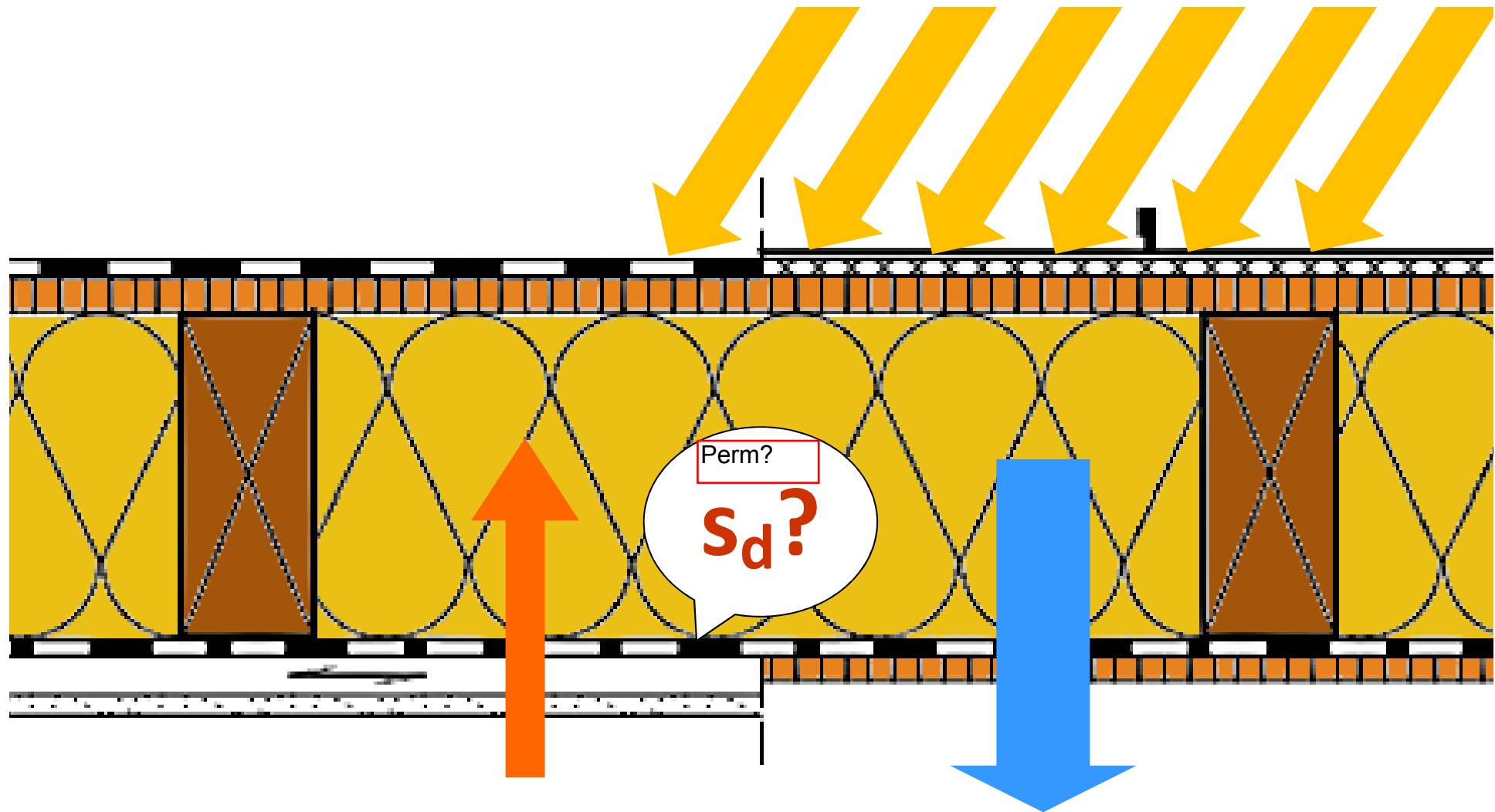


Unvented flatroof in wood construction  
Structure, Materials, risk of damages

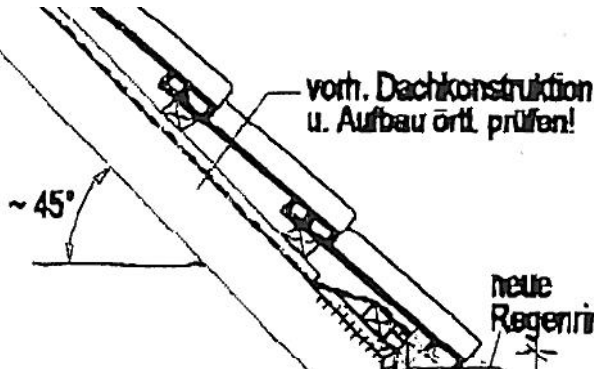
# Unbelüftete Flachdächer in Holz

## Aufbau, Materialien, Schadensrisiken



Dipl.-Ing. Martin Mohrmann, ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Holzkonstruktionen, Malente  
Dipl.-Ing Martin Mohrmann. Building Science expert for damages in wood construction, Malente

D9  
FB. DG



vorn. Decke,  
genaue Lage, Material  
u. Stärke örtl. prüfen!



Abbruch  
des vorh.  
Traufbereiches

+2,91

**Dachaufbau:**

- Dachdichtungsbahn geklebt
- Bitumendichtungsbahn, besandet, aufgenagelt
- 2,5cm OSB-Schalung
- Holzgefällekeil 2,5%
- Deckenscheibe: gespundete Dachschalung d
- 6/20cm Balkendecke gem. Statik, e= 80cm, n
- Dampfsperre
- 3,0cm Grundprofil
- 1,25cm Feuerschutzplatten
- 3,0cm Tragprofil mit 2,5cm Dämmung
- 1,25cm Gipskarton-Plattenstreifen
- 1,25cm Gipskarton-Lochplatten

Roof  
Adhered bituminous roofing,  
sanded, nailed down  
1" OSB sheathing  
2.5 degree pitch (0.3:12)  
Vented cavity (ave. 3")  
Roof boards (1x4)  
3x9 roof joists, insulated  
Vapor barrier  
2x3 counter battens, insulated  
1/2" sheetrock strips  
1/2" sheetrock

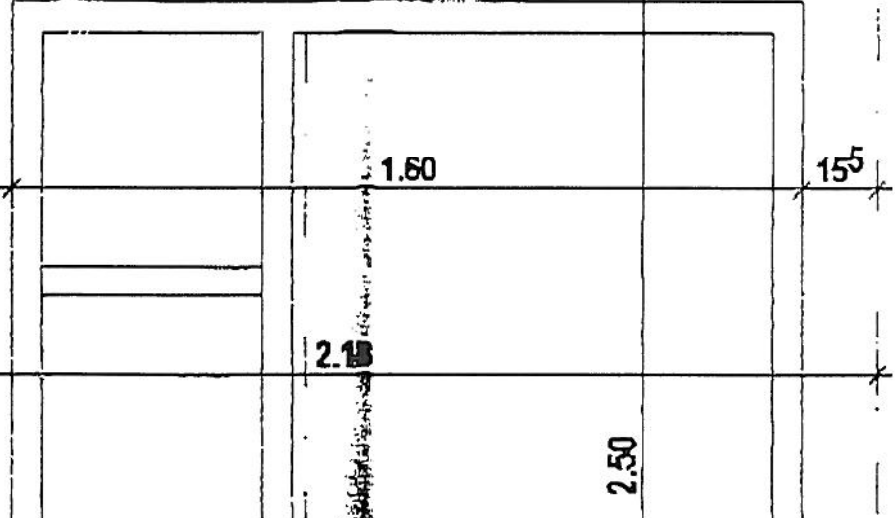
2,5% Gefälle

Fischerdübel FAZ II 12/30  
gem. Statik

vorn. Mauerwerk neu verputzen

L 180x90x10mm  
durchlaufend  
+ Laschen alle  
50cm gem. Statik

~ 2,65  
UK Regenrinne  
Bestand  
örtlich überprüfen!



Mauerwerk

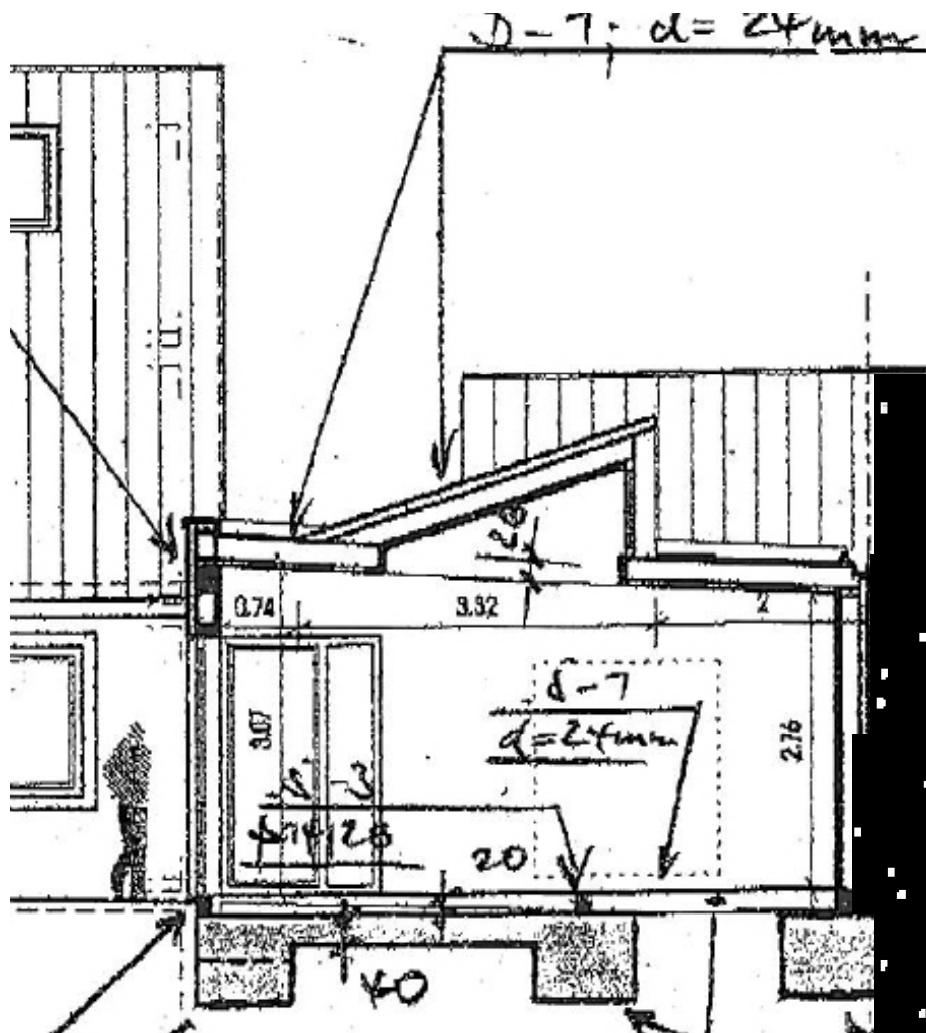


# Unkontrollierbare Hohlräume auf der Kaltseite der Dämmebene sind Schadensquellen !

Uncontrolled cavities/airpocket on the cold side of the insulation result in damages



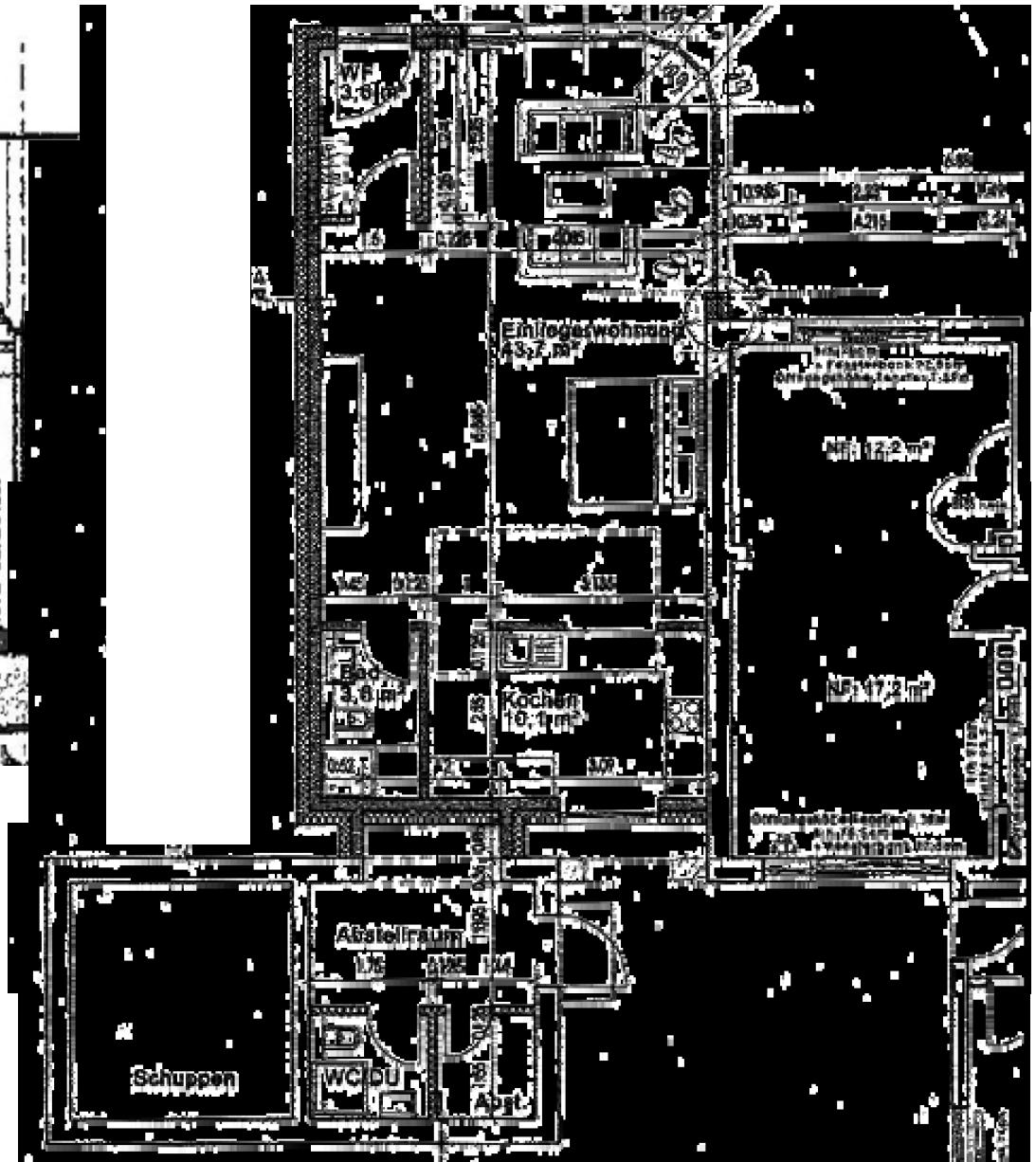




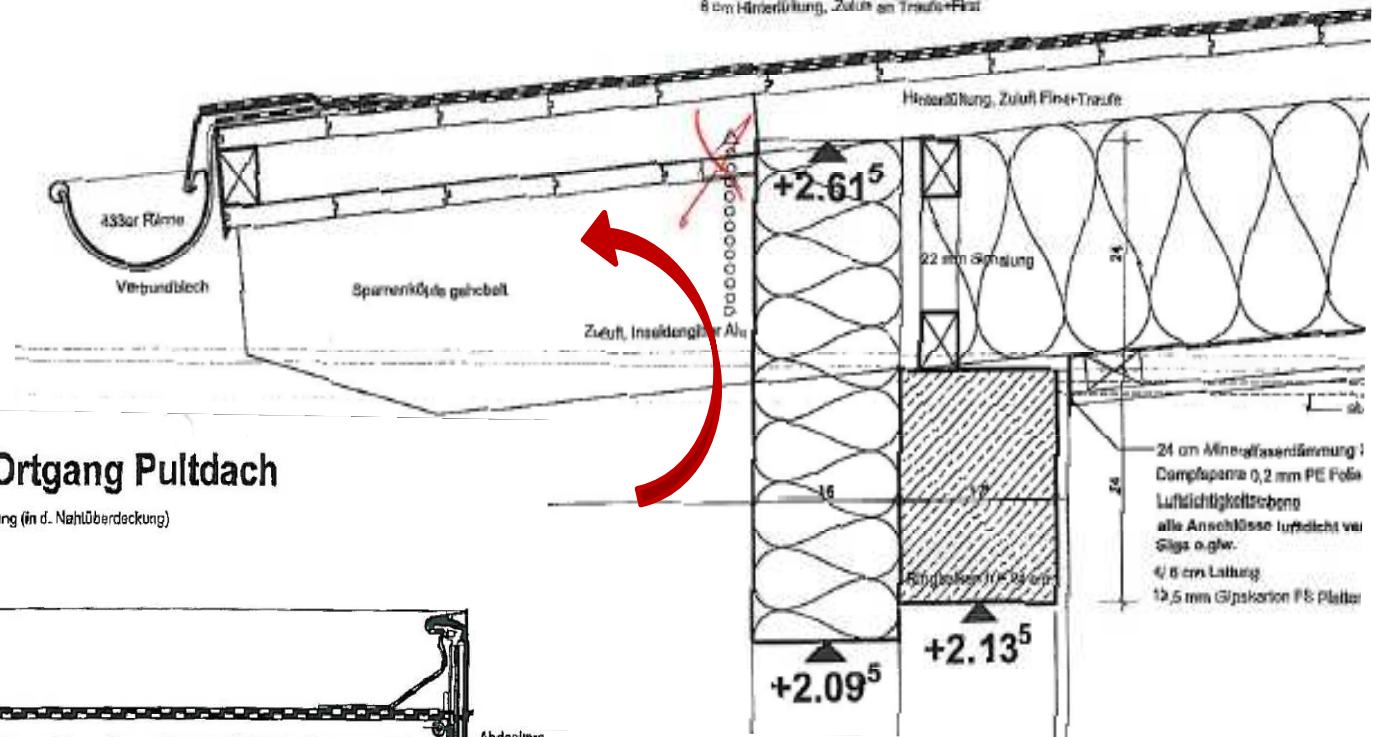
**Schnitt**

Section

Floorplan  
**Grundriss**

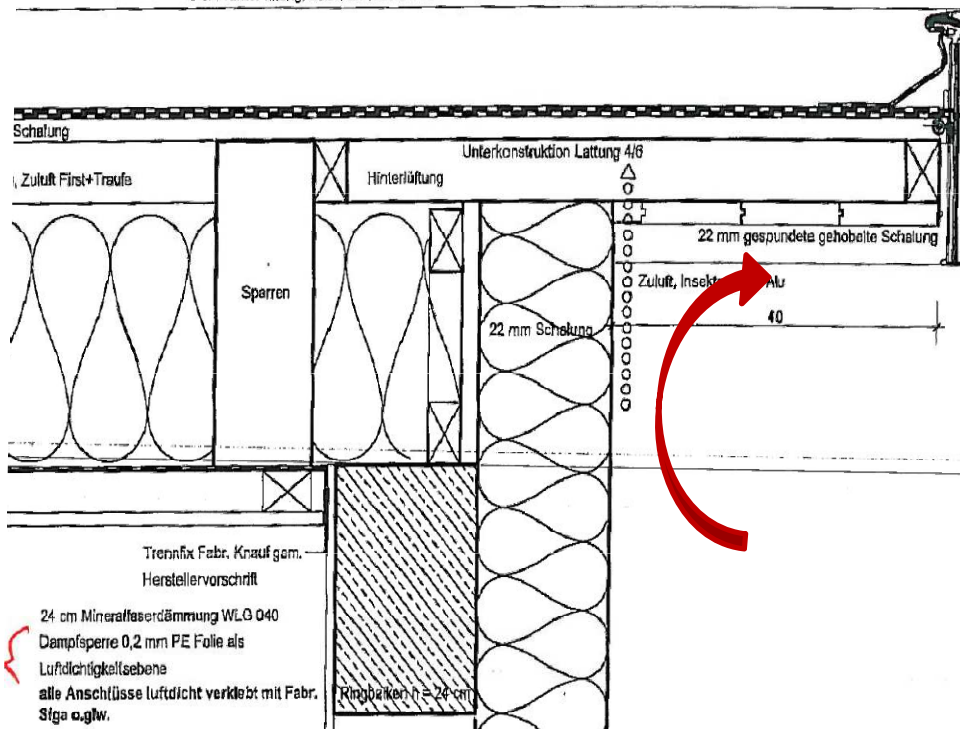


EVALON V mechanisch befestigt Saumbefestigung (in d. Nahtüberdeckung)  
 Bauder Top 25 plus Schalungsbahn Diffusionsoffen  
 22 mm gespundete Schalung Diffusionsoffen  
 6 cm Hinterlüftung, Zuluft an Traufer-First



### Ortgang Pultdach

EVALON V mechanisch befestigt Saumbefestigung (in d. Nahtüberdeckung)  
 Bauder Top 25 plus Schalungsbahn  
 22 mm gespundete Schalung  
 6 cm Hinterlüftung, Zuluft an Traufer-First



Example of a vented flatroof  
 Arrow indicates that wind, current/pressure  
 won't necessarily result in flow in cavity

Vented  
Construction  
guidelines DDH  
(Dach dienstleistung  
und handel)

From: Guide for  
insulation of roofs  
and walls [4.1(4)]  
In roof structures  
vented cavities need  
external forces to  
create airflow. Either  
by wind (positive and  
negative pressures)  
and by temperature  
differences in the  
vented cavity.

**Wind forced  
ventilation requires  
that the ventilation  
opening and roof  
edges** (structure  
should be able to  
accommodate  
openings) **are  
located such that it  
experiences wind  
caused pressures.**

Generally this is **not  
the case**, when a  
roof is located in a  
sheltered area or if  
the roof pitch is  
below 5 degrees  
(3/4:12).

## Belüftet – Ausführungshinweise DDH - Regelwerk

### **Aus: Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand [ 4.1 (4) ]**

Bei Dachkonstruktionen kann in einer bewegten Luftschicht  
Luftbewegung **nur durch Windeinwirkung, Druckdifferenzen an  
Dachkanten (Staudruck und Windsog) und temperaturbedingten  
Überdruck in der Belüftungsebene** bewirkt werden.

Luftbewegung durch Windeinwirkung setzt voraus, dass Lüfter  
**und Dachkanten**, an denen die Anordnung von Lüftungsöffnungen  
möglich ist, **Windeinwirkung ausgesetzt sind**.

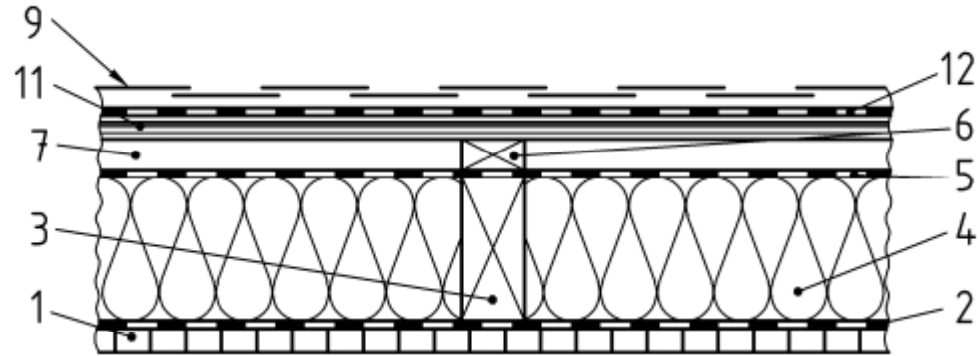
Dies ist in der Regel **nicht der Fall**, wenn sich eine  
**Dachfläche in enger Bebauung befindet oder  
bei Dachneigungen unter 5°**.



# DIN 68800-2:2012-02

## Anlage A Metaldach

Appendix A - metal roof



### Legende

- 1 ein- oder mehrlagige raumseitige Bekleidung oder Beplankung
- 2 Dampfbremsschicht,  $s_d \geq 2 \text{ m}$
- 3 trockenes Holzprodukt
- 4 mineralischer Faserdämmstoff nach DIN EN 13162, Holzfaserdämmplatten nach DIN EN 13171 oder Dämmstoff, dessen Verwendbarkeit für diesen Anwendungsfall durch einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis nachgewiesen ist
- 5 Unterdeckung bestehend aus:
  - obere Abdeckung mit diffusionsäquivalentem Widerstand  $s_d < 0,3 \text{ m}$  (Perm über 10)
  - trockene Brettschalung max. Breite 160 mm
  - Holzfaserdämmplatte nach DIN EN 13171 nach DIN 4108-10 ausgeführt als Unterdeckung



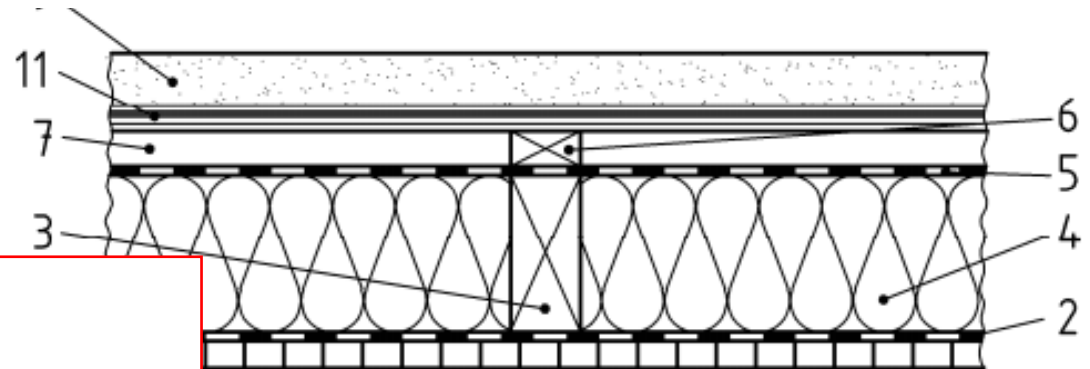
- 6 Konterlattung (Gebrauchsklasse GK 0)
- 7 belüfteter Hohlraum max. 15 m Länge bei Metalleindeckungen  
Dachneigungen  $\leq 15^\circ$  :  $\geq 80 \text{ mm}$  Höhe,  
Dachneigungen  $> 15^\circ$  :  $\geq 40 \text{ mm}$  Höhe  
bei Schiefereindeckungen  $\geq 30 \text{ mm}$  Höhe  
Be- und Entlüftungsöffnungen  $\geq 40 \%$  der Fläche
- 9 Dacheindeckung aus Metall oder Schiefer
- 11 Schalung aus trockenem Holz oder Holzwerkstoffen (Gebrauchsklasse GK 0)
- 12 Zwischenlage (falls für die Deckung erforderlich)

### Legend

- 1-One or more layers of interior finishes
- 2-Vapor retarder  $S_d > 2 \text{ m}$  (Perm 1.6 or less)
- 3-Wood(dry)
- 4-Mineral wool insulation per DIN EN 13162, woodinsulation (DIN EN 13171) or insulation materials that have been proven suitable in research.
- 5-Roof deck can consisting of:
  - underlayment  $S_d < 0.3 \text{ m}$  (Perm above 10)
  - battens 160mm (1x's) thick covered by underlayment  $S_d < 0.3$
  - Woodfiberinsulation boards (DIN EN 13171) with recommended thickness as per DADdm DIN 4108-10 and DIN EN14964 type IL
- 6- Counter battens (use class GK 0)
- 7-Vented cavity, maximum 15m long (max 45 feet long) in metal roofs  
**roof pitch < 15 degrees (3.75:12): 80mm high (3.25" high)**  
**roof pitch > 15 degrees (3.75:12): 40mm high (1.6" high)**  
**shiplapped slate tile: 30mm high (1.25" high)**  
**Ventilation openings > 40% of ventilated cavity area section**
- 9-Roofing from metal or slate tiles
- 11-sheathing should be dry wood or wood products that are suitable for humid conditions (use class GK 0)
- 12-intermediate roofinglayer (if required for roofing)

# DIN 68800-2:2012-02

## Anlage A Gründach



- Legend
- 1-One or more layers of interior finishes
  - 2-Vapor retarder  $S_d > 2m$  (Perm 1.6 or less)
  - 3-Wood(dry)
  - 4-Mineral wool insulation per DIN EN 13162, woodinsulation (DIN EN 13171) or insulation materials that have been proven suitable in research.
  - 5-Roof deck can consisting of:
    - underlayment  $S_d < 0.3m$  (Perm above 10)
    - battens 160mm (1x's) thick covered by underlayment  $S_d < 0.3$
    - Woodfiberinsulation boards (DIN EN 13171) with recommended thickness as per DADdm DIN 4108-10 and DIN EN14964 type IL
  - 6- Counter battens (use class GK 0)
  - 7-Vented cavity, maximum 15m long (max 45 feet long) in metal roofs
    - roof pitch  $> 3^\circ$  &  $< 5^\circ$  (btw  $0.4'' : 12$  &  $3/4'' : 12$ ): 80mm high (3.25" high)**
    - roof pitch  $> 5^\circ$  ( $3/4'' : 12$ ): 40mm high (1.6" high)**
    - Ventilation openings  $> 40\%$  of ventilated cavity area section**
  - 9-Greenroof with substrate
  - 11-sheathing should be dry wood or wood products that are suitable for humid conditions (use class GK 0)

plankung

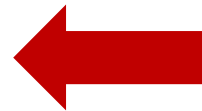
Holzfaserdämmplatten nach DIN EN 13171 oder Anwendungsfall durch einen bauaufsichtlichen

Schichtdicke  $s_d \leq 0,3 m$ ;

bedeckt mit Unterdeckbahn mit  $s_d \leq 0,3 m$ ;

größerer Dicke für das Anwendungsgebiet DADdm e Typ IL nach DIN EN 14964.

- 7 belüfteter Hohlraum: max. 15 m Länge  
bei Dachneigungen  $\geq 3^\circ$  und  $\leq 5^\circ$ : min. 150 mm Höhe  
bei Dachneigungen  $> 5^\circ$  min. 80 mm Höhe  
Be- und Entlüftungsöffnungen  $\geq 40\%$  des Belüftungsquerschnittes
- 9 Gründach mit Abdichtung
- 11 Schalung aus trockenem Holz oder aus für die Anwendung im Feuchtbereich geeigneten Holzwerkstoffen (Gebrauchsklasse GK 0)



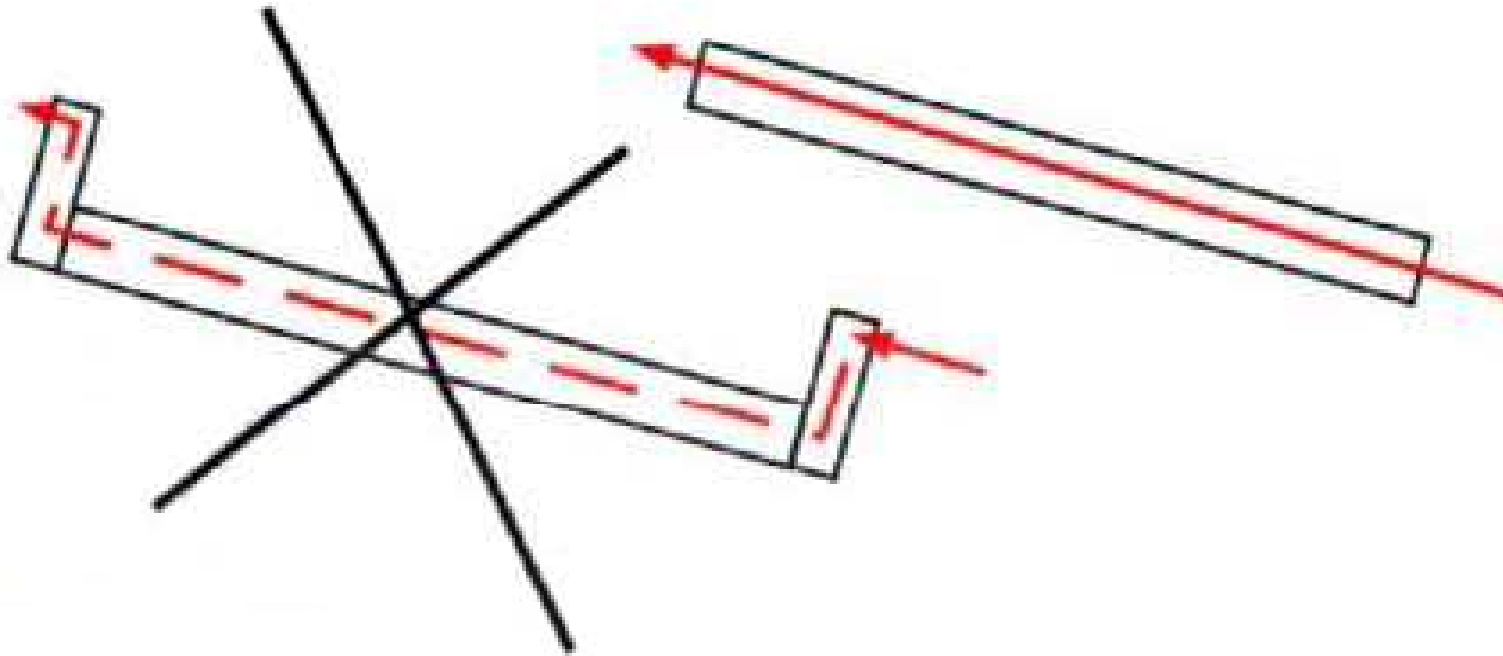


# Belüftungsöffnungen

- gegenüberliegende Belüftungsöffnungen
- „sich-sehende“ Öffnungen
- mindestens 40% des Lüftungsquerschnittes

## Ventilation openings

- at opposing sides of the cavity
- have to be able to "see" each other
- at least 40% of the section area of ventilated cavity



# Unbelüftet – Aufdachdämmung

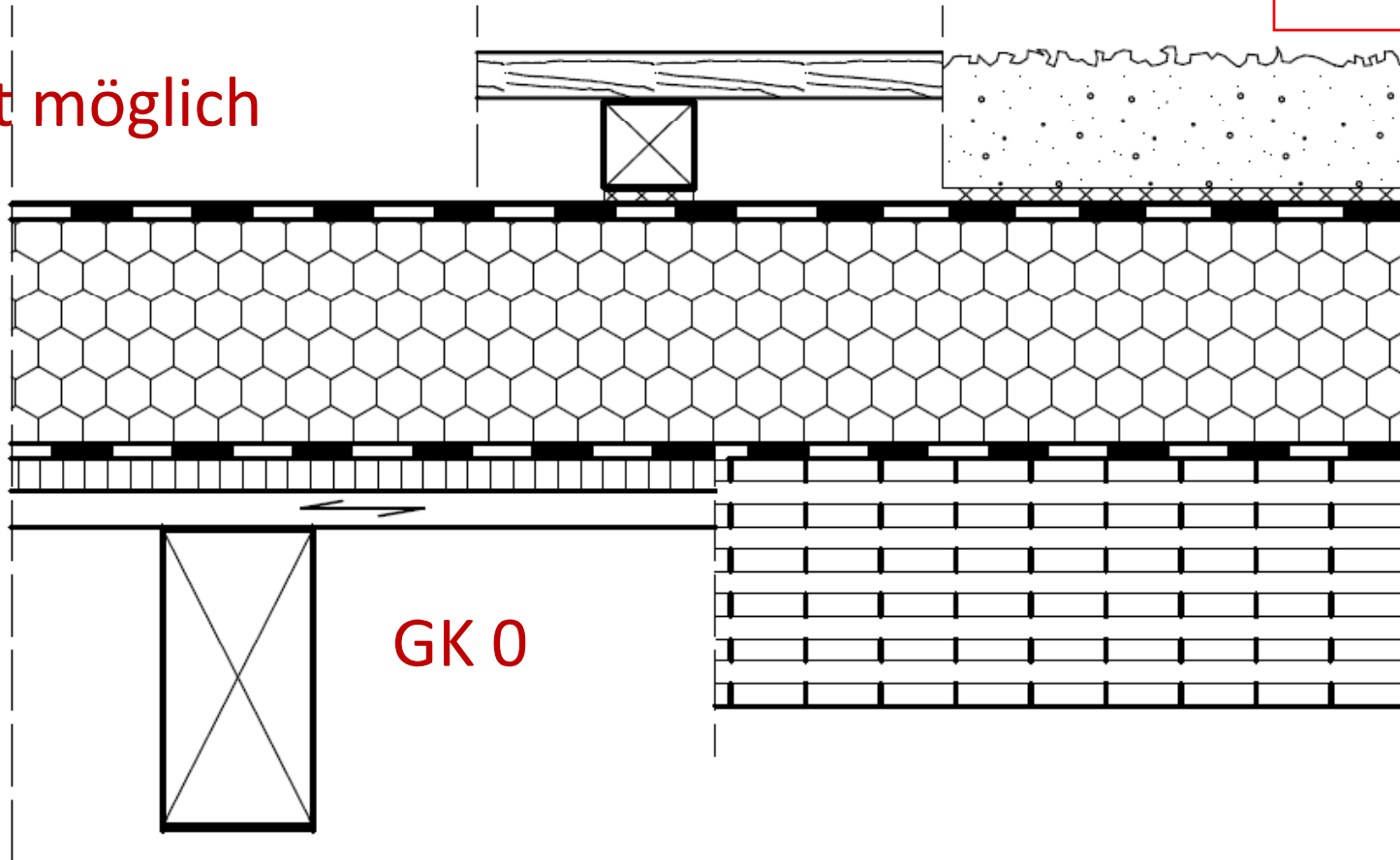
... die sicherste Variante

**Unvented - roof insulation**

most secure variety

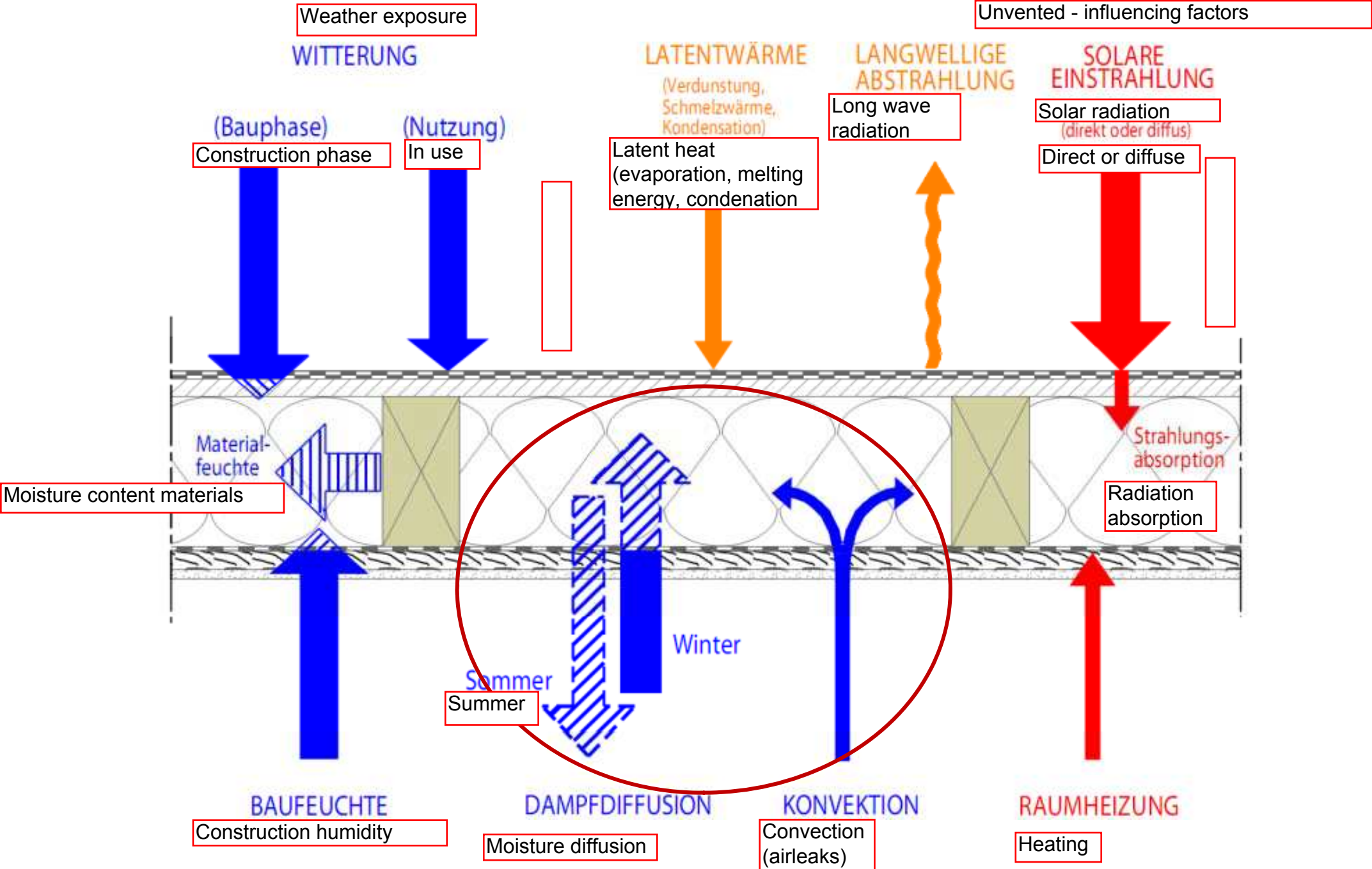
**everything is possible**

alles ist möglich



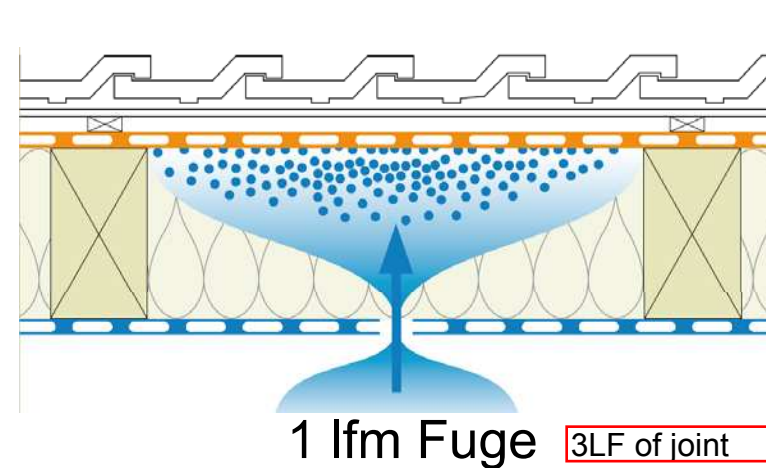
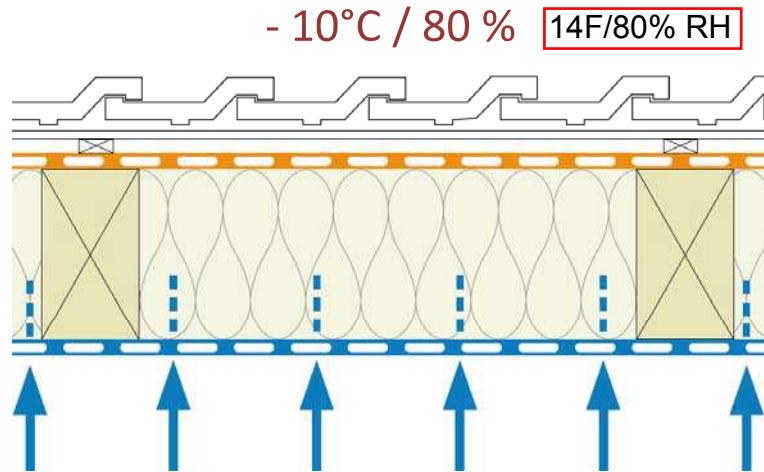
GK 0

# Unbelüftet – Beanspruchungen





# Diffusion und Konvektion



- Diffusion ist berechenbar (eindimensional) und klein

Diffusion can be calculated (one dimensional) and is limited

<b>Diffusionssperrwert <math>s_d</math></b>	<b>100</b>	<b>20</b>	<b>2</b>
<b>[m<sup>2</sup>]</b>			
<b>Permeability (Perm)</b>	0.03	0.15	1.6
<b>Diffusionsstrom</b>	<b>0.15</b>	<b>0.7</b>	<b>7</b>
<b>[g/m<sup>2</sup>d]</b>			
<b>Diffusion flow g(h<sub>2</sub>o)/m<sup>2</sup>*day</b>			

- Konvektion ist unberechenbar (mehrdimensional) und groß

Convection cannot be calculated (multi dimensional) and is significant

<b>Fugenbreite</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>10</b>
<b>[mm]</b>			
<b>Joint gap (inch)</b>	0.04"	0.12"	0.4"
<b>Konvektionsstrom</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>600</b>
<b>[g/lfm<sub>Fuge</sub> d]</b>			
<b>Diffusion flow g(h<sub>2</sub>o)/3LFjoint*day</b>			

- 5 Pa Druckdifferenz

Grafiken: pro clima

Graphs:  
Pro Clima

Quelle: Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl, Leipzig

Source: Office for wood frame building science, Daniel Kehl, Leipzig

Nobody is perfect

# Niemand ist perfekt

Even in well executed airtight structures, one should include a certain amount of convection flow in calculations

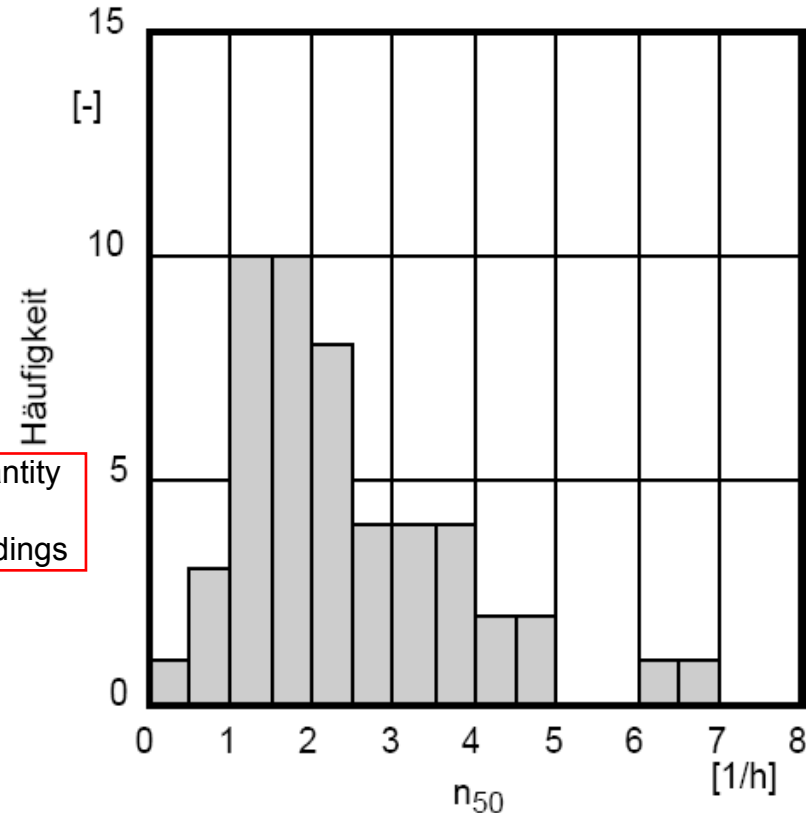
Trotz gut ausgeführter Luftdichtheit von Gebäuden ist immer mit einem gewissen Konvektionsstrom über Restleckage zu rechnen.



A structure shall have, because of convective moisture entry, sufficient inward drying (diffusion) reserves

Ein Bauteil muss wegen diesen konvektiven Feuchteintrags genügend Trocknungsreserven aufweisen.

Quantity of buildings



Luftdichtheit von 50 Gebäuden  
Stand: 2002

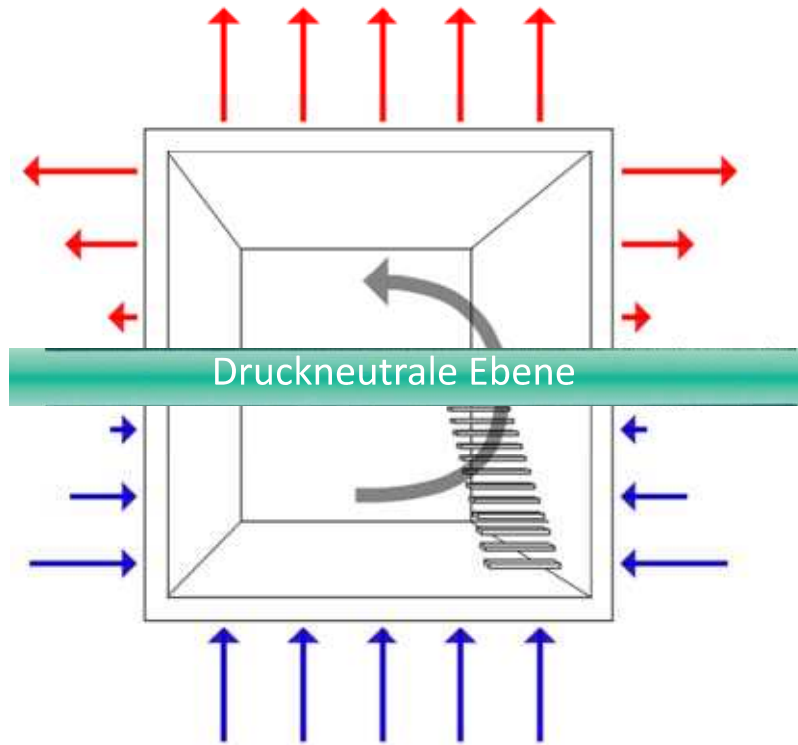
Airtightness of 50 buildings, 2002

Messungen: Hall, Hauser 2003

•  
Measurements:  
Hall, Hauser  
2003

# ... dauernd unter Druck !

... longterm pressurized



**Überdruck durch thermischen Auftrieb  
(wirkt im Winter permanent)**

Pressurisation (of roof) by thermal forces (always present in winter)

$$\Delta P = \rho \cdot \frac{T_a - T_i}{T_i} \cdot g \cdot \frac{h}{2}$$

- $\Delta P$  Druckdifferenz innen-außen [Pa]
- $\rho$  Dichte der Außenluft = 1,3 kg/m<sup>3</sup>
- $T_a$  Lufttemperatur außen [K]
- $T_i$  Lufttemperatur innen [K]
- $g$  Fallbeschleunigung = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $h$  Höhe des zusammenhängenden Luftraums [m]

Pressure difference interior- exterior (pa)  
Density of air = 1.3 kgm3  
Exterior temp (K)  
Interior temp (K)  
Gravity - 9,81 m/s2  
Height of the 'stack' (interior) (m)

Grafik: H.M. Künzel, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

Graph: H.M. Kuenzel, Fraunhofer inst. for building physics, Holzkirchen

**Quelle: Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl, Leipzig**

Source: Office for wood frame building science, Daniel Kehl, Leipzig



# Feuchteintrag über

Dampfdiffusion

+

# Konvektion

Humidity entry by moisture diffusion and convection

# Austrocknung nur über

Dampfdiffusion !

Drying **ONLY** by moisture diffusion !

# Sehr hilfreich und nötig – die Umkehrdiffusion

## Im Winter:

Diffusion in begrenztem Maß zulassen:

- Tauwasserbegrenzung gemäß DIN 4108-3
- Luftdichtheitsebene nach DIN 4108-7

In winter:

Diffusion is limited by:

- limiting condensation per DIN 4108-3
- Airtightness layer (airbarrier) per DIN 4108-7

## Im Sommer:

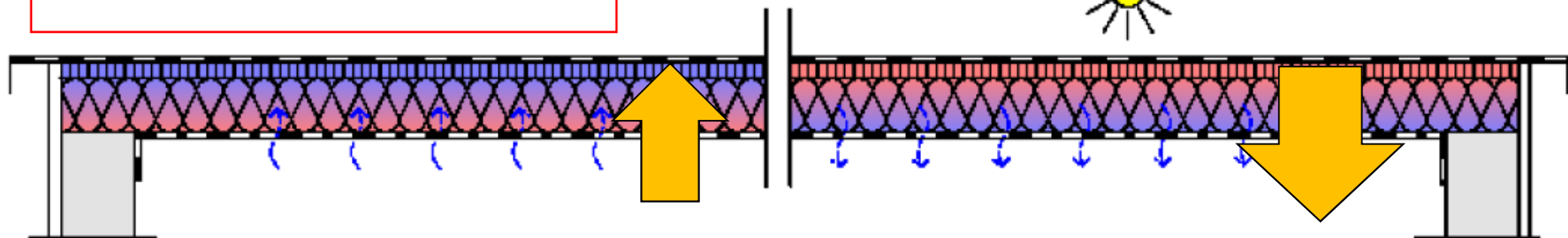
Rückdiffusion (Umkehrdiffusion)

- Erwärmung der Dachfläche
- Eingebrachte Feuchte wandert zur Raumseite
- Verdunstung durch diffusionsfähige Ebene

In summer:

Inward diffusion:

- Heating of roof surface
- Moisture is driven to interior
- Inward drying through smart vapor retarder



Außen:  $-10^{\circ}\text{C} / 80\% \rightarrow 208 \text{ Pa}$   
Innen:  $20^{\circ}\text{C} / 60\% \rightarrow 1404 \text{ Pa}$

Exterior: 14F/80% RH > 208 Pa  
Interior: 68 F/60% RH > 1404 Pa

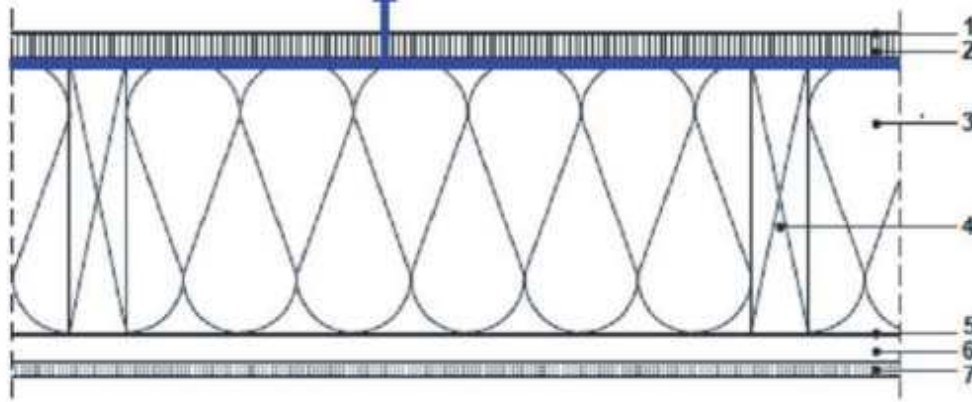
Außen:  $17^{\circ}\text{C} / 80\% \rightarrow 1750 \text{ Pa}$   
Innen:  $20^{\circ}\text{C} / 60\% \rightarrow 1404 \text{ Pa}$

Exterior: 65F/80%RH > 1750 Pa  
Interior: 68F/60%RH > 1404 Pa

Example: Flatroof Unshaded

# Beispiel: Flachdach unverschattet

Convective (airleaks) condensation surface  
**Konvektive Tauwasserebene**



- |   |                              |         |
|---|------------------------------|---------|
| 1 | Dachabdichtung               |         |
| 2 | OSB-Platte                   | 22 mm   |
| 3 | Mineralfaserdämmung          | 240 mm  |
| 4 | Tragkonstruktion             | 240 mm  |
| 5 | Dampfbremse                  |         |
| 6 | Installationsebene ungedämmt | 24 mm   |
| 7 | Gipskartonplatte             | 12,5 mm |

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1 | Roof membrane                      |
| 2 | OSB((7/8"))                        |
| 3 | Mineral wool (9.25")               |
| 4 | Wood joist (2x10)                  |
| 5 | Vapor retarder                     |
| 6 | Service cavity (1")<br>uninsulated |
| 7 | Sheetrock (1/2")                   |

Interior climate in all cases: normal humidity load (40-60% RH)

Raumklima in allen Fällen: normale Feuchtelast nach WTA (40% – 60% r.F.)

Referenzfall (schwarze Ergebniskurve):

- Holzkirchner Klima
- Gebäudehöhe 5 m (Einfamilienhaus)
- Luftdichtheitsklasse C ( $n_{50} = 5 \text{ h}^{-1} / q_{50} = 5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ )
- kurzwellige Absorption: 0.6

Reference case (black graph)

- Holzkirchner climate
- Building height 5m (18ft)
- Airtightness class C ( $n_{50}=5\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ )
- Short wave absorption: 0.6

•Grafik: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirch

Graph:  
Fraunhofer IBP

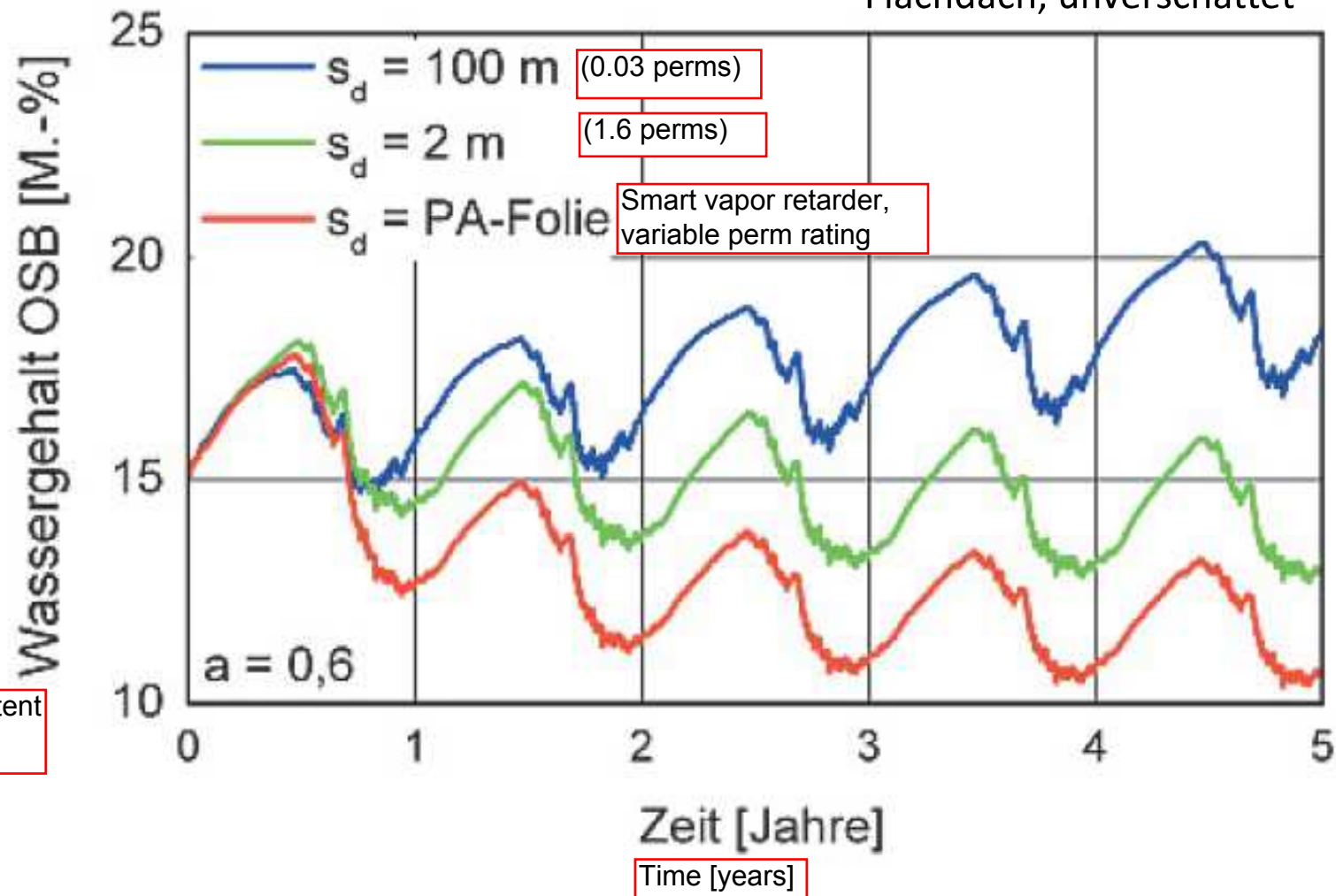


Sd value interior (US perms)

# $s_d$ -Wert innen

Flatroof, unshaded

Flachdach, unverschattet

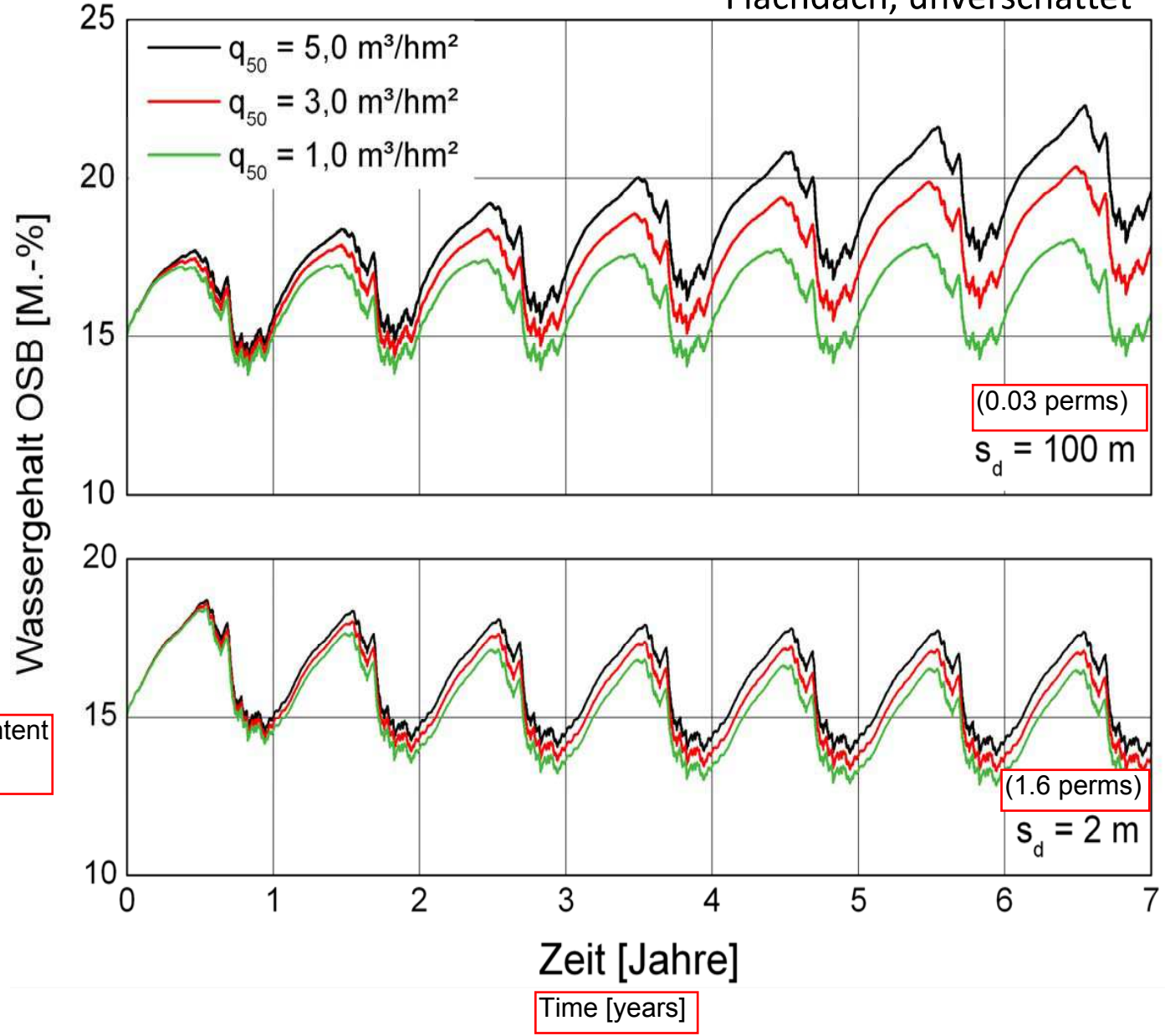


Moisture content  
[OSB {M.-%}]

# Luftdichtheit und $s_d$ -Wert innen

Flatroof, unshaded

Flachdach, unverschattet



Moisture content [OSB {M.-%}]

Time [years]

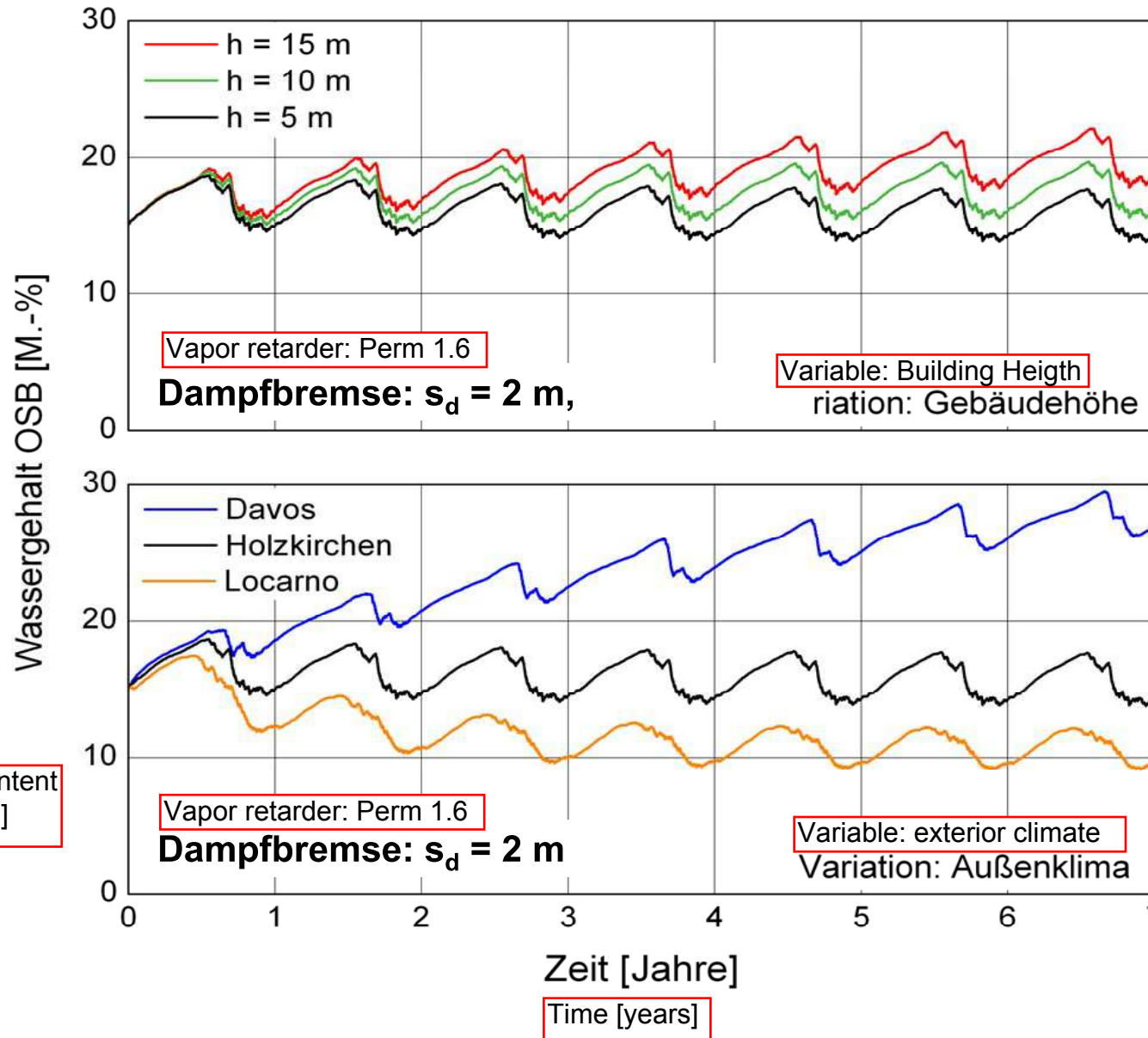
Graph: Fraunhofer IBP

•Grafik: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

Building Height and location (exterior climate)

# Gebäudehöhe und Standort

$$q_{50} = 5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$$



•Grafik: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

Graph:  
Fraunhofer IBP

## 7 golden rules for a secure flatroofs

(with normal interior climates per EN 15026 or WTA Merkblatt 6-2)

# 7 goldene Regeln für ein nachweisfreies Flachdach ...

(bei normalem Wohnklima nach EN 15026 bzw. WTA Merkblatt 6-2)

1. A designed pitch > 3% (0.4"), >2% (1/4":12) after deflection  
2. Dark (radiation absorption >80%), unshaded  
3. No roof cover (gravel, greenroof, pavers)  
4. A smart vapor retarder  
5. No unfilled cavities on the cold side of the retarder  
6. Verified airtight  
7. Verified and documented wood moisture content of wood structure, planks ( $U < 15\% + 3M\%$ ) and plywood/osb ( $u, 12 + 3 M\%$ )  
8. On site application

1. ein **Gefälle  $\geq 3\%$**  vor bzw.  $\geq 2\%$  nach Verformung
2. **dunkel** (Strahlungsabsorption  $a \geq 80\%$ ), **unverschattet**
3. **keine Deckschichten** (Bekiesung, Gründach, Terrassenbeläge)
4. eine **feuchtevariable Dampfbremse**
5. **keine unkontrollierbaren Hohlräume** auf der kalten Seite der Dämmschicht
6. eine **geprüfte Luftdichtheit**
7. **Prüfung und Dokumentation der Holzfeuchten** von Tragwerk und Schalung ( $u \leq 15 \pm 3 M\%$ ) bzw. Holzwerkstoffbeplankung ( $u \leq 12 \pm 3 M\%$ ) **vor dem Schließen** des Aufbaus.
- ( 8 eine werksseitige **Vorfertigung** )

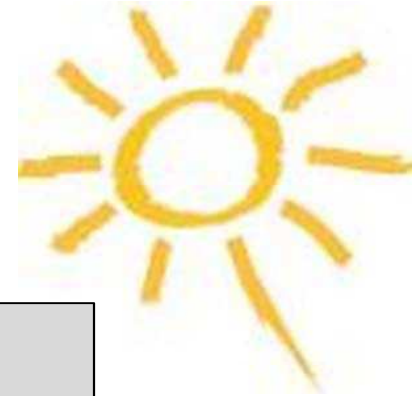


What happens, when it is shaded,...

# Was passiert, wenn es schattig wird, ...

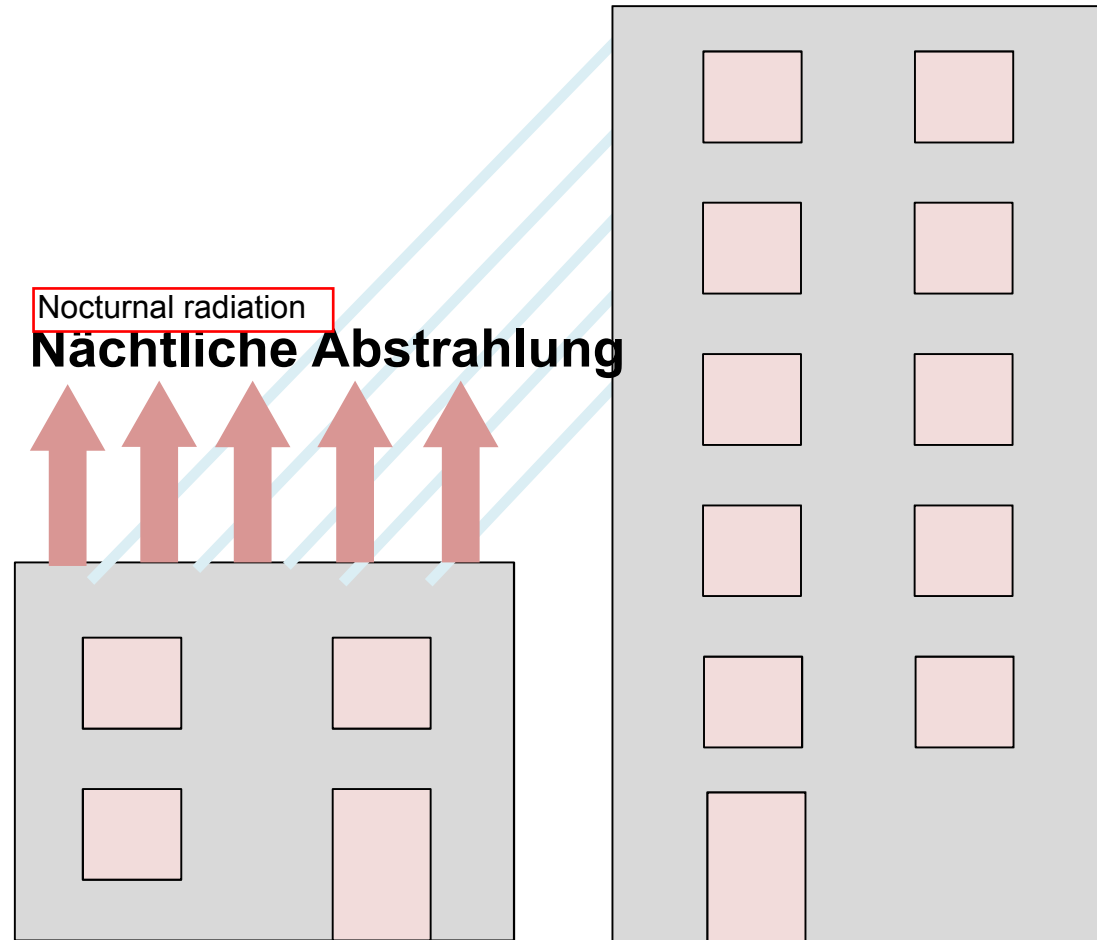
Vertical shading

**Vertikale Verschattung**



Nocturnal radiation

**Nächtliche Abstrahlung**



... a light colored roof membrane is used or greenroof is used?

# ... die Dachbahn hell oder das Dach begrünt ist?

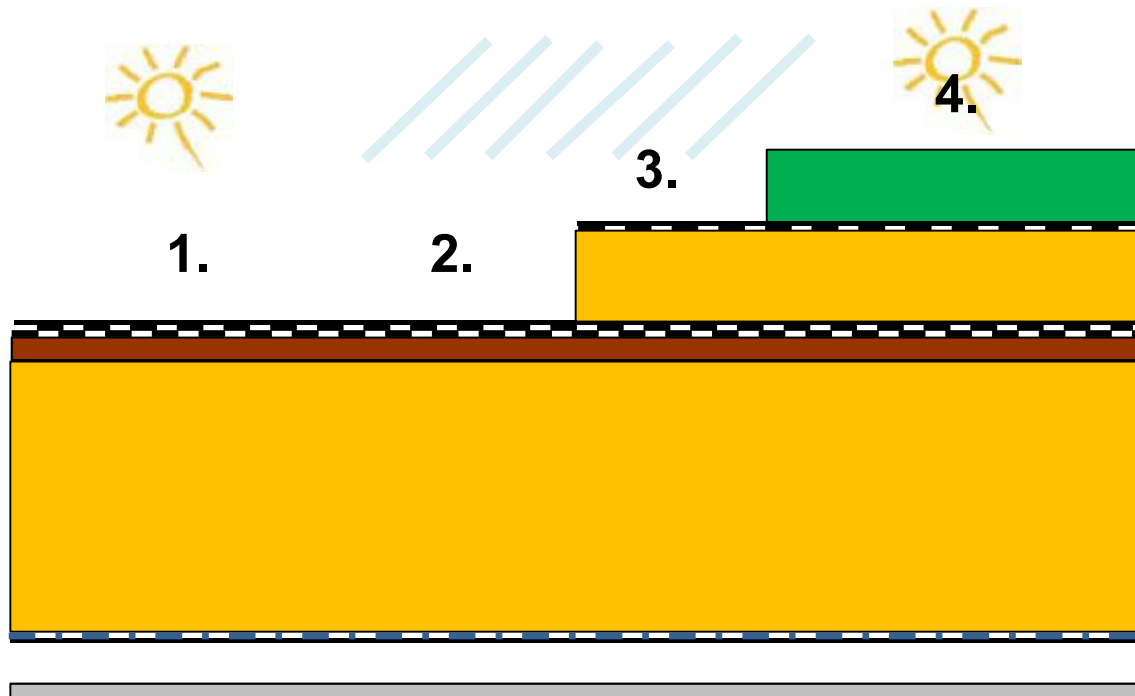


**Die Oberfläche der Abdichtung bleibt im Sommer kühler, so dass sich der Rücktrocknungseffekt stark reduziert.**

The surface of the membrane stays cooler in Summer, so the inward diffusion is reduced significantly

Shaded, light colored membrane, greenroof

# Verschattung, helle Bahn, Begrünung



Dachbegrünung Greenroof

Zusatzdämmung Exterior insulation  
Airsealing membrane

Holzschalung Wood planks/sheathing

Mineralfaserdämmung Mineral wool

**feuchtevar. DB** Vapor variable retarder

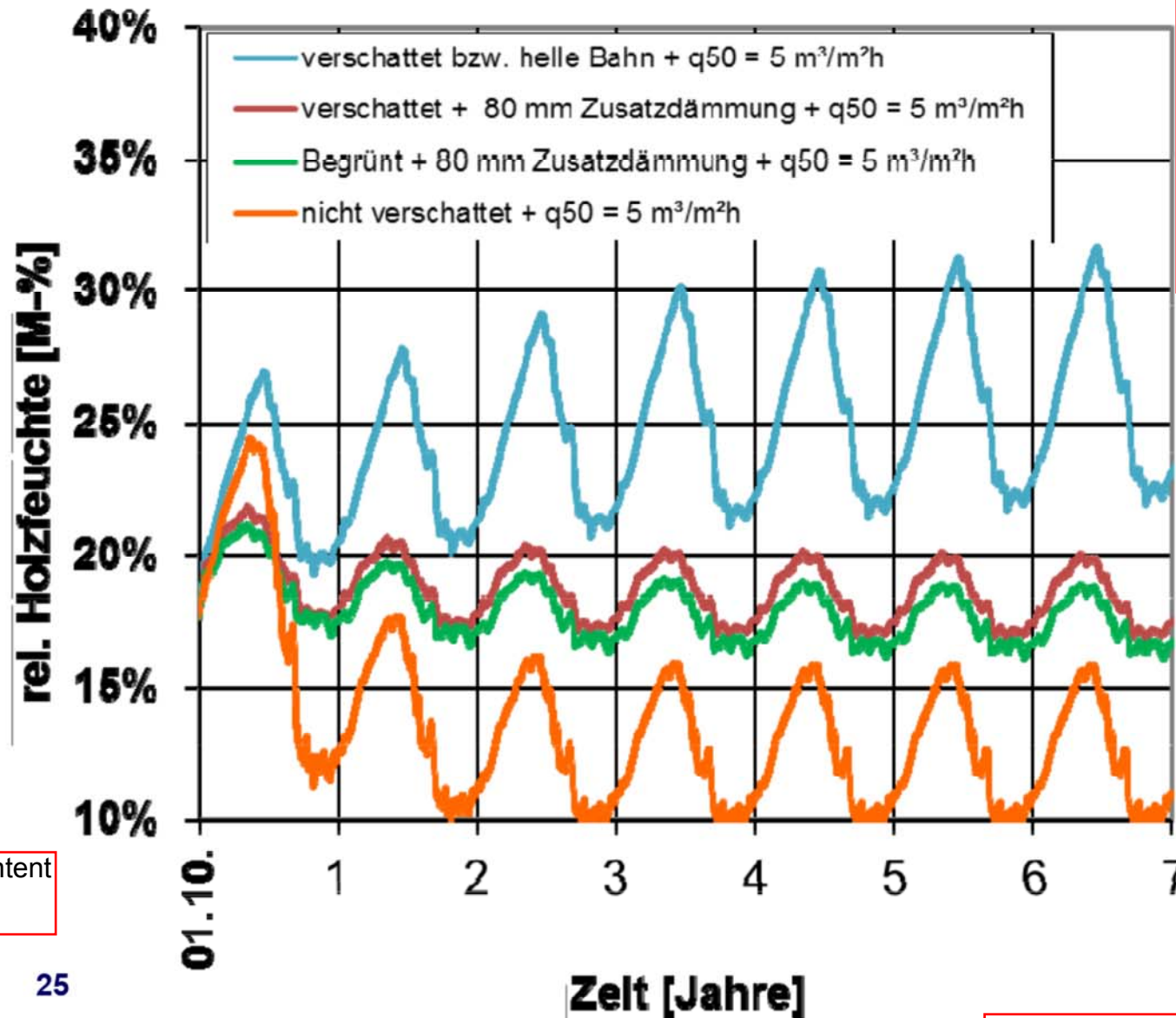
Gipskartonbauplatte Sheetrock

1. Ohne Verschattung + dunkle Bahn (Absorption = 0,8)
2. Verschattung bzw. helle Bahn (Absorption = 0,3)
3. Verschattung mit 80 mm Zusatzdämmung (WLF = 0,024 W/mK)
4. Begrünung mit 80 mm Zusatzdämmung (WLF = 0,024 W/mK)

1. Without shading+dark roof (absorpt.=0.8)  
2. Shading or light colored membrane (absorption=0.3)  
3. Shading with R-19 exterior insulation  
4. Greenroof with R-19 exterior insulation

Shaded, light colored membrane, greenroof

# Verschattung, helle Bahn, Begrünung



-Shaded or light colored membrane

-Shaded+R-19 ext. insulation

-Greenroof+R-19 ext. insulation

-Not shaded

All have  $q_{50}$  of  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hr}$

(0.27CFM/ft<sup>2</sup>)

Moisture content  
wood [M.-%]

25

Zeit [Jahre]

Time [years]

From: Zuecher, Frank: Bauphysik- Bau und  
Energie vdf Verlag Zurich 2010

\* Aus Zürcher, Frank: Bauphysik – Bau und Energie, vdf Ve



# Fazit Flachdach

- Wenn die Konstruktion innen zu dicht wird, dann existiert kein Rücktrocknungspotential mehr.
- Je höher das Gebäude, desto mehr Druckdifferenz entsteht und desto mehr machen sich die Undichtheiten bemerkbar.
- Je kälter der Standort, desto größer wird die Gefahr der Holzerstörung.
- Bei Verschattung, Begrünung oder bei hellen Abdichtungsbahnen sollte eine Zusatzdämmung aufgebracht werden.  
Die Zusatzdämmung hat einen weiteren großen Vorteil: Zwei Abdichtungsebenen geben erhöhte Sicherheit bei fehlerhafter Abdichtung.

If the interior retarder is too tight (low perm rating), then there is no inward drying potential anymore

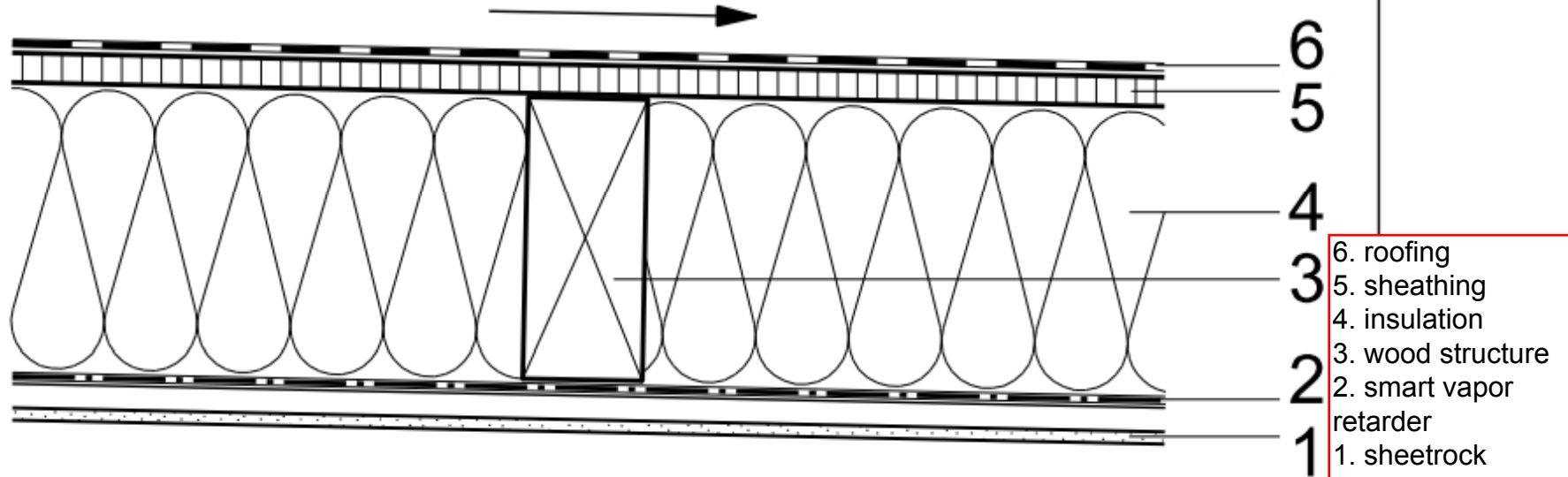
The higher the building, the higher the pressure difference (stack), airleaks become more pronounced/harmful

The colder the climate, the larger the chance of danger for wood damage

when roof is green, shaded or uses a light colored membrane, then exterior insulation shall be applied. The exterior insulation has a large advantage: two airtight layers (*one vapor variable on interior, one directly under the exterior insulation*) create an additional level of safety (redundancy) that compensates for errors in the airsealing.

Pitch minimum 1/4":12

Gefälle mind 2%



Die **Diva** - sehr sensibel

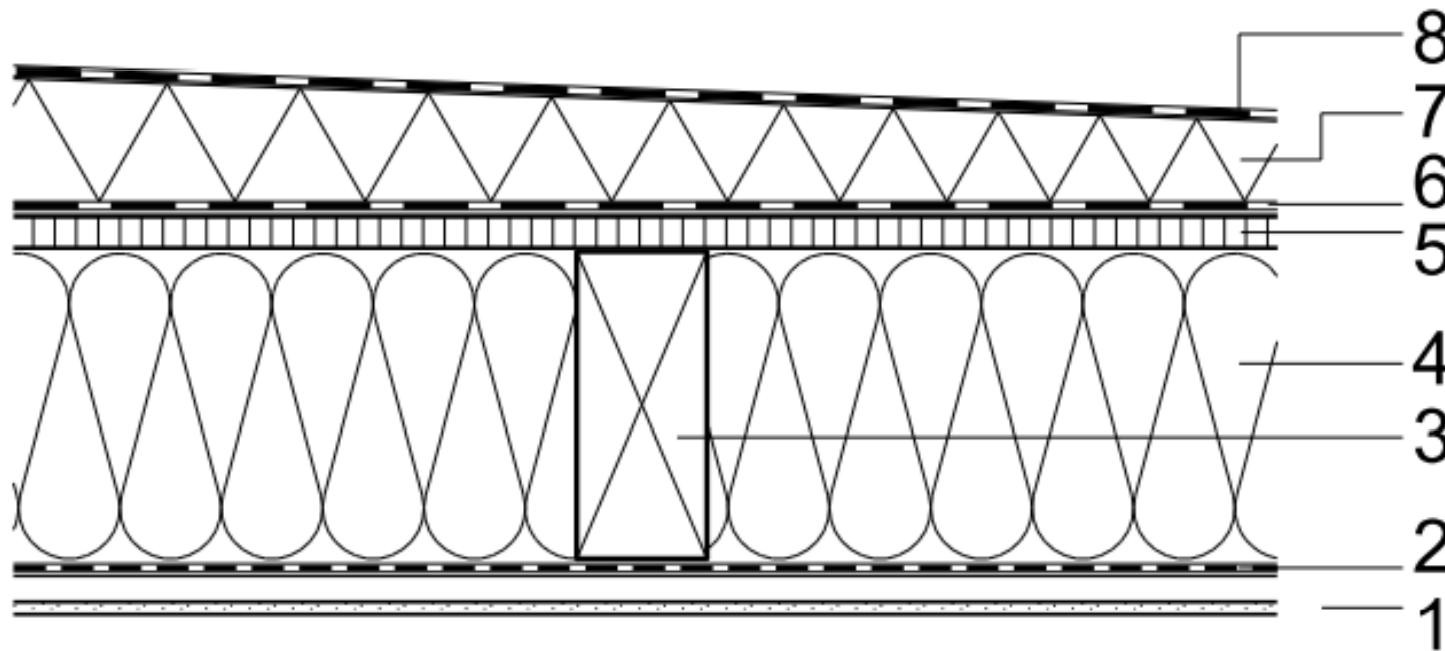
The diva - very particular

Unvented - partial exterior insulation

## Unbelüftet – Teil - Aufdachdämmung

... die zweit- sicherste Variante

... the second most secure solution



8. roofing
7. ext insulation
6. secondary airbarrier membrane
5. sheathing
4. insulation
3. wood structure
2. smart vapor retarder
1. sheetrock

Unvented - exterior insulation

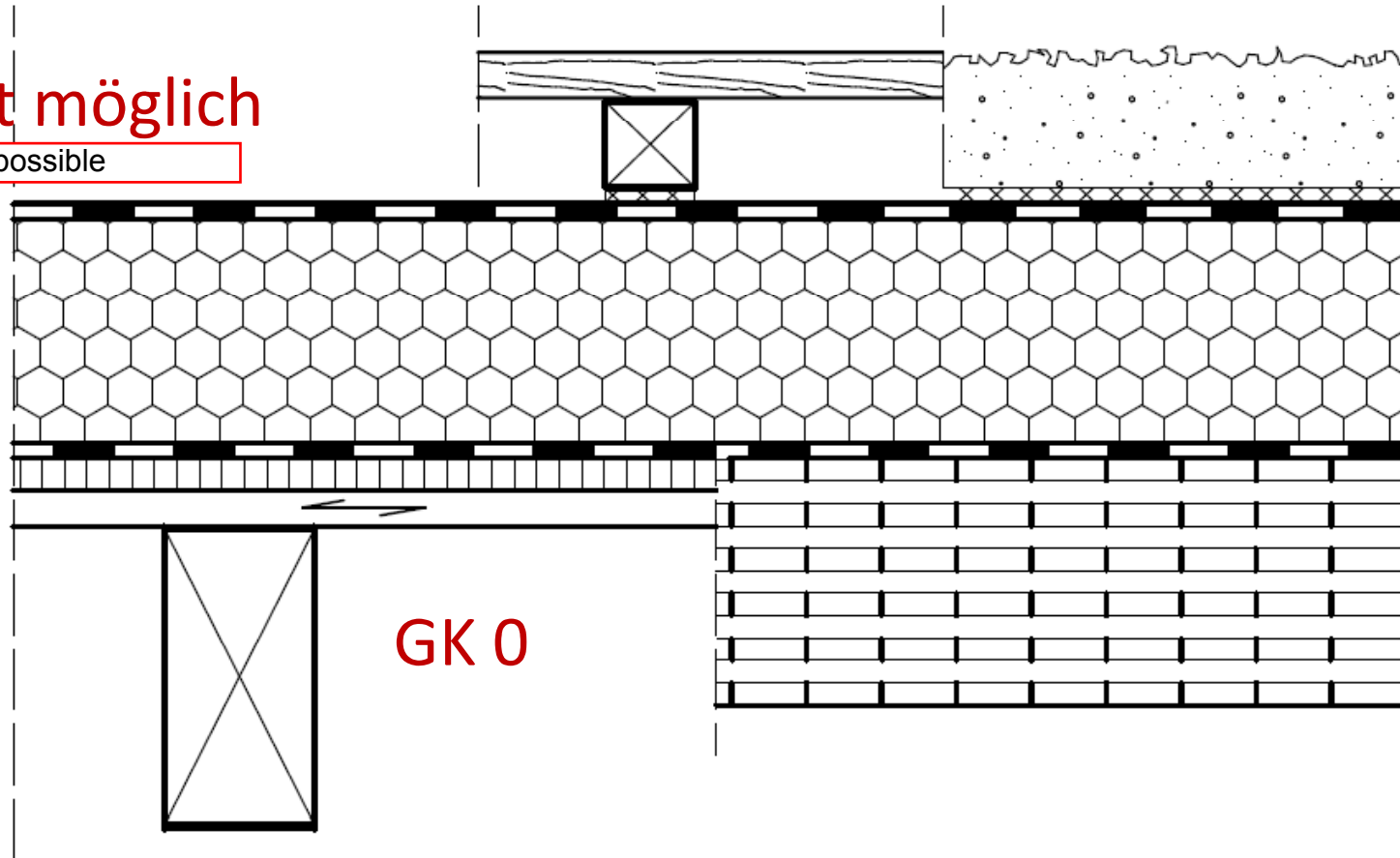
## Unbelüftet – Aufdachdämmung

... die sicherste Variante

... the most reliable variant

alles ist möglich

everything is possible







## Der ewige Kampf mit dem Wasser ...

The ever lasting battle with water.....

– viel Glück !

Break a leg !