

WDVS im Holzbau – Optimierter Nachweis des dauerhaften Witterungsschutzes durch Kombination von Messungen im Wandprüfstand und hygrothermischen Simulationen

Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) für die Anwendung auf Außenwänden im Holzbau werden national durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelt. Im Zuge der Zulassungserteilung muss der dauerhaft wirksame Witterungsschutz der Holzkonstruktion durch das WDVS nachgewiesen werden. Dies kann im Wandprüfstand durch die Messung von Holzfeuchten sowie Temperaturen und rel. Luftfeuchten in verschiedenen Bereichen der Konstruktion bei hygrothermischer Belastung nach ETAG 004 erfolgen. Hersteller von WDVS sind bestrebt, den Zeit- und Kostenaufwand für solche Prüfungen zu optimieren, indem aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Putze und Dämmstoffe nur die ungünstigsten Kombinationen geprüft werden. Die Entscheidung über die ungünstigste Variante wird meistens anhand einzelner Kriterien, wie Wasserdampfdurchlässigkeit des Putzes, getroffen. Die hygrothermischen Simulationen haben jedoch gezeigt, dass bei Einbeziehung verschiedener Randbedingungen die ungünstigste Variante nicht immer erwartungsgemäß ausfällt. Der Beitrag zeigt beispielhaft, wie und unter welchen Voraussetzungen Simulationsberechnungen zu einer sicheren Einschätzung des hygrothermischen Verhaltens der verschiedenen Varianten einer Wandkonstruktion führen.

ETICS in timber frame constructions – optimised proof of the permanent weather protection through a combination of measurements on the test bench and hygrothermal simulations. *External thermal composite systems with rendering (ETICS) for use on exterior walls in timber frame constructions are regulated nationally through general building inspectorate approvals. In the course of issuing the approval, the permanently effective weather protection of the timber construction must be proven by the external thermal composite system. This can be carried out on the test bench for walls by measuring the timber moisture contents as well as temperatures and rel. humidities in various areas of the construction with a hygrothermal load pursuant to ETAG 004. Manufacturers of ETICS strive to optimise the time and costs of such tests by only testing the most unfavourable combination of renderings and insulating materials from the wide variety that are available. The decision about the most unfavourable variant is usually taken on the basis of only a few criteria such as the water vapour permeability of the rendering. However, hygrothermal simulations have shown that if various marginal conditions are taken into account, the most unfavourable variant is not always as expected. The article shows by way of example how and under which conditions simulation calculations lead to a more reliable estimate of the hygrothermal behaviour of the different variants of a wall construction.*

1 Einleitung und Problemstellung

1.1 Bauphysikalische Anforderungen

Bei Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) im Holzrahmenbau nimmt der dauerhaft wirksame Witterungsschutz für den vorbeugenden Holzschutz eine entscheidende Rolle ein. Mit dem WDVS muss verhindert werden, dass eindringende Feuchte in der dahinter befindlichen Konstruktion zu einer unzuträglichen Veränderung des Feuchtegehaltes der Holzbauteile und der Holzwerkstoffe führt. Starke Schwankungen des Feuchtegehalts beeinträchtigen die Brauchbarkeit der Konstruktion durch Schwinden und Quellen; hohe Feuchtegehalte führen unter gewissen Voraussetzungen zu einem Befall mit holzzerstörenden Pilzen, der die Konstruktion dauerhaft und irreversibel schädigt.

Der geforderte Nachweis zum dauerhaften Witterungsschutz hängt mit der Empfindlichkeit der Holzbauteile gegenüber Feuchtebeanspruchungen zusammen, die sich bei einem WDVS überwiegend infolge der Umkehrdiffusion ergeben [11]. Dabei feuchtet das Putzsystem infolge von Niederschlägen auf und bei einer anschließenden Erwärmung der Putzoberfläche findet ein Wasserdampfdiffusionsstrom vom außenseitigen Putzsystem zur Dämmschicht des WDVS und den dahinter liegenden Schichten statt. Somit muss für WDVS im Holzrahmenbau das Feuchteverhalten insbesondere für alle Holz- und Holzwerkstoffelemente beurteilt werden.

1.2 Baurechtliche Anforderungen

WDVS werden nach der Bauregelliste in ihrer Gesamtheit als nicht geregelter Bausatz eingestuft, sodass im nationalen Baurecht die Verwendbarkeit durch die Übereinstimmung mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erfolgt. WDVS mit Dämmplatten für die Anwendung auf Außenwänden im Holzbau werden unter Z-33.47- ...-WDVS für Außenwände in Holzbauart – zugelassen. Für dieses nationale Zulassungsverfahren muss im Rahmen von standardisierten Zulassungsprüfungen u. a. der dauerhaft wirksame Witterungsschutz der Holzkonstruktion durch das WDVS nachgewiesen werden.

1.3 Wirtschaftliche Anforderungen und Vorgehen

Klassische Anbieter von WDVS verfügen aus markttechnischen Gründen über eine große Auswahl an Dämmplatten, Holzwerkstoffplatten und Putzsystemen – woraus sich wiederum eine große Vielfalt an Materialkombinationen ergibt. Der Nachweis des dauerhaften Witterungsschutzes im Rahmen der Zulassungsprüfungen für eine nationale Zulassung soll aber aus nachvollziehbaren Zeit- und Kostengründen selbstverständlich nicht für alle denkbaren Kombinationen durchgeführt werden.

Sachverständige müssen daher bei einer Zulassungsbeantragung diejenige Kombination von Dämmplatte, Holzwerkstoffplatte und Putzsystem bestimmen, die zum ungünstigsten feuchtetechnischen Verhalten führt – damit alle anderen Kombinationen ebenfalls eingeschlossen sind. Welche ist aber die ungünstigste Kombination? Meist wurde beim Putzsystem jenes mit der niedrigsten Wasserdampfdurchlässigkeit ausgewählt – ohne weitere Kennwerte zur Feuchtespeicherung und Flüssigwasserleitfähigkeit zu berücksichtigen. Inwieweit dies richtig ist, wird in diesem Beitrag untersucht. Auch die Entscheidung über die ungünstigste Dämmplatte ist schwer zu treffen, selbst wenn Kennwerte zum Sorptionsverhalten oder zur Flüssigwasserleitfähigkeit vorliegen.

Der Beitrag zeigt, wie für ein WDVS mit zwei verschiedenen Dämmplatten aus Holzfasern sowie drei verschiedenen Putzsystemen, also insgesamt sechs Kombinationen, eine Messung im Wandprüfstand und anschließend hygrothermische Simulationen zur Validierung durchgeführt wurden. Schließlich wurden weiterführende hygrothermische Simulationen vorgenommen, um das Verhalten der Wandkonstruktion auch unter anderen Randbedingungen zu beurteilen und vor allem um die einzelnen Kombinationen von Dämmplatte und Putzsystem auf einer breiteren Datenbasis vergleichen zu können.

2 Konstruktion

2.1 Konstruktionsaufbau

Bei dem untersuchten Wandaufbau handelte es sich um eine Holzständerkonstruktion aus 200 mm Fichte, mit Holzweichfaserdämmung. Innenseitig war die Holzständerkonstruktion mit einer Dampfbremshahn ($s_d = 100$ mm) und einer 18 mm dicken OSB/3 beplankt. Außenseitig wurde die Holzständerkonstruktion mit einer Spanplatte (Plattentyp P5 nach DIN EN 312) beplankt, worauf verschiedene Wärmedämm-Verbundsysteme angebracht wurden. Der Konstruktionsaufbau ist in Bild 1 dargestellt.

Für das WDVS wurden zwei verschiedene Holzfaserdämmplatten in einer Dicke von 60 mm untersucht. Die Holzfaserdämmplatte A wird im Trockenverfahren hergestellt und besteht aus einer einschichtigen Platte. Holzfaserdämmplatte B wird im Nassverfahren hergestellt, dabei werden 20 mm dicke Einzelplatten verklebt.

Die Holzfaserdämmplatten wurden mechanisch an der Holzständerkonstruktion befestigt. Als Unterputz wurde bei allen Systemvarianten ein einheitlicher Klebe- und Armierungsmörtel mit Armierungsgewebe und Haftvermittler verwendet. Als Schlussbeschichtung wurden für beide Holzfaserdämmstoffe drei verschiedene minerali-

sche Oberputze verwendet, sodass insgesamt sechs verschiedene Materialkombinationen untersucht wurden.

2.2 Materialkennwerte

Um die hygrothermischen Prozesse in der Wandkonstruktion bei der Simulation realitätsnah abbilden zu können, mussten die thermischen und hygrischen Speicher- und Transporteigenschaften der Materialien quantifiziert werden.

Im Gegensatz zu den thermischen Eigenschaften, zur Rohdichte und zur Wasserdampfdurchlässigkeit sind Angaben zu Porenradialverteilungen, zur Feuchtespeicherfunktion und zur Flüssigwasserleitfähigkeit in Literaturquellen und Produktdatenblättern relativ selten zu finden. Zur Quantifizierung und Absicherung der Materialeigenschaften wurden daher folgende Materialeigenschaften bestimmt:

- Rohdichte
- Hygroskopische Sorption nach DIN EN ISO 12571 [8]
- Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN EN ISO 12572 [9]
- Wasseraufnahmekoeffizient nach DIN EN ISO 15148 [10]

Die ermittelten Materialkennwerte der zwei verschiedenen Holzfaserdämmplatten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die drei Putzsysteme, bestehend aus dem jeweiligen Oberputz, dem Unterputz mit Gewebe und Haftvermittler, wurden im Simulationsprogramm vereinfacht als eine Materialschicht angenommen (vgl. Tabelle 2).

Bei den Dämmplatten (vgl. Tabelle 1) fallen die unterschiedliche Rohdichte sowie die Tatsache auf, dass sich Wasseraufnahmekoeffizient und Sorptionsfeuchtegehalt bei 80 % rel. F. bei Platte A und B gegensätzlich verhalten. Dämmplatte A nimmt relativ viel flüssiges Wasser auf, kann aber wenig Feuchte speichern. Es war deshalb zu erwarten, dass sich die Aufbauten mit Dämmplatte B (wenig Aufnahme von Schlagregen, hohes Feuchtespeichervermögen) deutlich günstiger verhalten würden.

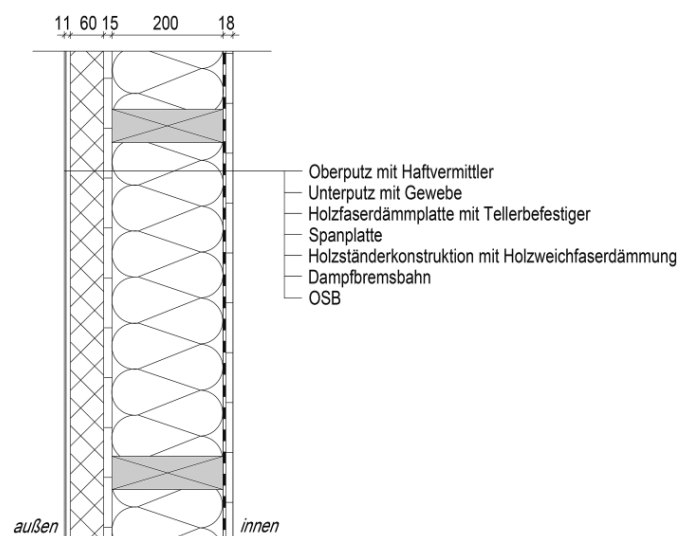


Bild 1. Konstruktion

Fig. 1. Construction

Tabelle 1. Materialkennwerte der untersuchten Holzfaserdämmplatten (WF)
Table 1. Material properties of two wood fibre boards (WF)

Eigenschaften	Einheit	Holzfaserdämmplatte A	Holzfaserdämmplatte B
Rohdichte	kg/m ³	159	274
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit bei 10 °C	W/(m×K)	0,040	0,048
Wasseraufnahmekoeffizient	kg/(m ² √h)	0,475	0,111
Feuchtegehalt bei 80 % rel. LF.	kg/m ³	20,2	40,8

Tabelle 2. Materialkennwerte der drei Putzsysteme
Table 2. Material properties of three renderings

Eigenschaften	Einheit	Putzsystem 1	Putzsystem 2	Putzsystem 3
Rohdichte	kg/m ³	1103	1395	1371
Wasseraufnahmekoeffizient	kg/(m ² √h)	0,047	0,145	0,145
Feuchtegehalt bei 80% rel. F.	kg/m ³	8,3	14,3	12,4
μ-Wert	-	16	17	36

Bei den Putzsystemen (Tabelle 2) fällt der höhere μ-Wert bei Putzsystem 3 auf. Weiterhin scheint Putzsystem 1 günstig zu sein: Es hat einen niedrigen Wasseraufnahmekoeffizienten und einen niedrigen μ-Wert. Allerdings ist auch seine Feuchtespeicherfähigkeit relativ niedrig.

3 Methodik

3.1 Prüfung im hygrothermischen Wandprüfstand

Der Nachweis des dauerhaften Witterungsschutzes der Holzkonstruktion durch das WDVS wird unter definierten hygrothermischen Beanspruchungszyklen, z.B. nach ETAG 004 [1] geprüft. Dabei darf es während der Beanspruchung zu keiner unzutraglichen Veränderung des Feuchtegehaltes bei der Holzkonstruktion und bei den Holzwerkstoffen kommen. Somit darf in Übereinstimmung mit DIN 68800-2 [2] für Holzbauteile eine Materialfeuchte von 20 M-% und für Holzwerkstoffe eine Materialfeuchte von 18 M-% nicht längerfristig überschritten werden, um in die Gebrauchsklasse 0 (kein chemischer Holzschutz) eingeordnet zu werden.

Die hygrothermischen Zyklen nach ETAG 004 sind anspruchsvoll, aber ihr Vorteil liegt in der verhältnismäßig

kurzen Prüfdauer und in der Möglichkeit der Kombination mit anderen geforderten Nachweisen. Die hygrothermische Beanspruchung nach ETAG 004 (Tabelle 3) umfasst i.d.R. 80 Wärme-Regen-Zyklen und 5 Wärme-Kälte-Zyklen.

Zur Bewertung des hygrothermischen Verhaltens innerhalb der Konstruktion wurden während der Prüfung für beide Dämmplatten A und B, mit Putzsystem 2, an verschiedenen Stellen im Abstand von 15 mm und 100 mm von der Spanplatte

- die Temperatur und relative Luftfeuchte in der Holzweichfaserdämmung
- die Holzfeuchte in der Holzkonstruktion durch elektrische Widerstandsmessung

instationär gemessen. Bild 2 veranschaulicht die Lage der Messstellen im Bauteilquerschnitt. Des Weiteren wurden u. a. die Materialfeuchten der Holzfaserdämmplatten, der Spanplatte und der Holzständerkonstruktion während der Prüfung in regelmäßigen Abständen gravimetrisch bestimmt.

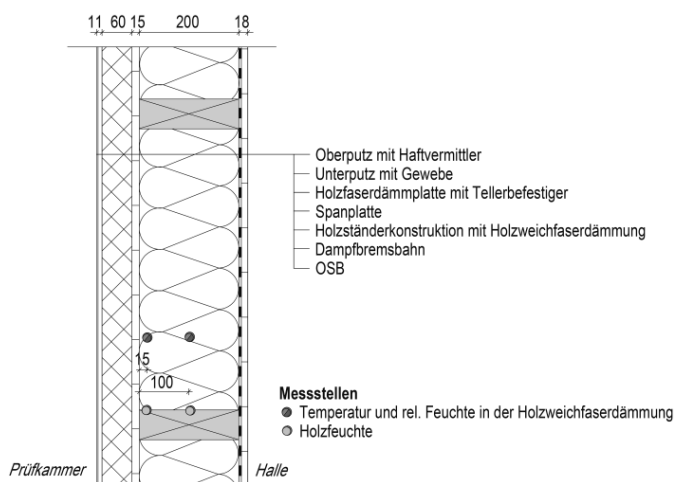


Bild 2. Lage der Messstellen
Fig. 2. Position of measuring points

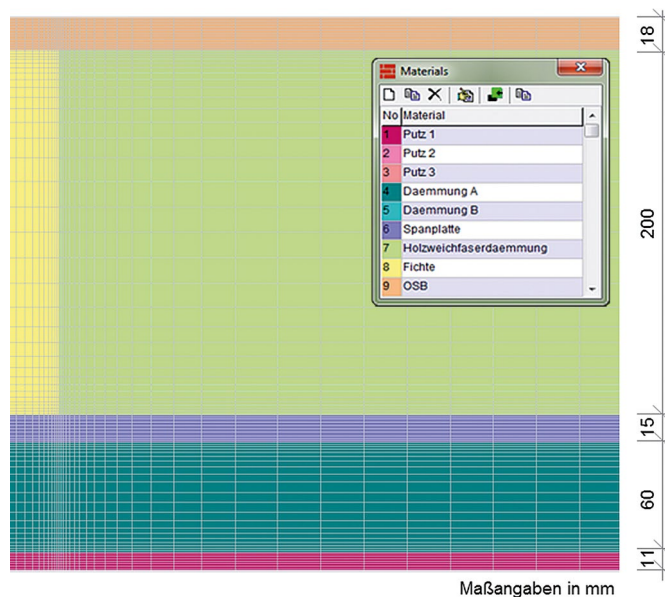
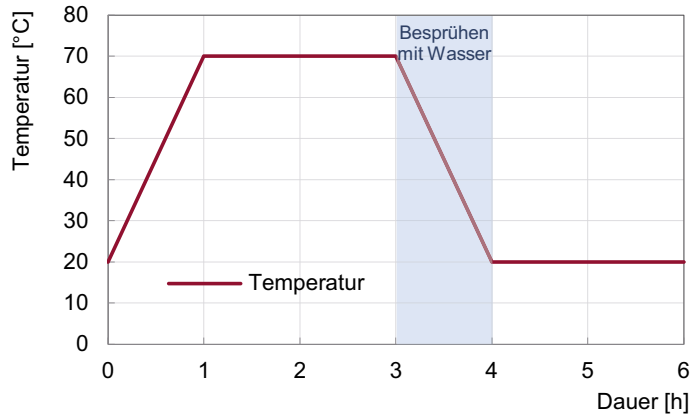
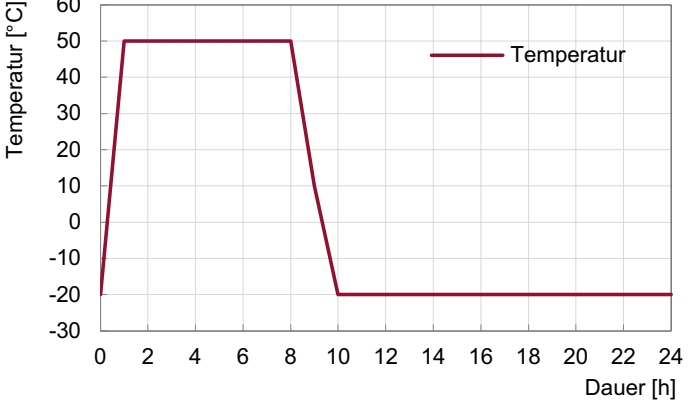


Bild 3. Geometrisches Modell im Simulationsprogramm Delphin

Fig. 3. Geometric model in the simulation program Delphin

Tabelle 3. Ablauf der Bewitterung mit hygrothermischen Zyklen nach ETAG 004
Table 3. Procedure of hygrothermal cycles according to ETAG 004

<p>80 Wärme-Regen-Zyklen (jeweils 6 h)</p> <p>1 h – Erwärmung auf 70 °C bei (10 – 30) % rel. LF 2 h – Halten von (70 ± 5) °C bei (10 – 30) % rel. LF 1 h – Besprühen mit Wasser – 1 l/(m²·min), (15 ± 5) °C 2 h – Ruhepause</p>	<p>20 Tage</p> 
<p>Konditionierung bei 10 – 25 °C und mind. 50 % rel. Feuchte</p>	<p>3 Tage</p>
<p>5 Wärme-Kälte-Zyklen (jeweils 24 h)</p> <p>1 h – Erwärmung auf (50 ± 5) °C bei max. 30 % rel. LF 7 h – Halten von (50 ± 5) °C bei max. 30 % rel. LF 2 h – Absenkung auf (-20 ± 5) °C 14 h – Halten von (-20 ± 5) °C</p>	<p>5 Tage</p> 
<p>Gesamtprüfdauer</p>	<p>28 Tage</p>

3.2 Hygrothermische Simulation

Für die Berechnung des gekoppelten zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransports wurde das Simulationsprogramm Delphin 5.8.3 [3] von der Technischen Universität Dresden verwendet. Das verwendete geometrische Modell der Konstruktion ist in Bild 3 dargestellt. Bei den hygrothermischen Simulationen wurden die Festlegungen in DIN EN 15026 [4] und WTA-Merkblatt 6-2 [5] beachtet.

Bei der numerischen Simulation wurde im ersten Schritt eine Validierungsrechnung durchgeführt, also der Wärme- und Feuchtetransport sowie der Verlauf der Holzfeuchte während der zyklischen Belastung im Wandprüfstand abgebildet und mit den Ergebnissen der Messstellenuntersuchung verglichen. Dabei zählen zu den entscheidenden klimatischen Einflussgrößen auf das hygrothermische Verhalten der Wandkonstruktion während der Bewitterungszyklen:

- die Temperatur und rel. Luftfeuchte in der Prüfkammer
- die Regenmenge und -temperatur in der Prüfkammer
- die Windgeschwindigkeit in der Prüfkammer sowie
- die Temperatur und rel. Luftfeuchte in der Halle,

die weitestgehend mithilfe der Messwerte abgesichert wurden. Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Prüfergebnissen ist in Abschnitt 4 ausführlich dargestellt.

Im zweiten Schritt wurden für die einzelnen Konstruktionsvarianten hygrothermische Simulationen mit verschiedenen Klimadatensätzen der Testreferenzjahre (TRY) aus 2011 vom Deutschen Wetterdienst DWD [7] durchgeführt. Dazu ergänzend wurden Regendaten verwendet, die von der TU Dresden, Institut für Bauklimatik, auf Basis von Messungen bereitgestellt wurden.

4 Ergebnisse der Messung im Wandprüfstand und Validierung der Simulation

4.1 Ergebnisse der Messung im Wandprüfstand

Als Beurteilungskriterien für die Prüfung im hygrothermischen Wandprüfstand werden die in DIN 68800 genannten kritischen Materialfeuchten herangezogen. Danach darf während der Beanspruchung die Holzfeuchte der Ständerkonstruktion den Grenzwert von 20 M-% und die Feuchte der Holzwerkstoffe den Grenzwert von 18 M-% nicht überschreiten.

Die Prüfung im hygrothermischen Wandprüfstand nach ETAG 004 ergibt für beide Holzfaserdämmplatten dass im Hinblick auf die instationäre Holzfeuchtemessung in der Holzständerkonstruktion der kritische Wert von 20 M-% bei keiner Messstelle erreicht wird (vgl. Bild 6). Die maximale oberflächennahe Holzfeuchte wurde hierbei am Ende der hygrothermischen Beanspruchung

erreicht und beträgt bei den Messstellen mit Dämmplatte A ca. 17 M-% und bei den Messstellen mit Dämmplatte B ca. 15 M-%.

Die Prüfung der Einhaltung der Materialfeuchte von 18 M-% in der Spanplatte ist über die gravimetrische Messung erfolgt. Die Konstruktion mit Dämmplatte B weist dabei einen maximalen Feuchtegehalt von 12,4 M-% auf und hat das Kriterium eingehalten. Die Spanplatte bei der Konstruktion mit Dämmplatte A hat den kritischen Wert

von 18 M-% mit einem maximalen Feuchtegehalt von 27 M-% am Ende der 80 Wärme-Regen-Zyklen hingegen deutlich überschritten.

4.2 Ergebnisse der Validierungsberechnungen

Temperaturen in der Gefachdämmung

Für die Temperaturen in der Gefachdämmung (Bilder 4 und 5) stimmen die Ergebnisse von Messung und Rechnung (Si-

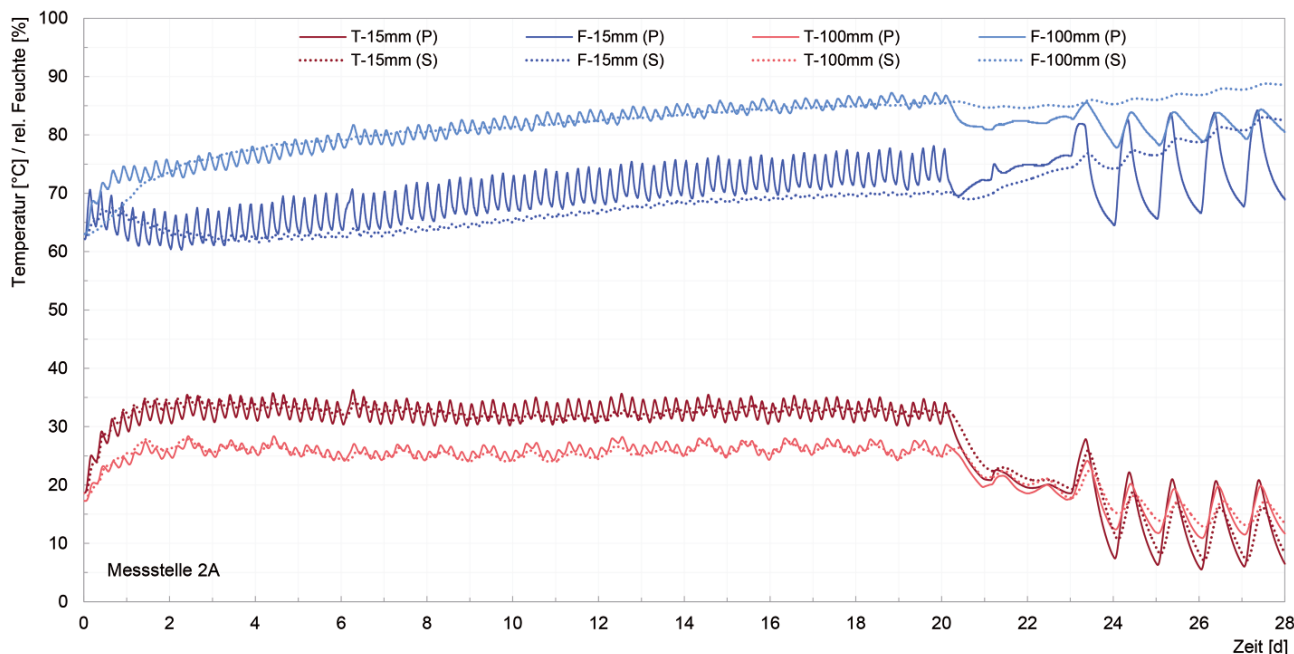


Bild 4. Vergleich Temperaturen (T) und rel. Feuchten (F) in Gefachdämmung, Prüfung (—), Simulation (.....), Aufbau mit Dämmplatte A und Putzsystem 2, 2-Minuten-Intervalle

Fig. 4. Comparison of temperature (T) and relative humidity (F), testing (—), simulation (.....), variation with wood fibre board A and rendering 2, 2-minutes-intervals

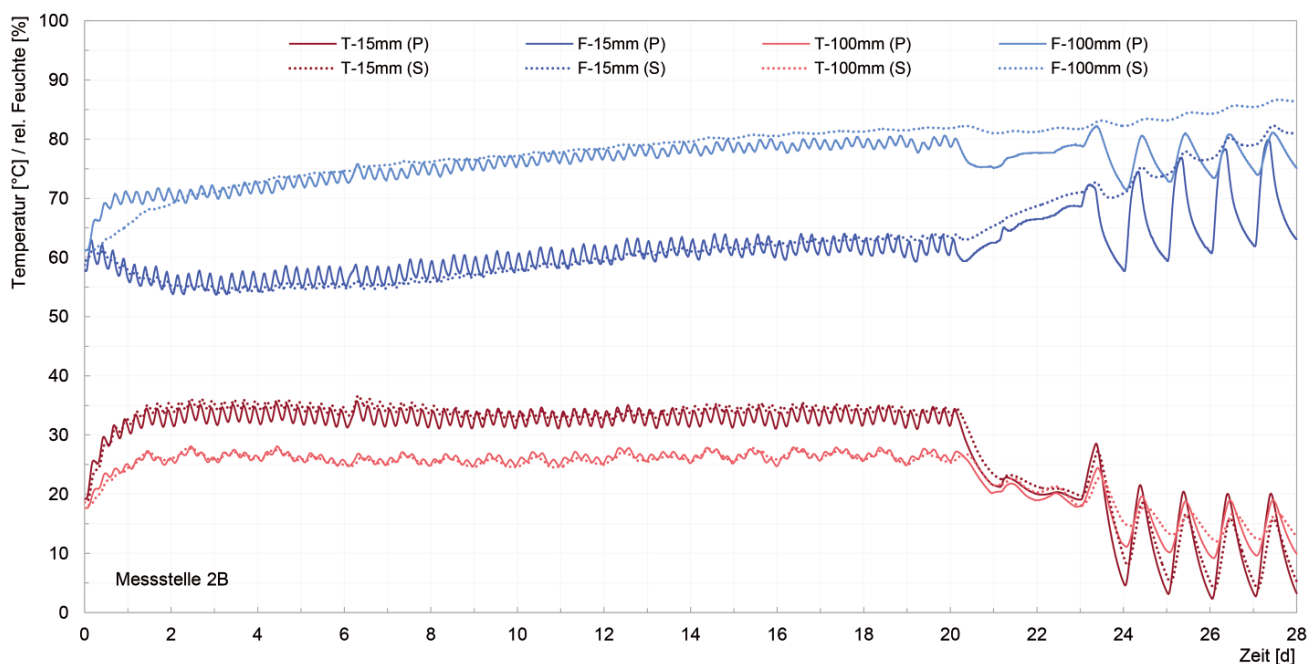


Bild 5. Vergleich Temperaturen (T) und rel. Feuchten (F) in Gefachdämmung, Prüfung (—), Simulation (.....), Aufbau mit Dämmplatte B und Putzsystem 2, 2-Minuten-Intervalle

Fig. 5. Comparison of temperature (T) and relative humidity (F), testing (—), simulation (.....), variation with wood fibre board B and rendering 2, 2-minutes-intervals

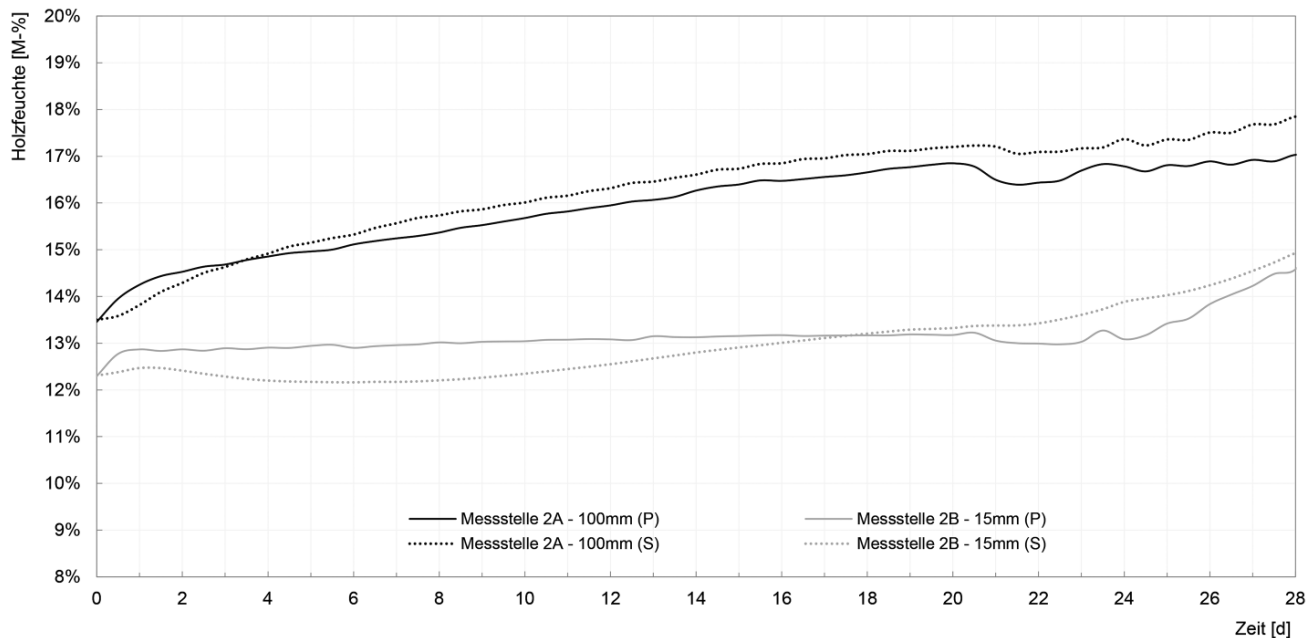


Bild 6. Vergleich Holzfeuchte im oberflächennahen Bereich der Holzständerkonstruktion, Prüfung (—), Simulation (....), Aufbau mit Dämmplatte A bzw. Dämmplatte B und Putzsystem 2, 12-Stunden-Mittelwerte

Fig. 6. Comparison of wood moisture near to the surface of timber pillar, testing (—), simulation (....), variation with wood fibre boards A and B and rendering 2, 12-hour-averages

mulation) sehr gut überein, die Abweichungen liegen bei max. $\pm 1 - 2$ K – wobei noch die Messunsicherheit der Messtechnik von ± 1 K im Temperaturbereich von -20 °C bis $+60$ °C zu berücksichtigen ist. Dabei wurden die thermischen Kennwerte Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität aus den Produktdatenblättern verwendet.

Relative Feuchten in der Gefachdämmung und Holzfeuchten

Auch die relativen Feuchten in der Gefachdämmung (Bilder 4 und 5) können mit der hygrothermischen Simulation gut abgebildet werden. Es treten mäßige Abweichungen zwischen Berechnung und Simulation in den Wärme-Regen-Zyklen und etwas höhere Abweichungen in den Wärme-Kälte-Zyklen auf. Im Mittel betragen die Unterschiede zwischen 3 % und 8 %, was unter Berücksichtigung der Messunsicherheit der Messtechnik von ca. ± 2 % rel. F. wieder eine gute bis sehr gute Übereinstimmung bedeutet. Die Schwankungen im Feuchtegehalt werden durch die Simulation gedämpft ausgebildet, was u. a. auf die Hysterese zurückzuführen ist. Des Weiteren ist ersichtlich, dass die Rücktrocknung während der Wärme-Kälte-Zyklen in der Zeitspanne mit -20 °C in der Kammer deutlich abgemindert ist. Ursächlich dafür können eine unzureichende Abbildung der hygrothermischen Prozesse bei Phasenänderung von Flüssig- zu Festphase (Enthalpie) und damit einhergehend veränderte Transportprozesse sein. Die Simulation führt daher zu ungünstigeren Ergebnissen und liegt damit tendenziell auf der sicheren Seite.

Die Ergebnisse der oberflächennahen Holzfeuchten in Bild 6 zeigen mit 1 bis 2 M-% Abweichung ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung.

5 Weiterführende hygrothermische Simulationen mit Variantenuntersuchung

Es wurden weitere Varianten untersucht, mit dem Ziel

- den dauerhaften Witterungsschutz für die beiden anderen Putzsysteme nachzuweisen
- die hygrothermischen Speicher- und Transportvorgänge in der Holzständerkonstruktion mit WDVS besser zu verstehen
- die Allgemeingültigkeit der ETAG 004-Zyklen für Standorte in der BR Deutschland abzuschätzen.

Dazu wurden die insgesamt sechs Kombinationen aus zwei Dämmplatten und drei Putzsystemen für verschiedene Standorte und für verschiedene Absorptionsgrade der Sonneneinstrahlung (heller Putz/dunkler Putz) untersucht.

5.1 Bewertungskriterien

Bei der hygrothermischen Simulation von Konstruktionen mit Holzbauteilen oder Holzwerkstoffen müssen drei wesentliche Bewertungskriterien beachtet werden:

- a) Es darf in der Konstruktion langfristig nicht zur Auffeuchtung kommen, d. h. das Austrocknungspotenzial muss größer sein als der Feuchteeintrag.
- b) Im kritischen Bereich, also zwischen Holzweichfaserdämmung und Spanplatte, darf die relative Luftfeuchte nicht über einen längeren Zeitraum den Grenzwert von 95 % r.F. überschreiten, um die Bildung von Flüssigwasser und somit Tauwasser- und/oder Frostschäden zu vermeiden.
- c) Feuchteempfindliche Materialien wie Holz oder Holzwerkstoffe dürfen im Hinblick auf den Befall mit holz-

zerstörenden Pilzen bestimmte Feuchtegehalte nicht überschreiten.

Für den Wandaufbau wurden daher folgende Daten ausgewertet:

- Temperatur und relative Luftfeuchte im kritischen Bereich zwischen Spanplatte und Holzweichfaserdämmung in Gefachmitte zur Bewertung des Aufwechungs- bzw. Austrocknungspotenzials und der Bildung von Flüssigwasser,
- Holzfeuchte in der Ständerkonstruktion zur Bewertung des kritischen Feuchtegehaltes von 20 M-%,
- mittlere Materialfeuchte der Spanplatte zur Bewertung des kritischen Feuchtegehaltes von 18 M-%.

5.2 Einflussfaktor Standort

Vorgehen

Um die Auswirkungen des Standortes auf das hygrothermische Verhalten der Außenwand zu untersuchen, wurden die in Tabelle 4 aufgeführten drei Klimadatensätze untersucht.

- Mannheim/Oberreingraben und unteres Neckartal: Ort mit sehr hoher jährlicher Globalstrahlungssumme

und Durchschnittstemperatur sowie der niedrigsten rel. Jahresdurchschnittsfeuchte und einziger Ort mit südlicher Hauptschlagregenrichtung

- Hamburg/Nordwestdeutsches Tiefland: Ort mit der niedrigsten jährlichen Globalstrahlungssumme und einer mittleren Schlagregenbeanspruchung
- Braunlage/Oberharz und Schwarzwald, mittlere Lagen: Ort mit einer der höchsten Schlagregenbeanspruchungen und niedrigsten Jahresdurchschnittstemperatur.

Auswertung

Die hygrothermischen Simulationen zeigen für die relative Luftfeuchte im Gefach deutliche Unterschiede im Feuchteverhalten zwischen dem Wandaufbau mit der Holzfaserdämmplatte A (Bild 7) und dem Wandaufbau mit der Holzfaserdämmplatte B (Bild 8). Der Wandaufbau mit Dämmplatte A reagiert deutlich sensibler auf anspruchsvollere Klimate. Hierfür kommt es am Standort Braunlage für alle drei Putzsysteme zu einer unzuträglichen Feuchteanreicherung. Die hohe Schlagregenbeanspruchung führt in Verbindung mit einer nur wenig sorptionsfähigen Dämmplatte (vgl. Tabelle 3) zu einer Aufwechung der Wandkonstruktion. Am Standort Hamburg

Tabelle 4. Ausgewählte Kerndaten der Klimadatensätze

Table 4. Climate data sets

TRY Nr.	Station	Lufttemperatur			Globalstrahlung Summe [kWh/ (m ² ×a)]	rel. Luftfeuchte Mittel [%]	Normalregen Summe [(l/m ² ×a)]	Windgeschwindigkeit Mittel [m/s]	Fassaden- ausrichtung [°]
		Min [°C]	Max [°C]	Mittel [°C]					
3	Hamburg	-10,4	31,3	9,5	944	80	783	3,8	250
8	Braunlage	-14,8	29,2	6,7	994	82	1633	2,9	240
12	Mannheim	-9,3	36,3	11,1	1089	73	531	2,5	180

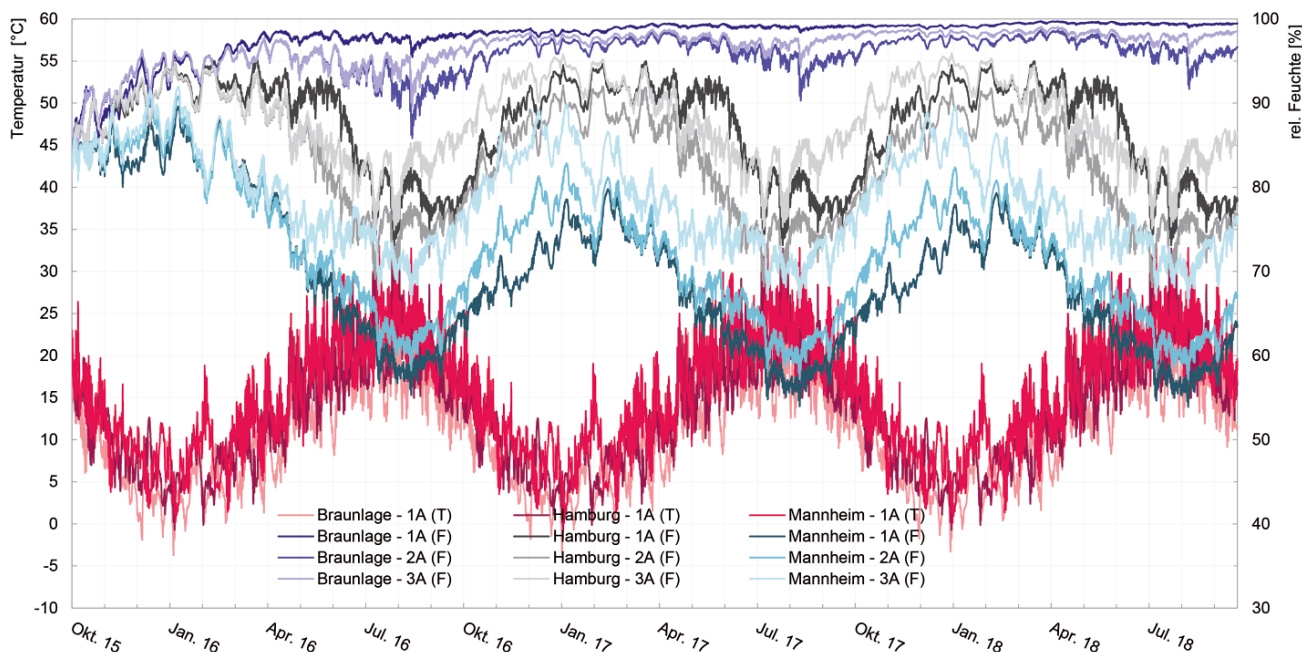


Bild 7. Temperatur und rel. Feuchte in kritischer Ebene an 3 Standorten, Varianten mit Dämmplatte A und 3 Putzsystemen, Stundenwerte

Fig. 7. Temperature and relative humidity in critical section of construction at 3 German locations, variations with wood fibre board A and 3 renderings, 1-hour-intervals

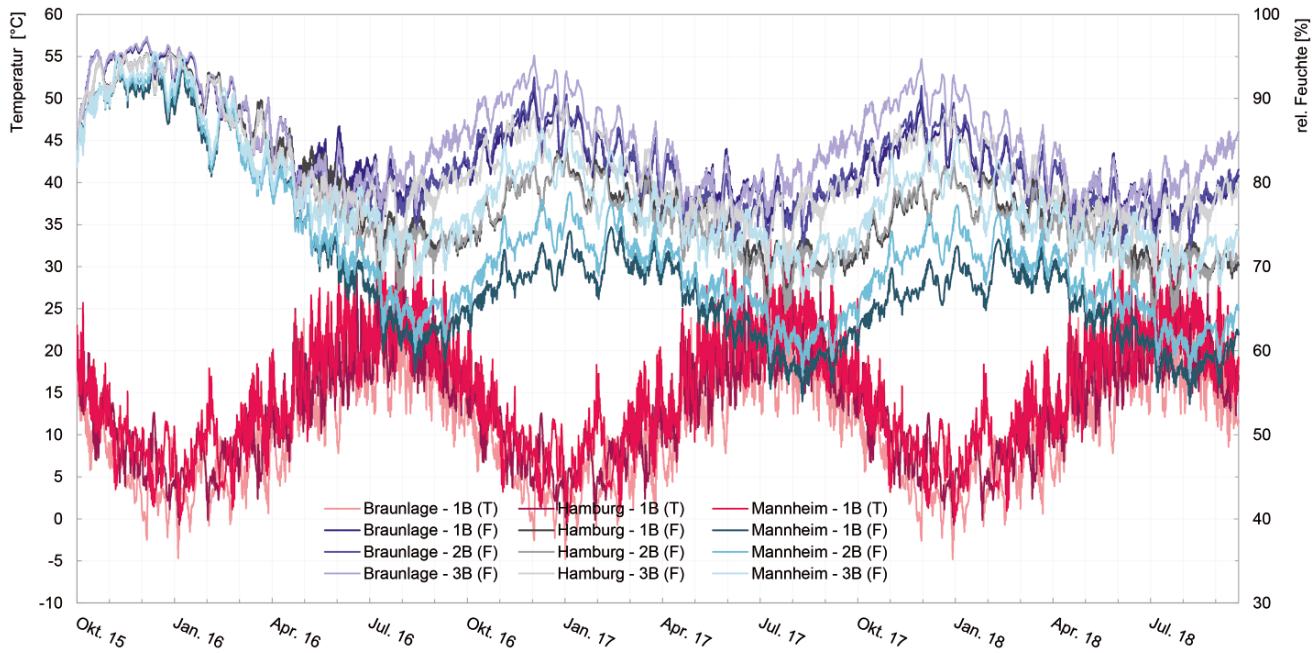


Bild 8. Temperatur und rel. Feuchte in kritischer Ebene an 3 Standorten, Varianten mit Dämmplatte B und 3 Putzsystemen, Stundenwerte

Fig. 8. Temperature and relative humidity in critical section of construction at 3 German locations, variations with wood fibre boards B and 3 renderings, 1-hour-intervals

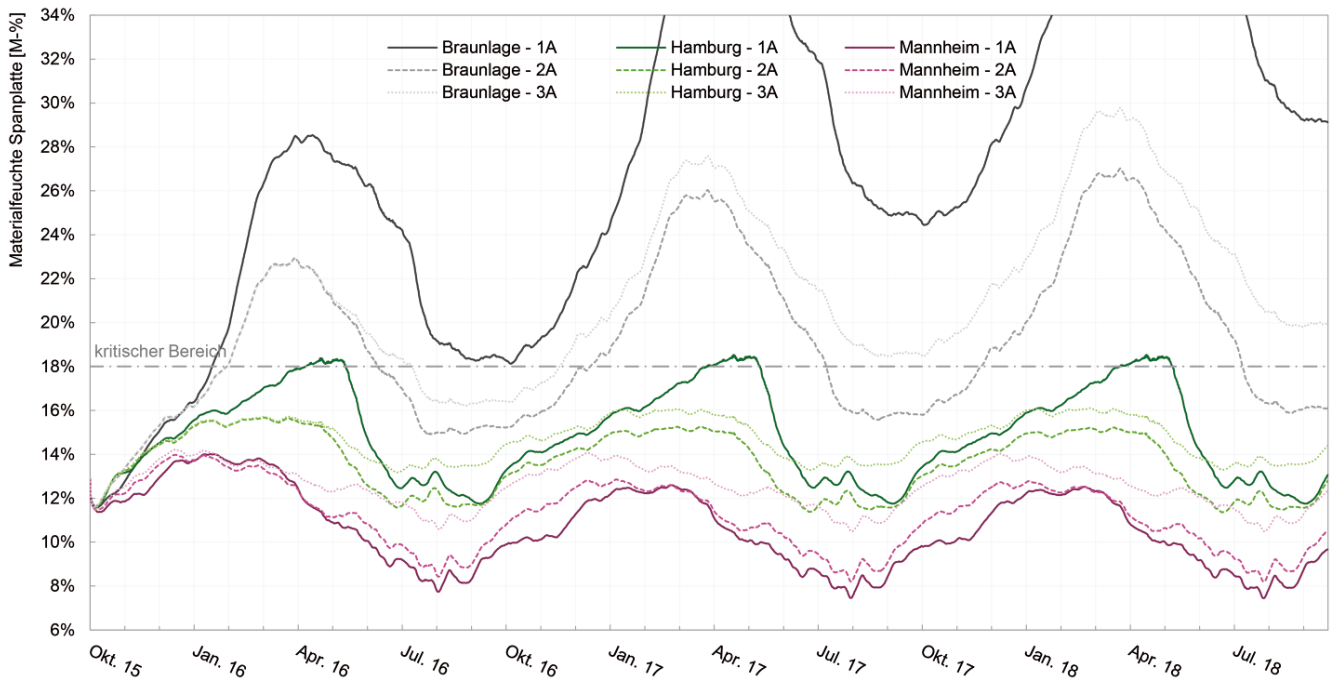


Bild 9. Materialfeuchte der Spanplatte an 3 Standorten, Varianten mit Dämmplatte A und 3 Putzsystemen, 12-Stunden-Werte

Fig. 9. Moisture of Particleboard at 3 German locations, variations with wood fibre board A and 3 renderings, 12-hour-intervals

kommt es mit Dämmplatte A zwar auch zu hohen Luftfeuchten in der Gefachdämmung aufgrund des Schlagregeneintrags, aber langfristig feuchtet die Konstruktion nicht auf. Erwartungsgemäß ist die feuchtetechnische Situation am Standort Mannheim am wenigsten kritisch.

Mit Dämmplatte B (Bild 8) sind hingegen die Unterschiede an den drei Standorten nicht so groß. Hier führt der niedrigere Wasseraufnahmekoeffizient von Dämmplatte B zu geringerer Schlagregenaufnahme, während ihre höhere Feuchtespeicherfähigkeit, ausgedrückt durch den

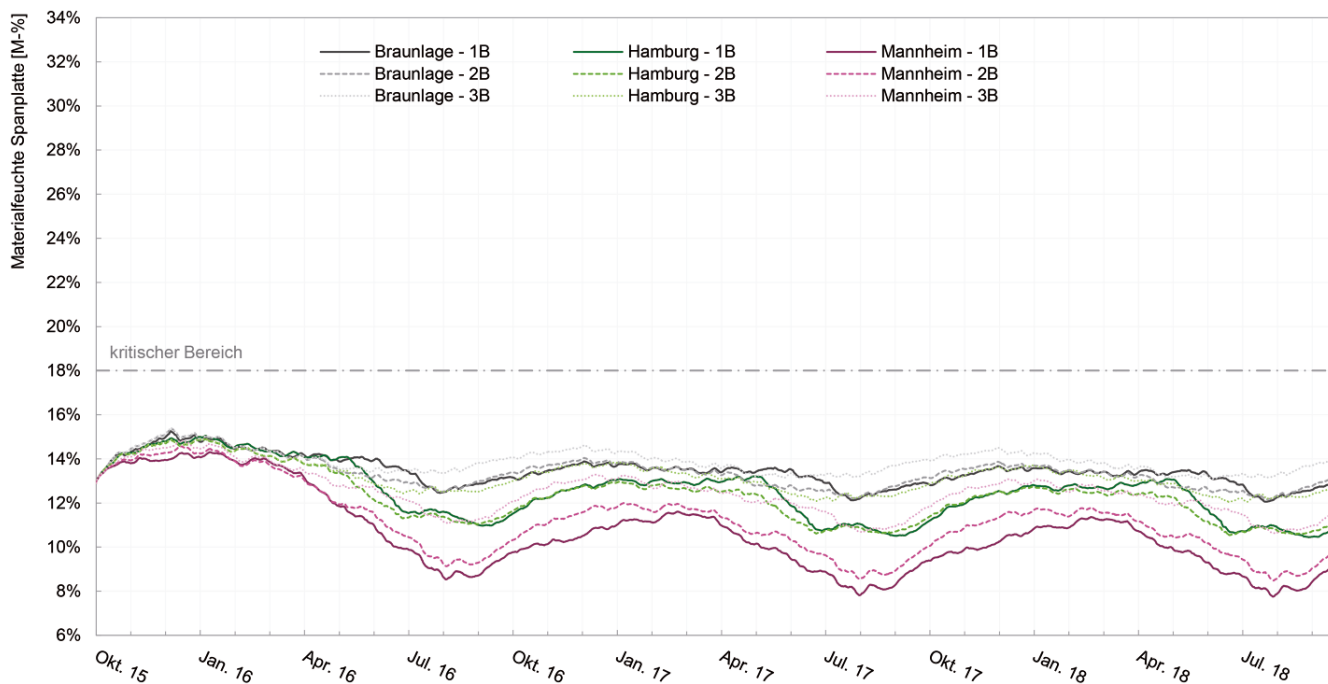


Bild 10. Materialfeuchte der Spanplatte an 3 Standorten, Varianten mit Dämmplatte B und 3 Putzsystemen, 12-Stunden-Werte

Fig. 10. Moisture of Particleboard at 3 German locations, variations with wood fibre board B and 3 renderings, 12-hour-intervals

höheren Sorptionsfeuchtegehalt bei 80 % r.F., sich ebenfalls günstig auswirkt. Dadurch steigt die relative Luftfeuchte im Gefach, auch am schlagregenintensiven Standort Braunlage, nicht so stark an. Die Wandkonstruktion funktioniert an allen drei Standorten und für alle drei Putzsysteme feuchtetechnisch unkritisch. Mit Dämmplatte B können die Holzbauteile in die GK 0 gemäß DIN 68800 eingeordnet werden.

Die Auswertungen der Feuchtegehalte der Spanplatte für Dämmplatte A (Bild 9) und Dämmplatte B (Bild 10) zeigen das Ergebnis auf andere Weise: Bei Dämmplatte A und dem Standort Braunlage übersteigt der Feuchtegehalt der Spanplatte den Grenzwert von 18 M-% deutlich. Am Standort Hamburg zeigt er für Dämmplatte A und Putzsystem 1 ein Erreichen des Grenzwerts jeweils am Ende des Winters. Dieses Putzsystem, obwohl mit einem niedrigen μ -Wert und einem niedrigen Wasseraufnahmekoeffizienten ausgestattet, verhält sich ungünstiger als die beiden anderen Putzsysteme. Grund hierfür ist u. a., in Kombination mit der wenig feuchtespeicherfähigen Dämmplatte A, die niedrige Feuchtespeicherfähigkeit. Bei Dämmplatte B (Bild 10) spielen hingegen die Eigenschaften der Putzsysteme und auch der Standort eine untergeordnete Rolle. Der Feuchtegehalt der Spanplatte bleibt für alle drei Standorte und mit allen drei Putzsystemen deutlich unter dem Grenzwert von 18 M-%.

5.3 Einflussfaktor Oberflächenfarbe

Vorgehen

Um die hygrothermischen Vorgänge besser zu verstehen und zu visualisieren, wurden außerdem Varianten-

berechnungen für einen Standort (Hamburg), aber für unterschiedliche Oberflächenfarben des Putzes durchgeführt. Ziel war herauszufinden, inwieweit die unterschiedlich hohe Oberflächentemperatur an der Außenseite des Putzes Einfluss auf die Feuchtegehalte von Holzbauteilen und Holzwerkstoffen hat. Dazu wurden für den Standort Hamburg je zwei Berechnungen durchgeführt mit den Absorptionskoeffizienten für kurzweilige Sonneneinstrahlung:

- $\alpha = 0,3$ für eine helle Außenoberfläche
- $\alpha = 0,8$ für eine dunkle Außenoberfläche.

Auswertung

Die Berechnungen zeigen (Bilder 11 und 12), dass Wände, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind bzw. eine dunkle Farbgebung aufweisen, größeren Feuchteschwankungen in der kritischen Ebene und in der Spanplatte unterliegen als Wände mit verschatteten bzw. hellen Oberflächen. Insgesamt kommt es auch hier mit Dämmplatte B zu deutlich geringeren Feuchtezuständen als mit Dämmplatte A (Vergleich zwischen Bild 11 und Bild 12 sowie zwischen Bild 13 und Bild 14). Mit Dämmplatte A und Putzsystem 1 wird der zulässige Grenzwert für die Spanplatte überschritten (Bild 13). Erwartungsgemäß führt hier eine helle Oberfläche zu einem höheren Feuchtegehalt, weil die sommerliche Rücktrocknung geringer ausfällt. Mit Dämmplatte A und Putzsystem 3 sind die Unterschiede zwischen heller und dunkler Putzoberfläche hingegen eher gering. Der relativ hohe μ -Wert des Putzsystems verlangsamt hier die Austrocknung nach außen, aber auch den dampfförmigen Weitertransport von eingedrunenem Schlagregen nach innen. Für die Dämmplatte B sind die Feuchtegehalte der Spanplatte (Bild 14) hingegen wieder ähnlich, außer-

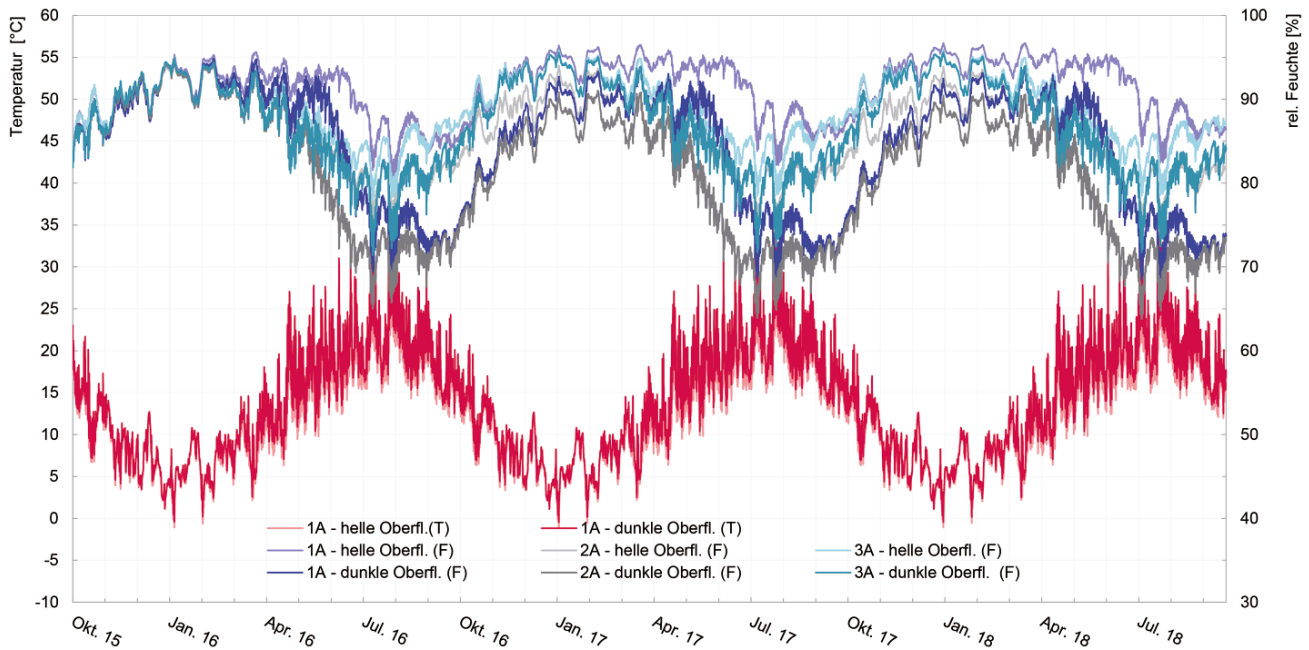


Bild 11. Temperatur und rel. Feuchte in kritischer Ebene am Standort Hamburg, bei heller ($\alpha = 0,3$) und dunkler ($\alpha = 0,8$) Außenoberfläche, Varianten mit Dämmplatte A und 3 Putzsystemen, Stundenwerte
Fig. 11. Temperature and relative humidity in critical section of construction at Hamburg, variations with wood fibre board A, 3 renderings and pale or dark surface, 1-hour-intervals

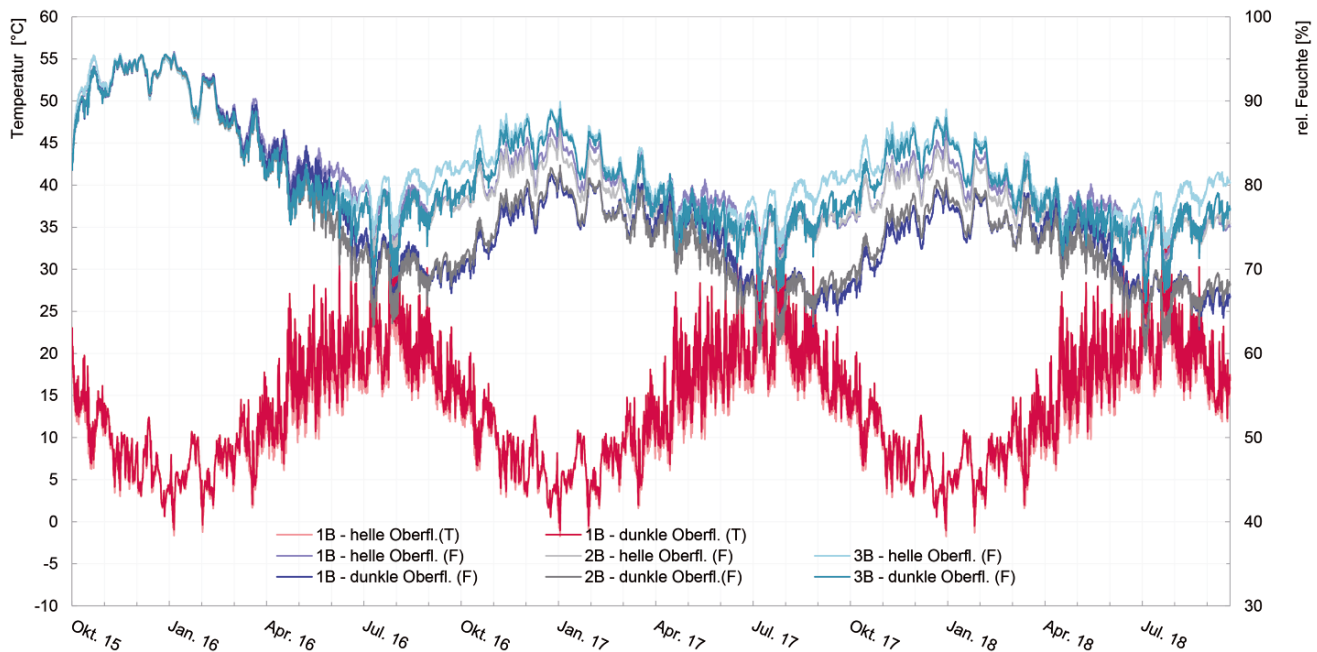


Bild 12. Temperatur und rel. Feuchte in kritischer Ebene am Standort Hamburg, bei heller ($\alpha = 0,3$) und dunkler ($\alpha = 0,8$) Außenoberfläche, Varianten mit Dämmplatte B und 3 Putzsystemen, Stundenwerte
Fig. 12. Temperature and relative humidity in critical section of construction at Hamburg, variations with wood fibre board B, 3 renderings and pale or dark surface, 1-hour-intervals

dem sind die Schwankungen im Jahresverlauf geringer. Ausschlaggebender Grund hierfür ist wieder die höhere Feuchtespeicherfähigkeit von Dämmplatte B.

6 Zusammenfassung

Obwohl die hygrothermischen Simulationen den Nachweis des dauerhaften Witterungsschutzes im hygrothermischen

Wandprüfstand nicht ersetzen können, zeigen die durchgeführten Untersuchungen, dass das hygrothermische Verhalten während der standardisierten Beanspruchungszyklen nach ETAG 004 im Wandprüfstand rechnerisch sehr gut abgebildet werden kann. Darüber hinaus kann mit Hilfe von Variantenuntersuchungen die Konstruktion besser eingeschätzt und die hygrothermischen Speicher- und Transportvorgänge besser verstanden werden.

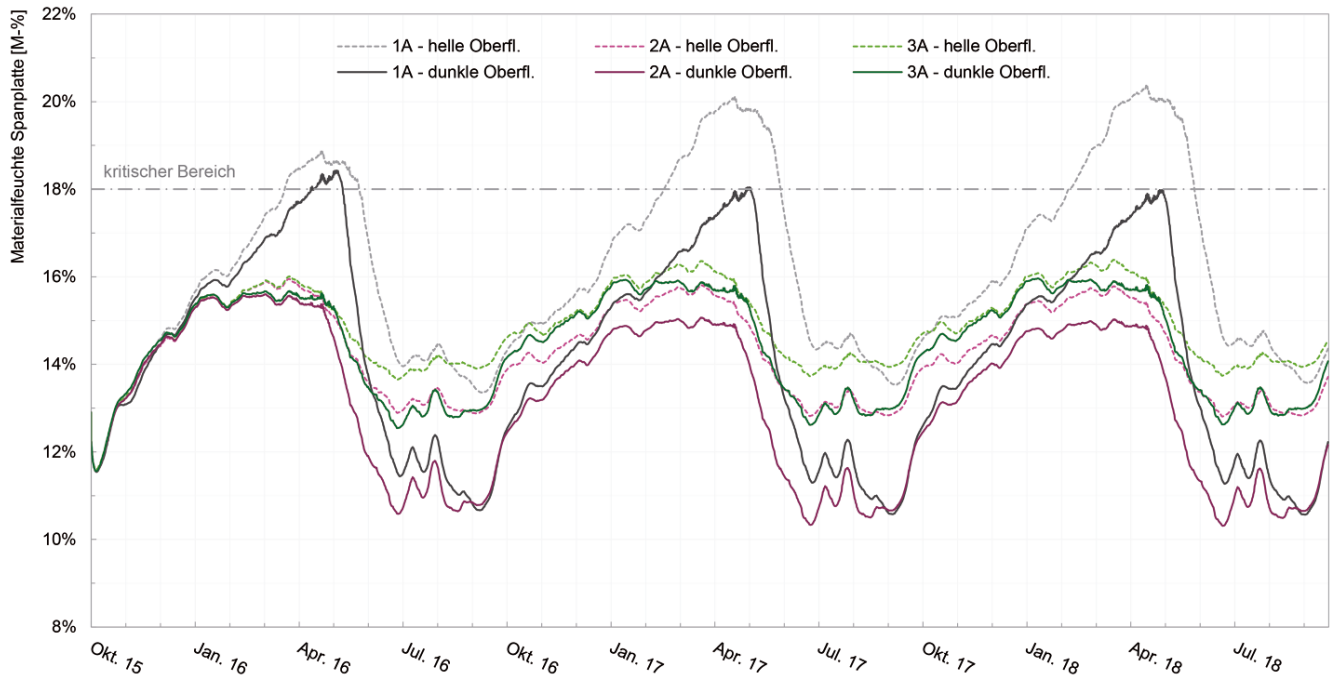


Bild 13. Materialfeuchte der Spanplatte am Standort Hamburg, bei heller ($\alpha = 0,3$) und dunkler ($\alpha = 0,8$) Außenoberfläche, Varianten mit Dämmplatte A und 3 Putzsystemen, 12-Stunden-Werte

Fig. 13. Moisture content of Particleboard at Hamburg, variations with wood fibre board A, 3 renderings and pale or dark surface, 12-hour-intervals

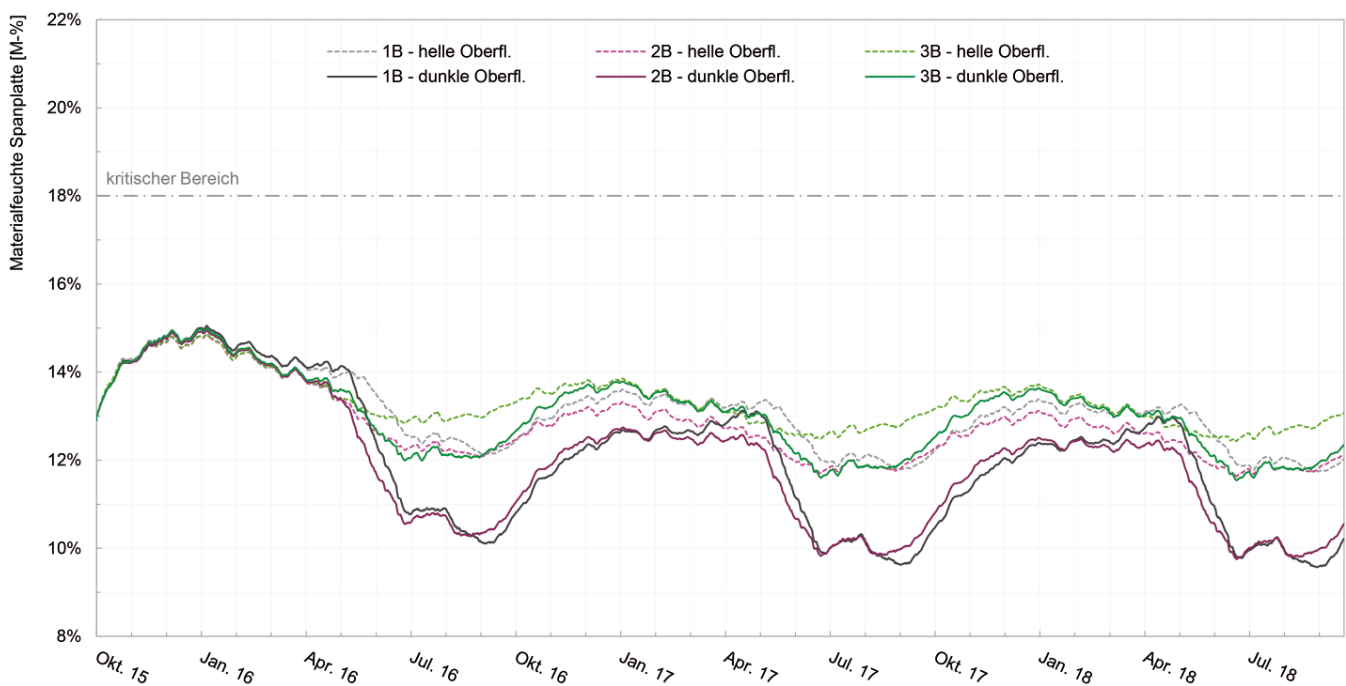


Bild 14. Materialfeuchte der Spanplatte am Standort Hamburg, bei heller ($\alpha = 0,3$) und dunkler ($\alpha = 0,8$) Außenoberfläche, Varianten mit Dämmplatte B und 3 Putzsystemen, 12-Stunden-Werte

Fig. 14. Moisture content of Particleboard at Hamburg, variations with wood fibre board B, 3 renderings and pale or dark surface, 12-hour-intervals

Sowohl die hygrothermische Simulation nach DIN EN 15026 als auch die hygrothermische Beanspruchung im Wandprüfstand nach ETAG 004 haben ergeben, dass die Konstruktion mit Holzfaserdämmplatte A feuchte-technisch kritischer zu bewerten ist als die Konstruktion mit Holzfaserdämmplatte B. Die hygrothermische Bean-

spruchung nach ETAG 004 hat bei der Wandkonstruktion mit Holzfaserdämmplatte A zu einer unzutraglichen Veränderung des Feuchtegehaltes in der Spanplatte geführt – wie die zusätzlichen gravimetrischen Messungen gezeigt haben –, was die Ergebnisse der hygrothermischen Simulationen für den Standort Braunlage bestätigt.

Unter der Voraussetzung einer Validierungsrechnung zwischen Simulation und Prüfung und vor allem unter der Voraussetzung der Bestimmung der hygri- und thermisch relevanten Materialeigenschaften, können abgesicherte und weitergehende Untersuchungen mithilfe von hygrothermischen Simulationen durchgeführt werden. Bei der Komplexität der hygrothermischen Speicher- und Transportvorgänge in einer Wandkonstruktion lassen sich günstigste oder ungünstigste Variante eben nicht leicht vorab mittels einzelner Kennwerte abschätzen. So haben die Untersuchungen ergeben, dass das ungünstigere Putzsystem in vielen Fällen nicht jenes mit dem hohen μ -Wert (Putzsystem 3) ist. Aufgrund der Begrenztheit der messtechnischen Möglichkeiten – Messstellen im Wandprüfstand müssen vorher festgelegt werden – stellen hier die hygrothermischen Simulationen eine gute und wichtige Ergänzung dar.

Ebenso ist die Festlegung des kritischen Bauteils (ebenfalls durch die Positionierung der Messtechnik vorher) durch eine hygrothermische Simulation im Vorfeld besser abzuschätzen. Im vorliegenden Fall wurde der Feuchtegehalt der Spanplatte – das kritische Bauteil, wie sich herausgestellt hat – punktuell gravimetrisch bestimmt.

Weiterhin war sowohl für die Autorinnen als auch für alle anderen Projektbeteiligten der deutliche Unterschied im Feuchteverhalten zwischen den beiden Dämmplatten sowohl während der Prüfung als auch bei der Simulation überraschend. Daher wird empfohlen, zukünftig vor der Entscheidung zur Durchführung eines Nachweises des dauerhaften Witterungsschutzes im Wandprüfstand, einzelne Materialkennwerte der Dämmplatten zu bestimmen und das hygrothermische Verhalten mittels Simulationen abzuschätzen. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Kombination von Prüfungen mit hygrothermischen Simulationen insbesondere durch die Möglichkeit von Variantenuntersuchungen und durch umfassendere Ausgaben entscheidend zur besseren Einschätzung des Wärme- und Feuchteverhaltens von WDVS in Holzbauweise und somit zu abgesicherten Rückschlüssen beitragen kann.

Danksagung

Die Untersuchungen [12] wurden an der MFPA Leipzig im Rahmen des berufsbegleitenden Masterstudiengangs „Bauphysik und energetische Gebäudeoptimierung“ der Bauhaus-Universität Weimar durchgeführt.

Literatur

[1] ETAG 004:2013-02. Guideline for european technical approval of external thermal insulation composite systems (ET-

ICS) with rendering. European Organisation for Technical Assessment – EOTA, Brüssel.

- [2] DIN 68800-2:2012-02 Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.
- [3] DELPHIN 5.8.3 Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Luft-, Feuchte-, Schadstoff- und Salztransport. <http://www.bauklimatik-dresden.de>
- [4] DIN EN 15026:2007-07 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation.
- [5] WTA Merkblatt 6-2-14/D. Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. WTA. <http://www.wta-international.org>
- [6] WTA-Merkblatt E-6-8: 09.2015/D. Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulation. Entwurf
- [7] TRY 2011: Aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEV-Portal/DE/Regelungen/Testreferenzjahre/TRY_node.html
- [8] DIN EN ISO 12571:2013-12 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der hygrokopischen Sorptionseigenschaften.
- [9] DIN EN ISO 12572:2001-09 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit.
- [10] DIN EN ISO 15148:2003-03. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen.
- [11] *Herlyn, J. W.*: Wärmedämmverbundsysteme – Was ist bauphysikalisch zu beachten? 2003. <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-20412.html>
- [12] *Leopold, N.*: Validierung der Beanspruchung von WDVS im Holzrahmenbau durch hygrothermische Zyklen gemäß ETAG 004 mittels hygrothermischer Simulationen, Masterarbeit, Bauhaus-Universität Weimar, 2015.

Autorinnen dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Claudia Fülle
Dipl.-Ing. (BA) Nadine Leopold, M.Sc.

Beide:
MFPA Leipzig
Gesellschaft zur Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen mbH
Geschäftsbereich Bauphysik, Arbeitsgruppe Wärme- und Feuchteschutz
Hans-Weigel-Straße 2 b
04319 Leipzig