



## Flachdächer im Holzbau

*Markus Zumoberhaus  
Martinelli + Menti AG  
Bauphysik + Bautechnologie  
6045 Meggen*



## Einleitung

Flachdächer in Holzbauweise waren in der Schweiz lange Zeit kaum anzutreffen, und die wenigen Einzelfälle waren mit einer grosszügig bemessenen Durchlüftungsschicht ausgerüstet (vgl. Davoserdach). Die tragende Holzkonstruktion war gut vor der Witterung geschützt und kleinere Auffeuchtungen infolge Dampfkonvektion oder Schlagregeneintrag waren unproblematisch. Mit steigenden wärmetechnischen Anforderungen wurden später bei Sanierungen beispielsweise Innendämmungen diskutiert, um die bewährte Durchlüftung nicht zu gefährden (vgl. Abb. 1). Bei Neubauten wurden auch bauphysikalisch eher unproblematische Aufbauten mit der Wärmedämmung über der Holztragkonstruktion konzipiert.

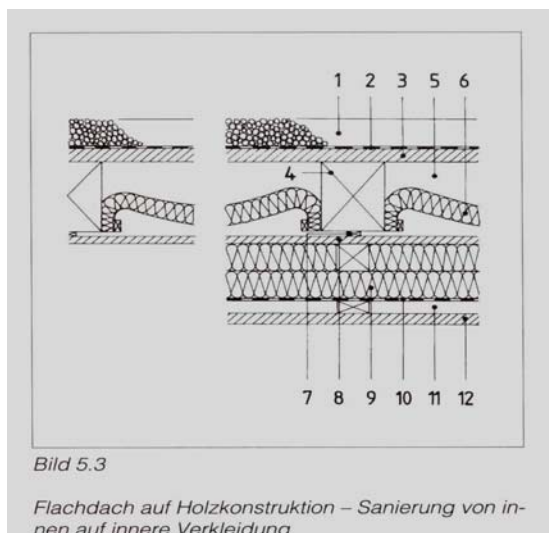


Abb. 1

Vorschlag Flachdachsanierung von innen; Auszug aus *Sanieren, Renovieren*, IP Holz 1989

Diese beiden Konstruktionstypen hatten allerdings auch Nachteile, die mit der zunehmenden Dicke der Wärmedämmschicht immer stärker ins Gewicht fielen. So wurde die Gesamtdicke vor allem bei grossflächigen Flachdachkonstruktionen immer grösser, was aus architektonischen und wirtschaftlichen Gründen wenig erwünscht war. Auch die für belüftete Systeme notwendigen Zu- und Abluftöffnungen beispielsweise bei Türschwellen von Terrassen führten oft zu umständlichen und konstruktiv unbefriedigenden Lösungen.

In den 80-er und 90-er Jahren des letzten Jahrhunderts kamen immer mehr unbelüftete Konstruktionen auf in der Meinung, man müsse nur die Dampfbremse ausreichend diffusionsdicht bemessen. Damit wurden zwar die Normvorgaben bezüglich Feuchteintrag via Dampfdiffusion erfüllt, die baupraktischen Randbedingungen und das für Holzbauten notwendige Austrocknungspotential jedoch ignoriert. Es wurde nicht beachtet, dass die Luftdichtigkeit von Holzbauten in der Praxis langfristig nur selten hundertprozentig sichergestellt werden kann und somit geringfügige Auffeuchtungen infolge Dampfkonvektion oder auch Baufeuchte nur theoretisch ausgeschlossen werden können. Die Folge waren und sind schwerwiegende Fäulnisschäden der tragenden Holzkonstruktion, die oft erst nach der bauüblichen Garantiefrist von 5 Jahren auftreten (vgl. Abb. 2 und 3).

Diese Fehleinschätzungen betreffen im übrigen nicht nur Flachdächer, sondern auch andere Bauteile wie Innendämmungen von Betonwänden im Erdreich. Auch bei geneigten Dächern mit zu diffusionsdichten Unterdachbahnen führte das ungenügende Austrocknungspotential teilweise zu gravierenden Schäden (vgl. Abb. 4).



Abb. 2  
Fäulnissschaden bei Flachdach mit PE-Folie als Dampfbremse, Baujahr 1998



Abb. 3  
Flachdach mit PE-Folie - Dampfkonzektion infolge Luftundichtigkeit bei Elektrorohrdurchdringung als einzige festgestellte Schadenursache



Abb. 4  
Fäulnissschäden bei geneigter Dachkonstruktion mit mangelhafter Unterdachbahn (Diffusionswiderstand  $s = 20$  m)

Diese für den Holzbau unangenehme Ausgangslage änderte sich, als vor etwa 10 Jahren neuartige Dampfbremsen mit einem feuchtevariablen Diffusionswiderstand und verbesserte Berechnungsprogramme wie z.B. WUFI zur Verfügung standen. Damit war die Möglichkeit gegeben, das Feuchteverhalten von raumseitig diffusionsoffenen Konstruktionen ausreichend wirklichkeitsgetreu zu simulieren. Trotz der grösseren Fehlertoleranz dieser Konstruktionen zeigten einige – vor allem verformungsbedingte – Schäden, dass dem neuen, diffusionsoffenen Konstruktionstyp gewisse Grenzen gesetzt werden mussten.

Flachdächer aus Holz erfreuen sich heute grosser Beliebtheit. Die Wahl des geeigneten Konstruktionstyps ist allerdings für den Architekten, aber auch für den Holzbaufachmann nicht immer einfach, wenn technische, ästhetische, klimatische und wirtschaftliche Kriterien optimiert werden müssen. Die heute ausgeführten Flachdächer können zusammenfassend in folgende 3 Grundtypen eingeteilt werden (vgl. Abb. 5 bzw. Merkblatt *Flachdächer in Holzbauweise*, SVDW 2007):

- Typ I unbelüftete Flachdächer mit der Wärmedämmung über der Holztragkonstruktion
- Typ II Flachdächer mit einer Durchlüftung unterhalb der Abdichtung
- Typ III unbelüftete Flachdächer mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion.

Der Typ I und – mit gewissen Vorbehalten bezüglich Ausgestaltung der Durchlüftungsschicht – auch der Typ II sind bauphysikalisch bzw. feuchtetechnisch eher unproblematisch. Aus diesem Grunde konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen vor allem auf die vermehrt eingesetzten unbelüfteten Flachdächer des Typs III mit der Hauptwärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion.



Abb. 5  
Titelseite Merkblatt SVDW; Bezugsquelle <http://www.gh-schweiz.ch/>

## Anforderungen

Nebst den bei allen Flachdächern geltenden Anforderungen wie Gefällsbildung, Aufbordungshöhen etc. sind bei den Flachdächern in Holzbauweise sinngemäss vor allem die holzfeuchtetechnischen Anforderungen von Bedeutung. Für die Beurteilung der bauphysikalisch weniger problematischen Konstruktionen des Typs I und II sind die Anforderungen der einschlägig bekannten Normen in der Regel ausreichend (vgl. beispielsweise Normen SIA 180 und SIA 271).

Die weitergehenden Anforderungen bezüglich dem unbelüfteten Konstruktionstyp III hingegen sind bis heute normativ nicht umfassend geregelt und werden deshalb in der Fachwelt mehr oder weniger heftig diskutiert. Die gemäss Norm SIA 180 zulässigen Kondensationsmengen in Holzwerkstoffen von 3 M-% bzw. 800 g/m<sup>2</sup> sind für unbelüftete Holzbaukonstruktionen nur bedingt anwendbar. Umstritten ist auch, ob und allenfalls wie lange die für Schimmelpilzbefall zulässigen relativen Luftfeuchtigkeiten innerhalb der Konstruktion überschritten werden dürfen. Erfahrungen bei Versuchsaufbauten der Holzforschung Austria zeigen beispielsweise, dass trotz langfristig hohen relativen Luftfeuchtigkeiten innerhalb der Konstruktion kein Schimmelpilzbefall stattgefunden hat.

Einig ist man sich, dass keine holzerstörenden Aufweichungen stattfinden dürfen und dass die Konstruktionen ein gewisses Austrocknungspotential aufweisen müssen. Die Formulierung von verbindlichen Grenzwerten ist allerdings nicht ganz einfach, da die für den Pilzbefall bzw. das Pilzwachstum geeigneten Randbedingungen bekanntlich nicht nur vom Feuchtegehalt, sondern auch von der Temperatur und der Zeitdauer abhängig sind. Im Weiteren ist für die Funktions- bzw. Gebrauchstauglichkeit von Flachdächern nicht nur das Risiko von Fäulnis- bzw. Pilzbefall, sondern auch das schwind- und quellbedingte Verformungsverhalten zu beachten.

Im Sinne einer Diskussionsgrundlage haben sich gemäss unseren Erfahrungen bisher folgende Anforderungen bewährt, wobei diese selbstverständlich für die gesamte Lebensdauer des Bauwerks gelten:

- Die Baustofffeuchte von Holz oder Holzwerkstoffen darf 20 M-% nicht oder nur kurzfristig während der kalten Jahreszeit überschreiten.
- Die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der Konstruktion darf während der ganzen Lebensdauer des Bauwerks 95% r.F. nicht überschreiten.
- Die antizyklischen Feuchteänderungen der inneren und äusseren Beplankungen der Holzkonstruktion dürfen nicht zu schädlichen Verformungen führen (vgl. Bimetalleffekt je nach Verbindungsmittel).
- Die Holzwerkstoff- bzw. Holzfeuchtigkeiten dürfen beim Einbau 16 M-% nicht übersteigen.
- Die Konstruktion muss eine den Randbedingungen angepasste Fehlertoleranz bzw. ein gewisses Austrocknungspotential aufweisen.

## Feuchtetechnische Bemessung

Während der feuchtetechnische Nachweis bei den Konstruktionstypen I und II in der Regel einfach durchzuführen ist, muss die Funktionstauglichkeit beim unbelüfteten Konstruktionstyp III gemäss Norm SIA 271 mit einem validierten thermohygrischen Berechnungsprogramm nachgewiesen werden. In der Schweiz wird dabei in der Regel das Programm WUFI (Wärme- und Feuchte instationär) verwendet. Dabei ist allerdings zu beachten, dass derartige Programme mit dem Ziel entwickelt wurden, das Feuchteverhalten von Bauteilen möglichst realitätsgetreu zu simulieren. Werden diese Programme für die feuchtetechnische Bemessung bzw. den feuchtetechnischen Nachweis von Bauteilkonstruktionen verwendet, sind – ähnlich wie bei der Statik - detaillierte Kenntnisse über die Berechnungsrandbedingungen und im Weiteren auch Sicherheitsüberlegungen notwendig.

Im Fall von thermohygrischen Berechnungsmodellen sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Vereinfachungen und Grenzen des Berechnungsmodells (vgl. Feuchteintrag infolge Dampfkonvektion, Benutzerverhalten bzw. Raumklimabedingungen etc.)
- Variierende Materialeigenschaften (unterschiedliche Herstellverfahren, langfristiges Verhalten, Inhalts- und Klebstoffe usw.)
- Vereinfachungen der Klimadaten, Lokalklima
- Einschränkungen bezüglich Globalstrahlung (Beschattung kurz- oder langfristig z.B. durch benachbarte Häuser, Bäume, Installationen wie Solarkollektoren)
- Praxisübliche Schwankungen der Ausführungsqualität
- Klimabedingungen während der Bauphase (Einbaufeuchte etc.)
- Kurzfristige Konstruktionsänderungen während der Bauphase.

Die Berücksichtigung dieser Randbedingungen bedingt in der Regel eine Variation der Berechnungsannahmen inkl. Variantenberechnungen. Die Beurteilung der Berechnungsgenauigkeit bzw. der notwendigen Fehlertoleranz bleibt – anders als z.B. bei der Holzbaustatik – bisher dem Bauphysiker oder Holzbauingenieur überlassen.

Die Prognose- bzw. Berechnungsgenauigkeiten können beispielsweise mit folgenden Annahmen berücksichtigt werden:

- Simulation ohne oder mit reduzierter Globalstrahlung
- Bemessung mit besonders ungünstigen bzw. strengen Klimarandbedingungen (Innen- und Aussenklima)
- Langfristige Berechnungen mit periodischen Auffeuchtungen (z.B. Eintrag einer jährlichen Auffeuchtungsmenge von 250 g/m<sup>2</sup> während der Heizperiode zur Simulation von bauüblichen Auffeuchtungsmengen infolge Dampfkonvektion).

Die Fehlertoleranz kann nicht nur rechnerisch durch erhöhte Beanspruchungen, sondern auch durch geeignete Schichtaufbauten und Ausführungskontrollen verbessert werden. Zu letzteren gehören insbesondere Blowerdoormessungen mit entsprechenden Methoden zur Leckageortung.

Bei den begrünten und bekiesten Flachdächern hat sich bezüglich Schichtaufbau gemäss meinen Erfahrungen der Einsatz der Zusatzdämmung und der Bauzeitabdichtung bewährt. Die Vorteile dieser beiden Schichten überwiegen den Nachteil der behinderten Austrocknung im Sommer infolge Umkehrdiffusion:

- Erhöhter Feuchteschutz der Holztragkonstruktion durch „Sekundärabdichtung“ (vgl. Funktion Unterdach beim geneigten Dach)
- Verbesserung der Fehlertoleranz bezüglich Feuchteintrag infolge Dampfkonvektion
- deutliche Reduktion des Risikos von Kondensat- und Eisbildungsschäden unter der Abdichtungsbahn
- erhöhter Witterungsschutz während der Bauphase
- Möglichkeit zur Erstellung des notwendigen Gefälles mit Gefälldämmplatten
- reduzierte Auffeuchtung der oberen Beplankung im Winterhalbjahr.

## Erfahrungen mit unbelüfteten Flachdächern

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass mit den raumseitig diffusionsoffenen Flachdächern langfristige Erfahrungen über mehr 10 Jahre weitgehend fehlen. Das Risiko von Fehleinschätzungen, wie sie in der Vergangenheit mit dampfdichten Holzkonstruktionen gemacht wurden, ist allerdings gering, da mit den validierten thermohygrischen Berechnungsprogrammen wesentlich bessere und verlässlichere Prognosen möglich sind. Im weiteren werden verschiedene ausgeführte Dächer mittels Einbau von Feuchtefühlern periodisch überwacht. Derartige Kontrollen zeigen, dass die Konstruktionsaufbauten funktionieren und dass die berechneten und gemessenen Werte bei fachkundig durchgeführten Simulationsberechnungen gut übereinstimmen. Nachfolgend werden zwei derartige Überwachungen auszugsweise dokumentiert.

### Flachdach nach Wasserschaden

Bei einem Flachdach des Typs III wurde die Holzelementkonstruktion während der Bauphase infolge mangelhafter Bauzeitabdichtung durchnässt. Zur Beurteilung von allfälligen Folgeschäden wurden nach der notwendigen Austrocknung mittels Warmluft in verschiedenen Räumen Sensoren zur Messung der Holzfeuchte, der Lufttemperatur sowie der relativen Luftfeuchtigkeit installiert (vgl. Abb. 5)

Die Erfahrungen und Messungen zeigen, dass:

- die Austrocknung erfolgreich war bzw. keine Restfeuchte vorhanden ist (Abb. 7)
- die Luftfeuchtigkeiten innerhalb der Konstruktion im prognostizierten Bereich von < 90% r.F. liegen
- dass trotz dem antizyklischen Feuchteverlauf der inneren und äusseren Beplankung keine schädigenden Verformungen aufgetreten sind
- innerhalb der Konstruktion auch langfristig keine Holzfeuchtigkeiten von > 18 M-% zu erwarten sind
- trotz praktischer identischer Nutzung der Räume mit unterschiedlichen Feuchteverhältnisse in der Konstruktion zu rechnen ist (vgl. Abb. 8).



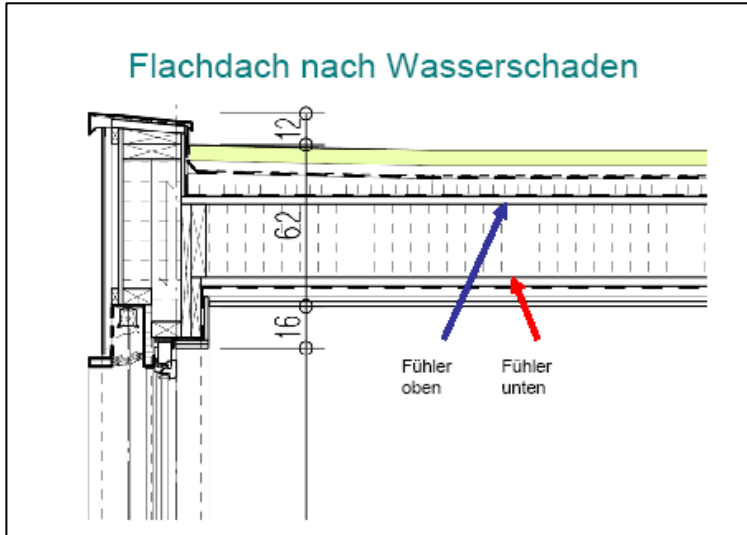


Abb. 6  
Konstruktionsaufbau Flachdach nach Wasserschaden (analog Typ III, Merkblatt SVDW)

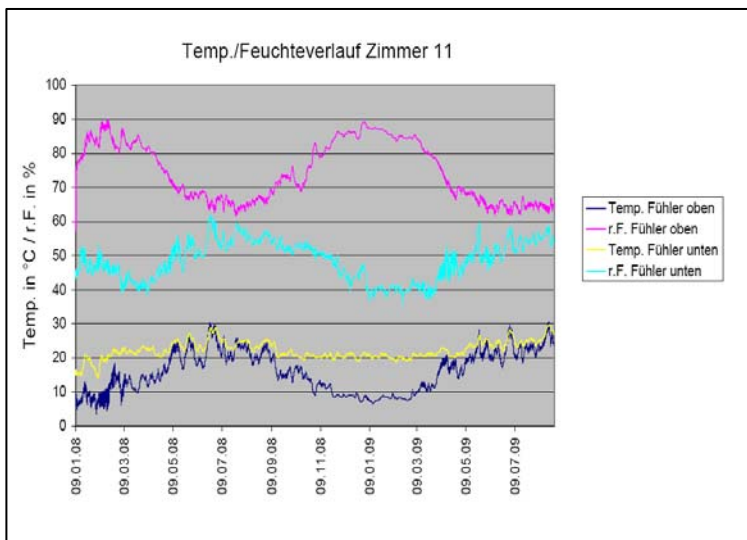


Abb. 7  
Flachdach nach Wasserschaden: stabile Feuchteverhältnisse innerhalb der Konstruktion (vgl. auch antizyklischer Verlauf Sensor oben und unten)

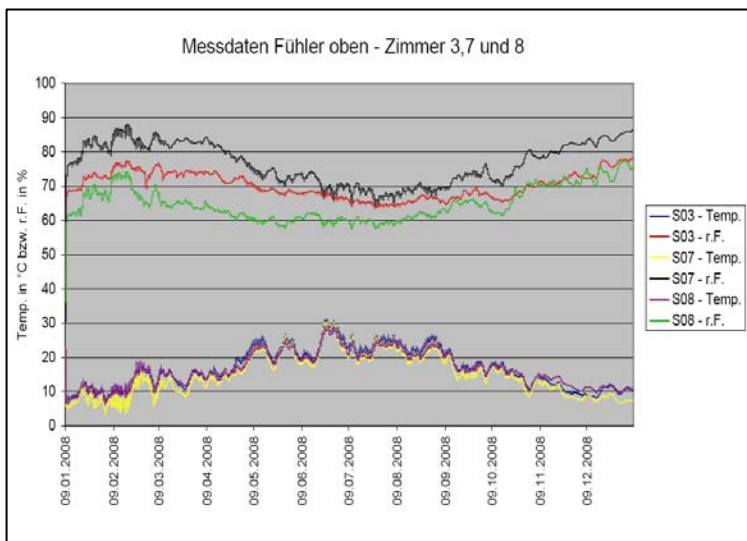


Abb. 8  
Flachdach nach Wasserschaden: unterschiedlicher Feuchteverlauf Sensor oben trotz identischer Raumnutzung (vgl. Hinweise zu Prognosegenauigkeit)

## Blechdach in Berggebiet

Im Berggebiet in ca. 850 Höhe m ü. M. wurde 2007 ein geneigtes Dach als unbelüftete Blechdachkonstruktion ausgeführt (vgl. Abb. 9). Zur Beurteilung der Prognosegenauigkeit des Berechnungsmodells WUFI wurden beim West- und Ostdach Sensoren in verschiedenen Schichten eingebaut. Im Weiteren werden die Lokalklimabedingungen (Globalstrahlung, Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit) und die Raumklimabedingungen aufgezeichnet.

Die Messungen zeigen, dass:

- innerhalb der Konstruktion keine Luftfechtigkeiten von  $>90\%$  r.F. bzw. keine Holzfechtigkeiten von  $>18\%$  auftreten
- sich die Schneeschicht – ähnlich wie eine Zusatzdämmung – wärme-/feuchtetechnisch günstig auswirkt (Abb. 10)
- die der Berechnung zugrundegelegten Annahmen und Sicherheitsüberlegungen für die feuchtetechnische Bemessung geeignet sind (Abb. 11)



Abb. 9  
Einfamilienhaus mit unbelüftetem Blechdach in Berggebiet; Holzelementkonstruktion mit Zusatzdämmung

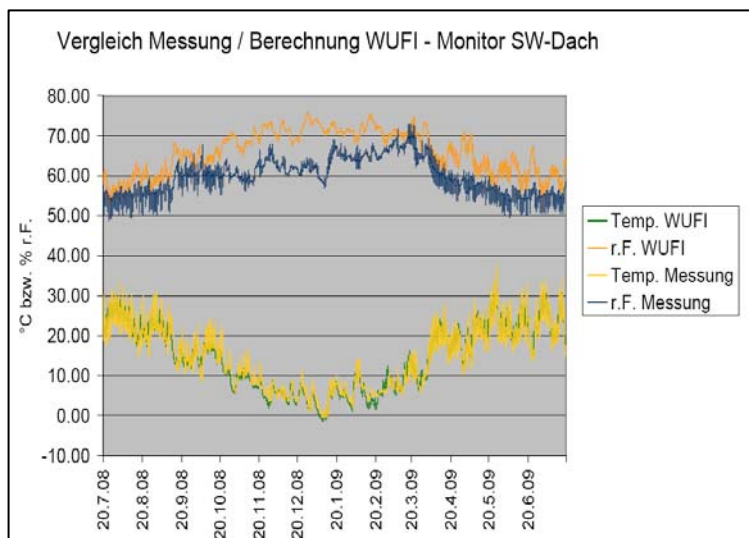


Abb. 10  
wärmetechnisch günstige Auswirkung der Schneeschicht;  
Monitor/Sensor unterhalb der oberen Beplankung Holzelement

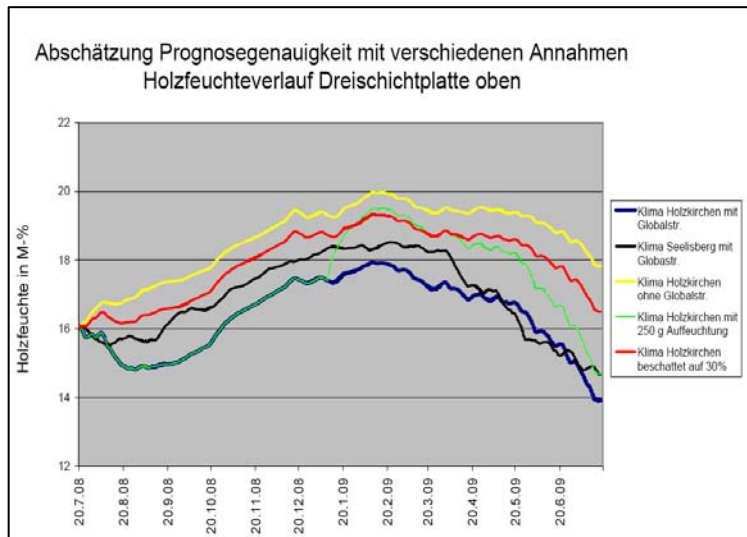


Abb. 11  
Blehdach in Berggebiet: Vergleich verschiedener Berechnungsmodelle bzw. Annahmen

## Zusammenfassung

Nebst den bewährten belüfteten Flachdächern und den bauphysikalisch eher unproblematischen Konstruktionen mit Überdämmung kommen im Holzbau vermehrt unbelüftete Flachdächer mit vollständig wärmegeämmter Holztragkonstruktion zur Anwendung. Diese werden z.B. durch Applikation von feuchtevariablen Dampfbremsen raumseitig diffusionsoffen konzipiert, so dass ein gewisses Austrocknungspotential und somit eine unter praktischen Randbedingungen notwendige Fehlertoleranz gewährleistet ist. Die Erfahrungen und Messungen bei ausgeführten Flachdächern zeigen, dass derartige unbelüftete, jedoch raumseitig diffusionsoffene Konstruktionen bei fachkompetenter Bemessung feuchtetechnisch funktionstüchtig sind.

