

Feuchtetechnische Beurteilung von Innendämmsystemen mit Faserdämmstoffen

Beate Schafaczek und Daniel Zirkelbach*

1. Einleitung

Das Anbringen einer Innendämmung ist oft die einzige Möglichkeit zur Verbesserung des Wärmeschutzes bei der Sanierung von Altbauten - z. B. wenn die Gebäude unter Denkmalschutz stehen und eine Dämmung von außen nicht zulässig oder aus städtebaulichen Gründen infolge von Platzmangel nicht machbar ist. Aus bauphysikalischer Sicht ist eine Innendämmung bei mitteleuropäischen Klimaverhältnissen in der Regel weniger günstig als eine Außendämmung; die Innendämmung kann Risiken in Bezug auf Wärmebrücken, Tauwasserbildung im Dämmstoffbereich und Reduzierung des Trocknungspotenzials bergen. Aus diesem Grund ist eine sorgfältige Planung und Ausführung Voraussetzung für die dauerhafte Schadensfreiheit einer Innendämmmaßnahme. Weiterhin kommen zunehmend Systeme zum Einsatz, die die oben beschriebenen Risiken durch geeignete Materialeigenschaften minimieren sollen - beispielsweise sogenannte kapillaraktive Dämmungen, die anfallendes Tauwasser aufnehmen und zurück an die Oberfläche leiten sollen oder variable Dampfbremsen, die die Bilanz aus Befeuchten im Winter und Trocknen im Sommer durch unterschiedliche Diffusionswiderstände optimieren.

Im WTA-Journal 4/04 [1] wurde 2004 im Beitrag „Energetische AltbauSanierung durch Innendämmung“ das hygrothermische Verhalten verschiedener Innendämmungen ohne Dampfbremse bezüglich der sich einstellenden Feuchten auf der Rückseite der Dämmschicht verglichen (vgl. Bild 1). Bei vorhandenem konstruktivem Schlagregenschutz bleiben die Feuchten bei diffusionshemmendem EPS aufgrund des vergleichsweise hohen Diffusionswiderstands sowie bei Kalzium-Silikat aufgrund des kapillaren Rücktransports den größten Teil des Winters deutlich unter 95 %. Bei Faserdämmstoffen wie Zellulosefaser oder Mineralwolle werden dagegen im Winter über unterschiedlich lange Zeiträume jeweils Tauwasserbedingungen erreicht. Von einem Einsatz ohne Dampfbremse rät der Autor daher ab.

Zu einem vollständig anderen Ergebnis kommen die Empfehlungen in dem Artikel „Lösungen für den Feuchteschutz“ des 2005 erschienenen Passivhaus-Protokollbands Nr. 32 [2]. Hier wird für Zellulosefaserdämmung ohne

Dampfbremse bei allen untersuchten Varianten eine maximale relative Feuchte auf der Kaltseite der Dämmung von höchstens 80 % angegeben - für Mineralfaserdämmung mit variabler Dampfbremse liegen die Maximalwerte dagegen deutlich höher mit relativen Feuchten bis 98 %. Demzufolge wäre das Feuchteverhalten einer diffusions-offenen Zellulosefaserdämmung bei weitem günstiger als das einer Innendämmung mit Mineralwolle und zusätzlicher Dampfbremse. Da die unterschiedlichen Ergebnisse immer wieder zu Nachfragen von Baufirmen und Planern geführt haben, nimmt der vorliegende Beitrag nochmals eine detaillierte Überprüfung der verschiedenen Konstruktionen und Empfehlungen vor und beschreibt danach die Anwendungsbereiche von Mineralfaser-Innendämmungen mit variablen Dampfbremsen.

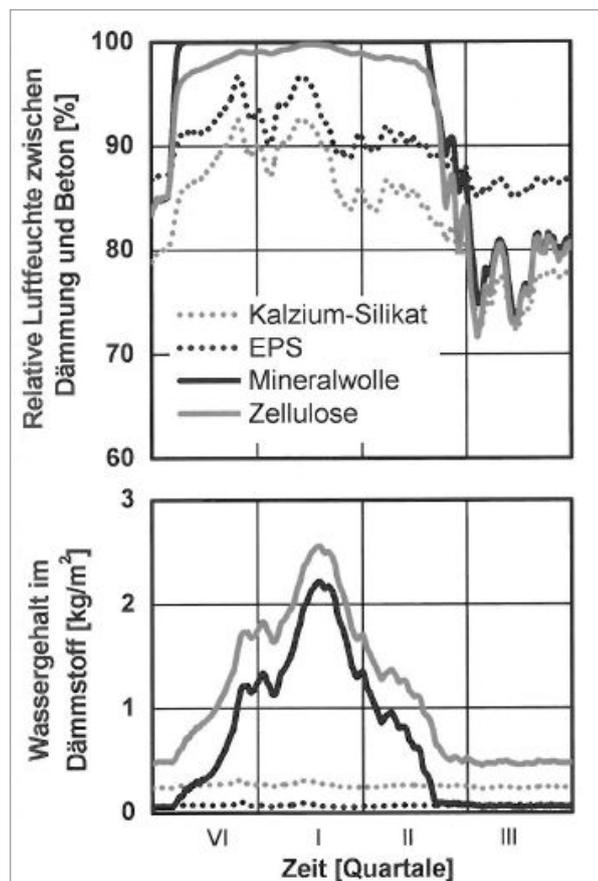


Bild 1: Jahresverläufe der relativen Feuchte hinter der Dämmung (oben) und des Wassergehalts in der Dämmschicht (unten) beim Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe zur nachträglichen Innendämmung einer Leichtbetonwand. [1]

* Dipl.-Ing. Beate Schafaczek, Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach, Fraunhofer Institut für Bauphysik Abteilung Hygrothermik

2. Überprüfung unterschiedlicher Empfehlungen zu Innendämmungen mit Faserdämmstoffen

In dem Artikel „Lösungen für den Feuchteschutz“ aus dem Passivhaus-Protokollband Nr. 32 [2] wurden verschiedene Innendämmsysteme mit Hilfe des Simulationsprogramms DELPHIN [3] berechnet und hinsichtlich der Wasseraktivität (a_w -Wert, entspricht der relativen Feuchte) an der ursprünglichen Innenoberfläche der Bestandswand bewertet.

Die Berechnungen ergeben für die Varianten mit Zellulosefaserdämmung ohne zusätzliche Dampfbremse auch im Winter in allen untersuchten Fällen relative Feuchten von maximal 80 %. Da bei diesen Verhältnissen weder Schimmelpilzwachstum noch irgendwelche anderen Schadensmechanismen zu befürchten sind, entsprechen die Ergebnisse einer pauschalen Freigabe von Zellulosefaser-Innendämmungen ohne zusätzliche dampfbremsende Schichten. Bei Mineralfasern mit variabler Dampfbremse werden bei den gleichen Konstruktionen dagegen in allen Fällen Werte von 95 % r. F. im Winter überschritten. Sowohl das angegebene erstaunlich niedrige Feuchteniveau bei Zellulosefaser-, als auch die hohen Werte bei Mineralfaserdämmung mit variabler Dampfbremse und die große Diskrepanz der Feuchteverhältnisse bei den beiden Dämmstofftypen steht in einem gewissen Widerspruch zu zahlreichen anderen Untersuchungen und Freilandmessungen der vergangenen Jahre - zuletzt auch zu dem im WTA-Merkblatt 6-4 [4] angegebenen Anwendungsbereichen von Faserdämmstoffen mit variablen Dampfbremsen.

Die folgenden Untersuchungen dienen der Bewertung der Feuchteverhältnisse in einer Vollziegelwand mit unterschiedlichen Innendämmsystemen bei Verwendung von jeweils drei verschiedenen Mineralfaser- und Zellulosefaserdämmungen. Die Untersuchungen werden mit Hilfe von hygrothermischen Simulationen mit dem am Fraunhofer IBP entwickelten Modell WUFI® [5] durchgeführt. Entsprechend den Beispielen aus dem Passivhaus-Protokollband werden die Berechnungen an einem 30 cm dicken Vollziegelmauerwerk mit außenseitig 2 cm Kalkzementputz und innenseitig 2 cm Kalkputz durchgeführt. Als Innendämmsysteme werden 8 cm dicke Zellulosefaserdämmungen (WLG 040, Rohdichten zwischen 50 kg/m³ und 89 kg/m³) ohne zusätzliche Dampfbremse sowie 8 cm dicke Mineralfaserdämmungen (WLG 040, Rohdichten zwischen 25 kg/m³ und 60 kg/m³) mit einer feuchtevariablen Dampfbremse (Vario KM Duplex) untersucht. An der Innenseite ist jeweils eine Gipskartonplatte mit einer Dicke von 1,25 cm angeordnet. Die Materialdaten werden der WUFI®-Materialdatenbank entnommen und, soweit erforderlich, entsprechend den Angaben aus dem Passivhaus-Protokollband angepasst. Bei zwei der drei verfügbaren Datensätze für Zellulosefaserdämmung wurden die Flüssigkeitstransportkoeffizienten bereits mit Hilfe des neu

entwickelten „Kapi-Tests“ ermittelt [6]. Dieser prüft den Flüssigkeitstransport nicht auf Basis von Saug- und Trocknungsversuchen, sondern setzt die Dämmung wie im realen Einsatz unter nicht-isothermen Randbedingungen einem Temperatur- und Partialdruckgradienten aus, der zu einem Anstieg der Sorptionsfeuchte auf der Kaltseite und im Anschluss zu einem kapillaren Rücktransport in den feinsten Kapillaren des Materials führt. Dieser speziell für kapillaraktive Dämmungen entwickelte Versuch ermöglicht eine besonders genaue Ermittlung des spezifischen Flüssigkeitstransports bei gerade beginnender Kapillarleitung. Im Vergleich dazu werden drei verschiedene Mineralwolle-dämmungen mit feuchteadaptiver Dampfbremse untersucht. Durch die Verwendung verschiedener Materialdatensätze für die beiden Dämmstofftypen soll die produktspezifische Streuung der Ergebnisse mit erfasst werden.

Um unterschiedliche Klimaverhältnisse zu repräsentieren und besonders auch den bei Innendämmungen häufig maßgeblichen Schlagregeneinfluss in geeigneter Weise zu berücksichtigen, werden stündlich gemessene Klimadaten von den Standorten Würzburg (Schlagregengruppe I), Frankfurt (Schlagregengruppe II) und Holzkirchen (Schlagregengruppe III) angesetzt. Die Klimadaten enthalten alle für eine Bauteilsimulation relevanten Klimaparameter wie Temperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung, Diffusstrahlung, atmosphärische Gegenstrahlung, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Niederschlag. Wie im Passivhaus-Protokollband wird an allen Standorten ein Kalkzementputz mit einem w-Wert von 2,0 kg/m²√h verwendet und nur am Standort Holzkirchen die Berechnung zusätzlich mit einem nach DIN 4108-3 [7] wasserabweisenden Kalkzementputz durchgeführt. Hierzu werden entsprechend den Angaben ein w-Wert von 0,5 kg/m²√h und ein s_d -Wert von 0,4 m verwendet. Eine Unterscheidung zwischen Schlagregengruppe I und II wurde im Passivhaus-Protokollband nicht vorgenommen. Im Innenraum werden Wohnraumbedingungen für eine normale Belegung nach DIN EN 15026 [8] angesetzt, welche sich in Abhängigkeit des jeweiligen Außenklimas einstellen.

Die Berechnungen erfolgen an einer nach Westen orientierten Außenwand, da diese Orientierung die höchste Schlagregenbelastung aufweist. Die Simulationen werden jeweils mit und ohne Schlagregenaufnahme durchgeführt, um zu überprüfen, ob die niedrigen Feuchtegehalte bei Zellulosefaser im Passivhaus-Protokollband ggf. auf geringere Schlagregenmengen zurückzuführen sind. Der Wärmeübergangskoeffizient beträgt an der Innenoberfläche 8 W/m²K und an der Außenoberfläche 17 W/m²K. Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl wird mit 0,4 (heller Putz), die langwellige Strahlungsemissionszahl mit 0,9 angenommen. Die Anfangsfeuchte wird entsprechend der Sorptionsfeuchte bei 80 % relativer Luftfeuchte angesetzt. Die Berechnungen beginnen im Oktober und werden über einen Zeitraum von fünf Jahren ausgewertet.

Im Passivhaus-Protokollband werden nicht die zeitlichen Verläufe, sondern die Schwankungsbreiten der relativen Feuchte zwischen Kalkputz und Innendämmung - also an der ehemaligen Innenoberfläche - im fünften Simulationsjahr angegeben. Die hier erzielten Ergebnisse werden als Verlauf der relativen Feuchte an der gleichen Position über den gesamten Berechnungszeitraum von fünf Jahren dargestellt. Die Feuchtebereiche aus dem Passivhaus-Protokollband werden zum Vergleich schraffiert eingezeichnet - in Hellgrau für die Mineralfaserdämmung mit variabler Dampfbremse und in Hellgrün für die Zellulosefaserdämmung ohne zusätzliche Dampfbremse.

Bild 2 zeigt die relative Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung für den Standort Würzburg mit einem w-Wert des Außenputzes von $2,0 \text{ kg/m}^2\text{v}h$. Bei der Simulation mit Regenaufnahme (Bild 2, oben) schwanken die Varianten mit Zellulosefaserdämmung ohne Dampfbremse im eingeschwungenen Zustand zwischen 85 % im Sommer und etwa 96 % im Winter. Zellulosefaser 3 erreicht dabei ganzjährig etwas niedrigere Werte als die beiden anderen Zellulosefasern - insgesamt bleiben die Unterschiede aber gering. Die berechneten Ergebnisse liegen damit ganzjährig über dem im Passivhaus-Protokollband angegebenen Schwankungsbereich für die Zellulosefaser von 55 % bis 78 %, und zwar im Winter um fast 20 % und im Sommer immer noch um etwa 7 % über dem Maximalwert. Werden die Berechnungen ohne Regenaufnahme (Bild 2, unten) durchgeführt, schwankt die relative Feuchte zwischen 65 % und 90 %, auch in diesem Fall werden die maximalen Feuchten aus dem Passivhaus-Protokollband für mehr als 6 Monate pro Jahr um bis zu 12 % überschritten. Die relative Feuchte bei den Innendämmvarianten mit Mineralwolle-dämmung, feuchtevariabler Dampfbremse und Regenaufnahme liegt bei vernachlässigbar geringen Unterschieden zwischen den einzelnen Produkten zwischen 95 % und 97 %. Im Vergleich zu der im Passivhaus-Protokollband angegebenen Schwankungsbreite von 75 % bis 95 % liegen die Berechnungsergebnisse auch hier ganzjährig höher, allerdings nur um etwa 2 % r. F. Bei einer Berechnung ohne Regenaufnahme schwankt die relative Feuchte zwischen 70 % und 78 % und liegt somit im Winter knapp 18 % unter den angegebenen Maximal- und im Sommer um etwa 5 % unter den Minimalwerten des Passivhaus-Protokollbands. Generell sind im Winter auf der kalten Seite der Dämmung die maximalen relativen Feuchten zu beobachten - dies ist auf Diffusion von Feuchte aus der Raumluft und einer Umverteilung der Feuchte von den warmen in die kälteren Dämmstoffbereiche zurückzuführen. Ein schlechter Regenschutz (hoher w-Wert) an der Außenoberfläche führt bei allen Varianten zu einem ganzjährig deutlich höheren Feuchteniveau im Querschnitt.

Bild 3 stellt die Ergebnisse für den Standort Frankfurt ebenfalls mit dem Außenputz mit einem w-Wert von $2,0 \text{ kg/m}^2\text{v}h$ wie in Würzburg dar. Nach der Norm wäre hier ein w-Wert

zwischen $0,5 \text{ kg/m}^2\text{v}h$ und $2,0 \text{ kg/m}^2\text{v}h$ erforderlich, was aber parallel zum Passivhaus-Protokollband auch bei der Nachrechnung nicht geändert wurde. Bei den drei verschiedenen Mineralfaserdämmungen bleiben die Unterschiede wie zuvor sehr gering; die Zellulosefaser 3 bleibt wiederum etwas trockener, der maximale Unterschied liegt allerdings bei unter etwa 3 % r. F. Die Simulation ergibt mit Regenaufnahme für die Zellulosefaser eine Schwankung im Jahresverlauf zwischen 90 % und 96 % - es findet also auch im Sommer keine Trocknung unter 90 % mehr statt. Im Passivhaus-Protokollband hingegen erreicht die Zellulosefaserdämmung maximal Feuchten von 79 %. Dieser Maximalwert wird auch bei einer Berechnung ohne Regenaufnahme deutlich überschritten, - hier schwankt die Feuchte zwischen 65 % im Sommer und 90 % im Winter. Die relative Feuchte bei den Varianten mit Mineralfaserdämmung erreicht im eingeschwungenen Zustand mit Regenaufnahme mit 96 % - 97 % nochmals geringfügig höhere Werte als in Würzburg. Auch hier wird die im Passivhaus-Protokollband angegebene Bandbreite mit 74 % bis 95 % ganzjährig überschritten. Ohne Regenaufnahme ergeben sich dagegen wieder deutlich niedrigere relative Feuchten zwischen 70 % und 80 %, womit die Maximalwerte aus dem Passivhaus-Protokollband um etwa 20 % und die Minimalwerte noch um etwa 5 % unterschritten werden.

Die stärkste Schlagregenbelastung ist am Standort Holzkirchen zu verzeichnen. Ohne zusätzlichen Schlagregenschutz werden hier für alle sechs Dämmvarianten gegen Ende des Berechnungszeitraums relative Feuchten zwischen etwa 97 % und 99 % erreicht. Auch im Sommer wird dieser Bereich nicht unterschritten (Bild 4, oben). Während der Passivhaus-Protokollband für diese Belastung bei der Mineralfaserdämmung ebenfalls hohe relative Feuchten zwischen 89 % - 98 % prognostiziert, liegt der Schwankungsbereich für die Zellulosefaserdämmung mit Werten zwischen 55 % und 80 % einmal mehr deutlich zu niedrig und zwar um 18 % bis über 40 % r. F. Bei der Berechnung ohne Regenaufnahme schwankt die Zellulosefaserdämmung zwischen 68 % und 92 %, die Mineralfaserdämmung mit Dampfbremse zwischen 73 % und 80 %. Mit wasserabweisendem Putz entsprechend den Angaben aus der DIN 4108-3 [7] zeigen die Berechnungsergebnisse über den Zeitraum von 5 Jahren einen langsam, aber kontinuierlich steigenden Verlauf der relativen Feuchte (Bild 5). Bei den Varianten mit Zellulosefaserdämmung ergeben sich im fünften Jahr Werte zwischen 77 % und 93 %, was immer noch deutlich höher liegt als der im Passivhaus-Protokollband angegebene Schwankungsbereich zwischen 53 % und 78 %. Die relative Feuchte bei den Varianten mit Mineralfaserdämmung steigt zwar ebenfalls kontinuierlich an und erreicht im fünften Jahr Werte zwischen 87 % und 90 %. In diesem Fall liegt die berechnete relative Feuchte aber innerhalb des im Passivhaus-Protokollband angegebenen Schwankungsbereichs, wobei jedoch die Amplitude bei der Berechnung deutlich geringer ist.

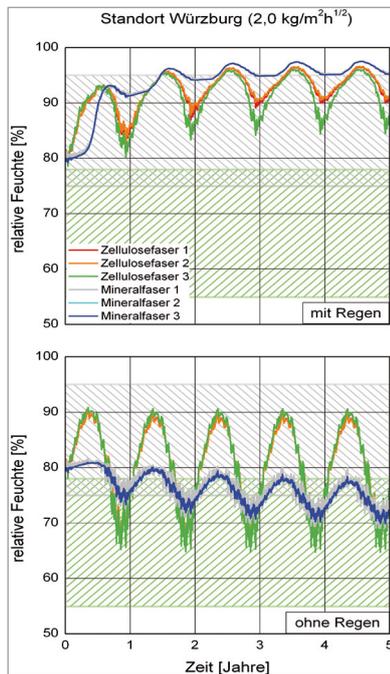


Bild 2: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Würzburg ($w = 2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$) für die verschiedenen Dämmstofftypen im Vergleich zu den im Passivhaus-Protokollband [2] angegebenen Schwankungsbreiten - grau schraffiert für Mineralwolle und grün schraffiert für Zellulosefaser.

oben: Berechnung mit Regenaufnahme
unten: Berechnung ohne Regenaufnahme

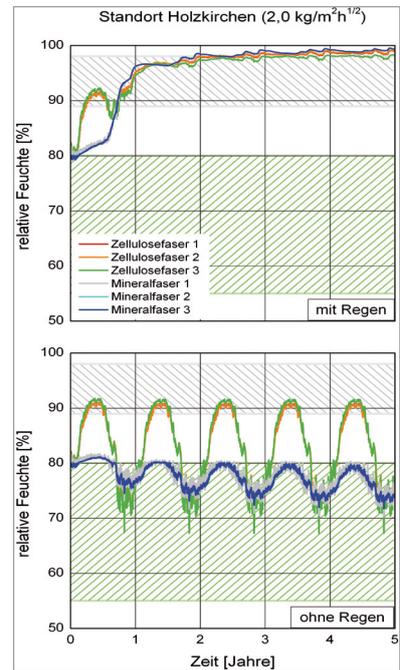


Bild 4: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Holzkirchen ($w = 2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$) für die verschiedenen Dämmstofftypen im Vergleich zu den im Passivhaus-Protokollband [2] angegebenen Schwankungsbreiten - grau schraffiert für Mineralwolle und grün schraffiert für Zellulosefaser.

oben: Berechnung mit Regenaufnahme
unten: Berechnung ohne Regenaufnahme

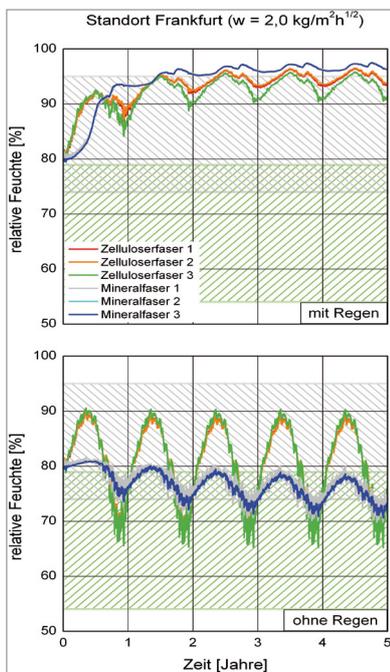


Bild 3: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Frankfurt ($w = 2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$) für die verschiedenen Dämmstofftypen im Vergleich zu den im Passivhaus-Protokollband [2] angegebenen Schwankungsbreiten - grau schraffiert für Mineralwolle und grün schraffiert für Zellulosefaser.

oben: Berechnung mit Regenaufnahme
unten: Berechnung ohne Regenaufnahme

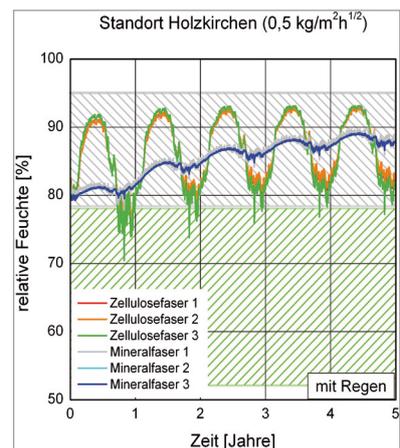


Bild 5: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Holzkirchen ($w = 0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$) für die verschiedenen Dämmstofftypen im Vergleich zu den im Passivhaus-Protokollband [2] angegebenen Schwankungsbreiten - grau schraffiert für Mineralwolle und grün schraffiert für Zellulosefaser.

An allen drei Standorten ist festzustellen, dass die Aufnahme von Niederschlagswasser das Feuchteverhalten von innen gedämmten Wänden stark beeinflusst und die klassischen Vorgaben für wasserhemmende und wasserabweisende Putze hier unter Umständen nicht mehr ausreichen, um feuchtetechnisch unkritische Verhältnisse in den Bauteilen zu gewährleisten. Bei schlechterem Schlagregenschutz ist der zusätzliche Feuchteeintrag über Diffusionstransport aus der Raumluft gegenüber der aufgenommenen Niederschlagsfeuchte fast vernachlässigbar. In diesen Fällen ist für beide Dämmstofftypen (Zellulosefaser ohne bzw. Mineralfaserdämmung mit feuchtevariabler Dampfbremse) ein vergleichbar hohes Feuchteniveau zu beobachten. Bei etwas geringerem Schlagregeneinfluss bleibt die relative Feuchte hinter der Zellulosefaser aufgrund ihrer höheren Feuchtespeicherkapazität meist etwas niedriger als hinter der Mineralfaser. Die Feuchteverläufe beider Dämmstoffe bleiben aber vor allem bei den Maximalwerten recht nah beieinander und spiegeln damit in keiner Weise die im Passivhaus-Protokollband angegebenen Unterschiede wider.

Ohne Schlagregeneinfluss bzw. bei gutem Schlagregenschutz wird der Feuchteeintrag über Diffusion aus der Raumluft maßgeblich. Dementsprechend zeigen sich hier Vorteile für die Fälle mit Mineralfaserdämmung und variabler Dampfbremse: ohne Schlagregeneinfluss liegen an allen drei Standorten die maximalen relativen Feuchten hinter der Mineralfaser um mindestens 10 % niedriger als hinter der Zellulosefaserdämmung; mit Niederschlagseinfluss aber wasserabweisendem Putz werden in Holzkirchen immerhin noch knapp 5 % niedrigere Werte erreicht. Damit zeigt die Mineralfaserdämmung hier deutlich geringere und die Zellulosefaser deutlich höhere Feuchtwerte als im Passivhaus-Protokollband angegeben. Da allerdings auch die Zellulosefaserdämmungen auf der Kaltseite maximale relative Feuchten von unter 93 % aufweisen, bleiben alle Varianten in einem Bereich, der nach den Vorgaben des WTA-Merkblatts zur Innendämmung [4] in der Regel als unkritisch bezeichnet werden kann.

Innen gedämmte Wände mit Zellulosefaserdämmung ohne bzw. Mineralfaserdämmung mit feuchtevariabler Dampfbremse zeigen ein insgesamt ähnliches hygrothermisches Verhalten. Bei hohen Feuchteinträgen aus Niederschlag kann die sorptionsfähige Zellulose helfen, Feuchtespitzen zu begrenzen - bei schlechtem Schlagregenschutz sind aber auch weitere Risiken wie Dauerhaftigkeitsprobleme, Frostschäden oder eine Erhöhung der Wärmeverluste in den feuchten Materialien zu beachten. Kommt der Feuchteeintrag hauptsächlich über Diffusion aus dem Innenraum, erweisen sich die Varianten mit Mineralfaser und Dampfbremse als günstiger.

3. Anwendungsbereiche von Mineralfaser-Innendämmungen mit variabler Dampfbremse in Abhängigkeit des Schlagregenschutzes

Die folgenden Berechnungen zeigen nun noch die Anwendbarkeit von Innendämmungen aus Mineralfaserdämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse bei deutlich höherem Wärmeschutzniveau mit Dämmstärken von bis zu 14 cm. Die Bewertung erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Schlagregenschutzqualität des Außenputzes. Dazu kommen die gleichen Standorte wie im vorigen Kapitel zum Einsatz - zur besseren Vergleichbarkeit werden aber an allen drei Standorten folgende vier Außenputzqualitäten untersucht:

- $w = 2,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$,
- $w = 1,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$,
- $w = 0,5 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ (wasserabweisend nach DIN 4108-3 [7]),
- $w = 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ (durch heutige Anstriche und Hydrophobierungen in der Regel gut erreichbar).

Da die verschiedenen Mineralfaser-Datensätze im vorigen Kapitel praktisch identische Ergebnisse gezeigt haben, werden die neuen Berechnungen nur noch mit Mineralfaser 3 durchgeführt. Alle übrigen Materialien sowie die Innenklimabedingungen werden analog zu den Angaben in Kapitel 2 verwendet.

Zur Bewertung der Ergebnisse wird wieder der Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht zwischen Kalkputz und Innendämmung, also an der ehemaligen Innenoberfläche, herangezogen. Wenn die relative Feuchte an dieser Position den Wert von 95 % nicht überschreitet und beim Einbau auf hohlraumfreies Verlegen der Dämmung geachtet wird, können Feuchteprobleme wie z. B. Schimmelpilzbildung, Holzfäule und Frost ausgeschlossen werden. Der Grenzwert wird im Planungsleitfaden für Innendämmungen der WTA [4] verwendet und stellt ein vergleichsweise strenges und sicheres Bewertungskriterium dar. Dieser Wert darf im Einzelfall auch überschritten werden, wenn die zuvor genannten Schadensmechanismen sowohl in der Bestandswand als auch im Dämmsystem ausgeschlossen werden können.

Bild 6 zeigt die Feuchteverläufe bei den verschiedenen Außenputzen am Standort Würzburg. Bei einem w -Wert von $2,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ steigt die relative Feuchte im eingeschwungenen Zustand auf Werte zwischen 96 % und 97 %. Mit einem w -Wert von $1,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ verläuft der Anstieg zwar etwas langsamer, es wird aber nach fünf Jahren ein ähnlich hohes Niveau erreicht. In beiden Fällen wird damit der Grenzwert von 95 % ganzjährig überschritten. Dies kann zwar im Einzelfall, wenn ein besserer Schlagregenschutz z. B. aus Denkmalschutzgründen nicht herstellbar ist, eventuell noch akzeptiert werden, stellt aber kein günstiges Ergebnis dar. Bei einem w -Wert des Außenputzes von $0,5 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$

schwankt die relative Feuchte zwischen 80 % und 83 %, bei einem w -Wert von $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ sinkt die relative Feuchte während der berechneten fünf Jahre und erreicht im fünften Jahr nur noch Werte zwischen 70 % und 79 %.

Am Standort Frankfurt (Bild 7) steigt die relative Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung bei einem w -Wert des Außenputzes sowohl von $2,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ als auch von $1,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ jeweils auf noch etwas höhere Werte als in Würzburg. Mit wasserabweisendem Putz ($w = 0,5 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$) ist nur ein geringer Anstieg auf Endwerte zwischen etwa 82 % und 85 % zu verzeichnen - die Feuchten liegen damit deutlich unter 95 %. Hat der Außenputz einen w -Wert von $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$, so zeigt die relative Feuchte einen langsamen Abfall und liegt im fünften Jahr zwischen 70 % und 80 %.

Erwartungsgemäß schneiden die beiden Putze mit einem w -Wert von $2,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ und $1,0 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ in Holzkirchen noch etwas schlechter ab als in Würzburg und Frankfurt (Bild 8). Das Feuchteniveau liegt in beiden Fällen ganzjährig bei etwa 99 % r. F. Auch der wasserabweisende Putz führt noch zu einer über die fünf Jahre ansteigenden relativen Feuchte, die aber langfristig unter 95 % bleiben sollte. Mit aktuellem Anstrich oder Hydrophobierung mit einem w -Wert von $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ kann aber auch bei dieser Schlagregenmenge der Maximalwert der relativen Feuchte im Winter auf etwa 80 % begrenzt werden, - im Sommer sinken die Feuchten dann auf etwa 73 %.

Das höhere Dämmniveau von 14 cm führt im Vergleich zu den 8 cm Dämmung in Kapitel 2 an allen Standorten zu einem noch einmal etwas höheren Feuchteniveau in den Bauteilen. Bei starker Schlagregenbelastung an Standorten der Beanspruchungsgruppe III führt an einem guten Schlagregenschutz kein Weg vorbei - dauerhaft hohe Feuchten von

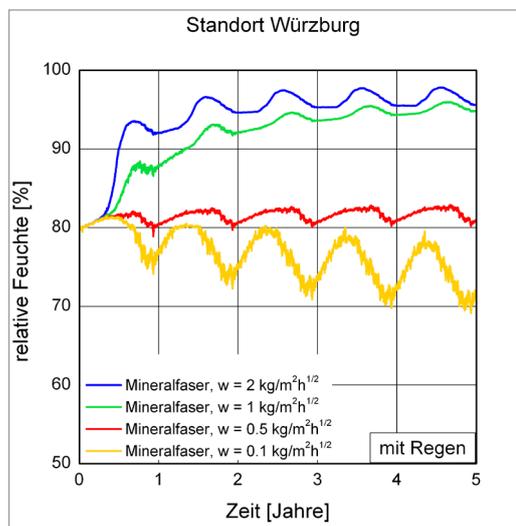


Bild 6: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Würzburg in Abhängigkeit des w -Werts an der Außenoberfläche für Mineralfaserdämmung mit variabler Dampfbremse.

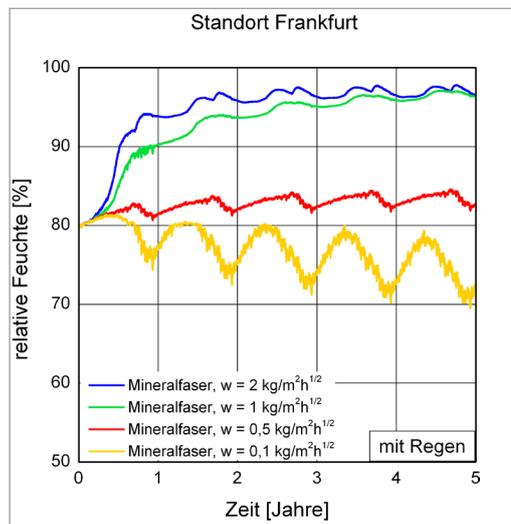


Bild 7: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Frankfurt in Abhängigkeit des w -Werts an der Außenoberfläche für Mineralfaserdämmung mit variabler Dampfbremse.

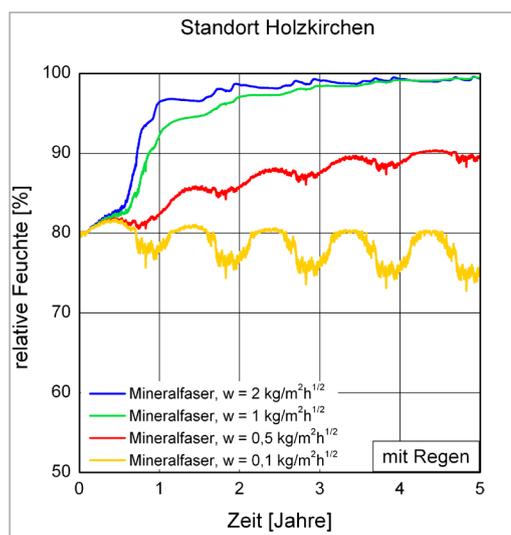


Bild 8: Berechneter Verlauf der relativen Feuchte an der Trennschicht Kalkputz / Innendämmung am Standort Holzkirchen in Abhängigkeit des w -Werts an der Außenoberfläche für Mineralfaserdämmung mit variabler Dampfbremse.

um die 99 % r. F. hinter der Dämmung sind in der Regel nicht akzeptabel. Ein w -Wert von $0,5 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ reicht in allen Fällen aus, um die Feuchte in der Trennschicht unter 95 % zu halten - solche w -Werte sind im Bestand allerdings kaum vorzufinden. Wenn also ein neuer Anstrich, Deckputz oder eine Hydrophobierung erforderlich sind, sollte ein w -Wert von $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ angestrebt werden - in Kombination mit dem auch nach der Innendämmmaßnahme noch guten Trocknungspotential durch die variable Dampfbremse nach innen, können dauerhaft Feuchten unter 80 % r. F. und damit sogar Schimmelpilzbildung in Hohlräumen hinter der Dämmung ausgeschlossen werden.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Passivhaus-Protokollband Nr. 32 [2] angegebenen großen Unterschiede bezüglich des Feuchteverhaltens von Zellulosefaser- und Mineralfaserdämmung können durch die hier vorgestellten Untersuchungen in keiner Weise bestätigt werden. Bei starkem Schlagregeneintrag von außen zeigt eine Innendämmung aus Zellulosefaser ohne Dampfbremse keine wesentlich günstigeren Verhältnisse als Mineralfaser mit feuchteadaptiver Dampfbremse. Bei funktionierendem Schlagregenschutz bzw. bei Außenwänden ohne Schlagregenbelastung bleiben die maximalen Feuchten hinter der Innendämmung für Mineralfaser mit variabler Dampfbremse sogar um gut 10 % niedriger als bei Zellulosefaser ohne Dampfbremse.

Variable Dampfbremsen optimieren die Feuchtebilanz durch höhere Sperrwerte im Winter und sehr geringe Diffusionswiderstände während der Trocknungsphase im Sommer. Diese Eigenschaft führt auch bei Innendämmungen zu besonders günstigen Verhältnissen in den Wänden, was sich im WTA-Merkblatt zur Innendämmung [4] durch eine entsprechende Nachweisbefreiung für solche Konstruktionen niederschlägt.

Die in Kapitel 3 durchgeführten Berechnungen für Mineralfaserdämmung mit aktuellen Dämmstärken von 14 cm und feuchteadaptiver Dampfbremse zeigen, dass in Kombination mit einer geeigneten Verbesserung des Schlagregenschutzes von außen (w -Wert $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$, z. B. nach WTA-Merkblatt 3-17 „Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen“ [9]) das Feuchteniveau auf der Kaltseite der Dämmung sogar in dem Bereich unterhalb von etwa 80 % r. F. gehalten werden kann. Dieser Wert liegt nicht nur weit unter dem im WTA-Merkblatt [4] angegebenen Grenzwert von 95 %, auf diesem Niveau kann sogar Schimmelpilzbildung in Hohlräumen hinter der Dämmung ausgeschlossen werden.

5. Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Energetische Altbausanierung durch Innendämmung. WTA-Journal 4/04, S. 361 - 374.
- [2] Pfluger, R.: Lösungen für den Feuchteschutz. Protokollband Nr. 32. Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung. Darmstadt. Juli 2005.
- [3] Grunewald, J.: Diffuser und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen. Dresdner Bauklimatische Hefte, Heft 3, 1997.
- [4] WTA-Merkblatt 6-4-09/D: Innendämmung nach WTA I – Planungsleitfaden. Mai 2009.
- [5] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [6] Zirkelbach, D.; Binder, A.: Mit neuen Kennwerten genauer rechnen. B+B. Bauen im Bestand. 34. Jahrgang, März 2011, S. 42 - 47.
- [7] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Juli 2001.
- [8] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Juli 2007.
- [9] WTA-Merkblatt 3-17-10/D: Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen. Juni 2010.