

Innendämmung – Wo ist das Risiko?

Robert Borsch-Laaks

Sachverständiger für Bauphysik, Drei Rosen Str. 32, 52065 Aachen



1948 geboren in Aachen.

- | | |
|---------------|--|
| bis 1977 | Studium der Physik sowie der Sozial- und Erziehungswissenschaften an der RWTH Aachen. |
| 1979 | 2. Staatsexamen für das Lehramt an berufsbildenden Schulen. |
| bis 1981 | Arbeit in der Erwachsenenbildung verschiedener Träger (Themenbereich: Energieeinsparung und Energiealternativen). |
| 1981 | Mitbegründer des Energie- und Umweltzentrums am Deister, e.u.[z.], in Springe/Eldagsen bei Hannover und |
| bis Ende 1992 | Gesellschafter der Ingenieurgemeinschaft Bau + Energie im e.u.[z.] (Schwerpunkte: Forschung, Beratung und Fortbildungstätigkeit zu Fragen des Energie- und Feuchtehaushalts der Gebäudehülle). |
| Seit 1993 | Freiberuflich tätig als Bausachverständiger in Aachen (Schwerpunkte: Wärme- und feuchtetechnische Gebäudesanierung, NiedrigEnergie- und PassivHausprojekte, Holzbauweisen). Mitglied im Normenausschuß Bauwesen 005.56.93 AA (DIN 4108-7 "Luft-dichtheit") und der WTA- Arbeitsgruppe "Innendämmung im Bestand". |

Veröffentlichungen

- Das Niedrigenergiehaus (zus. mit W. Feist, J. Werner u.a.), Heidelberg (C.F. Müller Verlag), 1997 (4. Aufl.),
- Wohnen ohne Feuchteschäden, Heidelberg-Frankfurt (VWEW Energie-Verlag), 2000 (2.Aufl.)
- Div. Fachartikel in db, BundesBauBlatt, bauen mit holz, mikado u.a.
- Beiträge zu verschiedenen Fachbüchern und Schriftenreihen des Fraunhofer IRB-Verlags und zu Tagungsbänden, z.B. der Aachener Bausachverständigentage und des Informationsdienst Holz.
- Ressortleiter und Autor der Fachzeitschrift "HOLZBAU" (ehem. „*die neue quadriga*“) für die Bereiche: Wärme- und Feuchteschutz, Niedrigenergie- und Passivhäuser

1. Einleitung

Vielen Planern und Handwerkern gilt die innenseitige Anbringung von Außenwanddämmungen als äußerst riskante Sanierungsmaßnahme. Die „Verlagerung des Taupunktes in die Wand“ löst Ängste vor Bauschäden aus, die sich unkontrollierbar in unzugänglichen Bereichen des Wandquerschnitts mit der Zeit einstellen könnten. Genährt werden solche Befürchtungen durch Dampfdiffusionsberechnungen nach DIN 4108-3.

Andererseits ist es unter Bauphysikern seit langem ein offenes Geheimnis, dass solche Kalkulationen nicht mal die halbe Wahrheit wiedergeben und richtig ausgeführte Innendämmungen sich seit Jahrzehnten in der Praxis bewährt haben.

2. Diffusionsberechnungen zur Innendämmung

2.1 Wieviel Dampfsperre muss sein?

Die Berechnung der Tauwassermenge nach dem „Glaser- Verfahren“ ergibt für den in Abb. 1 dargestellten Konstruktionsaufbau, dass nicht nur die zulässige Tauwassermenge ($1,0 \text{ kg/m}^2$) überschritten wird, sondern diese auch ca. $0,5 \text{ kg/m}^2$ größer ist als das Trocknungspotenzial in der normgemäßen Verdunstungsperiode.

Solche Berechnungsergebnisse legen den Schluss nahe, dass es durch Innendämmung von Massivwänden zu einer Anreicherung von Tauwasser kommen könnte. Also: Besser auf die Innendämmung verzichten oder durch Dampfsperren den Feuchteintrag verhindern?

Ein genauerer Blick in die Norm, in der das Diffusionsberechnungsverfahren und seine Klimarandbedingungen erstmalig festgelegt wurden (DIN 4108-3 Ausgabe 1981) [1] zeigt, dass Dampfsperren hiernach nicht gefordert sind. In Abschnitt 3.2.3 werden Bauteile genannt, die ohne diffusionstechnische Probleme gebaut werden können und für die kein rechnerischer Nachweis erforderlich ist. Innen gedämmtes Mauerwerk nach DIN 1053 Teil 1 (Ziegel, Kalksandstein etc.) wird nachweisfrei gestellt, wenn der s_d - Wert der Dämmkonstruktion $\geq 0,5 \text{ m}$ ist.

Diese Anforderung wird im dargestellten Beispiel nicht erfüllt (s_d - Wert der Innendämmung beträgt nur $0,23 \text{ m}$). Ein s_d -Wert von $0,5 \text{ m}$ ist aber schon erreichbar, wenn eine Gips- Verbundplatte mit 20 mm EPS- Hartschaum ($\mu = 20$) verwendet wird. 1

1 Solch dünne Innendämmungen sind allerdings seit der 1995er Fassung der Wärmeschutzverordnung (WSchV) nicht mehr baurechtlich zulässig. Aufgrund der gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) müssen Innendämmungen bei WLG 040 eine Mindestdämmdicke von 50 bis 70 mm aufweisen (je nach Dämmwert des vorhandenen Mauerwerks).

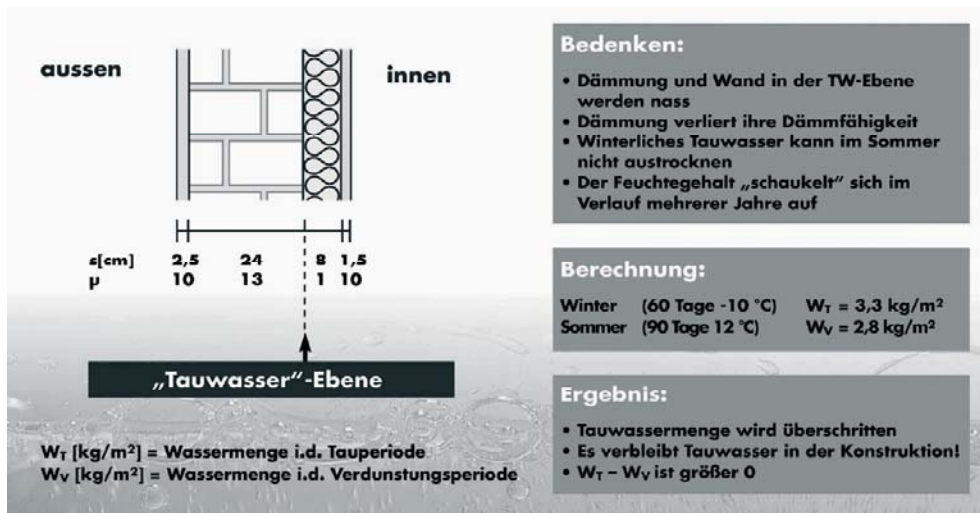


Abb. 1: Beispiel zur Diffusionsrechnung bei einer Innendämmung ohne Dampfbremse aus [2]

Gleiches gilt für 80 mm Dämmkork- oder Holzfaserdämmplatten ($\mu = 5$) plus Gipsbauplatte. Auch 80 mm diffusionsoffener Faserdämmstoff erfüllt diese Anforderung, wenn er 12 bis 15 mm Verkleidung aus Holz- oder Holzwerkstoffplatten ($\mu = 40 - 50$) verkleidet wird.

2.2 Labor- und Praxisuntersuchungen

Die o.a. Befreiung der meisten praxisüblichen Innendämmungsmaßnahmen von der Diffusionsberechnung hatte seinen Grund in Folgendem:

Den Verfassern der Norm war schon Ende der 70er Jahre klar, dass sich Massivwände durch reine Diffusionsberechnungen nicht beschreiben lassen. Deshalb ist es auch kein Zufall, dass in der betreffenden Norm bis heute kein Anwendungsbeispiel für eine innen gedämmte Massivwand zu finden ist. Desweiteren galt es als gesicherte Erkenntnis, dass in der Praxis der Feuchtetransport wesentlich günstiger verläuft, als die Glaserberechnung befürchten lässt.

Dies wurde in einer großen Untersuchung des Forschungsinstituts für Wärmeschutz (FIW) in München Mitte der 80er Jahre bestätigt [3]. In einer Doppel- Klimakammer wurden praktisch alle damals üblichen Wandaufbauten und Innendämmungssysteme den Klimarandbedingungen des Norm- Berechnungsverfahrens ausgesetzt. Die wesentlichen Erkenntnisse lauten zusammengefasst:

- Alle untersuchten innenseitigen Dämmstoffe blieben trocken – unabhängig vom jeweils eingebauten Diffusionssperrwert.
- Sowohl die kontinuierlichen Feuchtemessungen als auch die Öffnung und Probeentnahme nach Beendigung der Tauperiode zeigte keinen Feuchtefilm, wie er nach der Glaserberechnung hätte entstehen müssen (Ausnahme: diffusionsoffene Innendämmung vor Betonwand).

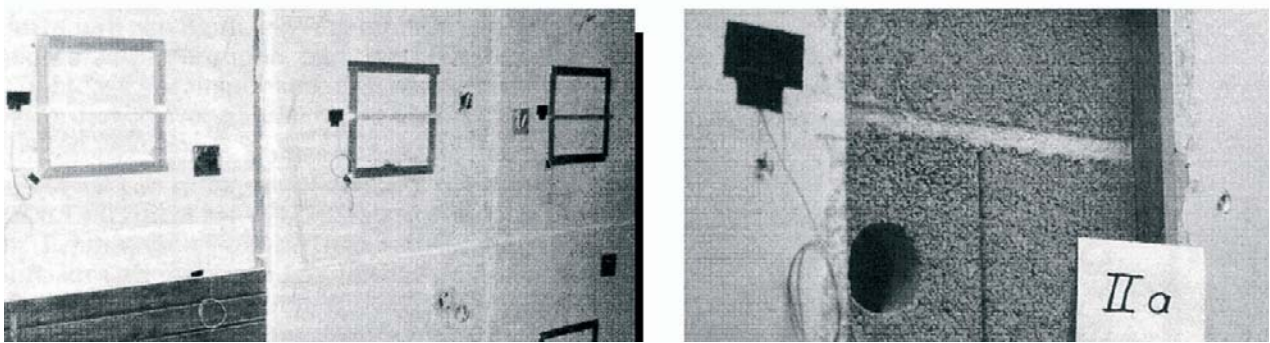


Abb. 2: Versuchswände bei der Untersuchung des Forschungsinstituts für Wärmeschutz, München. Quelle: [3]

Diese Laborversuche wurden ergänzt durch Felduntersuchungen mit Probennahme und gravimetrischer Bestimmung des Feuchtegehaltes in bewohnten Gebäuden. Auch diese Überprüfung des Langzeitverhaltens der Innendämmungen in der Praxis ergab keine Hinweise auf abnorme oder gar kritische Feuchtesituationen.

2.3 Entwicklung fortgeschrittener Rechenverfahren

Parallel zu den Laborversuchen von Achtziger legte Kurt Kießl mit seiner Dissertation ebenfalls bereits Mitte der 80er Jahre den Grundstein für die rechnerische Quantifizierung der komplexen und dynamischen Feuchtetransportvorgänge, siehe [2].

Etwa zur gleichen Zeit verfolgte Peter Häupl an der TU Dresden ähnliche Ansätze, vgl. [4]. Zwischenzeitlich wurden in Deutschland und anderen europäischen Ländern von der bauphysikalischen Forschung moderne Berechnungsverfahren entwickelt und vielfach validiert²⁾, denen Folgendes gemeinsam ist:

- Die Berechnungen erfolgen instationär mit realen Klimadaten (i.d.R. Stundenwerte).
- Neben der Dampfdiffusion werden die Feuchtespeicherung und der flüssige Wassertransport durch Kapillar- und Sorptionsleitung berücksichtigt.
- Es können Temperatur- und Feuchteprofile des Wandquerschnitts zu beliebigen Zeitpunkten und über mehrjährige Zyklen ermittelt werden.

Recht aufwendig gestaltete sich die Ermittlung der notwendigen Materialkennwerte für den flüssigen Feuchtetransport. Hierbei gibt es immer noch Forschungslücken, insbesondere bei der flüssigen Wasserleitung bei Holz- und Holzwerkstoffen, vgl. [5].

²⁾ Die deutschsprachigen Angebote für solche Berechnungs- Software sind zum einen WUFI[®] 4.0 (Wärme- und Feuchtetransport instationär) vom Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) in Holzkirchen (www.wufi.de). Das Institut für Bauklimatik an der TU Dresden bietet die Berechnungssoftware Delphin 4 und Cond 2002 an. (www.bauklimatik-dresden.de)

Für die Bewertung von Innendämmungsmaßnahmen an massivem Mauerwerk gilt der Datenbestand jedoch als gesichert.

Die Berechnungen mit dem „Glaser-Verfahren“ sind für die Praxis nur dann relevant, wenn nicht hygroskopische Materialien verwendet werden und es lediglich um eine einfache vergleichende Bewertung der reinen Diffusionsbilanz geht (z. B. bei Steildächern und Holztafelbauwänden). Hierfür hat es sich allerdings, auch in seiner statischen Form mit Blockklima nach DIN 4108-3 durchaus bewährt.

2.4 Neue Norm – neue Erkenntnisse?

Nach zwanzigjähriger Gültigkeit wurde die DIN 4108-3 im Juli 2001 in überarbeiteter Form neu herausgegeben [6]. Es finden sich dort mittlerweile Literaturhinweise, die auf die oben dargestellten komplexen Feuchtetransportprozesse verweisen und diese als Grundlage für ingenieurmäßige Nachweise in besonderen Fällen in Bezug nehmen. Als solche Spezialfälle werden in Abschnitt A.2.1 und A.2.2 explizit genannt „*begründete Dachkonstruktionen*“, „*Berechnung des natürlichen Austrocknungs-verhaltens von Rohbaufeuchte und Niederschlagswasser*“, sowie „*extremes Außenklima*“ und „*klimatisierte bzw. Feuchte beaufschlagte Räume*“. Die Tauwasserberechnung für nicht klimatisierte Wohn- und Büroräume erfolgt aber nach wie vor nach dem gleichen alten „Glaserverfahren“ und den gleichen statischen Klimarandbedingungen.

In der Frage der Nachweisfreiheit für innen gedämmte Außenwände hat sich eine nicht unwesentliche Änderung ergeben, über deren Zustandekommen sich bereits viele Bauphysikplaner gewundert haben. Unter Punkt 4.3.2.2 wird die Befreiung bei $s_{d,i} > 0,5$ m nur noch gewährt, wenn „*der Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht $R \leq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$* “ ist (entspricht ca. max. 40 mm Dämmdicke bei WL 040). Es sind keine Publikationen bekannt, in denen diese gravierende Einschränkung begründet wurde.

Nach Meinung des Autors ist diese Änderung wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Anzahl der Wandtypen, die von der Berechnung befreit werden, ausgeweitet wurde. Neu hinzu gekommen sind verschiedene Betonwandtypen (vgl. dort Abschnitt 4.3.2.1). Führt man für diese Materialarten Glaserberechnungen durch, so werden erst bei Dämmdicken unter 50 mm die zentralen Anforderungen der Norm (Tauwassermenge $m_{w,T} \leq 1,0 \text{ kg}/\text{m}^2$ und $m_{w,T} \leq m_{w,V}$) eingehalten, wenn der innere s_d -Wert nur 0,5 m beträgt, vgl. Abb. 3.

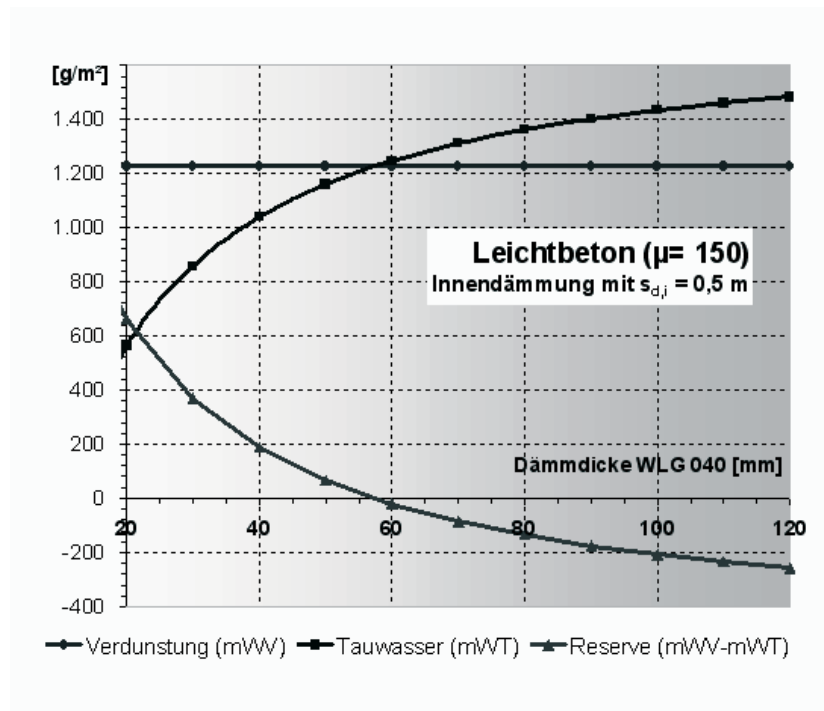


Abb. 3: Diffusionsbilanz nach DIN 4108-3 in Abhängigkeit von der Dicke Innendämmung bei einem innen $s_{d,i}$ -Wert von 0,5 m und Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen.

Untersucht man mit der gleichen Berechnungsmethode übliche Mauerwerks- Wände nach DIN 1053, so sind ohne zusätzliche Dampfbremse Dämmdicken bis zu 100 mm möglich.

Die neue Norm bringt deshalb in der Frage der Innendämmung keine neue Klarheit, sondern zwingt Planer in der Praxis dazu, wieder vermehrt das zu machen, was nach Stand von Forschung und (Rechen)Technik sich als bauphysikalische Halbwahrheit erwiesen hat: Diffusionsberechnungen bei hygroskopischen Wandbaustoffen.

3. Transport von flüssigem Wasser

3.1 Transportmechanismen und Antriebskräfte

Der Transport von flüssigem Wasser in hygroskopischen Baustoffen erfolgt in den Porenhohlräumen der Baustoffe auf zwei Wegen:

- Kapillares Saugen in Wasser gefüllten Poren (Antriebskraft: Oberflächenspannung des Wassers)
- Wasserleitung im Feuchtfilm an der Oberfläche größerer Materialporen (Antriebskraft: Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit an den beiden Seiten der Poren)

Das kapillare Saugen ist um mehrere Größenordnungen stärker als die Wasserdampfwanderung per Diffusion. Auch in „trockenen“ Baustoffen ist immer eine gewisse Anzahl der (kleinen) Baustoffporen vollständig mit Wasser gefüllt. Sofern eine Benetzung stattfindet (z.B. durch Schlagregen oder Kondensatbildung), so führt dieses zusätzliche Wasser zu einem Vorgang des Saugens und Weiterverteilens.

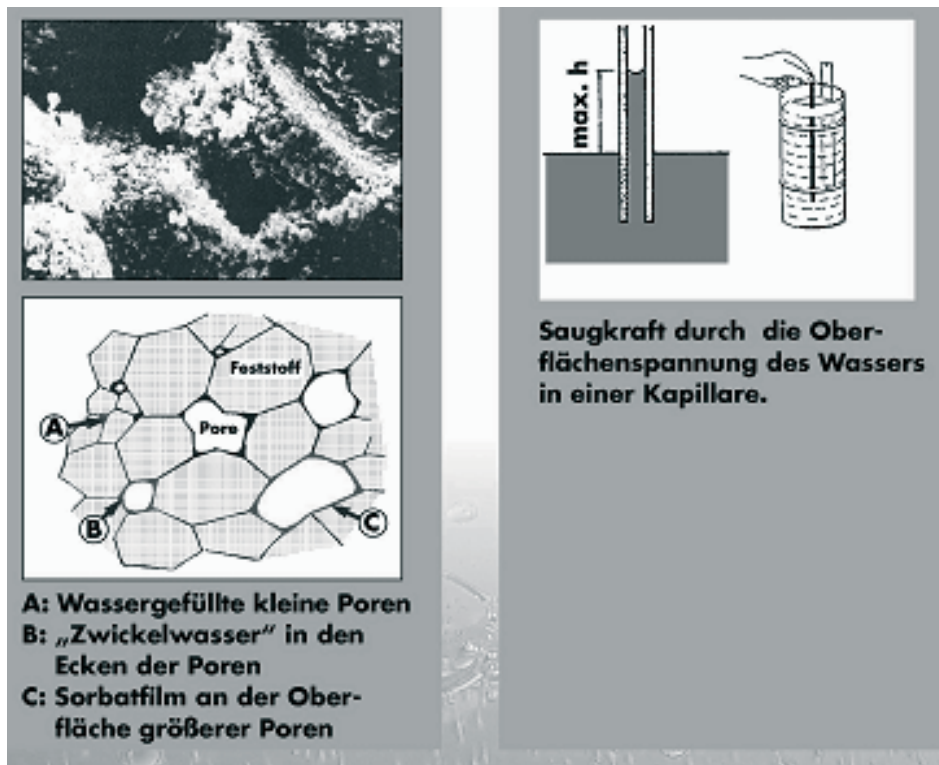


Abb. 4 links: Poren in hygroskopischem Baustoff. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Sandsteinprobe (850-fach) und schematische Darstellung von Stoffgerüst und Hohlräumen nach [7]. Rechts: Demonstration der kapillaren Saugkraft.

Die Wasserbewegung im Flüssigkeitsfilm an der Oberfläche des mineralischen Gerüsts wurde erst in den 90er Jahren als nennenswerter Transportprozess genauer erforscht. Hier kommt vor allem dem „Zwickelwasser“ in den Ecken der Poren eine wichtige Bedeutung zu (Abb. 4 unten links). Quantitativ liegt dieser Feuchtetransport in ähnlicher Größenordnung wie die Diffusion, vgl. [7] und [8].

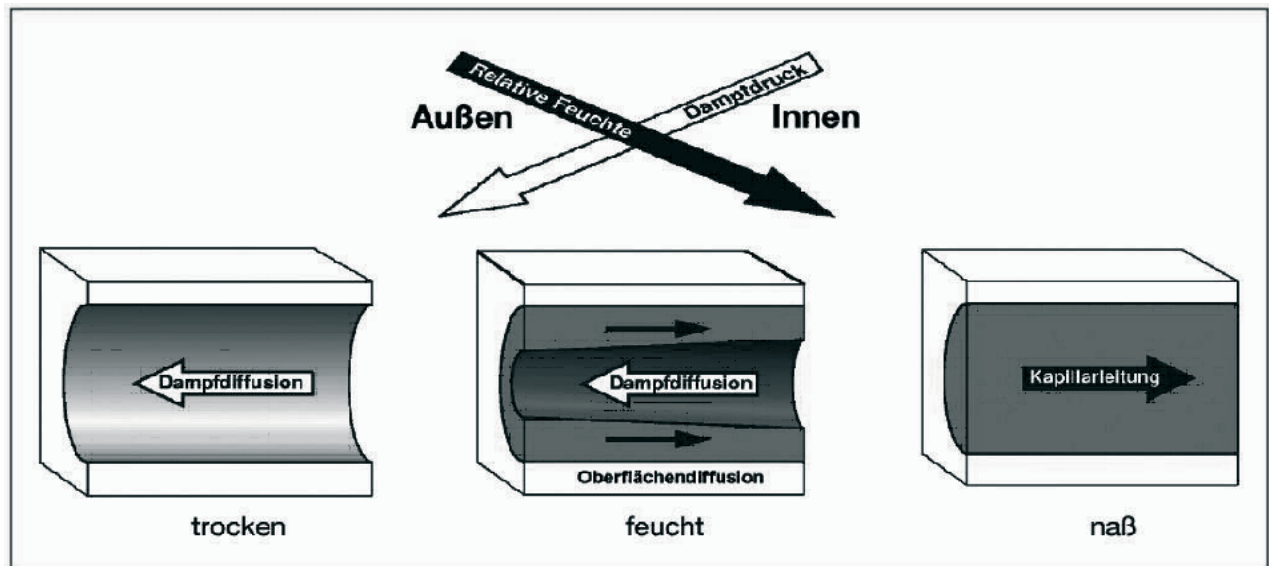


Abb. 5: Schematische Darstellung der Feuchtetransportmechanismen in hygroskopischen Baustoffen. Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

Er kann diese unterstützen bei gleicher Transportrichtung (z.B. durch Erhöhung der Austrocknung in der Verdunstungsperiode). Diffusion und Sorptionsleitung (auch Oberflächendiffusion genannt, vgl. Abb. 5) können aber auch gegeneinander gerichtet sein. Dies wird vor allem dann bedeutsam, wenn z.B. bei kapillar aktiven Innendämmungen in der Tauperiode ein Rücktransport von flüssigem Wasser zur Verdunstung an der Innenoberfläche erfolgt.

3.2 Ergebnisse einer Feuchteberechnung mit WUFI®

Als Beispiel werden in Abb. 6 grafische Ergebnisdarstellungen aus einer Innendämmungsuntersuchung mit Hilfe des Programms WUFI® des Fraunhofer IBP in Holzkirchen dargestellt. Das Temperaturprofil (rote Linie) zeigt den Verlauf innerhalb des Wandquerschnittes an einen kalten Wintertag, die gelbe Fläche den Temperaturbereich, der sich innerhalb eines Jahreslaufes bildete (linkes Bild oben).

Das Porenfeuchteprofil (grüne Linie, Bild links unten, oberer Bereich) zeigt die relative Luftfeuchte in den Poren der Materialien, die hellgrüne Fläche, den Bereich der Porenfeuchte innerhalb eines Jahres. Auffallend ist im Übergangsbereich zwischen Dämmung und Wand, dass der Taupunkt (also 100% Luftfeuchte) weder aktuell noch im Jahresverlauf erreicht wurde. Aufgrund seiner Sorptionsfähigkeit nimmt der Innenputz Wasserdampf aus der Luft auf und leitet in das Mauerwerk weiter. Dort wird ein Anstieg der Materialfeuchte bewirkt, der aber wegen der großen Feuchtespeicherfähigkeit des Mauerwerks äußerst gering ausfällt.

Die zeitweise hohe Porenluftfeuchte an der Dampfbremse entsteht während der sommerlichen „Umkehrdiffusion“, wenn durch Erwärmung der Außenoberflächen in Folge von Sonneneinstrahlung das Dampfdruckgefälle von außen nach innen verläuft. Die Spitzenwerte nahe 100% lassen die Frage aufkommen, ob innere Dampfbremsen wirklich der Weisheit letzter Schluss bei Innendämmungen sind.

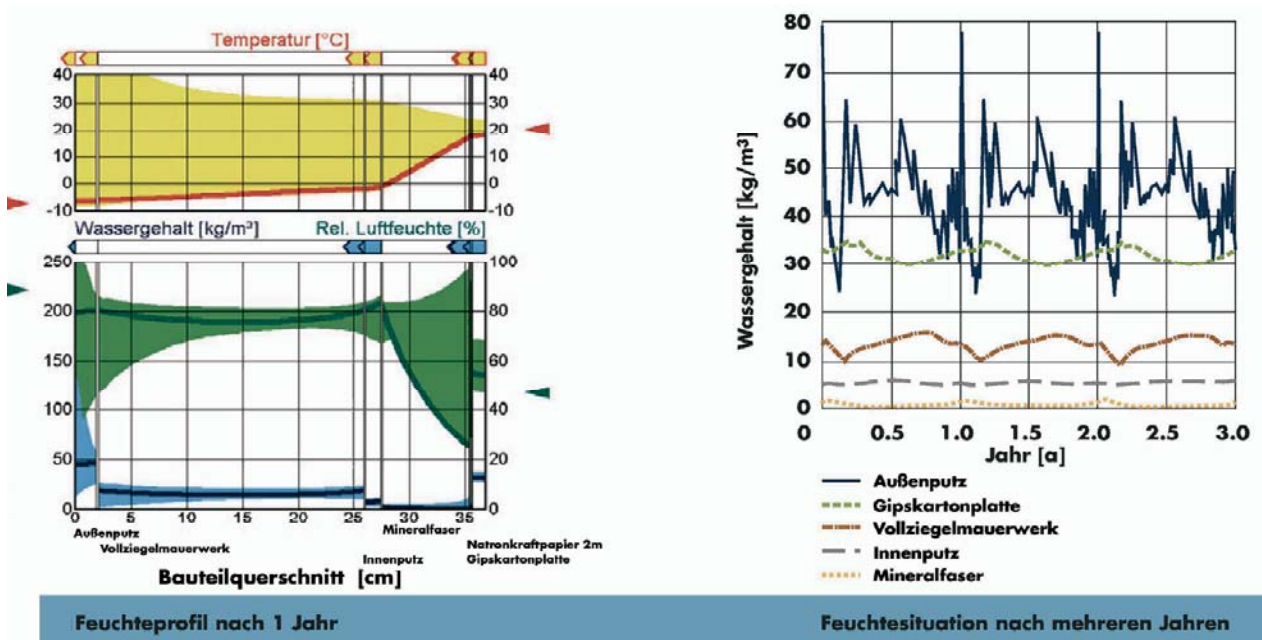


Abb. 6: Darstellung der Ergebnisse einer Feuchtesimulation mit dem Programm WUFI[®] des IBP Holzkirchen.

*Konstruktionsaufbau: Vollziegelmauerwerk (24 cm) mit Außen- und Innenputz und einer diffusionsoffenen Mineralfaser- Innendämmung (8 cm). Innenseitig leichte Dampfbremse ($s_d = 2,0$ m) und Gipskartonplatte. Die Wand ist nach Westen orientiert. Außenklima: Kassel, Innenklima: **hohe** Feuchtelast.*

Der Wassergehalt der einzelnen Baustoffschichten wird durch den blauen Bereich im linken Bild ganz unten dargestellt ($10 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ Vol}\%$). Durch Vergleich des Wassergehaltes mit Werten aus der Praxis oder auch mit der maximalen Wasseraufnahmekapazität können kritische Zonen identifiziert werden.

Im rechten Bild ist der Wassergehalt der einzelnen Schichten im Verlauf über drei Jahreszyklen dargestellt. Es ist kein Aufschaukeln der Feuchtigkeit zu erkennen.

4. Innendämmung in der Praxis

4.1 Langzeituntersuchung mit und ohne Dampfbremse

Ausgehend von den o.a. Forschungen der 80er Jahre startete die Bauforschungsabteilung des Energie- und Umweltzentrums, Springe, im Spätsommer 1988 eine Langzeituntersuchung zur Innendämmung [9].

Ein 500 mm dickes Mauerwerk aus Bruchstein (außen) und Kalksandstein (innen) wurde mit verschiedenen Dämmstoffen und Verarbeitungsverfahren innenseitig gedämmt (Dämmstärke i.d.R. 80 bis 120 mm). Die untersuchten Wände waren allesamt außenseitig nicht oder gering durch Schlagregen und Sonneneinstrahlung beeinflusst. So konnten im Wesentlichen die Effekte, die durch Sorption und Diffusion entstehen, untersucht werden.

Durch elektrische Widerstandsmessung an fest eingebauten Messelektroden wurde die Entwicklung der Holzfeuchte in der Konstruktionslattung an der Grenzschicht zwischen Dämmung und altem Mauerwerk beobachtet, also auf der „kalten Seite“ der Dämmung (vgl. Bild in Abb. 8).

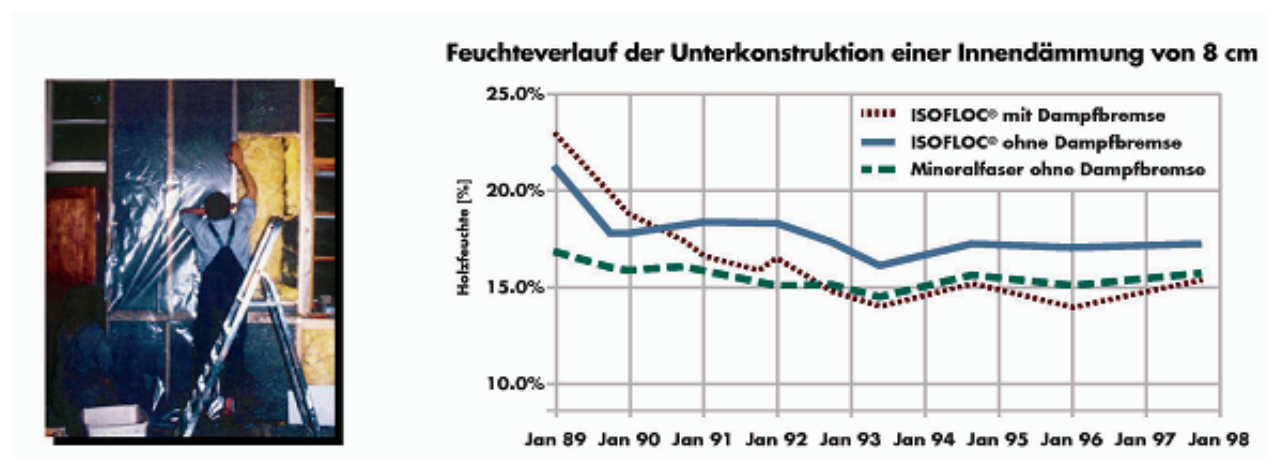


Abb. 7: Langzeituntersuchung des Feuchtegehalts verschiedener Innendämmungen.
Quelle: [9]

Die Verläufe der Messkurven zeigen folgende Ergebnisse:

- Alle Messstellen liegen nach Abklingen der anfänglichen Trocknungsphase deutlich unter 20% Holzfeuchte.
- In keinem der untersuchten Fälle, auch nicht bei denen ohne Dampfbremse, kommt es zu einer Feuchteanreicherung auf der kalten Seite der Dämmschicht.
- Die (geringen) Unterschiede lassen sich durch den Einfluss des Wasserdampfes plausibel interpretieren.

Das langfristig höchste Feuchteniveau stellt sich bei einer Konstruktion ohne Dampfbremse bei gleichzeitiger Verwendung eines sorptionsfähigen Dämmstoffs ein. Bei einem nicht sorptionsfähigen Mineralfaserdämmstoff (ebenfalls ohne Dampfbremse) liegt die Ausgleichsfeuchte ca. 2% niedriger.

In etwa gleicher Höhe (mit leichter Tendenz zu langfristig etwas niedrigeren Werten) befindet sich der Konstruktionsaufbau mit Dampfbremse und einem sorptionsfähigen Dämmstoff. Damit wird erkennbar, dass die durch den Wasserdampf bedingten Effekte (Diffusion und Sorption) jeweils in ähnlicher Stärke den Langzeit- Feuchtegehalt beeinflussen.

Bemerkenswert ist, dass aber auch bei ungünstigster Konstellation (sorptionsfähiges Dämmmaterial plus fehlende Dampfbremse) die Messwerte sicher im unkritischen Bereich (≤ 20 Masse-%) liegen³.

4.2 Austrocknungsverhalten bei erhöhter Anfangsfeuchte

Eine Besonderheit dieser Untersuchung lag darin, dass ein Teil der Dämmstoffe im Anspritzverfahren (unter Wasserzugabe) eingebracht wurde (isofloc- Verarbeitung im CSO-Verfahren). Dies führte dazu, dass anfänglich die Holzfeuchte nach Anbringen der Bekleidung auf Werte über 25 M.-% anstieg.

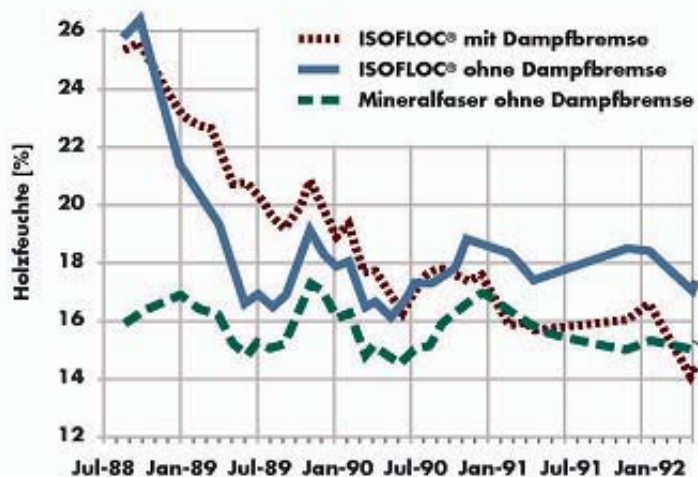


Abb. 8: Trocknungsverlauf bei feucht applizierter Dämmung in den ersten Jahren der Untersuchung gem. Abb. 7.

³ Aus Gründen des Holzschutzes sollten massebezogene Holzfeuchten über 20% nicht länger als 6 Monate nach Einbau anhalten und auf Dauer diese Grenze nicht überschreiten, vgl. [10].

Doch schon im anschließenden Winter trocknete die Konstruktion ohne Dampfbremse (blaue durchgezogene Kurve) unter die Grenze von 20 M.-% Holzfeuchte. Aus der Tatsache, dass dies in der Winterzeit erfolgte, lässt sich bereits ablesen, dass die längerfristige Ausgleichsfeuchte dieses Aufbaus auf jeden Fall unter 20 M.-% liegen muss. Im weiteren Verlauf kann man erkennen, dass sich ein mittleres Niveau von 18 +/- 1 M.-% einstellt.

Auf etwas niedrigerem Niveau (16%) pendelt ebenfalls um +/- 1 M.-% der Feuchteverlauf des Konstruktionsaufbaus mit Mineralfaser ohne Dampfbremse (grüne gestrichelte Kurve).

Der Trocknungsverlauf der Konstruktion mit (nassem) isofloc und Dampfbremse ($s_d = 20$ m) weist einen bedenklichen Verlauf auf (rote punktierte Kurve). Trotz geringerer Anfangsfeuchte dauert es bis zum Hochsommer des darauf folgenden Jahres (= ca. 10 Monate), bis die Holzfeuchte zum ersten Mal unter 20 M.-% fällt. Dampfsperren sind auch Trocknungssperren!

Diese Erkenntnis ist bedeutsam für alle Fälle, bei denen durch die Sanierungsmaßnahmen Feuchtigkeit eingetragen wird (z.B. durch Putzausbesserungen oder Auswechslung von Gefachen bei Fachwerkhäusern).

4.3 Schlagregenschutz und Innendämmung

Die Erkenntnisse aus dem Trocknungsverlauf einer feucht applizierten Innendämmung lassen sich auch auf andere Konstruktionsweisen mit „außerplanmäßigen Befeuchtungen“ (Schulze) übertragen. Dies gilt insbesondere für Fachwerkbauweisen.

Wird ein außenseitig sichtbares Fachwerk mit Regen beaufschlagt, so kann Wasser über die unvermeidbaren Fugen zwischen Hölzern und Ausfachungen relativ weit in die Konstruktion eindringen (vgl. Abb. 9 links).

Derjenige Anteil des Schlagregens, der über normales Saugen in der Fläche eindringt, wird erfahrungsgemäß über Kapillartransport und Verdunstung auf der Außenseite wieder abgeführt. Befeuchtungen, die tiefer im Querschnitt liegen, haben einen längeren Weg bis zur außenseitigen Verdunstung. Überdies wird die Antriebskraft für die Verdunstung (das Temperaturniveau der Wand) durch eine Innendämmung zweifellos vermindert.

Um dem tief eingedrungenen Wasser eine raschere Verdunstung zu ermöglichen, sollten innenseitig nur leicht dampfbremsende Schichten angeordnet werden. Es gilt die Devise:

- So diffusionsdicht wie möglich, um Tauwasser aus normaler Diffusion zu minimieren und
- so diffusionsoffen wie möglich, um die Austrocknung von Schlagregenfeuchte zu unterstützen.

Diese Anforderung wird besonders gut durch feuchtevariable Dampfbremsen erfüllt, vgl. [11].

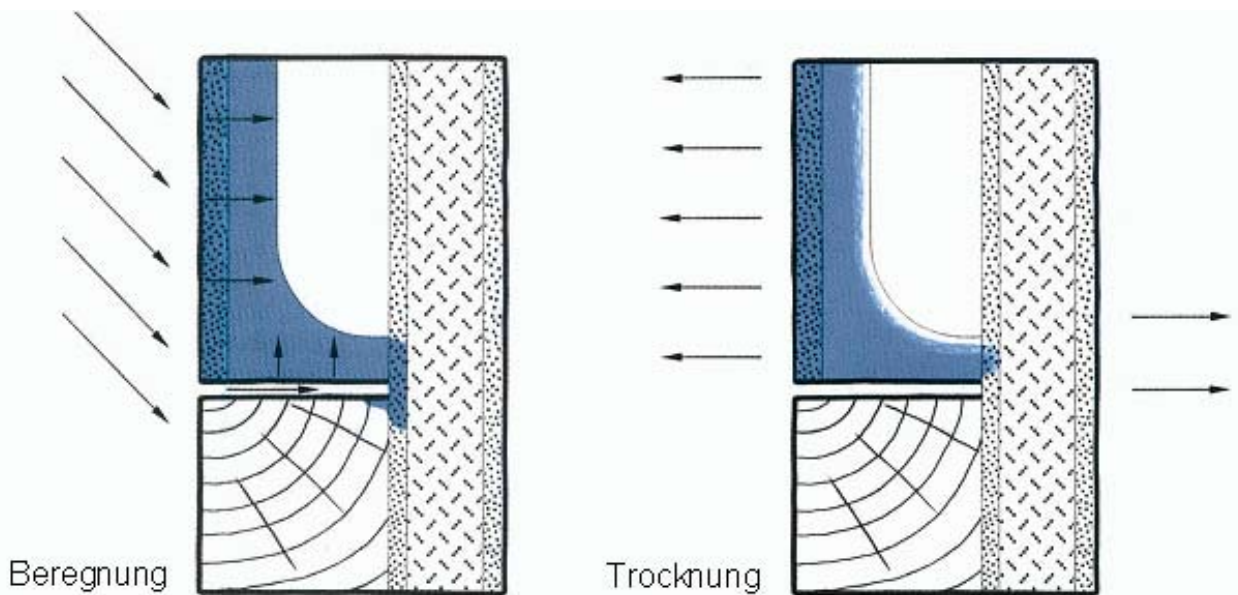


Abb. 9: Befeuchtung durch Schlagregen und Trocknung durch Verdunstung bei Fachwerkkonstruktion mit Innendämmung. Quelle: [12] nach [13]

Auch die Neufassung der DIN 4108-3 [6] trägt dieser Erkenntnis Rechnung. Unter Punkt 4.3.2.4 wird bei Holzfachwerkwänden mit Innendämmung (über Fachwerk und Gefach) Nachweisfreiheit erteilt, wenn der innerer s_d -Wert zwischen 1,0 und 2,0 m liegt.

Unabhängig von dieser Betrachtung sollten Fachwerkkonstruktionen auf den Wetterseiten stets einen zusätzlichen Regenschutz durch Vorhangfassade oder Putz auf Trägerplatte erhalten.

Lediglich an sehr geschützten Standorten (Schlagregenbelastung $\leq 140 \text{ l/m}^2\text{a}$) werden Sichtfachwerke aufgrund der aktuellen Normen und Fachregeln als machbar erachtet. Auch in diesen Fällen sind besondere Maßnahmen (z.B. Entwässerungsbohrungen für die Zapflöcher der Ständer, angeschrägte Schwellen) dringend anzuraten. Das Eindringen von flüssigem Wasser mit hoher Verweilzeit sind der Tod jeder Fachwerkschwelle.

4.4 Schadensfall durch fehlenden Innenputz

Im Zuge von Sanierung und Ausbau eines alten landwirtschaftlichen Gebäudes wurde die eine nach Westen orientierte Fassade frei gelegt und das Natursteinmauerwerk sorgfältig verfugt und hydrophobiert (Abb. 10 a). Die Innenseite erhielt eine Dämmung aus Holzwolle- Leichtbauplatten mit Polystyrol- Zwischenlage. Das Bild oben rechts zeigt Ausblühungen durch Befeuchtung. Ein Diffusionsproblem durch fehlende Dampfbremse?

Die Abnahme der schadhaften Innenschale zeigt die wahre Ursache. Das innenseitig unverputzte Mauerwerk zeigt Fehlstellen durch die Regen bei Winddruck bis auf die Innenseite transportiert wurde. Die durch Wassereintritt befeuchteten Stellen wurden vom Bauherren mit roter Kreide markiert (untere Bilder). Im Übrigen ist hieran auch erkennbar, dass eine Hydrophobierung derartigen Fassaden nicht schlagregendicht macht.

Fazit: Exponierte steinsichtige Fassaden sollten ähnlich wie Fachwerkkonstruktionen einen äußeren Wetterschutz erhalten - dieser war beim untersuchten Objekt vor der Sanierung auch vorhanden.

Bei geringerer Schlagregenbeanspruchung kann auch ein durchgehender Innenputz das Schadensrisiko begrenzen. Dieser reduziert die Gefahr, dass Wind den Regen in die Konstruktion tief hinein treiben kann. Außerdem wirkt er als Feuchtepuffer, vgl. [14].



Bruchsteinmauerwerk



Feuchteschäden an HWL-Platten



Fehlender Unterputz



Wasserdurchtritt (rote Linie)

*Abb. 10 Feuchteschäden bei einem innengedämmten Sichtmauerwerk (Wetterseite).
Ursache: mangelhafter Schlagregenschutz. Fotos: Robert Borsch-Laaks*

5. Befeuchtungsrisiken durch Dampfkonzektion

5.1 Hinterströmung der Dämmschicht

Bei Heimwerkern, aber nicht nur dort, ist die Montage von Verbundplatten, die mit Mörtelbatzen an die Wand gesetzt werden, eine weit verbreitete, wenn nicht gar die häufigste Form der Innendämmung (vgl. Abb. 10 links).. Gleiches gilt, wenn mit steifen Dämmplatten auf unebenem Mauerwerk oder mit Ständerwerken vor krummen und schiefen Wände gedämmt wird (vgl. Abb. 5).

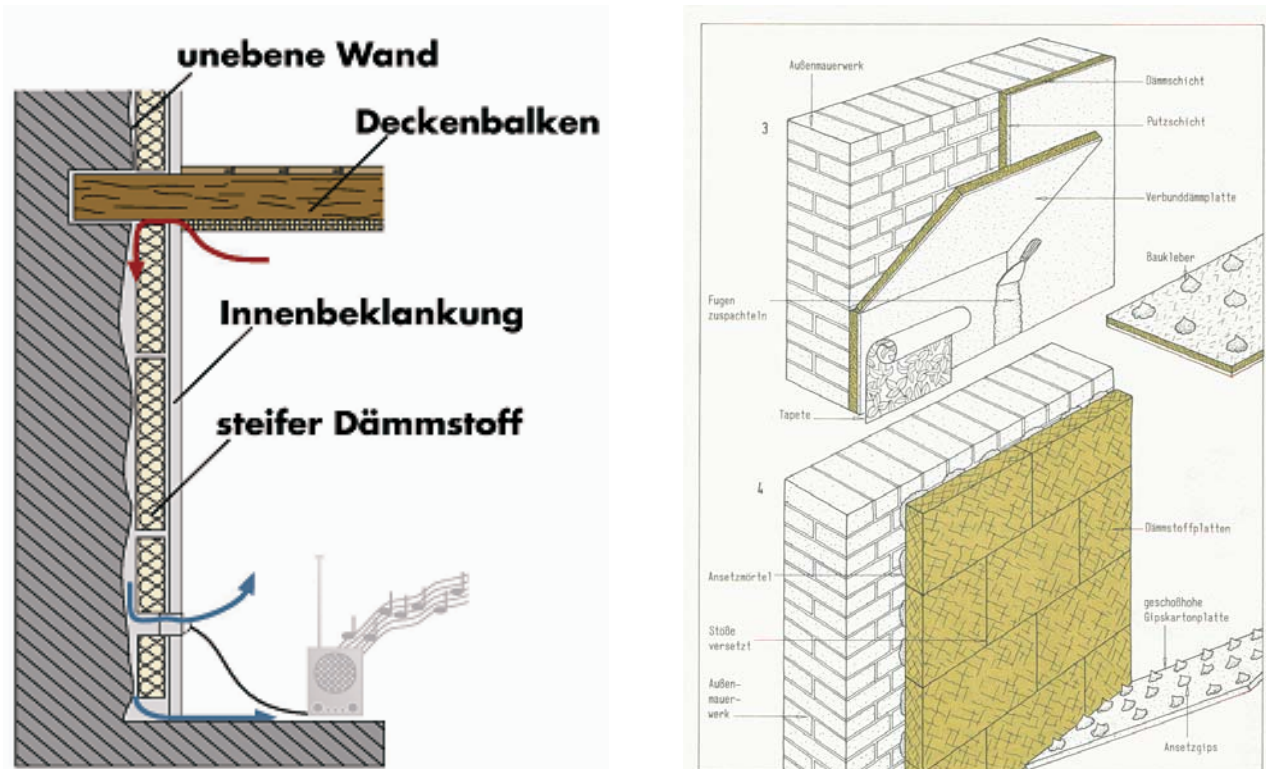


Abb. 11: Doppelfehler: Steife Dämmplatten mit Mörtelbatzentechnik vor unverputztem Mauerwerk Quelle: [16] (links), Hinterströmungspfade bei Hohlräumen zwischen Dämmung und Wand Quelle: [15]

Bei diesen Dämmverfahren entstehen zwangsläufig zwischen der Dämmschicht und der alten Wand Hohlräume, die von Luft durchströmt werden können. Da diese typischerweise zwischen Außenwand und Innendämmung liegen, wird die Luft dort abkühlen. Im Vergleich zur Raumluft ist diese Luft schwerer, sie sinkt also ab und kann durch Leckagen in den Raum einströmen (an Fußleisten, Steckdosen etc.) . In gleichem Zug wird warme Raumluft, im oberen Bereich z.B. am Deckenanschluss nachströmen, die sich wiederum abkühlt usw. usf.

Bereits kleine Temperatur- und damit Dichteunterschiede reichen aus, um diesen Effekt zu starten. Es entsteht ein kleiner, aber kontinuierlicher Luftstrom. Wärmeenergie wird um die Dämmung herumgeleitet und durch die Außenwand nach außen abtransportiert. Kritisch kann die dabei mittransportierte Raumluftfeuchtigkeit werden. Sie kann im Hohlraum zwischen Außenwand und Innendämmung zumindest ein Klima erzeugen, das für Schimmelpilzwachstum geeignet ist (vgl. Abb. 12).



Abb. 12: Geöffnete Innendämmung mit EPS- Verbundplatten (links). Schimmelbildung durch Hinterströmung an undichtem Fensterbankanschluss (rechts). Foto: Wilfried Walther, Springe

Fazit: Der Dämmstoff der Innendämmung muss vollflächig auf der Außenwand anliegen. Einblas- oder Schüttdämmstoffe, sowie elastische Dämmstoffe sind von Vorteil.

Beim Ankleben von Verbundplatten ist es günstiger, mit Zahnpachtel aufgezugene Kleber zu verwenden, sofern die Ebenheit des alten Putzes dies zulässt. Im Zweifelsfalle sollten zusätzlich die Randanschlüsse zum Raum rissfrei abgedichtet werden. Durchdringungen von Installationen sind möglichst zu vermeiden oder, wie im Holztafelbau üblich, mit luftdichten Hohlwanddosen auszuführen.

5.2 Durchströmung der Wand

Bei Wänden ohne durchgehenden Außen- oder Innenputz ist das Mauerwerk nicht als luftdicht anzusehen. Bei Hohlkammersteinen und insbesondere bei Fachwerkbauweise können erhebliche Luftleckagen vorhanden sein. Diese Erkenntnisse aus BlowerDoor-Messungen bedeuten nicht unmittelbar ein feuchtetechnisches Risiko. Massive Wände können innere Kondensation durch Dampfkonvektion abpuffern.

Durchdringungen von Deckenbalken sind typisch für Fachwerkbauten aber auch für Häuser mit Holzbalkendecken in zweischaligem oder steinsichtigem Mauerwerk. Luftströmungen an diesen Stellen führen im nicht sanierten Altbau zwar zu einem unge-

mütlichen, zugigen Raumklima, aber i.a.R. nicht zu konvektiven Feuchteschäden. Die Luft strömt entlang der Balken so schnell nach außen und die Strömungswege sind so kurz, dass es meist nicht zur Unterschreitung der Taupunkttemperatur kommt. Bei günstigen Randbedingungen kann die durchströmende Luft sogar die Oberflächen im Luftkanal gegenüber dem stationären Fall erwärmen, vgl. [17].

Anders werden die Verhältnisse dann, wenn eine innenseitige Dämmung angebracht wird. Ist diese nicht dicht ausgeführt, so können sich für die Luft lange Strömungspfade zu den Leckagen an den Balkendurchdringungen ergeben (s. Abb. 13 links). Je länger die Verweildauer und je geringer die Strömungsgeschwindigkeiten im Hohlraum, desto größer wird die Gefahr der Tauwasserbildung. Ein Schimmelrisiko entsteht insbesondere dort, wo die Luft an der kalten Außenwand entlang streicht (vgl. Abb. 13 rechts).

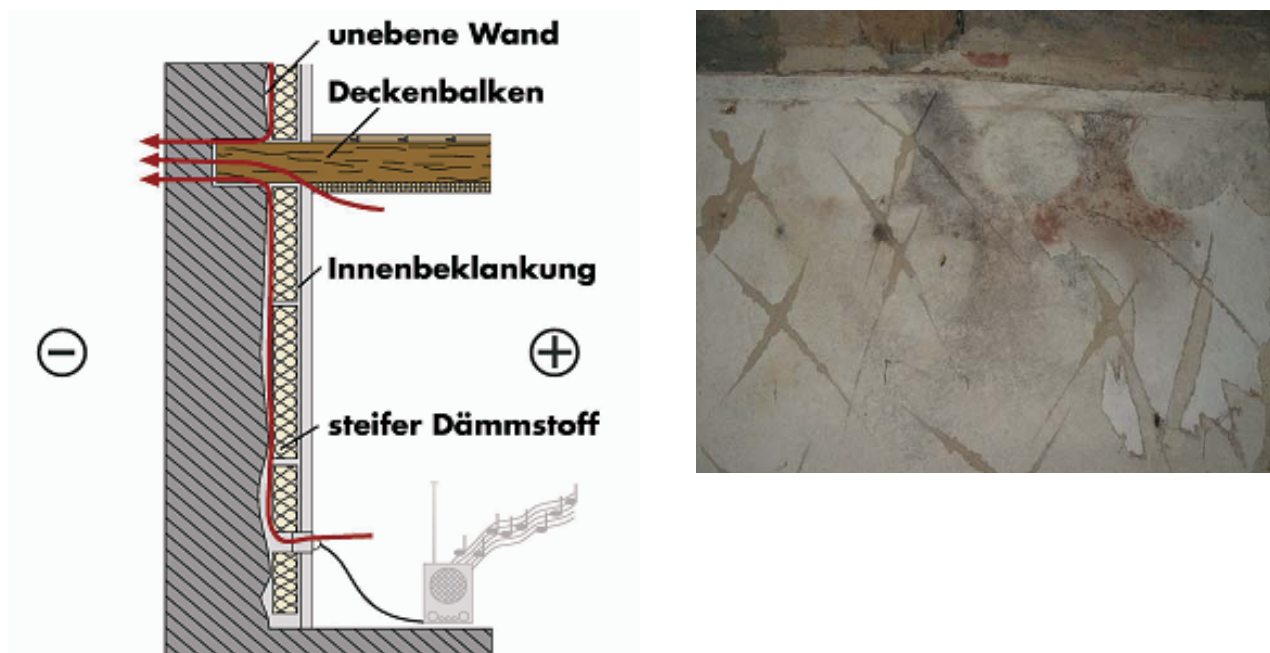


Abb. 13: Durchströmungspfade bei undichter Innendämmung mit Hohlräumen in der Dämmebene (links), Quelle: [15]. Schimmelbildung in Folge von Durchströmung an undichtem Balkenanschluss (rechts). Foto: Wilfried Walther, Springe

Fazit: Bei Innendämmungen vor Außenbauteilen, deren Luftdichtheit nicht gesichert ist, ist eine Hohlraum freie Verarbeitung der Dämmung und eine sorgfältige Luftdichtung auf der warmen Seite notwendig.

6. Innendämmung läßt sich planen

Vor dem Hintergrund der oben dargestellten Unsicherheiten und Fallstricke bei der Innendämmung ist eine Trockenbaulösung interessant, die aus den Erfahrungen des Holzrahmenbaus stammt und bei der (fast) zwangsläufig alles richtig gemacht wird. Abb. 14 zeigt den Querschnitt mit einem Ständerwerk, das innenseitig mit Holzwerkstoffplatte und Gipskarton bekleidet wird.

Wird hierfür eine OSB-Platte ($\mu = 200$) eingesetzt, so weist die Diffusionsberechnung nach Norm nur einen rechnerischen Tauwasserausfall von einem viertel der zulässigen Menge aus ($m_{WT} = 237 \text{ g/m}^2$). Das Verdunstungspotenzial liegt fast 50 % höher, so dass die Austrocknung sicher gewährleistet ist. Diffusionstechnische Probleme sind also nicht zu erwarten.

Hinterströmungen werden durch die vollständige Füllung des Hohlraums im Einblasverfahren vermieden. Falls zusätzliche Luftdichtungsmaßnahmen erforderlich sind (z.B. bei Balkendurchdringungen und Innenwandanschlüssen im Fachwerkhaus), so können diese in bewährt zuverlässiger Form mit speziellen Eckklebebandern auf solidem Untergrund (= Holzwerkstoffplatte) hergestellt werden.

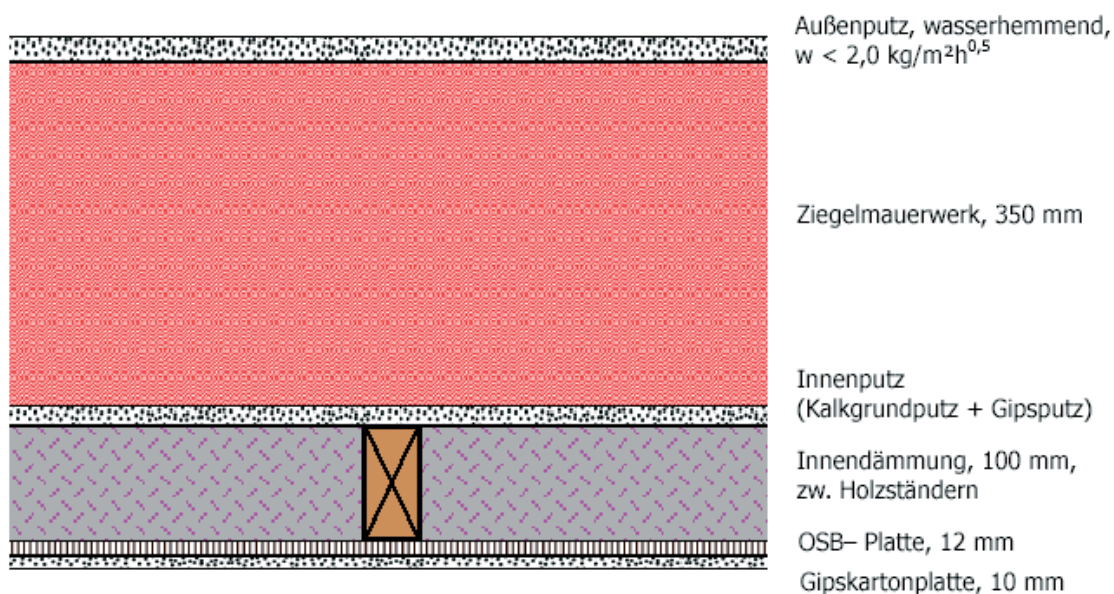


Abb. 14: Innendämmung mit Holzwerkstoffplatte und Hohlraum füllender Einblasdämmung

Der zweilagige Aufbau der Innenbekleidung hat für die Nutzer einen besonderen Reiz. Die zusätzliche Wertschöpfung beim Handwerker korrespondiert mit der Freude der Kunden an einer Innenoberfläche, in die man an jeder Stelle eine Schraube eindrehen kann, um Wandschränke, Bilder oder die Seile der Halogenlampen- Installation zu befestigen.

6.1.1 WUFI® - Analyse in der Planungspraxis

Feuchtdynamische Berechnungen überprüfen die Funktionstüchtigkeit dieser Dämmmethode. Die Abbildungen aus WUFI®-Berechnungen des Autors zeigen:

- Die OSB-Platte weist im Jahresverlauf einen Feuchtegehalt von nur 40- 60 kg/m³ (= 8 bis 13 Masse- %) auf. Es findet keine Aufschaukelung des Wassergehaltes statt. (Abb. 15 links)

Das härteste Kriterium für die feuchtetechnische Funktionstüchtigkeit wird ebenfalls erfüllt:

- Die rel. Luftfeuchte im Inneren der Konstruktion übersteigt nicht über 85 %-Grenze, so dass diffusionsbedingte Schimmelbildung ausgeschlossen werden kann (Abb. 15 rechts).

Im Falle von „außerplanmäßigen Befeuchtungen“ kann die Borsalzimprägnierung des Zellulosedämmstoffs die angrenzenden Baustoffschichten vor Pilzgefahren schützen, vgl. [19]. So bringt diese Holzbaulösung eine planbare, höchst mögliche Sicherheit vor feuchtetechnischen Risiken bei Innendämmungen im Altbau.

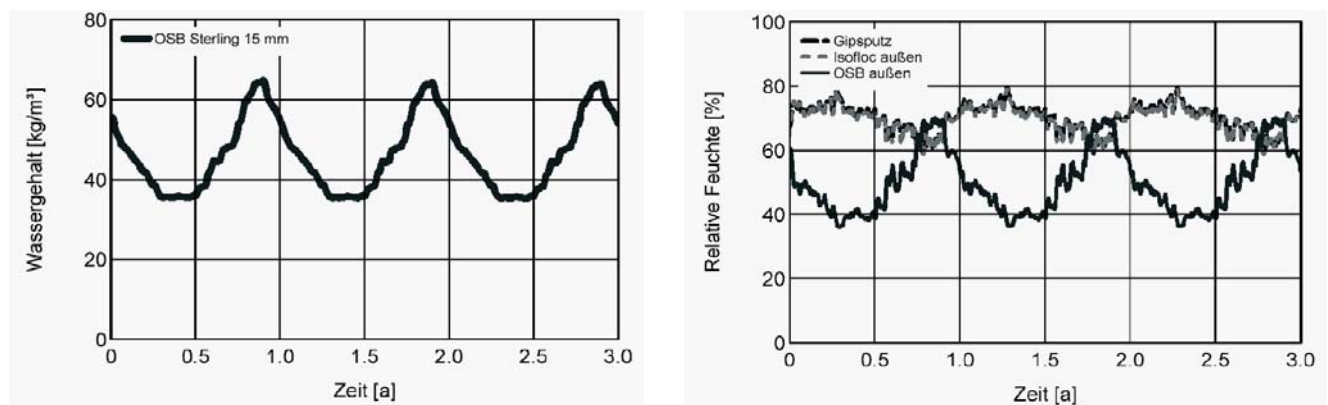


Abb. 15: WUFI® Berechnungen zur Innendämmung mit Holzwerkstoff- und Gipsbauplatte gem. Abb. 14. Links: Wassergehalt der OSB- Platte. Rechts: Relative Porenluftfeuchte an den kritischen Grenzschichten. (Klima: Kassel, normale Feuchtelast, Westwand)

7. Heutige Erkenntnisse zum Stand der Technik bei der Innendämmung

Die Ergebnisse von 25 Jahre Forschung zum Feuchtetransport bei innen gedämmten Außenwänden lassen sich so zusammenfassen:

- Innendämmungen verhalten sich feuchtetechnisch weit „gutmütiger“ als die Glaserberechnung befürchten lässt. Hauptgrund: Kapillarleitfähige Putze und Mauerwerksbaustoffe verteilen eventuelle lokale Feuchteerhöhungen hin zu verdunstungsfähigen Oberflächen.
- Die komplexen Feuchtetransportvorgänge sind heute dynamisch berechenbar geworden. Geeignete und validierte Software steht heute in PC-fähiger Form dem bauphysikalischen Planer zur Verfügung.
- Die Ergebnisse von Glaserberechnungen und der hieraus motivierte Einbau von Dampfsperren liegen nicht auf der sicheren Seite, wenn in der Konstruktion „außerplanmäßige Befeuchtungen“, die nicht aus der Dampfdiffusion stammen, zu befürchten sind.
- Die aktuelle Bauforschung legt einen besonderen Wert darauf, für Fälle mit den Risiken „Schlagregen und Dampfkonvektion“ die Austrocknungspotenziale nach innen hin zu erhöhen (vor allem durch Einsatz feuchtevariabler Dampfbremsen und kapillaraktiver Dämmstoffe), vgl. [19] und [21].
- Tauwasserbildung durch Luftströmungen zwischen kalter und warmer Seite der Innendämmung gilt für Bauphysiker heute als ein wichtigeres Problem als die Diffusion. Die quantitative Bedeutung dieser Phänomene ist noch unzureichend erforscht und eine Berechnung bislang nicht möglich.
- Hinterströmungen können in der Konstruktion ein Verschimmelungsrisiko erzeugen und – was entscheidend ist – mit der Rückströmung die Raumluft mit giftigen Sporen und Stoffwechselprodukten der Mikroorganismen (MVOC) belasten. Allein aus dem Grund der Gesundheitsvorsorge sollte dieses versteckte Risiko durch geeignete konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen werden.

Literatur

- [1] DIN 4108-3:1981. Normenausschuß Bauwesen im DIN: Wärmeschutz im Hochbau. Teil 1-5. Beuth Verlag, Berlin 1981.
- [2] Kurt Kießl, Wärmeschutzmaßnahmen durch Innendämmung. Beurteilung und Anwendungsgrenzen aus OHFZ feuchtetechnischer Sicht. In: wksb 31/1992
- [3] Joachim Achtziger: Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung. In: wksb Sonderausgabe 1985
- [4] Häupl, P., Stopp, H und Strangfeld, P.: Softwarepaket COND zur Feuchteprofilbestimmung in Umfassungskonstruktionen. Bautenschutz und Bausanierung 12 (1989), Seite 53-56
- [5] Robert Borsch- Laaks: Jenseits von Glaser, Feuchtedynamik bei Holz- und Holzwerkstoffen, in: die neue quadriga, Heft 5/ 6- 2003
- [6] DIN 4108-3:2001-07. Normenausschuß Bauwesen im DIN: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Berlin (Beuth Verlag), 2001
- [7] [Krus 1995] Martin Krus: Feuchtransport und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Dissertation. Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik der Universität Stuttgart. Stuttgart 1995.
- [8] Martin Krus: Ist der Diffusionswiderstand von Baustoffen wirklich feuchteabhängig? In: Tagungsband 9. bauklimatisches Symposium Dresden, 1994
- [9] Wilfried Walther: Innendämmung ohne Dampfbremse. In: Robert Borsch-Laaks: Innendämmung - Theorie und Praxis, Seminar-Reader (Bremer Impulse), Bremen 2000
- [10] DIN 68 800-2:1996 Normenausschuß Holzwirtschaft und Möbel (NMH) im DIN. Normenausschuß Bauwesen (NABau) (Hrsg.): Holzschutz. Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth-Verlag, Berlin 1996-05.
- [11] Hartwig M. Künzel: Feuchtesichere Altbausanierung mit neuartiger Dampfbremse. In: BBauBl., Heft 10/96.
- [12] Paul Simons: Fachwerksanierung mit 12 cm Innendämmung, in: die neue quadriga 1/ 2000
- [13] Helmut Künzel: Erhaltung von Fachwerkfassaden durch Ausfachung mit neuen Baustoffen. Sonderdruck aus: das bauzentrum, 40 (1992), Heft 4
- [14] Reinhard Lamers: Innendämmung von Fachwerkwänden. In: die neue quadriga 1/2003

-
- [15] Robert Borsch-Laaks: Wärmetechnische Sanierung schützenswerter Gebäude. Seminarskript, Energieagentur NRW, Wuppertal 1994
- [16] Dietmar Lochner und Wolfgang Ploss: Wärme- und Schalldämmung im Innenausbau. Köln (Rudolf Müller Verlag) 1980
- [17] Christoph Kempkes: Das Feuchterisiko bei der Durchströmung von Leckagen. In: Tagungsband zum 9. BlowerDoor Symposium April 2004. Energie- und Umweltzentrum (Hg.), Springe 2004
- [18] Robert Borsch-Laaks und Wilfried Walther: Modul Innendämmung. In: Bauphysik- Module für Fachveranstaltungen zur energetischen Gebäudesanierung, Energieagentur NRW, Wuppertal 2004
- [19] Johann Müller und André Peylo: Nachträglicher Holzschutz durch die Diffusion von Bor aus borhaltigen Dämmstoffen. In: Bauphysik Heft 1/ 2000
- [20] Hartwig M. Künzel, Problemlösungen für schwierige bauphysikalische Sanierung. In: Tagungsband zur 10. e.u.[z.]- Baufachtagung, Springe 2001
- [21] Peter Häupl, Heiko Fechner, Roland Martin, Joachim Neue, Energetische Verbesserung der Bausubstanz, Bauphysik 21, Heft 4 (1999)

Hinweis: Die grafische Aufbereitung der Abbildungen erfolgte im Rahmen der Erstellung der „Bauphysik- Module“ der Energieagentur NRW (vgl. [18]). Die zugehörigen OH- Folien können interessierte Referenten kostenlos über www.wissensportal-energie.de erwerben und mitsamt Erläuterungsbögen für die Teilnehmer verwenden.