

Abb. 1: 1998 erstellte Flachdachkonstruktion mit einer PE-Folie als Dampfbremse/Luftdichtung. Schadensursache: Dampfkonvektion infolge Luftundichtigkeiten bei Elektrotröhrdringungen. 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

Markus Zumoberhaus, Dipl. ing. ETH SIA, Martinelli + Menti AG, Luzern

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 Wärmedämmung zur Hauptsache im Bereich der Holztragkonstruktion

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 Wärmedämmegenschaften), sondern auch die Tragsicherheit gefährdet ist.

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



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 Auffeuchtungen innerhalb der Konstruktion während 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 Schadefällen zeigen allerdings, dass diese Beurteilung irrtümlich und unvollständig war. So wurde nicht beachtet, dass bereits geringe Feuchtemengen bei einem

beidseitig dampfdichten Konstruktionsaufbau nicht mehr austrocknen können. Gewisse geringfügige Auffeuchtungen können jedoch unter baupraktischen Randbedingungen nie ganz ausgeschlossen werden (z. B. Baufeuchte, unbeachtete Restfeuchte, Auffeuchtungen durch Dampfkonvektion 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 Fehler-toleranz 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 geneigtem Dach (Baujahr etwa 2003), Unterdachbahn entgegen den technischen Angaben weitgehend dampfdicht (s-Wert = etwa 20 m), Dampfbremse/Luftdichtung PE-Folie. Schadensursache: Dampfkonvektion infolge kleiner Luftundichtigkeiten bei Mauerwerksanschlüssen der PE-Folie.



Abb. 3: Vordachkonstruktion (Baujahr etwa 2006) mit bituminöser Dampfbremse. Schadensursache: Auffeuchtungen infolge Kondensat innen-seitig an den Dunstrohreinfassungen.

– 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 Bauerstellung 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. bimetallartiges 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. 5: Flachdachkonstruktion mit Position der Fühler im Bereich untere und obere Dreischichtplatte.

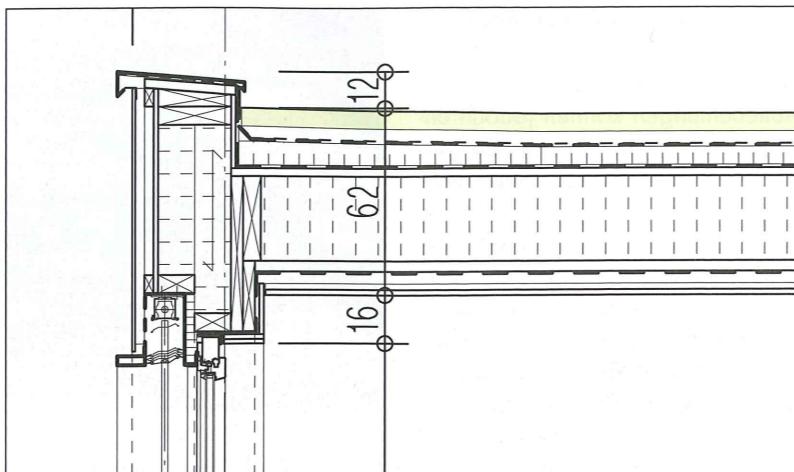
Inhalts- und Klebstoffe in Holzwerkstoffen, Einflüsse beim Lokalklima, Beschattungen usw. zu berücksichtigen. Da man diese Randbedingungen während der Planung nur selten detailliert kennt, sind bei den Berechnungen gewisse Sicherheiten einzubauen.

Anders als bei der Holzbaustatik kann dies bei der feuchte-technischen 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 250 g/m²a in der problemträchtigen Zone nachgewiesen. Simulationen von konvektionsbedingten Auffeuchtungen sind mit der Berechnungsver-sion 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, Nachbarbauen usw. müssen im Rahmen des Nachweisverfahrens durch Anpas-sungen 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 Kon-trolle der geforderten Luftdichtigkeit der Gebäudehülle werden Blower-door-Messungen (inkl. detaillierte Leckageortung) vorausgesetzt.

Konstruktive Hinweise

In der Schweiz werden fast aus-schliesslich begrünte oder bekleiste Flachdächer ausgeführt. Da bei diesen Dächern das Austrocknungs-verhalten infolge Umkehrdiffusion geringer ist als bei sogenannten



Nacktdächern, wird im Merkblatt für übliche Randbedingungen ein Aufbau gefordert. Dies bedingt so-mit den Einsatz einer Zusatzdäm-mung und einer Bauzeitabdichtung, auch wenn damit die Konkurrenz-fähigkeit gegenüber andern Konstruktionsaufbauten infrage gestellt wird:

- Zusatzdämmung: Der Vorteil der Zusatzdämmung, d. h. die Reduk-tion der Auffeuchtung der oberen Holzwerkstoffplatte, wurde bereits im ersten Teil der Artikelserie be-schrieben. 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 wei-sen, dass mit den neuen, raumsei-

auch das Risiko von Kondensat- und Eisbildung im Bereich der wich-tigsten Schicht des Flachdachs, d. h. der Abdichtung, entscheidend reduziert. Selbst ein geneigtes Dach weist übrigens in Form des Unter-dachs derartige «Sekundärabdich-tungsfunktionen» auf.



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 ge-ring, da mit den validierten thermo-hygrischen Berechnungsprogrammen wesentlich bessere und ver-lässlichere Prognosen möglich sind. Ausserdem werden verschiedene ausgeführte Dächer mittels Einbau von Feuchteführlern periodisch über-wacht. Derartige Kontrollen zeigen, dass die Konstruktionsaufbauten funktionieren und die berechneten und gemessenen Werte bei fach-kundig durchgeführten Simulatio-nen gut übereinstimmen. Zwei Bei-spiele zur Illustration:

- Flachdach Typ III nach Wasse-rschaden: 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 Sen-soren zur Messung der Holzfeuchte, Lufttemperatur sowie relativen Luft-feuchtigkeit 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. we-niger als 20 M-% Holzfeuchte. Die Messungen werden weitergeführt.

– Dreischichtplatte Fichte (27 mm)

– Mineralfaserdämmung (300 mm)

– variable Dampfbremse Isover Va-rio KM Duplex

– Dreischichtplatte Fichte (22 mm).

Zur Beurteilung der Prognosege-nauigkeit des Berechnungsmodells WUFI wurden beim West- und Ost-dach Sensoren in verschiedenen Schichten eingebaut. Im Weiteren werden beim Haus die Aussenklima-bedingungen sowie die Raumklima-bedingungen aufgezeichnet. Die Messungen zeigen, dass das Berechnungsprogramm WUFI und die Annahmen bzw. Sicherheits-überlegungen für die feuchte-technische Bemessung geeignet sind (vgl. Abb. 8).

Fazit

In der Schweiz werden im Holzbau immer mehr unbelüftete Flachdächer mit der Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion ausge-führt. Der raumseitig diffusionsoffen konzipierte Konstruktionsaufbau hat sich – wie Erfahrungen und Messun-gen in ausgeführten Flachdächern zeigen – bewährt.

Auch die bei begehbaren und begrünten Dächern im Merkblatt der Gebäudehülle Schweiz gefor-derten Zusatzmassnahmen wie Bau-zeitabdichtung und Überdämmung sind gerechtfertigt. Für die Bemes-sung von unbelüfteten Flachdach-konstruktion in Holzbauweise sind umfassende Berechnungen unter Be-rücksichtigung des Austrocknungs-verhaltens, der Schadenrisiken und der Berechnungsgenauigkeit erfor-derlich.

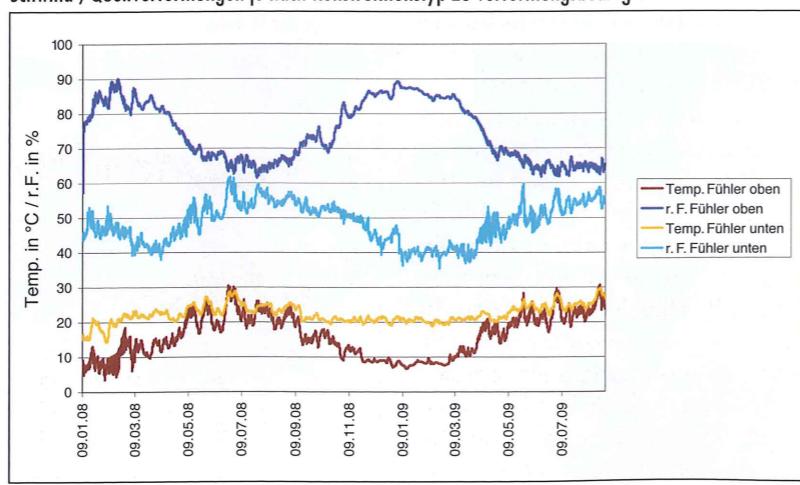


Abb. 6: stabiler Temperatur- und Feuchteverlauf im ersten Betriebsjahr (keine Erhöhung der Feuchte Ende Heizperiode). Besonders zu beachten ist der antizyklische Feuchteverlauf der oberen und unteren Holzwerkstoffplatte. Derartige Feuchteveränderungen können aufgrund der entsprechenden Schwind-/Quellverformungen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

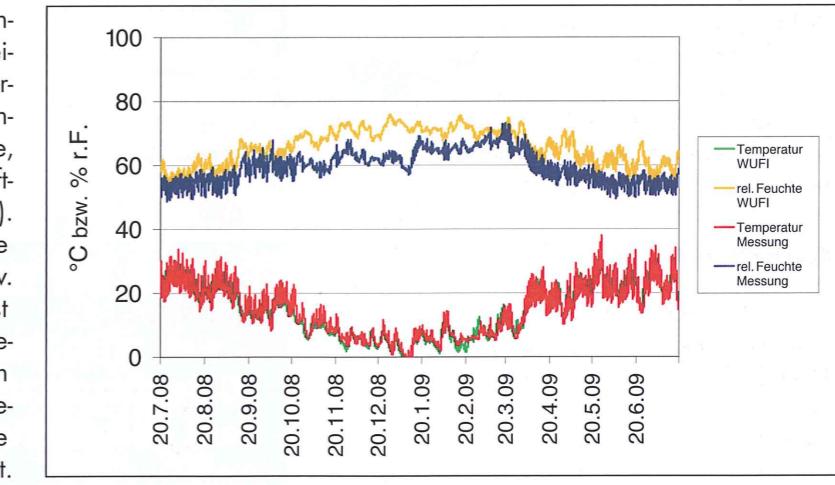


Abb. 8: Vergleich des berechneten und des gemessenen Feuchteverlaufs beim Fühler unterhalb der oberen Dreischichtplatte (Schneeschicht hat ähnlich wie eine Zusatzdämmung feuchte-technisch günstige Auswirkun-gen).