



**Flachdächer in Holzbauweise**  
**Was machen, wenn es außen dampfdicht wird?**

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Kehl  
Büro für Holzbau und Bauphysik, Leipzig

Bild: © Daniel Kehl

**Inhalt** 

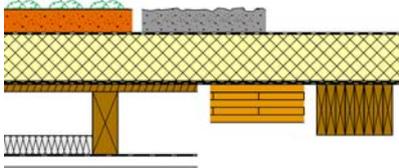
- 1. Flachdach geht nicht einfach**
- 2. Konstruktionstypen der Flachdächer im Holzbau**
- 3. Bauphysikalische Einflussgrößen auf das hygrothermische Verhalten von Flachdächern**
- 4. Regelwerke**
- 5. Lösungsansätze**

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 3

### 4 Prinzipien von Flachdächern im Holzbau

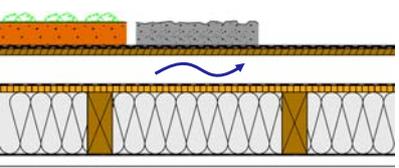


**Konstruktion I:**  
Nicht belüftete Konstruktion mit Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion



- ✓ Holz im Trockenen
- 2 Abdichtungsebenen

**Konstruktion II:**  
Belüftete Konstruktion

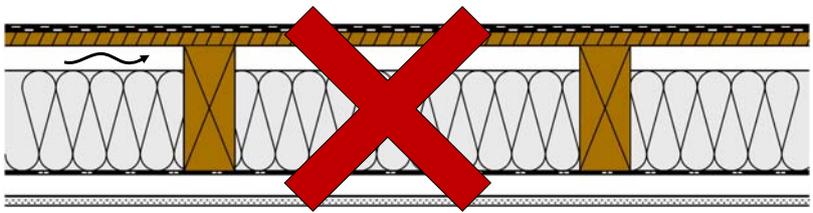


- ✓ Nach außen diffusionsoffener Aufbau möglich
- ⚠ Die Hinterlüftung muss sicher gestellt sein. Das ist eine Planungsaufgabe!

Grafiken: © Daniel Kehl

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl6

### Über diese Art der Hinterlüftung rede ich nicht!



- **DIN 68800-1:** → Gebrauchsklasse 1 → insektenzugänglich
- **Lüftung selten gewährleistet !!**
  - Wechsel / Pfetten / Unterzüge sind im Weg
  - Keine Anströmung möglich – Luft wird „spazieren geführt“
- **geringe Fehlertoleranz bei den Lüftungsregeln des ZVDH**
  - Toleranzen bei Dämmstoffen
  - Einbau nicht gesellentauglich

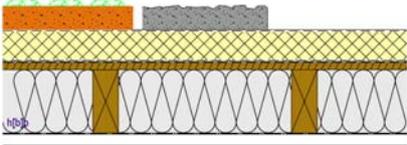
Grafik: © Daniel Kehl

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl7

## Flachdächer für Fortgeschrittene

### Konstruktion III:

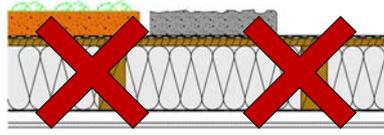
nicht belüftete Konstruktion mit Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion und mit Zusatzdämmung



- ✓ 2 Abdichtungsebenen
- Kann geringe Fehlertoleranz aufweisen. Konstruktionen mit geringem Austrocknungspot.
- ⚠ Erhöhter Planungsaufwand und Ausführungskontrollen wie z.B. Luftdichtigkeitsmess. mit Leckageortung.

### Konstruktion IV:

nicht belüftete Konstruktion mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion



- ✗ 1 Abdichtungsebene
- fehleranfällig
- Keine Fehlertoleranz

Grafiken: © Daniel Kehl

**holz.bau.physik** Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 8

## Abdichtungsbahnen

# Lebensdauer und Ökologie von Flachdächern




EMPA Dübendorf, Sarnaffi TG 66-16, begrünt, 11'000 m<sup>2</sup>, 1999      Hallenstadion Zürich, Sarnaffi S.327-18EL, nackt, 11'000 m<sup>2</sup>, 2005

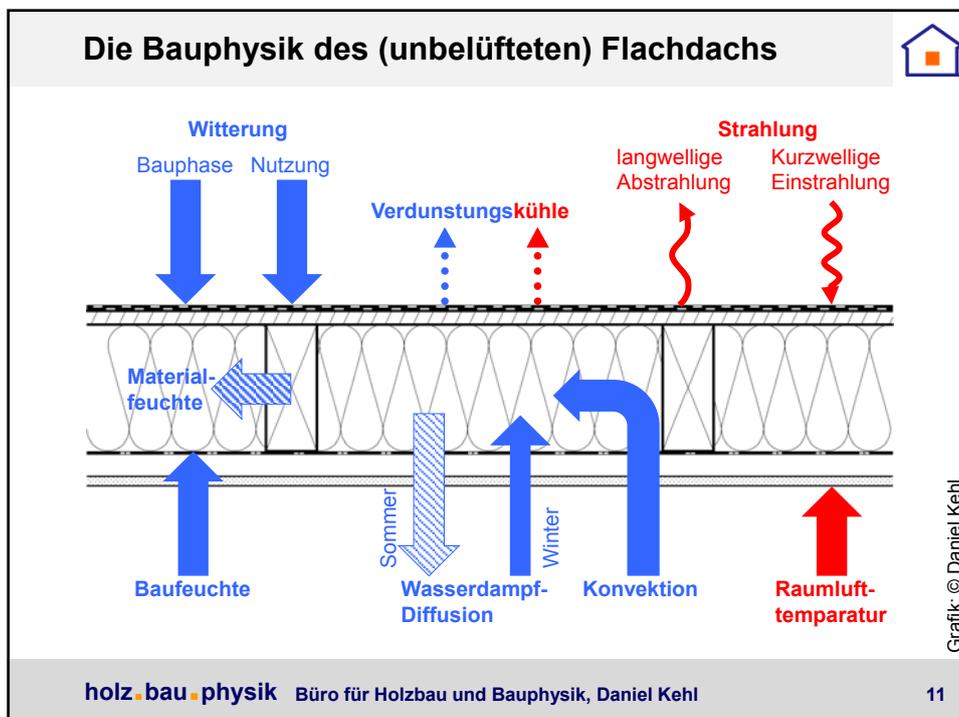
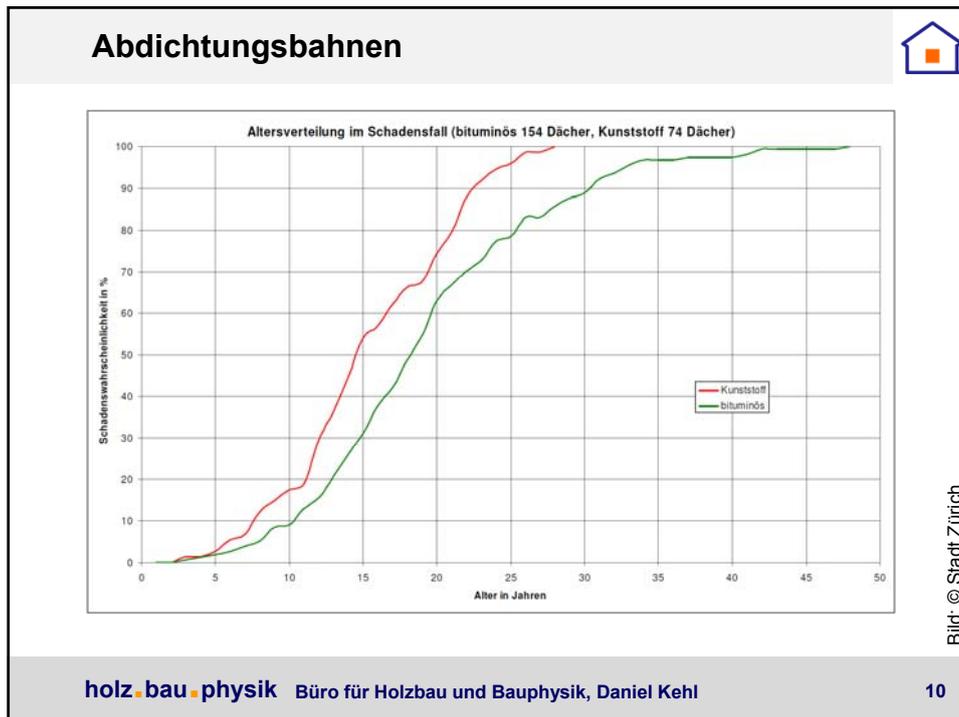
Michael Pöll, Bauökologe  
 Fachstelle nachhaltiges Bauen  
[michael.poell@zuerich.ch](mailto:michael.poell@zuerich.ch)  
[www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen](http://www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen)

 **Stadt Zürich**  
 Amt für Hochbauten

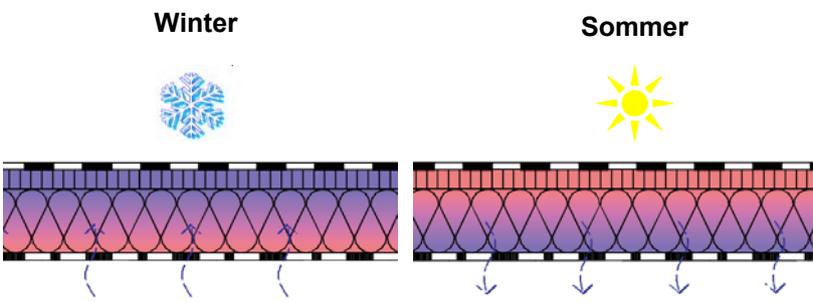
**Untersuchung von über 400 Flachdächern**  
 Bei ca. 70 % war die Abdichtung schadhaf

Bilder: © Stadt Zürich

**holz.bau.physik** Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 9



### Prinzip des unbelüfteten Flachdachs



**Winter**

Im Winter diffundiert Feuchte in die Konstruktion ein.  
Da die Abdichtung außen diffusionsdicht ist, muss ...

**Sommer**

im Sommer die Feuchte wieder nach innen austrocknen.

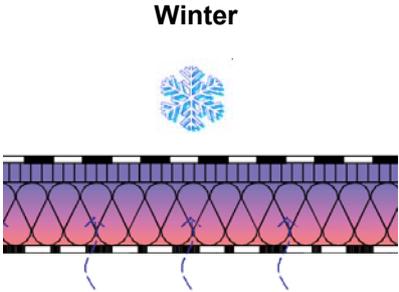
**Bauphysikalisches Grundprinzip der Dampfbremse:**  
So diffusionsdicht wie nötig (Winter) und so diffusionsoffen wie möglich (Sommer)

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

12

Grafik: © Informationsdienst Holz, Spezial Flachdächer

### Prinzip des unbelüfteten Flachdachs



**Winter**

Im Winter diffundiert Feuchte in die Konstruktion ein.

→ **Planungsgröße:** Diffusionsbilanz ( $s_d$ -Wert der Dampfbremse)

**Bauphysikalisches Grundprinzip der Dampfbremse im Winter:**  
So diffusionsdicht wie nötig, um das Tauwasser auf ein zulässiges Maß zu begrenzen!

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

13

Grafik: © Informationsdienst Holz, Spezial Flachdächer

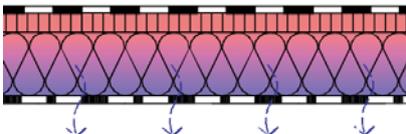
## Prinzip des unbelüfteten Flachdachs

**Planungsgröße:**  
 kurzwelliger Absorptionskoeffizient  $\alpha$   
 Wert zwischen 0 – 1  
 hell – dunkel

Oberfläche	Absorptionskoeffizient
dunkel bis schwarz	0,7 – 0,9
rote bis grau	0,5 – 0,7
hell bis weiß	0,2 – 0,4



**Je dunkler die Außenoberfläche, desto wärmer wird die Fläche und desto mehr trocknet zum Raum hin aus.**



**Bauphysikalisches Grundprinzip der Dampfbremse im Sommer:**  
 So diffusionsoffen wie möglich, um die Feuchte in der Konstruktion wieder nach innen austrocknen zu lassen.  
**→ Der Dampfbremse kommt also eine besondere Bedeutung zu!**

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl
14

Grafik: © Informationsdienst Holz, Spezial Flachdächer

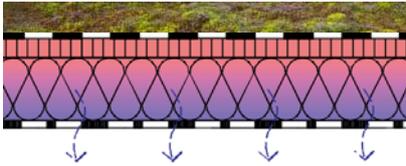
## Was passiert bei Dachbegrünung?



**Sommer**

**Die Dachbegrünung reduziert die Oberflächentemperatur auf der Abdichtung und damit die Austrocknung zum Raum hin.**

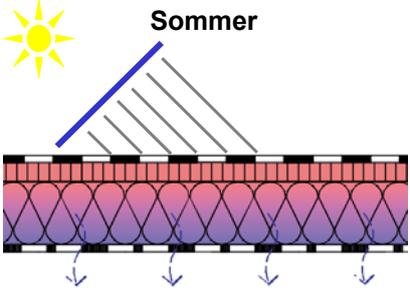
**Dachbegrünung**



holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl
15

Grafik: © Informationsdienst Holz, Spezial Flachdächer

### Was passiert bei Verschattung?

Umliegende Gebäude, Solaranlagen, Terrassenbeläge verschatten das Dach. Die Oberflächentemperatur des Dachs reduziert sich und damit auch die Austrocknung zum Raum hin.

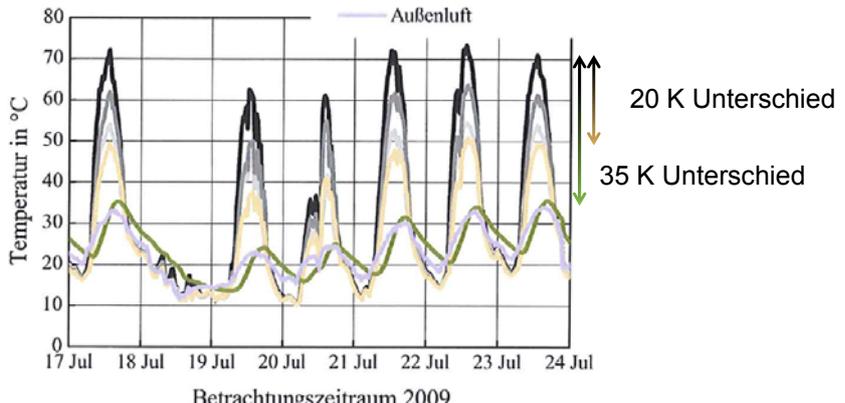
**holz.bau.physik** Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl
16

Grafik: © Informationsdienst Holz, Spezial Flachdächer  
 Foto: © Daniel Kehl

### Messung der Oberflächentemperatur



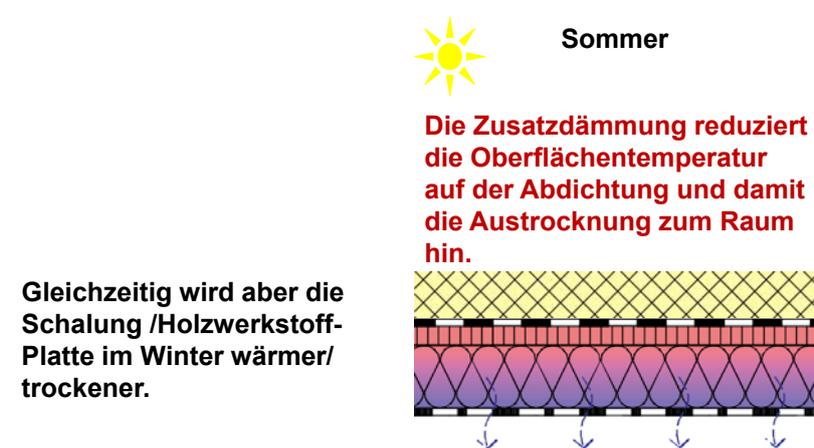
- Dachbahn schwarz
- Dachbahn dunkelgrau
- Dachbahn hellgrau
- Dachbahn helles Beige
- Gründach 8 cm
- Außenluft



**holz.bau.physik** Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl
17

Diagramm: © Holzforschung Austria

### Was passiert bei Zusatzdämmung auf dem Dach?



**Sommer**

Die Zusatzdämmung reduziert die Oberflächentemperatur auf der Abdichtung und damit die Austrocknung zum Raum hin.

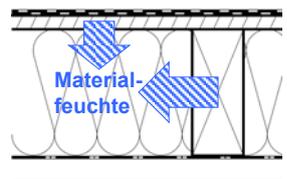
Gleichzeitig wird aber die Schalung /Holzwerkstoff-Platte im Winter wärmer/ trockener.

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

18

Grafik: © Informationsdienst Holz, Spezial Flachdächer

### Trocken bauen – Trocken lassen - Dokumentieren



**Wir bauen mit trockenem Holz ...**

- ... auch mit trockener Schalung !
- ... und können das auch nachweisen (Eingangskontrolle)

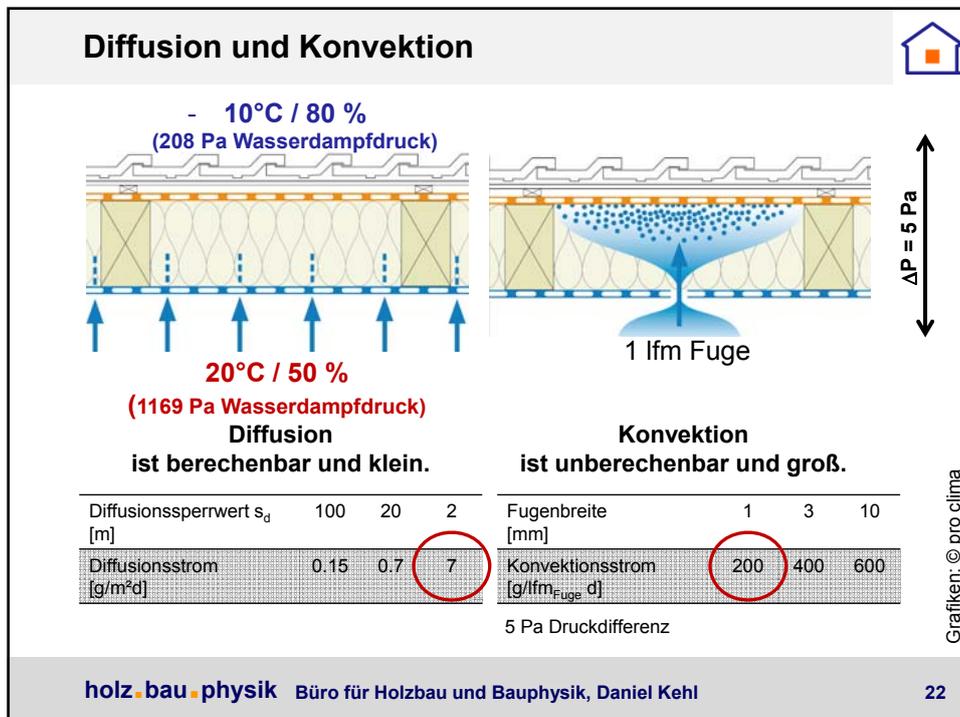
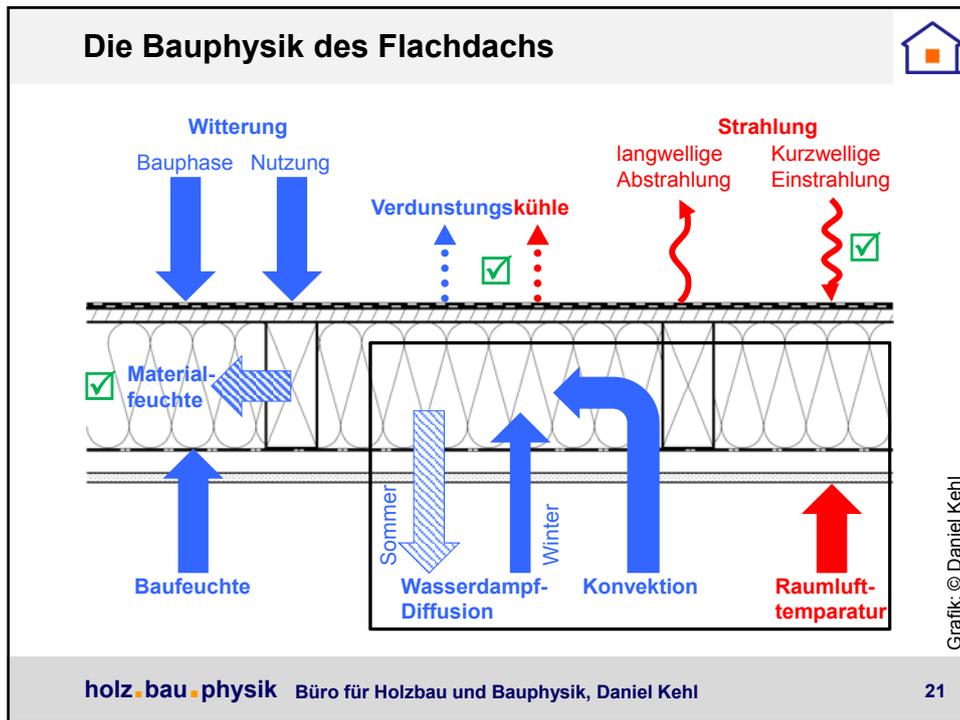
Und wenn etwas schief geht?  
(Es reicht nur ein Regenschauer.)  
„Augen zu und durch“?

Nein, sondern ...  
vor dem Schließen der Konstruktion für ausreichende Trocknung sorgen und Einbauzustand der Hölzer kontrollieren und dokumentieren !!!

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

19

Grafik: © Daniel Kehl



### Niemand ist perfekt

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

↓

Ein Bauteil muss trotz dieses konvektiven Feuchteintrags genügend Trocknungsreserven aufweisen.

**Luftdichtheit von 50 Gebäuden  
Stand: 2002**

Messungen: © Hall, Hauser 2003

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl
23

### Oben nicht ganz dicht

**Kritisch sind folglich Dächer und oberste Geschossdecken z.B. zum Spitzboden**

Unkritisch weil kalte Luft mit geringem Feuchtegehalt nach innen strömt.

Überdruck durch thermischen Auftrieb (wirkt im Winter permanent)

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl
24

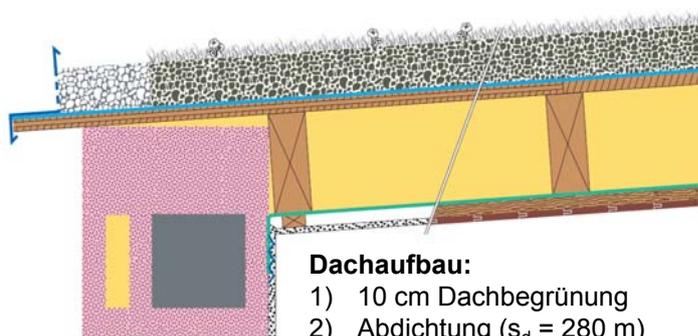
Grafik: © H.M. Künzel, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

## Bauphysikalisches Zwischenfazit



- Unbelüftete und voll gedämmte Flachdächer in Holzbauweise sind i.d.R. außen dampfdicht. Die eingedrungene Feuchte (Diffusion / Konvektion / Material) **muss zum Raum hin austrocknen**.
- Die **Austrocknung** zum Raum hin wird von außen **reduziert** durch
  - Helle Oberflächen
  - Begrünung
  - Verschattung
- Auch die **zusätzliche Dämmung auf dem Dach** reduziert die Rücktrocknung aber gleichzeitig wird die **Schalung/ Holzwerkstoff-Platte** im Winter wärmer und **trockener**.
- Der **Dampfbremse** kommt eine **besondere Bedeutung** zu. Sie muss im Winter wenig rein und im Sommer viel raus lassen.
- Die **Dampfbremse** muss **fachgerecht verbaut** sein. → Luftdichtheit
- All dies **bedarf** einer ordentlichen (bauphysikalischen) **Planung** (Bemessung) und **Ausführung**.

## Fallbeispiel – Nach sechs Jahren war alles kaputt



### Dachaufbau:

- 1) 10 cm Dachbegrünung
- 2) Abdichtung ( $s_d = 280 \text{ m}$ )
- 3) 3 cm Brettschalung  
Dreischichtplatte
- 4) 22 cm MiFa-Dämmung
- 5) Dampfbremse ( $s_d = 200 \text{ m}$ )

➔ Fall nachlesbar: Holzbau – die neue quadriga Ausgabe 04-2010

## Ursachenforschung



- Unplanmäßige Feuchte durch Beregnung
- Nicht geplante Trocknung der Schalung
- Kein Austrocknungspotential durch DICHT-DICHT Konstruktion
- Fehlende Luftdichtheit

## Normen und Regelwerke



### DIN 68800-2 „Holzschutz“

- Bauteile ohne rechnerischen Nachweis
- Hinweise zum Glaserverfahren und zur hygrotherm. Sim.
  - Berücksichtigung der Konvektion  
(Definition der Trocknungsreserve)

### DIN 4108-3 „Feuchteschutz“

- Anwendungsbereich
- Bauteile ohne rechnerischen Nachweis
- Glaserverfahren (+ Hinweise zur hygrotherm. Sim)

### EN 15026 / WTA MB 6.2 und 6.8 „Feuchte/Holzschutz“

- hygrothermische Simulation (+ Hinweise zum Glaser)

**Konstruktionskatalog – Flachdächer (DIN 68800-2)** 

**A.19) Flachdach ohne raumseitige Bekleidung**

**A.17) Flach geneigtes und geneigtes Dach, Schalung mit Gründach**

**Bild A 19 aus der Norm**

**Bild A 17 aus der Norm**

**7. Lüftungsquerschnitt mind. 80 – 150 mm**

**Legende beachten**

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 34

**Konstruktionskatalog – Flachdächer (DIN 68800-2)** 

**A.20) Voll gedämmtes, nicht belüftetes Flachdach auf Schalung oder Beplankung, dauerhaft ohne Verschattung**



**Legende:**

- 1 raumseitige Bekleidung ohne oder mit Lattung oder Beplankung  $s_d \leq 0,5$  m
- 2 **feuchtevariable diffusionshemmende Schicht** ( $s_d \geq 3$  m bei  $\leq 45$  % relative Luftfeuchte und  $1,5$  m  $\leq s_d \leq 2,5$  m bei 70 % relative Luftfeuchte)
- 4 technisch getrocknetes Holzprodukt ( **$u \leq 15$  %**)
- 5 oberseitige Schalung aus trockenem Holz
- 6 **dunkle Dachabdichtung** (schwarz bzw. **Strahlungsabsorption  $\geq 80$  %**)
- 7 Außenseite
- 8 Innenseite

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 36

### DIN 68800-2: Grundprinzip des Nachweises

**Konstruktionen ohne rechnerischen Nachweis**

**Nachweis Glaser-Berechnung**      **Trocknungsreserve berücksichtigen**

**Nachweis mittels hygrothermischer Simulation**      **Konvektionseinflüsse berücksichtigen**

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 37

### DIN 68800-2: Kapitel 5.2.4: Tauwasser

a) Bei der Berechnung nach DIN 4108-3 (Glaser-Verfahren) ist zur Berücksichtigung eines konvektiven Feuchteintrags eine **rechnerische Trocknungsreserve von  $\geq 250 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$**  nachzuweisen.

**Trocknungsreserve:**  
Verdunstungsmenge – Tauwassermenge = Trocknungsreserve  
Sommer Winter

**763 g/m<sup>2</sup> – 392 g/m<sup>2</sup> = 371 g/m<sup>2</sup>**

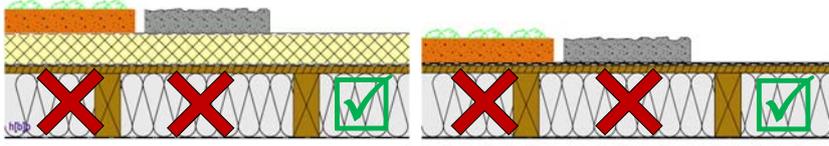
b) Beim Nachweis mit numerischen Simulationsverfahren nach DIN EN 15026 ist der **konvektive Feuchteintrag** entsprechend der geplanten Luftdurchlässigkeit mit dem  $q_{50}$ -Wert nach DIN 4108-7 in Rechnung zu stellen.

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl 38

### Anwendung des Glaser-Verfahrens eingeschränkt

DIN 4108-3 → Anwendungsbereich

Das Glaser-Verfahren ist „**nicht anwendbar**“ bei ... erdberührten Bauteilen, **begrünten Dachkonstruktionen** sowie zur Berechnung des natürlichen Austrocknungsverhaltens...“



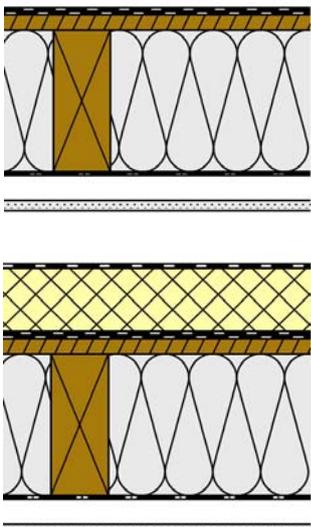
❌ Glaser-Verfahren nicht anwendbar.  
✅ Glaser-Verfahren anwendbar.

„Das „Glaser“-Verfahren ist ein modellhaftes Nachweis- und Bewertungsverfahren ... Es **bildet nicht die realen physikalischen Vorgänge in ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge ab.**“

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

39

Grafik: © Daniel Kehl



Das wären die einzigen beiden Flachdach-Konstruktionen, die mit dem Glaser-Verfahren theoretisch berechenbar wären, aber ...

**sie müssen auch die DIN 68800-2: 2012 und die Trocknungsreserve von 250 g/m<sup>2</sup> einhalten!**

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

40

Grafik: © Daniel Kehl

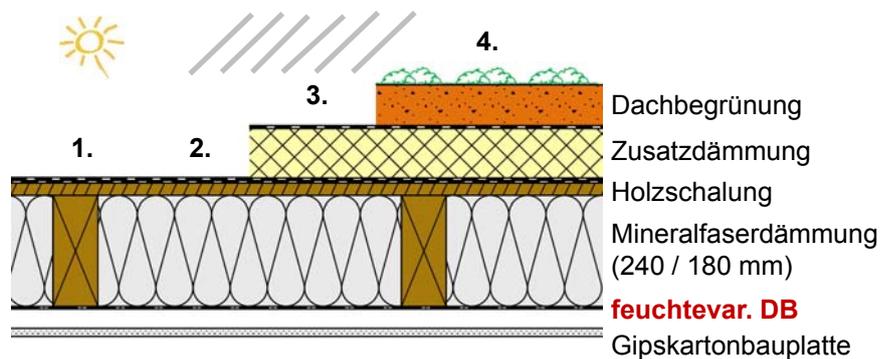
## Hinweis DIN 68800-2: 2012

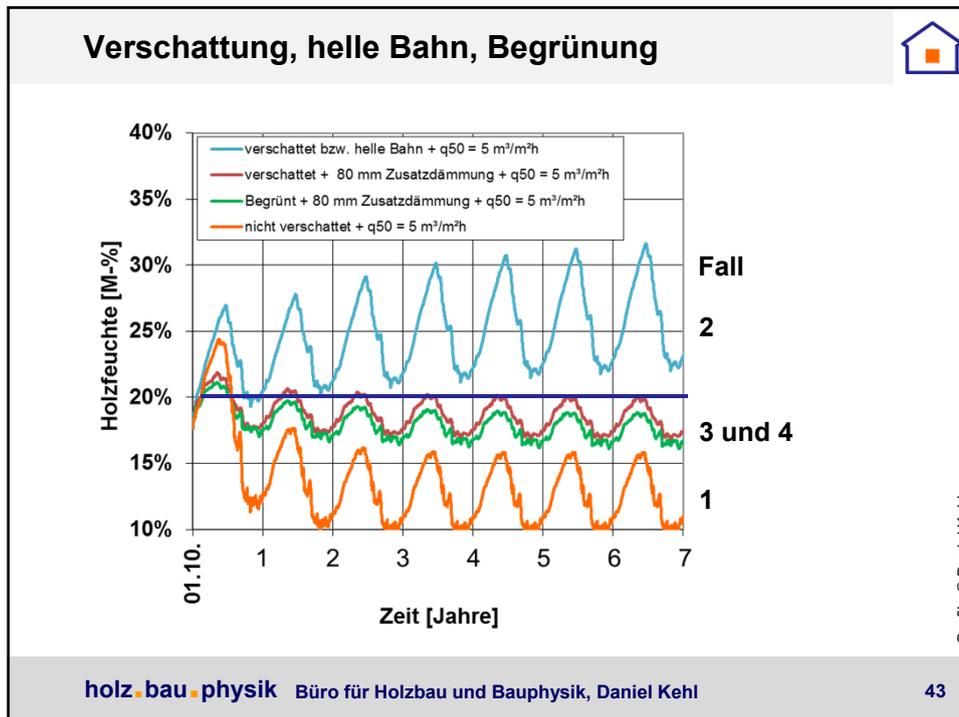


### 7.5 Flach geneigte, voll gedämmte, nicht belüftete Dachkonstruktionen mit Metalleindeckung oder Abdichtung auf Schalung oder Beplankung

*Flach geneigte, voll gedämmte, nicht belüftete Dachkonstruktionen mit Metalleindeckung oder Abdichtung auf Schalung oder Beplankung sind zulässig, sofern der Tauwasserschutz nach DIN EN 15026 (hygrothermische Simulation) nachgewiesen wird ...*

## Alles auf ein mal





### Daumenregel für die Vorplanung

Nachweis trotzdem erforderlich

**Wärmedurchlasswiderstand R**  
Zusatzdämmung:  $R \rightarrow 1/3$

**Gefachdämmung:  $R \rightarrow 2/3$**

**feuchtevariable Dampfbremse**

**Bsp.**  
**Gefach:**  
 240 mm MiFa 0,035 W/m·K  $\rightarrow R = 0,24 / 0,035 = 6,86 \text{ m}^2\text{K/W}$

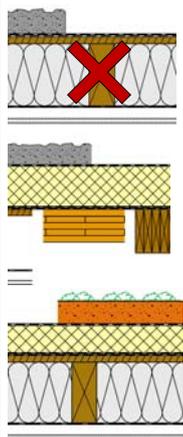
**Zusatzdämmung:**  
 ?? EPS (WLF) 0,030  $\rightarrow 0,030 * (6,86/2) = \text{ca. } 0,11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

44

Grafik: © Daniel Kehl

### Fazit - Flachdächer sind anspruchsvolle Bauteile



- Einschalige Flachdächer in Holzbauweise sind nicht fehlertolerant und damit schadensanfällig.
- Flachdächer in Holzbauweise nur mit Aufdachdämmung und 2 Abdichtungsebenen sind immer zu bevorzugen.
- Flachdächer in Holzbauweise mit Gefach- und Aufdachdämmung sowie 2 Abdichtungsebenen sind:
  - Hygrothermisch zu bemessen
    - !!! Keine Dicht-Dicht Konstruktionen !!!
    - i.d.R. feuchtevariable Dampfbremsen
  - trocken - trocken – trocken
  - Luftdichtheit inkl. Leckageortung

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

Grafiken: © Daniel Kehl

45

### Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



büro für holz [bau] physik  
Daniel Kehl  
Nixenweg 14  
04277 Leipzig  
Tel.: 0341-52941138  
kehl@holzbauphysik.de

holz.bau.physik Büro für Holzbau und Bauphysik, Daniel Kehl

46