überlappungen und Anschlüsse müssen mit geeigneten Klebebändern sauber abgeklebt werden, damit die kalte Aussenluft nicht eindringen und die Winddichtung hinterspülen kann. Dies würde deren Wirkung stark vermindern.



#### ■ Durchdringungen

Türen, Fenster, Dunstrohre, Elektrorohre, Befestigungsanker usw. müssen ebenfalls luft- und regendicht abgeklebt werden. Besonders die Fassadenanker stellen einen Schwachpunkt dar, der nicht zu unterschätzen ist.

Die Winddichtung und Ihre Funktion wird oft unterschätzt. Auch hier ist eine fachgerechte Ausführung enorm wichtig. Gerne stellen wir Ihnen unser Know-how zur Verfügung, unsere technischen Berater stehen Ihnen mit Rat und Tat zur Seite.

## 5. Austrocknungskapazität

Die Diffusionsberechnungen nach SIA 180 sollen sicherstellen, dass unsere Wand- und Dach-Konstruktionen in Bezug auf den Dampfdurchgang funktionieren. Sie gehen allerdings von der Annahme aus, dass die Dampfdiffusion durch Flächen der einzige Weg ist, wie Feuchtigkeit in die Konstruktion eindringt. Die Praxis sieht jedoch oft anders aus.



### ■ Die Theorie

Die Diffusionsberechnungen nach SIA 180 (Glaserverfahren) berücksichtigen nur die Diffusionswiderstände der verwendeten Materialien sowie die Klimadaten. Sie setzen somit die absolute Luftdichtigkeit aller Baustoffe sowie das Fehlen anderer Feuchtequellen voraus.

Weitere Feuchte-transportmechanismen wie «Sorptions» (Feuchte-speicherung) und «Kapillarität» (Flüssigtransport) werden nicht berücksichtigt.



### ■ Die Praxis

In der Praxis gibt es jedoch diverse ausserplanmässige Feuchteeinwirkungen. Die häufigsten davon sind:

- zu feucht eingebautes Konstruktionsholz
- Niederschläge während der Bauphase
- Wasserdampf-Konvektion durch undichte Dampfbremsen
- spätere Leckagen in der Dachhaut oder Dampfbremse
- erhöhter Dampfdruck im Gebäudeinnern

Die Austrocknungskapazität zeigt nun die Fähigkeit einer Konstruktion auf, solche ausserplanmässige Feuchtigkeit wieder austrocknen zu lassen. Dies ist besonders bei Holzkonstruktionen wichtig, da Feuchtigkeit zu Pilzbefall und somit zur Zerstörung des Holzes führen kann.

# 5. Austrocknungskapazität

## 5.1 Das Risiko von Pilzbefall

Allgemein kann ein echter Hausschwamm erst bei einer Holzfeuchte  $u = 18 - 20\%$  entstehen. Anderen Quellen zufolge kann ein Pilzwachstum schädlich für das Holz werden, wenn die Holzfeuchte  $u$  oberhalb des Fasersättigungsbereiches von etwa  $u = 25 - 30\%$  liegt. Wir gehen davon aus, dass ein Pilzbefall oder Pilzwachstum vermieden wird, wenn die Einzelmessung (z.B. mittels Einschlag-Elektroden) einen Wert  $u_1 \leq 20\%$  ergibt.



### ■ Grundannahme

Die Forderungen bezüglich Austrocknungskapazität basieren auf der Überlegung, dass sowohl bei nicht belüfteten wie auch bei belüfteten Konstruktionen die Gefahr von ausserplanmässiger Feuchteeinwirkung und somit von Pilzbefall grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann.



### ■ Der kritische Zeitraum

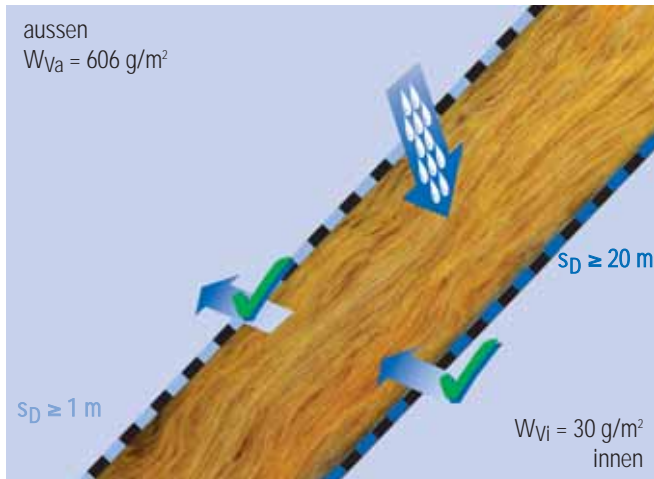
Gemäss Prof. H. Schulze von der Technischen Universität Braunschweig ist ein Pilzbefall solange zulässig, wie er zu keinem Schaden führt. Konkret ausgedrückt: solange die Holzfeuchte den Wert  $u = 30\%$  oder  $u_1 = 20\%$  nur für einen kurzen Zeitraum von höchstens 6 Monaten überschreitet, kann zwar eine Pilzspore zur Hyphe auskeimen, aber noch keinen Schaden am Holz verursachen.

Wir konzentrieren uns deshalb auf die Frage, wie eine Konstruktion aufgebaut sein muss, damit ausserplanmässig eindringende Feuchtigkeit innerhalb von maximal 6 Monaten austrocknen kann.

# 5. Austrocknungskapazität

## 5.2 Die Voraussetzung für eine hohe Austrocknungskapazität $W_V$

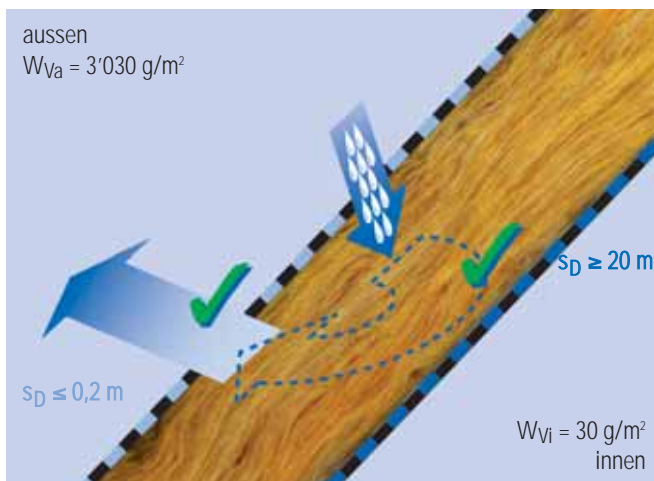
Prof. H. Schulze hat zwischen 1990 und 1993 an der Technischen Universität Braunschweig den Einfluss von diffusionsoffenen Unterdachspannbahnen auf die Austrocknungskapazität  $W_V$  (Verdunstungsmasse) der gesamten Konstruktion erforscht. Untersuchungsergebnisse des Technischen Forschungszentrums in Helsinki/Finnland betreffend Dampffluss durch Winddichtungen haben seine Erkenntnisse bestätigt.



### ■ Unterdach mit $s_D \geq 1$ m

Die Gefahr der Schädigung durch Pilzbefall bei ausserplanmässig einwirkender Feuchtigkeit ist wegen der geringen Dampfdurchlässigkeit des Unterdaches nicht auszuschliessen. Gemäss DIN 68 800 Teil 3 muss in Deutschland das Holz in solchen Konstruktionen mit einem chemischen Holzschutzmittel behandelt sein.

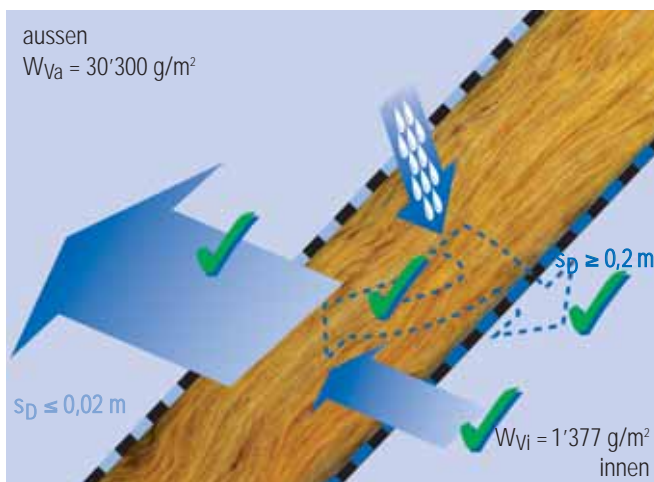
**Austrocknungskapazität  $W_V$  total = 636 g/m<sup>2</sup>**



### ■ Unterdach mit $s_D \leq 0,2$ m

Infolge der grösseren Austrocknungskapazität  $W_V$  des diffusionsoffenen Unterdaches besteht die Gefahr von Bauschäden im Gegensatz zur obigen Situation nicht, sodass hier auf jeglichen chemischen Holzschutz verzichtet werden kann. Bedingung dafür ist jedoch eine raumseitige Dampfbremse mit  $s_D \geq 20$  m.

**Austrocknungskapazität  $W_V$  total = 3'060 g/m<sup>2</sup>**



### ■ Unterdach mit $s_D \leq 0,02$ m

Bei Sparrenvolldämmung mit mineralischen Faserdämmstoffen wird selbst bei Verwendung von raumseitigen Dampfbremsen bis hinunter zu einem  $s_D$ -Wert von nur noch 0,2m die zulässige Tauwassermenge nicht überschritten. Ausserdem erhöht sich die gesamte Austrocknungskapazität  $W_V$  wesentlich, da eine Austrocknung nun auch nach innen erfolgen kann.

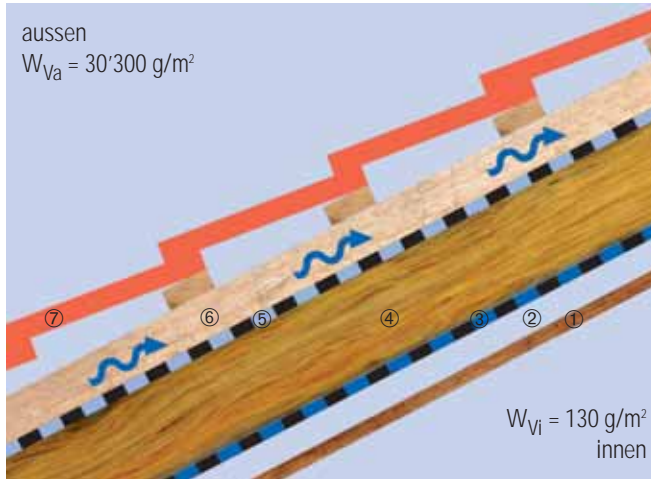
**Austrocknungskapazität  $W_V$  total = 31'677 g/m<sup>2</sup>**

Alle Berechnungen der Austrocknungskapazität  $W_V$  nach Prof. H. Schulze, Wärmedämmung Mineralfaser  $s_D = 0,24$  m

# 5. Austrocknungskapazität

## 5.3 Beispiele für Konstruktionen mit hoher Austrocknungskapazität $W_V$

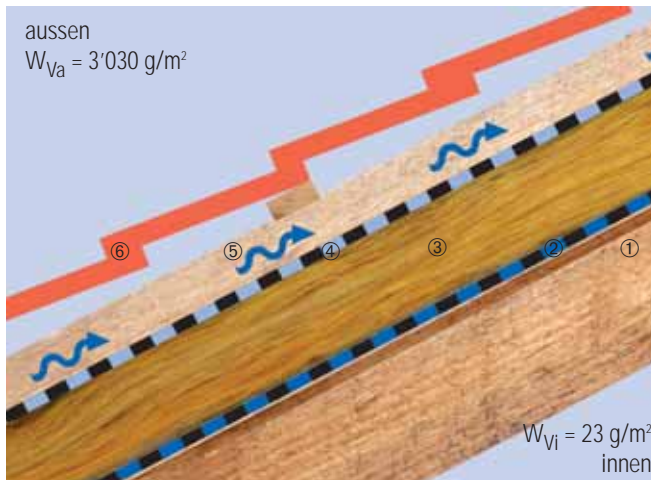
Äussere Deckschichten mit extrem grosser Dampfdurchlässigkeit erhöhen die Austrocknungskapazität  $W_V$  (Verdunstungsmasse) enorm und erlauben ausserdem den Einsatz von «leichten» Dampfbremsen auf der warmen Seite der Konstruktion.



### ■ Dach – Dämmung zwischen Sparren

- ① Innenverkleidung Täfer ( $s_D = 0,39$  m)
- ② Installationsebene
- ③ Luftdichtung und Dampfbremse Ampatex® DB2 ( $s_D = 2,0$  m)
- ④ Wärmedämmung Mineralfaser ( $s_D = 0,24$  m)
- ⑤ Unterdachbahn Tyvek® X3 ( $s_D = 0,02$  m)
- ⑥ Konterlattung belüftet
- ⑦ Dachlattung und Ziegeleindeckung

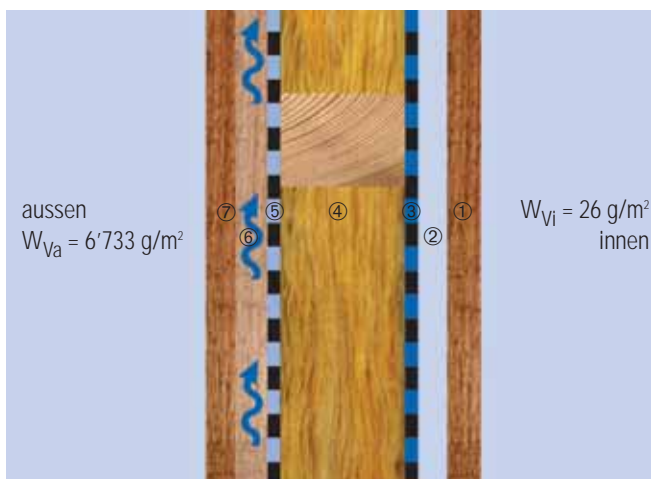
$s_D$ -Wert der Gesamtkonstruktion = 2,65 m  
**Austrocknungskapazität  $W_V$  total = 30'693 g/m<sup>2</sup>**



### ■ Dach – Dämmung über Sparren

- ① Sparren und Sichtschalung ( $s_D = 0,60$  m)
- ② Schalungsbahn und Dampfbremse Ampatex® SB 130 ( $s_D = 40$  m)
- ③ Wärmedämmung Mineralfaser ( $s_D = 0,24$  m)
- ④ Unterdachbahn Tyvek® X3 ( $s_D = 0,02$  m)
- ⑤ Konterlattung belüftet
- ⑥ Dachlattung und Ziegeleindeckung

$s_D$ -Wert der Gesamtkonstruktion = 40,86 m  
**Austrocknungskapazität  $W_V$  total = 30'314 g/m<sup>2</sup>**



### ■ Wand – Dämmung zwischen Pfosten

- ① Innenverkleidung Täfer ( $s_D = 0,39$  m)
- ② Installationsebene
- ③ Luftdichtung und Dampfbremse Ampatex® DB 90 ( $s_D = 23$  m)
- ④ Wärmedämmung Mineralfaser ( $s_D = 0,24$  m)
- ⑤ Winddichtung Tyvek® H1 ( $s_D = 0,02$  m)
- ⑥ Konterlattung belüftet
- ⑦ vorgehängte Fassade

$s_D$ -Wert der Gesamtkonstruktion = 23,65 m  
**Austrocknungskapazität  $W_V$  total = 30'326 g/m<sup>2</sup>**

Alle Berechnungen der Austrocknungskapazität  $W_V$  nach Prof. H. Schulze, Wärmedämmung Mineralfaser  $s_D = 0,24$  m

# Anhang 1

## Taupunkt- oder Sättigungstemperatur der Luft $\vartheta_T$



Luft-temp. °C	Taupunkttemperatur in °C bei verschiedenen Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten											
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
0	-10.7	-9.3	-8.1	-7.0	-6.0	-5.1	-4.2	-3.4	-2.7	-2.0	-1.3	-0.6
1	-9.9	-8.5	-7.3	-6.2	-5.2	-4.2	-3.4	-2.5	-1.8	-0.9	-0.4	0.5
2	-9.0	-7.7	-6.5	-5.4	-4.4	-3.4	-2.6	-1.7	-1.0	-0.2	0.5	1.3
3	-8.2	-6.8	-5.7	-4.5	-3.5	-2.6	-1.7	-0.8	0.0	0.8	1.5	2.3
4	-7.4	-6.0	-4.9	-3.7	-2.7	-1.8	-0.9	0.0	0.9	1.7	2.5	3.3
5	-6.6	-5.2	-4.0	-2.9	-1.8	-0.9	0.0	1.0	1.9	2.7	3.5	4.3
6	-5.8	-4.4	-3.2	-2.1	-1.0	0.0	0.9	1.9	2.8	3.7	4.5	5.3
7	-5.0	-3.6	-2.4	-1.2	-0.1	1.0	1.9	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3
8	-4.2	-2.8	-1.6	-0.4	0.7	1.9	2.9	3.9	4.8	5.7	6.5	7.3
9	-3.4	-2.0	-0.8	0.5	1.7	2.8	3.9	4.9	5.8	6.7	7.5	8.3
10	-2.6	-1.1	0.0	1.3	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.3
11	-1.8	-0.3	1.0	2.3	3.6	4.7	5.8	6.8	7.7	8.6	9.4	10.3
12	-1.0	0.5	1.9	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.3
13	-0.2	1.4	2.8	4.2	5.5	6.7	7.7	8.7	9.7	10.6	11.4	12.3
14	0.6	2.3	3.7	5.2	6.4	7.6	8.6	9.7	10.6	11.6	12.4	13.3
15	1.5	3.2	4.7	6.1	7.3	8.6	9.6	10.7	11.6	12.6	13.4	14.3
16	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.5	10.5	11.6	12.5	13.5	14.3	15.2
17	3.3	5.1	6.5	8.0	9.2	10.5	11.5	12.6	13.5	14.5	15.3	16.2
18	4.2	6.0	7.4	8.9	10.1	11.4	12.4	13.6	14.5	15.5	16.3	17.2
19	5.1	6.9	8.4	9.8	11.1	12.4	13.4	14.6	15.5	16.5	17.3	18.2
20	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.3	14.4	15.5	16.4	17.5	18.3	19.2
21	6.9	8.7	10.2	11.7	13.0	14.3	15.4	16.5	17.4	18.5	19.3	20.2
22	7.8	9.6	11.1	12.6	13.9	15.2	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2
23	8.7	10.5	12.0	13.5	14.9	16.2	17.3	18.4	19.4	20.4	21.3	22.2
24	9.6	11.4	12.9	14.4	15.8	17.1	18.2	19.3	20.3	21.4	22.2	23.2
25	10.5	12.3	13.9	15.4	16.7	18.0	19.2	20.3	21.3	22.4	23.2	24.2
26	11.3	13.2	14.8	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.1
27	12.2	14.1	15.7	17.2	18.6	19.9	21.1	22.2	23.3	24.3	25.2	26.1
28	13.1	15.0	16.6	18.1	19.5	20.8	22.0	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1
29	14.0	15.9	17.5	19.1	20.5	21.8	23.0	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1
30	14.9	16.8	18.4	20.0	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1
40	23.8	25.8	27.6	29.2	30.7	32.2	33.5	34.7	35.9	37.0	38.1	39.0

Wassergehalt gesättigter Luft		Wasserdampf-sättigungsdruck ( $p_s$ ) in Pascal (Pa) bei verschiedenen Temperaturen									
g/m <sup>3</sup>	°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0.34	-30	38	38	37	37	37	36	36	35	35	35
0.88	-20	103	102	101	100	99	99	98	97	96	95
2.14	-10	260	257	255	253	251	248	246	244	242	240
2.33	-9	284	281	279	276	274	271	269	267	265	262
2.53	-8	310	307	304	301	299	296	294	291	289	286
2.75	-7	338	335	332	329	327	324	321	318	316	313
2.99	-6	368	365	362	359	356	353	350	347	344	341
3.25	-5	402	399	395	391	388	384	381	378	375	371
3.52	-4	437	433	430	426	423	419	415	412	409	407
3.82	-3	476	472	468	464	460	456	452	449	445	441
4.14	-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	480
4.49	-1	562	557	553	548	554	540	536	531	526	521
4.85	0	–	605	600	596	591	587	581	576	572	567
4.85	0	611	615	620	624	629	633	638	643	647	652
5.20	1	657	661	666	671	676	681	686	690	695	700
5.57	2	705	711	716	721	726	731	736	742	747	752
5.96	3	757	763	768	774	779	785	790	796	802	807
6.37	4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
6.80	5	872	878	884	890	896	903	909	915	922	928
7.27	6	935	941	948	954	961	967	974	981	988	994
7.76	7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1057	1065
8.28	8	1072	1079	1087	1094	1102	1109	1117	1124	1132	1139
8.83	9	1147	1155	1163	1171	1179	1186	1194	1203	1211	1219
9.41	10	1227	1235	1244	1252	1260	1269	1277	1286	1294	1303
10.03	11	1312	1320	1329	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1392
10.68	12	1401	1411	1420	1429	1439	1448	1458	1467	1477	1487
11.37	13	1497	1506	1516	1526	1536	1546	1556	1566	1577	1587
12.09	14	1597	1608	1618	1629	1639	1650	1661	1671	1682	1693
12.95	15	1704	1715	1726	1737	1748	1760	1771	1782	1794	1805
13.65	16	1817	1828	1840	1852	1864	1876	1888	1900	1912	1924
14.50	17	1936	1948	1961	1973	1986	1998	2011	2024	2037	2049
15.40	18	2062	2075	2088	2102	2115	2128	2141	2155	2168	2182
16.33	19	2196	2209	2223	2237	2251	2265	2279	2294	2308	2322
17.31	20	2337	2351	2366	2380	2395	2410	2425	2440	2455	2470
18.35	21	2485	2501	2516	2531	2547	2563	2578	2594	2610	2626
19.45	22	2642	2658	2675	2691	2707	2724	2740	2757	2774	2791
20.60	23	2808	2825	2842	2859	2876	2894	2911	2929	2946	2964
21.80	24	2982	3000	3018	3036	3055	3073	3091	3110	3128	3147
23.07	25	3166	3185	3204	3223	3242	3262	3281	3301	3320	3340
24.40	26	3360	3380	3400	3420	3440	3460	3481	3501	3522	3543
25.80	27	3564	3585	3606	3627	3648	3670	3691	3713	3734	3756
27.27	28	3778	3800	3822	3845	3867	3890	3912	3935	3958	3981
28.80	29	4004	4027	4051	4074	4098	4121	4145	4169	4193	4217
30.40	30	4241	4266	4290	4315	4340	4365	4390	4415	4440	4468
51.07	40	7379	7420	7459	7499	7540	7580	7620	7661	7702	7743

### ... der Dampfdiffusion

#### 1. Gebot

Wasserdampf in der Luft ist gasförmig und untersteht dem physikalischen Grundgesetz des Druckausgleiches.

#### 2. Gebot

Die Dampfdiffusion (Dampfwanderung) verläuft immer von der Seite mit dem höheren Dampfdruck zur Seite mit dem tieferen Dampfdruck. Normalerweise ist dies in mitteleuropäischen Wohnbauten von Warm zu Kalt, also von Innen nach Aussen.

#### 3. Gebot

Eine Dampfbremse wird immer warmseitig der wärmedämmten Konstruktion angeordnet und ist so gleichzeitig eine Luftdichtigkeitsschicht, sie muss daher luftdicht verarbeitet werden. Eine dampfdichte Schicht ist immer auch luftdicht, jedoch nicht unbedingt umgekehrt.

#### 4. Gebot

Durchdringungen durch die Luftdichtigkeitsschicht sind möglichst zu vermeiden, unvermeidbare Durchdringungen müssen dauerhaft gedichtet werden.

#### 5. Gebot

Eine Holzkonstruktion sollte so aufgebaut sein, dass unbeabsichtigt eindringende Feuchtigkeit in maximal 6 Monaten austrocknen kann. Dies ist bei äusseren Deckschichten mit einem  $s_D$ -Wert von 0.2m oder kleiner immer der Fall.

#### 6. Gebot

Der Diffusionswiderstand der verschiedenen Materialien in einer mehrschichtigen Konstruktion soll von der Warmseite zur Kaltseite in jeder Schicht abnehmen.

#### 7. Gebot

Die Dampfbremse soll mindestens 10x dichter sein wie die Aussen-schicht (Unterdach/Winddichtung).

#### 8. Gebot

Konstruktionsholz (insbesondere die tragende Konstruktion) sollte nie beidseitig mit dampfdichten Schichten eingepackt werden.

#### 9. Gebot

Für die Wahl von Dampfbremsen und Dampfsperren gibt es 3 Faustregeln:

- Bei einer Konstruktion mit funktionierender Hinterlüftung oder diffusions-offener Deckschicht genügt eine Dampfbremse mit niedrigem  $s_D$ -Wert.
- Bei einer Konstruktion ohne funktionierende Hinterlüftung zwischen Wärmedämmung und diffusionshemmender Aussenhaut muss eine Dampfbremse mit hohem  $s_D$ -Wert eingebaut werden.
- Bei Räumen mit hohem konstantem Wasserdampfdruck (z.B. Hallenbäder, Saunas, Wäschereien, Hotelküchen etc.) muss immer eine Dampfbremse mit hohem  $s_D$ -Wert gewählt werden.

#### 10. Gebot

Eine Hinterlüftung funktioniert nur dann, wenn die Anforderungen der SIA 232 und SIA 233, erfüllt sind:

- Der Querschnitt des Durchlüftungsraumes ist dort detailliert vorgeschrieben und zwingend zu beachten.
- Die Querschnitte der Zu- und Abluftöffnungen müssen je mindestens der Hälfte des Durchlüftungsraumes entsprechen. Querschnittsverminderungen durch Insektengitter, Lochbleche und ähnliches sind dabei zu berücksichtigen.
- Der Durchlüftungsquerschnitt darf nirgends mehr als 50% eingeschränkt werden. Bei grösseren Durchdringungen wie Lukarnen, Dachfenstern etc. sowie bei Kehlen und Gräten ist die Durchlüftung durch konstruktive Massnahmen sicherzustellen.

### ... der Luftdichtigkeit

#### 1. Gebot

Die Gebäudehülle ist grundsätzlich luftdicht auszuführen.

#### 2. Gebot

Es ist ein Luftdichtigkeitskonzept vorzusehen, d.h. Luftdichtigkeit muss durch alle am Bau Beteiligten geplant werden.

#### 3. Gebot

Die raumseitige Bekleidung in Form von Platten ist wegen häufiger Durchdringungen in der Regel als Luftdichtigkeitsschicht nicht geeignet.

#### 4. Gebot

Die Luftdichtigkeit ist mit System unter Beachtung der Arbeitsabfolge sauber auszuführen.

#### 5. Gebot

Produkte zur Ausführung einer luftdichten Schicht müssen dauerhaft und aufeinander abgestimmt sein.

#### 6. Gebot

Bauüblichen Bewegungen und Temperaturen muss durch die Wahl der Materialien Rechnung getragen werden.

#### 7. Gebot

Luftdichtigkeitsschichten müssen in der Fläche dicht sein, Randschlüsse an feste Bauteile sind dauerhaft zu dichten.

#### 8. Gebot

Durchdringungen sind zu vermeiden. Unvermeidbare Durchdringungen sind luftdicht auszuführen.

#### 9. Gebot

Einmal verlegte Luftdichtigkeitsschichten dürfen nicht verletzt werden. Die richtige Ausführung ist durch die Bauleitung abzunehmen, ggf. durch ein neutrales Institut zu prüfen.

#### 10. Gebot

Belüftete Hohlräume (Installationsschächte, Kamine) im Gebäudeinneren sind gegen die Innenräume luftdicht auszuführen.

---

### ■ Ampack-Dokumentation

zu beziehen bei Ampack AG, Rorschach

---

### ■ Ampack-Broschüre «Konstruktionsdetails»

zu beziehen bei Ampack AG, Rorschach

---

### ■ Ampack-Broschüre «Ampacoll macht Häuser luftdicht»

zu beziehen bei Ampack AG, Rorschach

---

### ■ Ampack-Broschüre «Die neue SIA 180 – Für Sie gelesen»

zu beziehen bei Ampack AG, Rorschach

---

### ■ SIA Norm 180

(Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, 1999)

zu beziehen beim Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein, 8039 Zürich

---

### ■ SIA Norm 232

(Geneigte Dächer, 2000)

zu beziehen beim Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein, 8039 Zürich

---

### ■ SIA Norm 233

(Bekleidete Aussenwände, 2000)

zu beziehen beim Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein, 8039 Zürich

---

### ■ Luftdurchlässigkeit von Gebäudehüllen im Holzhausbau

(EMPA Bericht Nr. 218, Abt. Holz und Bauphysik, 1989) zu beziehen bei der EMPA, 8600 Dübendorf

---

### ■ Konzepte für eine luftdichte Gebäudehülle im Holzhausbau

(EMPA Bericht Nr. 115/20, Abt. Holz, 1990) zu beziehen bei dem EMPA, 8600 Dübendorf

---

### ■ Sanieren – Renovieren

(Impulsprogramm Holz, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1989)

zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern; Best. Nr. 724.808 d

---

### ■ Wärme gedämmte Steildachsysteme

(Impulsprogramm Holz, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1988)

zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern; Best. Nr. 724.806 d

---

### ■ Luftdurchlässigkeit der Gebäudehüllen

(Seminar vom 30. August 1990 in Rapperswil, Impulsprogramm Holz, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1988)

zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern; Best. Nr. 724.987

---

### ■ Holzbau, Wände-Decken-Dächer, Konstruktionen-Bauphysik-Holzschutz

(Prof. H. Schulze, 1996)

zu beziehen beim Verlag B. G. Teubner, Stuttgart, ISBN 3-519-05258-X

---

# Ampack AG · 9401 Rorschach

## Unsere Marktleistungen

Wir begleiten Sie von der Planung, über die ausgereifte Systemlösung, bis hin zur Kundenzufriedenheit!



Produkte

- ausgereift
- bedarfsgerecht



Anwendungstechnik

- sachkundig
- schnell



Dokumentation

- umfassend
- durchdacht



Technische Berater

- kompetent
- persönlich



Schulungen

- praxisnah
- individuell



Entwicklungen

- bedürfnisorientiert
- zukunftsweisend

Verkauf durch den Fachhandel

Ampack AG · Bautechnik ■  
Seebleichstrasse 50 ■  
CH-9401 Rorschach ■  
Tel. 071 858 38 00 · Fax 071 858 38 37 ■  
E-Mail: [ampack@ampack.ch](mailto:ampack@ampack.ch) ■  
Internet: <http://www.ampack.ch> ■

