



Bauphysikalische Grundsätze zur Schadensvermeidung im Holzhausbau

Martin Teibinger

Einleitung

Langanhaltende Durchfeuchtung von Holzkonstruktionen kann zu einem Fäulnisschaden führen. Neben den konstruktiven/baulichen Holzschutzmaßnahmen, welche vor allem einen Niederschlagseintrag in Holzkonstruktionen verhindern sollen, stellt die bauphysikalisch richtige Planung und Ausführung einen Schwerpunkt zur Schadensvermeidung dar. Im nachfolgenden Beitrag werden die Grundsätze der bauphysikalisch korrekten Ausführung angeführt.

1. Grundlagen zur Luftfeuchtigkeit

Luft stellt ein Gasgemisch dar, welches unter anderem auch Wasserdampf beinhaltet.

Damit Wasser gasförmig auftreten kann, muss die Bewegungsenergie der Moleküle größer sein als ihre Anziehungskraft untereinander. Mit steigender Temperatur erhöht sich die Bewegungsenergie der Moleküle und somit auch die Anzahl von Wassermolekülen im Raum - sofern genügend flüssiges Wasser vorhanden ist, von dem sie entweichen können. Entweichen nun genau so viele Wassermoleküle von der Wasseroberfläche wie aus dem Gasraum auf diese Oberfläche auftreffen und dort wieder „festgehalten“ werden, so ist ein Gleichgewicht erreicht. Der Gasraum ist dann „wasserdampfgesättigt“. Der Druck, den diese Wassermoleküle erzeugen, wird als Wasserdampfsättigungsdruck oder Sättigungsdampfdruck bezeichnet.

Der Sättigungsdampfdruck steigt, wie man in **Abbildung 1** anhand der 100 % r.Lf.-Kurve sieht, mit zunehmender Temperatur progressiv an. In grober Näherung verdoppelt er sich bei einer Zunahme um 10 K. Als Partialdruck (Teildruck) bezeichnet man den Druck eines Gases innerhalb einer aus mehreren Gasen bestehenden Gasmischung. Durch Addition der einzelnen Partialdrücke der Gase erhält man den Gesamtdruck der Gasmischung. Unter Wasserdampfpartialdruck p_v versteht man somit den Teildruck des Wasserdampfes am gesamten vorhandenen Luftdruck.

Im Außenbereich liegt der Sättigungsdampfdruck p_{sat} nur bei Regen oder Nebel vor. Bei „normalen“ Bedingungen ist der tatsächlich vorhandene Partialdruck des Wasserdampfes kleiner als der Sättigungsdampfdruck.

Wird im Folgenden von Partialdruck gesprochen, so ist immer der Wasserdampfpartialdruck gemeint.

Der Anteil des Wasserdampfes kann in relativer bzw. absoluter Luftfeuchtigkeit ausgedrückt werden. Die absolute Luftfeuchtigkeit beschreibt die vorhandene, gasförmige Wasserdampfmenge in einem definierten Volumen in g/m^3 . Die relative Luftfeuchtigkeit stellt das Verhältnis des vorhandenen Wasserdampfpartialdruckes zum Sättigungsdampfdruck dar.

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{sat}} \times 100 \quad (1)$$

φ : relative Luftfeuchtigkeit in %
 p_v : Wasserdampfpartialdruck in Pa
 p_{sat} : Sättigungsdampfdruck in Pa

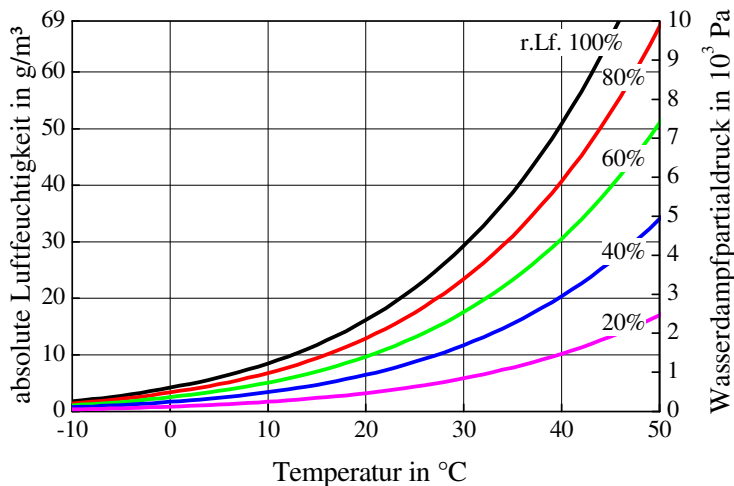


Abbildung 1: Absolute und relative Luftfeuchte in Abhängigkeit der Temperatur (r.Lf. = relative Luftfeuchte)

Wird nun Luft in einem geschlossenen System abgekühlt, so steigt die relative Luftfeuchte, während die absolute konstant bleibt. Weist die Luft eine relative Feuchtigkeit von 100% auf, so spricht man vom Taupunkt und der Wasserdampf fällt als Kondensat (Nebel, Tau) aus. Die Taupunkttemperatur einer Luft mit 20°C und 60% relativer Luftfeuchte liegt bei 12 °C. Sofern nun die Luft auf diese Temperatur abgekühlt wird, bzw. sofern Oberflächen diese Temperatur, z.B. im Bereich von Wärmebrücken aufweisen, kommt es zu Kondensat.

2. Feuchtetransport durch Bauteile

2.1. Wasserdampfdiffusion

Unter Diffusion versteht man den Stofftransport im molekularen Bereich infolge der thermischen Eigenbewegung der Moleküle durch einen anderen Stoff. Das maßgebende treibende Potential für die Diffusion sind Konzentrations- bzw. Partialdruckunterschiede, zwischen welchen sich der zu durchdringende Stoff befindet.

Bei wärme- und feuchtetechnischen Betrachtungen im Bauwesen sind dies üblicherweise Wasserdampfpartialdruckunterschiede. Im Winter liegt in unseren Regionen ein Partialdampfdruckgefälle vom Wohnraum nach außen vor, wodurch es zur Diffusion von innen nach außen kommt. Im Sommer kann es speziell bei Aufheizung der äußeren Oberfläche durch Sonnenschein zu einer Umkehr der Diffusion nach innen kommen.

Die Baustoffe stellen in Abhängigkeit ihrer Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl (μ -Wert) eine „Barriere“ für die Diffusion dar. Die Materialeigenschaft in Abhängigkeit der Dicke des Baustoffes wird durch die Wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert) ausgedrückt. Der s_d -Wert gibt an, wie dick eine ruhende Luftschicht sein muss, um denselben Diffusionswiderstand zu erreichen, wie der Baustoff.

$$s_d = \mu \times d \quad (2)$$

- s_d : Wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke in m
- μ : Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl dimensionslos
- d : Dicke des Stoffes in m

2.2. Konvektion

Neben der Diffusion kann es aufgrund von Luftdruckunterschieden zwischen Innenraum und Außenbereich zusätzlich zu konvektivem Feuchtetransport kommen. Der konvektive Feuchtetransport ist zum einen von den Leckagen und zum anderen von den Druckunterschieden abhängig. Alleine aufgrund der Thermik können im Winter in Abhängigkeit der Höhe des zusammenhängenden Innenraumes Druckunterschiede von mehreren Pascal auftreten (siehe Abbildung 2).

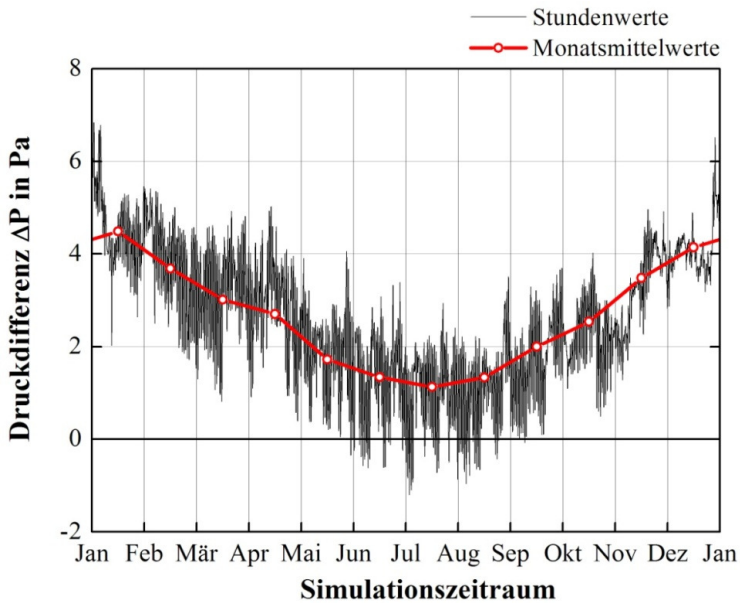


Abbildung 2: Druckdifferenz aufgrund der Thermik bei einem 8 m hohen Raum am Standort Klagenfurt mit einer Innentemperatur von $24 \pm 2 \text{ °C}$

Im oberen Bereich des Hauses liegt somit über einen Großteil des Jahres ein Überdruck vor, wodurch die Innenraumluft in die Bauteile gedrückt wird. Aus diesem Grund sind aus feuchteschutztechnischer Sicht Leckagen im oberen Bereich des Gebäudes als kritischer zu sehen.

Hinsichtlich des möglichen Feuchteintrages in eine Konstruktion ist der konvektive Eintrag verglichen mit dem Feuchteintrag infolge der Diffusion um ein Vielfaches höher. Aus diesem Grund kommt der Luftdichtheit der Gebäudehülle eine große Bedeutung zu [Nusser 2012]. Abbildung 3 verdeutlicht beispielhaft den Feuchtetransport durch einen Spalt in Abhängigkeit der Druckdifferenz. Dabei zeigt sich, dass sich bei einer Spaltbreite von 1,5 mm und einer Druckdifferenz von 5 Pa sowie bei den dargestellten Klimabedingungen ein Wasserdampfstrom von rund $50 \text{ g/m}^{\text{h}}$ ausbildet.

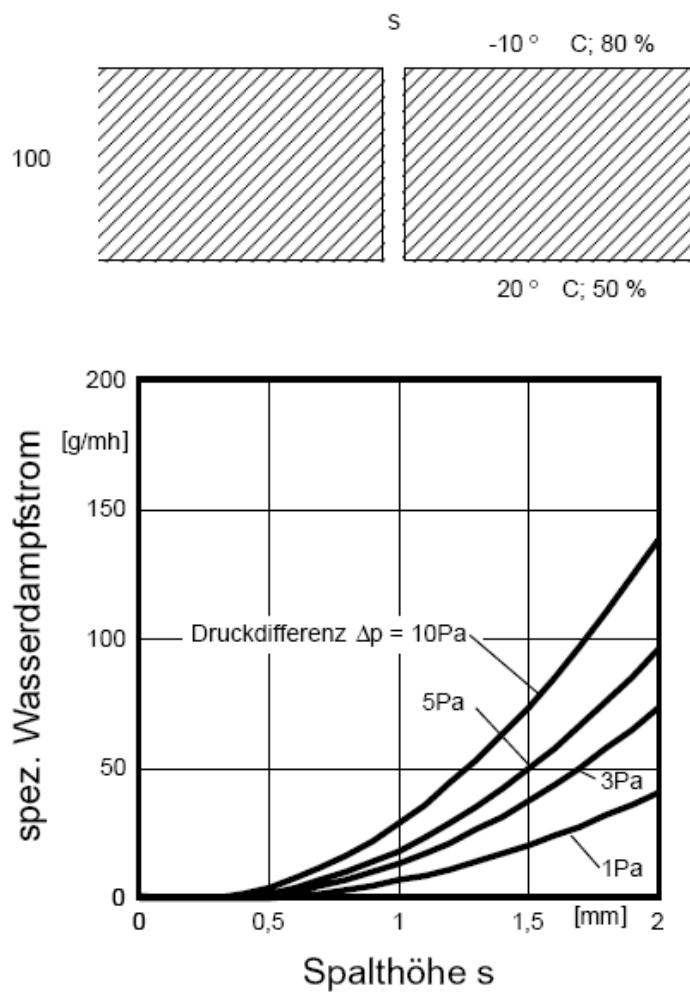


Abbildung 3: Spezifischer Wasserdampfstrom in g/mh in Abhängigkeit der Spalthöhe, Quelle: [Hauser & Maas 1992]

Leckagen können prinzipiell hinsichtlich ihrer Geometrie in Wärme- und Feuchteleckagen unterteilt werden (Abbildung 4), wobei die sogenannten Feuchteleckagen aus feuchteschutztechnischer Sicht wesentlich kritischer zu bewerten sind [Künzel 2011].

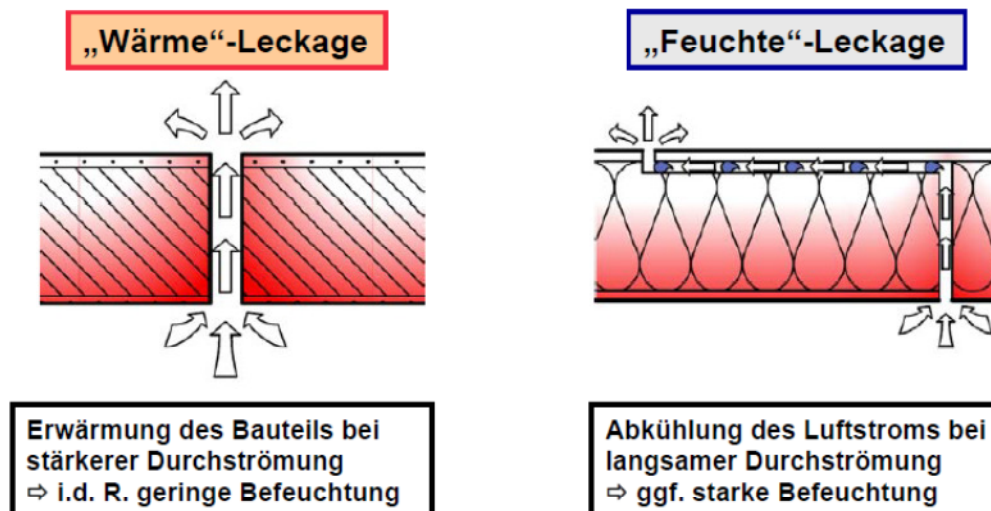


Abbildung 4: Wärme- und Feuchteleckagen, Quelle: [Künzel 2011]

3. Nachweisführung zur Vermeidung von schädlichem Kondensat nach ÖNORM B 8110-2

Aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen innen und außen kann es zu einem Kondensatausfall in den Bauteilen kommen. In der Regel kann dies nicht vollständig verhindert werden. Die entscheidende Frage ist, ob die Menge des ausfallenden Kondensates die Dauerhaftigkeit der Konstruktion negativ beeinflusst. Im Zuge der Planung sind die Aufbauten hinsichtlich der Dauerhaftigkeit in Bezug auf den Feuchteanfall zu überprüfen und diese Vorgaben sind bei der Ausführung einzuhalten. Hinsichtlich der Nachweisführung gibt es in Abhängigkeit des Aufbaus in ÖNORM B 8110-2 mehrere Möglichkeiten:

3.1. Konstruktionen ohne weitere Nachweise

ÖNORM B 8110-2 führt Konstruktionen an, für die hinsichtlich der Vermeidung von schädlichem Kondensat im Bauteil keine weiteren Nachweise zu führen sind. Dabei werden folgende Holzkonstruktionen angeführt:

- Außenwände in Holzbauweise
Außenwände in Holzbauweise mit einem s_d -Wert der innenseitigen Bauteilschichten > 10 m und einer äußeren Beplankung aus Holz oder Holzwerkstoffen mit höchstens halb so hohem s_d -Wert, wie jener der inneren Schichten. ÖNORM B 3804 fordert ein s_d -Wert Verhältnis zwischen innen und außen von 4:1.
- Decken gegen durchlüftete Dachböden
Decken mit außenliegender Wärmedämmschicht ohne diffusionshemmende Abdeckung, bei denen unterhalb der Wärmedämmschicht gelegene Bauteilschichten s_d -Werte > 8 m haben sind bei Wohnungsnutzung nachweisfrei.
- Hinterlüftete Dächer
Dächer mit einer Dachneigung $> 15^\circ$, einer maximalen gedämmten Dachlänge von 10 m und hinterlüfteter Dachhaut (z.B. in Verbindung mit wärmegeprägten Dachschrägen über ausgebautem Dachraum), sowie wärmegeprägten Decken (z.B. Konstruktionen im Untergurtbereich von Holzfachwerksbindern unter durchlüftetem ungedämmtem Dachraum), werden als nachweisfrei angeführt, wenn die raumseitig der Wärmedämmung liegenden Bauteilschichten einen s_d -Wert > 10 m aufweisen und die Überlüftung der Wärmedämmung gesichert ist.

Eine Hinterlüftung der Dachhaut zur Einstufung als nachweisfrei gemäß ÖNORM B 8110-2 ist gegeben, wenn der ständig freibleibende Lüftungsspalt zwischen Unterdach und Dachhaut an jeder Stelle mindestens 3 cm hoch ist und die freibleibenden Zu- und Abluftquerschnitte im Traufen- und Firstbereich jeweils mindestens 200 cm² pro Meter Traufenlänge betragen.

- Aufsparrendämmung
Dächer mit außenliegender Wärmedämmschicht, wenn der s_d -Wert der unterhalb der Dämmschicht liegenden Schichten > 90 m beträgt.
- Umkehrdächer
Dächer mit über der Dachhaut liegender Wärmedämmschicht aus extrudiertem Polystyrol.

3.2. Vereinfachter Nachweis

Der vereinfachte rechnerische Nachweis der ÖNORM B 8110-2 beruht auf dem Glaser-Verfahren. Bei Verwendung des Verfahrens ist zu berücksichtigen, dass die folgenden Prozesse nicht berücksichtigt werden: Koppelung zwischen Wärme- und Feuchtetransport, Kapillarwassertransport, Feuchtespeicherung und Feuchteeintrag infolge von Konvektion. Dies bedeutet, dass die Bauteile als luftdicht angenommen werden und keine Durchströmung stattfindet.

Der Nachweis gilt als nicht erfüllt, wenn

- die kondensierte Wasserdampfmenge an Berührungsflächen von kapillar nicht oder wenig wasseraufnahmefähigen Schichten $0,5 \text{ kg/m}^2$ überschreitet,
- das Kondenswasser den Feuchtigkeitsgehalt einer Bauteilschicht derart erhöht, dass der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils um 10% oder mehr vermindert wird
- die Baustoffe durch das Kondensat geschädigt werden
- der massenbezogene Feuchtigkeitsgehalt von Holz oder Holzwerkstoffen sich um mehr als 3% erhöht
- und das angesammelte Kondenswasser in der Austrocknungsperiode nicht vollständig austrocknet, sodass eine fortschreitende Feuchtigkeitsanreicherung auftritt.

3.3. Hygrothermische Simulation

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer hygrothermischen Simulation nach ÖNORM EN 15026. Die komplexen instationären Berechnungsverfahren berücksichtigen die Koppelung der Wärme- und Feuchtetransporte, kapillaren Wassertransport, Feuchtespeicherung und den konvektiven Feuchteeintrag über Leckagen. Für die Interpretation der Rechenergebnisse ist ein umfangreiches Fachwissen erforderlich. Das WTA-Merkblatt 6-2-01/D kann hierfür als Hilfestellung herangezogen werden.

4. Nachweisführung für Bauteile mit außenseitig hohen s_d -Werten

Einer der bauphysikalischen Grundsätze ist es, den Holzbau nach außen diffusionsoffener auszuführen, um ein Abtrocknen sicherzustellen. Bei Bauteilen mit hohen außenseitigen s_d -Werten (nur in Ausnahmefällen für den Holzbau empfehlenswert), z.B. Warmdachkonstruktionen mit Foliendeckung ist ein vereinfachter Nachweis nach ÖNORM B 8110-2 nur zulässig, wenn eine 100% luftdichte Ausführung sichergestellt werden kann. In der praktischen Umsetzung ist allerdings immer mit leichten Luftundichtheiten und somit zusätzlichen Feuchteinträgen zu rechnen. Die so eingedrungene Feuchtigkeit kann bei „dicht-dicht“-Aufbauten nicht mehr austrocknen und es ist mit Bauschäden zu rechnen. Holzkonstruktionen mit beidseitig diffusionsdichten Baustoffen entsprechen aus diesem Grund nicht dem Stand der Technik.

Es sind generell Konstruktionen mit entsprechendem Austrocknungspotential vorzusehen. In den letzten Jahren wurden sogenannte feuchteadaptive Dampfbremsen entwickelt. Diese haben die Eigenschaft, dass sie bei geringen mittleren Luftfeuchtigkeiten einen höheren s_d -Wert aufweisen. Bei hohen relativen Luftfeuchtigkeiten verringert sich der s_d -Wert in den Bereich von diffusionsoffenen Produkten. Bei richtigem Einsatz können diese Produkte Sicherheitsreserven für die Holzbauteile darstellen. Im Winter ist in der Regel an der Dampfbremse eine geringe Luftfeuchtigkeit vorhanden, wodurch eine dampfbremsende Wirkung vorherrscht. Im Sommer kommt es bei hohen Temperaturen auf der Dachoberfläche zu einer Feuchteumverteilung im Element, wodurch höhere Luftfeuchtigkeiten an der Dampfbremse vorherrschen. Dadurch verringert sich der s_d -Wert und die Elemente können in den Innenraum abtrocknen. Die Produkte bzw. deren Einsatz sind somit vom Innenklima und den Temperaturen am Dach abhängig. Bei Nutzungen mit hohen mittleren Luftfeuchtigkeiten während des Winters und bei Konstruktionen mit geringen Temperaturen am Dach während des Sommers funktionieren die Aufbauten nicht bzw. nur eingeschränkt. Da sich bei vollständig beschatteten, bekieseten und begrüntem Dächern



bzw. Dachbereichen, aber auch bei hellen Dachoberflächen geringere Temperaturen im Sommer einstellen und somit nur eine eingeschränkte Rücktrocknung vorliegt, werden bei diesen Dächern Zusatzdämmungen empfohlen.

4.1. Einflussfaktoren

Die Einflussfaktoren hinsichtlich des Feuchtehaushaltes eines Flachdaches stellen somit die s_d -Werte der inneren und äußeren Bekleidungen und Folien, der solare Absorptionsgrad (abhängig von der Farbe) der Dachbahn, das Innenklima, die Luftdichtheitsklasse, das Außenklima und der Beschattungszeitraum dar. Planer und Ausführende können die Materialkennwerte beeinflussen. Dem Nutzer sind allerdings die Zusammenhänge mit einer Änderung des Innenklimas bzw. einer späteren Beschattung z.B. in Form einer nachträglichen Montage von Photovoltaik-Modulen darzustellen.

In zwei, im Jahr 2009 abgeschlossenen, Forschungsprojekten wurden die Grenzen der sommerlichen Rücktrocknung beim Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen mess- und simulationstechnisch untersucht [Winter et al., 2009, Teibinger & Nusser 2009]. Aus den Forschungsarbeiten der Holzforschung Austria entstand eine Planungsbroschüre mit Konstruktionsvorschlägen für nachweisfreie flachgeneigte Dachkonstruktionen [Teibinger & Nusser 2010], welche eine Möglichkeit der Nachweisführung darstellt.

4.2. Nachweispyramide

Das feuchtetechnische Verhalten von feuchteadaptiven Dampfbremsen kann mit dem Glaser-Verfahren nicht abgebildet werden. Es ergeben sich, in Abhängigkeit der Randbedingungen, die in Abbildung 5 angeführten Nachweismöglichkeiten entsprechend der sogenannten Nachweispyramide.



Abbildung 5: Nachweispyramide

4.2.1. Die 7 "goldenen" Regeln für ein nachweisfreies Flachdach

Sofern die als Konsens der Referenten des Kongresses „Holzschutz und Bauphysik“ am 10. und 11.02.2011 [Borsch-Laaks 2011] publizierten 7 "goldenen" Regeln eingehalten werden, ist kein weiterer Nachweis erforderlich. Die Grundlage hierfür stellen die Ergebnisse der eingangs angeführten Forschungsprojekte, sowie langjährige Simulationserfahrung der Unterzeichner dar.

7 goldene Regeln für ein nachweisbares Flachdach (bei normalem Wohnklima nach EN 15026 bzw. WTA Merkblatt 6-2 [WTA 2002])

1. Es hat ein **Gefälle $\geq 3\%$ vor bzw. $\geq 2\%$ nach Verformung** und es
2. ist **dunkel (Strahlungsabsorption $a \geq 80\%$), unverschattet** und es hat
3. **keine Deckschichten (Bekiesung, Gründach, Terrassenbeläge)** aber
4. eine **feuchtevariable Dampfbremse** und
5. **keine unkontrollierbaren Hohlräume auf der kalten Seite der Dämmschicht** und
6. eine **geprüfte Luftdichtheit** und es
7. wurden vor dem Schließen des Aufbaus die **Holzfeuchten von Tragwerk und Schalung** ($u \leq 15 \pm 3\text{ M-}\%$) bzw. Holzwerkstoffbeplankung ($u \leq 12 \pm 3\text{ M-}\%$) dokumentiert.

4.2.2. Planungsbroschüre „Flachgeneigte Dächer aus Holz“

Sofern die 7 "goldenen" Regeln aufgrund z.B. temporärer Verschattung, höherer Feuchtelast oder geringerer Strahlungsabsorption nicht eingehalten werden können, können Konstruktionen der Planungsbroschüre [Teibinger & Nusser 2010] gewählt werden. In der Broschüre werden nachweisfreie vollgedämmte Foliendächer in Abhängigkeit der Luftdichtheitsklasse, des Beschattungsgrades und des Innenklimas mit unterschiedlichen innenseitigen sd-Werten und Absorptionsgraden der Dachbahn aufgelistet. Als Grundlage wurden hygrothermische Simulationen durchgeführt, welche anhand von Messergebnissen des mehrjährigen Forschungsprojektes validiert wurden [Teibinger & Nusser 2009, Nusser et al. 2010]. Die Ergebnisse können für ganz Österreich herangezogen werden.

4.2.3. Objektspezifische hygrothermische Simulation

Sollten bei einem Objekt die Randbedingungen nicht den Vorgaben der Planungsbroschüre entsprechen (z.B. längere Beschattungsintervalle), so können objektspezifische hygrothermische Simulationen auf Basis einer objektbezogenen Beschattungsanalyse durchgeführt werden [Nagl & Nusser 2011]. Hierzu wird mit Hilfe eines speziellen Spiegels vor Ort eine 360°-Fotografie der Objektumgebung erstellt, welche mittels dazugehöriger Software entzerrt wird. Die Umgebung kann auch stützend auf Bebauungsplänen o.ä. am PC nachgebildet werden, wodurch eine Betrachtung vor Ort nicht notwendig wird. Über geographische Koordinaten kann dann für jeden Standort die Sonnenbahn ermittelt und in das Panoramafoto oder die Umgebungsnachbildung eingefügt werden. Alle Objekte, die sich daraufhin im Bereich der Sonnenbahn abzeichnen, werfen zu gewissen Tages- und Jahreszeiten einen Schatten auf den betreffenden Standort. Die so gewonnenen solaren Einstrahlungsdaten können schließlich für die Wärme- und Feuchtesimulationen verwendet werden.

4.3. Die Bauteilfeuchte und der Holzschutz

ÖNORM B 3802-2 regelt die Maßnahmen für einen vorbeugenden chemischen Holzschutz je nach Gebrauchsklasse. Die Konstruktionshölzer der Außenbauteile fallen in die Gebrauchsklasse 2, welche grundsätzlich nicht bewitterte Holzbauteile und Hölzer im Innenbereich mit einer mittleren relativen Luftfeuchtigkeit über 70% definiert. Ein Verzicht auf einen vorbeugenden chemischen Holzschutz kann durch die Verwendung splintfreier Farbkernhölzer mit einer natürlichen Dauerhaftigkeit der Klasse 1, 2 oder 3 gemäß ÖNORM EN 350-2 erreicht werden. Zusätzlich führt ÖNORM B 3804 für Gebäude errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen Anforderungen für einen Verzicht auf einen vorbeugenden chemischen Holzschutz für Hölzer der Gebrauchsklasse 1 und 2 an. Dabei werden neben Anforderungen an den Herstellbetrieb, an Herstellung, Transport, Lagerung sowie Einbau der Holzelemente auch Maßnahmen zur Verhinderung einer Durchfeuchtung durch Niederschläge, aufsteigende Feuchtigkeit, Kondensat und eine mögliche außerplanmäßige Durchfeuchtung angeführt. Hinsichtlich der Verhinderung eines schädlichen Kondensates wird die Einhaltung der Anforderungen der ÖNORM B 8110-2 gefordert. Zusätzlich ist ein schädliches Kondensat aufgrund von Konvektionserscheinungen zu verhindern. ÖNORM B 3804 führt als Anforderung zur Ermöglichung des Abtrocknens außerplanmäßiger Durchfeuchtungen, welche z.B. durch erhöhte Einbaufeuchten, Niederschläge



während der Bauphase oder spätere Leckagen auftreten können, diffusionsoffene Bauteile mit einem s_d -Wert Verhältnis zwischen innen und außen von 4:1 an. Die Anforderung der Norm beschränkt sich auf nach außen diffusionsoffene Bauteile, wobei als diffusionsoffene Produkte Baustoffe mit einem s_d -Wert $< 0,3$ m bezeichnet werden können. Die alleinige Betrachtung des s_d -Wertverhältnisses zur Gewährleistung eines Austrocknungspotentiales ist aus heutiger Sicht nicht zielführend, da beispielsweise ein Aufbau mit einer innenseitigen Dampfbremse mit einem s_d -Wert von 400 m und eine außenseitige Abdichtung mit einem s_d -Wert von 100 m das angeführte Verhältnis ebenfalls einhalten würde. Es besteht allerdings, wie angeführt, kein Austrocknungspotential im Fall einer ungewollten außerplanmäßigen Durchfeuchtung.

Die aktuelle Norm nimmt zusätzlich keinen Bezug auf die Möglichkeit einer Austrocknung von Konstruktionen nach innen. Dies kann durch den Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen bzw. Dampfbremsen mit einem geringen konstanten s_d -Wert ermöglicht werden. Für diese Konstruktionen ist mittels thermisch-hygrischer Simulationen unter Berücksichtigung der vorherrschenden Randbedingungen (Klima, Beschattung, etc.) die feuchteschutztechnische Tauglichkeit nachzuweisen. In den Berechnungen ist ein allfälliger Feuchteeintrag aufgrund von Leckagen der luftdichten Ebene zu berücksichtigen. Durch eine positive Nachweisführung kann somit die Austrocknung von schädlichem Kondensat bei derartigen Dachkonstruktionen nachgewiesen werden. Die Konstruktionen könnten somit bei Einhaltung der restlichen Anforderungen der ÖNORM B 3804 in die Gebrauchsklasse 0 eingestuft werden.

5. Ausblick

In den letzten Jahren haben sich nicht zuletzt durch Forschungs- und Validierungsarbeiten die hygrothermischen Simulationsmodelle stark weiterentwickelt und können mittlerweile auch die Menge und den Einfluss konvektiver Feuchteströme mit berücksichtigen. Die Normen hinsichtlich der Nachweisführung und der Verzicht auf den chemischen Holzschutz sind entsprechend dieser Entwicklungen anzupassen. Ein weiteres Entwicklungspotential stellt die Koppelung der hygrothermischen Simulationen mit validierten Vorhersagemodellen eines möglichen Pilzbefalles dar. In diesem Zusammenhang besteht noch ein großer Forschungsbedarf.

6. Literaturverzeichnis

- Borsch-Laaks, R. (2011): *Informationen im Nachgang zum Holzschutzkongress in Leipzig*, 03.02.2011. E-Mail an Teilnehmer am Kongress.
- Hauser, G. & Maas, A. (1992): *Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten*. In: Deutsche Bauzeitschrift, Jg. 24, H. 1, S. 91–100.
- Künzel, H. M. (2011): *Trocknungsreserven bemessen! Einfluss des Feuchteintrages aus Dampfkonvektion. Veranstaltung vom 10.02.2011*, aus der Reihe "2. internationaler Holz[Bau]Physik-Kongress". Leipzig.
- Nagl, S. & Nusser, B. (2011): *Viel Licht und wenig Schatten*. In: HFA-Magazin (2), S. 8–9.
- Nusser, B. (2012): *Flachgeneigte hölzerne Dachkonstruktionen. Systemanalysen und neue Ansätze zur Planung hygrysch robuster flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen unter Beachtung konvektiver Feuchteinträge und temporärer Beschattungssituationen. Dissertation*. TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Institut für Hochbau und Technologie.
- Nusser, B.; Teibinger, M.; Bednar, T.: *Feuchtetechnische Untersuchungen flachgeneigter hölzerner Dachkonstruktionen*. In: OIB-aktuell September 2010, 11. Jahrgang, S. 20-25.
- ÖNORM B 3802-2, 1998-04-01: *Holzschutz im Hochbau - Chemischer Schutz des Holzes*. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 3804, 2002 03 01: *Holzschutz im Hochbau - Gebäude, errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen - Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmaßnahmen*. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 8110-2, 2003-07-01: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 350-2, 1994-12-01: *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa*.
- ÖNORM EN 15026, 01.06.2007: *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*.
- Teibinger, M. & Nusser, B. (2009): *Innovative Flachgeneigte hölzerne Dachkonstruktionen*. FFG-Endbericht. Hg. v. HFA (Holzforschung Austria). Wien.
- Teibinger, M. & Nusser, B. (2010): *Planungsbroschüre. Flachgeneigte Dächer aus Holz*. Wien: Eigenverlag (HFA-Schriftenreihe, 29).
- Winter, S.; Fülle, C.; Werther, N. (2009): *Experimentelle und numerische Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens von flach geneigten Dächern in Holzbauweise mit oberer dampfdichter Abdichtung unter Einsatz ökologischer Bauprodukte zum Erreichen schadensfreier, markt- und zukunftsgerechter Konstruktionen*. Leipzig (Forschungsbericht, DGFH: Z 6 - 10.08.18.7-07.18).
- WTA-Merkblatt 6-2-01/D, 2002: *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse*. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.