

Abb. 1: 1998 erstellte Flachdachkonstruktion mit einer PE-Folie als Dampfbremse/Luftdichtung. Schadenursache: Dampfkongression infolge Luftundichtigkeiten bei Elektrorohrdurchdringungen. Abbildungen: zVg



Im zweiten Teil der Artikelserie über Flachdächer in Holzbauweise wird vertiefend auf die unbelüfteten Aufbauten eingegangen, bei denen sich die Wärmedämmung im Bereich der Tragkonstruktion befindet. Dabei werden anhand von Schadensbildern Ursachen bei beidseitig dampfdichten Bauteilen analysiert und es wird aufgezeigt, wie man flach geneigte Dächer mittels hygrothermischer Simulationen anhand der vorhandenen Randbedingungen feuchtetechnisch dimensioniert.

Flachdächer im Holzbau – Schadenvermeidung und richtige Dimensionierung

Wer sich mit dem Feuchteschutz von Holzbaukonstruktionen befasst, kommt bald zu der Erkenntnis, dass die feuchtetechnische Dimensionierung von Flachdächern je nach

liegt, ist nicht unproblematisch. Anders als z. B. bei Dächern aus Stahlbeton ist das Schadenrisiko bei diesen Konstruktionen wesentlich grösser, da bei Feuchteintrag nicht nur die Gebrauchstauglichkeit (z. B. die Wärmedämmeigenschaften), sondern auch die Tragsicherheit gefährdet ist.

Konstruktionsaufbau entweder problemlos oder aber sehr aufwendig sein kann. Erste Hinweise, ob der gewählte Aufbau problematisch ist, ergeben sich aus dem GHS-Merkblatt «Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise». Das grundsätzliche feuchtetechnische Verhalten der darin beschriebenen vier Aufbautypen wurde im ersten Teil der Artikelserie generell beurteilt.

Die feuchtetechnische Dimensionierung von unbelüfteten Flachdachaufbauten, bei denen die Wärmedämmschicht zur Hauptsache im Bereich der Holztragkonstruktion

Für derartige Konstruktionen ist deshalb gemäss Norm SIA 271 (Ziff. 2.2.5.5) ein Nachweis der Funktionstauglichkeit mit einem validierten, dynamischen Feuchtigkeitsrechenmodell notwendig. Das Modell muss die relevanten Einflussfaktoren beim Innen- und Aussenklima wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, solare Ein- und Abstrahlung inkl. Verschattung, aber auch das Wärme- und Feuchtespeicherverhalten berücksichtigen. In der Deutschschweiz wird der Nachweis in der Regel mit dem Programm WUFI erstellt (vgl. www.wufi.de). Da geringfügige Aufweichungen innerhalb der Lebensdauer eines Bauwerks nicht ausgeschlossen werden können, muss mit dem Nachweis auch eine Aussage zum Austrocknungspotential möglich sein.

Erfahrungen aus der Vergangenheit

Als in den 1980er- und 1990er-Jahren vermehrt unbelüftete Holzflachdächer erstellt wurden, beschränkten sich viele Bauphysiker und Holzbauer auf den Diffusionsnachweis nach Glaser. Dies führte zur verbreiteten Meinung, man müsse nur die Dampfbremse ausreichend diffusionsdicht bemessen, dann sei die feuchtetechnische Funktionstauglichkeit derartiger Konstruktionen gewährleistet. Die Erfahrungen bei vielen Schadenfällen zeigen allerdings, dass diese Beurteilung irrtümlich und unvollständig war. So wurde nicht beachtet, dass bereits geringe Feuchtemengen bei einem

Abb. 2: Terrassenkonstruktion (Baujahr etwa 1998) mit einer PE-Folie als Dampfbremse/Luftdichtung. Schadenursache: kleine Undichtigkeiten bei der Aufbahrung der Abdichtung.



beidseitig dampfdichten Konstruktionsaufbau nicht mehr austrocknen können. Gewisse geringfügige Aufweichungen können jedoch unter baupraktischen Randbedingungen nie ganz ausgeschlossen werden (z. B. Baufeuchte, unbeachtete Restfeuchte, Aufweichungen durch Dampfkongression infolge Luftundichtigkeit). Aus diesem Grund müssen alle Bauteilschichten mit tragenden Holzbauteilen ein gewisses Austrocknungspotential aufweisen.

Die Folgen von fehlenden Austrocknungsmöglichkeiten sind anhand von zahlreichen Schäden bei Flachdächern sichtbar. Der gleiche Schadentyp ist im Übrigen nicht nur bei Flachdächern, sondern auch bei andern Bauteilkonstruktionen wie z. B. geneigten Dächern mit zu dampfdichten Unterdachbahnen, Innendämmungen bei Mauerwerkswänden usw. zu beobachten.

Die Abbildungen 1 bis 4 illustrieren die teilweise verheerenden Folgen von Dachkonstruktionen ohne Austrocknungspotential. Die Fehlertoleranz derartiger Konstruktionen ist derart gering, dass selbst kleine, in der Baupraxis kaum vermeidbare Fehler langfristig zu kostspieligen Schäden führen.

Austrocknungspotential bzw. Fehlertoleranz

Die Erfahrungen zeigen, dass man unbelüftete Konstruktionen durchaus mit einem gewissen Austrocknungspotential konzipieren kann.

Abb. 4: Fäulniserscheinungen bei MDF-Platte und Sparren bei einem geneigten Dach (Baujahr etwa 2003), Unterdachbahn entgegen den technischen Angaben weitgehend dampfdicht (s-Wert = etwa 20 m), Dampfbremse/Luftdichtung PE-Folie. Schadenursache: Dampfkongression infolge kleiner Luftundichtigkeiten bei Mauerwerksanschlüssen der PE-Folie.



Es ist allerdings bisher in keiner Norm detailliert geregelt, welche Holzfeuchtwerte gerade noch akzeptabel sind und wie gross das Austrocknungspotential sein muss. Auch bezüglich der Berechnungsannahmen und der Genauigkeit des Berechnungsmodells bestehen keine allgemeingültigen Vorgaben. Einig ist man sich darin, dass innerhalb der Konstruktion keine holzzerstörenden Aufweichungen, kein schädliches Kondensat und keine schadenverursachenden Schwind- und Quellverformungen auftreten dürfen.

Zur Zeit wird in einer internationalen Arbeitsgruppe ein passendes Merkblatt erarbeitet. Dank verschiedenen Untersuchungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz und entsprechenden Diskussionen unter Fachleuten setzen sich langsam folgende Anforderungen durch, wobei diese selbstverständlich für die gesamte Lebensdauer des Bauwerks gelten:

- Die Baustofffeuchte von Holz oder Holzwerkstoffen darf max. 20 M-% betragen. Kurzfristige Überschreitungen von ein paar wenigen M-% während der kalten Jahreszeit oder in der ersten Zeit nach Bauherstellung sind zulässig.
- Innerhalb der Konstruktion sollen Feuchtwerte von 95 % r. F. nicht überschritten werden, damit keine konzentrierte bzw. schadenverursachende Kondensat- oder Eisbildung stattfinden kann.
- Die gegenzyklischen Feuchteänderungen der inneren und äusseren Beplankungen der Holzkonstruktion dürfen nicht zu schädlichen Verformungen führen (vgl. bimetalartiges Verformungsverhalten der Holzelementkonstruktion in Abhängigkeit der Holzfeuchte und Verbindungsmittel).
- Die Holzwerkstoff- bzw. Holzfeuchtigkeiten dürfen beim Einbau 16 bzw. 18 M-% nicht übersteigen.
- Die Konstruktion muss ein den Randbedingungen angepasstes Austrocknungspotential bzw. eine gewisse Fehlertoleranz aufweisen.

Die feuchtetechnische Dimensionierung

Die Funktionstauglichkeit ist wie erwähnt mit einem thermo-hygrischen Berechnungsprogramm (z. B. WUFI) nachzuweisen. Werden diese Programme für die feuchtetechnische Bemessung von Bauteilkonstruktionen verwendet, sind detaillierte Kenntnisse bezüglich der Berechnungsrandbedingungen und der Prognosegenauigkeit notwendig. Im Weiteren sind eine Reihe von Unsicherheiten wie z. B. herstellungsbedingte Materialabweichungen,

Abb. 3: Vordachkonstruktion (Baujahr etwa 2006) mit bituminöser Dampfbremse. Schadenursache: Aufweichungen infolge Kondensat innen-seitig an den Dunstrohrumfassungen.



Abb. 5: Flachdachkonstruktion mit Position der Fühler im Bereich untere und obere Dreischichtplatte.

Inhalts- und Klebstoffe in Holzwerkstoffen, Einflüsse beim Lokalklima, Beschattungen usw. zu berücksichtigen. Da man diese Randbedingungen während der Planung nur selten detailliert kennt, sind bei den Berechnungen gewisse Sicherheiten einzubauen.

Anders als bei der Holzbaustatik kann dies bei der feuchtetechnischen Dimensionierung nicht einfach mit Sicherheitszuschlägen abgedeckt werden. Naheliegender ist deshalb eine Beurteilung in Form eines Sicherheitskonzepts mit Annahmen und konstruktiven Massnahmen, die auf die einzelnen Randbedingungen und Risiken abgestimmt sind. Die wichtigsten Kriterien sind:

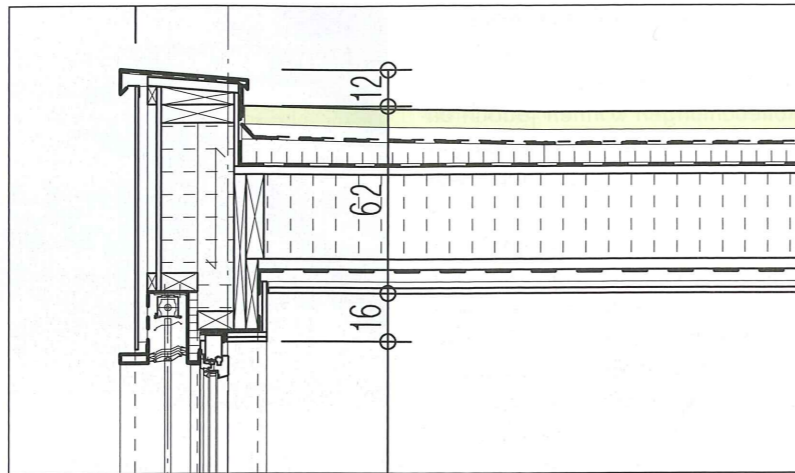
- Das Austrocknungspotential: Der Konstruktionsaufbau muss ein minimales Austrocknungspotential aufweisen. Dieses wird rechnerisch z.B. mit der Annahme einer winterlichen Auffeuchtung von 250g/m²a in der problemträchtigen Zone nachgewiesen. Simulationen von konvektionsbedingten Auffeuchtungen sind mit der Berechnungsversion WUFI 5.0 auch möglich.

- Klimarandbedingungen: Für die Nachweise werden thermo-hygrisch ungünstige Klimadatensätze verwendet (z.B. Datensatz Zürich kalt). Bereits bekannte Einflüsse von relevanten Verschattungen durch Terrassenvordächer, Nachbarbauten usw. müssen im Rahmen des Nachweisverfahrens durch Anpassungen der Strahlungskennwerte berücksichtigt werden.

- Konstruktion und Ausführung: Die langfristige Funktionstüchtigkeit des Flachdachs wird durch den Einbau einer Sekundär- bzw. Bauzeitabdichtung und einer Zusatz- bzw. Überdämmung verbessert. Zur Kontrolle der geforderten Luftdichtigkeit der Gebäudehülle werden Blowerdoor-Messungen (inkl. detaillierte Leckageortung) vorausgesetzt.

Konstruktive Hinweise

In der Schweiz werden fast ausschliesslich begrünte oder bekieste Flachdächer ausgeführt. Da bei diesen Dächern das Austrocknungsverhalten infolge Umkehrdiffusion geringer ist als bei sogenannten



Nacktdächern, wird im Merkblatt für übliche Randbedingungen ein Aufbau gefordert. Dies bedingt somit den Einsatz einer Zusatzdämmung und einer Bauzeitabdichtung, auch wenn damit die Konkurrenzfähigkeit gegenüber andern Konstruktionsaufbauten infrage gestellt wird:

- Bauzeitabdichtung: Eine Bauzeitabdichtung hat viele Vorteile: Zum einen verhindert sie bei fachgerechter Ausführung im Sinne eines Notdachs den Eintritt von Niederschlagswasser während der Bauzeit. Andererseits dient sie als Sekundärabdichtung sowohl gegen Wasser von oben (vgl. Risiko von kleinen Undichtigkeiten der eigentlichen Abdichtung) als auch gegen konvektive Auffeuchtungen von unten (vgl. praktisch unvermeidbare geringfügige Leckagen der Dampfbremse/Luftdichtung). Damit wird

auch das Risiko von Kondensat- und Eisbildung im Bereich der wichtigsten Schicht des Flachdachs, d.h. der Abdichtung, entscheidend reduziert. Selbst ein geneigtes Dach weist übrigens in Form des Unterdachs derartige «Sekundärabdichtungsfunktionen» auf.

- Zusatzdämmung: Der Vorteil der Zusatzdämmung, d.h. die Reduktion der Auffeuchtung der oberen Holzwerkstoffplatte, wurde bereits im ersten Teil der Artikelserie beschrieben. Zudem ist zu beachten, dass mit dieser Zusatzdämmung auch das gemäss Norm SIA 271 notwendige Gefälle erstellt werden kann.

Heutige Erfahrungen mit unbelüfteten Dächern

Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass mit den neuen, raumsei-

Abb. 6: stabiler Temperatur- und Feuchteverlauf im ersten Betriebsjahr (keine Erhöhung der Feuchte Ende Heizperiode). Besonders zu beachten ist der antizyklische Feuchteverlauf der oberen und unteren Holzwerkstoffplatte. Derartige Feuchteveränderungen können aufgrund der entsprechenden Schwind-/Quellverformungen je nach Konstruktionstyp zu verformungsbedingten Schäden führen.

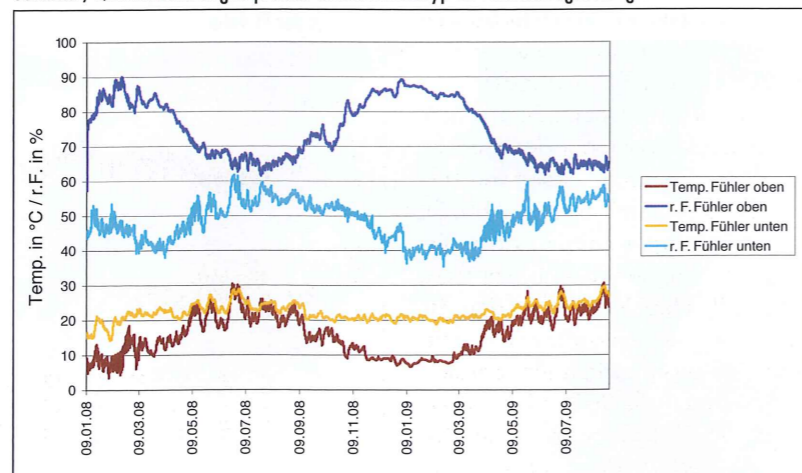


Abb. 7: Haus mit unbelüftetem Blechdach im Berggebiet.

tig diffusionsoffenen Flachdächern langfristige Erfahrungen über mehr als 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 thermo-hygrischen Berechnungsprogrammen wesentlich bessere und verlässlichere Prognosen möglich sind. Ausserdem werden verschiedene ausgeführte Dächer mittels Einbau von Feuchtefühlern periodisch überwacht. Derartige Kontrollen zeigen, dass die Konstruktionsaufbauten funktionieren und die berechneten und gemessenen Werte bei fachkundig durchgeführten Simulationen gut übereinstimmen. Zwei Beispiele zur Illustration:

- Flachdach Typ III nach Wasserschaden: Bei einem unbelüfteten Flachdach im Mittelland wurde die Holzelementkonstruktion während der Bauphase infolge mangelhafter Bauzeitabdichtung durchnässt und anschliessend im Warmluftverfahren wieder getrocknet. Zur Beurteilung allfälliger Folgeschäden wurden in verschiedenen Räumen Sensoren zur Messung der Holzfeuchte, Lufttemperatur sowie relativen Luftfeuchtigkeit installiert (vgl. Abb. 5). Die Messungen zeigen, dass die Austrocknung erfolgreich war bzw. keine Restfeuchte vorhanden ist (Abb. 6). Die gemessenen Werte liegen im prognostizierten Bereich von weniger als 90% r.F. bzw. weniger als 20 M-% Holzfeuchte. Die Messungen werden weitergeführt.

Es gibt keine Hinweise, dass diese kritischen Grenzwerte langfristig überschritten werden.

- Blechdach im Berggebiet: Im zweiten Fall handelt es sich um ein 2007 erstelltes Einfamilien- bzw. Ferienhaus im Berggebiet in etwa 850 Höhe m ü. M. (vgl. Abb. 7). Aufgrund von konstruktiven Schwierigkeiten bei den Zu- und Abluftöffnungen wurde entschieden, das Dach als unbelüftetes Dach auszuführen. Bei der Konzeption des Konstruktionsaufbaus wurde auf Erfahrungen bei raumseitig diffusionsoffenen Versuchsaufbauten des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik zurückgegriffen, die von H. Künzel bereits 1998 in einem Artikel publiziert worden sind. Das Dach weist folgenden Konstruktionsaufbau auf:

- Schnappfalzdach Aluminium
- Mineralfaserdämmung hart (d = 80 mm)
- Bauzeitabdichtung bituminöse Selbstklebebahn

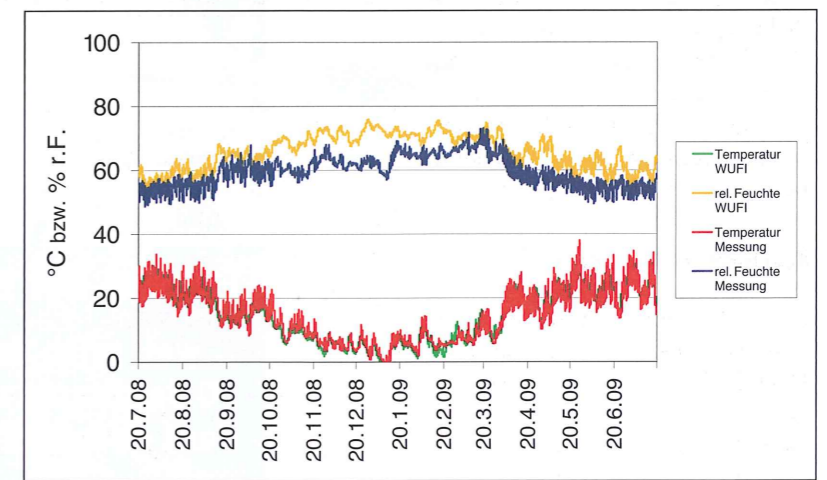


Abb. 8: Vergleich des berechneten und des gemessenen Feuchteverlaufs beim Fühler unterhalb der oberen Dreischichtplatte (Schneesicht hat ähnlich wie eine Zusatzdämmung feuchtetechnisch günstige Auswirkungen).

- Dreischichtplatte Fichte (27 mm)
 - Mineralfaserdämmung (300 mm)
 - variable Dampfbremse Isover Vario KM Duplex
 - Dreischichtplatte Fichte (22 mm).
- Zur Beurteilung der Prognosegenauigkeit des Berechnungsmodells WUFI wurden beim West- und Ostdach Sensoren in verschiedenen Schichten eingebaut. Im Weiteren werden beim Haus die Aussenklimabedingungen sowie die Raumklimabedingungen aufgezeichnet. Die Messungen zeigen, dass das Berechnungsprogramm WUFI und die Annahmen bzw. Sicherheitsüberlegungen für die feuchtetechnische Bemessung geeignet sind (vgl. Abb. 8).

Fazit

In der Schweiz werden im Holzbau immer mehr unbelüftete Flachdächer mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion ausgeführt. Der raumseitig diffusionsoffene konzipierte Konstruktionsaufbau hat sich – wie Erfahrungen und Messungen in ausgeführten Flachdächern zeigen – bewährt.

Auch die bei begehbaren und begrünten Dächern im Merkblatt der Gebäudehülle Schweiz geforderten Zusatzmassnahmen wie Bauzeitabdichtung und Überdämmung sind gerechtfertigt. Für die Bemessung von unbelüfteten Flachdachkonstruktion in Holzbauweise sind umfassende Berechnungen unter Berücksichtigung des Austrocknungsverhaltens, der Schadenrisiken und der Berechnungsgenauigkeit erforderlich.