

F 2919

Rainer Oswald, Matthias Zöller, Ralf Spilker, Silke Sous

Zuverlässigkeit von Holzdachkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9327-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

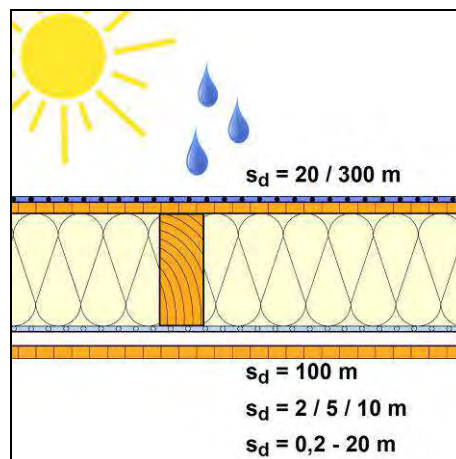
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

ZUVERLÄSSIGKEIT VON HOLZDACHKON- STRUKTIONEN OHNE UNTERLÜFTUNG DER ABDICHTUNGS- ODER DECKLAGE



Abschlussbericht

März 2014

Zuverlässigkeit von Holzdachkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage

Abschlussbericht



Gefördert vom: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.33

Bearbeitet durch: AIBAU
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik, gGmbH, Aachen

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Oswald
Dipl.-Ing. Matthias Zöller

Bearbeiter/Autoren: Dipl.-Ing. Ralf Spilker
Dipl.-Ing. Silke Sous

Aachen, im März 2014

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Bearbeitern.

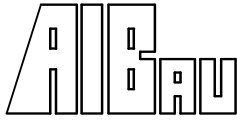
INHALT

1.	Einleitung.....	9
1.1	Aufgabenstellung und Forschungsansatz.....	9
1.2	Ziel und Eingrenzung der Arbeit.....	10
1.3	Dank	11
2.	Schadensstatistik.....	12
2.1	Vorgehensweise und Datenermittlung	12
2.2	Ergebnisse aus Recherche und Umfrage	12
2.2.1	Gebäudenutzung.....	13
2.2.2	Dachaufbau – Stoffe.....	14
2.2.3	Schäden (Zeitpunkt, Umfang und Bilder).....	16
2.2.4	Auswertbarkeit der vorliegenden Umfrageergebnisse	18
3.	Fallbeispiele.....	19
3.1	Schäden durch Luftundichtheiten.....	20
3.2	Schäden durch Dachundichtheiten	24
3.3	Schäden durch hohe Raumlufffeuchte.....	27
3.4	Schäden durch Baufeuchte (Estrich, Putz, Niederschläge)	28
3.5	Schäden durch (erhöhte) Holzfeuchte (bei Lieferung)	31
3.6	Zusammenfassung	34
4.	Begriffe – Definitionen	38
4.1	Belüftete/Unbelüftete Konstruktionen.....	38
4.2	Belüftungsebene unter der Unterspannbahn	42
4.3	Unterdächer	43
4.4	Moderat dampfbremsende Bahnen.....	44
4.5	Feuchtevariable Dampfbremsen	45
5.	Regelwerkfestsetzungen	53
5.1	Nachweisfreiheit	53
5.2	Holzschutz	57
5.3	Zulässige Holzfeuchte.....	59
5.3.1	Messung der Holzfeuchte.....	61
5.4	Diffusionsdichte Luftdichtheitsschicht – Warnungen	62
6.	Instationäre hygrothermisch Nachweisverfahren und Freilanduntersuchungen	64

6.1	Instationäre hygrothermische Nachweisverfahren	64
6.1.1	Klimadaten	64
6.1.2	Materialkennwerte	65
6.1.3	Einflüsse der Strahlung auf die Dachoberfläche	67
6.1.4	Abdichtungsmaterialien	69
6.1.5	Trocknungsreserve	70
6.1.6	Zusatzdämmung	71
6.1.7	Dachbegrünung	71
6.1.8	Sicherheitszuschläge	71
6.1.9	Interpretation der Berechnungsergebnisse	72
6.1.10	Zusammenfassung	75
6.2	Freilanduntersuchungen	75
6.2.1	Leipzig [Winter/Fülle/Werther 2009]	75
6.2.2	Wien [Nusser/Teibinger/Bednar 2010]	77
6.3	Zusammenfassung	78
7.	Alternative: Belüftung	79
8.	Empfehlungen in Deutschland	82
9.	Empfehlungen in den Nachbarländern	83
9.1	Österreich	83
9.2	Schweiz	88
9.3	Belgien	94
9.4	Niederlande	99
9.5	Skandinavien	100
10.	Welche Risiken bestehen?	101
10.1	Feuchteintrag durch das Holz	101
10.2	Feuchteintrag durch Niederschläge während der Bauzeit	102
10.3	Baustellenfeuchte aus Estrich und Putz (Winterbaustelle)	102
10.4	Feuchteintrag durch Abdichtungsmängel	104
10.5	Feuchteintrag durch Dampfkongvektion – mangelhafte Luftdichtung	104
11.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	106
11.1	Empfehlungen für den Planer, Bauleiter und Bauherren	106
11.2	Empfehlungen für Gewerke	107
11.2.1	Empfehlung für das Zimmerergewerk	107
11.2.2	Empfehlung für das Dachdeckergewerk	107
11.2.3	Empfehlungen für das Trockenbaugewerk	108
11.3	Monitoring	108

12.	Zusammenfassung	109
13.	Weiterer Forschungsbedarf	110
14.	Objektdokumentation	111
14.1	Objekt 1	112
14.2	Objekt 2	113
14.3	Objekt 3	114
14.4	Objekt 4	115
14.5	Objekt 5	116
14.6	Objekt 6	117
14.7	Objekt 7	118
14.8	Objekt 8	119
14.9	Objekt 9	120
14.10	Objekt 10	121
14.11	Objekt 11	122
14.12	Objekt 12	123
14.13	Objekt 13	124
14.14	Objekt 14	125
14.15	Objekt 15	126
14.16	Objekt 16	127
14.17	Objekt 17	128
14.18	Objekt 18	129
14.19	Objekt 19	130
14.20	Objekt 20	131
14.21	Objekt 21	132
14.22	Objekt 22	133
14.23	Objekt 23	134
14.24	Objekt 24	135
14.25	Objekt 25	136
14.26	Objekt 26	137
14.27	Objekt 27	138
14.28	Objekt 28	139
15.	Anhang.....	140
15.1	Erhebungsbogen	140

15.2	Literatur	141
15.2.1	Fachbücher und Fachaufsätze.....	141
15.2.2	Normen	148
15.2.3	Richtlinien und Merkblätter.....	150
15.2.4	Produktinformationen	151
15.2.5	Webseiten	151



1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Forschungsansatz

Dachkonstruktionen aus Holz mit Zwischensparrendämmungen, bei denen zwischen Wärmedämmung und diffusionsoffener Unterdeckbahn keine Belüftungsschicht vorhanden ist, wohl aber der Raum zwischen Unterdeckbahn und Deckung bzw. Abdichtungslage unterlüftet ist, gelten in der Regel als funktionssichere Konstruktionen. Dagegen werden solche Konstruktionen, bei denen die Abdichtungs-/oder Deckschichten, die im Allgemeinen einen hohen Diffusionswiderstand aufweisen, nicht unterlüftet sind, in Fachkreisen überwiegend als wenig fehlertolerante Konstruktionen bewertet. Dennoch nimmt die Häufigkeit ihrer Anwendungen zu. Dabei wird häufig das Schadensrisiko unterschätzt, soweit bei Planern und/oder Anwendern überhaupt ein Bewusstsein des Schadensrisikos besteht.

Zunehmend wird auf den konstruktiven Aufwand für eine Belüftungsebene unter der Abdichtungs- bzw. Deckschicht und deren Zuluftöffnungen verzichtet und stattdessen auf die Fehlertoleranz neuerer Baustoffe vertraut. Auch diese decken aber nicht jedes Schadensrisiko feuchtempfindlicher Holzkonstruktionen, z. B. hohe Baufeuchte, mögliche kleinere Leckagen sowie Umlagerungen mit der Folge von Feuchtekonzentrationen, ab.

Häufig werden Durchfeuchtungsschäden erst spät bemerkt, so dass bei dem feuchtempfindlichen, tragenden Baustoff Holz schwere Schädigungen mit entsprechend hohem Instandsetzungsaufwand auftreten. Es besteht ein eklatantes Missverhältnis zwischen dem konstruktiven Mehraufwand für die Unterlüftungsschicht und dem potentiellen Schadensumfang.

Ob und wie weit heute übliche Konstruktionen mit neueren Baustoffen dieses Schadensrisiko mindern können, wird durch die vorliegende Forschungsarbeit untersucht. Auf

Grundlage der Auswertung von Schadensfällen, die von öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen begutachtet wurden, sollen die Ursachenschwerpunkte und die am meisten gefährdeten Konstruktionsvarianten ermittelt werden.

1.2 Ziel und Eingrenzung der Arbeit

Bei Dachkonstruktionen aus Holz wird zunehmend auf die bewährte Konstruktion verzichtet, unter einer Deckschicht mit hohem Diffusionswiderstand eine Unterlüftungsschicht einzubauen: Beim Neubau von Flachdächern, die u. a. mit Dachbegrünungen und Solaranlagen zunehmend ein positiveres Image bekommen, wird der Einbau von Unterlüftungsschichten häufig aus konstruktiven, energetischen und vermeintlich wirtschaftlichen Gründen vermieden; bei geneigten Dächern werden insbesondere bei energetischen Modernisierungen ehemals vorhandene Unterlüftungsschichten verschlossen.

Gleichzeitig weisen einige Regelwerke auf das hohe Schadensrisiko solcher ganz unbelüfteter Konstruktionen hin, wenn die über der Dämmung liegenden Abdichtungen oder Decklagen weitgehend dampfdicht sind.

Aktuelle Planungshinweise für diese Konstruktionen empfehlen bei der bauphysikalischen Berechnung eine Austrocknungsreserve zu berücksichtigen. Sie empfehlen weiterhin den Einsatz von Holz mit geringem Feuchtegehalt, von feuchtevariablen Dampfbremsen oder von sorptiven Dämmstoffen. Damit kann jedoch dem Einfluss von Baufeuchte und Leckagen während der Nutzungszeit nur begrenzt begegnet werden.

Ziel ist, zu untersuchen, ob diese neueren Empfehlungen zu einer deutlichen Verminderung des Schadensrisikos beitragen.

Die zu untersuchenden Dächer weisen im Wesentlichen drei charakteristische Merkmale auf:

- sie bestehen aus einer Holzkonstruktion mit der Wärmedämmung zwischen den tragenden Holzbalken
- sie haben keine geplante Belüftungsschicht

- sie weisen auf der Außenseite eine oder mehrere Abdichtungs- oder Deckschichten mit hohem Diffusionswiderstand auf

Im Grunde handelt es sich um nicht belüftete Holzdächer mit Zwischensparrendämmung. Missverständnisse gibt es aber häufig deswegen, weil in der Norm zur Dimensionierung der Feuchteschutzschichten [DIN 4108-3] auch solche Dächer als nicht belüftet bezeichnet werden, die eine Luftschicht oberhalb der Dämmebene aufweisen. Wenn also von nicht belüfteten Dächern gesprochen wird, können dennoch sehr unterschiedliche Konstruktionen gemeint sein (s. hierzu auch Kap. 4.1).

Zum Teil werden diese Konstruktionen als „dicht/dicht“ Konstruktionen bezeichnet, um deutlich zu machen, dass keine Austrocknungsmöglichkeiten bestehen.

1.3 Dank

Eine wichtige Grundlage der vorliegenden Arbeit stellt die im Folgenden beschriebene Umfrage unter Sachverständigen dar.

Die Befragten haben unentgeltlich an Umfragen teilgenommen, teilweise ihre persönlichen Erfahrungen und Erkenntnisse sowie umfangreiches Informationsmaterial zur Verfügung gestellt und geholfen, geeignete Untersuchungsobjekte zu finden. Ihnen gilt daher ein besonderer Dank.

Für die fachliche Beratung sei außerdem den Arbeitsgruppenmitgliedern Herrn Dipl.-Ing. (FH) Christian Anders vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks, Köln, Herrn Dipl.-Ing. Thorsten Kober aus dem Büro von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, München und Herrn Dipl.-Ing. Architekt Martin Mohrmann, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Holzkonstruktionen in Plön gedankt.

2. Schadensstatistik

2.1 Vorgehensweise und Datenermittlung

Nach einer Literaturrecherche wurden eigene Gutachten und bauphysikalische Beratungen ausgewertet.

Zeitgleich wurden 1.657 deutschlandweit tätige öffentlich bestellte und vereidigte Bau-sachverständige mit den Bestellsgebieten Schäden an Gebäuden, Bautenschutz, Bauphysik, Dachdeckerhandwerk, Holzbau und Holzschutz angeschrieben. Die Sachverständigen wurden nach ihren Erfahrungen mit unbelüfteten Flachdächern in Holzbauweise befragt und darum gebeten, Schadensfälle für eine detaillierte Auswertung zur Verfügung zu stellen.

Mit dem vom AIBAU entwickelten Umfragebogen (s. Kapitel 15.1) wurde um weitere Angaben zur Art, Alter und Schichtenaufbau der Dächer gebeten. Weiterhin wurde nach Plänen und Fotos gefragt sowie nach der Möglichkeit, die benannten Objekte im Rahmen der Forschungsarbeit zu besichtigen.

2.2 Ergebnisse aus Recherche und Umfrage

Von den 1.657 angeschriebenen Personen haben 141 geantwortet. Dies entspricht einem Rücklauf von etwa 8,5 %. Aufgrund der in Bezug der Anwendungshäufigkeit vergleichsweise geringen Fallzahlen können die Ergebnisse der Umfrage in nur sehr begrenztem Umfang als statistisch repräsentativ gelten. Einige der Hinweise und Informationen allgemeiner Art und zu konkreten Objekten sind jedoch in die vorliegende Forschungsarbeit eingeflossen.

71 Umfrageteilnehmer (ca. 50 %) gaben an, dass sie in den letzten zehn Jahren insgesamt 337 Schadensfälle an Flachdächern in Holzbauweise ohne Unterlüftung untersucht haben. Etwa ebenso viele Sachverständige (68 Personen) teilten mit, dass sie über positive Erfahrungen mit dieser Bauweise verfügen, jedoch ohne Nennung der konkreten Fallzahlen. Zwei Sachverständige machten keine Angaben hierzu (s. Abb. 1). Die Befrag-

ten gaben bei 99 (ca. 26 %) der 337 Fälle an, dass eine feuchtevariable Dampfbremse eingebaut war (s. Abb. 2).

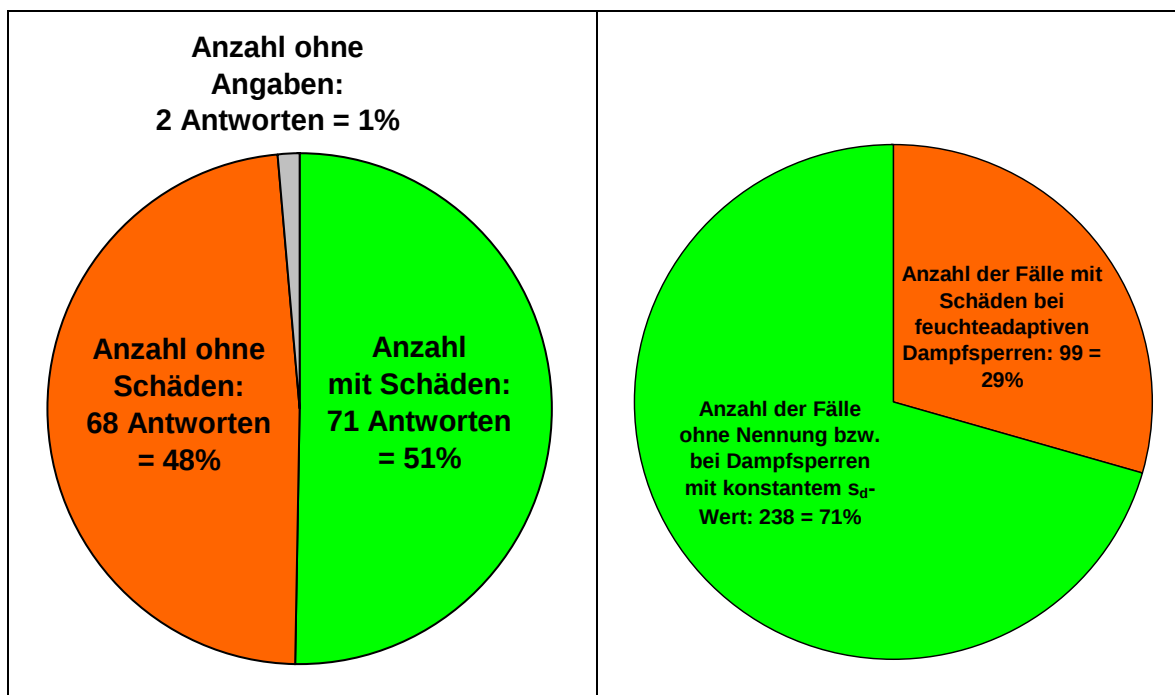


Abb. 1: Anzahl der Antworten

Abb. 2: Anzahl der Fälle mit und ohne Schäden bei feuchtevariablen Dampfbremsen

Die Anzahl der genannten Objekte mit Schadensfällen liegt je zurückgesandtem Fragebogen zwischen einem und 60 Fällen. Zu 28 Fällen wurden umfangreiche Informationen über Schadensverlauf, Untersuchung und Instandsetzungsempfehlung bzw. -durchführung übermittelt. Diese Fälle sind vergleichend in der Objektdokumentation im Anhang des Berichts dokumentiert. Die im Folgenden zusammengestellten Zahlen beziehen sich im Wesentlichen auf diese Objekte.

2.2.1 Gebäudenutzung

Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich größtenteils um Ein- oder Mehrfamilienwohnhäuser, Kindertagesstätten bzw. Studenten-/Seniorenwohnheime – also Gebäuden mit einer wohnähnlichen Nutzung. In sechs Fälle waren die Schäden an Dächern über Bürogebäude bzw. Versammlungsstätten aufgetreten. Zwei Dächer überspannten Hallengebäude.

2.2.2 Dachaufbau – Stoffe

Bei den im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Dächern handelt es sich entweder um Flachdächer mit bahnenförmigen Abdichtungen oder mit Metalleindeckungen. Die Dächer waren gefällelos ausgeführt oder wiesen geringe Dachneigungen bis 5° auf (14 Fälle), bei einem Dach wurde eine Dachneigung von 15° gemessen.

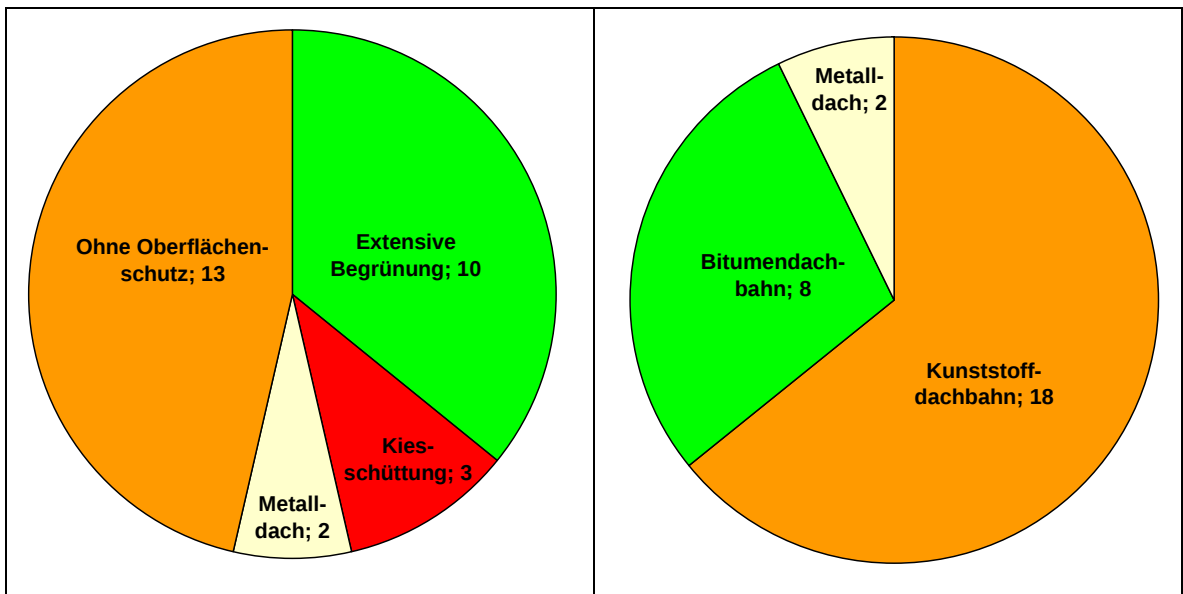


Abb. 3: Anzahl der Fälle mit extensiver Dachbegrünung, Kiesschüttung und ohne Oberflächenschutz

Abb. 4: Anzahl der Fälle mit Dachabdichtungen bzw. Metalldächern

In zehn Fällen war auf die Abdichtung eine extensive Dachbegrünung aufgebracht worden. In drei weiteren Fällen war eine Kiesschüttung als Oberflächenschutz oberhalb der Abdichtung verwendet worden. Bei zwei Objekten waren Metaldachkonstruktionen (je ein Dach mit Unterdeck- bzw. Kunststoffdachbahn) ausgeführt worden. 18 der Dächer waren mit Kunststoffdachbahnen, acht Dächer mit Bitumenbahnen (ein- oder mehrlagig) abgedichtet worden (s. Abb. 3 und Abb. 4).

Die Farbgebung der Dachabdichtung und damit das Absorptionsverhalten war deutlich unterschiedlich: Sie reicht von hellen Kunststoffdachabdichtungen (z. B. EVA, drei Dächer) über graue Kunststoffdachabdichtungen (z. B. PVC, zwei Dächer) und graue Bitumendachbahnen (meist besplittet oder beschiefert, vier Dächer) bis hin zu schwarzen Kunststoffdachabdichtungen (zwei Dächer). Die Farbgebung der unter den Grün- bzw. Kiesdächern verlegten Ab-

dichtung sind für die weiteren Betrachtungen nicht von Bedeutung und werden daher nicht aufgeführt (s. Abb. 5).

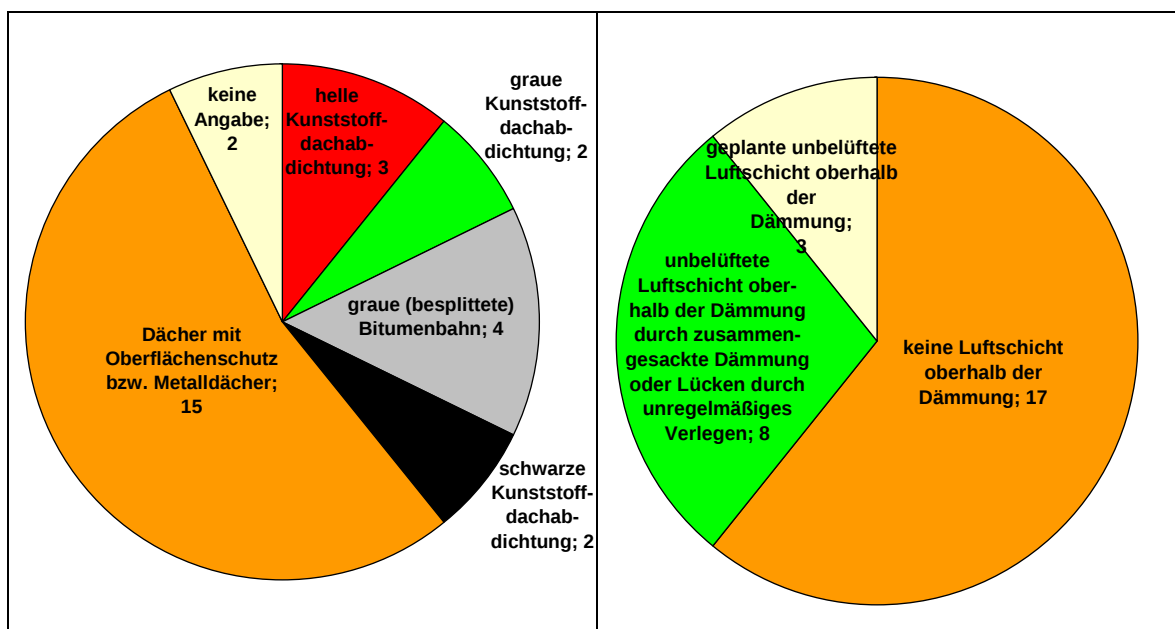


Abb. 5: Häufigkeit der Farbgebung der Dachabdichtungen ohne Oberflächenschutz

Abb. 6: Anzahl der Dächer mit oder ohne Luftschicht

Zur Erhöhung der Funktionssicherheit waren in drei Fällen eine Zusatzdämmung, in zwei Fällen eine Zusatzabdichtung oberhalb der eigentlichen Abdichtungsebene eingebaut worden. In allen Fällen wurde die Abdichtung auf einer flächigen Unterlage (OSB-Platten oder Holzschalung) verlegt. Ebenfalls bei allen Dächern wurde eine Wärmedämmung aus Mineralwolle zwischen den Sparren verlegt.

Bei den Öffnungen der Dächer war festzustellen, dass in elf Fällen Luftschichten oberhalb der Dämmung vorhanden waren. Diese unbelüfteten Luftschichten waren lediglich bei drei Dächern geplant. In den übrigen Fällen entstanden sie durch das Zusammensacken der durchfeuchteten Wärmedämmung bzw. waren auf das sehr lückenhafte Verlegen zurückzuführen (s. Abb. 6).

Bei den untersuchten Dächern waren unterhalb der Holzsparren meist Dampfsperren mit hohem Diffusionswiderstand aus Polyethylen eingebaut worden (18 Dächer). Nur zweimal wurden Dampfsperren mit moderatem Diffusionswiderstand (zur Definition s. Kapitel 4.4) verwendet. Bei sieben Dächern kamen feuchtevariable Dampfbremsen zum Einsatz (s. Abb. 7). Die Funktionsweise dieser Folien wird detailliert in Kap. 4.6 beschrieben.

Die Dampfsperren wurden bei nahezu allen Untersuchungsobjekten auf der Innenseite bekleidet, nur in vier Fällen fehlt diese Schicht. Der Einbau erfolgte meist unmittelbar auf der Dampfsperr-Schicht (19 Fälle). In fünf Fällen wurde die Innenbekleidung als abgehängte Decke ausgeführt (s. Abb. 8).

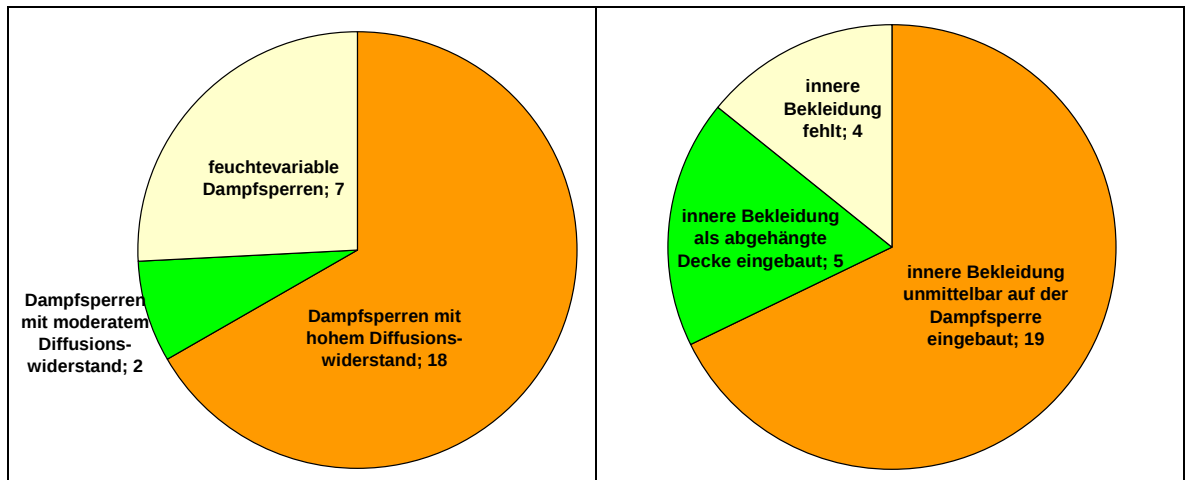


Abb. 7: Arten der eingebauten Dampfsperren

Abb. 8: Dächer mit bzw. ohne innerer Bekleidung der Dampfsperre

2.2.3 Schäden (Zeitpunkt, Umfang und Bilder)

Unabhängig von der Ursache der an den untersuchten Dächern festgestellten Schäden waren die Erscheinungen identisch:

Entweder war die Dachfläche beim Begehen (z. B. wegen kleinerer Instandsetzungs- oder Wartungsarbeiten) weich und wellig und es standen Pfützen auf der Dachoberfläche. Oder im Gebäudeinnern wurden von den Nutzern Abtropfungen bemerkt, die darauf schließen ließen, dass Wasser in die Dachkonstruktion eingedrungen war.

Bei den weiteren Dachöffnungen war meist festzustellen, dass nicht nur die Schalung nicht mehr tragfähig, sondern auch die Dämmung vollständig durchfeuchtet und sogar die tragenden Holzbauteile verrottet waren. In einigen Fällen waren die Hölzer von Hauschwamm oder anderen Pilzen befallen. In einem Dach waren aufgrund zu großer Holzfeuchte beim Einbau und den unvermeidbar nach dem Einbau stattfindenden Austrocknungsvorgänge so starke Schwindverformungen an den tragenden Holzbauteilen messbar, dass ein Rückbau unvermeidbar war. Insgesamt mussten 16 von 28 dokumentierten

Dächern vollständig erneuert werden. D. h. neben Abdichtung, Schalung und Dämmung wurden auch die Holzsparren erneuert. In einzelnen Fällen konnten diese auch nur partiell ersetzt werden. Soweit möglich, wenn beispielsweise nur kleinere Teilbereiche der Dachfläche betroffen waren, wurde die tragende Dachkonstruktion beibehalten. In vier Fällen konnte nach dem Öffnen des Daches keine Schädigung des Holzes – wohl aber ein mehr oder weniger umfangreicher Schimmelpilzbefall in der Dämmung bzw. auf der Dachschalung festgestellt werden. Auch in diesen Fällen wurden lediglich die befallenen Bauteile (z. B. Schalung und Dämmung) ausgetauscht (s. Abb. 9).

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Schädigungsprozesse bereits wenige Jahre nach der Errichtung der Dächer soweit fortgeschritten waren, dass eine vollständige Erneuerung der Dachkonstruktion unumgänglich war. Die Dächer der Untersuchungsobjekte wurden zwischen 1998 und 2011 errichtet. Die Feststellung der Schäden erfolgte zwischen 2002 und 2013. Am häufigsten erfolgte der Schadenseintritt in den ersten beiden Jahren der Standzeit (12 Fälle), neunmal in den ersten drei bis fünf Jahren. Nach mehr als sechs Jahren wurden die Schäden in sieben Fällen festgestellt (s. Abb. 10).

Eine Korrelation zwischen dem Zeitpunkt des Auftretens der Schäden und der Schadensursache konnte aufgrund des geringen Umfangs der Stichprobe der Untersuchungsobjekte jedoch nicht festgestellt werden (s. u.).

Außerhalb der Umfrageergebnisse sind Schadensfälle bekannt, bei denen sich lang gespannte Leimbinder mit oberseitiger OSB-Schalung aufgrund unterschiedlicher Holzfeuchtegehalte zwischen Ober- und Unterseite nach oben verwölbt haben. Diese Erscheinung variierte in Abhängigkeit von der Jahreszeit.

2.2.4 Auswertbarkeit der vorliegenden Umfrageergebnisse

Auf der zuvor beschriebenen Datengrundlage werden im Rahmen der Forschungsarbeit Aussagen zu Schadensmechanismen in Abhängigkeit von den jeweiligen Einbaurandbedingungen abgeleitet. Weiterhin werden Überlegungen angestellt, ob die Schäden bei der Verwendung von feuchtevariablen Dampfsperren vermeidbar gewesen wären. Diese Ergebnisse werden detailliert in Kapitel 3 beschrieben.

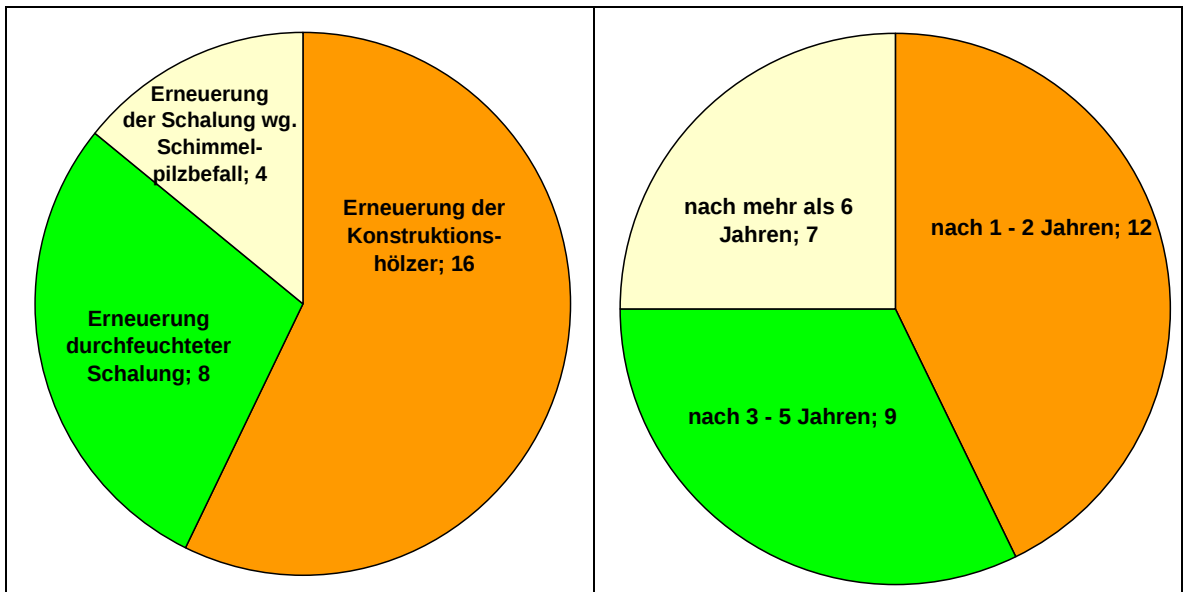


Abb. 9: Erforderlicher Instandsetzungsumfang

Abb. 10: Zeitpunkt der Schadensfeststellung

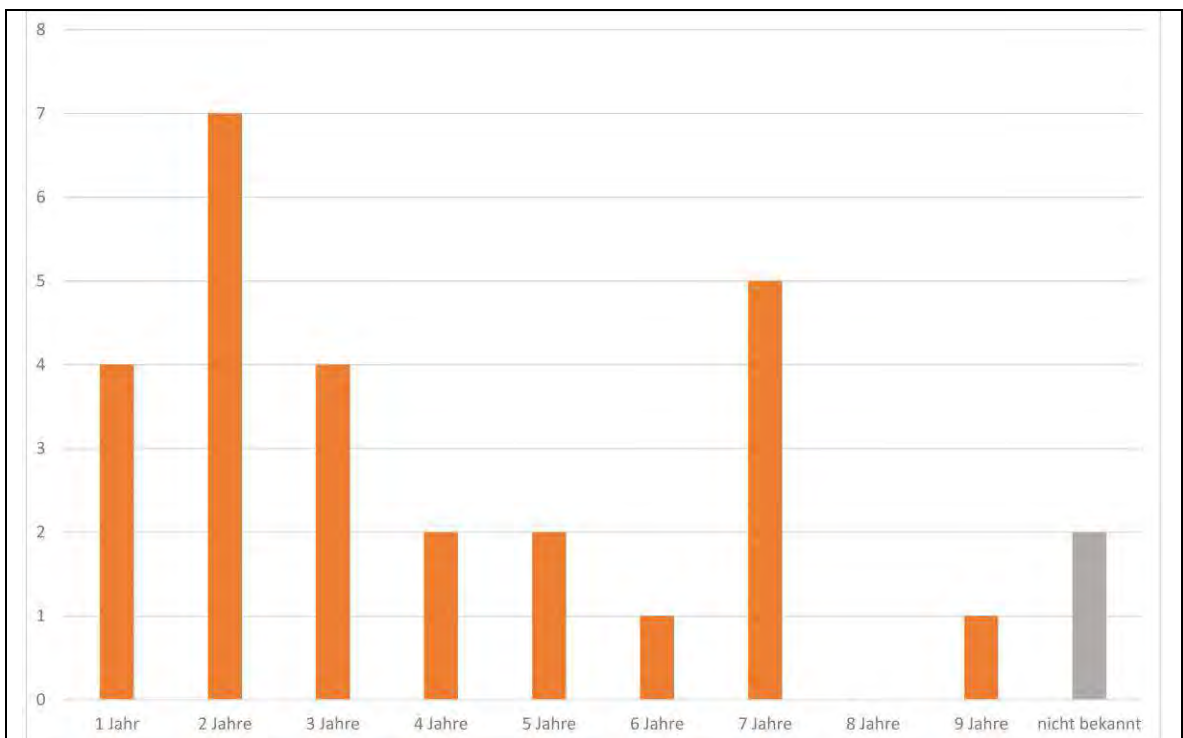


Abb. 11: Übersicht zur Anzahl der Zeitpunkte der Schadensfeststellung

3. **Fallbeispiele**

Die Auswertung der Umfrageergebnisse ergab, dass die von den Sachverständigen geschilderten Schadensfälle im Wesentlichen fünf Ursachengruppen zugeordnet werden können:

- Schäden durch Luftundichtheiten
- Schäden durch Dachundichtheiten
- Schäden durch hohe Raumlufffeuchte
- Schäden durch Baufeuchte (Estrich, Putz, Niederschläge)
- Schäden durch erhöhte Holzfeuchte.

Bei den ersten drei Gruppen findet der Feuchteeintritt in die Dachkonstruktion während der Nutzungsphase statt, bei den letzten beiden vorher.

In einigen Schadensfällen überlagerten sich die Ursachengruppen bzw. die einzelnen Ursachen waren nicht mehr eindeutig feststellbar. Dass die Ursachen in erhöhter Baufeuchte oder Holzfeuchte lagen, wurde insbesondere dann geschlussfolgert, wenn deutliche Leckagen weder in der Luftdichtungsschicht noch in der Abdichtungsschicht festgestellt werden konnten. In keinem der Fälle wurde die Holzfeuchte beim Einbau oder während der Bauzeit dokumentiert. Im Gegensatz dazu waren die Schäden, die auf Luftundichtheiten oder Abdichtungsfehlstellen zurückzuführen sind, gut zuzuordnen, da Fehlstellen in den einzelnen Schichten relativ einfach zu lokalisieren sind. Das ist der Grund dafür, dass die Mängel an Luftdichtheitsschichten 15 Mal als Schadenursache benannt wurden, Schäden an Abdichtungen in sechs Fällen. In einem Fall war die Durchfeuchtung oberhalb eines innen liegenden Bades aufgetreten, daher wurde eine hohe Raumlufffeuchte als Schadensursache diagnostiziert. Bei acht Dächern wurde eine hohe Baufeuchte als Ursache für die eingetretenen Schäden ermittelt. Hierbei handelte es sich entweder um Niederschlag, der während der Bauzeit in die Dachkonstruktion gelangt war oder um hohe Feuchtegehalte aus dem Innenausbau mit Innenputz und Estrich. In sieben Fällen wurde nachweislich zu feuchtes Holz für die tragenden Dachbauteile verwendet. Bei un-

belüfteten und beidseitig dicht ausgeführten Dachkonstruktionen konnte diese Feuchtigkeit nicht austrocknen (s. Abb. 12).

Eine Verstärkung des Schadenspotenzials liegt in der horizontalen Feuchteumlagerung innerhalb der Konstruktion aufgrund von Konvektionsströmungen und/oder Temperaturdifferenzen. Diese kann bei allen Ursachengruppen auftreten und wurde deshalb nicht als eigene Ursachengruppe aufgenommen.



Abb. 12: Übersicht der Schadensfälle pro Ursachengruppe (Mehrfachnennung möglich)

Die Schäden an den dokumentierten Holzflachdachkonstruktionen werden im Einzelnen nach Ursachengruppen zusammengefasst in den folgenden Kapiteln beschrieben und bewertet.

3.1 Schäden durch Luftundichtheiten

Bei 15 Dächern wurden Schäden aufgrund von Mängeln an der Luftdichtheitsschicht festgestellt.

Die benannten Dächer wiesen Dachneigungen bis zu 15° auf. Sieben der geringer geneigten Dächer waren extensiv begrünt, zwei mit Kiesschüttungen versehen. Bei einer Dachfläche handelte es sich um eine Metaldachkonstruktion. Die Dachabdichtungen waren grundsätzlich auf Schalung verlegt worden. Die Wärmedämmung erfolgte als Vollsparrendämmung. Jedoch war nach dem Öffnen der Dachfläche festzustellen, dass in sieben Fällen Luftspalte auf der Oberseite der Dämmung vorhanden waren. In drei Fällen war die Wärmedämmung aufgrund starker Durchfeuchtung zusammengesackt, in drei Fällen wurde die Luftschicht als unbelüftet geplant und z. B. als Installationsebene genutzt. Als raumseitige Dampfsperre wurde in den meisten Fällen eine PE-Folie mit hohem Diffusionswiderstand verwendet. Bei zwei Dächern wurden Folien mit moderatem Widerstand eingebaut. In vier Fällen kamen feuchtevariable Dampfsperren zum Einsatz.

Die untersuchten Dachkonstruktionen waren unterschiedlich stark geschädigt: Bei drei Fällen waren kleinere Teilbereiche der Dachfläche betroffen oder Schimmel in geringem Umfang feststellbar. Meistens war die Dachkonstruktion wegen starker Durchfeuchtung oder Pilzbefall an tragenden Holzbauteilen vollständig zerstört. Je nach Größe der festgestellten Leckagen waren die Schäden in ein bis sieben Jahren nach Fertigstellung aufgetreten. Meistens wurden die Erscheinungen in den ersten zwei Jahren festgestellt.

Die Schadensursachen waren von den seinerzeit vor Ort tätigen Sachverständigen unterschiedlich bewertet worden: Teilweise hielten sie kleinere Fehlstellen wie ausgerissene bzw. sogar nicht abgedeckte Tackerklammern für ursächlich. Teilweise wurden größere Leckagen aufgrund nicht dicht angeschlossener Rohrdurchführungen oder offener Anschlüsse an nicht verputztem Außenwand-Mauerwerk festgestellt.

Die Folgeerscheinungen waren mehr oder weniger stark durchfeuchtete und eingesunkene Dämmstoffe. Durch die entstandenen Lücken wurden Konvektionsströmungen in größerem Umfang möglich.

Von den 15 beschriebenen Schadensfällen waren nur in drei Fällen die festgestellten Leckagen so klein, dass die Dachkonstruktion möglicherweise ohne Schäden geblieben wäre, wenn eine feuchtevariable Dampfsperre verwendet worden wäre.



Abb. 13: Verschimmelte Mineralwollgedämmung



Abb. 14: Schimmelbildung auf der Unterseite der Dachschalung



Abb. 15: Schimmelpilzbildung auf der Unterseite der Dachschalung, verrostete Nägel



Abb. 16: Undichter Anschluss im Bereich einer Rohrdurchführung

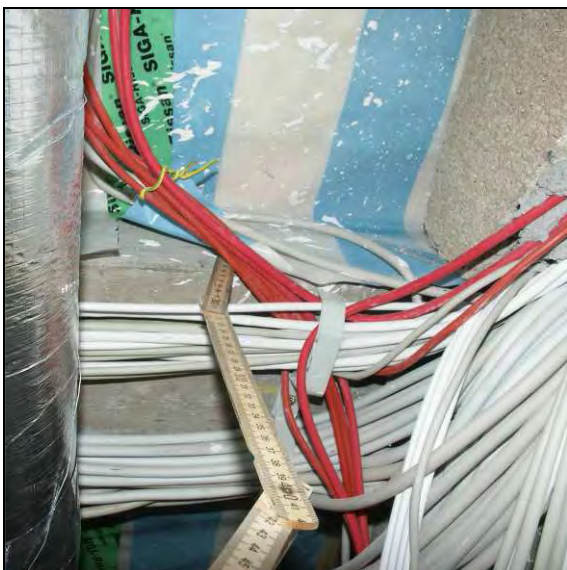


Abb. 17: Undichter Anschluss an eine Mauerwerkswand



Abb. 18: Keine Verbindung der Dampfsperre zu verputzter Mauerwerksfläche (Außenwand)



Abb. 19: Lücke zwischen Sparren und Wärmedämmung ermöglicht Konvektionsströmungen



Abb. 20: Stehendes Wasser auf der Oberseite der Dampfsperre



Abb. 21: Undichtigkeiten am Anschluss der Dampfsperre zu Rohrdurchführungen



Abb. 22: Lückenhaft verlegte Wärmedämmung

3.2 Schäden durch Dachundichtheiten

Bei sechs Dächern war die Dachkonstruktion aufgrund von Dachundichtheiten stark geschädigt. Jeweils in zwei Fällen wurde auf die Dachabdichtung ein Gründach bzw. eine Kiesschüttung aufgebracht. Zwei weitere Dachflächen wurden mit PVC- bzw. Holzdielen belegt und als Dachterrasse genutzt. Über das Vorhandensein einer Neigung der Dachfläche wurde lediglich bei zwei Dächern berichtet. Die Dachabdichtung war immer auf einer Schalung verlegt. Die Dämmung erfolgte in drei Fällen als Vollsparrendämmung, in drei Fällen war auf der Oberseite der Dämmung ein unbelüfteter Luftspalt (< 4 cm) vorhanden. Zur Raumseite war meist eine Dampfsperre mit hohem Diffusionswiderstand eingebaut worden. Jeweils einmal war eine feuchtevariable Dampfsperre bzw. eine Dampfsperre mit moderatem Diffusionswiderstand (15 m) verwendet worden.

Bei allen Dächern waren mehr oder weniger umfangreiche Abtropfungen ins Gebäudeinnere aufgetreten. In zwei Fällen beschränkten sich die Durchfeuchtungen auf die Tiefpunkte der Dachfläche, in den übrigen Fällen war die gesamte Dachfläche betroffen. Der Zeitpunkt des Schadenseintrittes wurde differenziert zwischen einem und sechs Jahren beschrieben, meist jedoch nach etwa 3 bis 4 Jahren festgestellt.

Die Schadensursachen waren zum einen Schrauben, die die Dachabdichtung perforiert hatten, zum anderen offene Nähte der Abdichtungen in der Fläche oder im Bereich von Dachabläufen. Aufgrund des eher großen Ausmaßes der Schäden wären diese durch den Einsatz einer feuchtevariablen Dampfsperre wahrscheinlich nicht vermeidbar gewesen.

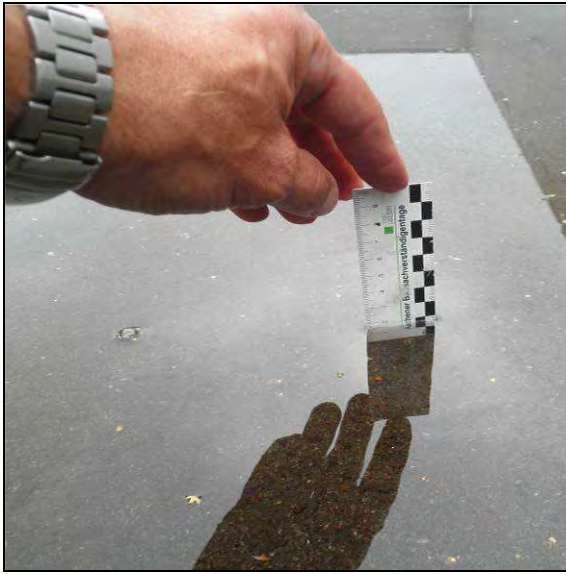


Abb. 23: Starke Pfützenbildung auf der Abdichtung



Abb. 24: Blick in die geöffnete Dachkonstruktion



Abb. 25: Die Festigkeit der Holzsparren ist oberseitig aufgrund der ständig einwirkenden Feuchtigkeit stark beeinträchtigt



Abb. 26: Pilzbildung auf der Unterseite der Schalung



Abb. 27: Offene Fügenaht im Bereich des Dachablaufs



Abb. 28: Starke Pfützenbildung im Gründachaufbau



Abb. 29: Massive Durchfeuchtung der Dachschalung und der Sparrenoberseite



Abb. 30: Pilzbildung am Holzsparren



Abb. 31: Fehlstelle in der Abdichtungsnaht

3.3 Schäden durch hohe Raumlufffeuchte

Nur ein Schadensfall der Stichprobe konnte dieser Ursachengruppe zugeordnet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Schadensursache nur bei genauer Kenntnis der Randbedingungen rekonstruierbar ist. Diese Vorgehensweise setzt aufwändige und langwierige Untersuchungen und Recherchearbeiten voraus.

Bei dem beschriebenen Schadensfall wurde ein 0° Dach als Gründach errichtet, dessen Abdichtung auf einer OSB-Schalung verlegt wurde. Die Wärmedämmung wurde als Vollsparrendämmung ausgeführt, die unterseitig mit einer feuchtevariablen Dampfsperre und einer Gipskartonbekleidung versehen wurde. Der weitere Innenausbau wurde nach Fertigstellung des Dachpaketes vorgenommen.

Etwa fünf Jahre nach der Gebäudefertigstellung traten auf der Unterseite der Dachüberstände Durchfeuchtungerscheinungen auf. Nach der Öffnung der Dachfläche war festzustellen, dass die Schalung insbesondere im Bereich der innen liegenden Bäder stark durchfeuchtet und nicht mehr trittfest war.

Aus dem räumlichen Zusammenhang mit der Lage der Bäder wurde geschlossen, dass insbesondere die hohe Raumlufffeuchte zum Schaden beigetragen hat. Daneben war auch hier eine Überlagerung mehrerer Schadensursachen festzustellen: Zum einen war

die Dampfsperre nicht luftdicht an die Gebäudetrennwände angeschlossen und der Estrichbau erfolgte im Winter nach dem Verlegen der feuchtevariablen Dampfsperre. Die Belüftung der innen liegenden Bäder fand nur unregelmäßig statt. Der Feuchteeintrag war so hoch, dass er auch über die feuchtevariable Dampfsperre nicht mehr austrocknen konnte.

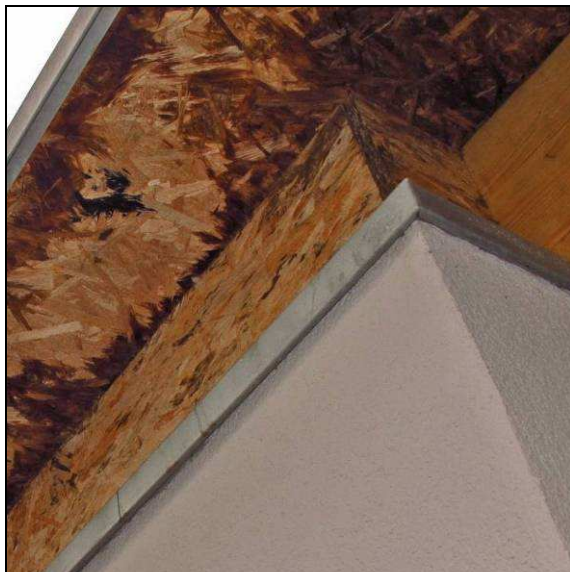


Abb. 32: Durchfeuchtungerscheinungen auf der Unterseite des Dachüberstandes



Abb. 33: Die Dachschalung war völlig zerstört, insbesondere im Bereich der innen liegenden Bäder

3.4 Schäden durch Baufeuchte (Estrich, Putz, Niederschläge)

Bei neun Dächern war zu hohe Baufeuchte schadensursächlich für das teilweise vollständige Versagen der Dachkonstruktion.

Zwei der benannten Dächer waren als Gründächer ausgeführt worden. Ein Dach wies eine Kiesschüttung als Oberflächenschutz der Dachabdichtung auf. Bei einem Dach handelte es sich um eine Metaldachkonstruktion. Die Dachabdichtungen wiesen ein Gefälle bis zu 6° auf und waren grundsätzlich auf einer Schalung verlegt worden. In den meisten Fällen wurde die Wärmedämmung als Vollsparrendämmung ausgeführt. Bei drei Dächern war die Dämmung aufgrund starker Durchfeuchtung zusammengesackt, so dass – ungeplant – ein Luftraum zwischen der Oberseite der Dämmung und der Unterseite der Schalung entstanden war. Die raumseitige Dampfsperre wies meist einen hohen Diffusionswiderstand auf, lediglich bei zwei Dächern war eine feuchtevariable Dampfsperre eingebaut worden.

Eine eindeutige Zuordnung der Dauer des Schadenseintritts nach Gebäudefertigstellung konnte nicht vorgenommen werden. Die Feststellung der Schäden erfolgte nach einem bis neun Jahren Standzeit. Auch der Umfang der vorhandenen Schäden reichte von einer teilweisen (bis 30 %) Schädigung der tragenden Holzbauteile bis hin zum vollständigen Versagen der Dachkonstruktion. Bei zwei Siedlungen, die mehrere Häuser umfassen, waren die Schäden stark unterschiedlich.

Die Gründe für die festgestellte erhöhte Baufeuchte waren unterschiedlicher Natur: In fünf Fällen waren während der Bauzeit Niederschläge in die offene Dachkonstruktion eingedrungen. Bei drei Gebäuden war die aus dem Einbau von Putz und Estrich resultierende Baufeuchte im Dachpaket eingeschlossen worden. Der Bauablauf konnte in zwei Fällen folgendermaßen rekonstruiert werden: Nach dem Einbau von Schalung und Dachabdichtung wurde das Gebäudeinnere verputzt. Erst anschließend erfolgte die Schließung der Deckenunterseite mit einer Dampfsperre mit hohem s_d -Wert. In einem Fall wurde zunächst die Dachkonstruktion von der Unterseite mit einer feuchtevariablen Dampfbremse geschlossen, bevor Innenputz und Estrich eingebaut wurden.

Nur in zwei Fällen hätte möglicherweise der Einbau einer feuchtevariablen Dampfsperre eine Schädigung der Dachkonstruktion verhindert, da die festgestellten Durchfeuchtungen nur auf einer begrenzten Fläche festgestellt wurden. Außerdem waren die Einbau-
randbedingungen (dunkle Dachfläche, keine Verschattung etc.) als günstig zu bewerten.

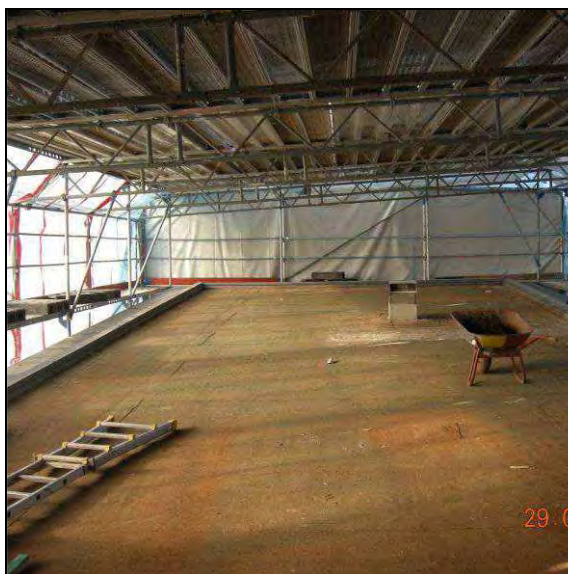


Abb. 34: Oberseite des Daches mit Einhausung

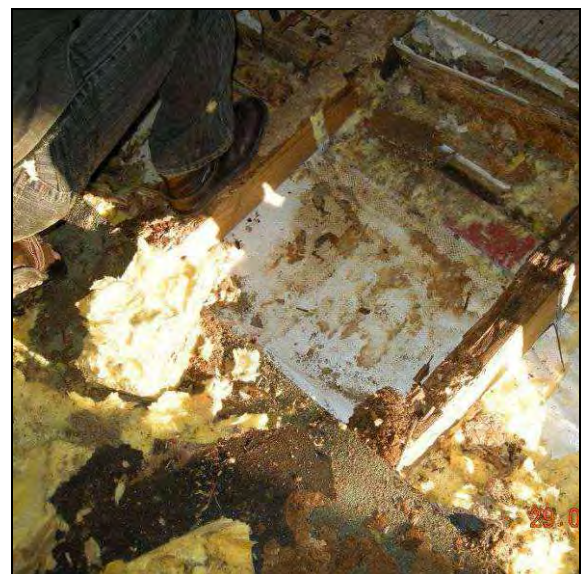


Abb. 35: Geschädigte Dachkonstruktion



Abb. 36: Vollständig zerstörte Dachschalung



Abb. 37: Dachoberseite mit geringfügiger Pfützenbildung



Abb. 38: Deutlich erhöhte Holzfeuchte auf der Unterseite der OSB-Schalung

3.5 Schäden durch (erhöhte) Holzfeuchte (bei Lieferung)

Erhöhte Holzfeuchte wurde von den Sachverständigen in sechs Fällen als Schadensursache angegeben. Meist wiesen die Dächer Dachneigungen zwischen 2 - 6° auf. Auf eines der Dächer war eine extensive Dachbegrünung aufgebracht worden. Der Einbau der Kunststoff- oder Bitumendachabdichtungsbahn erfolgte immer auf einer Schalung. In vier Fällen war die Vollsparrendämmung auf der Innenseite mit einer feuchtevariablen Dampfsperre abgedeckt. Die raumseitige Bekleidung bestand meist aus Gipsplatten.

In einem Zeitraum zwischen einem und neun Jahren wurden nach der Fertigstellung der Dächer Durchfeuchtungen auf der Innenseite der Deckenbekleidungen, in einem Fall am Tiefpunkt des Daches bemerkt. Bei zwei Dächern wurde bei Wartungs-/Instandsetzungsarbeiten festgestellt, dass die Dachoberfläche beim Begehen weich und nicht trittfest war. Die beschriebenen Schäden wurden in zwei Fällen nur auf einem begrenzten Teil der Dachfläche festgestellt, in den übrigen Fällen war die Dachfläche vollständig geschädigt und musste insgesamt instandgesetzt werden. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass bei großem Schadensumfang die Schädigungen auch bereits kurz nach Fertigstellung des Daches auftreten.

Als Schadensursache waren in den meisten Fällen keinerlei äußere Einwirkungen festzustellen. Die Hölzer der tragenden Konstruktion wurden zu feucht eingebaut. In einem Fall waren jedoch zusätzlich die Dampfsperre nicht dicht an Leitungen und Innenwände angeschlossen.

Bei einem weiteren Dach hätten die Schäden aufgrund des geringen Umfangs möglicherweise durch den Einbau einer feuchtevariablen Dampfsperre verhindert werden können.



Abb. 39: Einbausituation des Randbalkens, schubfeste Verbindung über Bolzen mit dem Betonrähm



Abb. 40: Starke Verformung des Randbalkens aufgrund der zu großen Holzfeuchtigkeit

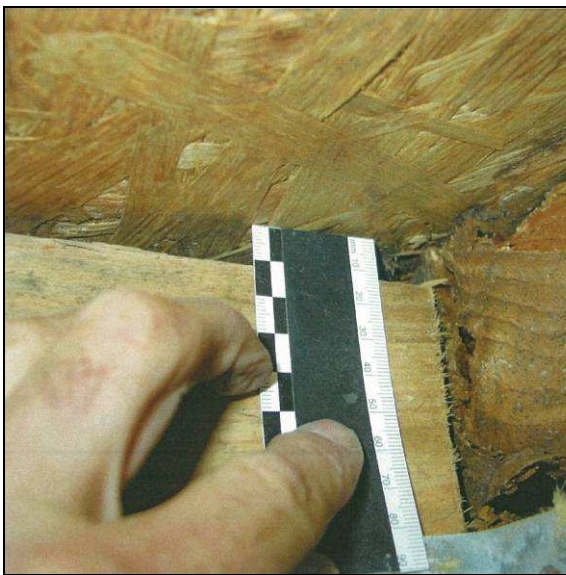


Abb. 41: Spalt zwischen Schalung und Balken, starke Rissbildungen im Randbalken

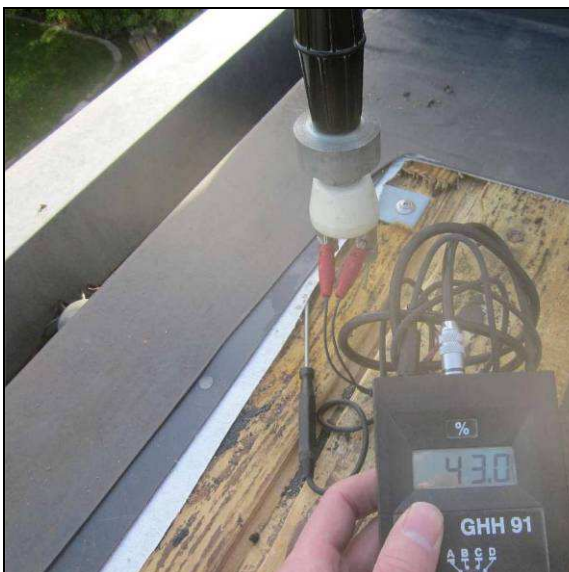


Abb. 42: Hohe Holzfeuchte in der Dachschalung unterhalb der Dachabdichtung



Abb. 43: Schimmelercheinungen auf der Dachschalung



Abb. 44: Taufwassertropfen unmittelbar unter der Dachabdichtung

3.6 Zusammenfassung

Im Rahmen der Umfrage wurden 337 Schadensfälle an Flachdächern in Holzbauweise ohne Unterlüftung benannt. Hiervon war etwa ein Drittel der Dächer mit feuchtevariablen Dampfbremsen ausgeführt worden.

Für die weitere Untersuchung standen 28 Flachdächer zur Verfügung, bei denen im Wesentlichen keine Luftschichten oberhalb der Wärmedämmung geplant wurden. Bei etwa der Hälfte der Dächer wurde auf einen Oberflächenschutz der Dachabdichtung verzichtet.

Die Schadensbilder umfassten Unebenheiten auf der Dachoberseite bzw. Abtropfungen im Gebäudeinnern. Bei den Dachöffnungen zeigten sich mehr oder weniger umfangreiche Beeinträchtigungen einzelner Bauteilschichten bis hin zur irreparablen Zerstörung tragender Holzbauteile (etwa bei der Hälfte der Fälle). Ebenfalls bei der Hälfte der untersuchten Dächer waren die Schädigungsprozesse bereits wenige Jahre nach der Gebäudeerrichtung so stark fortgeschritten, dass eine vollständige Erneuerung des Daches notwendig wurde.

Als Schadenursache wurden zumeist Lücken in der Luftdichtheits- bzw. Abdichtungsebene benannt. Auch hohe Raumluchtfeuchte, eine erhöhte Baufeuchte (durch den Einbau von Estrich oder Putz bzw. durch das Eindringen von Regen) sowie eine beim Einbau erhöhte Holzfeuchte wurden als Ursachen für das Versagen der Konstruktion herangezogen.

Auch wenn aufgrund des geringen Umfangs der Stichprobe ein Zusammenhang zwischen Schadensursache und Schadenszeitpunkt nicht hergeleitet werden kann, zeigt jedoch die Erfahrung der Autoren und der Arbeitsgruppenmitglieder, dass möglicherweise die Größe von Fehlstellen den Grad und den zeitlichen Verlauf der Schädigung beschleunigt. Auffeuchtungsprozesse einer Holzkonstruktion hingegen führen als langsamere Schädigungsprozesse erst wesentlich später zum Versagen eines unbelüfteten Flachdaches.

Es ist davon auszugehen, dass in einigen Fällen zusätzlich zu den detailliert beschriebenen Schadensursachen eine horizontale Umlagerung der Feuchtigkeit stattgefunden hat.

Ursache hierfür sind z. B. Konvektionsströmungen im Dachpaket und unterschiedliche Temperaturverhältnisse auf der Dachoberfläche („Kaltluftseen“).

Die 16 Schadensfälle, bei denen Luftdichtheitsschichten mit hohem Diffusionswiderstand eingebaut waren, wurden daraufhin durchgesehen, ob der eingetretene Schaden durch den Einbau einer feuchtevariablen Dampfbremse hätte vermieden werden können. Dabei wurde davon ausgegangen, dass es bei folgenden Schadensursachen **keine Verhinderung der Schäden** gegeben hätte:

- Erheblicher Feuchteeintrag durch Niederschläge
- Erheblich erhöhte Holzeinbaufeuchte
- Größere Fehlstellen in der Luftdichtheitsschicht
- Leckstellen in der Abdichtung

Im Gegensatz dazu wurde davon ausgegangen, dass bei folgenden Schadensursachen das Vorhandensein einer feuchtevariablen Dampfbremse zu einer **Schadensminderung oder -vermeidung** beigetragen hätte:

- Geringfügige Fehlstellen in der Luftdichtheitsschicht
- Geringfügig erhöhte Einbaufeuchte der Holzkonstruktion

Bei insgesamt 4 von 16 Fällen hätte danach der Einbau einer feuchtevariablen Dampfbremse die Schäden vermeiden oder vermindern können.

Von den insgesamt 28 Schadensfällen wäre eine Risikominderung durch feuchtevariable Dampfbremsen demnach nur in 4 Fällen möglich.

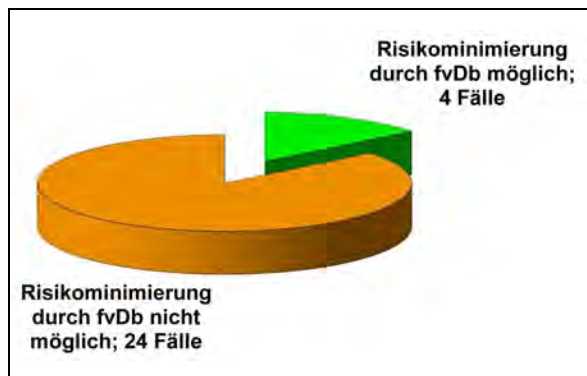
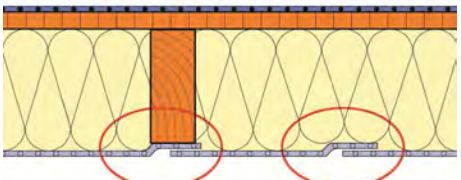
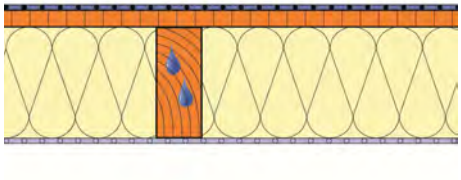
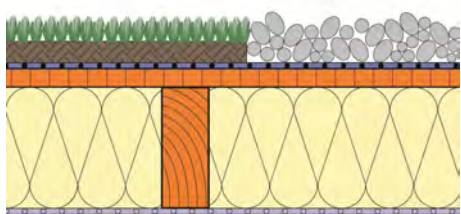
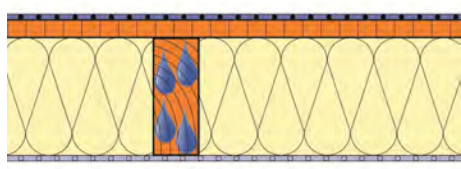
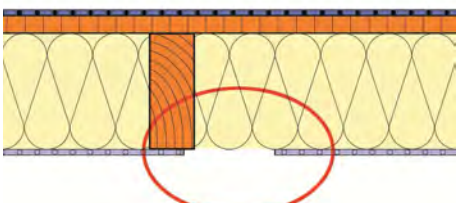
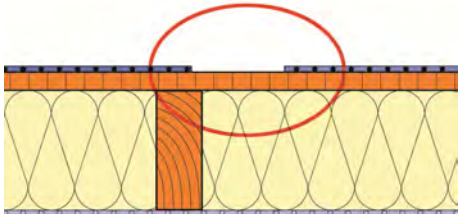
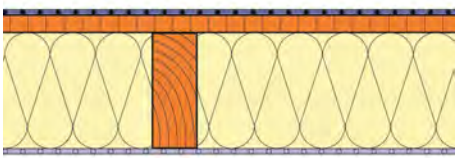
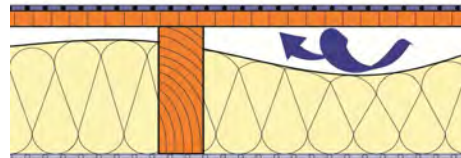


Abb. 45: Möglichkeiten der Risikominimierung durch den Einsatz feuchtevariabler Dampfsperren bei den untersuchten Dächern

Eine deutliche Verminderung des Schadensrisikos bei Holzkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- und Decklage tritt mit dem Einbau einer feuchtevariablen Dampfbremse nur dann ein, wenn einerseits der Feuchteeintrag in die Konstruktion begrenzt ist und andererseits das Austrocknungspotential groß ist. Die Größenordnung des Feuchteeintrags ist von der Größe der Leckagestellen abhängig, die Größenordnung der Austrocknungsmöglichkeit von der Größe des Ummkehrdiffusionsstroms. Daher können die Fälle, in denen eine Risikominimierung wahrscheinlich und weniger wahrscheinlich sind, wie folgt unterschieden werden:

 ++	 ++
Abb. 46: Hohe Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei geringfügigen Fehlstellen	Abb. 47: Hohe Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei geringfügig erhöhter Holzfeuchte
 +	 +
Abb. 48: geringe Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei Dachaufbauten mit Begrünung oder Bekiesung	Abb. 49: geringe Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei deutlich erhöhter Holzeinbaufeuchte
 -	 -
Abb. 50: keine Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei größeren Leckagen in der Luftdichtheitsebene	Abb. 51: keine Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei größeren Leckagen in der Abdichtungsebene
 hohe Raumluchtfeuchte -	 -
Abb. 52: keine Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei Dachaufbauten über Räumen mit erhöhter Raumluchtfeuchte	Abb. 53: keine Risikominimierung durch feuchtevariable Dampfbremsen bei Dachaufbauten mit unbelüfteten Luftschichten

4. Begriffe – Definitionen

4.1 Belüftete/Unbelüftete Konstruktionen

Aufgrund einiger Begriffsdefinitionen in den Regelwerken entstehen häufig Missverständnisse in der eindeutigen Zuordnung unterschiedlicher Konstruktionen. Ursache hierfür ist im Wesentlichen die Konstruktion von wärmedämmten geneigten Dächern, bei denen früher zwei Luftschichten vorhanden waren: Eine Luftschicht (Belüftung, s. Abb. 55) zwischen Wärmedämmung und Unterspannbahn und eine darüber bestehende Luft- und Entwässerungsschicht zwischen Unterspannbahn und der Dachdeckung (Hinterlüftung, s. Abb. 54). Unterspannbahnen bestanden früher aus Teer- oder Bitumenwerkstoffen, wiesen also einen hohen Diffusionswiderstand auf. Mit der Wärmedämmung zwischen den Sparren musste daher dafür Sorge getragen werden, dass anfallendes Kondensat abgeführt werden konnte. Daher wurde der Raum zwischen Wärmedämmung und Unterspannbahn belüftet.

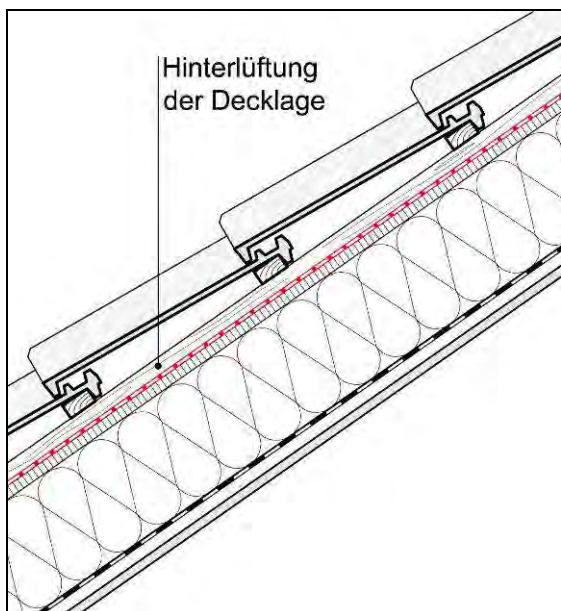


Abb. 54: Gemäß DIN 4108-3 „unbelüftete“ Dachkonstruktion, Vollsparrendämmung

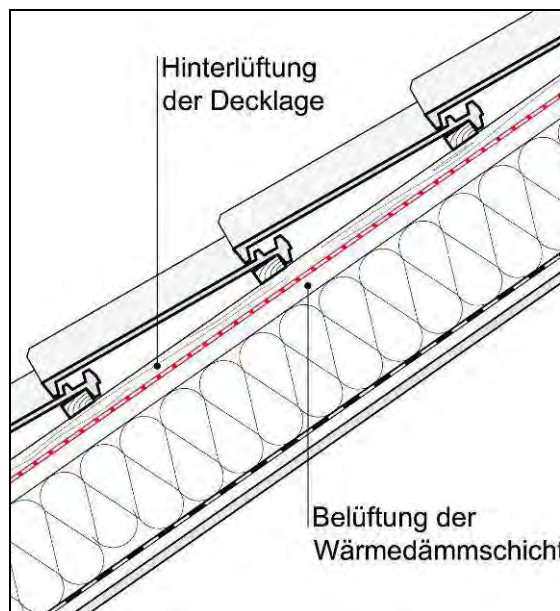


Abb. 55: Gemäß DIN 4108-3 „belüftete“ Dachkonstruktion, Luftschicht oberhalb der Dämmung

In DIN 4108 wurde daher definiert: „Bei belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung eine belüftete Luftschicht angeordnet“.

Diese Definition gilt bis heute und ist sowohl in der aktuellen Fassung [DIN 4108-3:2001-07] als auch in der Entwurfsfassung [E DIN 4108-3:2012-01] enthalten. Auch im Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand [ZVDH 2004] ist die entsprechende Definition aufgeführt: *„Belüftete Dächer verfügen direkt über der Wärmedämmung über eine Luftschicht, die gemäß DIN 4108-3 an die Außenluft angeschlossen ist (belüftete Wärmedämmung)“*.

Mit den erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz wurde der Raum zwischen den Sparren vollständig gedämmt. Zur Begrenzung der Kondensatmengen wurden Anforderungen an die Dampfdiffusionswiderstände der innenseitig anzuordnenden Dampfsperre und der Unterspannbahn gestellt. Die Belüftungsschicht über der Wärmedämmung konnte damit entfallen. Die Konstruktion wurde daher als „nicht belüftete“ Konstruktion bezeichnet. In DIN 4108 wurde in die Definition gleichzeitig der Hinweis aufgenommen, dass die Belüftungsebene oberhalb der Unterspannbahn davon unberührt ist: *„Bei nicht belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung keine belüftete Luftschicht angeordnet. **Zu nicht belüfteten Dächern gehören auch solche, die außenseitig im weiteren Dachaufbau angeordnete Luftschichten oder Lüftungsebenen haben.**“* (Hervorhebung durch die Verfasser)

Auch diese Definition ist sowohl in der aktuellen Fassung [DIN 4108-3:2001-07] als auch in der Entwurfsfassung [E DIN 4108-3:2012-01] enthalten.

Eine ähnliche Definition wurde auch im Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand [ZVDH 2004] aufgenommen: *„Bei unbelüfteten Dächern fehlt direkt über der Wärmedämmung diese Luftschicht oder ist nicht ausreichend nach DIN 4108-3 dimensioniert (unbelüftete Wärmedämmung). **Zu unbelüfteten Dächern zählen auch solche, die im weiteren Dachaufbau angeordnete Lüftungsebenen haben.**“* (Hervorhebung durch die Verfasser)

Die Definitionen zur Kennzeichnung der Luftschicht oberhalb der Unterspannbahn ist in [DIN 4108-3:2001-07], [E DIN 4108-3:2012-01] und [ZVDH 2004] identisch und bezieht sich nicht auf die gesamte Dachkonstruktion, sondern auf die Deckung. Danach handelt es sich bei „belüfteten Dachdeckungen“ um *„Dachdeckungen auf linienförmigen Unterlagen, z. B. Lattung und Konterlattung“*.

Fehlt diese Luftschicht, handelt es sich nach den oben genannten Regelwerken um „nicht belüftete Dachdeckungen“, die als *„Dachdeckungen auf flächiger Unterlagen, z. B. Schalung“*, definiert sind.

„Belüftete Dachabdichtungen“ und „Nicht belüftete Dachabdichtungen“ kommen in der DIN 4108 nicht vor. Für die Nachweisfreiheit wird dort in drei verschiedene Kategorien unterschieden:

- „Nicht belüftete Dächer mit belüfteter Dachdeckung“
- „Nicht belüftete Dächer mit nicht belüfteter Dachdeckung“
- „Nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung“.

Die hier untersuchten Dächer gehören demnach zur letztgenannten Kategorie, auch wenn diese streng genommen nicht ausschließt, dass unter den Begriff auch Konstruktionen mit unterlüfteten Dachabdichtungen fallen könnten.

Die alternative Konstruktion „nicht belüftete Dächer mit belüfteter Dachabdichtung“ gibt es in DIN 4108-3 nicht. Entsprechende Dächer müssen der Kategorie „nicht belüftete Dächer mit belüfteter Dachdeckung **oder** mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht unter nicht belüfteter Dachdeckung“ zugeordnet werden, für deren Nachweisfreiheit die Anforderungen an diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken $s_{d,i}$ und $s_{d,e}$ in Tabelle 1 (bzw. in Tabelle 3 im Normentwurf 2012-01) gelten.

Geneigte Dächer mit Unterdächern, d. h. mit einer „zusätzlichen regensichernden Schicht“ gehören somit auch zu dieser Kategorie. Bei Unterdächern aus Bitumenbahnen muss demnach ein 6-fach höherer Dampfsperwert auf der Innenseite der Dämmung eingebaut sein. Daher gilt für diese Dächer im Hinblick auf eingeschlossene Feuchte ähnliches wie in diesem Bericht dargestellt. Die Gefahr von Leckagen in der Dachabdichtung ist bei diesen geneigten Dächern mit Deckungen geringer, dafür ist aber das Austrocknungsverhalten ähnlich kritisch wie bei den hier untersuchten Dächern.

In [Schmidt/Winter 2008] werden belüftete Flachdächer in zwei verschiedene Arten unterteilt. Es wird zwischen Konstruktionen unterschieden, bei der die Belüftung innerhalb der

Tragkonstruktion stattfindet und solchen, die mit Volldämmung und unterlüfteter Dachhaut konzipiert sind (s. Abb. 56).

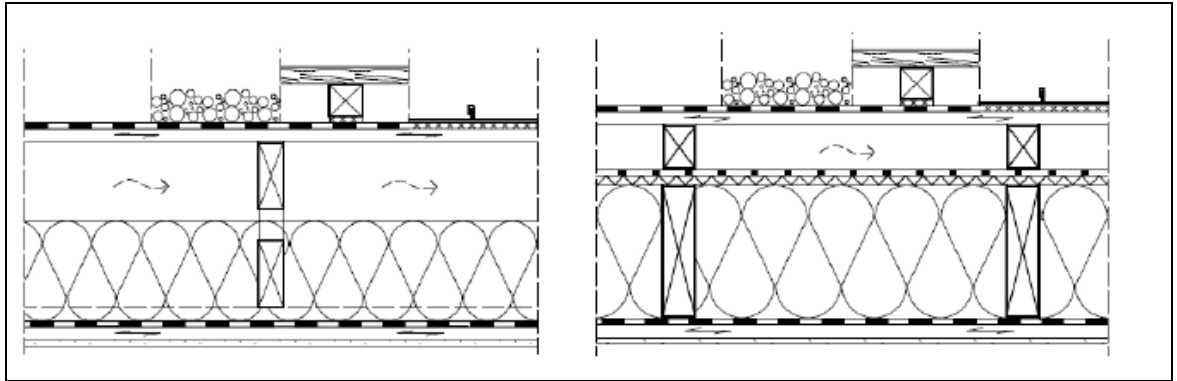


Abb. 56: Zwei Arten belüfteter Flachdächer (links: Teildämmung, Belüftung innerhalb der Tragkonstruktion; rechts: Volldämmung, unterlüftete Dachhaut) [Schmidt/Winter u.a. 2008]

Bei nicht belüfteten Dachkonstruktionen werden ebenfalls zwei Unterscheidungen getroffen: Das Unterscheidungsmerkmal hierbei ist, ob die Ebene der Dämmung innerhalb der Tragkonstruktion oder darüber liegt.

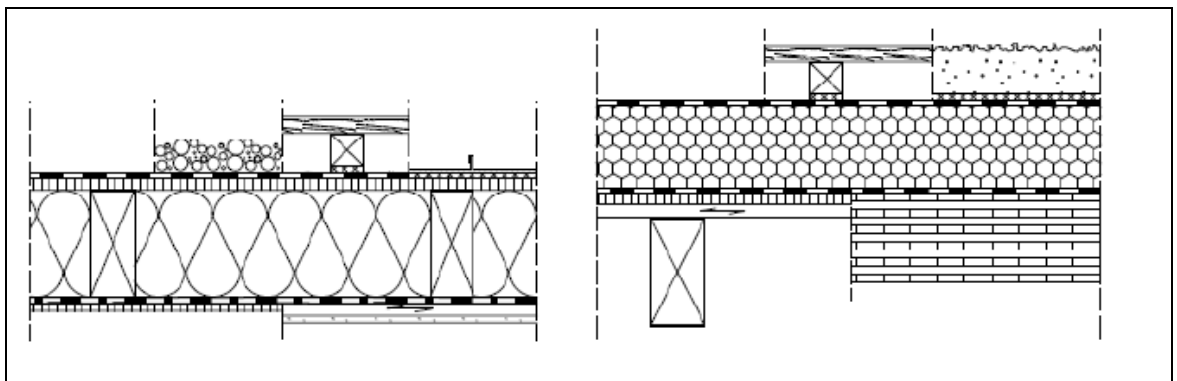


Abb. 57: Zwei Arten unbelüfteter Flachdächer (links: Volldämmung innerhalb der Tragkonstruktion; rechts: Aufdachdämmung) [Schmidt/Winter u.a. 2008]

Die im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Dächer entsprechen dem linken Aufbau in Abb. 57 und können gemäß DIN 4108 als nicht belüftete Dächer mit Abdichtungen bezeichnet werden. Diese Definition umfasst allerdings auch Aufdachdämmungen oder übliche Warmdachkonstruktionen über Beton- oder Stahlbaukonstruktion.

In alten Veröffentlichungen wurde auch in „belüftetes Dach“, „diffusionsoffenes Dach“ und „dampfdichte Dächer“ unterschieden [Künzel/Sedlbauer 2001]. Dabei wurden aber in ers-

ter Linie geneigte Dächer untersucht. Beim diffusionsoffenen Dach waren Dächer mit der Austrocknungsseite nach oben gemeint. Dächer mit feuchtevariablen Dampfbremsen, bei denen die hauptsächliche Austrocknungsseite unten liegt, waren damals noch wenig verbreitet.

In der [DIN 68800-2:2012-02] ist von „im Gefach nicht belüfteten Dächern“ die Rede, wenn bei Vollsparrendämmung bis zur Unterdeckbahn gedämmt ist, sich darüber aber noch eine Luftschicht unter der Deckung befindet. Dachkonstruktionen, deren Sparrenzwischenraum vollständig gedämmt und mit diffusionsoffenen Unterspann-/Unterdeckbahnen zu einer belüfteten Schicht abgedeckt ist, sind nach [DIN 68800-2:2012-02] der Gebrauchsklasse 0 zuzuordnen und bedürfen keines chemischen Holzschutzes.

Die Anmerkung aus dem Entwurf von 2009, dass Konstruktionen, die auf der Außenseite diffusionsoffene Schichten aufweisen, zu bevorzugen sind, ist in der Neufassung der Norm von 2012 nicht mehr in dieser Klarheit enthalten. Dennoch hat sich diese Regel in der Baupraxis als sehr sinnvoll erwiesen. Teil 2 der Norm lässt zu, die bauphysikalische Funktionstüchtigkeit im Glaserverfahren mit einer Trocknungsreserve von $250 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ nachzuweisen. Konvektiver Feuchteeintrag und Baufeuchte braucht rechnerisch nicht berücksichtigt zu werden, wenn außenseitig der Diffusionswiderstand höchstens $0,3 \text{ m}$ beträgt beziehungsweise $4,0 \text{ m}$ bei werkseitig vorgefertigter Holztafelbauweise.

Da in den oben zitierten Normen und in der Literatur keine eindeutigen Begriffsbestimmungen zu finden sind, haben sich die Autoren zur eindeutigen Begriffsbestimmung auf die im Titel des vorliegenden Berichtes verwendete Definition verständigt.

4.2 Belüftungsebene unter der Unterspannbahn

Die Belüftungsebene unter der Unterspannbahn führt nicht nur zu einem Feuchtetransport, sondern auch zu einer Feuchteanreicherung der Holzbalken. Dieser Effekt wurde in [Künzel/Großkinsky 1989] beschrieben. Seitdem wird dafür plädiert, auf diese Belüftungsebene zu verzichten und den Zwischenraum mit Dämmstoff auszufüllen. Die Vollsparrendämmung ist sowohl energetisch als auch feuchtetechnisch sinnvoll. Die Möglichkeit zu dieser Konstruktionsweise besteht allerdings erst seit der Entwicklung von diffusionsoffenen Unterdeckbahnen.

4.3 Unterdächer

Gemäß dem Merkblatt Unterdächer, Unterdeckungen und Unterspannungen des ZVDH [ZVDH 2010] sind sowohl wasserdichte als auch regendichte Unterdächer mit Bitumenbahnen oder Kunststoff- oder Elastomerbahnen herzustellen, d. h. aus wasserdichten Werkstoffen. Diese müssen auf einer „ausreichend tragfähigen Unterlage“ eingebaut werden, d. h. in der Regel auf einer Schalung. Unterdächer werden in dem o. g. Merkblatt als Zusatzmaßnahmen beschrieben, die durch Einordnung in sechs Klassen (Klasse 1 = höchste Funktionssicherheit; Klasse 6 = geringste Funktionssicherheit) hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit bewertet werden. Die Klassifizierung erfolgt in Abhängigkeit von der Art der Konterlatteneinbindung sowie der Qualität der Naht- und Stoßausbildung.

Der bauphysikalische Aufbau entspricht dem eines Flachdachs mit Abdichtungen, nur dass bei Unterdächern in der Regel eine größere Dachneigung gegeben ist und die Abdichtungsbahnen der Unterdächer nicht frei bewittert sind, sondern durch die Deckung abgedeckt sind. Die Oberflächentemperaturen auf den Abdichtungsbahnen dürften daher durch die „Verschattung“ aufgrund der Deckung geringer sein als auf einer direkt von der Sonne beschienenen, insbesondere schwarzen Abdichtungsbahn.

Zwar wurde im Rahmen der Untersuchungen zur Forschungsarbeit „Dauerhaftigkeit diffusionsoffener Unterspannbahnen“ des AIBAU auch unter Dachziegeln im Sommer auf der Südwest- bzw. Südostseite der Dächer Höchstwerte zwischen 60 °C und 70 °C gemessen. Auf der sonnenabgewandten Dachseite ist jedoch mit geringeren Temperaturen zu rechnen.

Bei den hier dokumentierten Schadensfällen ist zwar keine geneigte Dachkonstruktion mit Unterdach enthalten. Das Austrocknungsverhalten dieser Konstruktionen mit unplanmäßiger bzw. zu hoher Feuchte ist allerdings sehr ähnlich der hier untersuchten Flachdachkonstruktionen mit Abdichtung.

4.4 Dampfbremse – Dampfsperre

Der Diffusionswiderstand von Luftdichtungsschichten, die raumseitig einer Wärmedämmung angebracht werden, ist materialabhängig. Ist er sehr hoch, spricht man von Dampfsperren, ist er niedrig, trifft der Begriff Dampfbremse eher die Funktion. Eine Definition, bei welchem s_d -Wert welcher Begriff zu verwenden ist, gibt es im Regelwerk nicht. Auch die Norm-Definition in DIN 4108 zwischen diffusionsoffen (s_d -Wert $\leq 0,5$ m), diffusionshemmend ($0,5 \text{ m} < s_d\text{-Wert} < 1500$ m) und diffusionssperrend (s_d -Wert ≥ 1500 m) trägt nicht dazu bei, im Bereich zwischen 0,5 m und 100 m weiter zu differenzieren.

Früher nannte man die innenseitig angeordnete Schicht zur Begrenzung des Diffusionsstroms allgemein „Dampfsperre“ (wie z.B. in [Künzel/Großkinsky 1989]). Der Entwicklung von gering diffusionshemmenden Folien entsprechend wurden diese zur Unterscheidung von herkömmlichen Folien mit dem Begriff „Dampfbremse“ belegt.

Üblicherweise wird in Bezug auf Holzdachkonstruktion inzwischen, wie z.B. in [Künzel Sedlbauer 2001] oder [Schmidt/Winter u.a. 2008], eine Schicht mit einem s_d -Wert von 100 m als „Dampfsperre“ bezeichnet, und eine Schicht mit einem s_d -Wert bis ca. 20 m als „Dampfbremse“.

4.5 Moderat dampfbremsende Bahnen

Anstatt der bisher für nachweisfreie Konstruktionen einsetzbaren Dampfsperrfolien, die einen s_d -Wert ≥ 100 m aufweisen, können auch moderat dampfbremsende Folien eingesetzt werden, die einen (konstanten) s_d -Wert von z. B. 2 m oder 5 m aufweisen. Der Feuchteeintrag in die Konstruktion durch Dampfdiffusion ist zwar deutlich höher, das gleiche gilt aber auch für die Verdunstungsmenge. Mit dem Berechnungsverfahren nach Glaser ist nachweisbar, dass dadurch eine deutlich höhere Verdunstungsreserve entsteht, so dass auch andere Feuchtemengen austrocknen können, die nicht durch Diffusion in die Konstruktion gelangt sind. In der Bilanz ist dies bei [Schmidt 2011] dargestellt (s. Abb. 58)

Vergleichsrechnung nach DIN 4108-3 (Flachdach mit Bitumenabdichtung und unterschiedlichen Dampfbremsen)				
s_d-Wert unter Dämmung	Tauwasser- menge W_T	Verdunstungs- potential W_V	Verdunstungs- reserve W_V - W_T	Bewertung nach E DIN 68800-2
100 m	9 g/m ²	26 g/m ²	17 g/m ²	GK 2
20 m	43 g/m ²	102 g/m ²	60 g/m ²	GK 2
4 m	201 g/m ²	456 g/m ²	255 g/m ²	GK 0
2 m	375 g/m ²	846 g/m ²	470 g/m ²	GK 0
► Dampfbremse in der Bilanz besser als Dampfsperre!				

Abb. 58: Vergleichsrechnung zur Verdunstungsreserve bei unterschiedlichen Diffusionswiderständen der Dampfsperre/-bremse [Schmidt 2011]

Durch zusätzlich unplanmäßig eingebrachte Feuchte ist ein kritischer Feuchtegehalt des Holzes in solchen Konstruktionen natürlich eher erreicht.

4.6 Feuchtevariable Dampfbremsen (fvDb)

Seit etwa 1994 sind feuchtevariable Dampfbremsen – bei der Markteinführung noch als „feuchteadaptiv“ bezeichnet – entwickelt worden. Anlass hierfür waren rechnerische Untersuchungen zur Innendämmungen bei Fachwerkwänden.

Die erste zum Patent angemeldete feuchtevariable Dampfbremse war eine 0,05 mm dicke Polyamid-Folie (Markteinführung im Jahr 1997 [Künzel/Kasper 1998]). Im ersten Jahr ist laut dieser Veröffentlichung bereits ein Marktanteil von 10 % erreicht worden.

Zurzeit sind u. a. folgende Produkte auf dem Markt (Stand 3/2014, ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

Name	Max s_d [m]	Min s_d [m]	Material	Einlage/Verstärkung/Kaschierung	Auszug aus Bemerkungen des Herstellers
Albert inova	5	0,5	PA		▪ Nicht notdachtauglich ▪ Nicht UV-Stabil ▪ Nicht mit Einblasdämmung ▪ Nur Standardraumklima ▪ Nicht bei Räumen mit hoher LF, Sauna
Albert inova strong	8	0,3	PP	PE	▪ Nicht notdachtauglich ▪ Nicht UV-Stabil ▪ Nur Standardraumklima ▪ Nicht bei Räumen mit hoher LF, Sauna
BWK allform difflex Difuvar	8	3	PP	Spezialmembran	▪ Nicht UV-Stabil ▪ Bei Lagerung nicht der Witterung aussetzen
Isocell Airstop DIVA	5	0,3	PP	PA	▪ Problem: Putz- und Estricharbeiten ▪ Nicht UV-Stabil ▪ Lagerung: Kühl und trocken
Knauf Insulation Etaplus	5	0,3	PP	PA	▪ Problem: Putz- und Estricharbeiten ▪ Problem: winterlicher Rohbau, ▪ Problem: rel. Luftfeuchte > 75 % und erhöhte Bauholzfeuchte, ▪ Problem: Einbautemperaturen < 5 °C
Knauf Insulation LDS FlexPlus	20	0,2	PES/ PP	PA	▪ Problem: Putz- und Estricharbeiten ▪ Problem: winterlicher Rohbau, ▪ Problem: rel. Luftfeuchte > 75 % und erhöhte Bauholzfeuchte, ▪ Problem: Einbautemperaturen < 5 °C
Pro Clima DB+	4	0,6	„Bau pappe“	Glasseidengelege-Einlage	▪ Bei allen faserförmigen Dämmstoffen
Pro Clima intello	25	0,25	PE-C	PP-Vlies-Kaschierung	▪ Auch extremes Außenklima (Gebirge) ▪ Alle Klimabereiche
Pro Clima intello+	25	0,25	PE-C	PP-Vlies-Kaschierung PP-Armierung	▪ Auch extremes Außenklima (Gebirge) ▪ Alle Klimabereiche ▪ Geringe Dehnung bei Einblasdämmung
Pro Clima DASATOP	2	0,05	PE-C	PP-Vlies-Kaschierung	▪ Sanierungsdampfbremsbahn für Verlegung von außen auf Sparren und Unterseite Dämmung zwischen den Sparren („Sub And Top-Verlegung“)
Saint Gobain Isover Vario KM Duplex UV	5	0,2	PA	PP-Vlies-Kaschierung	▪ Hinweis auf mechanische Sicherung ▪ Hinweis auf Merkblatt ▪ Problem: winterlicher Rohbau und Heizestriche
Saint Gobain Isover Vario XtraSafe	27	0,3	PA-PO	Polyestervlies-Kaschierung	▪ Hinweis auf mechanische Sicherung
Ursa Seco Pro SDV	5	0,3	PA	PP-Vlies-Kaschierung	▪ Nicht UV-Stabil ▪ Innenbekleidung erforderlich ▪ Problem: Putz- und Estricharbeiten

(PA: Polyamid; PO: Polyolefin; PE-C: Polyethylen-Copolymer; PP: Polypropylen)

Gemäß [proclima Bauphysikstudie] gab es die „DB+“ schon seit dem Jahr 1991. Die „INTELLO“ wurde von der Fa. Moll seit dem Jahr 2004 entwickelt.

Diese auf Polyamidbasis oder als Polyethylen-Copolymer hergestellten Folien verändern ihre Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf in Abhängigkeit von der sie umgebenden relativen Luftfeuchte. Ist die Umgebungsfeuchte niedrig, ist der s_d -Wert groß. Ist die Umgebungsfeuchte hoch, ist der s_d -Wert niedrig. Bei relativen Luftfeuchtegehalten unter 40 % steigt der s_d -Wert je nach Material etwa bis 10 m, ab etwa 75 % rel. Feuchte sinkt er unter 1 m. Feuchtevariable Dampfbremsen weisen also im Winter (bei relativ trockener Innenraumluft) eine dampfsperrende Wirkung auf, ermöglichen im Sommer (bei relativ hoher Innenraumluftfeuchte) jedoch aufgrund relativer Diffusionsoffenheit eine Austrocknung der Konstruktion zum Innenraum hin. Wichtig ist, dass auch die innenraumseitige Bekleidung entsprechend diffusionsoffen gewählt wird, um diese Funktion nicht zu unterbinden.

Üblicherweise ist die Umgebungsfeuchte auf das Innenraumklima bezogen. Im Winter ist das Innenraumklima – durchschnittliche Heiz- und Lüftungsgewohnheiten vorausgesetzt – üblicherweise trocken. In dieser Zeit soll möglichst wenig Feuchtigkeit in die Bauteile hinein diffundieren, da auf der Außenseite tiefe Temperaturen herrschen und die Gefahr von Tauwasserbildung im Querschnitt besteht.

Im Sommer weist das Innenraumklima üblicherweise höhere Feuchtegehalte auf. Aufgrund des dann niedrigeren Diffusionswiderstandes soll die im Bauteilquerschnitt eingeschlossene Feuchte leichter nach innen austrocknen können.

Bei der Verwendung feuchtevariabler Dampfbremsen ist bereits bei Planung und entsprechendem Baufortschritt zu berücksichtigen, dass die Folien diese Eigenschaft nicht nur auf der Seite des Bauteilquerschnitts besitzen, sondern auch auf der Innenraumseite. D. h. bei sehr hohen relativen Luftfeuchten im Innenraum (z. B. beim Einbau von Putz und Estrich im Winter) können die Folien eine so hohe Diffusionsoffenheit entfalten, dass die Feuchtigkeit in den Bauteilquerschnitt gelangt. Dieser Effekt ist natürlich nicht gewünscht und sollte durch geeignete Maßnahmen soweit wie möglich ausgeschlossen werden (s. dazu auch Kap. 10.3 und 11.1).

Entscheidend für das Maß der Verringerung des Dampfsperrwertes ist allerdings weniger das Innenraumklima, sondern die unmittelbar an der feuchtevariablen Dampfsperre anliegende Luftfeuchte, und zwar die auf der zum Dachquerschnitt hin gelegenen Luft. Diese steigt erst dann auf einen entsprechend hohen Wert an, wenn hohe Feuchte auch auf

die Innenseite der Wärmedämmung gelangt. Die Feuchte muss sich also entweder – bei gleichen Außen- und Innentemperaturen – gleichmäßig im Bauteilquerschnitt verteilen oder durch einen Diffusionsstrom nach innen transportiert werden, indem außen eine deutlich höhere Temperatur als innen vorhanden ist (bzw. außen ein höherer Partialdampfdruck als innen entsteht).

In welchem Maß der s_d -Wert bei höherer Feuchte absinkt, ist bei den Produkten unterschiedlich. Meist liegen die s_d -Werte minimal bei 0,25 m, maximal bei 5 bis 10 m. Teilweise sind in den Produktunterlagen gar keine Spreizungen angegeben, sondern nur Hinweise auf die Normen [DIN EN 1931:2001-03] oder [DIN EN ISO 12572:2001-09], d. h. auf die Normen zur Prüfung der Wasserdampfdurchlässigkeit.

Auch die Kurvenverläufe der s_d -Werte sind unterschiedlich, wie die Zusammenstellung dreier typischer feuchtevariabler Dampfbremsen zeigt (s. Abb. 59).

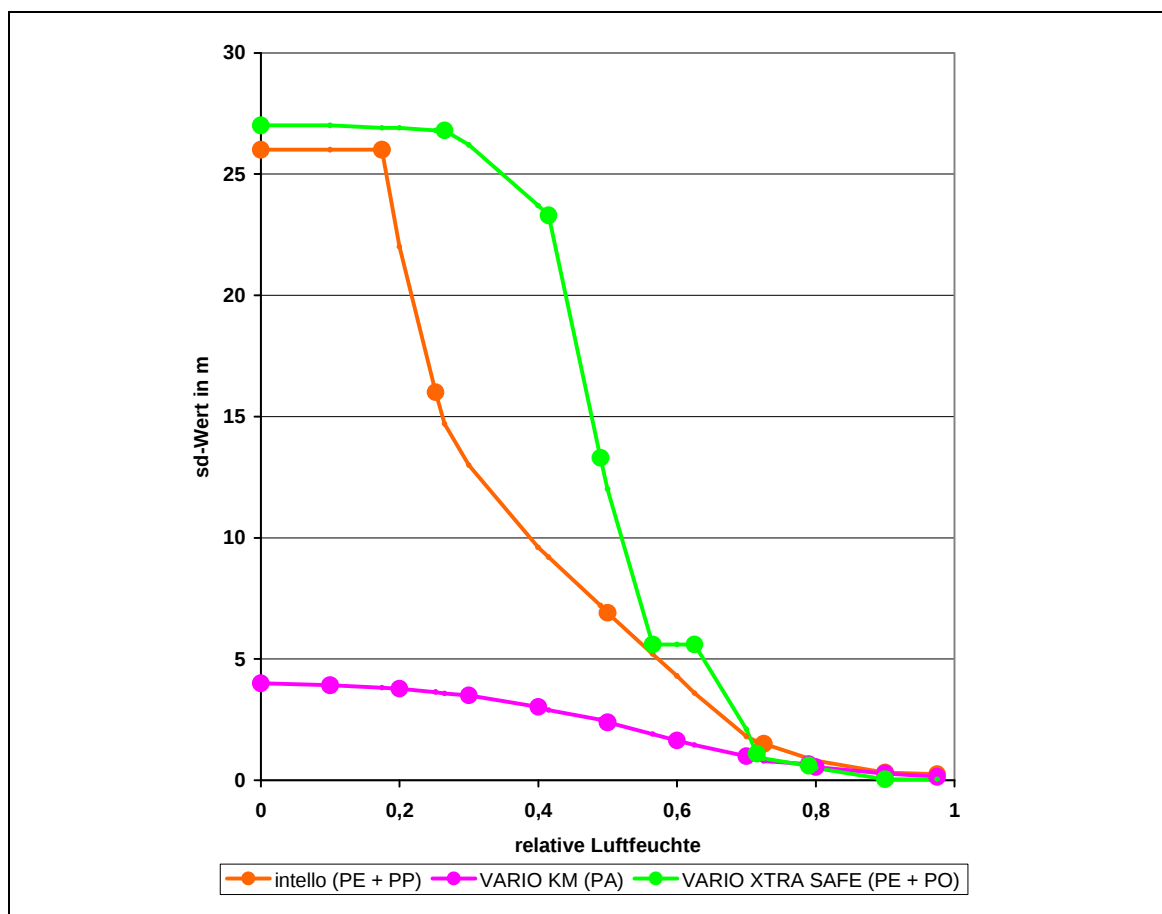


Abb. 59: Verlauf der s_d -Werte von feuchtevariablen Dampfbremsschichten
(Werte entnommen aus WUFI 5.3)

Erkennbar ist nicht nur, dass die s_d -Werte der Materialien stark differieren, sondern auch, dass bei 70 % Luftfeuchte die s_d -Werte noch um die 2 m liegen. Erst ab etwa 75 % r. F. fallen die s_d -Werte unter 1 m. Sehr niedrige s_d -Werte werden erst deutlich über 80 % r. F. erreicht.

Die Austrocknungsbeschleunigung findet nicht allgemein im Sommer statt, sondern tatsächlich erst mit einer deutlichen Umkehrdiffusion durch das Bauteil hindurch. Dann ergibt sich eine entsprechende Luftfeuchte-Erhöhung auf der nach außen gerichteten Seite der feuchtevariablen Dampfbremse.

Entsprechende Kurvenverläufe der s_d -Werte feuchtevariabler Dampfbremsen finden sich auch in [Schmidt/Winter 2008] sowie in [Nusser/Teibinger/Bednar 2010]. Weitere s_d -Werte von OSB-Platten und MDF-Platten finden sich ebenfalls in der letztgenannten Quelle (s. Abb. 60).

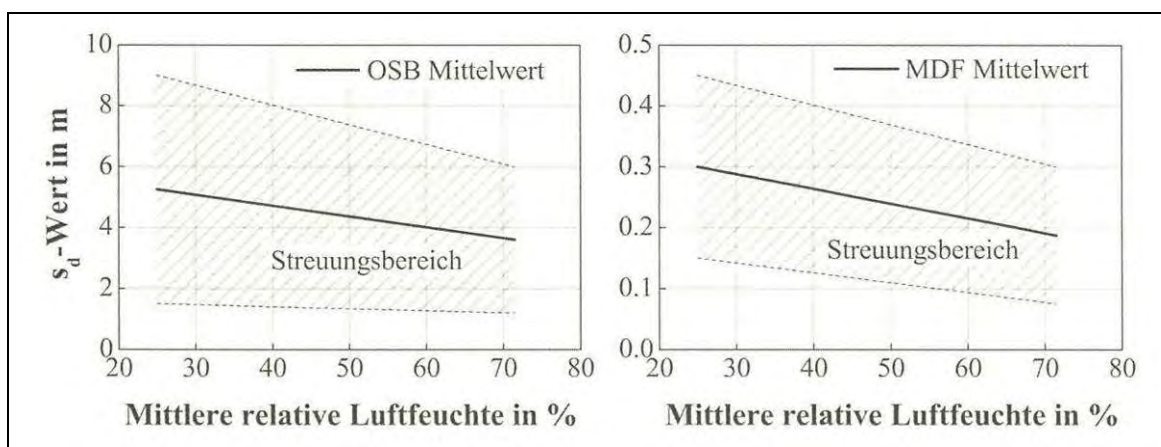


Abb. 60: Abhängigkeit des s_d -Wertes von 15 mm dicken OSB- bzw. MDF-Platten von der anliegenden mittleren relativen Luftfeuchte [Fitz/Krus/Zillig 2004]

In [Nusser/Teibinger/Bednar 2010] wurden insbesondere auch die klimatischen Verhältnisse an der Gefachinnenseite messtechnisch erfasst. Bei unverschatteten und ohne Abdeckung verlegten, schwarzen Abdichtungen entstanden dort im Sommer auf der Gefachinnenseite, also im Bereich der feuchtevariablen Dampfbremse, relative Luftfeuchten von 95 % und mehr bis zum Sommerkondensat. Entsprechend lagen dort die Klimabedingungen häufig im Bereich der Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze (s. Abb. 61).

Bei den verschatteten Dächern entstehen dagegen auf der Gefachinnenseite lediglich relative Luftfeuchten, die 70 % kaum übersteigen. Der gewünschte Austrocknungseffekt durch den Einsatz von feuchtevariablen Dampfbremsen ist dann deutlich geringer. Außerdem wurde im Winter eine langanhaltend hohe Luftfeuchtekonzentration in der Gefachoberseite (zwischen 80 % und 90 %) gemessen (s. Abb. 62).

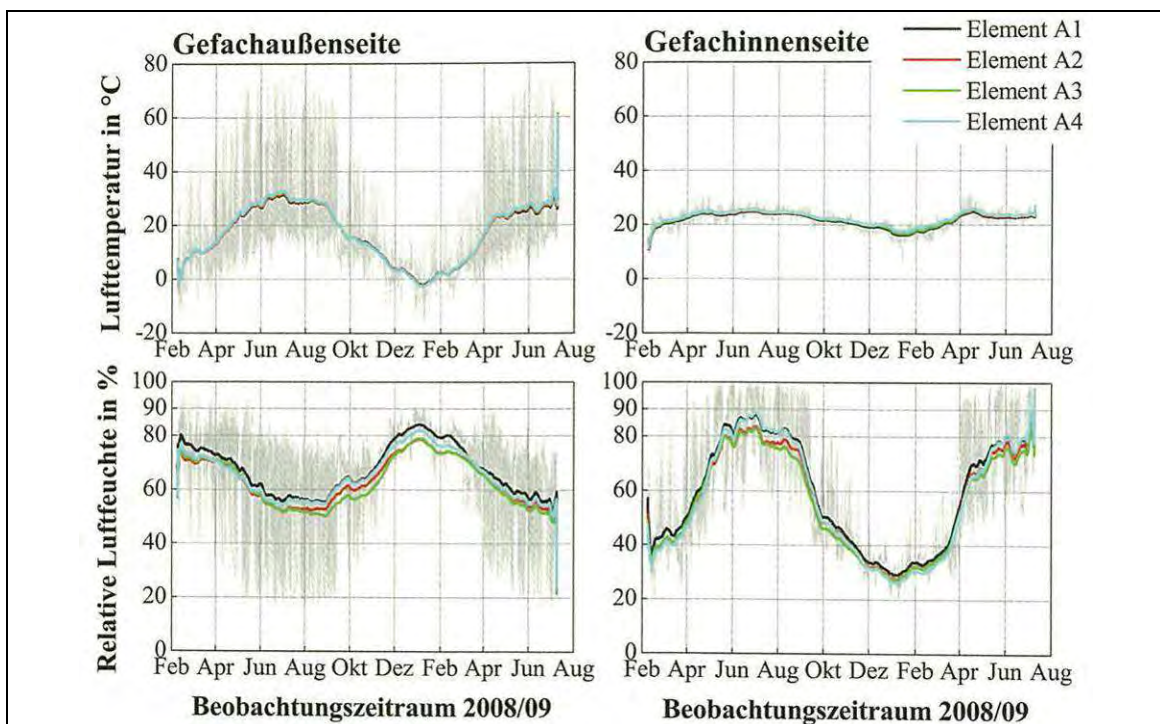


Abb. 61: Klimabedingungen in den besonnten Dachelementen A 1 – 4 an der Gefachaußen- und Gefachinnenseite [Nusser/Teibinger/Bednar 2010]

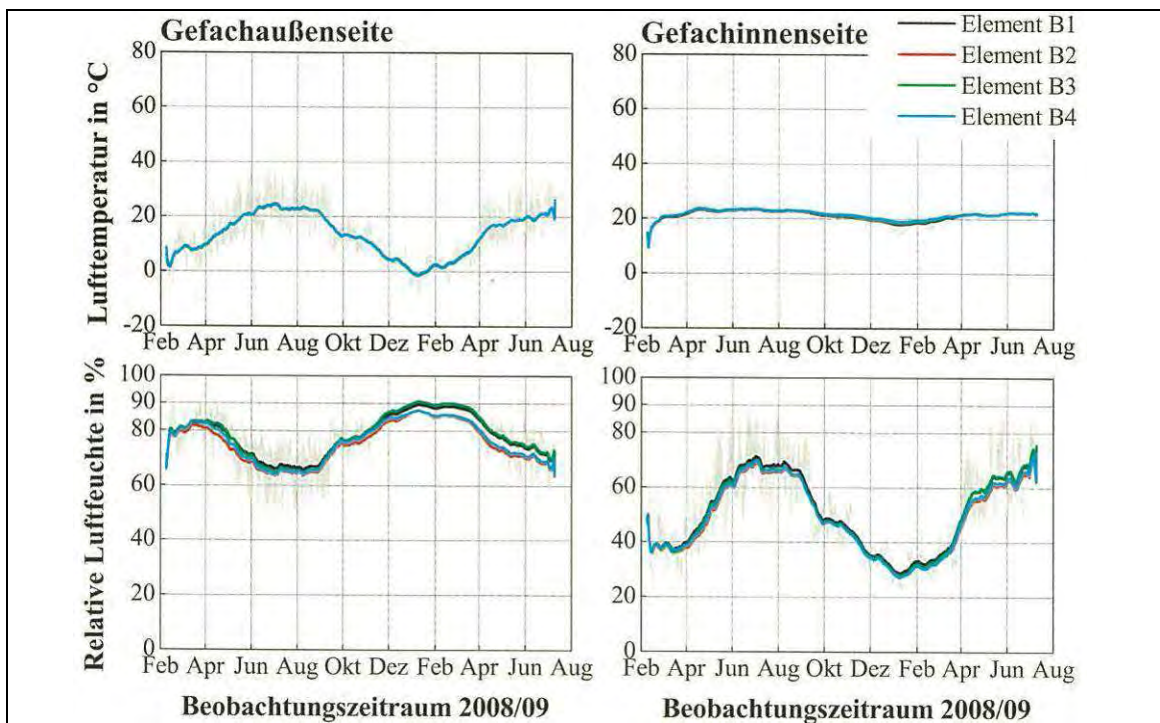


Abb. 62: Klimabedingungen in den verschatteten Dachelementen B 1 – 4 an der Gefachaußen- und Gefachinnenseite [Nusser/Teibinger/Bednar 2010]

Im Übrigen wurde dort auch gemessen, dass die Feuchte in Firstnähe höher ist als in Traufnähe, insbesondere bei den besonnten Dächern, weniger bei den beschatteten.

Eine Installationsebene unterhalb der feuchtevariablen Dampfbremse verringere offenbar den „Feuchtestau“, wodurch die Gefahr von Sommerkondensat dort reduziert würde.

Um die Vorteile einer feuchtevariablen Dampfbremse zu nutzen, d. h. die Austrocknung nach innen zu ermöglichen, kommt es in erster Linie darauf an, dass die Umkehrdiffusion in Gang gesetzt wird. Die entsprechenden Randbedingungen werden in den o. a. Forschungsberichten auch genannt, außerdem in verschiedenen Veranstaltungen von den Verfassern und den Bauphysikern, die instationäre hygrothermische Berechnungen mit WUFI durchführen, oftmals wiederholt.

Als Beispiel dafür, dass eine feuchtevariable Dampfbremse aufgrund der oben beschriebenen Kurven zu weniger Austrocknung führen kann als eine Dampfsperre mit konstantem s_d -Wert, kann hier die österreichische Messung von [Nusser/Teibinger 2011] herangezogen werden. Diese betraf den Vergleich von verschiedenen Dachaufbauten mit und ohne Begrünung. Bei den beiden begrünten Dächern stellte sich nach einer absichtlich herbeigeführten Durchfeuchtung eine schnellere Austrocknung bei dem Bauteil ein, das unterseitig eine Dampfsperrbahn mit konstantem – aber relativ kleinem! – s_d -Wert (2,2 m) aufwies. (Dieses Ergebnis kann allerdings wohl nicht verallgemeinert werden, weil es in anderen Untersuchungen nicht bestätigt worden ist bzw. instationäre hygrothermische Simulationen von [Zirkelbach/Schafaczek 2013] zu dem Ergebnis führen, dass es mit fvDb zu einer stärkeren Austrocknung kommt.)

Die s_d -Werte von feuchtevariablen Dampfbremsen sind auch temperaturabhängig. Aufgrund des in der Regel relativ konstanten Innenraumklimas sollte diese Abhängigkeit keine Rolle spielen. Es sollte aber darauf geachtet werden, inwieweit die Klimabedingungen in der Nähe der Folie, z. B. durch Deckenleuchten, verändert werden.

Feuchtevariable Dampfbremsen werden gemäß den Normen [DIN EN 1931:2001-03] oder [DIN EN ISO 12572:2001-09] hinsichtlich ihrer Wasserdampfdurchlässigkeit geprüft. Die erstgenannte Norm gilt für Dachabdichtungsbahnen und gleichartige Produkte, die zweite gilt für Baustoffe und Bauprodukte allgemein.

Das Prüfprinzip ist gleich: das zu prüfende Produkt wird über einer Schale mit Trocknungsmittel angeordnet und in eine Kammer mit definierten Klimabedingungen gestellt. Der stattfindende Feuchteausgleich zwischen Schaleninhalt und Klimakammer wird kontinuierlich durch Wiegen der Schale und daraus der Diffusionsstrom in Abhängigkeit vom Dampfdruckunterschied ermittelt. Bei feuchtevariablen Dampfbremsen muss das Verfahren bei verschiedenen Klimabedingungen wiederholt werden. Die Messungenauigkeiten sind bei sehr hohen Diffusionsströmen so groß, dass Probekörper mit kleinem s_d -Wert ($< 0,1\text{m}$) gemäß [DIN EN ISO 12572:2001-09] nicht mehr messbar sind.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es beim Einsatz feuchtevariabler Dampfsperren folgende Punkte zu beachten gibt:

1. Die Spreizungen der s_d -Werte sind sehr unterschiedlich. Die eingebaute Folie sollte daher dem Produkt entsprechen, mit dem der instationär instationär hygrothermische Nachweis geführt wurde. (Auch wenn die Berechnungsergebnisse beim Nachweis verschiedener Produkte nicht sehr unterschiedlich ausfallen.)
2. Der Austrocknungsprozess wird gegenüber moderat dampfbremsenden Bahnen dann spürbar beschleunigt, wenn ein deutlich erhöhter Umkehrdiffusionsstrom einsetzt. Dieser Effekt verringert sich, wenn Zusatzdämmungen auf der Abdichtung aufgebracht werden. Ob in diesen Fällen der Einsatz einer feuchtevariablen Dampfbremse noch sinnvoll ist, sollte ein Vergleich mittels instationärer hygrothermischer Berechnungen ergeben.
3. Bei feuchtevariablen Dampfbremsen ist – wie auch bei moderat dampfbremsenden Bahnen – sowohl im Winter als auch im Sommer mit erhöhten Luftfeuchtegehalten in der Konstruktion zu rechnen, auch wenn keine zusätzliche Feuchte durch Leckstellen oder Baufeuchte eingetragen wird. Bei Kontrollen der Holzfeuchte ist das zu berücksichtigen.
4. Feuchtevariable Dampfbremsen bewirken unter günstigen Randbedingungen eine Austrocknung der Konstruktion. Größere Feuchtegehalte in der Holzkonstruktion aber können auch durch feuchtevariable Dampfbremsen nicht mit Sicherheit beseitigt werden.

5. Regelwerkfestsetzungen

5.1 Nachweisfreiheit

Im Schadensfall wird häufig darauf verwiesen, dass ein Planungsfehler nicht bestünde, weil die Konstruktion gemäß der [DIN 4108-3:2001-07] als nachweisfrei gelte und daher kein diffusionstechnischer Nachweis erforderlich sei. Es wird davon ausgegangen, dass das Bauteil deswegen auch im Hinblick auf Tauwasserfreiheit innerhalb der Konstruktion funktionstüchtig sei.

In [DIN 4108-3:2001-07] wird der klimabedingte Feuchteschutz geregelt, in dem Anforderungen an Bauteile und Nachweisverfahren zur Tauwasserbeurteilung beschrieben werden. Bei dem sog. Nachweisverfahren nach Glaser handelt es sich um ein Diffusions-Berechnungsverfahren, bei dem unter stationären Randbedingungen (Tauperiode: Außenklima -10 °C und 80 % rel. Feuchte, Innenklima: +20 °C und 50 % rel. Feuchte) Tauwasserausfall und Verdunstung des auftretenden Tauwassers (Verdunstungsperiode: Außen-/Innenklima +20 °C und 70 % rel. Feuchte – bei Dachflächen) ermittelt werden. Die in der Norm festgelegten Anforderungen besagen, dass die ausfallende Tauwassermenge immer unter der Verdunstungsmenge liegen muss und generell 1,0 kg/m² (bei nicht saugfähigen Oberflächen 0,5 kg/m²) nicht überschreiten darf. Bei Holz beträgt die Erhöhung des maximal zulässigen Feuchtegehaltes 5 Masse-%, bei Holzwerkstoffen 3 Masse-%.

In derselben Norm sind ebenfalls einige Konstruktionen beschrieben, für die der Tauwassernachweis nach Glaser nicht geführt werden muss. Bei Dachkonstruktionen müssen hierfür die nachfolgend beschriebenen Bedingungen eingehalten werden:

In der Norm heißt es unter 4.3.3.2:

Folgende nicht belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

b) nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung:

„- nicht belüftete Dächer mit einer diffusionshemmenden Schicht mit $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$ unterhalb der Wärmedämmschicht [...]“.

Dieser Absatz gilt für alle Warmdachaufbauten oberhalb von Tragschichten. In der Norm wird nachfolgend auch auf Wärmedämmung unterhalb der Dampfsperre und auf Dämmung mit Schaumglas eingegangen. Auf Holzbauteile innerhalb dieser Warmdachkonstruktion wird in diesem Absatz leider nicht eingegangen (was in der Neufassung sehr wahrscheinlich geändert wird).

Allerdings ist im Absatz unmittelbar davor der Warnhinweis für unbelüftete Dächer zu lesen:

„Bei nicht belüfteten Dächern mit belüfteter oder nicht belüfteter Dachdeckung und äußeren, diffusionshemmenden Schichten mit $s_{d,e} \geq 2 \text{ m}$ kann erhöhte Baufeuchte oder später z. B. durch Undichtheiten eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht austrocknen.“

Im Entwurf [E DIN 4108-3:2012-01] ist der Warnhinweis präzisiert, auch auf Dächer mit Dachabdichtungen bezogen und stellt auch einen Bezug zu Holz und Holzwerkstoffen her:

„Bei nicht belüfteten Dächern mit Dachabdichtung trocknet erhöhte Baufeuchte oder später z. B. durch Undichtheiten eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht aus. Es ist bei diesen Konstruktionen zu beachten, dass zwischen den inneren diffusionshemmenden Schichten ($s_{d,i}$) und den äußeren diffusionshemmenden Schichten ($s_{d,e}$) bzw. der äußeren Dachabdichtung Holz oder Holzwerkstoffe nur bis zu der jeweiligen zulässigen Materialfeuchte eingebaut werden.“

In der Neufassung der Norm wird dieser Absatz nach dem aktuellen Überarbeitungsstand voraussichtlich gar nicht mehr erscheinen. Unbelüftete Holzkonstruktionen werden wohl von der Nachweisfreiheit ausgenommen werden.

Dass das sinnvoll ist, zeigen Berechnungen, die die Auffeuchtung der Konstruktion bei diffusionshemmenden Schichten mit hohem s_d -Wert nachweisen:

In [Zirkelbach u. a. 2009] bzw. [Bludau/Zirkelbach/Künzel 2010] wird der Dachaufbau mit verschiedenen diffusionshemmenden Schichten mit dem instationären hygrothermischen Simulationsprogramm WUFI gemäß DIN EN 15026 überprüft.

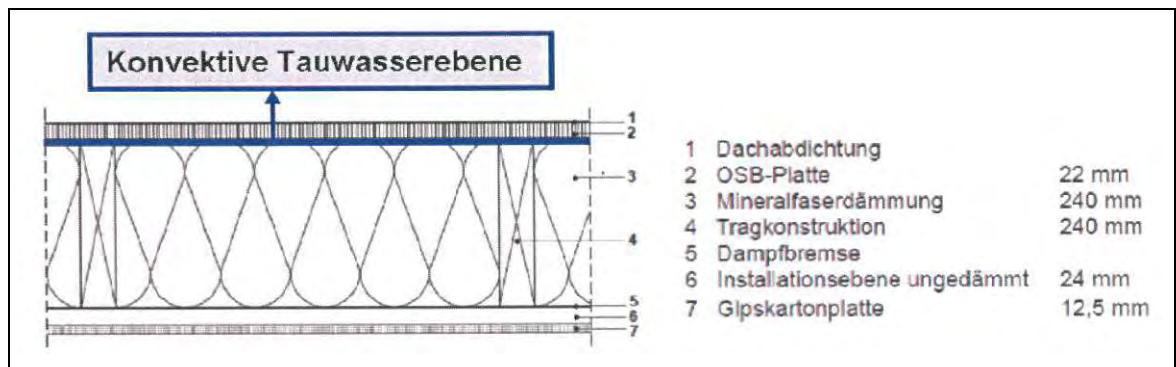


Abb. 63: Die blaue Linie kennzeichnet die Lage der rechnerisch berücksichtigten Feuchteintrags durch Konvektion [Bludau/Zirkelbach/Künzel 2010]

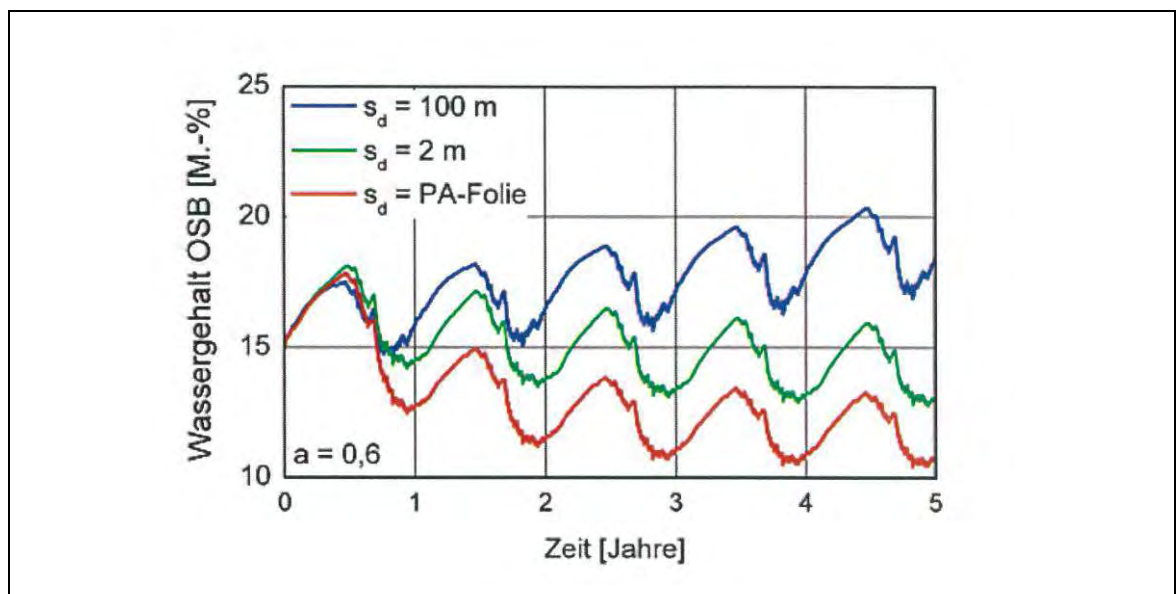


Abb. 64: Veränderung des Wassergehalts in der Schalung unter der Abdichtung (OSB-Platte) in Abhängigkeit der Dampfdurchlässigkeit der inneren Dampfsperre bzw. -bremse bei konvektivem Feuchteeintrag (ohne erhöhte Holz-Anfangsfeuchte) [Bludau/Zirkelbach/Künzel 2010]

Dabei ergibt sich, dass der Feuchtegehalt in der Schalung während der 7 bzw. 5 Jahre dauernden Simulation stetig ansteigt. Dies liegt insbesondere daran, dass ein jährlicher Feuchteeintrag durch Konvektion – anhand der Druckbeiwerte eines 5 m hohen Einfamilienhauses – eingerechnet wird. Da die Konstruktion beidseitig mit Schichten mit hohem Diffusionswiderstand (außen Bitumenbahnabdichtung, s_d -Wert 300 m, innen PE-Folie mit

100 m) ausgelegt ist, kann die eingetragene Feuchte nicht wieder austrocknen. Im Gegensatz dazu trocknet sie nach der Berechnung mit einer moderaten Dampfbremse (2 m) und noch stärker mit einer feuchtevariablen Dampfbremse (PA, 0,2 bis 5 m) aus (Voraussetzung dafür ist die unverschattete Dachbahn, um eine deutliche Umkehrdiffusion im Sommer zu erzielen). Der Feuchtegehalt der Schalung schwankt entsprechend dem Feuchteeintrag und der Austrocknung, liegt aber bei den gering dampfbremsenden Folien deutlich unter 18 Masse-%.

Bei der Berechnung wird von Feuchtegehalten der Hölzer und Holzwerkstoffe bei einer Luftfeuchte von 80 % ausgegangen, das entspricht einer Holzfeuchte von etwa 16 %. Beim Einbau von Hölzern mit höherem Feuchtegehalt ist von einer deutlich verschärferten Situation auszugehen, als es sich aufgrund dieser Berechnung schon darstellt.

Der Feuchteeintrag in die Konstruktion, der zusätzlich zum Feuchteeintrag durch Diffusion stattfindet, wird im Nachweisverfahren der [DIN 4108-3:2001-07], dem Glaserverfahren, nicht berücksichtigt. Was für den überwiegenden Teil der Warmdachkonstruktionen, z. B. auf Beton- oder Stahltrapezdecken oder auch bei Aufdachkonstruktionen aus Holz in der Regel wenig problematisch, wenn nur feuchtebeständige Dämmstoffe im Schichtenpaket vorhanden sind. Für Holz oder Holzwerkstoffe innerhalb des Schichtenpakets stellt ein Feuchteeintrag aber ein hohes Risiko dar. Dieses Risiko ist durch das in der Norm verwandte Glaserverfahren nicht abschätzbar. Zudem ist durch das Glaserverfahren der mit dem Holz selbst eingebrachte Feuchteeintrag nicht quantifizierbar.

Nach [Künzel 2013] wird in der Neufassung der DIN 4108-3 die Nachweisfreiheit der hier diskutierten Konstruktion entfallen. Auch gemäß der Holzschutznorm DIN 68800 wie auch in der Neufassung der DIN EN ISO 13788 wird der instationär hygrothermische Nachweis unbelüfteter Flachdachkonstruktionen gefordert.

Zusammenfassung:

Die hier untersuchten Dachkonstruktionen werden von Planern häufig als Konstruktionen angesehen, für die ein rechnerischer Tauwassernachweis nicht erforderlich ist, wenn einer unterseitige Dampfsperre mit einem s_d -Wert ≥ 100 m eingebaut wird. Dabei wird auf [DIN 4108-3:2001-07] verwiesen. Dieser Bezug ist aber nur in den Fällen uneingeschränkt gerechtfertigt, in denen keine feuchteempfindlichen Baustoffe im nachzuweisenden Dachaufbau enthalten sind, da das Nachweisverfahren nach Glaser keinen Eintrag zusätzlicher Feuchte berücksichtigen kann. Dieser Sachverhalt ist aber bei den hier untersuchten Holzkonstruktionen nicht gegeben.

Die entsprechenden Warnhinweise in der Norm müssten demnach bei Verwendung der „nachweisfreien Holzkonstruktionen“ (gemäß der Normfassung von 2001) dazu führen, das bei der Bauausführung zumindest besonderer Wert auf die Vermeidung von „erhöhter Baufeuchte oder später z. B. durch Undichtheit eingedrungene Feuchte“ gelegt und vom Planer dokumentiert wird.

5.2 Holzschutz

Der Umfang des Holzschutzes einer Konstruktion wird nach [DIN 68800-2:2012-02] in Gebrauchsklassen (früher: Gefährdungsklassen) eingeteilt. Eine Einordnung in Gebrauchsklasse 0 bedeutet, dass kein chemischer Holzschutz erforderlich ist. Bei Gebrauchsklasse 2 hingegen ist ein chemisch aufgetragener Holzschutz bzw. die Verwendung von Holz mit einer ausreichenden natürlichen Dauerhaftigkeit notwendig.

Früher wurde gefordert, die Holzkonstruktionen von Flachdächern ohne Belüftungsschicht in GK 2 zu setzen, weil das Risiko unplanmäßiger Befeuchtung bestand.

Viele Schadensfälle zeigen, dass diese Forderung das Problem nicht löst. Chemischer Holzschutz dringt in der Regel nur in die äußeren Schichten der Holzbauteile ein und kann trotz sachgerechter Anwendung bei starker Durchfeuchtung das Zerstörungswerk von Pilzen nicht verhindern.

In [Schmidt 2007] wird die Auffassung vertreten, dass auf chemischen Holzschutz unter bestimmten Voraussetzungen verzichtet werden könne, weil entsprechende Holzkonstruktionen mithilfe instationär hygrothermischer Berechnungsmethoden sehr genau einschätzbar seien. Außerdem wäre der mittels Glaserverfahren errechnete Tauwasserausfall an Balken sowieso ein theoretischer Wert, weil der Wasserdampf den diffusionshemmenden Balken über das Gefach umgehe.

Spätestens seit der Neufassung des Teils 2 der DIN 68800 im Jahr 2012 ist auch laut Holzschutznorm die Einstufung von unbelüfteten Holzdachkonstruktionen in Gebrauchs-kategorie 0 möglich. Auf den chemischen Holzschutz kann dann bei Flachdachkonstruktionen verzichtet werden, wenn die Konstruktion durch eine instationär hygrothermische Simulation nachgewiesen wird:

*„Flach geneigte oder geneigte, voll gedämmte, nicht belüftete Dachkonstruktionen mit Metalleindeckung oder mit Abdichtung auf Schalung oder Beplankung sind **zulässig, sofern der Tauwasserschutz nach DIN EN 15026 nachgewiesen wird und nach 5.2.4 für den Gesamtquerschnitt** gegeben ist.*

Individuelle Gegebenheiten, wie Standort, Farbe der Eindeckung und Verschattung sind im Nachweis zu berücksichtigen. Raumseitig dürfen feuchtevariable, diffusionshemmende Schichten verwendet werden, sofern sie einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis besitzen.

*Sofern **Verschattungsfreiheit vorausgesetzt wird, muss diese baurechtlich auf Dauer gesichert** sein. Bei Metalleindeckung ist eine strukturierte Trennlage mit Wasser abführender Schicht vorzusehen. Bei bauseitiger Fertigung ist ein Witterungsschutz für die Montagezeitspanne sicherzustellen.*

Zusätzliche äußere Deckschichten (Bekiesung oder Begrünung), Dämmschichten oberhalb der Beplankung oder Schalung sowie raumseitige Bekleidungen sind zulässig, sofern sie im Einzelnachweis auf Basis von DIN EN 15026 mit berücksichtigt werden.“ (Hervorhebungen durch die Verfasser)

Weiterhin soll ausreichendes Gefälle unter Berücksichtigung der holzbautypischen Durchbiegung vorhanden sein, um Pfützenbildung auf der Abdichtung zuverlässig zu vermeiden. Es ist eine hohe Strahlungsabsorption der Außenoberfläche als Antriebskraft für die Umkehrdiffusion (dunkelgraue bis schwarze Oberfläche) zu gewährleisten. Geeignete feuchtevariable Dampfbremsen sind einzusetzen sowie trockene Holzprodukte für Tragwerk und Schalung einzubauen.

Der Absatz 5.2.4 „Tauwasser“ der [DIN 68800-2:2012-02] präzisiert, dass es darum geht, *„eine unzuträgliche Veränderung des Feuchtegehaltes durch Tauwasser aus Wasserdampfdiffusion oder Wasserdampfkonvektion“* zu verhindern. Es ist also nachzuweisen, dass eine längerfristige Auffeuchtung von feuchtegefährdeten Holzbauteilen zu vermeiden ist. Welche Berechnungsergebnisse im Einzelnen vorgelegt werden müssen – Wassergehalte von Holz oder Holzschalungen insgesamt oder nur die zuerst gefährdeten oberseitigen Schichten – wird weder in der DIN 68800 noch in DIN EN 15026 festgelegt. Dies bleibt wohl zukünftigen Veröffentlichungen überlassen.

5.3 Zulässige Holzfeuchte

Zur Begrenzung der Holzfeuchte beim Einbau werden in verschiedenen Regelwerken die folgenden Angaben gemacht. Wesentliche Voraussetzung sind die vorgesehenen Umgebungsbedingungen, denen das Holz im eingebauten Zustand ausgesetzt ist. Diese werden im Eurocode 5 [DIN EN 1995-1-1:2010-12] in die Nutzungsklassen 1 bis 3, die im Wesentlichen zur Zuordnung von Festigkeitskennwerten und der Berechnung der Verformung dienen, eingeteilt:

Kap. 2.3.1.3 (2): Die Nutzungsklasse 1 ist gekennzeichnet durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen je Jahr einen Wert von 65 % übersteigt.

Kap. 2.3.1.3 (3): Die Nutzungsklasse 2 ist gekennzeichnet durch einen Feuchtegehalt in den Baustoffen, der einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der um-

gebenden Luft entspricht, die nur für einige Wochen je Jahr einen Wert von 85 % übersteigt.

Kap. 2.3.1.(4): Die Nutzungsklasse 3 erfasst Klimabedingungen, die zu höheren Feuchtegehalten als in Nutzungsklasse 2 führen.

Die Holzschutznorm [DIN 68800-2:2012-02] bezieht sich neben den Gebrauchsklassen auch auf diese Nutzungsklassen. Es wird gefordert:

„Die Einbaufeuchte der Hölzer darf in den Gebrauchsklassen GK 0, GK 1, GK 2, GK 3.1 nicht höher als 20 % liegen.“

„Holz und Holzwerkstoffe sind zur Vermeidung von unzuträglichen Quellen und Schwinden möglichst mit dem Feuchtegehalt einzubauen, der während der Nutzung zu erwarten ist. In Abhängigkeit vom Umgebungsklima sollte von folgenden Richtwerten der Feuchte (z. B. Messung nach DIN EN 13183-2) im eingebauten Zustand ausgegangen werden:

a) in Nutzungsklasse 1 nach DIN EN 1995-1-1 (20 °C/65 % r. F.): (5 bis 15) %

b) in Nutzungsklasse 2 nach DIN EN 1995-1-1 (20 °C/85 % r. F.): (10 bis 20) %

c) in Nutzungsklasse 3 nach DIN EN 1995-1-1: (12 bis 24) %

Die Werte bei Holzwerkstoffen, außer mit Phenolharzen gebundenen, liegen um etwa 3%-Punkte niedriger (s. Tabelle 2).“

Die VOB-C-Norm für Zimmer- und Holzbauarbeiten [DIN 18334:2012-09] fordert allgemein eine Holzfeuchte < 20 % bzw. begrenzt diese für den Holzrahmenbau auf 18 %.

Diese zulässigen Holzfeuchten sind insbesondere bei den hier untersuchten Konstruktionen von unbelüfteten und zwischen Schichten mit hohem Diffusionswiderstand eingeschlossenen Holzbauteilen einzuhalten. Zur Vermeidung von Bauschäden ist in jedem Einzelfall eine instationäre hygrothermische Berechnung erforderlich.

5.3.1 Messung der Holzfeuchte

Die Normenreihe DIN EN 13183 (Teile 1 bis 3) beschreibt die Messung und Schätzung der Holzfeuchte bei Bauschnittholz. Die Verfahren dienen zur Bestimmung der Holzfeuchte bei angelieferten Proben. Es wird die Messung der Holzfeuchte nach Darrverfahren (Teil 1), elektrischer Widerstandsmessung (Teil 2) und kapazitivem Messverfahren (Teil 3) beschrieben.

In Anlehnung an diese Normen kann auch verbautes Holz gemessen werden. Allerdings stehen in diesem Fall selten Möglichkeiten der Kalibrierung zur Verfügung.

Beim Objekt 1, bei dem Holzfeuchten weit über der Sättigungfeuchte von 30 M-% vorlagen, wurde festgestellt, dass die Messergebnisse der elektrischen Widerstandsmessung nicht mit den durch die Darr-Messungen (wiegen, trocknen, wiegen bis zur Gewichtskonstanz) ermittelten Feuchtegehalten übereinstimmten. Dabei wurde gemäß DIN EN 13183-1 mit 103 ± 2 °C im Trockenschrank getrocknet. Die Messungen mithilfe des elektrischen Widerstands gelten laut DIN EN 13183-2 auch nur bis zu einer Holzfeuchte von 30 M-%. Bei der Verwendung von Messgeräten ist immer auf den vom Hersteller angegebenen Messbereich zu achten. Kleinere Handgeräte weisen z. B. einen Messbereich von 6 bis 25 % auf.

Zum Messbereich der GANN Hydromette RTU 600, eines häufig verwendeten, etwas aufwändigeren Messgeräts, ist in der Bedienungsanleitung folgendes erläutert:

„Oberhalb des Fasersättigungspunktes (ab ca. 30 % Holzfeuchte) verliert die Messung je nach Holzart, Rohdichte und Holztemperatur mit zunehmender Holzfeuchte an Genauigkeit. So zeigen insbesondere europäische Nadelhölzer und Exoten der Gattung Meranti/Lauan größere Messdifferenzen (ab ca. 40 % Holzfeuchte) während z. B. die Holzarten Eiche, Buche, Limba bis in hohe Feuchtigkeitsbereiche (ca. 60 bis 80 % Holzfeuchte) relativ exakt gemessen werden können.“

Im Falle vollständig durchfeuchteter Holzschalung und Oberseiten von Balken, bei denen es insbesondere durch Diffusion und Kondensation zu einem Feuchtegehalt weit über der Fasersättigung gekommen ist und bei denen Darr-Messungen Feuchtegehalte in der Größenordnung von 200 M-% ergeben, sind die Werte der elektrischen Widerstandsmessung nicht mehr zu verwenden. Die Ungenauigkeit ist so groß, dass aus den Messwerten auch nicht auf qualitative Unterschiede – höhere oder niedrigere Feuchtegehalte bei unterschiedlichen Messpunkten – sicher geschlossen werden kann.

Unterhalb der Fasersättigungsgrenzen sind aber durch elektrische Widerstandsmessungen hinreichend genaue Überprüfungen vor Ort möglich. Die Hinweise in den Bedienungsanleitungen der Geräte sind allerdings zu beachten. Insbesondere die Ergebnisse, die bei der Messung von Holzwerkstoffen angezeigt werden, sind anhand der Anleitungen zu überprüfen. Zerstörungsfreie Messungen von der Außenseite der Dächer sind in Einzelfällen möglich.

5.4 Diffusionsdichte Luftdichtheitsschicht – Warnungen

Bereits vor der Jahrtausendwende gab es deutliche Warnungen vor diffusionsdicht ausgeführten Holzbaukonstruktionen [Schulze 1997/inf Holz 3-5-2 1997]:

„Daher sollte – im Hinblick auf eine möglichst große feuchtetechnische Robustheit des Holzbauteils – unter Anwendung der Regeln nach DIN 4108-3 und -5 versucht werden, auf die Dampfsperre entweder zu verzichten oder, falls das nach DIN 4108 zu einer unzulässig großen Tauwassermasse führen sollte, ihre dampfsperrende Wirkung (s_d -Wert) so klein wie möglich zu halten.

Aus diesem Grunde ist auch von den in DIN 4108-3 enthaltenen Holzbauteilen, für die ein Nachweis des Tauwasserschutzes nicht mehr geführt zu werden braucht und die deshalb mit einer ‘kräftigen’ Dampfsperre (vor allem $s_d \geq 100 \text{ m!}$ für nicht belüftete Dächer) ausgerüstet sein müssten, allgemein abzuraten.“

An anderer Stelle ist in den Merkblättern des Informationsdienstes Holz ([Info Holz 3-5-2 1997/2001/2005]) in Abs. 13.3 zu lesen:

„Anmerkung:

Solche Konstruktionen (mit beiderseits dampfsperrenden Schichten) haben sich in der Vergangenheit als schadensträchtig erwiesen, da der chemische Holzschutz bei solchen Bauteilquerschnitten bei ungewollt auftretender Feuchte nicht in der Lage ist, allgemeine Bauschäden zu verhindern. Deshalb sollte sie nur in Ausnahmefällen angewandt werden.“

Normativ wurde der bereits in Kapitel 5.1 zitierte Warnhinweis zum ersten Mal in den Entwurf der DIN 4108-3 von Juli 1999 aufgenommen.

Seit 2004 ist ebenfalls ein deutlicher Warnhinweis in [ZVDH 2004] enthalten:

*„Die Funktionsfähigkeit von unbelüfteten, wärmegeämmten Dächern mit einer Dampfsperre mit einem Sperrwert von $s_{d,i} < 100\text{m}$ und diffusionsdichten Schichten auf der Außenseite lässt sich nachweisen. Hiervon sollte jedoch bei äußeren Schichten mit $s_{d,e} \geq 100\text{m}$ **nur in Ausnahmefällen** Gebrauch gemacht werden, da eingeschlossene oder später eingedrungene Feuchtigkeit z. B. durch Undichtigkeiten oder erhöhte Baufeuchte nur noch schlecht oder gar nicht austrocknen kann.“* (Hervorhebung durch die Autoren)

6. Instationäre hygrothermisch Nachweisverfahren und Freilanduntersuchungen

6.1 Instationäre hygrothermische Nachweisverfahren

Im Gegensatz zum Tauwassernachweis nach Glaser können bei instationär hygrothermischen Nachweisverfahren instationäre Randbedingungen sowie Wasserspeichervorgänge und Transporte flüssigen Wassers im Bauteilquerschnitt berücksichtigt werden. Solche dynamischen Simulationsberechnungen (z. B. mit dem Programm „WUFI“ des Fraunhofer Institutes für Bauphysik oder dem Programm „Delphin“ des Instituts für Bauklimatik der TU Dresden) dienen der realistischen Abschätzung instationär hygrothermischer Prozesse, die die Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern (Feuchte-Wärmetransport-Kennwerte, Klimadaten, Strahlungsabsorptionswerte von Bauteiloberflächen, bei Wänden auch Orientierungen und Schlagregenbelastungen etc.) erfordern.

Wie im Kapitel 5.1 bereits beschrieben, wurden instationär hygrothermische Berechnungen an Flachdächern in Holzbauweise bereits in [Zirkelbach u. a. 2009] bzw. [Bludau/Zirkelbach/Künzel 2010] beschrieben. Auch zu den Freilanduntersuchungen in [Winter/Fülle/Werther 2009] und [Nusser/Teibinger/Bednar 2010] wurden entsprechende Simulationsberechnungen durchgeführt und die Berechnungen validiert.

Welche Kriterien im Einzelnen in die Berechnungen einfließen, soll im Folgenden kurz erläutert werden:

6.1.1 Klimadaten

In [Winter/Fülle/Werther 2009] wird in Bezug auf instationär hygrothermische Berechnungen auf folgendes hingewiesen:

„Beim Nachweis eines Einzelobjekts ist immer das Klima am endgültigen Standort heranzuziehen. Dabei sind Regenmengen und relative Luftfeuchtigkeit keine entscheidenden Größen. Den größten Einfluss auf das hygrothermische Verhalten hat die Lufttemperatur in Verbindung mit der solaren Strahlung. Bei Auftreten von Verschattung durch z. B. Nachbargebäude ist diese mit zu berücksichtigen.“

Zu bedenken ist, dass zur Eingabe in ein instationär hygrothermisches Simulationsprogramm nicht konstante Werte, sondern jeweils Klimadatensätze einzulesen sind. Es müssen also für den Standort für jede Stunde im Jahr entsprechende Daten zur Verfügung stehen. Diese sollen möglichst typisch sein, d. h. nicht nur als Datensatz aus einem Jahr entnommen sein, sondern einen Mittelwert aus verschiedenen Jahren bilden. Im konkreten Fall können natürlich auch extreme Wetterbedingungen herrschen, die gegenüber dem Klimadatensatz auch ungünstigere Situationen erzeugen können. Die Konstruktion muss auch aus diesem Grunde robust genug sein, um auch extreme Klimasituationen schadensfrei überstehen zu können.

6.1.2 Materialkennwerte

Vereinzelt wird auch auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die aufgrund von ungenügend aufbereiteten Materialkennwerten bestehen. Die folgenden Beispiele zu Mineralwolle und OSB-Platten sollen zeigen, dass die zugrunde gelegten Materialdaten zum Teil aufgrund von Praxiserfahrungen geändert und präzisiert werden müssen.

1. Mineralwolle-Dämmung

Bei dem Vergleich zwischen Freilandversuchen und Simulationsrechnungen in [Winter/Fülle/Werther 2009] wird beschrieben, wie die Eingabewerte für Mineralwolle zustande gekommen sind (S. 31):

„Für die im Versuchsstand verwendete Mineralwolle Integra ZKF 1-040 – Glaswolle der Firma isover – stand kein spezieller Materialdatensatz zur Verfügung. Hier wurde ebenfalls der im Simulationsprogramm vorhandene Datensatz für Mineralwollendämmung um die bekannten Materialparameter erweitert. Das instationär hygrothermische Simulationsprogramm WUFI gibt in seiner Datenbank für Mineralwolle eine Feuchtespeicherfunktion von Null an. Da jedoch programmintern in jedem Fall aus Gründen des numerischen Lösungsalgorithmus Sorptionsfeuchten eingesetzt werden, wurden diese aus Transparenzgründen im Vorfeld als Stoffkennwert definiert. Die verwendete Sorptionsisotherme orientiert sich an Daten aus der Material-Datenbank im instationär hygrothermischen Simulationsprogramm Delphin 4“.

In [Winter/Fülle/Werther 2009] wird auf Unterschiede zwischen Freilandmessung und in-stationär hygrothermischen Simulationen hingewiesen. Zwar würde dabei die Austrock-nung vom Simulationsprogramm deutlich unterschätzt und die Rechnungen würden damit „auf der sicheren Seite“ liegen. Sie schreiben aber: *„die mangelnde Übereinstimmung wird von den Autoren jedoch teilweise als verbesserungswürdig eingeschätzt. Insbeson-dere bei den Varianten mit Mineralwollgedämmung muss zukünftig eine bessere Überein-stimmung erzielt werden. Ein Grund könnte darin liegen, dass die Gleichungen für den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport im Simulationsprogramm für poröse Materia-lien gelten – was Mineralwolle nicht ist. Die niedrig angesetzte Sorptionsisotherme stellt offensichtlich nur einen Ansatz zur Lösung dar“*.

Durch weitere Validierungen anhand von Vergleichen mit Freilanduntersuchungen kann wohl zurzeit von einer hinreichend genauen Übereinstimmung von Berechnungsergeb-nissen und tatsächlichen Feuchteverteilungen beim Mineralwollgedämmstoffen ausgegan-gen werden.

2. OSB-Platten

Die Stoffkennwerte für OSB-Platten sind nicht einheitlich, sondern herstellungsbedingt unterschiedlich. In [Winter/Fülle/Werther 2009] haben die beteiligten Hersteller zunächst die feuchtetechnischen Parameter bei anerkannten Prüfeinrichtungen ermitteln lassen.

Zudem hat sich herausgestellt, dass der bei der Freilandmessung beobachtete, hohe Feuchtegehalt an der Oberfläche im Simulationsprogramm nicht nachvollziehbar ist, wenn die hygrothermischen Eigenschaften einheitlich auf die gesamte Schichtdicke der Werkstoffplatte bezogen werden. Daher wurde die Holzwerkstoffplatte im Simulations-programm in drei verschiedene Schichten unterteilt, weil die äußeren Deckschichten auf-grund des höheren Leimanteils dort höhere Diffusionswiderstände aufweisen.

Um hinreichend genaue Berechnungsergebnisse bei der Beurteilung von OSB-Platten zu erzielen, müssen diese also ggf. entsprechend differenziert im Simulationsprogramm ein-gesetzt werden. Dies wird zukünftig auch in den WTA-Merkblättern gefordert werden.

6.1.3 Einflüsse der Strahlung und Verschattung auf die Dachoberfläche

Bei einer hygrothermischen Berechnung von Flachdächern ist die Aufwärmung der Dachoberfläche von besonderer Bedeutung. Daher müssen neben dem langwelligen Strahlungsaustausch von Bauteiloberflächen mit anderen Oberflächen der Umgebung, die bereits in die Wärmeübergangskoeffizienten mit einbezogen wurden, auch der kurzwellige Strahlungsanteil berücksichtigt werden.

In „WUFI“ werden je nach gewählter Dachabdichtungsoberfläche Strahlungsabsorptionszahlen für kurzwellige und langwellige Strahlung eingesetzt, die das Programm vorgibt. Es ist auch die Wahl eines erweiterten Modus möglich, der sich „Explizite Strahlungsbilanz“ nennt, bei dem noch weitere Parameter modellierbar sind. Für diesen Fall erfolgt dann ein Warnhinweis:

„Achtung: die explizite Strahlungsbilanz erfordert Klimadateien mit hinreichend genauen Gegenstrahlungsdaten. Anderenfalls können unrealistische Temperaturen an der Außenoberfläche resultieren.“

In verschiedenen Veröffentlichungen werden folgende Strahlungsabsorptionskoeffizienten a genannt:

- $a = 0,8 - 0,95$: Bituminöse und andere dunkle Dachbahnen [Künzel/Zirkelbach/Schafaczek 2010]
- $a = 0,6$: untere Grenze von konventionellen Dachbahnen oder Auflasten (Ausnahme: Dachbegrünung) [Künzel/Zirkelbach/Schafaczek 2010]
- $a = 0,3$: Strahlungsgewinne sind durch Deckschichten oder Verschattungen stark vermindert [Borsch-Laaks 2012]

Solare Absorptionskoeffizienten a_{sol} für verschiedene Materialien und Farben sind in folgender Tabelle aus [Teibinger/Nusser 2010] zusammengestellt (s. Abb. 65)

Farbe/Material	Solarer Absorptionskoeffizient a_{sol}
Schwarz	0,90 ² 0,949 ³
Dunkelbraun	0,83 ²
Dunkelbeige	0,68 ²
Grau (hell; dunkel)	0,65 ² ; 0,849 ³
Hellgrün	0,65 ²
Blau	0,65 ²
Ockergelb	0,63 ²
Orange	0,59 ²
Hellbeige	0,58 ²
Weiß	0,21 ² ; 0,234 ³ ; 0,26 ¹
Silber (Farbe)	0,13 ³
Holz	0,82-0,92 ¹
Metallblech galvanisiert, oxidiert (bewittert)	0,80 ¹ ; 0,86 ²
Aluminium poliert	0,09 ¹
Ölfarbe schwarz	0,98 ¹
Zinkweiß	0,16 ¹

1: (Incropera et al. 2007) 2: (Häupl 2008) 3: (Bludau et al. 2008)

Abb. 65: Solare Absorptionskoeffizienten a_{sol} ausgewählter Materialien und Farben [Teibinger/Nusser 2010]

Laut DIN 68800-2 Abs. 7.5 müssen auch Verschattungen mit eingerechnet werden. Dies kann in den Simulationsprogrammen zwar berücksichtigt werden, indem z.B. die oben genannten Strahlungsabsorptionskoeffizienten entsprechend reduziert werden. Allerdings gibt es bislang zu dieser Reduzierung noch keine Festsetzung im Regelwerk. Voraussichtlich wird dies dem noch in Arbeit befindlichen WTA-Merkblatt zu entnehmen sein. In [Teibinger/Nusser 2010] werden Beschattungsklassen A bis D definiert, die nach maximalen Beschattungsdauern unterteilt sind: In A darf die maximale Beschattungsdauer 4 Stunden (nach 13 Uhr) bzw. 6 Stunden (vor und nach 13 Uhr) nicht überschreiten (s. a.

Kap 9.1). Auch die Höhe von Attiken und deren Einfluss auf die Beschattung wird dort thematisiert: Für Attikahöhen von 0 bis 50 cm werden keine Einschränkungen für die nachgewiesenen Konstruktionen gemacht, bei Attikahöhen von 50 bis 80 cm ist nur ein Dachaufbau mit vorgefertigten Elementen nachweisfrei, und das auch nur bei einem Innenraumklima mit niedriger Feuchtelast.

Die Bewertung von Strahlungs- und Verschattungseinflüssen in instationären hygrothermischen Berechnungen setzt also ebenfalls eine differenzierte Betrachtung, einen entsprechend erfahrenen Bearbeiter und ggf. eine Erweiterung der standardmäßigen Berechnung voraus.

6.1.4 Abdichtungsmaterialien

Für das Austrocknungsverhalten ist es selbstverständlich von Vorteil, wenn die Abdichtungsbahn einen möglichst geringen Dampfsperrwert aufweist, damit auch nach außen ein – wenn auch geringer – Feuchtetransport auf dem Diffusionsweg stattfinden kann.

In instationär hygrothermischen Simulationen wird daher häufig von Dachbahnen mit niedrigem s_d -Wert ausgegangen.

In [Winter/Fülle/Werther 2009] wird sehr deutlich dargestellt, dass die noch als positiv dargestellten Konstruktionen als sehr kritisch eingestuft werden, wenn anstelle des zugrunde gelegten s_d -Wertes von 19 m (PVC-Bahn) ein Wert von 300 m für Bitumenbahnen o. ä. angesetzt wird. Entsprechend wird dort vom Einsatz entsprechender Abdichtungsbahnen abgeraten.

Das bedeutet nicht nur, dass bei neu gebauten Dachkonstruktionen das Material der Dachabdichtung zwingend entsprechend der instationär hygrothermischen Berechnung vorgeschrieben werden muss, sondern auch, dass während der Lebensdauer des Daches das Material bzw. der s_d -Wert des Abdichtungsmaterials erhalten bleiben muss!

In den Untersuchungen von [Nusser/Teibinger/Bednar 2010] wurde eine schwarze EPDM-Bahn eingesetzt, die laut Hersteller einen s_d -Wert von 87 m aufwies. Auch hier wurden keine Dächer mit Bitumenbahnen untersucht und berechnet.

6.1.5 Trocknungsreserve

In jedem an die Außenluft angrenzenden Bauteil kommt es zu einem mehr oder weniger großen Diffusionsstrom. Weist das Bauteil auf der Außenseite Schichten mit einem höheren Diffusionswiderstand auf, kann es bei niedrigen Außentemperaturen zur Tauwasserbildung im Bauteilquerschnitt kommen. Wenn bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden, ist dieser Tauwasserausfall unkritisch, so lange die Feuchtigkeit im Sommer wieder austrocknen kann.

Grundlage der Berechnung für Tauwasserausfall und Verdunstungsmenge ist das Verfahren nach Glaser, das den Berechnungen nach DIN 4108-3 entspricht. Randbedingungen und Kennwerte wurden bereits in Kap. 5.1 beschrieben.

Empfehlungen, die sich im Wesentlichen auf [Künzel 1999] (s. a. Kap. 10.5) beziehen, gehen dahin, das Verhältnis von Tauwasserausfall und Verdunstungsmenge daraufhin zu erweitern, dass die rechnerische Verdunstungsmenge um 250 g/m^2 größer ist als der rechnerisch ermittelte Tauwasserausfall. Man nennt diese Sicherheitsmarge die „Trocknungsreserve“.

Die Trocknungsreserve wird auch in [DIN 68800-2:2012-02] in „5.2.4 Tauwasser“ gefordert.

In instationär hygrothermischen Berechnungen wird diese Trocknungsreserve in der Hinsicht berücksichtigt, dass die Menge von 250 g/m^2 Dachfläche jährlich als zusätzlich eingebrachter Feuchtegehalt in die Simulationsrechnung eingefügt wird.

Zur Auswirkung der Trocknungsreserve wurden auch die instationär hygrothermischen Berechnungen in Winter/Fülle/Werther 2009] entsprechend variiert. Gegenüber der Berechnung ohne diesen zusätzlichen, jährlichen Feuchteeintrag ergaben sich allerdings bei den untersuchten Dachaufbauten mit feuchtevariabler, bahnenförmiger Dampfsperre (INTELLO) keine wesentlichen Unterschiede.

Bei Dampfsperren mit hohen s_d -Werten hat der zusätzliche Feuchteeintrag allerdings meist eine Auffeuchtung der Konstruktion zufolge.

6.1.6 Zusatzdämmung

In [Borsch-Laaks 2012] werden instationär hygrothermische Simulationen vorgestellt, nach denen unbelüftete Holzdächer mit unterseitigen feuchtevariablen Dampfsperren austrocknen, während sie bei innenseitig angeordneten Dampfsperren mit hohen Dampfsperrewerten auffeuchten. Dort wird auch anhand instationär hygrothermischer Simulationen gezeigt, dass Zusatzdämmungen den Trocknungsvorgang bei feuchtevariablen Dampfbremsen vermindern.

6.1.7 Dachbegrünung

Materialdaten für die instationäre hygrothermische Simulation eines Aufbaus mit Dachbegrünung standen bisher nur in geringem Umfang zur Verfügung. Darauf wurde bereits in [Winter 2009] hingewiesen. Auch im Vergleich zwischen Freilanduntersuchungen und Berechnungen in [Winter/Fülle/Werther 2009] wurde dieses Manko deutlich. Neuere Materialdaten und damit durchgeführte instationäre hygrothermische Berechnungen stehen erst seit kurzem mit der Untersuchung [Zirkelbach/Schafaczek 2013] zur Verfügung.

Das Ergebnis dieser Berechnungen von unbelüfteten Holzflachdächern mit Begrünungsaufbau ist, dass viele Schichtenfolgen erst mit einer deutlichen Zusatzdämmung über der oberen Schalung rechnerisch nachweisbar sind.

6.1.8 Sicherheitszuschläge

In [Zumoberhaus 2011] wird darauf hingewiesen, dass zur feuchtetechnischen Bemessung von Bauteilkonstruktionen detaillierte Kenntnisse bezüglich der Berechnungsrandbedingungen und der Prognosegenauigkeit notwendig seien. Im Weiteren wären eine Reihe von Unsicherheiten zu berücksichtigen, wie z.B. herstellungsbedingte Materialabweichungen, Inhalts- und Klebstoffe in Holzwerkstoffen, Einflüsse beim Lokalklima, Beschattungen. Während derartige Risiken und Berechnungsungenauigkeiten in der Holzbaustatik mit Sicherheitsfaktoren bzw. -zuschlägen abgedeckt würden, sei dies bei feuchtetechnischen Berechnungen aufgrund der verschiedenen Einflussfaktoren kaum durchsetzbar und unüblich.

Er fasst die Sicherheitszuschläge bei instationär hygrothermischen Berechnungen im Hinblick auf die schweizerischen Verhältnisse wie folgt zusammen:

- *Austrocknungspotential ($250\text{g/m}^2\cdot\text{a}$)*
- *Berechnungsmodell gemäß WTA 6-1-01 und EN 15026, (WUFI)*
- *Klimarandbedingungen: ungünstige Klimadatensätze (z. B. Datensatz Zürich kalt, WTA Merkblatt 6-2-01)*
- *Verschattungen: Anpassung der Strahlungskennwerte*
- *Klimaeinflüsse Bauphase: Simulation beginnt standardmäßig am 1.10. mit einer über das Bauteil gemittelten Anfangsfeuchte von 80 % r.F.*

6.1.9 Interpretation der Berechnungsergebnisse

Während bei der Berechnung nach Glaser die Berechnungsergebnisse eindeutig gemäß den Anforderungen nach DIN 4108 zu bewerten sind – die im Sommer austrocknende Wassermenge muss höher sein als die im Winter ausfallende, die Tauwassermengen an den Grenzschichten dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, die Holzfeuchte darf einen bestimmten Grad nicht überschreiten – sind die Bewertungen bei instationär hygrothermischen Berechnungen noch nicht normativ festgelegt. Die Berechnungsergebnisse können sich auf den Gesamtwassergehalt der Konstruktion, auf den mittleren Wassergehalt eines Baustoffs, auf den Wassergehalt einer bestimmten Baustoffschicht oder auf die Verhältnisse an bestimmten Grenzschichten („Monitorpositionen“) beziehen. Die Interpretation der Berechnungsergebnisse ist daher nicht ganz einfach. Im WTA-Arbeitskreis, der die Merkblätter [WTA 6-1-01/D] und [WTA 6-2-01/D] herausgegeben hat, wurden im kürzlich verabschiedeten Fortschreibung des Merkblatts [WTA 6-2-13/D] in Kapitel 7 („Beurteilung der Berechnungsergebnisse“) genauere Hinweise dazu gegeben:

„Zunächst kommt es darauf an, dass sich in der Konstruktion langfristig kein Wasser ansammelt und sich ein sogenannter eingeschwungener Zustand einstellt. Der Nachweis kann über den Gesamtwassergehalt im Jahresverlauf bei kontinuierlicher Verwendung eines sich jährlich wiederholenden Klimadatensatzes erfolgen. Der eingeschwungene

Zustand gilt als erreicht, wenn der Wassergehalt einen Grenzwert anstrebt. Als Richtwert für die Beurteilung wird eine jährliche Wassergehaltsänderung von weniger als 1 % bezogen auf den Vorjahreswassergehalt empfohlen.

Anschließend sind die hygrothermischen Verhältnisse in den einzelnen Materialschichten sowie an den Oberflächen und Materialgrenzen zu betrachten. An den raumseitigen Oberflächen sowie im Bereich von Luftschichten in den wärmeren Bereichen eines Bauteils besteht die Gefahr von Schimmelpilzbildung, wenn bestimmte Temperatur- und Feuchtegrenzen überschritten werden (s. WTA-Merkblatt 6-3).

[...] Unabhängig vom tatsächlichen Feuchteanspruch Holz zerstörender Pilze sollte mit ausreichender Sicherheit ein Wert von 20 M-% Holzfeuchte nicht für längere Zeit überschritten werden. Genauere Kriterien für Holz und Holzwerkstoffe bietet WTA-Merkblatt 6-8.“ (Hinweis: Das zuletzt genannte Merkblatt war bei Fertigstellung des Berichtes noch nicht erschienen.)

Rechnerisch ist zukünftig möglicherweise eine noch differenziertere Bewertung im Hinblick auf die Wachstumsbedingungen holzerstörender Pilze möglich: In [Kehl/Plagge/Grunewald 2012] wird die Grenzfeuchtebelastung für Holz für die Beurteilung mittels hygrothermischer Simulationen genauer festgelegt. Danach sollte nicht mehr eine einfache Überschreitung der Holzfeuchte über 20 % das k.o.-Kriterium für Holzkonstruktionen sein, sondern eine Grenzlinie, die sich aus Feuchtegehalt und Temperatur ergibt (s. Abb. 66 und Abb. 67).

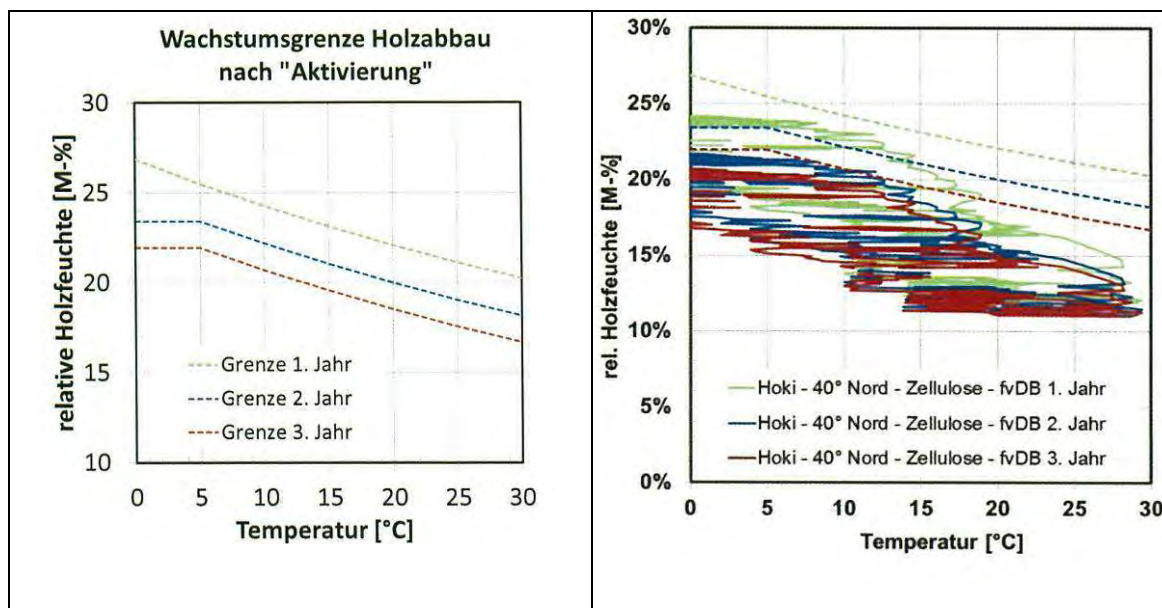


Abb. 66: Vorschlag für die temperaturabhängigen Grenzkurven der Holzfeuchte [Kehl/Plagge/Grunewald 2012]

Abb. 67: Holzfeuchte der Schalung über die Temperatur [Kehl/Plagge/Grunewald 2012]

Wird diese Grenzlinie von den berechneten Werten nicht überschritten, ist davon auszugehen, dass die Konstruktion funktioniert und das Holz nicht geschädigt wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Interpretation der Ergebnisse einer instationär hygrothermischen Berechnung eine gewisse Erfahrung mit dem Verfahren voraussetzt. Im Gegensatz zum einfachen Glaserverfahren der DIN 4108 oder dem Monatsmittelwertverfahren der DIN EN ISO 13788 gibt es für die Beurteilung bislang normativ keine eindeutig festgelegten Grenzwerte. Geht man davon aus, dass die Angaben des WTA-Merkblatts zukünftig in die entsprechenden Normen einfließen, wäre dann endlich wieder ein Zustand geschaffen, wo der Hinweis auf ein Nachweisverfahren auch die dazugehörigen Nachweiskriterien enthalten würde.

Die Genauigkeit und die Realitätsnähe der durchgeführten Berechnungen sind in erster Linie von der Verfügbarkeit der notwendigen Eingabedaten abhängig. In manchen Fällen müssen beim Fehlen grundlegender Informationen Abschätzungen getroffen werden. Inwiefern solche die Realität widerspiegeln, wird im Wesentlichen von der Erfahrung und Kompetenz der jeweiligen Bearbeiter beeinflusst.

Während der Gebäudestandzeit ist zudem nicht auszuschließen, dass sich die Randbedingungen, die für die Berechnung verwendet wurden, verändern: Möglicherweise wird die Dachfläche nach einiger Zeit durch Bäume verschattet, so dass sich andere Temperaturen auf der Dachoberseite einstellen, als zunächst angenommen. Auch die Absorptionsstrahlung ist variabel. Die Dachkonstruktion selbst unterliegt möglicherweise Veränderungen: Solaranlagen werden ggf. erst später installiert oder eine nicht abgedeckte Dachfläche wird im Nachhinein mit einem Gründachaufbau versehen. Auch in diesen Fällen decken sich die gebaute Realität und die für die instationären hygrothermischen Berechnungen festgelegten Parameter nicht.

6.1.10 Zusammenfassung

Neben der Vielzahl der Einflussfaktoren auf die Berechnungen und die Vielzahl der Berechnungsergebnisse, denen bisher noch keine normativ festgelegten Grenzwerte zur Bewertung gegenübergestellt wurden, gibt es Folgendes zu bedenken:

Alle instationär hygrothermischen Berechnungen können im besten Fall Leckagen durch einen erhöhten, gleichmäßigen Feuchteeintrag simulieren. Punktuelle größere Leckagen, Konzentrationen an einer bestimmten Stelle der Konstruktion oder punktuelle Leckstellen von außen sind nicht zu erfassen. Sie bleiben als hohes Risiko für unbelüftete Holzdachkonstruktionen bestehen, auch wenn der Regelquerschnitt mit Hilfe der Berechnungen als bauphysikalisch funktionsfähig bewertet wurde.

6.2 Freilanduntersuchungen

Zur Validierung von instationären hygrothermischen Berechnungen werden von verschiedenen Instituten regelmäßig Freilanduntersuchungen durchgeführt. In Bezug auf die hier behandelten Konstruktionen sind insbesondere die beiden folgend kurz beschriebenen Untersuchungen wichtig.

6.2.1 Leipzig [Winter/Fülle/Werther 2009]

In dieser Studie wurden Freilandversuche am Versuchsstand bei der MFPA in Leipzig in einem Zeitraum vom 01.12.2007 bis 15.09.2008 durchgeführt. Die Dachschalungen aus OSB-Platten wurden mit einer Feuchte von 12 Masse-% eingebaut. Die Dachflächen wa-

ren teils mit schwarzer, unbedeckter Abdichtungsbahn versehen, teils mit Gründachaufbau oder anderen Varianten. Als Dämmung wurde sowohl Mineralwolle als auch Zellulose verwendet. Alle Varianten waren mit feuchtevariablen Dampfsperren ausgestattet – zum Teil bahnenförmig mit einer feuchtevariablen Dampfbremse mit großer Spreizung (INTELLO, PE + PP), zum Teil mit einer OSB-Platte.

Als Ergebnis wurden die Feuchtegehalte an der Grenzschicht zwischen Dämmung und OSB-Schalung, die Feuchtegehalte der OSB-Schalung selbst sowie die Materialfeuchte der Sparren gemessen.

Anschließend wurden die Messwerte mit entsprechenden instationären hygrothermischen Simulationen verglichen. Es zeigte sich einerseits eine gute Übereinstimmung gemessener und gerechneter Werte. Andererseits gab es hinsichtlich des Austrocknungsverhaltens im Sommerfall auch deutliche Abweichungen. Insbesondere lag die Schwierigkeit hier in den offenbar noch unzureichend rechnerisch erfassbaren Feuchtetransportvorgängen bei Mineralwolle-Dämmstoffen. Im Verlauf der Studie wurden im Simulationsprogramm auch OSB-Platten dahingehend differenziert berechnet, dass sie in der Oberfläche aufgrund des dort höheren Leimanteils einen höheren Diffusionswiderstand aufweisen.

Als Kriterium für den Nachweis der Funktionsfähigkeit und hygrischen Unbedenklichkeit der Konstruktion wurde die Überschreitung einer maximalen Holzfeuchte von 20 M-% bzw. Überschreitung von 18 M-% bei OSB-Platten angewandt.

Insgesamt kamen die Autoren zu dem Schluss, dass von den acht untersuchten Dachaufbauten folgende Aufbauten hygrisch unbedenklich seien:

- Schwarze PVC-Bahn – OSB-Platte – Zellulosedämmung – feuchtevariable Dampfsperre
- Schwarze PVC-Bahn – OSB-Platte – Zellulosedämmung – OSB-Platte
- Gründach – PVC-Bahn – OSB-Platte – Zellulosedämmung – feuchtevariable Dampfsperre
- Schwarze PVC-Bahn – OSB-Platte – Mineralwolledämmung – feuchtevariable Dampfsperre

Nicht zu empfehlen sind nach den Untersuchungen alle weiteren Gründachversionen der Versuchsaufbauten.

6.2.2 Wien [Nusser/Teibinger/Bednar 2010]

Um das Rücktrocknungspotential von unbelüfteten Flachdachkonstruktionen mit feuchtevariablen Dampfbremsen zu untersuchen (Untersuchungszeitraum 02.2008 bis 08.2009) wurden auf zwei Forschungshäusern der Holzforschung Austria in Wien insgesamt 15 unterschiedliche Dachaufbauten errichtet. Diese umfassten neun besonnte und sechs verschatteten Teildachflächen. Die Dämmung bestand aus Mineralwolle. Die Dachpakete hatten unterschiedliche feuchtevariable Dampfbremsen und unterschiedliche unterseitige Beplankungen, in einem Fall auch eine Installationsebene und in einem anderen Fall auch eine Begrünung. Die Dachabdichtung aus schwarzer EPDM-Bahn war ansonsten nicht abgedeckt.

Klimawerte im Dachpaket wurden sowohl auf der Gefachaußenseite als auch auf der Gefachinnenseite gemessen.

Es wurde Folgendes festgestellt: Trotz des Einbaus von feuchtevariablen Dampfsperren mit unterschiedlicher Spreizung der s_d -Werte waren keine signifikanten Unterschiede in den Feuchtegehalten vorhanden. Bei den verschatteten Dachaufbauten waren deutlich höhere relative Luftfeuchten messbar – die in Bezug auf Schimmelpilzwachstumsbedingungen auch in kritischen Bereichen lagen – als bei den unverschatteten. Eine andauernde Verschattung müsse daher unbedingt vermieden werden. Bei den besonnten Dächern lagen die höchsten relativen Feuchten auf der Gefachinnenseite, wo es auch zu Sommerkondensat kommen könne. Durch eine innenseitige Installationsebene könne das Sommerkondensat ggf. vermieden werden.

Die Feuchteverhältnisse an der Innenseite seien in Bezug auf biologisches Wachstum deutlich kritischer als an der außenseitigen Beplankung. Im Untersuchungszeitraum wurde aber kein Schimmelbefall festgestellt. Außerdem wurden firstseitig höhere absolute Feuchten in der außenliegenden Schalung gemessen als traufseitig, was die Autoren auf Rotationsströmungen im Gefach zurückführen.

Die Materialfeuchten lagen offenbar sowohl bei den besonnten als auch bei den verschatteten Dächern im Mittel unter 20 M-%. Allerdings wurden hierbei offenbar höhere Feuchten bei den besonnten Dächern gemessen als bei den verschatteten Dächern. Untersuchungen zu diesem Sachverhalt seien noch im Gange.

6.3 Zusammenfassung

Die Freilanduntersuchungen belegen, dass die Feuchteverhältnisse in unbelüfteten Holzflachdächern mit unterseitiger feuchtevariabler Dampfbremse auch unter laborähnlichen Bedingungen kritisch sein können. Die kritischen Feuchtegehalte in Holzbauteilen werden in den Versuchen in der ersten Untersuchung insbesondere durch sorptive Dämmstoffe (Zellulose) vermindert. Das Langzeitverhalten von sorptiven und feuchtebelasteten Dämmstoffen war allerdings nicht Inhalt der Studie und sollte bei deren Anwendung ggf. kritisch hinterfragt werden. In der zweiten Untersuchung bleiben die Holzfeuchten zwar unkritisch trotz Abdichtungsbahn mit höherem s_d -Wert und trotz Verschattung. Es wurden aber auch unterschiedlich hohe Feuchtegehalte zwischen First- und Traufbereich sowie zwischen Winter- und Sommerfall festgestellt.

7. Alternativen

7.1 Belüftung

Belüftete Konstruktionen sind im Hinblick auf die Abfuhr von unplanmäßig eingebrachter Feuchte üblicherweise deutlich fehlertoleranter. Sie werden bei Flachdächern häufig nicht angewandt, weil die Belüftungsöffnungen zum Teil nur kompliziert hergestellt werden können und die Gefahr besteht, dass sie nicht funktionstüchtig sind. Zudem ist bekannt, dass eine gute Belüftung in erster Linie mit dem thermischem Auftrieb zusammenhängt. Dieser ist bei flachen Dachneigungen gering.

Der folgende Absatz im [ZVDH Merkblatt Wärmeschutz 2004] formuliert die Risiken eines belüfteten Dachaufbaus:

„Bei Dachkonstruktionen mit geringer Dachneigung kann in einem durchlüfteten Dachraum Luftbewegung nur durch Windeinwirkung, Druckdifferenzen an Dachkanten (Staudruck und Windsog) und temperaturbedingten Überdruck in der Belüftungsebene bewirkt werden [...] Dies ist in der Regel nicht der Fall, wenn sich eine Dachfläche in enger Bebauung befindet und z.B. auf allen Seiten von höheren Gebäuden umgeben ist... Die Funktion von Lüftungsöffnungen kann kurzfristig durch Schnee ausfallen bzw. beeinträchtigt werden. Eine geplante Belüftung der Dachfläche kann durch Aufbauten, stark strukturierte Dachflächen, häufig unterbrochene Belüftungsebenen, ungünstige Dachformen etc. zum Erliegen kommen bzw. deren Funktion wesentlich einschränken. In solchen Fällen sind unbelüftete Dächer hinsichtlich der bauphysikalischen Funktion zuverlässiger.“

Auch wenn, wie oben beschrieben, unter ungünstigen Randbedingungen die geplante Belüftung eines Dachaufbaus zeitweise nicht stattfindet, so ist doch andererseits davon auszugehen, dass eine Feuchteanreicherung in einer Luftschicht eher vermieden wird, wenn ein Abtransport der Feuchte möglich ist und insbesondere an den Hochpunkten einer Belüftungsschicht eine Verbindung mit der Außenluft besteht. Die Erhöhung des Feuchtegehalts in den Holzbauteilen durch die Belüftungsschicht, wie sie in [Künzel/Großkinsky 1989] für die Holzbalken unterhalb der Unterspannbahn beschrieben wurde, muss dann zwar für die Bauteile über einer diffusionsoffenen Unterspannbahn hinge-

nommen werden. Der zeitweisen Erhöhung des Feuchtegehalts in Schalung und Lattung steht aber auch ein hohes Austrocknungspotential gegenüber.

Die belüftete Konstruktion eines flach geneigten Daches ist auch in DIN 68800-2:2012-02 in Anhang A, Bild 17, dargestellt. Der Lüftungsraum soll danach bei Dächern zwischen 3° und 5° mindestens 150 mm betragen.

Freie Lüftungsquerschnitte im Dachbereich und an den Bauteilrändern sollten nach den Regeln für belüftete Luftschichten über Dämmungen gemäß den Dachdeckerregeln und der [DIN 4108-3] konzipiert werden. Abdichtung und Schalung können in Anlehnung an das Merkblatt [ZVDH 2010-01] anstelle der Dachdeckung eingebaut werden. Im Hinblick auf die Belüftung ist dort Folgendes ausgeführt:

„Für den Raum zwischen der zusätzlichen Maßnahme (Anmerkung der Autoren: gemeint sind hier Unterspannbahnen, Unterdeckungen und Unterdächer) und der Dachdeckung haben sich Zu- und Abluftöffnungen im Trauf- und Firstbereich bewährt. Die in der DIN 4108-3 geforderten Lüftungsquerschnitte für belüftete Dächer gelten für diesen Raum zwar nicht, haben sich aber in der Praxis bewährt und werden empfohlen.“

Die Dimensionierung der Lüftungsquerschnitte wird in [DIN 4108-3] detailliert beschrieben. Zur Nachweisfreiheit belüfteter Dächer mit einer Dachneigung $\geq 5^\circ$ heißt es:

„- die Höhe des freien Lüftungsquerschnittes innerhalb des Dachbereiches über der Wärmedämmschicht muss mindestens 2 cm betragen.

- der freie Lüftungsquerschnitt an den Traufen bzw. an Traufe und Pultdachabschluss muss mindestens 2‰ der zugehörigen Dachfläche betragen, mindestens jedoch 200cm²/m.

- an Firsten und Graten sind Mindestlüftungsquerschnitte von 0,5‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche erforderlich, mindestens jedoch 50 cm²/m.

Nach Auffassung der Autoren sollten die Feuchtegehalte solcher Konstruktionen in praxisnahen Untersuchungen dokumentiert werden. Das Schadenspotential dürfte weitaus geringer sein als bei der hier untersuchten, unbelüfteten Konstruktion. Wie die Erhebung unter den Sachverständigen zeigt, wird diese Auffassung auch von diesen in überwiegender Anzahl vertreten.

7.2 Aufdachdämmung

Als Aufdachdämmung ist eine Schichtenfolge zu verstehen, bei der Dampfsperre/Luftdichtheitsschicht, Wärmedämmung und Abdichtung oberhalb der tragenden Holzkonstruktion eingebaut werden.

Entsprechende Konstruktionen sind auch in [DIN 68800-2:2012-02] in Bild A.18 und A.19 dargestellt.

Die Holzkonstruktion liegt damit vollständig im Einfluss des Innenraumklimas und damit auf der warmen Seite des Bauteils. Ein Diffusionsprozess im Holz findet nicht statt, die Holzeinbaufeuchte kann gefahrlos in den Innenraum austrocknen. Eine kritische Auffeuchtung von tragenden Holzbauteilen ist damit in der Regel ausgeschlossen. Selbstverständlich können auch die Aufdachdämmungen aufgrund von Leckagen oder eingeschlossener Baufeuchte wie bei jedem Warmdachaufbau von Flachdächern durchfeuchtet werden. Das Schadensfolgerisiko ist aber deutlich geringer, weil es sich bei den Bauteilschichten meist um feuchteunempfindliche Baustoffe handelt und keine tragenden (Holz-)Bauteile großflächig und unbemerkt zerstört werden können. Bei der Wahl des Dämmstoffs sollte allerdings der erforderliche bzw. gewünschte Schallschutz berücksichtigt werden.

8. **Empfehlungen in Deutschland**

Auf dem Holzbaukongress in Leipzig 2011 [Borsch-Laaks 2011] wurde ein Konsenspapier der Referenten verfasst. Hierin wird beschrieben, dass der Einbau von Dampfsperren $s_{d,i} \geq 100$ m nicht mehr den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Weiterhin wurden u. a. für ein nachweisfreies Flachdach die folgenden sog. „7 goldenen Regeln“ entwickelt:

7 goldene Regeln für ein nachweisfreies Flachdach ...

(bei normalem Wohnklima nach EN 15026 bzw. WTA Merkblatt 6-2)

- 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 Dammschicht und*
- 6. eine geprüfte Luftdichtheit und es*
- 7. wurden vor dem Schließen des Aufbaus die Holzfeuchten von Tragwerk und Schalung ($u \leq 15 \pm 3$ M-%) bzw. Holzwerkstoffbeplankung ($u \leq 12 \pm 3$ M-%) dokumentiert.*

Einige dieser Hinweise wurden bei der Überarbeitung der Holzschutznorm [DIN 68800-2:2012-01] für eine nachweisfreie Konstruktion übernommen. Hinzugefügt wurde insbesondere folgende Hinweise:

- die Dachelemente müssen werkseitig vorgefertigt werden
- Installationen sind raumseitig der Luftdichtung zu führen
- feuchtebedingte Längenänderungen der oberseitigen Beplankungen sind durch ausreichende Fugenbreiten oder durch Beschränkung der Plattenmaße zu minimieren
- die Verschattungsfreiheit muss baurechtlich auf Dauer sichergestellt sein.

Entfallen ist der Hinweis auf ein übliches Wohnraumklima.

9. Empfehlungen in den Nachbarländern

9.1 Österreich

Die von [Nusser/Teibinger/Bednar 2010] durchgeführten Freilanduntersuchungen mit verschatteten und nicht verschatteten Flachdachaufbauten wurden bereits im Kapitel 6.2 beschrieben.

Aus instationär hygrothermischen Berechnungen haben [Teibinger/Nusser 2010] von der Holzforschung Austria sehr umfangreiche und sehr differenzierte Bauteilkonstruktionen definiert, die nach den instationär hygrothermischen Berechnungen funktionieren. Je nach Luftdichtheitsklassen, inneren Bekleidungen, s_d -Wert der Dampfbremse, Art der Dachabdichtung und Feuchteklassen ([WTA 6-2-01/D]) werden dort die Beschattungsklassen bestimmt, bei denen vorgefertigte (wie auch andere) Konstruktionen nachgewiesen wurden und daher entsprechend nachweisfrei sind.

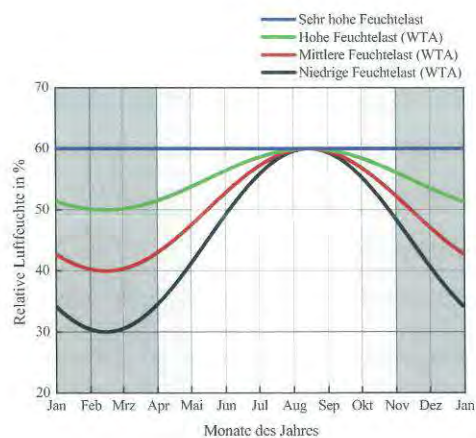
8.7 Entscheidungsbaum

Attika		
Höhe in cm 0-50	Höhe in cm 50-80	Höhe in cm > 80
OHNE zusätzliche Beschattungsanalyse des Attikabereichs		MIT zusätzlicher Beschattungsanalyse des Attikabereichs

Tabelle 48
S. 81

Luftdichtheits- klasse (LDK)

A+	A	B	C
vor- gefertigt	$n_{50} \leq 1,5$ 1/h	$n_{50} \leq 3,0$ 1/h	ohne Prüfung



Einzelnachweis

Foliendach
ohne
Auflast

Anforderungen
nicht
einzuhalten

feuchtetechnisch
optimierte Version
mit Zusatzdämmung

Innenklima	Sehr hohe Feuchtelast	Nicht nachweisfrei	Nicht nachweisfrei
	Hohe Feuchtelast	Nicht nachweisfrei	Tabelle 47 S. 79
	Mittlere Feuchtelast	Tabelle 33 S. 68	Tabelle 46 S. 79
	Niedrige Feuchtelast	Tabelle 32 S. 67	Tabelle 45 S. 78
Innenklima	Sehr hohe Feuchtelast	Nicht nachweisfrei	Nicht nachweisfrei
	Hohe Feuchtelast	Tabelle 31 S. 66	Tabelle 44 S. 77
	Mittlere Feuchtelast	Tabelle 30 S. 66	Tabelle 43 S. 77
	Niedrige Feuchtelast	Tabelle 29 S. 65	Tabelle 42 S. 76
Innenklima	Sehr hohe Feuchtelast	Tabelle 28 S. 64	Tabelle 41 S. 75
	Hohe Feuchtelast	Tabelle 27 S. 63	Tabelle 40 S. 74
	Mittlere Feuchtelast	Tabelle 26 S. 63	Tabelle 39 S. 74
	Niedrige Feuchtelast	Tabelle 25 S. 62	Tabelle 38 S. 73
Innenklima	Sehr hohe Feuchtelast	Tabelle 24 S. 61	Tabelle 37 S. 72
	Hohe Feuchtelast	Tabelle 23 S. 61	Tabelle 36 S. 72
	Mittlere Feuchtelast	Tabelle 22 S. 60	Tabelle 35 S. 71
	Niedrige Feuchtelast	Tabelle 21 S. 60	Tabelle 34 S. 71

Abb. 68: Entscheidungsbaum aus [Teibinger/Nusser 2010]

Eine typische Tabelle aus dem Bericht zeigt die Einflussparameter der Berechnung, die bei der Konstruktion eingehalten werden müssen:

inneren Bepankung	s_d -Wert der Dampfbremse	Beschattungsklasse bei a_{sol} der Dachbahn		
		$0,6 \leq a_{sol} < 0,8$ (z.B. hellgrün, hellgrau)	$0,8 \leq a_{sol} < 0,9$ (z.B. dunkelbraun, dunkelgrau)	$a_{sol} \geq 0,9$ (z.B. schwarz)
≤ 3.0 m (z.B. OSB, MDF, GKF)	$s_{d(\varphi=30\%)} \geq 3.5$ m $s_{d(\varphi=85\%)} \leq 1.0$ m			D
	$s_{d(\varphi=30\%)} \geq 9.0$ m $s_{d(\varphi=85\%)} \leq 1.0$ m		D	C
≤ 0.2 m (z.B. MDF, GKF)	$s_{d(\varphi=30\%)} \geq 3.5$ m $s_{d(\varphi=85\%)} \leq 1.0$ m		D	C
	$s_{d(\varphi=30\%)} \geq 9.0$ m $s_{d(\varphi=85\%)} \leq 1.0$ m	D	B	A

gelb: mit dieser Dachbahn nicht nachweisfrei
grün: nachweisfrei für die angegebene Beschattungsklasse (Tabelle 20, S.58)

Abb. 69: Bauteilkomponenten und resultierende Beschattungsklassen A – D, Tabelle 23 aus: [Teibinger/Nusser 2010]

Anzumerken ist, dass bei den Tabellen jeweils von niedriger, mittlerer und hoher Feuchtelast ausgegangen wird. Diese Kategorien unterscheiden sich durch das mittlere zu erwartende Innenraumklima von ca. 30 % r. F. ca. 40 % r. F. und ca. 50 % r. F. In der Praxis wird es sicherlich schwierig werden, diese mittleren Feuchtegehalte im Nutzungszustand und bei unterschiedlich genutzten Räumen unter der Dachfläche einzuhalten und zu kontrollieren.

Die einzelnen Beschattungsklassen, die eingehalten werden müssen, sind wie folgt definiert:

Beschattungs- klasse (BK)	Maximale Dauer der Beschattung
A	$\leq 4^1$ Std. / $\leq 6^2$ Std.
B	$\leq 2^1$ Std. / $\leq 4^2$ Std.
C	$\leq 1^1$ Std. / $\leq 2^2$ Std.
D	keine Beschattung zulässig!

¹ wenn 13 Uhr überschritten wird
² vor oder nach 13 Uhr

Abb. 70: Beschattungsklassen aus [Teibinger/Nusser 2010]

Auch diese sehr differenzierte Vorgabe, die eine exakte Berechnung der Verschattungszeiträume der Dachfläche voraussetzt, muss für die Standzeit des Gebäudes sichergestellt bleiben, was im Einzelfall problematisch sein könnte.

Die „Holzforschung Austria“ stellt auf der Seite [www.dataholz.com] einen „Katalog bauphysikalisch, ökologisch geprüfter und/oder zugelassener Holz- und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilanschlüsse für den Holzbau freigegeben von akkreditierten Prüfanstalten“ zur Verfügung.

Die Kennwerte können als Grundlage für die Nachweisführung gegenüber österreichischen Baubehörden herangezogen werden.

Auf der Seite [www.dataholz.com] sind in erster Linie Konstruktionen mit Belüftungsschicht dargestellt. Bei den Konstruktionen mit nicht unterlüfteter Dachhaut liegt die Wärmedämmung mit überwiegendem Anteil oberhalb der Holztragkonstruktion, die meist als Holzmassivbaukonstruktion, d. h. aus Brettsper Holzplatten bestehend, dargestellt ist. Ein Flachdachaufbau in Holzrahmenbauweise, der nicht hinterlüftet ist, wird dort zwar inzwischen auch aufgeführt, ist aber mit folgendem Warnhinweis versehen:

„ACHTUNG: Der Aufbau benötigt hinsichtlich des Feuchteschutzes einen objektbezogenen Nachweis bez. Parameter wie z. B. Klima, Beschattungsklasse, etc.“

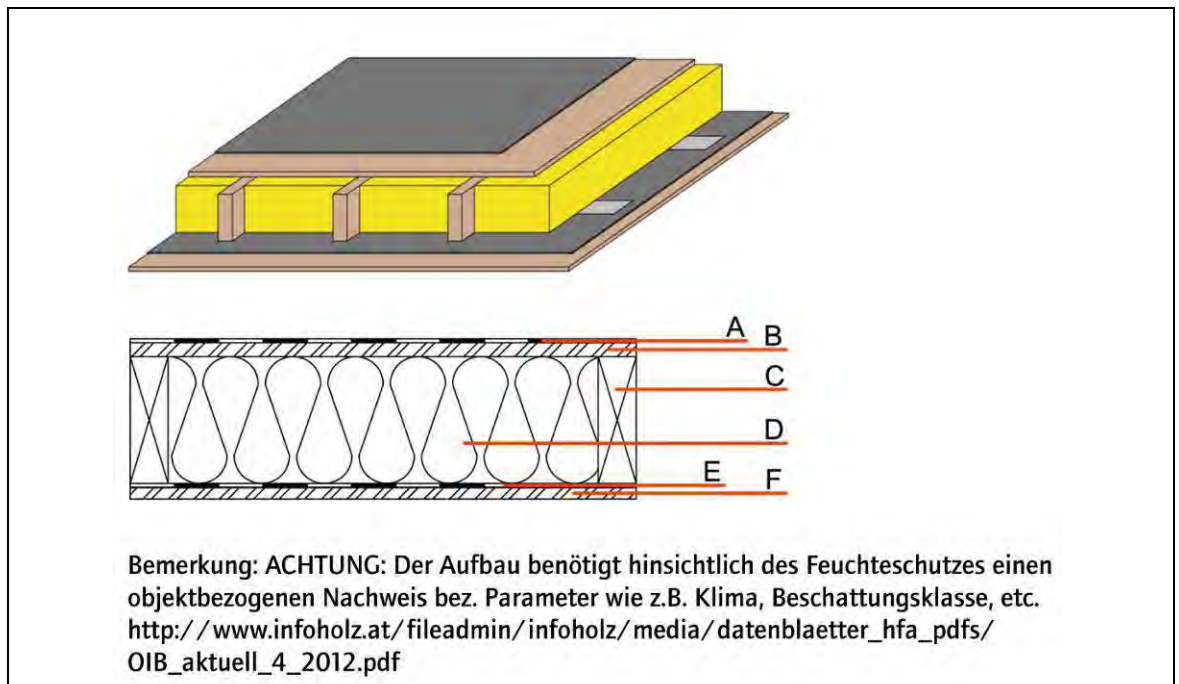


Abb. 71: Unbelüftetes Holzdach [www.dataholz.com]

In [Teibinger/Nusser 2010] werden in Bezug auf die hier untersuchten Flachdachkonstruktionen Empfehlungen als "Do's und Dont's" formuliert. In dieser Veröffentlichung ist auch eine Liste mit Wartungsintervallen für flach geneigte Dachkonstruktionen aufgeführt.

Laut [Teibinger/Nusser 2010] sind nachweisfreie Konstruktionen in Österreich gemäß ÖNORM B 8110-2 möglich, wenn für hinterlüftete Dachhaut bei $s_d > 10$ m, bei einem frei bleibenden Lüftungsspalt von 3 cm und Zu- und Abluftquerschnitten von $200 \text{ cm}^2/\text{m}$, die Dachneigung $> 15^\circ$ ist und die Dachschrägenlänge < 10 m sind. Alternativ sind Dächer mit Aufsparrendämmung mit $s_d > 90$ m oder Umkehrdächer auszuführen.

Für nicht hinterlüftete Flachdächer stellt [Teibinger 2012] klar:

„Selbst beim Einsatz von PVC-Dachabdichtungen mit s_d -Werten von „nur“ 19,5 m entsprechen diese Aufbauten nicht den allgemeinen Grundsätzen des nach außen hin diffusionsoffenen Holzbaus.“ Es wird darauf hingewiesen, dass die Grenzen der Rücktrocknungsmöglichkeiten dieser Dachaufbauten in zwei im Jahr 2009 abgeschlossenen Forschungsprojekten untersucht wurden. Damit sind die beiden Untersuchungen [Winter/Fülle/Werther 2009] und [Nusser/Teibinger/Bednar 2010] gemeint, deren Ergebnisse in Kap. 6.2 zusammengefasst wurden.

Zusammenfassung:

Auch in Österreich wird deutlich vor dem feuchtetechnischen Risiko nicht belüfteter Flachdachkonstruktionen gewarnt. Es liegen zwar umfangreiche Nachweisberechnungen auf der Grundlage instationär hygrothermischer Untersuchungen vor. Bei der Bauausführung entsprechender Konstruktionen müssen die dort zugrunde gelegten Randbedingungen aber sehr genau einhalten und es muss dafür gesorgt werden, dass diese sich während der Standzeit des Gebäudes nicht ändern.

9.2 Schweiz

In [Zumoberhaus 2011] wird davon ausgegangen, dass in der Schweiz mehr als in den Nachbarländern die Flachdächer bekiest oder begrünt ausgeführt werden. Deswegen würden sich konstruktive Maßnahmen wie Bauzeitabdichtung und Zusatz- bzw. Überdämmung wegen der größeren Fehlertoleranz immer mehr durchsetzen.

Der Autor verweist u. a. darauf, dass „trotz der größeren Fehlertoleranz dieser Konstruktionen“ [gemeint sind raumseitig diffusionsoffene Konstruktionen] „einige – vor allem verformungsbedingte – Schäden [...] zeigen, dass auch den diffusionsoffenen Konstruktions-typen gewisse Grenzen gesetzt werden müssen.“ In der für Flachdächer allgemein verbindlichen Norm [SIA 271] sei die Anforderung aufgenommen, dass die feuchtetechnische Funktionstauglichkeit bezüglich Holzfeuchte und Kondensatauftritt mit einem validierten dynamischen Berechnungsmodell nachzuweisen sei.

In der Schweiz werden für Holzflachdächer ohne Unterlüftung der Abdichtung inzwischen eine Zusatzdämmung und eine Bauzeitabdichtung empfohlen [Zumberhaus 2011] (sowie die diffusionsoffene bzw. feuchtevariable Dampfsperbahn). Das bedeutet, dass auf den Aufbau mit Vollsparrendämmung eine zusätzliche Dämmschicht und eine zusätzliche Abdichtung aufgebracht werden.

Der Vorteil: Der Diffusionsvorgang von innen nach außen wird nicht an der „kalten“ Abdichtung bzw. Schalung gebremst, sondern diese kritische Ebene liegt jetzt im warmen Bereich. Die Gefahr eines Tauwasserausfalls oder hoher Feuchte aufgrund von Diffusion oder zulässiger Dampfkonvektion ist also deutlich vermindert. Ein Feuchteeintrag ins Holz während der Bauzeit kann kontrolliert und auch im Winter zügig wieder abgebaut werden, bevor die Vollsparrendämmung eingebaut wird. Eine Leckage in der Flachdachabdichtung wird sich nicht unmittelbar auf die Holzkonstruktion auswirken, sondern „nur“ die obere Dämmschicht betreffen.

Im Merkblatt [SVDW 2007] sind in der Regel eine Bauzeitabdichtung und eine Zusatzdämmung gefordert. In [Zumberhaus 2011] wird dazu erläutert, dass die Vorteile der beiden Zusatzschichten den Nachteil der verminderten Austrocknung im Sommer infolge Umkehrdiffusion überwiegen würden. Folgende Argumente werden dafür zusammengestellt:

„- Erhöhter Feuchteschutz der Holztragkonstruktion durch „Sekundärabdichtung“ (analog Funktion Unterdach beim weit weniger problematischen geneigten Dach)

- Verbesserung der Fehlertoleranz bezüglich Feuchteeintrag infolge Dampfkonvektion*
- geringeres Risiko von Kondensat- und Eisbildungsschäden unter der Abdichtungsbahn*
- erhöhter Witterungsschutz während der Bauphase*
- Möglichkeit zur Erstellung des notwendigen Gefälles mit Gefälledämmplatten*
- reduzierte Auffeuchtung der oberen Beplankung im Winterhalbjahr“*

Aktuell würden sich folgende Anforderungen durchsetzen:

„- Holzfeuchte max. 20 % (Ausnahme: kurze Periode im Winter)

- Kondensatfreiheit bzw. max. 95 % r. F. innerhalb der Konstruktion

- Verhinderung von bimetallartigen Verformungen der Holzelementkonstruktion (vgl. - gegenzyklisches Holzfeuchteverhalten innen/außen, Verbindungsmittel)

- Einbaufeuchte Holz max. 16 %

-Sicherstellung Austrocknungspotential“

Da bei es bei instationär hygrothermischen Berechnungen zunächst nur in geringem Umfang Sicherheitszuschläge gab (s. a. im Kapitel „instationär hygrothermische Berechnungen“), wurde in [Zumberhaus 2011] für schweizerische Verhältnisse folgendes Sicherheitskonzept entworfen:

- Austrocknungspotential (250 g/m²·a)
- Berechnungsmodell gemäß WTA 6-1-01 und EN 15026, (WUFI)
- Klimarandbedingungen: ungünstige Klimadatensätze (z. B. Datensatz Zürich kalt, WTA Merkblatt 6-2-01)
- Verschattungen Anpassung der Strahlungskennwerte
- Klimaeinflüsse Bauphase: Simulation beginnt standardmäßig am 1.10. mit einer über das Bauteil gemittelten Anfangsfeuchte von 80 % r. F.
- Konstruktion: Verbesserung der langfristigen Funktionstüchtigkeit durch Sekundär- bzw. Bauzeitabdichtung und einer Zusatz- bzw. Überdämmung.
- Ausführung: Blower-Door-Messungen zur Kontrolle der Luftdichtheitsmessungen mit Leckageortung.

Im Jahr 2005 wurde vom damaligen „Schweizerischen Verband Dach und Wand“ unter Einbeziehung verschiedener Fachleute ein Projekt mit dem Thema „Feuchteschutz bei

Flachdächern in Holzbauweise“ gestartet [Zumoberhaus 2011]. Daraus ist das Merkblatt [SVDW 2007] entstanden.

Neben einem Dachaufbau mit Belüftungsschicht und einem Dachaufbau, bei dem die Dämmschicht oberhalb der Tragkonstruktion angeordnet ist, werden zwei Dachaufbauten mit unbelüfteten Dämmschichten in der Ebene der Tragkonstruktion dargestellt.

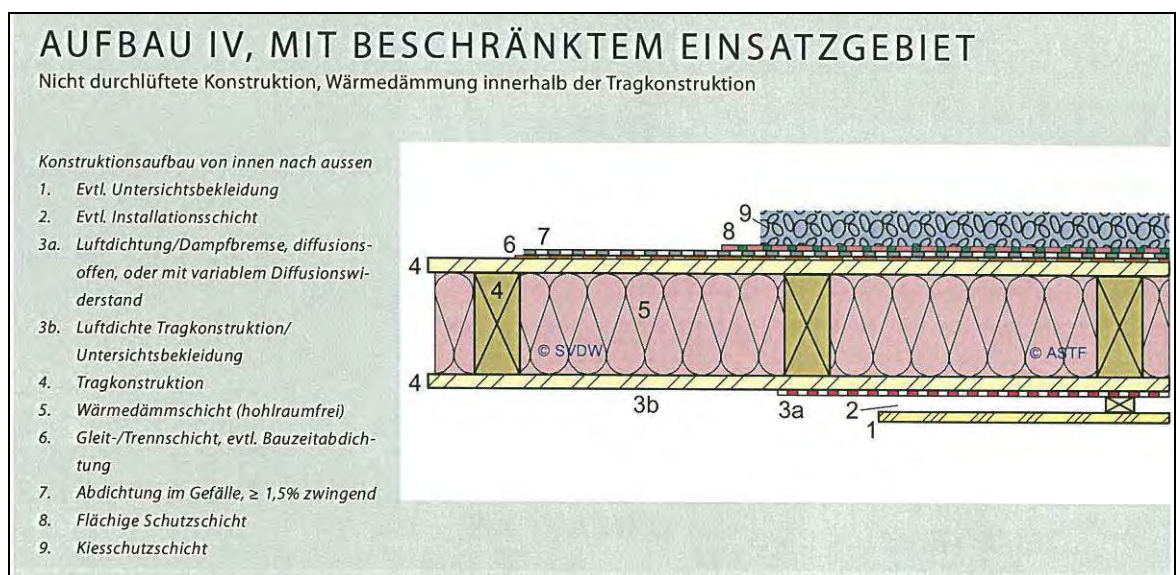


Abb. 72: Dachaufbau IV [SVDW 2007]

Bei einem Dachaufbau (Nr. IV) ist keine weitere Dämmschicht eingebaut (s. Abb. 72). Diese Konstruktion wird nur für ein „beschränktes Einsatzgebiet“ empfohlen. Darunter versteht man in dem Merkblatt „Gebäude mit niedriger Feuchtebelastung der Raumluft bzw. Gebäude mit trockenen Raumklimabedingungen“.

Für diesen Dachaufbau sind die Anforderungen sehr streng gefasst. Grundsätzlich wird gefordert:

- „- erhöhte Planungsaufwendungen und Ausführungskontrollen, z. B. Luftdichtigkeitsmessungen (Blower Door mit Leakageortung)
- Konstruktionen ohne oder mit geringem Austrocknungspotential, d. h. mit stark dampfbremsenden Innenschichten bzw. Dampfbremsfolien ($s_d \geq 10 \text{ m}$) sind nicht zulässig
- Glaserverfahren ist als Nachweisverfahren nicht zulässig

- Nachweisverfahren mit WUFI von erfahrener Fachperson. Der Nachweis muss mindestens Angaben zum Kondensatrisiko innerhalb der Konstruktion und den zu erwartenden Holzfeuchteänderungen der verschiedenen Schichten enthalten.
- Bei statischem Verbund der unteren und oberen Beplankung (Hohlkasten, Rippendecke) sind die Auswirkungen von feuchtebedingten Verformungen zu berücksichtigen.
- Die Verleimung ist auf die im Gebrauchszustand zu erwartenden Feuchtigkeiten abzustimmen (WUFI-Berechnung)
- Installationen sind warmseitig der Luftdichtung zu führen.
- Durchdringungen sind nicht zulässig.“

Zu Planungs- und Ausführungshinweisen wird ausgeführt:

„- Von einer handwerklichen Baustellenfertigung ist abzusehen

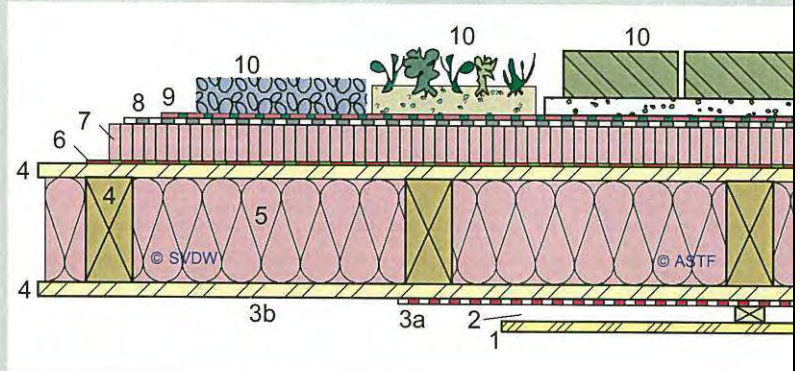
- Beschattete, auch teilbeschattete Dächer (z. B. durch Bäume, Solaranlagen, nebenstehende Gebäude) sind kritisch und müssen spezifisch überprüft werden.
- Gleit-/Trennschicht unter Abdichtung gemäß Systemhalter
- Auffeuchtungen über Außenwände oder Trennwände in die Konstruktion sind nicht zulässig
- Die Wärmedämmung ist hohlraumfrei auszuführen
- Bei ausschließlicher Nagelverbindung sind bei der oberen Beplankung keine glattschaftigen Nägel zulässig
- s. generell auch SIA 271, Abdichtungen von Hochbauten 2007“

In der entsprechenden Querschnittszeichnung kommt eine weitere Anforderung hinzu:

„- die Abdichtung muss zwingend mit einem Gefälle von $\geq 1,5$ % erfolgen, dazu ist die Tragkonstruktion entsprechend zu planen und auszuführen.“

Nicht durchlüftete Konstruktion mit Wärmedämmung innerhalb der Tragkonstruktion und Zusatzdämmung

1. Evtl. Untersichtsbekleidung
2. Evtl. Installationsschicht
- 3a. Luftdichtung/Dampfbremse diffusionsoffen, oder mit variablem Diffusionswiderstand
- 3b. Luftdichte Tragkonstruktion, Untersichtsbekleidung
4. Tragkonstruktion
5. Wärmedämmschicht (hohlraumfrei)
6. Bauzeitabdichtung gemäss SIA 271
7. Zusatzdämmung mind. 40 mm
8. Abdichtung im Gefälle $\geq 1,5\%$
9. Flächige Schutzschicht
10. Schutz-/Nutzschicht gemäss SIA 271



Eine höhere Funktionssicherheit wird dem Dachaufbau III zugeschrieben (s. Abb. 73). Er zeichnet sich dadurch aus, dass - gegenüber dem Dachaufbau mit Wärmedämmung ausschließlich in der Ebene der Tragkonstruktion - über der äußeren Tragschalung eine Bauzeitabdichtung und eine Zusatzdämmung eingebaut wird, worauf die üblichen Flachdachschichten (Abdichtung, Schutzschicht, Kies, Begrünung oder Plattenaufbau) aufgebracht werden können.

- Bauzeitabdichtung gemäß SIA 271
- Zusatzdämmung mindestens 40 mm

- Gefällegebung der Abdichtung $\geq 1,5 \%$ kann durch die Tragkonstruktion oder die Zusatzdämmung erfolgen

Auch für solche Konstruktionen gilt allerdings der Hinweis:

„Unbelüftete Konstruktionen des Aufbaus III weisen in feuchtetechnischer Hinsicht eine geringe Fehlertoleranz auf.“

9.3 Belgien

In Belgien wird die Konstruktion als „Compactdaken“ (nicht zu verwechseln mit der gleichnamigen Bezeichnung für Dachaufbauten eines Schaumglas-Herstellers) neu diskutiert.

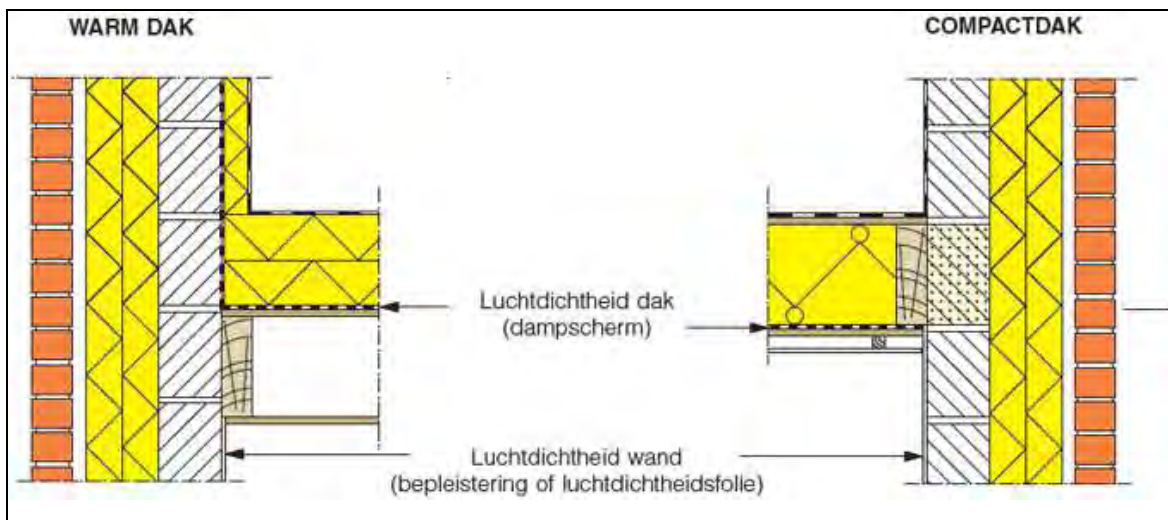


Abb. 74: Warmdach- bzw. Compactdachaufbau [WTCB-Dossiers 2012/2.6]

Die Konstruktion mit einer Vollsparrendämmung und oberseitiger nicht unterlüfteter Dachhaut ist dort offenbar bisher nicht empfohlen und angewendet worden. Erst mit der Entwicklung feuchtevariabler Dampfbremsen wird die Konstruktion überhaupt erst in Erwägung gezogen (s. Abb. 74). Dabei wird in erster Linie auf Veröffentlichungen aus Deutschland oder Österreich Bezug genommen.

Das „Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf“ (WTCB) ist eine private Forschungseinrichtung, die im Jahr 1947 mit dem Ziel gegründet wurde, angewandte Forschung für die Industrie zu betreiben. Das WTCB zählt 70.000 belgische Bauunternehmen (Generalunternehmer, und Handwerksfirmen) als eingetragene Mitglieder. In Belgien haben die Empfehlungen in der Baupraxis großes Gewicht.

In der zentralen Richtlinie [WTCB Nr. 215 2000] wird unter dem Kapitel 3.1. – Af Te Ra- den Dakopbouwen (nicht zu empfehlende Dachaufbauten) – speziell vom Kaltdach, also einer belüfteten Holzkonstruktion, abgeraten. Dies erfolgt im Wesentlichen mit der Begründung, dass eine Dampfsperre auf der Innenseite kaum korrekt ausführbar sei. Folgerichtig wird ein unbelüfteter Dachaufbau mit Vollsparrendämmung gar nicht erst beschrieben (s. Abb. 75).

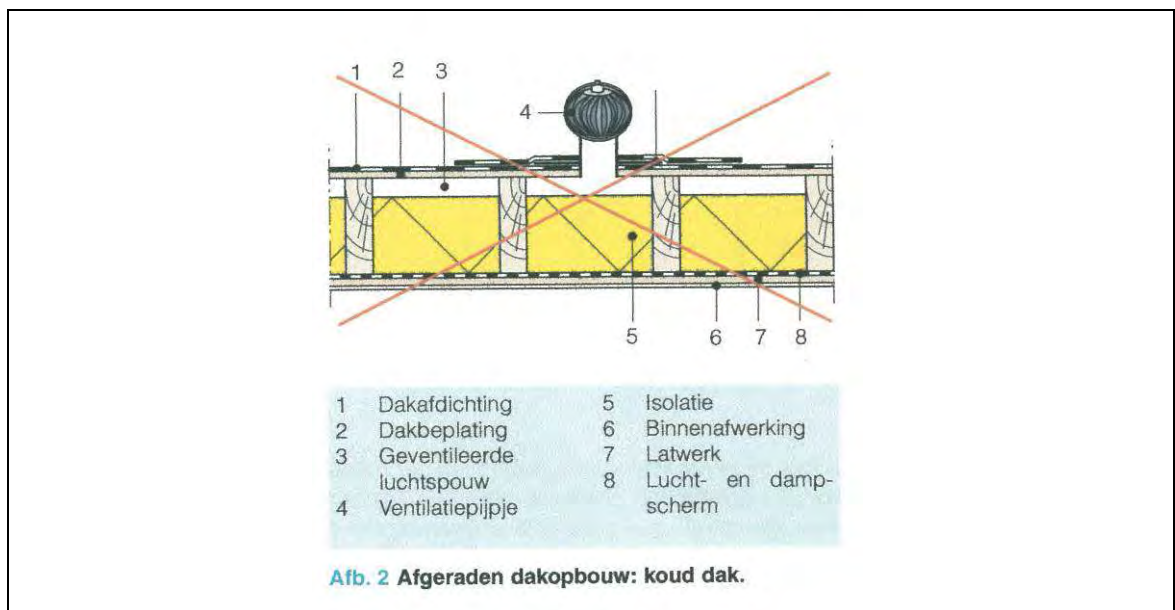


Abb. 75: Nicht zu empfehlender Dachaufbau [WTCB-Dossiers 2012/2.6]

Mit der Entwicklung von feuchtevariabler Dampfbremsen, die natürlich auch auf dem belgischen Markt angeboten werden, wird die Anwendbarkeit dieser Konstruktion neu diskutiert.

Es wird aber in [WTCB-Dossiers 2012/2.6] deutlich auf die Anwendungsgrenzen verwiesen:

- Die Verwendung darf nicht bei höher feuchtebelasteten Räumen erfolgen (in Belgien sind Raumklima-Klassen definiert. Die Anwendung wird auf Gebäude mit Raumklima-Klasse 1 bis 3 beschränkt.).

Einerseits muss der Feuchtegehalt begrenzt werden:

- Wärmedämmung und feuchtevariable Dampfbremse müssen unmittelbar zusammen eingebaut werden, insbesondere im Winter, um hohe Luftfeuchtegehalte an der Außenseite der Dämmung zu vermeiden
- Die Dachschalung muss trocken gehalten werden
- Die Ausführungsqualität der Luftdichtheitsschicht muss durch einen Luftdichtheitstest (Differenzdruckprüfung) kontrolliert werden

Andererseits soll die Austrocknung gefördert werden durch:

- Einbau einer Wärmedämmung mit hoher Dampfdurchlässigkeit (kein Schaumkunststoff)
- Sicherung von hohen Temperaturen auf der Dachhaut durch Sonneneinstrahlung (dunkle Abdichtungsoberfläche, keine Überdachungen, keine Dachbegrünung)
- Vermeidung von Pfützenbildung durch Gefällegebung von mindestens 2 %
- Vermeidung von dampfdichten Abdeckmaterialien auf der Innenseite der Konstruktion. Empfohlen werden Gips-, OSB- oder Multiplexplatten

Es wird darauf hingewiesen, dass die Anordnung einer Dampfsperre auf der Unterseite des Daches schwieriger und arbeitsintensiver ist als der Einbau von oben, und dass die Gefahr von undichten Anschlüssen groß ist.

Außerdem wird beschrieben, dass die bei dieser Konstruktion in Kauf genommene Wechselwirkung von Kondensation im Winter und Austrocknung im Sommer dazu führe, dass der Feuchtegehalt innerhalb der Dämmschicht und damit deren Wärmeleitfähigkeit erhöht würden.

Die Wirkungsweise der feuchtevariablen Dampfbremse bewirke eine Erhöhung der Dampfdichtheit bei niedriger Raumlufffeuchte im Winter. Sei die Raumlufffeuchte aber bei bestimmten Nutzungen hoch, so bestehe die Gefahr einer erhöhten Kondensation im Dachquerschnitt, weil die feuchtevariable Dampfbremse eine größere Feuchtemenge transportieren würde.

Der Einschluss von Baufeuchte aufgrund der Trennung von Holzbau- und Abdichtungsgewerken sei nicht zu vermeiden und das belgische Außenklima erhöhe das Risiko von hohem Feuchtegehalt in der Holzkonstruktion, was sich in entsprechenden Schadensfällen niederschlägt. Daher werden Empfehlungen zum chemischen Holzschutz entsprechend der belgischen Bestimmungen formuliert.

Es wird empfohlen, eine A3-Holzschutzbehandlung gemäß NBN EN 599 und nach der belgischen Vereinigung für Holzschutz (BVHB) durchzuführen.

Holzwerkstoffe in Kompaktdächern sollen der Gebrauchsklasse 3a entsprechen.

Gebäude wechselten während ihrer Standzeit Besitzer und Benutzer und in diesem Zusammenhang komme es zu Umbaumaßnahmen. Habe ein Gebäude das hier diskutierte Kompaktdach, müsse sichergestellt werden, dass es im Laufe seiner Standzeit nicht doch dazu käme, dass oberseitig Deckschichten eingebaut werden oder Verschattungen entstehen und dass die Dampfsperre, z. B. durch den Einbau von Leuchten oder zusätzliche Installationen, nicht geschädigt wird.

Die Risiken der Konstruktion werden in einer Anzahl von Studien beschrieben. In [WTCB-Dossiers 2012/2.6] werden eine Reihe hygrothermischer Studien und experimentelle Untersuchungen genannt. Außerdem wird auf ein Pilotprojekt verwiesen, das die WTCB seit März 2011 selbst durchführt und das die Berechnungen der instationär hygrothermischen Simulationen mit Messungen in der Nutzungsphase vergleichen und zur Validierung der Berechnungsansätze dienen soll.

Das Versuchsgebäude weist eine Abdichtung aus einer Kunstkautschukbahn (EPDM), eine oberseitige Schalung aus einer Multiplex-Platte, eine Dämmung aus eingeblasener Zellulose und eine feuchtevariable Dampfbremse auf. Die Einbaufeuchte der Konstruktionshölzer weist einen erhöhten, praxisnahen Wert auf.

Die Simulation ergibt, dass die Austrocknung der Holzfeuchte in hohem Maße von dem durchschnittlichen Innenraumklima abhängt. Bei durchschnittlich hoher relativer Luftfeuchte wird eine Austrocknung zwar vorhergesagt, die Holzfeuchte liegt aber in den ersten Jahren immer noch über einen langen Zeitraum über 20 Masse-%.

Der Artikel endet mit folgender Empfehlung:

„Zowel de opvatting als de uitvoering van een dergelijke dakopbouw vereist een specifieke deskundigheid, aanpak en ervaring. Een veralgemeende toepassing van het compactdak is bijgevolg af te raden en een warme of omkeerdakopbouw blijft volgens ons tot op heden een betere keuze om vochtproblemen uit te sluiten.

Een compactdak kan een oplossing bieden bij een renovatie waarbij er onvoldoende dakopstandhoogte beschikbaar is op voorwaarde dat men zeker is dat het dak zeer droog is en er rekening gehouden wordt met de voorgenoemde risico's en aandachtspunten.“

Bzw. in deutscher Übersetzung:

„Sowohl die Konzeption als auch die Ausführung eines solchen Dachaufbaus erfordert eine spezielle Kompetenz, Erfahrung und Herangehensweise. Von einer grundsätzlichen Anwendung des Kompaktdachs ist daher abzuraten und ein Warm- oder Umkehrdachaufbau bleibt zurzeit aus unserer Sicht die bessere Wahl, um Feuchteprobleme auszuschließen.

Ein Kompaktdach kann eine Lösung für eine Modernisierung sein, bei der eine ausreichende Aufbauhöhe nicht zur Verfügung steht und unter der Bedingung, dass sichergestellt ist, dass der Dachaufbau sehr trocken ist und den vorgenannten Risiken und Anmerkungen Rechnung getragen wird.“

In Veröffentlichungen, die das sogenannte „Kompaktdak“ befürworten, wird auf die Gefahr des Eintrags unplanmäßig eingebrachter Feuchte nicht eingegangen (z. B. in [Eykens 2012]).

9.4 Niederlande

Auch in den Niederlanden wird deutlich vor einer nicht belüfteten Holzkonstruktion gewarnt. Die „Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie“(NBvT), der Niederländische Dachverband der Zimmereibetriebe, vertritt rund 200 Unternehmen, wirkt an Regelwerken mit und versteht sich auch als Ansprechpartner für Architekten, Bauunternehmer sowie öffentlichen und privaten Auftraggebern.

In Bezug auf Dachflächen präferiert der Verband eindeutig die Vorfertigung von Dachelementen, um den Einfluss des Wetters auf die Holzbauteile zu minimieren. Seit 1991 entwickelt die Abteilung „Sectie Kwaliteit Dak“(SKD) bzw. deren Vorgänger die Qualitätskriterien für geneigte Dächer und erstellt ein „KOMO“-Zertifikat für Holzdachkonstruktionen (BRL 0101) (BRL: Nationale Beoordelingsrichtlijn (Beurteilungsrichtlinie)). Die nach diesem Zertifikat erstellten Dachkonstruktionen erfüllen strengere Auflagen als die in „Bouwbesluit“ (der niederländischen Bauordnung) festgelegten Bedingungen in Bezug auf Abdichtungen und Dampfsperren sowie auf Steifigkeit und Durchbiegung.

Nach BRL 0101 (4.4.2) muss die Vermeidung von Tauwasser innerhalb der Konstruktion auf der Basis der (niederländischen) EN ISO 13788 nachgewiesen werden, also nach dem Monatsbilanzverfahren auf Grundlage des Glaserverfahrens.

Dampfbremsende Folien müssen (nach Kap. 5.5) den Maßgaben der [BRL 4711] (Technische Anforderungen an dampfbremsende Folien) entsprechen und in Übereinstimmung mit der Veröffentlichung [SKH 03-07] (Ausführungsrichtlinie zur Verminderung des Wasserdampftransports in Holzbauteilen) stehen. (Die SKH ist eine Zertifizierungsstelle der Holzindustrie).

Die Dachkonstruktion muss so konzipiert sein, dass das eingebaute Holz (gemäß Kap. 5.2) keine höhere Holzfeuchte als 20 % annehmen wird.

In [SKH 03-07] sind die im vorliegenden Forschungsbericht untersuchten Konstruktionen mit außenseitig dampfsperrenden Schichten nicht aufgeführt, sondern nur Konstruktionen mit dampfdurchlässigen Schichten und Dachdeckungen.

Auch beim Netzwerk SBRCUR.net, einer unabhängigen Plattform für das Bauwesen, wird eine unbelüftete Flachdachkonstruktion nur am Rande behandelt.

Als Hauptargument gegen diese Konstruktion gilt die Erfahrung aus der Praxis, dass luftdichte Schichten unterhalb einer Holzkonstruktion kaum fehlerstellenfrei herstellbar sind. Daher gibt es auch erst gar keine Diskussion, unter welchen Umständen und bei welchen s_d -Werten einer Luftdichtheitsschicht die Konstruktion doch mit hinreichender Sicherheit ausführbar wäre.

Aus dem gleichen Grund werden in den Niederlanden auch belüftete Holzkonstruktionen abgelehnt.

Es ist also davon auszugehen, dass unbelüftete Flachdächer aus Holz mit Zwischensparrendämmung in den Niederlanden nicht dem Regelwerk entsprechen und demzufolge selten umgesetzt werden.

9.5 Skandinavien

Nach kurzen, telefonischen Rundfragen bei Kontaktpersonen im skandinavischen Raum ist der Einsatz von Holzflachdächern dort nicht üblich.

9.6 Zusammenfassung

In den deutschsprachigen Nachbarländern Österreich und Schweiz gibt es zu den Holzflachdächern ohne Unterlüftung der Abdichtungs- und Decklage dezidierte Empfehlungen und Planungsgrundlagen. Diese Planungsgrundlagen schränken den Anwendungsbereich allerdings deutlich ein. Es wird auch deutlich vor dem feuchtetechnischen Risiko nicht belüfteter Flachdachkonstruktionen gewarnt.

In Belgien und den Niederlanden werden die hier untersuchten Konstruktionen erst seit kurzer Zeit diskutiert und es wird untersucht, bei welchen Randbedingungen sie eingesetzt werden können. Es kann davon ausgegangen werden, dass bisher nur wenige Dächer in dieser Art gebaut wurden und dass dies entgegen den Empfehlungen wichtiger Institutionen erfolgt.

10. Welche Risiken bestehen?

Im Folgenden sollen noch einmal die Risiken zusammengefasst werden, die bei einer Holzflachdachkonstruktion ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage zu einer unzuträglichen Feuchte innerhalb der Konstruktion und damit zu einer hohen Wahrscheinlichkeit von Bauschäden führen können. Hierbei handelt es sich um:

- Feuchteeintrag durch Holz
- Feuchteeintrag durch Niederschläge während der Bauzeit
- Baustellenfeuchte aus Estrich und Putz
- Feuchteeintrag durch Abdichtungsmängel
- Feuchteeintrag durch Dampfkongvektion – mangelhafte Luftdichtung.

10.1 Feuchteeintrag durch das Holz

Beim Einbau der Holzbauteile können diese eine erhöhte Holzfeuchte aufweisen. Zur Vermeidung einer zu hohen Holzfeuchte gibt es zwar im Regelwerk die entsprechenden Begrenzungen. Dennoch kann es durch falsche Lagerung von Holzbauteilen sowie einer langen Bauzeit zwischen dem Einbau und dem Schließen der Gebäudehülle zu einer Erhöhung der Holzfeuchte kommen. In diesem Fall gilt die Regelung der DIN 68800-2, dass das Holz zunächst austrocknen muss bevor die Konstruktion geschlossen wird (s. Kap. 10.3).

10.2 Feuchteeintrag durch Niederschläge während der Bauzeit

Der häufigste Fall ist sicherlich eine durch Niederschläge durchfeuchtete Schalung, die oberseitig abgedichtet wird und deren Austrocknung nicht abgewartet wird, bevor die Dachkonstruktion geschlossen wird. Auch technisch getrocknetes Holz wird, wenn es längere Zeit den Außenklimabedingungen mit hohen Luftfeuchten ausgesetzt wird, wieder höhere Feuchtegehalte annehmen. Steht für die Rücktrocknung weder eine belüftete Konstruktion noch eine entsprechend konzipierter Dachaufbau mit feuchtevariabler Dampfbremsen zur Verfügung, kann diese Feuchte nicht wieder austrocknen.

10.3 Baustellenfeuchte aus Estrich und Putz (Winterbaustelle)

Ist die Dachkonstruktion mit trockenen Holzbauteilen fertig gestellt, kann ein Feuchteeintrag durch die nachfolgenden Innenausbaugewerke, insbesondere durch Estrich- und Innenputzarbeiten erfolgen. Bei niedrigen Außentemperaturen besteht daher die Gefahr, dass es zu einer hohen Auffeuchtung der Holzbauteile unter der Dachabdichtung kommt. Daher ist der Feuchteeintrag durch den vorherigen Einbau der Luftdichtungsschicht (und der Wärmedämmung darüber) zu minimieren. Auch mit moderat dampfbremsenden wie mit feuchtevariablen Bahnen wird dem Diffusionsstrom ein relativ hoher Widerstand entgegengesetzt, der im Regelfall nur zu einer mäßigen Erhöhung der Holzfeuchte führen wird. Bei extrem tiefen Außentemperaturen und langanhaltend hohen Luftfeuchten im Innenraum kann der Feuchteeintrag aber auch problematisch werden.

Bei Winterbaustellen reduziert sich das Risiko eines schädlichen Feuchteeintrags, wenn das unbelüftete Holz-Flachdach mit einer Zusatzdämmung und einer Zusatzabdichtung oberhalb der Schalung versehen wird.

Auch in der Literatur wird an verschiedenen Stellen auf das Thema Baufeuchte eingegangen:

In [Pfluger 2005] wird gefordert, die Raumluftfeuchte beim Bauprozess 75 % nicht zu überschreiten.

Auch bei [Schmidt 2007-1] wird darauf hingewiesen, dass es von besonderer Bedeutung sei, Baufeuchte zu kontrollieren und ggf. Maßnahmen zur Trocknung zu ergreifen.

Auf Empfehlung eines Herstellers [ISOVER 2011] feuchtevariabler Dampfbremsen sollte die Baufeuchte im winterlichen Rohbau auf 70 % begrenzt werden, möglichst durch den Einsatz von Lufttrocknern und zusätzlicher Fensterlüftung. Schnelle Abkühlung der Raumluft solle vermieden werden, weil dadurch die relative Feuchte ansteigt. Es wird darauf hingewiesen, dass zur Trocknung keine Gasheizgeräte eingesetzt werden sollten, da hohe Feuchtegehalte im Abgas enthalten sind, die die Raumluftfeuchte zusätzlich erhöhen.

Auch die Holzschutznorm [DIN 68800-2:2012-02] macht Angaben zur Baustellenfeuchte: *„Eine unzuträgliche Feuchteerhöhung von Holz und Holzwerkstoffen als Folge hoher Baufeuchte (direkte Feuchteeinwirkung oder indirekte aus hoher relativer Luftfeuchte) ist zu verhindern. Aus diesem Grund sind Räume mit hoher Baufeuchte und daraus resultierender hoher Raumluftfeuchte solange intensiv zu lüften, erforderlichenfalls zu beheizen oder technisch zu trocknen, bis die höhere Baufeuchte abgeklungen ist.“*

Falls es aber doch dazu kommen sollte, obwohl von der Norm ausgeschlossen, gilt das im nachfolgenden Absatz ausgeführte:

„Wird Holz in den Nutzungsklassen 1 und 2 nach DIN EN 1995-1-1 während der Bauphase auf eine Holzfeuchte $u > 20 \%$ aufgefuechtet, muss nachgewiesen werden, dass die Holzfeuchte $u \leq 20 \%$ innerhalb einer Zeitspanne von höchstens 3 Monaten ohne Beeinträchtigung der gesamten Konstruktion erreicht wird.“ [DIN 68800-2:2012-02, Abs. 5.1.2.6]

Auch hier ist wieder darauf hinzuweisen, dass die letztgenannten Absätze sich nicht ausdrücklich auf unbelüftete Flachdachkonstruktionen beziehen. Bei diesen muss die Holzfeuchteverteilung innerhalb des Holzbauteils genauer untersucht und die Begrenzung der Holzfeuchte insbesondere in der äußeren Zone nachgewiesen werden.

10.4 Feuchteintrag durch Abdichtungsmängel

Grundsätzlich funktionieren die Konstruktionen nur, wenn davon ausgegangen wird, dass keine Abdichtungsmängel entstehen. Für den Fall von Abdichtungsmängeln entstehen insbesondere deswegen schwere Folgeschäden, weil in der Regel die Feuchterhöhung in der Konstruktion durch die Wasseraufnahmefähigkeit des Holzes, ggf. auch der von Dämmstoffen mit hoher Feuchtespeicherfähigkeit - lange Zeit nicht bemerkt wird. Wenn anhand der Durchbiegung bei der Begehung von Flachdächern in Holzbauweise die Schäden bemerkt werden, ist die Schalung und im schlimmsten Fall auch die Tragkonstruktion schon deutlich geschädigt.

Deutliche Aussagen finden sich z. B. bei [Winter/Fülle/Werther 2009]:

„In jedem Fall ist der Eintritt von Regen in die Dachkonstruktion sowie Leckagen in der Luftdichtungsebene zu verhindern. Keine der gezeigten Vorzugsvarianten ist in der Lage, Schäden in Folge von eintretendem Regenwasser oder mangelnder Luftdichtheit zu verhindern.“

Bei den untersuchten Praxisbeispielen war im Fall eines Schadens immer ein unplanmäßiger Eintritt von Regenwasser oder Leckagen in der luftdichten Ebene Grund für den aufgetretenen Schaden.“

Wird die unbelüftete Holzkonstruktion mit einer feuchteunempfindlichen Zusatzdämmung und Zusatzabdichtung überdeckt, werden sich Leckagen in der Abdichtungsschicht nicht auf die Holzkonstruktion auswirken. Vorausgesetzt, die (Not- oder Behelfs-)Abdichtung oberhalb der Schalung ist dicht, was während der Bauzeit und einer längeren Beobachtung der Schalung von der Unterseite leicht kontrolliert werden kann.

10.5 Feuchteintrag durch Dampfkonnektion – mangelhafte Luftdichtung

Zur rechnerischen Abschätzung von Feuchteinträgen wurde in [Künzel/Zirkelbach/Schafaczek 2010] und [Zirkelbach/Künzel/Schafaczek/Borsch-Laaks 2009] ein vereinfachtes Modell beschrieben. Es wird dabei nicht die konkrete Leckstelle simuliert, sondern nur das ausfallende Tauwasser als Feuchtequelle innerhalb einer Konstruktion abgebildet.

Dabei beziehen sich die Überlegungen auch auf die in [Künzel 1999] bereits geforderte „Trocknungsreserve“ von 250 g/m^2 . Dieser Wert wurde offenbar aus amerikanischen Untersuchungen von Leichtbaukonstruktionen abgeleitet. Aus diesem Wert wurde zunächst eine gleichmäßig über das Bauteil verteilte Leckagerate bestimmt, die in etwa dem damaligen Mindeststandard neuerer Holzhäuser in Deutschland entsprach.

Die damit durchgeführten instationär hygrothermischen Berechnungen lassen es damit auch zu, den konvektionsbedingten Tauwassereintrag bei einem Flachdach auch in Abhängigkeit von der Höhe, d.h. in Abhängigkeit vom bei höheren Gebäuden steigenden Differenzdruck beim Dachbauteil zu simulieren. Auch bei dieser Simulation ergibt sich, dass eine feuchtevariable Dampfbremse zu einer kontinuierlichen Verringerung des Feuchtegehalts in der Konstruktion (bzw. der Holzschalung) unter der Dachhaut führt.

In [Teibinger/Nusser 2010] werden Luftdichtheitsklassen A+, A, B und C definiert. Die Luftdichtheitsklasse A+ bezieht sich dabei auf industriell vorgefertigte Dachelemente mit Dampfbremsbahn und Beplankung. A und B sind abhängig vom Ergebnis der Blower-Door-Messungen (A bei $1,5 \text{ h}^{-1}$; B bei $3,0 \text{ h}^{-1}$), C gilt für Gebäude ohne Luftdichtheitsmessungen. Auch dort ist allerdings die Luftdichtheitsebene nach dem Stand der Technik auszuführen.

Allerdings ist ein größerer, lokaler Tauwasserausfall aufgrund punktuellen Leckagen in der Luftdichtungsschicht in Verbindung mit einem Strömungsweg zur Außenluft durch die eingerechnete Trocknungsreserve nicht zu kompensieren. Größere Leckagen in der Luftdichtungsschicht sind also unbedingt zu vermeiden. Auch für dieses Schadensrisiko bedeutet der Einbau von Zusatzdämmung und Zusatzabdichtung eine Erhöhung der Funktionssicherheit, weil Strömungswege vermindert und die Verbindung zur Außenluft erschwert werden.

11. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

11.1 Empfehlungen für den Planer, Bauleiter und Bauherren

Unbelüftete Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise sind wenig fehlertolerante Konstruktionen, die einen deutlich erhöhten Kontroll- und Inspektionsaufwand erfordern.

Auch die Verwendung von feuchtevariablen Dampfbremsen und der unbedingt erforderliche Nachweis der Konstruktion mithilfe von instationär hygrothermischen Berechnungen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Holzfeuchte während des Bauens ständig zu kontrollieren ist. Ggf. muss die Bauzeit entsprechend verlängert werden, bis Holzbalken und Holzschalung entsprechend rückgetrocknet sind.

Auf die Kontrolle der Luftdichtheitsschicht durch eine Differenzdruckmessung ist besonderer Wert zu legen. Nachträgliche Durchdringungen dieser Schicht sind möglichst zu vermeiden.

Zur Verringerung des Schadenspotenzials sollten alternative Dachaufbauten geplant werden. So ist beispielsweise eine Aufdachdämmung, bei der die Holzkonstruktion unten sichtbar bleibt und die Luftdichtungsebene oberhalb der tragenden Konstruktion liegt, risikoarm. Schwierigkeiten bestehen allerdings hier beim Übergang der Luftdichtheitsebenen zwischen Dach und Wand.

Alternativ kann eine Belüftung des Daches ausgeführt werden, auch wenn der Belüftungsraum unter der Dachschalung hohe Feuchtegehalte aufweist. Die Dämmschicht kann wie bei einer geneigten Dachkonstruktion durch eine diffusionsoffene Folie abgedeckt werden. Die Konstruktionshölzer werden bei dieser Konstruktion weder durch die hohen Feuchtegehalte im Belüftungsraum noch bei Leckagen geschädigt. Die Luftdichtheitsschicht kann handwerklich einfach mit der Luftdichtungsebene der Wand verbunden werden. Voraussetzung dazu sind allerdings sorgfältig geplante und funktionsfähige Be- und Entlüftungen.

Die Funktionssicherheit einer unbelüfteten Dachkonstruktion kann auch durch den Einbau einer Zusatzdämmung und Zusatzabdichtung erhöht werden. Dabei wird sowohl das Risiko von Tauwasserausfall in der Ebene der Holzbauteile minimiert als auch das Risiko, dass sich Fehlstellen in der Abdichtungsebene auf die Holzkonstruktion auswirken.

Allerdings werden auch hierbei Schäden an den Holzbauteilen aufgrund der auf der Innenseite bekleideten tragenden Holzkonstruktion erst relativ spät erkannt.

Wenn auf die oben genannten Alternativen verzichtet werden soll und die Holzflachkonstruktion dennoch ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage errichtet werden sollen, muss sie durch instationär hygrothermische Simulationen nachgewiesen werden und die Einhaltung der dabei verwendeten Materialdaten bei der Ausführung beachtet werden. Veränderungen der Konstruktion, wie andere Dachbahnen, nachträgliche Begrünungen und Aufbauten dürfen nicht ohne entsprechende instationär hygrothermische Nachweise erfolgen.

Zur Vermeidung von Schäden oder späterer Streitigkeiten sollten die im Folgenden beschriebenen Empfehlungen von den an der Ausführung beteiligten Gewerken beachtet werden.

11.2 Empfehlungen für Gewerke

11.2.1 Empfehlung für das Zimmerergewerk

Die Einbaufeuchte der Hölzer sollte unmittelbar nach Einbau gemessen und protokolliert werden. Dies ist sowohl für das Holzbaugewerk als auch für den Bauleiter wichtig, um im Schadensfall dokumentieren zu können, dass eine erhöhte Holzeinbaufeuchte nicht ursächlich ist. Von erhöhter Holzfeuchte als wahrscheinlicher Ursache wird nämlich häufig ausgegangen, wenn im Schadensfall keine Mängel an der Abdichtung oder der Luftdichtigkeitsschicht festgestellt werden und die Konstruktion ansonsten mit einem instationären Nachweisverfahren als feuchtetechnisch unbedenklich nachgewiesen wurde.

11.2.2 Empfehlung für das Dachdeckergewerk

Dachabdichtungen auf Holzdächern mit Zwischensparrendämmung sollten nur mit den Stoffen durchgeführt werden, die auch dem instationär hygrothermischen Nachweis der Konstruktion entsprechen. Der Dachdecker sollte sich dazu den Nachweis von den Planern vorlegen lassen.

Auch für die Dachdecker ist eine Feststellung des IST-Zustandes hinsichtlich der Holzfeuchte der Dachschalung (Messung und Dokumentation) zur Vermeidung von Streitigkeiten im Schadensfall unabdingbar. Die Messung sollte unmittelbar nach Abschluss der Abdichtungsarbeiten erfolgen, um zu dokumentieren, in welchen Bereichen die Schalung evtl. vor den Abdichtungsarbeiten durch Niederschläge feucht geworden ist und noch ein Austrocknungsprozess abgewartet werden muss. Sinnvoll ist in jedem Fall eine längere Beobachtung der Holzschalung von der Unterseite, um evtl. vorhandene Leckagen an der Abdichtung vor dem Schließen der Konstruktion mit Dämmung und Luftdichtheitsschicht lokalisieren und beseitigen zu können.

11.2.3 Empfehlungen für das Trockenbaugewerk

Der Trockenbauer sollte vor dem Einbau von Dämmung und Luftdichtheitsschicht die Holzfeuchte von Schalung und Konstruktionshölzern messen und dokumentieren (lassen) und sich die Freigabe für seine Arbeiten vom Bauleiter geben lassen.

Neben der Kontrolle der vorhandenen Holzfeuchte ist für das Trockenbaugewerk die Kontrolle der Ausführung der eigenen Arbeiten der wichtigste Punkt. Dies betrifft insbesondere die Überprüfung der Luftdichtheitsschicht vor der Montage der inneren Bekleidung mit Hilfe einer Differenzdruckmessung im Unterdruckverfahren, bei der die Nahtstellen, Verklebungen, Durchdringungen und Bauteilanschlüsse überprüft werden.

Einbindende Bauteile mit hoher Baufeuchte oder mit Hohlräumen / Strömungskanälen (z. B. Vorsatzschalen in Bädern) sind von der Flachdachkonstruktion luftdicht zu trennen. Zu diesem Zeitpunkt können eventuell vorhandene Leckagen ohne großen finanziellen Mehraufwand beseitigt werden.

11.3 Monitoring

Bereits hergestellte oder bestehende Dächer sollten durch fest eingebaute Feuchtmessstellen oder andere geeignete Messverfahren regelmäßig auf Veränderungen des Feuchtegehaltes kontrolliert werden. Insbesondere bei älteren Bestandsdächern, bei denen alterungsbedingte Schäden wahrscheinlicher werden, sollte die Abdichtungsoberfläche wiederholt auf Fehlstellen kontrolliert werden.

12. Zusammenfassung

Holzflachdachkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage sind schadensanfällige Konstruktionen. Eingeschlossene Baufeuchte, Fehlstellen in der Luftdichtheitsschicht und in der Abdichtungsschicht können einen großen Schadensumfang bewirken. Seit langem wird daher vor dieser Konstruktion gewarnt. Auch in den nicht deutschsprachigen Nachbarländern wird dieser Dachaufbau nicht empfohlen.

Das Schadensrisiko wird durch den Einbau von feuchtevariablen Dampfbremsen selbst bei Beachtung einer Vielzahl von Randbedingungen für ein schadenfreies Austrocknen der Konstruktion nur in geringem Umfang gemindert. Zwar kann der Dachaufbau unter kontrollierten Bedingungen, insbesondere bei Vorfertigung, bauphysikalisch einwandfrei hergestellt werden. Alterungsschäden an der Dachhaut, Veränderungen des Dachaufbaus oder Nutzungsänderungen können aber während der Standzeit des Gebäudes zu nicht unerheblichen Schäden an der Holzkonstruktion führen. Die im vorliegenden Bericht dokumentierten Schadensfälle betreffen sowohl herkömmliche Dachaufbauten als auch neuere Konstruktionen. Allen ist gemeinsam, dass ein unplanmäßiger Eintrag von Feuchtigkeit in den Dachaufbau bzw. eine Konzentration vorhandener Feuchtegehalte nicht rechtzeitig erkannt und beseitigt werden konnte.

Daher ist auch weiterhin von solchen Konstruktionen grundsätzlich abzuraten.

Sollten sie dennoch ausgeführt werden, ist ihre bauphysikalische Funktionstüchtigkeit planerisch durch eine instationäre hygrothermische Simulation nachzuweisen und dafür zu sorgen, dass die Randbedingungen des Nachweises auch über die Standzeit des Gebäudes erhalten bleiben. Zudem muss im Bauablauf sehr genau der Feuchtegehalt der Holzkonstruktion beobachtet und protokolliert werden. Im Bericht werden Empfehlungen für Planer, Bauleiter und Gewerke formuliert.

Eine deutliche Verminderung des Schadensrisikos ist durch eine oberseitige Zusatzdämmung und eine Zusatzabdichtung zu erreichen. Auch dabei sind aber der instationär hygrothermische Nachweis und die Kontrolle der Holzfeuchtigkeit unabdingbar. Die Erfahrungen mit solchen Konstruktionen sind zwar noch neu, versprechen aber eine sehr viel höhere Funktionssicherheit. Die im Laufe der Standzeit des Gebäudes nicht sichtbare

und nicht belüftete Holzkonstruktion, die feuchtetechnisch kritisch unmittelbar unter einer Abdichtung oder Decklage mit hohem Diffusionswiderstand eingebaut ist, stellt aber auch in diesem Fall immer noch ein gewisses Risiko für den Eigentümer des Gebäudes dar.

13. Weiterer Forschungsbedarf

Die im vorliegenden Bericht untersuchte Flachdachkonstruktion wird unter anderem deswegen häufig gewählt, weil für die naheliegende Alternative – Flachdachkonstruktionen mit einer Luftschicht unterhalb der Abdichtungs- oder Deckschicht – unterschiedliche Empfehlungen hinsichtlich des Aufbaus und der erforderlichen Lüftungsquerschnitte existieren. Zudem werden die Auswirkungen von dünnen, flach geneigten Luftschichten auf den Feuchtegehalt der Unterkonstruktion zwischen Dämmschichtebene und Abdichtung unterschiedlich eingeschätzt. Zur Überprüfung der Schadensanfälligkeit solcher Konstruktionen mit Unterlüftungsschicht ist es daher erforderlich, entsprechende Fälle zu untersuchen und festzustellen, inwieweit die Schadensursachen tatsächlich auf die Luftschicht bzw. deren Dicke zurückzuführen sind oder eher auf Fehlstellen an Detailpunkten. Diese Untersuchung kann in einen Vergleich des möglichen Schadensumfangs solcher belüfteten mit unbelüfteten Flachdachkonstruktionen münden. Die Planung von flach geneigten Dachkonstruktionen in Holzbauweise könnte damit auf eine zuverlässigere Grundlage gestellt werden und dazu führen, dass für Flachdächer in Holzbauweise sowohl im Holz- als auch im Massivbau eine größere Lebensdauer erwartet werden kann.

Wünschenswert wäre außerdem, die Erfahrungen mit Flachdächern zu untersuchen, die oberhalb der hier untersuchten Konstruktion eine Zusatzdämmung und Zusatzabdichtung aufweisen. Es ist zu erwarten, dass diese Dächer, die auch den steigenden Anforderungen an Dämmschichtdicken gerecht werden, eine größere Fehlertoleranz aufweisen als die hier untersuchten Konstruktionen.

Auch hinsichtlich der Messverfahren, die ein Monitoring bestehender Holzkonstruktionen ermöglichen, besteht ein Forschungsbedarf. Die Entwicklung geeigneter, verlässlicher Verfahren zur zerstörungsfreien Überwachung der Holzfeuchte über die Standzeit des Gebäudes könnte ebenfalls zu einer Reduzierung des Schadensrisikos und damit zu einer höheren Lebensdauer von Holzflachdächern führen.

14. Objektdokumentation

(In den folgenden Dokumentationsblättern wird der Begriff „feuchtevariable Dampfbremse“ zur besseren Übersicht durch das Kürzel „fvDb“ ersetzt.)

14.1 Objekt 1

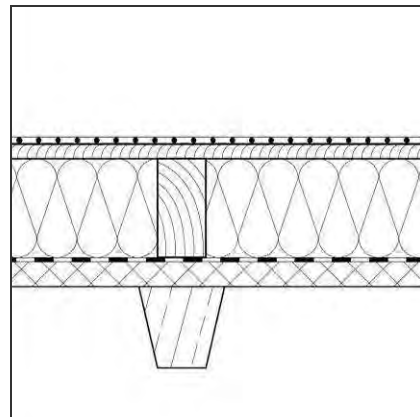
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Turnhalle
Herstellung Dachaufbau	Sanierung 2006 (Bauwerk aus 50er Jahren)
Schadensfeststellung	ca. 2011
Kurzbemerkung	Notabdichtung undicht, Haus- schwamm im Holz
Schadensumfang	vollständige Dachfläche



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	EVA-Bahn auf Bitumenbahn
Trägerlage	Holzschalung, ca. 5° Neigung
Luftschicht	keine
Dämmung	GW, 16 cm
Dampfsperre	Bitumenpappe
Innenbekleidung	Holzwoleleichtbauplatte



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

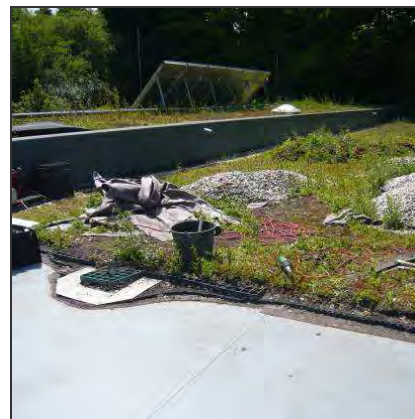
Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	offen zum hinterströmbaren Wär- medämmverbundsystem
Baufeuchte	Notabdichtung mit offenen Stößen, 3 Wochen mit Regen bewittert
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	unbelüfteter Dachaufbau ohne Holz



14.2 Objekt 2

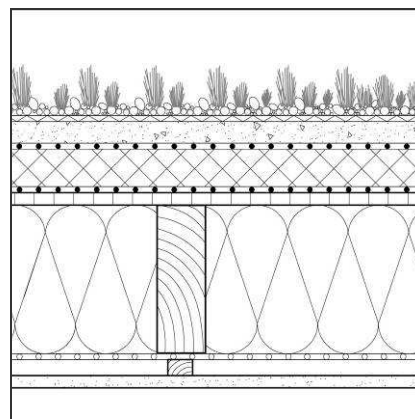
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Kindergarten
Herstellung Dachaufbau	2009
Schadensfeststellung	2011
Kurzbemerkung	Ursache unbekannt Pilz-/ Myzelbefall in Schalung und KVH
Schadensumfang	Lokal begrenzte Fehlstelle (Flur)



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	extensive Begrünung
(Not-) Abdichtung	PIB-Bahn
Zusatzdämmung	EPS, 6 cm
Abdichtung	PIB-Bahn
Trägerlage	OSB-Schalung, 2 cm
Luftschicht	keine
Dämmung	GW, 24 cm
Dampfsperre	PA-Folie, feuchtevariabel
Innenbekleidung	Luftschicht und Gipskarton



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	keine Beurteilung, da bereits zurückgebaut
Baufeuchte	keine zusätzliche Auffeuchtung, 30 % Holzfeuchte in KVH an Oberseite
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	keine Angabe



14.3 Objekt 3

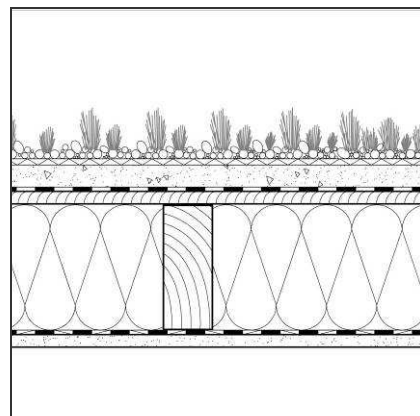
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	1999
Schadensfeststellung	2006
Kurzbemerkung	Wassereintrich während der Bauzeit, eingeschlossene Feuchtigkeit, Sparren verfault
Schadensumfang	Traubereich, ca. 30 % der Fläche



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Gründach
Abdichtung	beschieferte Bitumenbahn
Trägerlage	Schalung, 3° Neigung
Luftschicht	keine
Dämmung	GW
Dampfsperre	Aluminiumfolie
Innenbekleidung	GK-Bekleidung



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/	dicht angeschlossen
Luftdichtheitsschicht	
Baufeuchte	keine schwerwiegenden Abdichtungs- oder Luftdichtheitsmängel, daher auf zu hohe Baufeuchte geschlossen
Abdichtung	-
Sanierung	belüftete Dachkonstruktion mit Gründach, alternativ: Aufbau oberhalb der Tragkonstruktion



14.4 Objekt 4

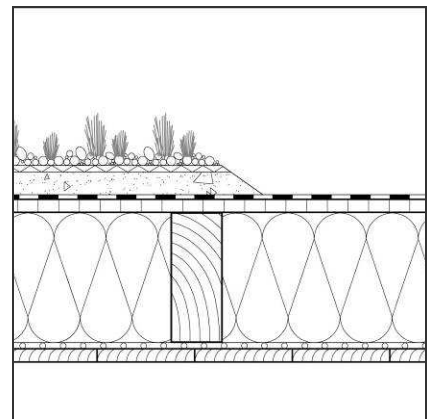
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Büro neben Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2002/2003
Schadensfeststellung	2009
Kurzbemerkung	Pfützen auf der Abdichtung, Ameisenbefall, weiche Stellen beim Begehen
Schadensumfang	sieben Fehlstellen



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Gründach (entfernt)
Abdichtung	beschieferte Bitumenbahn
Trägerlage	Brettschalung
Luftschicht	keine
Dämmung	GW
Dampfsperre	PA, feuchtevariabel
Innenbekleidung	Profilbrettschalung



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	im Schadensbereich keine Fehlstellen; bei Fehlstellen keine Schäden
Baufeuchte	keine zusätzliche Auffeuchtung während d. Bauzeit, übliche Holzfeuchte als Schadensursache festgestellt
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	belüftete Dachkonstruktion, alternativ Aufbau oberhalb der Tragkonstruktion

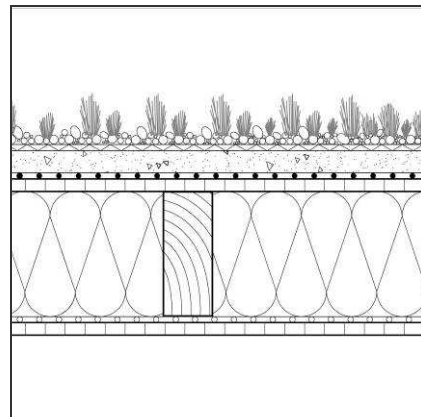


14.5 Objekt 5**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Kindergarten
Herstellung Dachaufbau	2006
Schadensfeststellung	2009
Kurzbemerkung	vollständige Sanierung nach Schimmelpilzbefall der OSB-Platte
Schadensumfang	vollständige Fläche befallen, über Sanitärräumen deutlich stärker

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	Gründach
Abdichtung	Kunststoffdachbahn
Trägerlage	OSB-Platten
Luftschicht	-
Dämmung	Zwischensparrendämmung, GW
Dampfsperre	PE
Innenbekleidung	OSB-Platten

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	Lücken in der Dampfsperre an Zwischenwänden und Traufe
Baufeuchte	-
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	von der Dachoberseite, belüftete Dachkonstruktion mit fvDb aus PA, Austausch von Sparren, Einsatz von Notdächern



14.6 Objekt 6

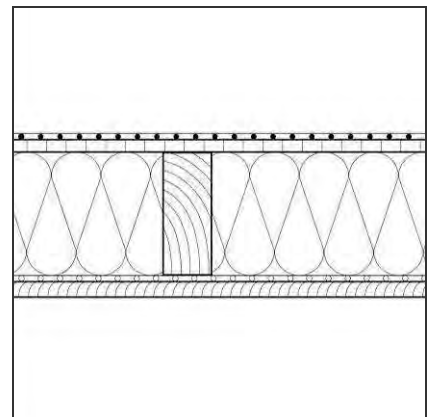
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Studentenwohnheim
Herstellung Dachaufbau	2004
Schadensfeststellung	2005, Schimmelbildung an Unterseite Dachschalung
Kurzbemerkung	Luftdichtheitsfolie an Holzpfetten und unverputztem Bimsmauerwerk befestigt
Schadensumfang	gesamte Dachfläche



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	Kunststoffdachbahn
Trägerlage	OSB-Platten, 5°Neigung
Luftschicht	?
Dämmung	GW
Dampfsperre	PE
Innenbekleidung	Holz



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/Luftdichtheitsschicht	PE-Folie nicht luftdicht an Rändern angeschlossen
Baufeuchte	-
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	neue Luftdichtheitsschicht mit fvDb von außen und Dämmung über Sparren, FPO auf Schalung, unbelüftet

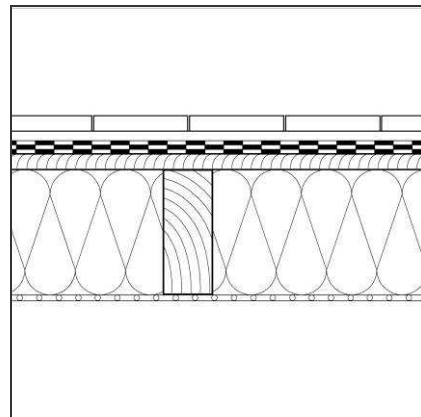


14.7 Objekt 7**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Einfamilienwohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2007
Schadensfeststellung	2011
Kurzbemerkung	Pfützenbildung, Schalung weich, Sparrenoberseite nass, Schwamm
Schadensumfang	vollständige Dachfläche

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	WPC – PVC/Holz-Dielen
Abdichtung	3-lagige Bitumenbahn
Trägerlage	Holzschalung
Luftschicht	keine
Dämmung	GW
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	keine Fehlstellen festgestellt
Baufeuchte	-
Abdichtung	Nähte offen, geringe Aufkantungshöhe an Tür
Sanierung	Erneuerung der Dachfläche inkl. Tragkonstruktion, Notdach



14.8 Objekt 8

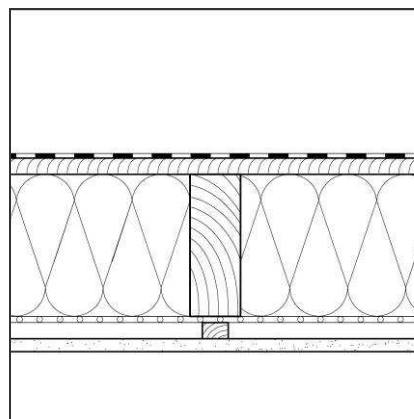
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Einfamilienwohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2011
Schadensfeststellung	2013
Kurzbemerkung	Wassersäcke auf Dampfsperre, Abtropfungen in abgehängte GFK-Decke, Klimaanlage
Schadensumfang	vollständige Dachfläche



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	Bitumenbahn
Trägerlage	Holzschalung, 15° geneigt
Luftschicht	-
Dämmung	22 cm MW, WLF 035
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	abgehängte GFK-Platten



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	mit Lücken, durchhängend verlegt, Wassersäcke, Konvektion
Baufeuchte	-
Abdichtung	-
Sanierung	-

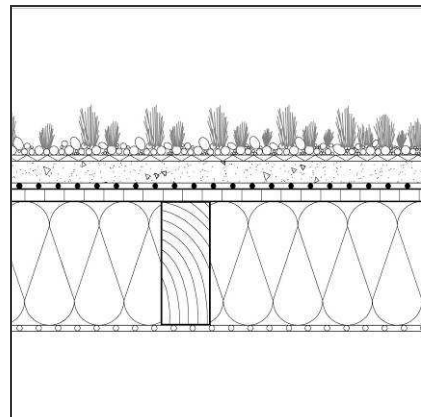


14.9 Objekt 9**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Mehrfamilienhäuser
Herstellung Dachaufbau	-
Schadensfeststellung	2002
Kurzbemerkung	Luftdichtheitsschicht an unverputztem Mauerwerk
Schadensumfang	bislang nur Schimmelbildung an Dachüberständen

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	Begrünung
Abdichtung	PVC-P-nb Kunststoffdachbahn
Trägerlage	OSB/3
Luftschicht	-
Dämmung	Mineralwolle
Dampfsperre	PE-Folie, 0,2 mm dick
Innenbekleidung	

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	nicht luftdicht angeschlossen
Baufeuchte	-
Abdichtung	-
Sanierung	ab OK Dachschalung Abriss, Holzschädigung prüfen, Belüfteter Querschnitt, luftdichte Anschlüsse



14.10 Objekt 10

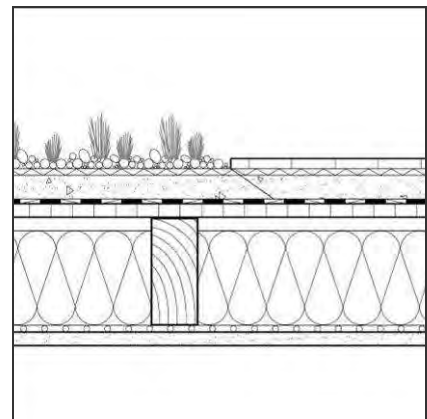
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	Aufstockung ca. 2000 (Bauwerk aus 60er Jahren)
Schadensfeststellung	2005
Kurzbemerkung	Wasserschaden wg. offener Löt-nähte der Zinkblechaufkantung der Attika
Schadensumfang	vollständige Dachfläche



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Gründach/Holzbelag
Abdichtung	Bit. Abdichtung, DS mit Alueinlage
Trägerlage	OSB-Schalung
Luftschicht	2 cm
Dämmung	GW, 14 cm
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

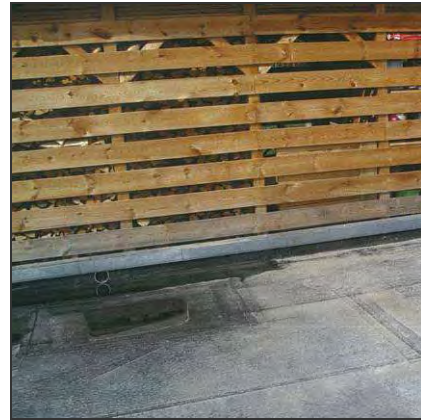
Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	nicht ausreichend dampfdicht
Baufeuchte	-
Abdichtung	Fehlstellen an Löt-nähten
Sanierung	Belüftung des Luftraumes mit me- chanischer Zwangsbelüftung



14.11 Objekt 11

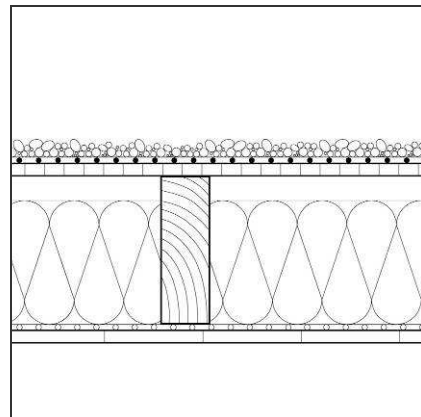
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2003/2004
Schadensfeststellung	2006
Kurzbemerkung	Leckagen in Abdichtung und Dampfsperre, Schimmel auf Schalung, Mineralwolle feucht
Schadensumfang	vollständig zerstörte Konstruktion am Tiefpunkt des Daches



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Kies
Abdichtung	PIB
Trägerlage	OSB-Schalung
Luftschicht	unbelüftet, 4 cm
Dämmung	MW, 20 cm
Dampfsperre	PE
Innenbekleidung	Deckenpaneele



ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	Lückenhaft an Trennwände angeschlossen
Baufeuchte	Wassereinbrüche während der Bauzeit, Beschädigung der Abdichtung
Abdichtung	Wenige Fehlstellen
Sanierung	Abriss und vollständiger Neuaufbau des Flachdaches



14.12 Objekt 12

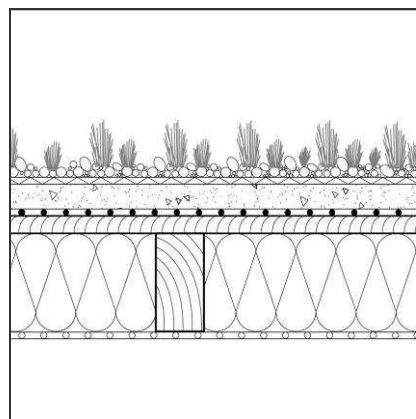
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2004
Schadensfeststellung	2011
Kurzbemerkung	Fehlerhafte Dampfsperre
Schadensumfang	vollständige Zerstörung/Sanierung



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Gründach
Abdichtung	Kunststoffdachbahn
Trägerlage	Holzschalung
Luftschicht	keine
Dämmung	GW
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	Fehlstellen
Baufeuchte	nicht bekannt
Abdichtung	Keine Fehlstellen
Sanierung	vollständige Erneuerung einschl. tragender Konstruktion

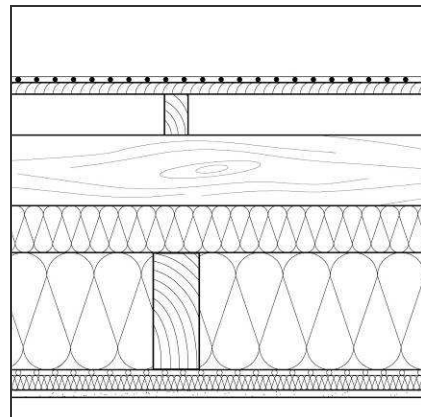


14.13 Objekt 13**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Anbau Wohngebäude
Herstellung Dachaufbau	2007
Schadensfeststellung	2010
Kurzbemerkung	holzerstörende Pilze/Schimmel in tragender Dachkonstruktion
Schadensumfang	Gesamte Dachfläche

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	-
Abdichtung	Kunststoffdachbahn, schwarz auf Bitumen-Notabdichtung
Trägerlage	Brettschalung, 2 % Neigung
Luftschicht	Traghölzer 8/20 – 8/35 cm
Dämmung	28 cm WLG 032 zwischen Sparren
Dampfsperre	PA, feuchtevariabel
Innenbekleidung	2,5 cm Dämmung und Gipskarton

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	dicht angeschlossen
Baufeuchte	keine zusätzliche Auffeuchtung während der Bauzeit, hohe Holz- feuchte beim Einbau
Abdichtung	kleine Fehlstelle am Dachablauf
Sanierung	Neukonzeption des Daches mit Aufdachdämmung



14.14 Objekt 14

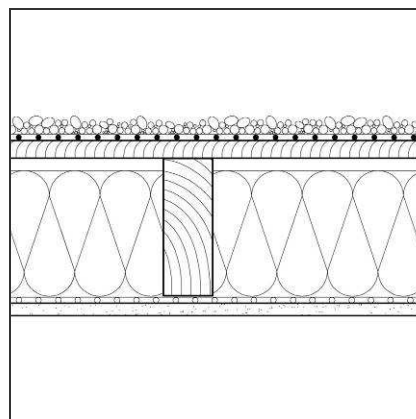
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	1999/2000
Schadensfeststellung	2005/2006
Kurzbemerkung	Welligkeit der Dachfläche, Abtropfungen ins Gebäudeinnere
Schadensumfang	gesamte Dachfläche



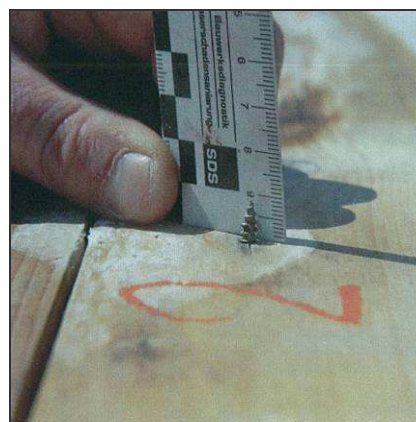
SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Kies
Abdichtung	PVC-Abdichtung, $s_d = 216$ m
Trägerlage	Holzschalung, 28 mm, gefällelos
Luftschicht	unbelüftet, 2 cm
Dämmung	MW, 20 cm
Dampfsperre	PE
Innenbekleidung	GK-Platten



ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

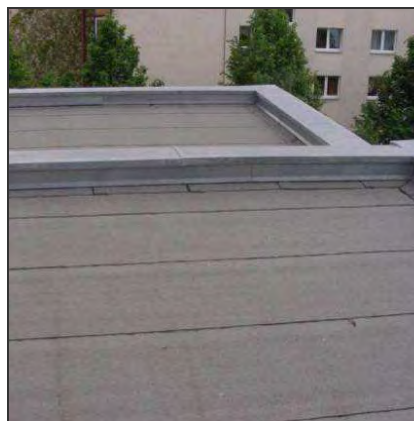
Dampfsperre/	keine Lücken
Luftdichtheitsschicht	
Baufeuchte	-
Abdichtung	Beschädigung durch Schrauben
Sanierung	vollständige Erneuerung mit fvDb



14.15 Objekt 15

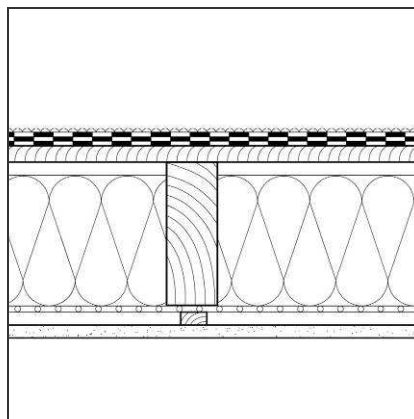
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Einfamilienreihenhäuser
Herstellung Dachaufbau	2003-2005
Schadensfeststellung	2005
Kurzbemerkung	Durchfeuchtungen und wenig trittfeste Dachabdichtung
Schadensumfang	16 Häuser unterschiedlich stark betroffen



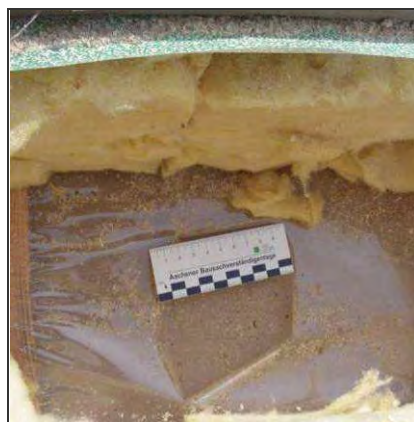
SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Besplittung
Abdichtung	Mehrlagige Bitumenbahn
Trägerlage	Holzschalung, ca. 6° Neigung
Luftschicht	1-2 cm, ungeplant
Dämmung	GW, 20 cm
Dampfsperre	PE-Folie, tw. PA feuchtevariabel
Innenbekleidung	Luftschicht und Gipskarton



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

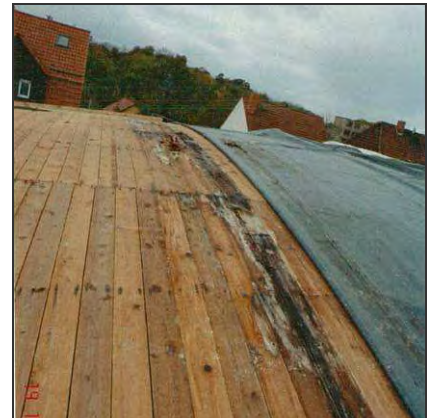
Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	luftdicht angeschlossen
Baufeuchte	teilweise Einbau bei Regen
Abdichtung	keine Abdichtungsmängel festgestellt
Sanierungsvorschlag	Feuchtemessung, ggf. Austausch, Warmdachaufbau oberhalb der Holzkonstruktion



14.16 Objekt 16

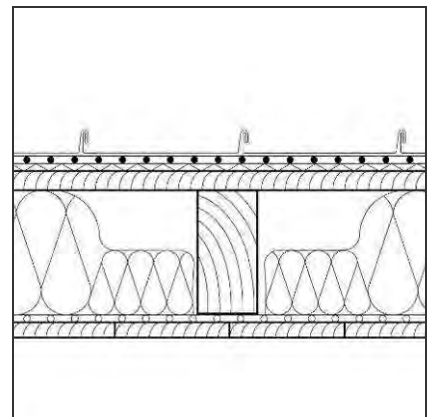
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Umspannwerk
Herstellung Dachaufbau	nicht bekannt.
Schadensfeststellung	2004
Kurzbemerkung	Abtropfungen aus der Decke wegen Konvektionsströmungen
Schadensumfang	vollständige Dachfläche betroffen



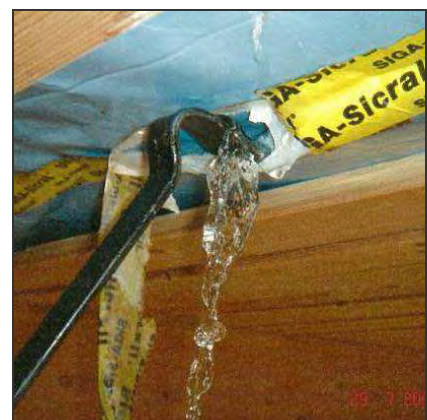
SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Metalldach, Doppelstehfalz
Abdichtung	PVC-Bahn auf Trennvlies
Trägerlage	Holzschalung
Luftschicht	keine
Dämmung	GW, 16 cm
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	Sichtholzschalung



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	Fehlstellen, Lücken in der Dämmung, Konvektion
Baufeuchte	
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	belüftete Dachkonstruktion, Austausch von Konstruktionsholz durch Prothesen, alle Funktionsschichten neu

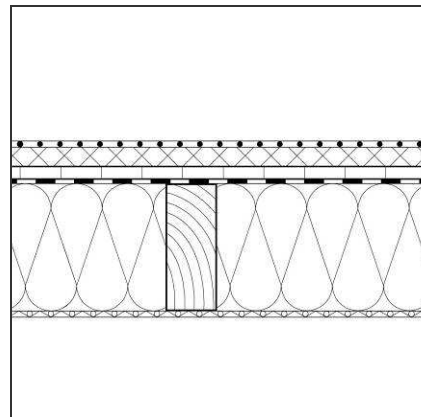


14.17 Objekt 17**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Bürogebäude
Herstellung Dachaufbau	2011
Schadensfeststellung	2012
Kurzbemerkung	Schalung unter Notabdichtung stellenweise feucht und weich
Schadensumfang	Teile der Dachfläche

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	-
Abdichtung	Kunststoffbahn auf Gefälledämmung
Trägerlage	OSB-Schalung mit Bitumenbahn
Luftschicht	keine
Dämmung	MW
Dampfsperre	PE-Folie mit PP-Vlies, feuchtevariabel
Innenbekleidung	noch nicht montiert

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

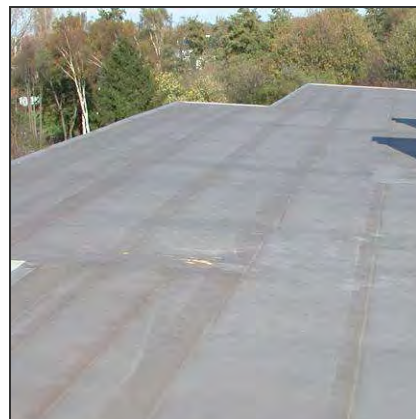
Dampfsperre/Luftdichtheitsschicht	-
Baufeuchte	Not- bzw. „Zusatzabdichtung“ undicht, Durchfeuchtung der OSB-Platten, keine Trocknung vor Einbau Mineralwolle und FADAB
Abdichtung	-
Sanierungsempfehlung	Trocknung und Teilaustausch der geschädigten Baustoffe



14.18 Objekt 18

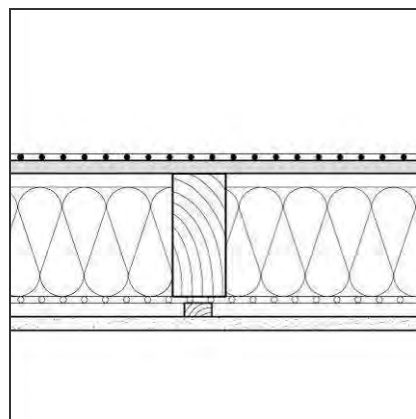
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Mehrfamilienwohngebäude
Herstellung Dachaufbau	1997/1998
Schadensfeststellung	2005
Kurzbemerkung	ingesunkene/weiche Dachfläche, Schimmelpilz am Dachüberstand
Schadensumfang	vollständige Dachfläche



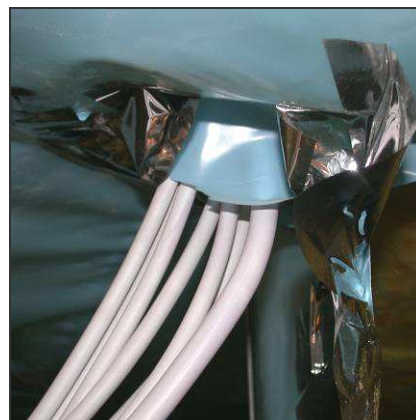
SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	Kunststoffdachbahn PVC-P, nb
Trägerlage	Spanplatte V 100 G, 19 mm, 5°
Luftschicht	2 cm dick geplant, Lüftungsöffnungen unwirksam
Dämmung	MW, 16 cm
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	abgehängte GFK-Platten



ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	lückenhaft an Durchdringungen und Wände angeschlossen
Baufeuchte	-
Abdichtung	keine Fehlstellen festgestellt
Sanierung	Austausch Abdichtung und Wärme- dämmung, schlaufenförmige Luft- dichtheitsschicht

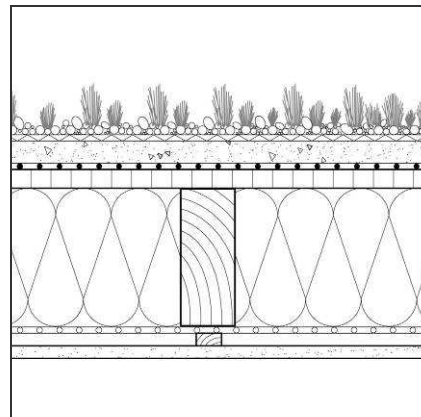


14.19 Objekt 19**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnnutzung
Herstellung Dachaufbau	2006 (Planstand)
Schadensfeststellung	? (Sanierung in 2012)
Kurzbemerkung	Luftundichtigkeiten an Gebäudetrennwänden, eingeschlossene Baufeuchte
Schadensumfang	Vollständige Dachfläche

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	Gründach
Abdichtung	Kunststoffdachbahn, gefällelos
Trägerlage	OSB-Platten, 30 mm
Luftschicht	-
Dämmung	MW, 220 mm
Dampfsperre	PA, feuchtevariabel
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	nicht luftdicht an Gebäudetrennwänden angeschlossen
Baufeuchte	Estricheinbau nach Einbau FADAB, hohe Luftfeuchten (Bäder)
Abdichtung	keine Fehlstellen
Sanierung	Aufdachdämmung mit Gefälle und zusätzlicher Abdichtung



14.20 Objekt 20

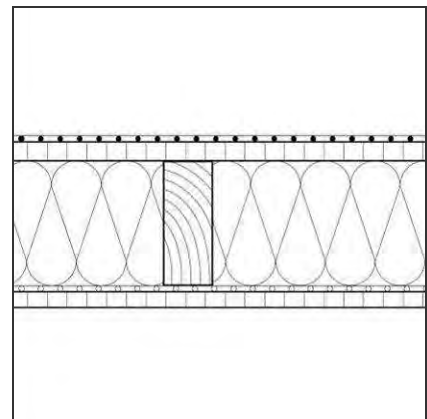
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Kindergarten
Herstellung Dachaufbau	2009
Schadensfeststellung	2011
Kurzbemerkung	Schimmelpilzbefall der OSB-Schalung, nasse Wärmedämmung
Schadensumfang	verschattete Teilbereiche



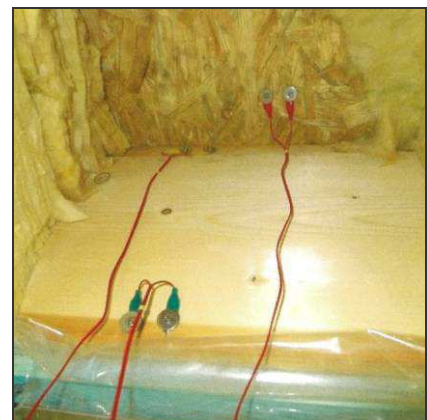
SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	Kunststoffdachabdichtung, grau
Trägerlage	OSB-Schalung mit Gefälle
Luftschicht	-
Dämmung	MF-Vollsparrendämmung
Dampfsperre	PA, feuchtvariabel
Innenbekleidung	GK-Akustikplatten



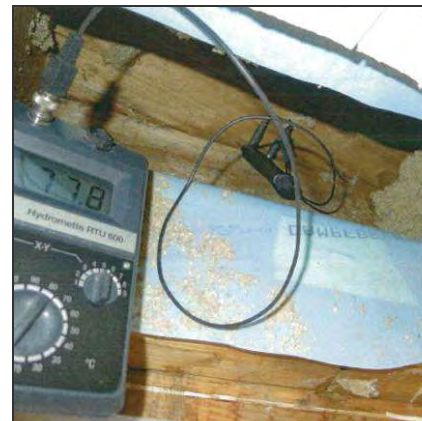
ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht
Baufeuchte
Abdichtung
Sanierung

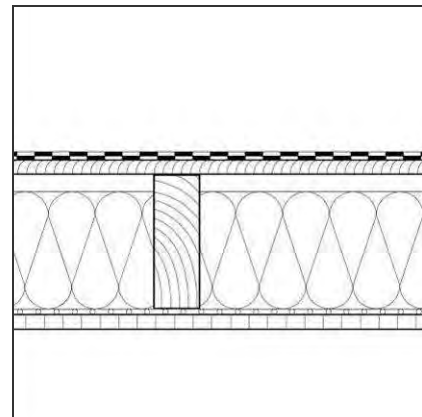


14.21 Objekt 21**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Kindergarten
Herstellung Dachaufbau	2000
Schadensfeststellung	2009
Kurzbemerkung	Schäden auf der Innenseite der Deckenbekleidung, Zellulose-dämmung durch Feuchte zu-sammengesackt
Schadensumfang	Firstbereich

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	-
Abdichtung	beschieferte Bitumenbahn, 2-lg.
Trägerlage	Massivholzschalung, geneigt
Luftschicht	3 - 5 cm, ungeplant (s.o.)
Dämmung	Zellulosefaserdämmung
Dampfsperre	PE-Folie, $s_d > 100$ m
Innenbekleidung	GK-Akustikplatten

**ANGABEN ZU SCHADENSVERLAUF UND URSACHEN**

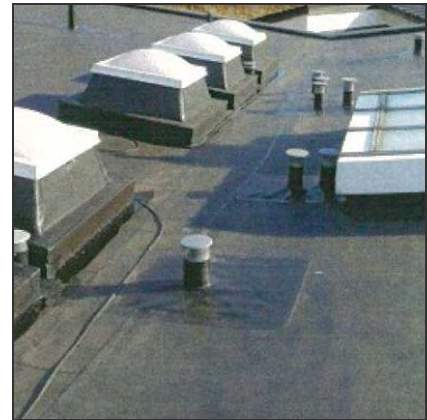
Dampfsperre/	-
Luftdichtheitsschicht	
Baufeuchte	zu hohe Einbaufeuchte Holz-schalung, feuchte Zellulose-dämmung, Luftspalt, Konvektion
Abdichtung	keine Schäden
Sanierung	-



14.22 Objekt 22

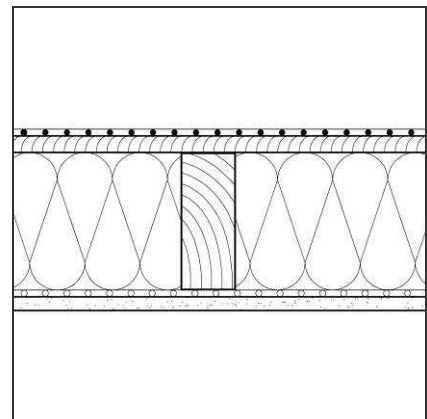
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2008
Schadensfeststellung	2012 nach erfolgloser 1. Sanierung
Kurzbemerkung	Undichtigkeiten im Zinkblech (Blech entfernt), jetzt Dampfsperren undicht angeschlossen
Schadensumfang	Durchfeuchtungen am Tiefpunkt



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	
Abdichtung	Kunststoffbahn, schwarz
Trägerlage	Massivholzschalung, geneigt
Luftschicht	ungeplant
Dämmung	MW, unvollständig
Dampfsperre	Ursprünglich PE-Folie; tw. nachträgl. PA, feuchtevariabel
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung



ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

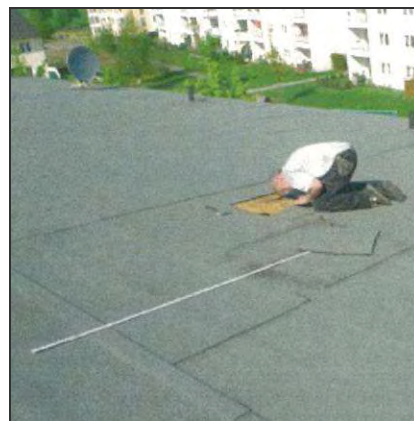
Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	nicht dicht an Wände und Leitungen angeschlossen
Baufeuchte	-
Abdichtung	-
Sanierung	-



14.23 Objekt 23

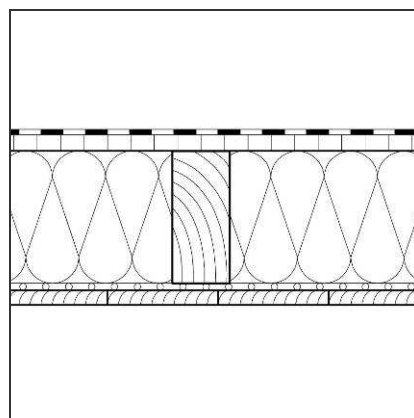
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Reihenhäuser
Herstellung Dachaufbau	2006
Schadensfeststellung	2008 (Sanierung), 2009 (Überprüfung)
Kurzbemerkung	abtropfendes Wasser, erhöhte Holzfeuchte durch Baufeuchte
Schadensumfang	nicht alle Häuser betroffen



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	Bitumenabdichtungsbahn
Trägerlage	OSB-Schalung, 22 mm
Luftschicht	-
Dämmung	MW, 180 mm
Dampfsperre	PE-Folie, 0,2 mm
Innenbekleidung	Holzpaneele



ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	ursprünglich: Lücken in der Dampfsperre vermutet
Baufeuchte	Baufeuchte in OSB-Schalung, da Decke offen zum Innenraum während der Bauzeit
Abdichtung	-
Sanierung	Mineralwolle, PE-Folie, Innenbekleidung erneuert



14.24 Objekt 24

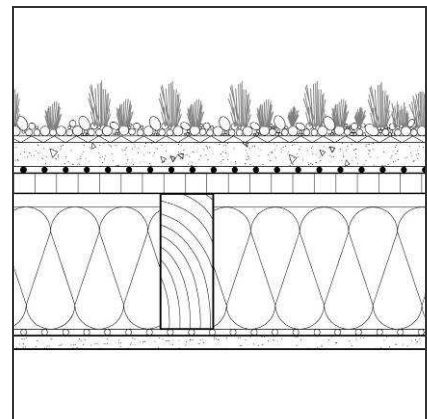
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohnhaus
Herstellung Dachaufbau	2004
Schadensfeststellung	2005
Kurzbemerkung	Abdichtungsschäden, unbelüftete Luftschicht, mehrfache Wassereinbrüche im OG, verfaulte Holzbalken
Schadensumfang	vollständige Dachfläche



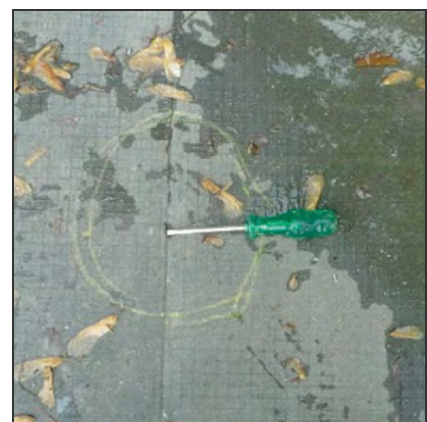
SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Gründach
Abdichtung	ECB-Kunststoff-/Bitumenbahn
Trägerlage	OSB-Schalung
Luftschicht	Vorhanden
Dämmung	MW, 180 mm
Dampfsperre	PE-Folie, $s_d=15$ m
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung



ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/Luftdichtheitsschicht	Lücken zum Mauerwerk
Baufeuchte	unzureichende Sanierung nach lokalem Abdichtungsschaden, trockenes Holz eingebaut
Abdichtung Sanierung	mehrere Lücken in den Nähten

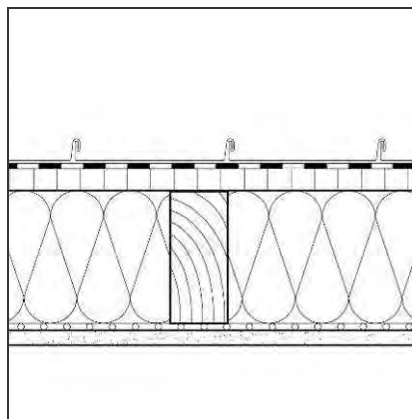


14.25 Objekt 25**ALLGEMEINE ANGABEN**

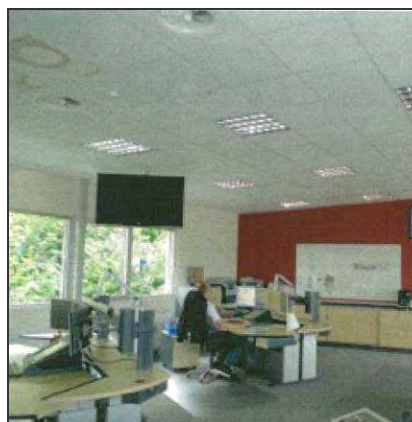
Gebäudetyp/Nutzung	Bürogebäude
Herstellung Dachaufbau	2004, Einbau Dampfsperre 2006-2007
Schadensfeststellung	2007
Kurzbemerkung	nass eingebaute Schalung, Durchfeuchtung/Schimmelpilz in OSB-Schalung, Klimaanlage
Schadensumfang	nicht bekannt

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	Zinkblech mit Wirtgelege
Abdichtung	Unterdeckbahn
Trägerlage	Holzschalung auf OSB-Platten
Luftschicht	-
Dämmung	Vorhanden
Dampfsperre	PE-Folie
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung

**ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/	Klimaanlage
Luftdichtheitsschicht	
Baufeuchte	nass eingebaute Schalung
Abdichtung	-
Sanierung	nicht bekannt



14.26 Objekt 26

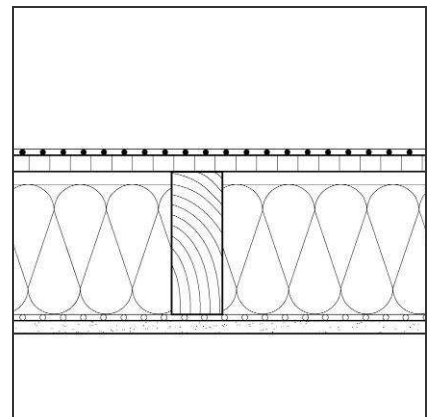
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	über 20 Reihenhäuser
Herstellung Dachaufbau	2010
Schadensfeststellung	2012
Kurzbemerkung	Fäulnisschäden in Firstnähe und oberhalb von Rohrdurchführungen
Schadensumfang	vollständige Dachflächen aller Häuser



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	-
Abdichtung	Kunststoffbahnabdichtung (EVA)
Trägerlage	OSB-Schalung
Luftschicht	Ungeplant und unbelüftet
Dämmung	MW, 200 mm
Dampfsperre	PE-Folie, $s_d > 100m$
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung



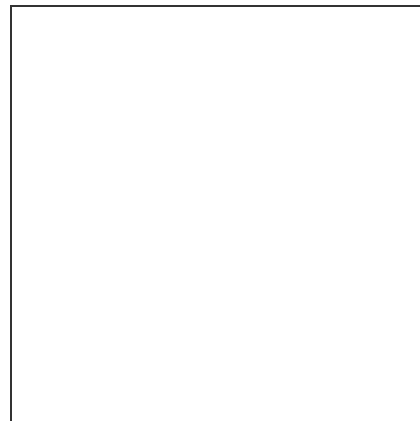
ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	Lücken am Anschluss zu Wänden und Rohrdurchführungen
Baufeuchte	-
Abdichtung	-
Sanierung	vollständige Erneuerung

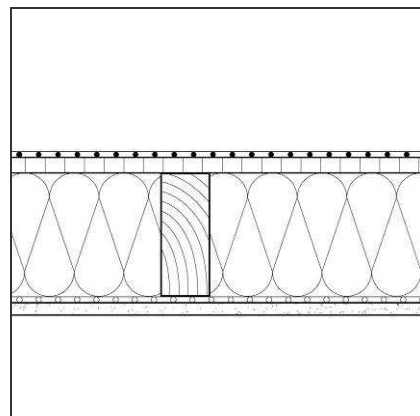


14.27 Objekt 27**ALLGEMEINE ANGABEN**

Gebäudetyp/Nutzung	Wohngebäude, Dachterrasse
Herstellung Dachaufbau	nicht bekannt
Schadensfeststellung	zwei Jahre später
Kurzbemerkung	zu hohe Holzeinbaufeuchte, Schwindverformung
Schadensumfang	vollständige Zerstörung eines Randbalkens

**SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)**

Schutzschicht	-
Abdichtung	vorhanden
Trägerlage	OSB-Schalung
Luftschicht	-
Dämmung	vorhanden
Dampfsperre	PE
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung

**ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN**

Dampfsperre/	-
Luftdichtheitsschicht	
Baufeuchte	Holzbalken zu feucht eingebaut
Abdichtung	-
Sanierung	Austausch des Randbalkens



14.28 Objekt 28

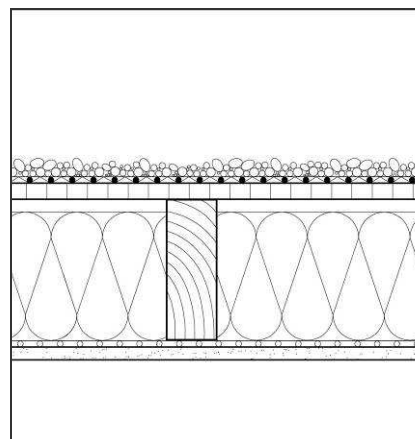
ALLGEMEINE ANGABEN

Gebäudetyp/Nutzung	Wohngebäude
Herstellung Dachaufbau	2008
Schadensfeststellung	2012
Kurzbemerkung	Leckagen in Abdichtung und Dampfsperre, Schimmel auf Schalung, MW feucht
Schadensumfang	Abtropfung an einer Stelle - Tiefpunkt des Daches



SCHICHTENAUFBAU (von oben nach unten)

Schutzschicht	Kies
Abdichtung	FPO, grau mit Glasvlieseinlage
Trägerlage	Rauspundschalung, OSB-Platten
Luftschicht	vorhanden, teilweise als Installationsraum genutzt
Dämmung	MW, WLG 035
Dampfsperre	PA, feuchtevariabel
Innenbekleidung	Gipskartonbekleidung



ANGABEN ZU SCHADENVERLAUF UND URSACHEN

Dampfsperre/ Luftdichtheitsschicht	Luftdichtheitsschicht undicht angeschlossen
Baufeuchte	-
Abdichtung	eine Fehlstelle
Sanierung	



15. Anhang

15.1 Erhebungsbogen

**Zuverlässigkeit von Holzdachkonstruktionen
ohne Unterlüftung der Abdichtungs- und Decklage**

Rückantwort

AIBAU
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik gGmbH
Theresienstraße 19
52072 AACHEN

per Fax: 0241 / 91 05 07 20
per Mail: silke.sous@aibau.de / ralf.spilker@aibau.de



Absender:

Ansprechpartner für evtl. Rückfragen

Sehr geehrte Damen und Herren,

anbei erhalten Sie den ausgefüllten Erhebungsbogen zum o.g. Forschungsprojekt zurück.

I. Ich habe in den letzten zehn Jahren Schadensfälle an Flachdächern in Holzbauweise bearbeitet, bei denen die Dachabdichtung bzw. die Schalung, auf der die Abdichtung aufgebracht war, nicht unterlüftet war.

☐ Ja ☐ Nein Anzahl:

II. Waren bei diesen Flachdächern neue Empfehlungen berücksichtigt worden?

– feuchtevariable Dampfsperren ☐ Ja ☐ Nein

– Trocknungsreserve eingerechnet ☐ Ja ☐ Nein

– sonstiges:

III. Ich habe positive Erfahrungen mit folgenden Bauweisen:

.....

IV. Ich stehe Ihnen auf Wunsch gerne für Rückfragen und weitere Informationen zur Verfügung.

☐ Ja ☐ Nein

V. Ich kann die Thematik anhand von ausgeführten Objekten erläutern (s. Tabelle).

☐ Ja (s. Tabelle) ☐ Nein

Adresse des Objekts	Baujahr	Gibt es Pläne oder Fotos?	Ist eine Besichtigung möglich?

– Detailliertere Angaben mit Fotos oder Skizzen sind erwünscht –

15.2 Literatur

15.2.1 Fachbücher und Fachaufsätze

[Bludau/Zirkelbach/Künzel 2010]

Bludau, Christian; Zirkelbach, Daniel; Künzel, Hartwig M.: Berechnung des instationären hygrothermischen Verhaltens mehrschichtiger Bauteile – Feuchtesichere Planung nach DN 15026; Tagungsband Bauphysik-Tagung 2010, Ingenieurakademie West, Düsseldorf, 09. November 2010

[Borsch-Laaks 2005]

Borsch-Laaks, Robert: Tauwasserschutz zweidimensional; Teil 1: Wohin geht der Dampf im Detail? In: Holzbau Quadriga Heft 5/2005

[Borsch-Laaks 2011]

Borsch-Laaks, Robert: Bauphysik für Fortgeschrittene – Bemessungsregeln für flach geneigte Dächer; in: Holzbau Quadriga Heft 5/2011

[Borsch-Laaks Abdichtung 2011]

Borsch-Laaks, Robert: Ohne Netz und doppelten Boden – Risiken von einlagigen Kunststoffabdichtungen bei Flachdächern in Holzbauweise; in: Holzbau Quadriga Heft 5/2011

[Borsch-Laaks 2012]

Borsch-Laaks, Robert: Flachdächer in Holzbauweise – Voll gedämmt und unbelüftet in die GK 0 ?; in: 23. Hanseatische Sanierungstage; Heringsdorf 2012, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2012

[Bühler 2009]

Bühler, Jörg: Flachdächer in Holzbauweise; in: Ernst & Sohn Spezial: Flachdächer 3/2009

[Eykens 2012]

Eykens, Jonas: Compacte houten platte daken; in: www.passifhuisplatform.be, veröffentlicht 14.05.2012

[Feist 2005]

Feist, Wolfgang: Hochwärmegedämmte Dächer – Einführung; in: Protokollband Nr. 29, Hochwärmegedämmte Dachkonstruktionen, Hrsg.: Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt, Juni 2005

[Fitz/Krus/Zillig 2004]

Untersuchungen zum Feuchteschutz von Leichtbaukonstruktionen mit Bauplatten aus Holzwerkstoffen, IBP-Bericht HTB-10/2004, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart und Valley, 2004

[Fülle 2012]

Fülle, Claudia: Flachdächer in Holzbauweise – Schäden vorprogrammiert? Funktionsweise – Forschung – Normung – Nachweis; Vortrag beim EIPOS – Sachverständigentag Holzschutz 2012; Fraunhofer IRB Verlag 2012

[Gamper/Dietsch/Merk 2013]

Gamper, Andreas; Dietsch, Philipp; Merk, Michael, TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion: Gebäudeklima – Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkungen auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen, Forschungsbericht F 2816, Fraunhofer IRB-Verlag Stuttgart 2013

[Geving/Home 2009]

Geving, Stig; Holme, Jonas: Compact wood frame roofs with built-in-moisture; Test house measurements of the drying potential and risk of mould growth, SINTEF Building and Infrastructure, Project report 38, 2009, www.sintef.no/byggforsk

[Holzabsatzfonds 2008]

Holzabsatzfonds: Nicht belüftete Konstruktionen; In: Spezial Oktober 2008 Flachdächer in Holzbauweise, Fachagentur Holz, Eutin, 2008

[Ibold 2012]

Ibold, Stefan: Schäden am Flachdach; erkennen – bewerten instand setzen; Verlag Rudolf Müller, Köln, 2012

[Info Holz 3-5-2 1997/2001/2005]

Informationsdienst Holz: Baulicher Holzschutz; Holzbauhandbuch Reihe 3, Teil 5, Folge 2, Juli 1997, 2., inhaltlich unveränderter Nachdruck 6/2005

[Kehl/Plagge/Grunewald 2012]

Kehl, D.; Plagge, R.; Grunewald, J.: Wann geht Holz kaputt? – Nachweistechische Beurteilung von Holz zerstörenden Pilzen; 23. Hanseatische Sanierungstage November 2012, In: Forum Altbausanierung 7, Hrsg.: BuFAS e.V., Fraunhofer IRB Verlag

[Künzel/Großkinsky 1989]

Künzel, Helmut; Großkinsky, Theo: Nicht belüftet und voll gedämmt: Die beste Lösung für das Steildach!; in: wksb27/1989 und DDH 12/89

[Künzel/Kaufmann 1995]

Künzel, Hartwig M.; Kaufmann, A.: Feuchteadaptive Dampfbremse für Gebäudedämmungen; in: IBP-Mitteilung 268, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart und Valley, 1995

[Künzel 1998]

Künzel, Hartwig M.: Bedeutung von Klimabedingungen und Diffusionseigenschaften für die Feuchtesicherheit voll gedämmter Altbauздächer; Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Gertis, IRB-Verlag, Stuttgart, 1998

[Künzel/Kasper 1998]

Künzel, Hartwig M.; Kasper, Franz-Josef: Von der Idee einer feuchteadaptiven Dampfbremse bis zur Markteinführung; in: Bauphysik 20 (1998), Heft 6

[Künzel (Glaser) 1999]

Künzel, Hartwig M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?; IBP-Mitteilungen 355 (1999)

[Künzel 2001]

Künzel, Hartwig M.: Problemlösungen für schwierige bauphysikalische Sanierungen: Variable Dampfbremse - Fallbeispiel; Vortrag zur 10. e u [z] – Baufachtagung 18./19. Oktober 2001 in Hannover, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 2001

[Künzel Sedlbauer 2001]

Künzel, Hartwig M.; Sedlbauer, Klaus: Steildächer; in: Bauphysikkalender 2001, Ernst & Sohn, Berlin, 2001

[Künzel Zirkelbach 2006]

Künzel, Hartwig M.; Zirkelbach, Daniel: Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen durch ein- oder zweidimensionale Simulation?; in: WTA-Almanach 2006 „Bauinstandsetzen und Bauphysik“

[Künzel 2009]

Künzel, Hartwig M.: Belüften oder nicht belüften? – Es kommt auf die Konstruktion an!; Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 2009

[Künzel/Zirkelbach/Schafaczek 2010]

Künzel, Hartwig. M.; Zirkelbach, Daniel; Schafaczek, Beate: Berücksichtigung der Wasserdampfkongvektion bei der Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen; in: wksb 63/2010

[Mohrmann 2007]

Mohrmann, Martin: Feuchteschäden beim Flachdach; in: Holzbau – die neue quadriga, H.3, S. 13-17

[Nusser/Teibinger/Bednar 2010]

Nusser, Bernd; Teibinger, Martin; Bednar, Thomas: Messtechnische Analyse flachgeneigte hölzerner Dachkonstruktionen mit Sparrenvolldämmung – Teil 1: nicht belüftete Nacktdächer mit Folienabdichtung, Teil 2: Nicht belüftete, extensiv begrünte Dächer mit Zellulose- und Mineralwollendämmung, Teil 3: Hinterlüftete und nicht hinterlüftete Metaldächer; in: Bauphysik 32 (2010), Heft 3 – 5

[Nusser/Teibinger 2011]

Nusser, Bernd; Teibinger, Martin: Gründach versus Foliendach – Leistungsvergleich und Maßnahmen zur Verbesserung der hygrischen Sicherheit; in: Holzbau-Quadriga Heft 5/2011

[Oswald 2002]

Oswald, Rainer: Deckungen mit unbelüftetem Unterdach; in: db Heft 7/02, Reihe „Schwachstellen“

[Oswald 2009]

Oswald, Rainer: Fehlgeleitet – Unbelüftete Holzdächer mit Dachabdichtungen; in: db Heft 7/09, Reihe „Schwachstellen“

[Pfluger 2005]

Pfluger, Rainer: Lösungen für den Feuchteschutz; in.: Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten und Innendämmung, Protokollband 32, Passivhausinstitut, 2005

[Schmidt 2007-1 und-2]

Schmidt, Daniel: Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise; Teil 1: Belüftet oder nicht belüftet? Diffusionsoffen oder diffusionsdicht?; in: Holzbau Quadriga 3/2007; Teil 2: Holzschutz bei Flachdachkonstruktionen; in: Holzbau Quadriga 4/2007

[Schmidt/Winter u.a. 2008]

Schmidt, Daniel; Winter, Stefan, u.a.: Informationsdienst Holz Spezial: Flachdächer in Holzbauweise, Holzabsatzfonds, Bonn, Oktober 2008

[Schmidt 2011]

Schmidt, Daniel: Flachdächer in Holzbauweise – Machbarkeit, Gefahren und Grenzen insbes. unbelüfteter Konstruktionen; Vortrag auf der Sachverständigen Tagung des Berufsbildungswerkes des Deutschen Dachdeckerhandwerks e.V. in Mayen am 26.10.2011

[Schulze 1987]

Schulze, Horst: Hausdächer in Holzbauart; Konstruktion, Statik, Bauphysik; Werner-Verlag, Düsseldorf, 1987

[Schulze 1997]

Schulze, Horst: Baulicher Holzschutz; Informationsdienst Holz, Holzbauhandbuch Reihe 3, Teil 5, Folge 2, Juli 1997, 2., inhaltlich unveränderter Nachdruck 6/2005

[Schulze 2011]

Schulze, Horst: Feuchtebedingte Schäden an Wänden, Decken und Dächern in Holzbauart; Reihe: Schadenfreies Bauen, Hrsg.: Ralf Ruhnau, begründet von Günter Zimmermann; Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2. Auflage 2011

[Teibinger 2012]

Teibinger, Martin: Nachweismöglichkeiten für Flachdächer; in: Zuschnitt 47, Ausgabe September 2012, Pro Holz Austria, shop proholz.at, www.proholz.at

[Teibinger 2011]

Teibinger, Martin: „Konstruktionsfreigabe“. Feuchteschutztechnische Nachweisführung für nicht hinterlüftete Flachdächer; Hrsg.: Holzforschung Austria, Wien, März 2011

[Teibinger/Nusser 2010]

Teibinger, Martin; Nusser, Bernd: Flachgeneigte Dächer aus Holz – Planungsbroschüre; Hrsg.: Holzforschung Austria, Wien, Dezember 2010

[Teibinger 2012]

Teibinger, Martin: Feuchteschutztechnische Berechnungen flachgeneigter Dächer in Holzbauweise; in: OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik (inkl. Mitteilungen des Österreichischen Instituts für Bautechnik), Heft 4, Dezember 2012

[Urban 2012]

Urban, Harald: Aktuelles zu DIN 68800 „Holzschutz“; Vortrag beim EIPOS – Sachverständigentag Holzschutz 2012; Fraunhofer IRB Verlag 2012

[Willeitner 2012]

Willeitner, Hubert: Was bringt der Kommentar zur neuen DIN 68800?; Vortrag beim EIPOS – Sachverständigentag Holzschutz 2012; Fraunhofer IRB Verlag 2012

[Winter 2009]

Winter, Stefan: Ist Belüftung noch aktuell? Zur Zuverlässigkeit unbelüfteter Wand- und Dachkonstruktionen; 35. Aachener Bausachverständigentage 2009

[Winter/Fülle/Werther 2009]

Winter, Stefan; Fülle, Claudia; Werther, Norman: 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 zukunftsgerichteter Konstruktionen; Forschungsbericht, gefördert von der Forschungsinitiative Zukunft Bau, IRB Verlag F 2736, 2009

[Wollnow 2011]

Wollnow, Jörg: Sperren oder Bremsen? Diffusion in flach geneigten Dächern in Holzbauweise; in: GEB 09/2011

[Zirkelbach/Schafaczek 2013]

Zirkelbach, D.; Schafaczek, B.: Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparametern von Dachbegrünungen zur zuverlässigen Simulation der hygrothermischen Verhältnisse in und unter Gründächern bei beliebigen Nutzungen und unterschiedlichen Standorten; IBP-Bericht HTB-13/2013, Fraunhofer Institut für Bauphysik, April 2013, www.wufi.de

[Zöller 2011]

Zöller, Matthias: Unbelüftete Holzdächer – Fehlertoleranz als notwendige Bauteileigenschaft; in: IBR-online.de, IBR Januar 2011

[Zöller 2012]

Zöller, Matthias: Holzdächer mit Abdichtungen: Nun auch ohne Luftschicht nachweisfrei? in: IBR März 2012

[Zöller 2013]

Zöller, Matthias, Gartz, Benjamin: Dachabdichtungen – Zuverlässigkeitsaspekte bei Flachdächern und geneigten Dächern in: Baurechtliche und -technische Themensammlung, Bundesanzeiger Verlag, Köln 2013

[Zirkelbach u.a. 2009]

Zirkelbach, D.; Künzle, H. M.; Schafaczek, B.; Borsch-Laaks, R.: Dampfkongvektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von kongvektivem Feuchteein-

trag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen; Konferenzbeitrag zur AIVC Conference, Berlin, Oktober 2009

[Zumoberhaus 2011]

Zumoberhaus, Markus, Martinelle + Menti AG, Luzern: Sind Schweizer Holzdächer anders? Erfahrungen mit der feuchtetechnischen Dimensionierung unbelüfteter Flachdächer; in: Holzbau – Quadriga 1/2011

[Zuschnitt 47]

Zuschnitt – Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz: Das flache Dach – Heft September 2012 Nr. 47; pro Holz Austria

15.2.2 Normen

[DIN 1052:2008-12]

Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, 2008-12

[DIN 4108-3:2001-07]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 2001-07

[E DIN 4108-3]

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 2012-01

[DIN 4074:2008-12]

Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz, Ausgabe Dezember 2008

[DIN 18334:2012-09]

VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische

Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten, Ausgabe September 2012

[DIN 68800-2:2012-02]

Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Ausgabe Februar 2012

[DIN EN 1931:2001-03]

Abdichtungsbahnen; Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit, Ausgabe März 2001

[DIN EN 1995-1-1:2010-12]

Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe Dezember 2010

[DIN EN 13183-1:2002-07]

Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren, Ausgabe Juli 2002, mit Berichtigung 1 im März 2003

[DIN EN 13183-2:2002-07]

Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren, Ausgabe Juli 2002, mit Berichtigung 1 im März 2003

[DIN EN 13183-3:2005-06]

Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren, Ausgabe Juni 2006

[DIN EN 13986:2005-03]

Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung, Ausgabe März 2005

[DIN EN ISO 10456 2010-05]

Baustoffe und –produkte; Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte, Ausgabe Mai 2010

[DIN EN ISO 12572:2001-09]

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit, Ausgabe September 2001

[DIN EN ISO 13788:2013-05]

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, Ausgabe Mai 2013

15.2.3 Richtlinien und Merkblätter

[SKH 03-07:2008]

Uitvoeringsrichtlijn waterdampdiffusieremming in houtachtige bouwdeelen; SKH-Publicatie 03-07 d.d. 2008-08-27 (vervangt d.d. 2005-10-10), www.skh.org

[SVDW 2007]

Merkblatt: Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise, Hrsg.: Technische Kommission Flachdach im Schweizerischen Verband Dach und Wand (SVDW), 2/07

[WTA 6-1-01/D]

WTA-Merkblatt: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen, Hrsg.: Wissenschaftlich-technischer Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., WTA-Publications, München; Deutsche Fassung Mai 2002

[WTA 6-2-01/D]

WTA-Merkblatt: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse, Hrsg.: Wissenschaftlich-technischer Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., WTA-Publications, München; Deutsche Fassung Mai 2002

[WTCB Nr. 215 2000]

Het platte Dak. Opbouw, materialen, uitvoering, onderhoud. Brüssel, Hrsg.: Wetenschappelijk En Technisch Centrum Voor Het Bouwbedrijf WTCB, Technische Voorlichting, Nr. 215, 2000

[WTCB-Dossiers 2012/2.6]

Mahieu, E; Noirfalisse, E.; Steskens, P.: Compactdaken, een nieuwe trend? WTCB-Dossiers 2012/2.6 WTCB, überarbeitet November 2012

[ZVDH 2004]

Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V., Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2004

[ZVDH 2010]

Merkblatt für Unterdächer, Unterdeckungen und Unterspannungen, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V., Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2010-01

15.2.4 Produktinformationen

[proclima Bauphysikstudie]

Berechnungen des Bauschadensfreiheitspotentials von Wärmedämmungen in Holz- und Stahlbaukonstruktionen; Feuchtevariable Dampfbremsen pro clima DB+ und INTELLO mit intelligentem Feuchtemanagement; ohne Datum, www.proclima.com

[ISOVER winterlicher Rohbau 2011]

ISOVER Vario Anwendungen im winterlichen Rohbau, Merkblatt, Hrsg. ISOVER Saint-Gobain, Stand 07/2011

[ISOVER VARIO XTRA 2013]

Vario Xtra – mehr Sicherheit mit neuem Luftdichtheitssystem, Stand 01/2013

[KnaufInsulation 2013]

Einbauhinweise für feuchtevariable Dampfbremsbahnen im winterlichen Rohbau, Knauf Insulation LDS FlexPlus und EtaPlus, Stand: 10/2013

15.2.5 Webseiten

www.infoholz.at

www.dataholz.com