

Flachdachkonstruktionen – Tauwasser im Neubau und Sanierung

Sebastian Unterholzner
Drees & Sommer
München/Stuttgart, Deutschland



Flachdachkonstruktionen – Tauwasser in Neubau und Sanierung

Zusammenfassung

Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise bedürfen einiger Sonderbetrachtungen, um sicher schadensfrei planen und bauen zu können. Neben der ordentlichen Ausführung der Abdichtung gegen Niederschlagswasser, was alle Konstruktionsarten gleichermaßen betrifft, muss bei Flachdächern aus Holz gewährleistet sein, dass die eingebrachte Baufeuchte, z. B. in Konstruktionsvollholz oder Holzwerkstoffen, die Grenzwerte nicht überschreitet. Gleichzeitig sind filigrane Konstruktionsweisen gefährdet, wenn die Dampfdichtheit auf der Innenseite der Dämmung aufgrund von mangelhafter Ausführung oder Durchstoßen anderer Gewerke beschädigt wird. Schäden sind oftmals nur schwer zu lokalisieren. Die Sanierung von Flachdächern kann, unter Umständen, auch unter Beibehaltung der alten Dämmung und Dampfbremse erfolgen.

1. Feuchtetransport und Feuchtespeicherung

1.1. Grundlagen

Die Fähigkeit von Luft Wasser in Dampfform zu speichern ist abhängig von ihrer Temperatur. Grundsätzlich kann kalte Luft aufgrund des Sättigungsdampfdruckes weniger Feuchtigkeit aufnehmen als warme Luft. Bei der Abkühlung der Luft sinkt der Sättigungsdampfdruck. Bei Unterschreitung einer gewissen Temperatur kann die Luft das Wasser, in Form von Wasserdampf, nicht mehr speichern und Wasser kondensiert. Das Kondensat nennt man auch Tauwasser, die Temperatur, bei der Tauwasser ausfällt, ist die Taupunkttemperatur.

Baustoffe besitzen in der Regel Hohlräume, die vom Makroporenbereich (mm bis 10 μm) bis in den Mikrobereich ($< \mu\text{m}$) reichen. Der in der Luft enthaltene Wasserdampf wird, durch bestimmte Vorgänge, deren Funktionsweisen teilweise noch nicht komplett erforscht sind, in diese Baustoffporen transportiert bzw. dort gebunden. Die Feuchtebindung erfolgt somit durch die sogenannte Wassersorption.

Die im Baustoff vorhandene Feuchte kann folglich transportiert werden. Der Baustoff kann dementsprechend Wasser bzw. Feuchte abgeben oder Feuchte aufnehmen. Dies geschieht, gemäß den unterschiedlichen Aggregatzuständen, mithilfe von zwei Transportmechanismen: Dem Kapillartransport, welcher einem Wassertransport in flüssiger Form entspricht und der Wasserdampfdiffusion, bei der gasförmiges Wasser transportiert wird.

1.2. Sorption

Das von der Luft abgegebene Wasser, lagert sich in den Zellen, Poren und Kapillaren von Materialien ein, deren Ausgleichsfeuchte geringer ist als die Raumlufftfeuchte. Sinkt die Raumlufftfeuchte unter die Ausgleichsfeuchte im Material, so lösen sich Wassermoleküle wieder von der inneren Oberfläche des Stoffes ab und diffundieren zurück in die Raumlufft.

Das bei Sorptionsvorgängen angelagerte Wasser der feuchten Luft wird, demnach lediglich zwischengespeichert. Grundsätzlich ist die Sorption also ein Gleichgewichtsprozess zwischen der Anlagerung und der Abgabe eines Stoffes, der durch Konzentrations- und Temperaturänderungen angetrieben wird.

1.3. Wasserdampfdiffusion

Die Wasserdampfdiffusion beschreibt den Transport von Feuchtigkeit, in Form von Wasserdampf, durch ein Bauteil. Als treibende Kraft wirkt hierbei die Differenz der Wasserdampfpartialdrücke auf beiden Seiten des Bauteils. Der Partialdruck ist wiederum von der relativen Luftfeuchte sowie der Temperatur abhängig. Der in der Luft enthaltene Wasserdampf, diffundiert dabei analog zum Druckgefälle; In der Regel von der warmen Seite (hoher Wasserdampfpartialdruck) zur kalten Seite (niedriger Wasserdampfpartialdruck).

Somit kann sich im Sommer ein umgekehrtes Druckgefälle einstellen als im Winter. Abbildung 1 stellt schematisch die Wasserdampfdiffusion durch ein Flachdach zu unterschiedlichen Jahreszeiten und dementsprechend unterschiedlichen klimatischen Bedingungen dar.

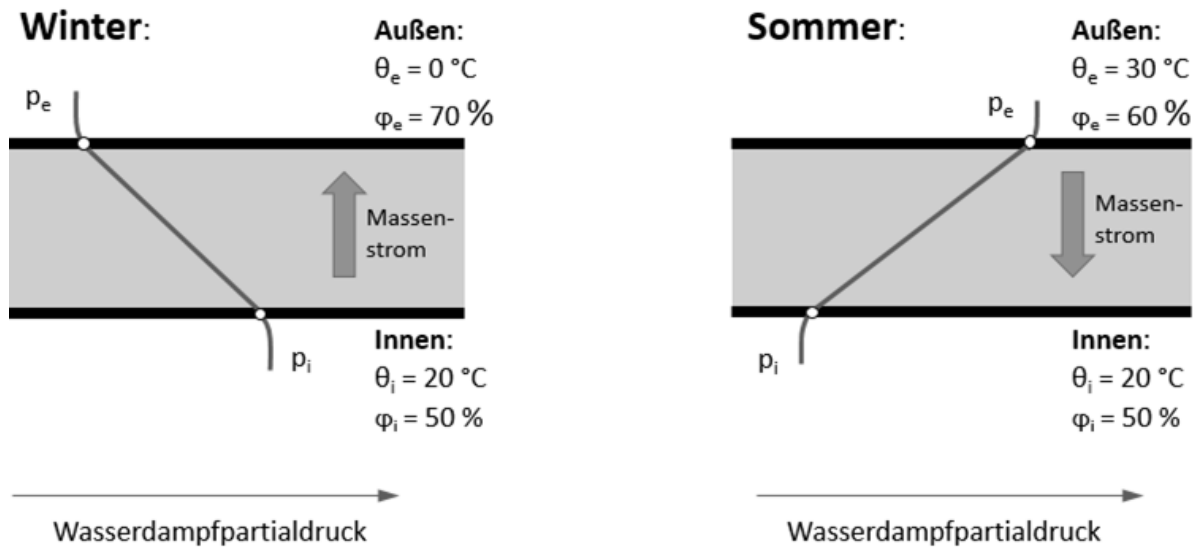


Abbildung 1: Wasserdampfdiffusion in Abhängigkeit der Jahreszeit

Bestimmt wird die Wasserdampfdurchlässigkeit eines Baustoffes durch seinen Wasserdampfdiffusionswiderstand, welcher von der Dicke und dem Material abhängt.

1.4. Kapillartransport

Baustoffe können, abhängig von ihrer kapillaren Struktur, bei Kontakt mit Wasser Feuchtigkeit aufnehmen und diese weiterleiten. Der Transport durch Poren und Kapillare findet in flüssiger Form statt und geschieht von feuchten zu trockenen Bereichen im Material, bzw. in Richtung der Schicht mit den feineren Kapillaren. Die Ursache dieser Saugfähigkeit liegt in der Oberflächenspannung des Wassers und der Benetzbarkeit von Festkörpern, die mit dem Wasser in Kontakt sind.

2. Entstehung von Tauwasser

2.1. Feuchtigkeit aus Innenräumen

In den kalten Monaten stellt sich in Flachdachkonstruktionen in Innenräumen ein höherer Wasserdampfpartialdruck ein als außen. Das dadurch entstehende Druckgefälle führt dazu, dass feuchte, warme Luft aus dem Innenraum in das Bauteil eindringt und dort abkühlt. Somit steigen im Bauteil die relative Feuchte und der Wasserdampfpartialdruck. Dieser Vorgang findet immer dann statt, wenn ein Druckgefälle zwischen innen und außen vorliegt. Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl der verbauten Materialien μ ist dabei das Maß, welches angibt, wie stark der Diffusionsprozess gehindert wird und wieviel Wasser dementsprechend in die Konstruktion eindringt – analog zum Wärmedurchlasswiderstand beim Wärmetransport. Für Flachdachkonstruktionen ist daher grundsätzlich unterhalb der Dämmschicht eine Dampfsperre anzuordnen, um den Transport feuchter Luft in die Konstruktion zu verringern. Diese kann zum Beispiel durch Folien oder Bitumenbahnen realisiert werden. Da ein geringfügiger Feuchtetransport in die Dämmebene jedoch nicht verhindert werden kann, muss auf der Oberseite der Dämmung die Dachabdichtung derart ausgeführt werden, dass eine Austrocknung durch Dampfdiffusion möglich ist. Das bedeutet, dass der Wasserdampfdiffusionswiderstand, respektive die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d ($\mu \cdot \text{Dicke}$), oberhalb der Dämmung geringer sein muss als unterhalb.

Auch Leckagen in der Konstruktion, zum Beispiel in der Dampfbremse, können zum Wassereintrag durch Konvektion führen. Dabei kann durch eine 1 mm dünne Fuge mehr als 150 Mal so viel Wasser transportiert werden als durch eine dampfdichte Folie ($s_d = 2\text{ m}$). [4] Dies hat ebenfalls eine Erhöhung des Wasserdampfpartialdrucks in der Konstruktion

zur Folge. Untersuchungen aus den USA haben bei Holzhäusern ergeben, dass selbst bei sauberer Ausführung stets Leckagen bleiben, die eine Überschreitung des s_d -Werts der Gesamtkonstruktion von 3 m nicht ermöglichen. Daraus lässt sich folgern, dass Dampfsperren mit s_d -Wert > 10 keinen Mehrwert in der Realität bringen. [5]

Wenn der Wasserdampfpartialdruck in der Konstruktion den Wasserdampf-sättigungsdruck übersteigt, fällt Tauwasser aus. Dieser Vorgang wird üblicherweise im sogenannten Glaser-Diagramm dargestellt, wie in Abbildung 2 zu sehen.

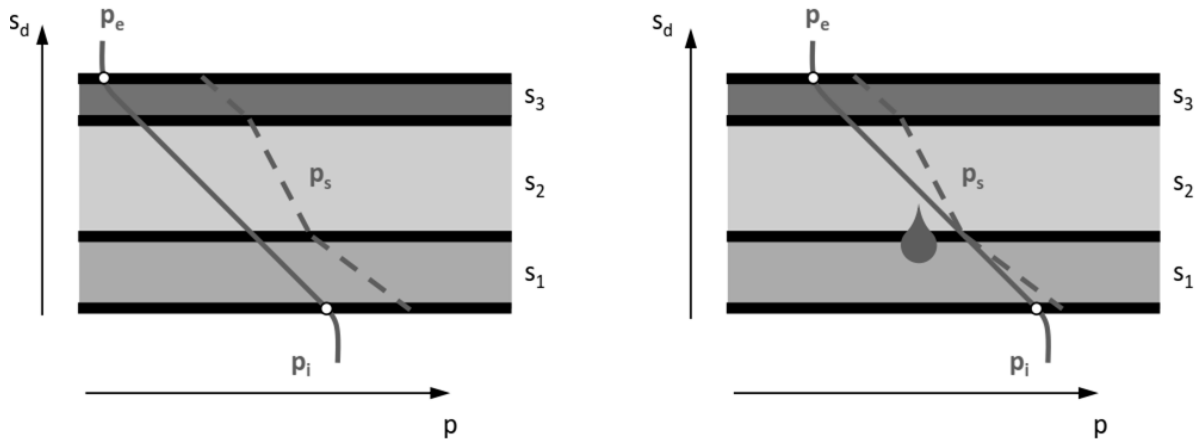


Abbildung 2: Abhängigkeit des Wasserdampfpartialdrucks und des Wasserdampf-sättigungsdrucks nach Glaser. Links: der Wasserdampfpartialdruck bleibt geringer als der Wasserdampf-sättigungsdruck (p_s). Tauwasser fällt nicht aus. Rechts: Dort, wo der Wasserdampfpartialdruck dem Wasserdampf-sättigungsdruck entspricht, fällt Tauwasser aus.

Das Glaserdiagramm hat jedoch seine Grenzen, da es die Wasserdampfdruckverteilung unter statischen Bedingungen betrachtet. Durch die ständigen Veränderungen der Rahmenbedingungen (Tag/Nacht, Sommer/Winter, trocken/Niederschlag) können, in zweifelhaften Fällen, nur instationäre Untersuchungen Aufschluss geben.

Abbildung 3 stellt zusammenfassend nochmal die Vorgänge dar, durch die Wasser aus der feuchten Raumluft in die Flachdachkonstruktion eindringen kann.

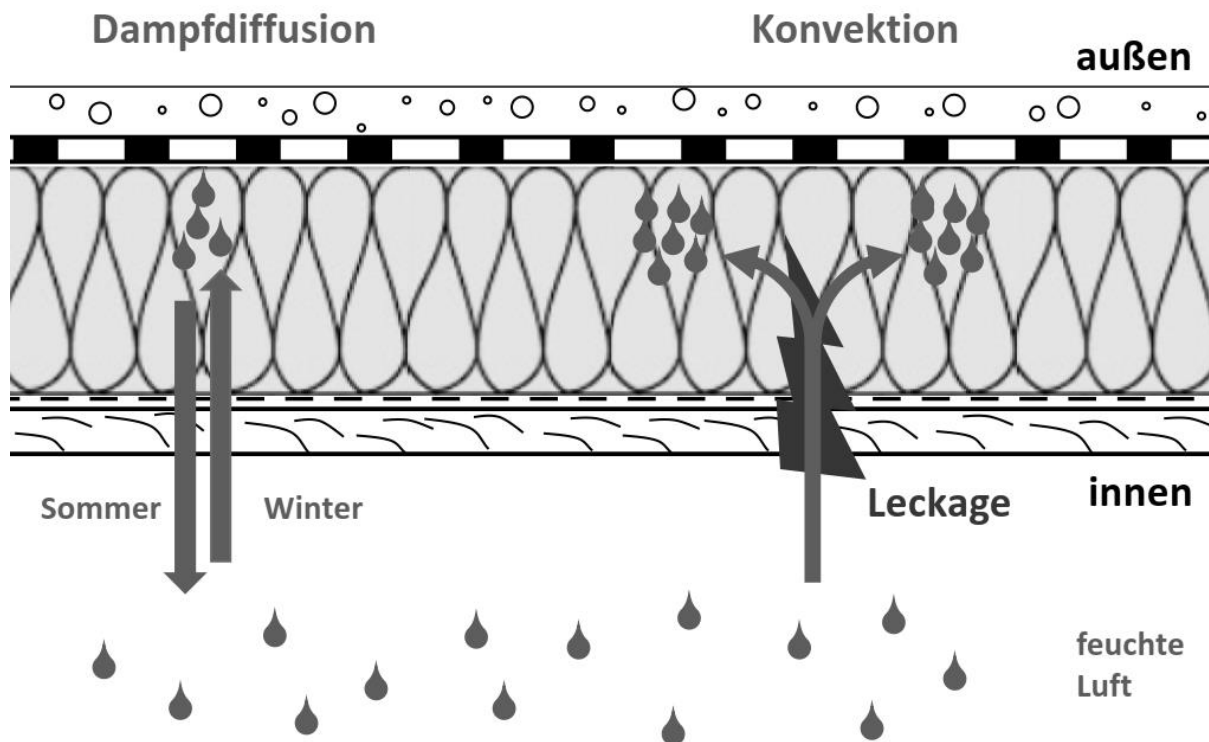


Abbildung 3: Wassereintrag in die Baukonstruktion aus feuchter Raumluft

Aufgrund der Umkehrung des Dampfdruckgefälles im Sommer kann, durch spezielle feuchteadaptive Dampfbremsen auf der Unterseite der Dämmung, auch eine Austrocknung der Konstruktion zum Rauminneren erfolgen. Der feuchteadaptive s_d -Wert ist dabei abhängig von der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur. So fungiert die feuchteadaptive Folie im Winter wie eine Dampfbremse und erlaubt, bei warmer, feuchter Außenluft, die Austrocknung der Konstruktion zum Innenraum hin.

2.2. Eingebaute Feuchtigkeit

Neben dem Feuchteintrags aus Innenräumen, durch Diffusion und Konvektion, ist als zweite Hauptursache für Tauwasser in Flachdachkonstruktionen die Baufeuchte zu nennen. Die Baufeuchte kann beispielsweise durch feuchtes Holz oder Holzwerkstoffe eingebracht werden. Dämmung, welche auf der Baustelle nicht ausreichend vor der Witterung geschützt wurde, kann ebenso Feuchtigkeit in die Konstruktion eintragen.

Vorgaben für die Feuchte von Holz und Holzwerkstoffen lassen sich in verschiedenen Normen und Regelwerken finden. Die ATV DIN 18334 (VOB Teil C für Zimmer- und Holzbauarbeiten) lässt maximal 20% rel. Holzfeuchte zu (im Holzhausbau 18 %). Die Regelung der Nutzungsklassen in der DIN 1052 lässt für Flachdachkonstruktionen nicht immer eine eindeutige Zuordnung zu. Die Spannweite für die rel. Holzfeuchte beim Einbau reicht von 5% bis 20%. [3]

Erfahrungsgemäß sollte Vollholz oder Konstruktionsvollholz eine maximale Einbaufeuchte von 15% aufweisen. Holzwerkstoffe dagegen sind, in der Regel, mit Lieferfeuchten zwischen 9% und 12% erhältlich.

Im eingebauten Zustand stellt sich in der Flachdachkonstruktion eine Ausgleichsfeuchte zwischen den Materialien ein. Das bedeutet, die feucht eingebauten Baustoffe desorbieren ihre Feuchtigkeit, welche sich in den Poren und Zwischenräumen befindet, an die angrenzend verbauten Materialien und die Luft. Bei Temperaturabfall stellt sich dasselbe Phänomen wie in Kapitel 2.1 ein. Der Wasserdampfpartialdruck erreicht den Wasserdampf-sättigungsdruck und es kommt zur Kondensatbildung.

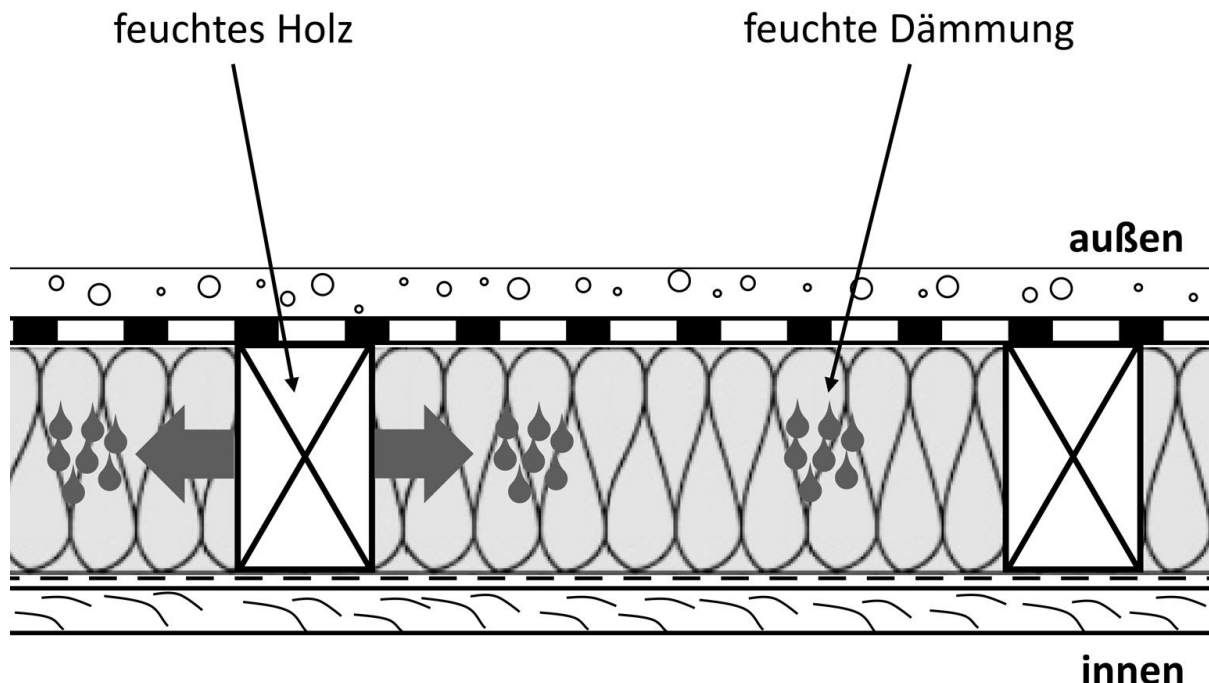


Abbildung 4: Feuchtigkeit in der Flachdachkonstruktion aufgrund von Baufeuchte.

Zudem können während der Bauzeit nicht abgedeckte, offene Flachdachkonstruktionen bei Regen oder Schnee Wasser aufnehmen. Beim Schließen der Dachkonstruktion wird, aufgrund des erhöhten Wasserdampfdiffusionswiderstands, ein Austrocknen erschwert.

Deshalb ist im Bauzeitenplan stets ein Zeitpuffer vorzusehen um zu vermeiden, dass bei schlechter Witterung Arbeiten an der ungeschützten Dachkonstruktion vollzogen werden müssen.

Unter Umständen kann eine kalkulierte Rücktrocknung von feuchten Baustoffen bei einer diffusionsoffenen Bauweise erfolgen. Hierzu muss unbedingt, mittels einer instationären hygrothermischen Simulation (WUFI), die Austrocknung in Abhängigkeit der regionalen Bedingungen, der eingebauten Wassermenge und durch Abbildung der exakten Bauteilkonstruktion nachgewiesen werden. Die Austrocknung kann auch über mehrere Jahre erfolgen.

3. Baupraxis / Schäden durch Tauwasser

Feuchteschäden in Flachdachkonstruktionen aus Holz müssen sich nicht immer zwingend durch tropfende Decken, wie in Abbildung 5, bemerkbar machen.



Abbildung 5: Wasser tropft aus der Flachdachkonstruktion

Blasen in der Abdichtung können die Folge von Ausdehnung der feuchten Luft in der Dämmebene sein. Die Feuchtigkeit in der Konstruktion kann durch die dampfdiffusionsdichte Abdichtung nicht entweichen, weshalb die, durch die Sonne erweichte, bituminöse Abdichtung der Luftausdehnung nachgibt und Blasen wirft.

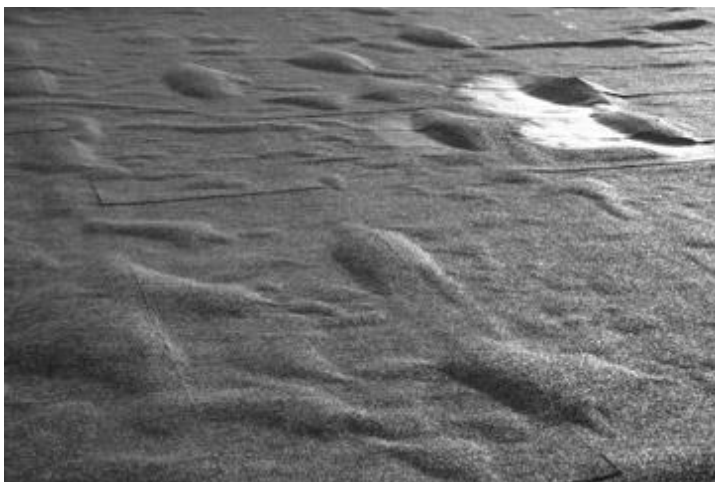


Abbildung 6: Blasenbildung in der Dachabdichtung

Bei wasserspeichernden Dämmstoffen, wie zum Beispiel Calziumsilikatplatten, kann eine zu hohe Baufeuchte zum Auffrieren der Dämmschicht im Winter führen. Dies hat zur Folge, dass der feste, wenn auch poröse Dämmstoff zerbröselnd und nur noch pulverförmig vorhanden ist. Das beeinträchtigt zum einen die Tragfähigkeit des Materials, was zum Beispiel bei genutzten Dächern eine Rolle spielt und zum anderen die Wärmedämmeigenschaften.

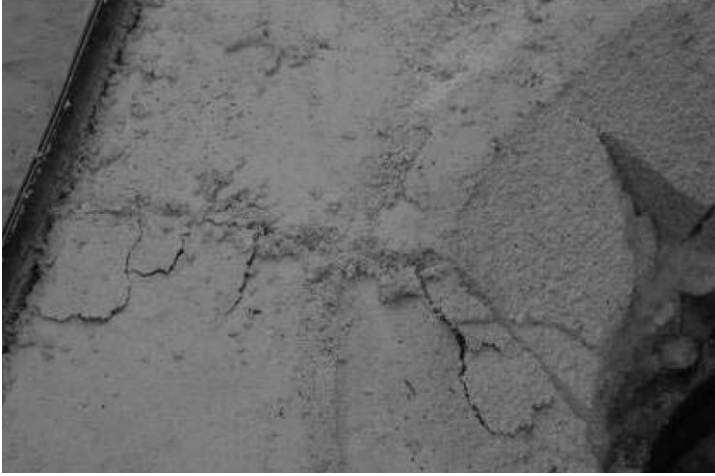


Abbildung 7: Aufgefrorener Calziumsilikatdämmstoff

Unbedingt zu vermeiden sind Durchdringungen der Dampfbremse durch Installationen von unten. Dabei müssen Handwerker explizit auf die Gefahren hingewiesen werden, da das Vorhandensein der Dampfbremse nicht immer so offensichtlich ist wie in Abbildung 8.

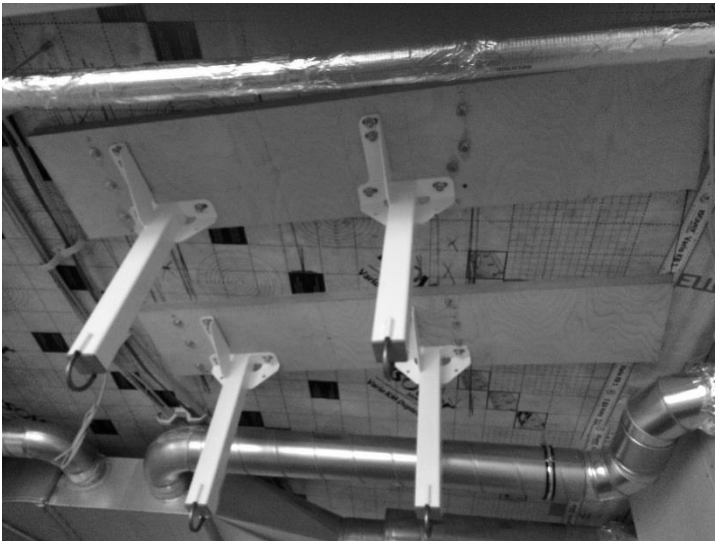


Abbildung 8: Nachträgliche Durchdringung der Dampfbremse von unten

4. Sanierung

Sollte es zu einem Schaden gekommen sein, muss zunächst die Ursache dafür gefunden werden. Durch eine elektromagnetische Leckageortung (Mikrowellenverfahren) kann mittels Messung der Veränderung des elektrischen Feldes, welches durch eine Elektrode indiziert wird, der Leckagepunkt geortet werden. Durch Vergleichsmessungen nähert man sich sukzessive dem Leckageort an.



Abbildung 9: Leckageortung mittels Mikrowellenverfahren; Quelle: FLO Leckortung

Nach Lokalisierung des Lecks muss entschieden werden, wie der Schaden behoben werden kann. Dies muss von Fall zu Fall von einem Sachverständigen beurteilt werden. Verschiedene Möglichkeiten sind denkbar:

- Komplettsanierung: Die gesamte Dachkonstruktion wird abgetragen. Die Tragstruktur, kann soweit statisch möglich, erhalten bleiben. Dampfbremse, Dämmung und Abdichtung samt Dachaufbau werden erneuert.
- Schaden aufgrund von Baufeuchte: Wenn die Dampfbremse unbeschädigt ist, kann ggf. bei Verbau einer dampfdiffusionsoffenen Abdichtung und einer gut belüfteten Dachhaut (z. B. Hinterlüftung) die feuchte, alte Dämmung erhalten bleiben. Dies erfordert einen Nachweis mittels instationärer hygrothermischer Simulation.
- Eine weitere Möglichkeit, die feuchte Dämmung beizubehalten, ist der Einsatz von Diffusionslüftern, die das Austrocknen auch bei nicht diffusionsoffenen Abdichtungssystemen ermöglichen. Dabei wird eine Durchlüftung innerhalb der Dämmebene realisiert und zwar durch eine noppenförmige Zwischenlage zwischen neuer Dämmung oben und alter, durchfeuchteter Dämmung unten. Die Feuchtigkeit wird durch die Luft über die Lüfter, welche wie eine Öffnung in der dampfdiffusionsdichten Abdichtung fungieren, abgeführt. Die alte Abdichtung auf der alten Dämmung kann erhalten bleiben, muss aber zuvor perforiert werden, um den Feuchtigkeitsaustritt zu erleichtern.

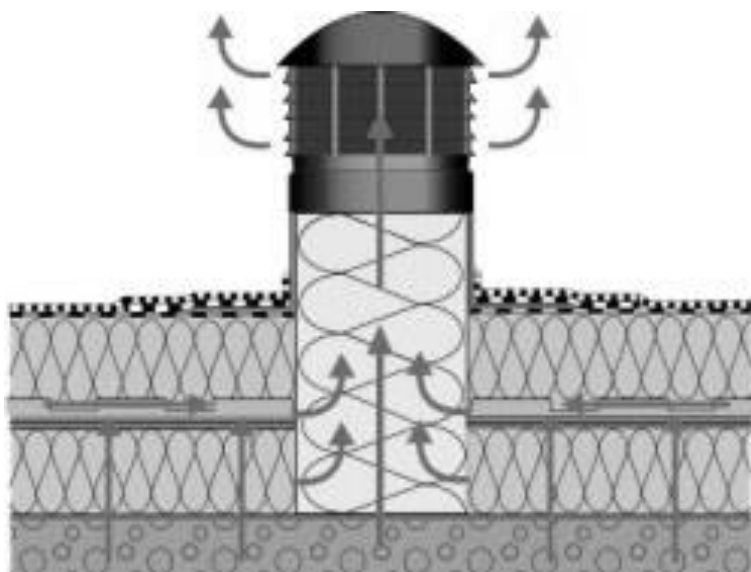


Abbildung 10: Diffusionslüfter, Quelle: SecuTherm

5. Danksagung

Für die Unterstützung bei der Vorbereitung des Beitrags möchte ich mich herzlich bei Ralf Buchholz und Michael Maurer bedanken.

6. Literatur

- [1] Borsch-Laaks, R.: «Belüftet oder lieber doch nicht? – Tauwasserschutz bei flach geneigten Dächern in Holzbauweise». Sonderdruck aus: Holzbau - die neue Quadriga, 5, 2004
- [2] Borsch-Laaks, R.: «Tauwasserschutz im Holzbau». INFORMATIONSDIENST HOLZ
- [3] Dederich, L.; Schmidt, D.; Winter, S.: «Flachdächer in Holzbauweise». INFORMATIONSDIENST HOLZ spezial, Oktober 2008; Holzabsatzfonds, Bonn
- [4] Hecker, G.: «Flachdächer in Holzbauweise». WOLFIN Bautechnik GmbH, 2012
- [5] Künzel, H. M.: «Problemlösungen für schwierige bauphysikalische Sanierungen: Variable Dampfbremse – Fallbeispiele». Tagungsband Baufachtagung, Hannover, 2001
- [6] Mohrmann, M.: «Feuchteschäden beim Flachdach». Holzbau, 3, 13-17, 2007
- [7] Schmidt, D.: «Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise - Teil 2: Holzschutz bei Flachdachkonstruktionen». Holzbau, 4, 45-48, 2007