

Kann bei voll gedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden?

Dr.-Ing. H. M. Künzle

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Leiter: o. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Dr. E.h.mult. Karl Gertis)
Postfach 11 52, D-83601 Holzkirchen
Miesbacher Str. 10, D-83626 Valley

Kann bei voll gedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden?

Die Entwicklung von dampfdurchlässigen Unterdächern hat dazu geführt, daß sich unbelüftete, zwischen den Sparren vollgedämmte Schrägdachkonstruktionen in der Praxis immer mehr durchsetzen. Je dampfdurchlässiger das meist als Unterspannbahn ausgeführte Unterdach ist, desto geringer sind die Anforderungen an die Dampfdichtheit der raumseitigen Dampfsperre. Durch rechnerische Untersuchungen wird der Frage nachgegangen, ob bei extrem diffusionsoffenen Unterdächern auf eine Dampfsperre ganz verzichtet werden kann, wie teilweise behauptet wird.

Ein Vergleich von Ergebnissen des Normberechnungsverfahrens nach Glaser mit Ergebnissen moderner, experimentell verifizierter Berechnungsmethoden zeigt eine weitgehende Übereinstimmung der während der Heizperiode im Dach ausfallenden Tauwassermengen, solange Strahlungsenergiegewinne unberücksichtigt bleiben. Danach sind Schrägdachkonstruktionen ohne raumseitige Dampfsperre theoretisch unkritisch, wenn das Unterdach einen Diffusionswiderstand von höchstens $s_d = 0,02$ m besitzt. Bezieht man jedoch eine eventuelle Verschmutzung oder Alterung des Unterdaches sowie mögliche Fehlstellen in der raumseitigen Bekleidung in die praktische Beurteilung ein, erscheint eine dampfbremsende Schicht unterhalb der Dämmung mit einem s_d -Wert von 1 bis 2 m weiterhin geboten.

Thermal insulation of pitched roof constructions with vapour permeable top; can it be done without vapour barrier? *The development of vapour permeable underroofs has led to a proliferation of non-ventilated fully insulated pitched roof constructions. The more permeable the underroof, mostly a foil, the lesser the requirements concerning the vapour tightness of the interior vapour barrier. The question, whether a vapour barrier is dispensable if extremely vapour permeable underroofs are used, has been examined by a calculative study.*

A comparison between the results of the standard diffusion calculation procedure according to Glaser and a modern, experimentally verified heat and moisture transport model shows a rather good agreement of the calculated amounts of condensation in the roof during the heating period, as long as solar radiation is disregarded. From this it may be concluded that pitched roof constructions without interior vapour barrier bear no moisture problems in theory if the underroof has a vapour diffusion resistance below 0,02 m of equivalent air layer thickness. However, if possible soiling or ageing of the underroof as well as leaks in the interior converging of the insulation are included in the practical evaluation a vapour retarding layer underneath the insulation with a vapour diffusion thickness of 1 to 2 m still seems necessary.

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. sc. techn. h. c. Dr.-Ing. E. h. mult. Karl A. Gertis), Postfach 1152, 83601 Holzkirchen.
Diplom Chemische Verfahrenstechnik Universität Erlangen. Seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Feuchtetechnik und seit Dezember 1994 Leiter der Abteilung Hygrothermik am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 1994 Promotion.

1 Problemstellung

Bei der Zwischensparrendämmung von geneigten Dächern setzt sich die vollgedämmte diffusionsoffene Variante in der Praxis immer mehr durch. Nach einem Merkblatt des Dachdeckerhandwerks [1] gilt eine unbelüftete Dachkonstruktion als feuchtetechnisch unbedenklich, wenn das Unterdach eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert) von weniger als 0,3 m besitzt und gleichzeitig die raumseitige Dampfsperre einen s_d -Wert von mindestens 2 m aufweist. Werden diese Grenzwerte eingehalten, dann kann bei nicht klimatisierten Wohn- und Bürogebäuden auf einen rechnerischen Nachweis gemäß [2] verzichtet werden. Gestützt auf Freilanduntersuchungen wird in [3] dargelegt, daß bei Unterspannbahnen mit $s_d < 0,15$ m eine Dampfsperre mit $s_d = 1$ m ausreicht. Nach dem Gelbdruck der neuen Holzschutznorm [4] ist eine Dampfsperre dann nicht erforderlich, wenn die Unterspannbahn extrem diffusionsoffen ist, d. h. einen s_d -Wert von höchstens 0,02 m hat. Diese Tendenz in Richtung einer immer größeren Wasserdampfdurchlässigkeit von Unterdächern hat unter den Herstellern von Unterspannbahnen zu einer s_d -Wert-Olympiade geführt, deren Sinn aus bauphysikalischer Sicht zweifelhaft ist.

Da Freilanduntersuchungen immer nur für mehr oder weniger repräsentative Einzelfälle Aussagen zulassen, wurde in [5] ein Zusammenhang zwischen den Diffusionswiderständen von Dampfsperre und Unterdach auf der Grundlage des Normberechnungsverfahrens in [2] hergestellt, um eine allgemeingültige Abschätzung des Tauwasserrisikos einer Dachkonstruktion zu erhalten. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Rechenergebnisse eine genügend sichere Bewertung der wahren Verhältnisse zulassen. Durch den Vergleich mit Ergebnissen eines modernen Rechenverfahrens, das die Berücksichtigung realer Klimaverhältnisse erlaubt, sollen in dieser Arbeit Aussagen, die auf dem Normberechnungsverfahren beruhen, überprüft und die Konsequenzen für die Praxis erörtert werden.

2 Durchführung der Untersuchung

Als Beispiel für die rechnerische Vergleichsuntersuchung dient der in Bild 1 dargestellte typische Aufbau für eine voll-

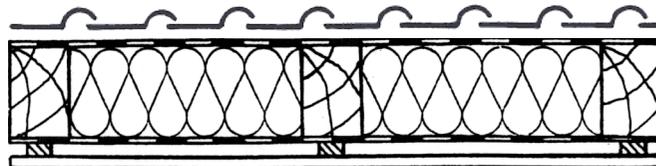


Bild 1. Aufbau einer typischen Steildachkonstruktion mit Zwischensparrendämmung. Von oben nach unten ist folgende Schichtenfolge anzutreffen:
Dachdeckung auf Lattung und evtl. Konterlattung
Unterspannbahn
Mineralfaserdämmung (160 mm)
Dampfsperre
Gipskartonplatten

gedämmte Steildachkonstruktion. Unter der Eindeckung auf Dachlattung und evtl. Konterlattung befindet sich eine Unterspannbahn, deren s_d -Wert für die Berechnung zwischen 0,02 m und 0,3 m variiert wird. Die Unterspannbahn liegt ohne Luftschicht direkt auf der 16 cm dicken Mineralfaserdämmung bzw. auf den Sparren auf. Den raumseitigen Abschluß bilden eine Dampfsperre, deren s_d -Wert zwischen 0 und 2 m variiert, und Gipskartonplatten, die einen s_d -Wert von 0,1 m besitzen. Es wird ausschließlich der eindimensionale Wärme- und Wasserdampftransport im Regelquerschnitt betrachtet, wobei nur Standardstoffkennwerte benutzt werden. Als Alternative zum Normberechnungsverfahren [2] wird ein am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickeltes und bereits mehrfach experimentell verifiziertes Verfahren zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit der Bezeichnung „WUFI“ [6] eingesetzt.

Im Gegensatz zum Normrechenverfahren, für das die in [2] festgelegten Blockrandbedingungen und Oberflächenübergangsbedingungen verwendet werden, werden bei der vergleichenden Simulationsrechnung gemessene Stundenmittelwerte von Außenlufttemperatur, Luftfeuchte und kurzweiliger Strahlung eines für das bayerische Alpenvorland repräsentativen Jahres eingesetzt. Das Raumklima variiert sinusförmig zwischen 24 °C bzw. 70 % r. F. im Hochsommer (15. Juli) und 20 °C bzw. 50 % r. F. im Winter. Die Oberflächenübergangsbedingungen entsprechen mit Ausnahme des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten ($\alpha = 19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) den in [6] vorgeschlagenen Werten. Die kurzweilige Strahlungsabsorptionszahl der Ziegeleindeckung beträgt 0,6, wenn die Strahlungsgewinne einer 28° geneigten, nach Süden orientierten Dachfläche berücksichtigt werden sollen, bzw. Null, wenn der Extremfall eines völlig verschatteten oder mit einer geschlossenen Schneedecke bedeckten Daches betrachtet wird.

3 Ergebnisse

Am Beispiel eines verschatteten Steildaches ohne Dampfsperre ist der Jahresverlauf des Tauwassergehaltes im Dach für zwei unterschiedlich dampfdurchlässige Unterspannbahnen in Bild 2 unten dargestellt. Im gleichen Bild darüber ist der Verlauf der Außenlufttemperatur in Form von gemessenen Dekadenmittelwerten zu sehen. Ein Vergleich zwischen Temperatur und Tauwassergehalt zeigt, daß Außenlufttemperaturen, die im Mittel unter dem Gefrierpunkt liegen, bei einem s_d -Wert der Unterspannbahn von 0,1 m immer Tauwasserbildung zur Folge haben, während bei einem s_d -Wert der Unterspannbahn von 0,05 m – je nach den Feuchteverhältnissen – über -5 °C bereits Trocknungsphasen einsetzen können. Diese zwischenzeitliche Trocknung führt zu einer deutlich geringeren maximalen Tauwassermenge in der diffusionsoffenen Dachkonstruktion während der Heizperiode. Der maximal auftretende Tauwassergehalt wird im folgenden mit den Ergebnissen der Tauwassermenge aus den Normberechnungen verglichen.

In Bild 3 ist die mit Hilfe des Normberechnungsverfahrens [2] bestimmte, in der Tauperiode anfallende Tauwassermenge in der Dachkonstruktion (Bild 1) ohne Dampfsperre in Abhängigkeit vom s_d -Wert der Unterspannbahn als durchgezogene Linie dargestellt. Die Ergebnisse der WUFI-Berechnungen sind im gleichen Bild als Kreise dargestellt, wobei die Vollkreise die maximal auftretende Tauwassermenge in der Heizperiode ohne Strahlung und die Hohlkreise die Verhältnisse unter Berücksichtigung von Strahlungsgewinnen einer nach Süden orientierten, nicht schneebedeckten Dachfläche bezeichnen. Der Vergleich der Ergebnisse beider

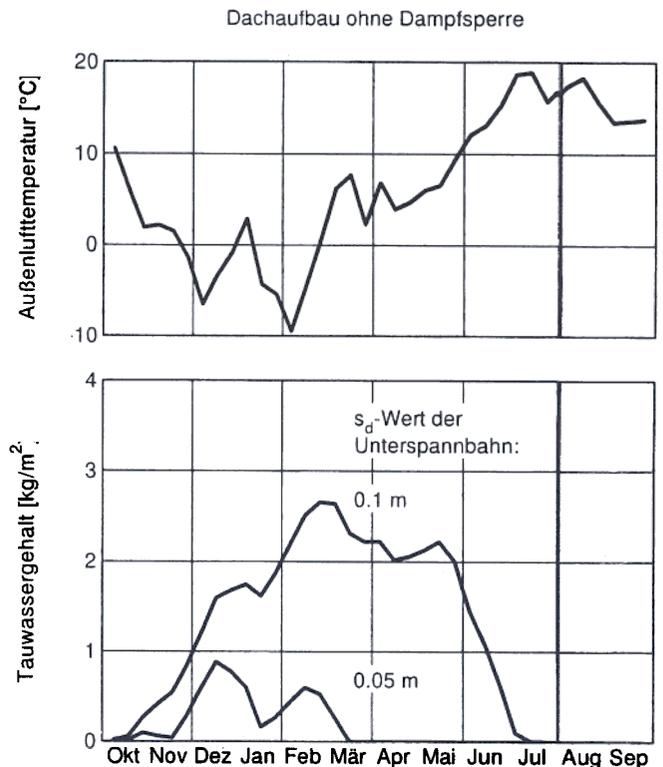


Bild 2. Berechnete Jahresverläufe der Tauwassermenge in einem Dach ohne Dampfsperre bei einem s_d -Wert der Unterspannbahn von 0,1 und 0,05 m mit Angabe der zugrunde gelegten Außenlufttemperatur (oben). In der Darstellung wurden Dekadenmittelwerte zur besseren Anschauung verwendet. Die Berechnung wurde mit Stundenmittelwerten ohne Berücksichtigung der kurzweiligen Strahlung durchgeführt

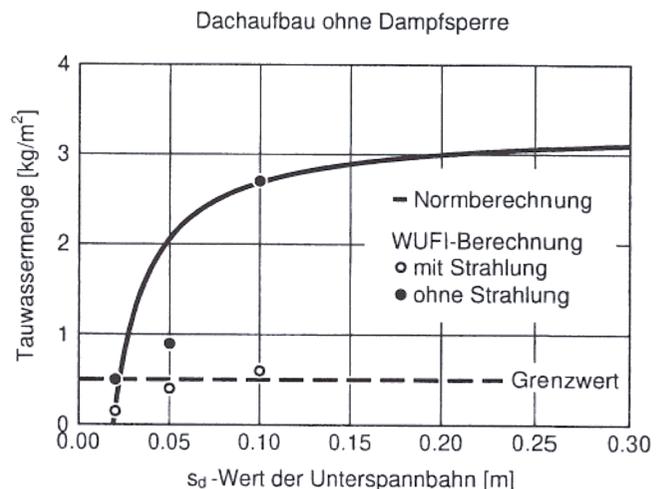


Bild 3. Abhängigkeit der maximalen Tauwassermenge in einem vollgedämmten Steildach ohne Dampfsperre vom s_d -Wert des Unterdaches. Die durchgezogene Linie beruht auf Ergebnissen des Normverfahrens in [2]. Die Vollkreise und Hohlkreise bezeichnen Ergebnisse der WUFI-Berechnungen mit und ohne kurzweiligen Strahlungseinfluß

Berechnungsmethoden ohne Strahlungseinflüsse – beim Normberechnungsverfahren werden eventuelle Strahlungsgewinne des Daches in der Tauperiode aus Sicherheitsgründen nicht berücksichtigt – zeigt eine recht gute Übereinstimmung, wenn man von der Tauwassermenge bei $s_d = 0,05 \text{ m}$ absieht, die in den WUFI-Ergebnissen durch zwischenzeitliche Trocknung (Bild 2) deutlich reduziert ist. Diese Übereinstimmung ist bei Leichtkonstruktionen, wie der hier betrachteten, für die das Normberechnungsverfahren, das auf Glaser [7] zurückgeht, ursprünglich entwickelt

wurde, zu erwarten, wenn die verwendeten Randbedingungen eine vergleichbare Wirkung auf die Dampfdiffusion im Bauteil haben. Legt man den Grenzwert für die zulässige Tauwassermenge für kapillar nicht leitende Schichten in [2] von $0,5 \text{ kg/m}^2$ (in Bild 3 als gestrichelte Linie eingezeichnet) zugrunde, zeigt sich in Übereinstimmung beider Rechenverfahren, daß der s_d -Wert der Unterspannbahn einen Wert von $0,02 \text{ m}$ nicht überschreiten darf. Anders sieht es aus, wenn man die kurzwellige Strahlung berücksichtigt. Für ein südorientiertes, nicht schneebedecktes Dach entstehen erst bei einem s_d -Wert von knapp $0,1 \text{ m}$ kritische Feuchtzustände. Diese günstigen Voraussetzungen für besonnte Dachflächen können jedoch nicht für eine allgemeine Bewertung herangezogen werden. Deshalb wird hier nur das völlig verschattete Dach, das den ungünstigsten in der Praxis möglichen Fall darstellt, weiterverfolgt.

Das so ermittelte Maximum für den s_d -Wert eines Unterdaches bei einem Dachaufbau ohne Dampfsperre von $0,02 \text{ m}$ (2 cm!) deckt sich mit den Vorgaben in [4]. Dabei wurde jedoch davon ausgegangen, daß zwischen der Unterspannbahn und der Eindeckung Außenluftverhältnisse herrschen, d. h. die Eindeckung ist so gut hinterlüftet, daß sie keinen Dampfdiffusionswiderstand darstellt. Dies ist aber bei einem vereisten oder schneebedeckten Dach zumindest zweifelhaft. Da außerdem die Oberflächenübergangswiderstände für den Wasserdampf in einer ähnlichen Größenordnung wie der geforderte s_d -Wert liegen, wurde für die weiteren Untersuchungen davon ausgegangen, daß der äußere s_d -Wert der Dachkonstruktion bei Verwendung einer diffusionsoffenen Unterspannbahn bei $0,1 \text{ m}$ liegt. Dann muß aber, wie Bild 3 zeigt, eine dichtere Innenbekleidung, als dies Gipskartonplatten darstellen, verwendet werden. In Bild 4 ist die Abhängigkeit der Tauwassermenge nach der Tauperiode vom s_d -Wert der Innenbekleidung für Dachkonstruktionen mit äußeren Dampfdiffusionswiderständen zwischen $s_d = 0,1$ und $s_d = 0,3 \text{ m}$ (schraffierter Bereich) dargestellt. Die markierten Ergebnisse der WUFI-Berechnungen stimmen wiederum gut mit den als durchgezogene Linien eingezeichneten Ergebnissen des Normverfahrens überein. Um den Grenzwert von $0,5 \text{ kg/m}^2$ Tauwasser während der Heizperiode nicht zu überschreiten, müssen demnach die Innenbekleidungen einen s_d -Wert von mindestens $0,6 \text{ m}$ bei einem

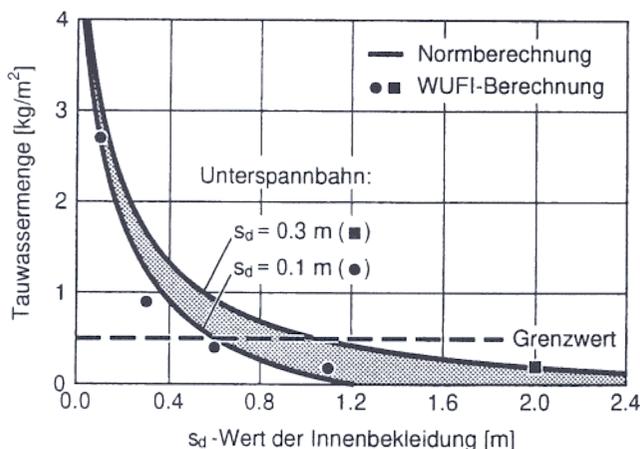


Bild 4. Abhängigkeit der höchsten, während der Heizperiode auftretenden Tauwassermenge in einer diffusionsoffenen Dachkonstruktion vom s_d -Wert der Innenbekleidung. Der mit dem Normverfahren berechnete Bereich für dampfdurchlässige Unterspannbahnen (s_d -Wert: $0,1$ bis $0,3 \text{ m}$) ist schraffiert eingezeichnet. Die Ergebnisse der WUFI-Berechnungen ohne Strahlungseinflüsse sind durch Vollkreise ($s_d = 0,1$) bzw. Quadrate ($s_d = 0,3$) je nach Diffusionswiderstand der Unterspannbahn markiert

extrem diffusionsoffenen Unterdach ($s_d < 0,1 \text{ m}$) bzw. von mindestens $1,0 \text{ m}$ bei einem diffusionsoffenen Unterdach ($s_d < 0,3 \text{ m}$) aufweisen.

4 Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerung

Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse des Normberechnungsverfahrens mit den Ergebnissen der experimentell verifizierten Simulationsrechnung zeigt, daß das Normverfahren eine realistische Bewertung des Tauwasserrisikos von leichten Dachkonstruktionen ermöglicht. Dies gilt allerdings nicht für die Berechnung der Austrocknung während der Verdunstungsperiode, wie in [8] nachgewiesen wurde. Die Verdunstung stellt bei den hier betrachteten diffusionsoffenen Konstruktionen jedoch kein Problem dar und wurde deswegen auch nicht eingehender untersucht. Der Grenzwert für die zulässige Tauwassermenge von $0,5 \text{ kg/m}^2$ bei nicht kapillarleitenden Schichten hat sich bislang bewährt und kann als ausreichend sicher in bezug auf das Feuchte-schadensrisiko angesehen werden.

Daraus ergeben sich für die Praxis folgende Schlußfolgerungen: Ein Dachaufbau ohne Dampfsperre setzt voraus, daß die außen an die Dämmschicht anschließenden Schichten einen s_d -Wert von höchstens 2 cm haben. Dies kann jedoch nicht gewährleistet werden. Selbst eine extrem diffusionsoffene Unterspannbahn kann ihre mit den bisherigen Meßverfahren nur ungenau bestimmbare Dampfdurchlässigkeit durch Alterung oder Verschmutzung im Laufe der Zeit verändern. Außerdem kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, daß die Eindeckung keinen Dampfdiffusionswiderstand aufweist. Wenn beispielsweise Eis oder Schnee die Luftkonvektion durch die Fugen zwischen den einzelnen Dachplatten behindern, wird der Austausch der Luftschicht zwischen Eindeckung und Unterdach mit der Außenluft eingeschränkt, so daß die Eindeckung bis zu einem gewissen Grad wie ein Diffusionswiderstand wirken kann. Deshalb wird im Gegensatz zum Entwurf der Holzschutznorm [4] vorgeschlagen, für extrem dampfdurchlässige Unterdächer, deren s_d -Wert kleiner als $0,1 \text{ m}$ ist, für die Bewertung generell $0,1 \text{ m}$ anzunehmen und darunter keine weitere Differenzierung vorzunehmen. Das bedeutet gleichzeitig, daß bei einer Dachkonstruktion ohne Dampfsperre und dampfdurchlässiger Innenbekleidung, wie z. B. Gipskarton, Feuchteprobleme nicht auszuschließen sind. Aus diesem Grund ist im Einklang mit dem Merkblatt des Dachdeckerhandwerks [1] raumseitig eine dampfbremsende Schicht zu fordern, die einen s_d -Wert von etwa 2 m haben sollte. Im Fall von extrem diffusionsoffenen Unterdächern ($s_d < 0,1 \text{ m}$) erscheint sogar eine Dampfbremse von $s_d = 1 \text{ m}$ ausreichend. Dampfbremsende Schichten, die z. B. als Folien oder Papierbahnen auch in den Anschlußbereichen dauerhaft abgedichtet werden können, sind bei fachgerechter Ausführung ein guter Schutz gegen das konvektive Eindringen von Raumluftfeuchte ins Dach. Dieser Punkt erscheint für die Praxis besonders wichtig, da durch Luftströmungen, wie z. B. in [9] experimentell nachgewiesen, wesentlich größere Feuchtemengen als durch Dampfdiffusion ins Dach gelangen können.

Literatur

- [1] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Merkblatt für Wärmedämmung zwischen den Sparren. DDH 112 (1991), H. 24, S. 17–20.
- [2] DIN 4108, Teil 3: Wärmeschutz im Hochbau; klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [3] Künzel, H. und Großkinsky, Th.: Neue Erkenntnisse; Vorteile diffusionsoffener, unbelüfteter Satteldachkonstruktionen. DDH 113 (1992), H. 14, S. 32–38.

- [4] DIN 68800, Teil 2: Holzschutz; vorbeugende bauliche Maßnahmen. Entwurf Dezember 1994.
- [5] *Schulze, H.*: Geneigte Dächer ohne chemischen Holzschutz auch ohne Dampfsperre? *bauen mit holz* (1992), H. 8, S. 646–659.
- [6] *Künzel, H. M.*: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart 1994.
- [7] *Glaser, H.*: Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. *Kältetechnik* 10 (1958), H. 11, S. 358–364 und H. 12, S. 386–390.
- [8] *Künzel, H. M.*: Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung. *IBP-Mitteilung* 22 (1995), Nr. 269.
- [9] *Hens, H.*: Luft-Winddichtigkeit von geneigten Dächern. Wie sie sich wirklich verhalten. *Bauphysik* 14 (1992), H. 6, S. 161–174.