

Gregor A. Scheffler

Innendämmung bei Sichtmauerwerk und Holzbalkendecken

Anwendung neuer Bemessungskriterien bei der rechnerischen Nachweisführung

1 Einleitung

Wird ein bestehendes Gebäude von innen gedämmt, verändern sich die Wärme- und Feuchtebedingungen innerhalb der Konstruktion.

Eine wesentliche Veränderung ist der deutliche Temperaturabfall innerhalb der innen liegenden Wandschichten, der die Dampfdiffusion in die Konstruktion hinein begünstigt. Innendämmsysteme müssen deshalb entweder diesen Diffusionsstrom unterbinden oder in der Lage sein, die eindringende Feuchtigkeit abzufangen.

Eine zweite wesentliche, jedoch häufig nicht bedachte Veränderung besteht darin, dass die bestehenden Außenwände nach Aufbringung der Dämmung im Winter deutlich kälter sind als zuvor. Das verändert das Austrocknungsverhalten der Wand nach außen. Gleichzeitig verringert die Innendämmung aufgrund des zusätzlichen Diffusionswiderstandes – der je nach System unterschiedlich hoch sein kann – auch das Trocknungspotenzial nach innen.

Dadurch können Wandkonstruktionen, die vor der Dämmung keine Feuchteprobleme aufgrund von Schlagregen zeigten, trotzdem nach Aufbringung einer Innendämmung regenbedingte Feuchteprobleme bekommen. Um derartige Schäden

sicher auszuschließen, sind hygrothermische Detailanalysen mithilfe entsprechender rechnerischer Verfahren häufig unerlässlich. Neben den konkret am Gebäude anliegenden klimatischen Verhältnissen sind dafür die Materialkennwerte der Bestandskonstruktion von großer Bedeutung.

Anhand des folgenden Beispiels wird ein kritischer Detailaspekt – das Balkenauftrag von Holzbalkendecken – im Kontext der Innendämmung beleuchtet. Dabei werden geeignete Methoden zur Analyse vorgestellt und neue Kriterien zur Bewertung der Ergebnisse angewandt. Auf Grundlage einer klaren Bewertung können Lösungen entwickelt und umgesetzt werden.

2 Vorstellung des Gebäudes

Das betrachtete Gebäude ist ein Ziegelbau aus der Gründerzeit, der Teil eines Krankenhausesensembles ist und zuletzt als Kindertagesstätte genutzt wurde (Abb. 1). Nach den Umbau- und Sanierungsmaßnahmen ist eine Büronutzung vorgesehen.



Abb. 1: Beispielgebäude vor der Sanierung (links) und danach (rechts). Optisch ist nahezu kein Unterschied feststellbar.

Die Sanierung hat zum Ziel, den Gebäudeenergiebedarf und damit die Betriebskosten deutlich zu reduzieren. Dies geschieht u. a. durch Erneuerung der Fußboden- und Deckenaufbauten in Verbindung mit zusätzlicher Wärmedämmung, durch Anbringen einer 16cm starken Innendämmung, durch Erneuerung der Eingangstüren sowie durch Aufdopplung der vorhandenen Fenster zu Kastenfenstern mit U_w -Werten von 0,75 bis 0,78 $W/(m^2K)$. Das erreichte energetische Niveau nach der Sanierung liegt ungefähr beim Neubaustandard gemäß EnEV 2009. Die rechnerische Reduktion des Endenergiebedarfs durch diese Sanierung beträgt rund 75 %.

Zu Beginn der Planungen wurden für den außen liegenden Klinker und den dahinterliegenden Mauerziegel einige wesentliche Materialparameter im Labor untersucht. Die Ergebnisse zeigt Tab. 1.

Zum Vergleich zeigt Abb. 2 die Tabelle 2 aus DIN 4108-3:2001-07, wo für wasserhemmende und wasserabweisende Fassadenbeschichtungen (Putze etc.) entsprechende Grenzwerte des Wasseraufnahmekoeffizienten (hier w in $kg/(m^2\sqrt{h})$) angegeben sind. Es wird deutlich, dass der »Klinker«

Matereialeigenschaft	Einheit	Klinker	Ziegel
Rohdichte	kg/m^3	1650	1450
Wärmeleitfähigkeit	$W/(mK)$	0,47	0,38
Wasseraufnahmekoeffizient A_w	$kg/m^2\sqrt{s}$	0,42	0,60
Wasseraufnahmekoeffizient w	$kg/m^2\sqrt{h}$	25	36

Tab. 1: Ergebnisübersicht der Materialuntersuchungen



Energetisch verbraucht das unsanierte Gebäude (links) dreimal mehr als das sanierte (rechts).

eine mehr als 10-fach höhere kapillare Wasseraufnahme zeigt als für eine wasserhemmende Schicht nötig wäre.

Der Gebäudestandort – der Großraum Berlin – ist nach DIN 4108-3:2001-07 der Schlagregenbeanspruchungsgruppe 1 zugeordnet. Die Norm fordert keinen besonderen Schlagregenschutz für Gebäude, die in Schlagregenbeanspruchungsgruppe 1 liegen. Wände aus Sichtmauerwerk müssen lediglich eine Gesamtdicke von mindestens 31 cm aufweisen. Von daher ist das Gebäude im Bestand normkonform – und die Erfahrung hat gezeigt, dass dies weitgehend richtig war.

Durch die geplante Innendämmung wird das Konstruktionsverhalten jedoch maßgeblich verändert (s.o.). Insbesondere das Austrocknungsverhalten wird von Herbst bis

Frühjahr sowohl nach außen als auch nach innen deutlich verringert.

Das starke Saugvermögen der Klinker wird sich hier voraussichtlich sehr negativ auswirken, sodass vor allem in der kalten Jahreszeit mit deutlich höheren Feuchtegehalten innerhalb der Außenwandkonstruktion zu rechnen sein wird. Dies hat Auswirkungen auf die in der Konstruktion befindlichen Holzbauteile (Fensteranschlüsse, Holzbalkenköpfe) sowie ggf. auch auf die Frostbeständigkeit des Mauerwerks.

Genau rechnerische Nachweise sind deshalb unabdingbar, um den dauerhaften Erhalt der Konstruktion sicherzustellen. Im Fokus der nachfolgend vorgestellten Untersuchungen sollen dabei die Auflager der Holzbalkendecken im Kontext neuerer Bewertungskriterien von kritischen Holzfeuchtegehalten stehen.

3 Untersuchungsmethode

Die Untersuchungen wurden mithilfe der Software Delphin für gekoppelten Wärme-, Feuchte, Luft- und Salztransport nach [17] durchgeführt. Das Programm erlaubt es, das Wärme- und Feuchteverhalten von ein- und zwei-

dimensionalen Konstruktionsdetails unter stationären und instationären klimatischen Bedingungen zu berechnen. Es werden sowohl Wärme- und Feuchtetransport als auch Wärme- und Feuchtespeicherung berücksichtigt.

Die Untersuchungen erfolgten gemäß den WTA Merkblättern 6-1 und E-6-2. Berücksichtigt wurden ferner DIN 4108-3 und DIN EN 15026. Für die Auswertung der Berechnungsergebnisse wurden die WTA Merkblätter 6-3, 6-4 und 6-5 sowie die Kriterien gemäß DIN 4108-2 angewendet.

3.1 Konstruktion und Konstruktionsvarianten

Als Konstruktionsdetails wurden die Balkenaullager der Holzbalkendecken im Bereich der West- und der Ostfassade untersucht. Die Modellierung erfolgte auf Grundlage der sehr detaillierten Bestandsaufnahme des Architekten [1]. Abb. 3 zeigt das entsprechende Detail für die West- und Südwand (links) sowie die Ostwand (rechts). Es wurde – wie dargestellt – die Sanierungsvariante mit 16 cm Innendämmung analysiert.

Bei der Modellierung wurde das Mauerwerk im Verband mit Einzelsteinen abgebildet. Die am Übergang zwischen den Schichtgrenzen auftretende Reduktion des Flüssigtransportes wurde über entsprechende Widerstände bei den Berechnungen berücksichtigt ([10], [11], [12], [15]).

3.2 Materialdaten

Die Materialdaten wurden aus der Materialdatenbank des Simulationsprogrammes ausgewählt. Eine Übersicht der für die Berechnung verwendeten Materialien einschließlich der Basisparameter ist in Tab. 2 angegeben.

Die für die Klinker- und Ziegelmauersteine anzusetzenden Material-

Tabelle 2 — Kriterien für den Regenschutz von Putzen und Beschichtungen

Kriterien für den Regenschutz	Wasseraufnahmekoeffizient w $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d m	Produkt $w \cdot s_d$ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$
wasserhemmend	$0,5 < w < 2,0$	a	a
wasserabweisend	$w \leq 0,5$	$\leq 2,0$	$\leq 2,0$

^a Keine Festlegung bei wasserhemmenden Putzen bzw. Beschichtungen; siehe hierzu auch DIN 18550-1 sowie den Hinweis auf die Sicherstellung von Verdunstungsmöglichkeiten in 5.1

Berichtigungen zu DIN 4108-3:2001-07	April 2002 Berichtigung 1 zu DIN 4108-3
--------------------------------------	--

5.3 Putze und Beschichtungen
Tabelle 2, Spalte „Produkt“, Zeile „wasserabweisend“: „2,0“ ist durch „0,2“ zu ersetzen.

Abb. 2: Tabelle 2 aus DIN 4108-3:2001-07 mit Berichtigung 1 vom April 2002

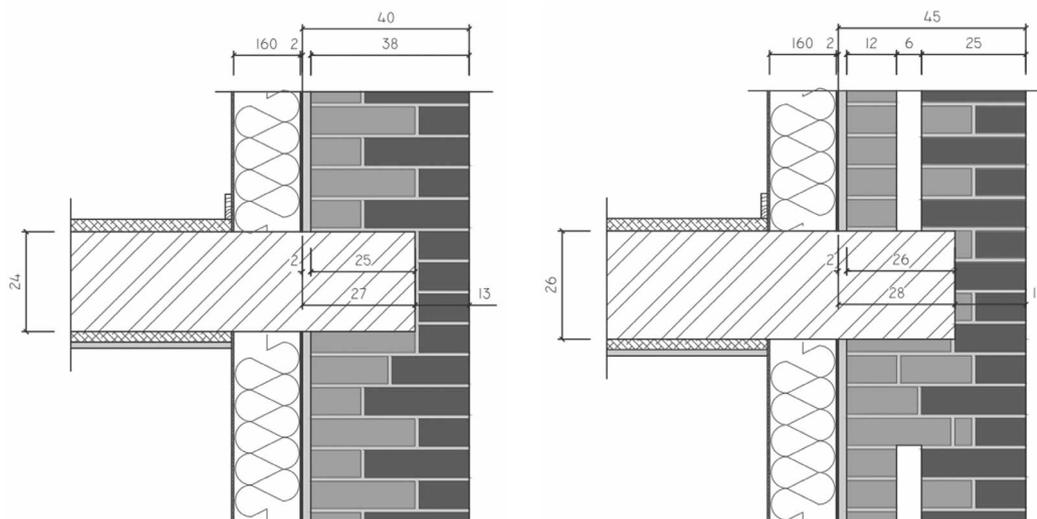


Abb. 3: Detail des Balkenauf-
lagers in der West- und der Süd-
wand (links) und der Ostwand
(rechts) nach [1]

funktionen wurden gemäß [18] und [19] anhand der gemessenen Parameter angepasst. Grundlage bildeten die vollständigen Datensätze vergleichbarer Ziegel und Klinker aus der Programmdatei. Auf diese Weise konnten in sich plausible Datensätze erstellt werden, womit die vorhandenen Materialien sehr realitätsnah abbildbar sind.

An der Schichtgrenze zwischen Ziegel und Mörtel bzw. Klinker und Mörtel wurde jeweils ein Kontaktwiderstand für den Flüssigtransport von $2,5 \cdot 10^{10} \text{ m/s}$ angesetzt [11].

3.3 Klimatische Randbedingungen

Die Baukonstruktion wird thermischen und hygri-schen Randbedingungen so-

wohl von innen als auch von außen ausgesetzt. Von innen wirken Temperatur und Raumluftfeuchte, von außen kommen zu Temperatur und Luftfeuchte noch direkte und diffuse Strahlung sowie Wind und Regen hinzu.

Für den Innenraum wurde eine Raumlufttemperatur von 20 °C und eine relative Raumluftfeuchte von 50 % gemäß Standard-Innenklima nach DIN 4108-3 als konstante Randbedingung angesetzt.

Als Außenklima wurde für die Berechnungen das lokal anliegende Klima (Testreferenzjahr Potsdam) mit stündlichen Werten für Temperatur, Strahlung, Wind, Regen

und relative Luftfeuchte berücksichtigt. Eine Übersicht der angesetzten Klimarandbedingungen gibt Tab. 3.

Rechenbeginn für die Simulationsberechnungen ist jeweils der 1. Juni, weil dies der geplante Fertigstellungstermin war.

3.4 Bewertungskriterien

Für die Bewertung der Ergebnisse werden die rechnerischen Verläufe des Wassergehaltes, der relativen Luftfeuchte und der Temperatur innerhalb der Konstruktionen herangezogen.

Tab. 3: Klimatische Randbedingungen

Randbedingung	Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Dauer [a]
innen, stationär	20	50	≥ 7
außen, instationär	Klimadatenatz für Potsdam (Testreferenzjahr) mit stündlichen Werten für Temperatur, relative Luftfeuchte, direkte und diffuse Strahlung, Wind und Regen		

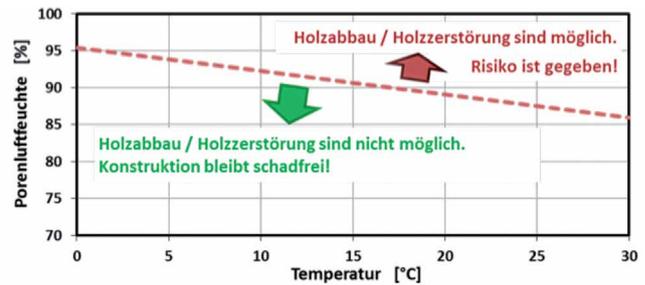
Tab. 2: Übersicht der verwendeten Materialien

Material	Rohdichte [kg/m³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Dampfdiffusionswiderstand [---]	Wasseraufnahmekoeffizient [kg/(m²√s)]	Ausgleichsfeuchtegehalt [m³/m³]
Klinker	1650	0,46	20	0,42	0,005
Ziegel	1450	0,38	7	0,6	0,003
Kalkzementmörtel	1600	0,7	11	0,176	0,025
Kalkputz (Bestand)	1800	0,82	12	0,127	0,011
mineralische Innendämmung	100	0,045	6	1,5	0,004
Klebspachtel für Innendämmung	1350	0,5	19	0,005	0,073
Luftschicht (25mm)	1,3	0,138	0,5	–	–
Luftschicht (50mm)	1,3	0,278	0,2	–	–
Holzbalken (parallel)	550	0,2	5	0,043	0,068
Holzdielung (radial)	650	0,13	230	0,058	0,068

Für eine positive Bewertung muss einerseits sichergestellt werden, dass es nicht zu einer permanenten hygri-schen Aufladung der Konstruktion kommt. Das bedeutet, es muss sich binnen einiger Jahre innerhalb der Konstruktion ein eingeschwungener (d. h. jedes Jahr wiederkehrender) Zustand bezüglich des Feuchtegehaltes einstellen.

Andererseits dürfen die sich einstellenden Feuchtezustände nicht zu einer Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit und der Dauerhaftigkeit der Konstruktion führen. Insbesondere

Abb. 4: Kriterium zur Auswertung von Temperatur und relativer Luftfeuchte bezüglich des Risikos der Holzzerstörung nach WTA bzw. [13] und [14]. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die Grenzwertkurve, unterhalb derer eine Holzzerstörung sicher ausgeschlossen ist.



darf es nicht zu einer Gefährdung der Holzbauteile kommen.

Holz selbst kann Feuchte gut aufnehmen und abpuffern. Eine kritische Belastung ergibt sich daraus, dass bei erhöhter Holzfeuchte eine biologische Zersetzung durch Pilze und andere Organismen einsetzen kann.

Bedingungen, unter denen es auf Materialoberflächen zu Schimmelpilzbildung kommen kann, beginnen bei etwa 80 % relativer Luftfeuchte. Niedrigere Temperaturen benötigen höhere Luftfeuchten und umgekehrt [20]. Unterhalb von 80 % relativer Luftfeuchte wird für bauliche Oberflächen Schimmelwachstum praktisch ausgeschlossen.

Die Zersetzungsmechanismen für Holz erfordern höhere Luftfeuchten bzw. Feuchtegehalte. Als Grenzwert, unterhalb dessen jegliche Gefährdung ausgeschlossen werden kann, gilt allgemein eine Holzfeuchte von 18 bis 20 M.-%. Diese Grenze ist jedoch ebenfalls temperaturabhängig, bei niedrigen Temperaturen sind höhere Feuchtegehalte zulässig. Als zweiter Grenzwert, der praktisch nie erreicht werden sollte, gilt der Fasersättigungspunkt, der für die infrage kommenden Holzarten bei einem Holzfeuchtegehalt von 24 bis 30 M.-% angesetzt werden kann (siehe auch [7], [9] und [16]).

In den vergangenen Jahren wurden genauere Erkenntnisse zur Abhängigkeit der Holzzerstörung von der Temperatur, der Feuchte und der Zeit veröffentlicht, die eine genauere Risikobewertung erlauben [21]. Auf Grundlage dieser Zusammenhänge kann in Abhängigkeit der Temperatur und der relativen Luftfeuchte bzw. der Holzfeuchte eine Grenzwertlinie abgeleitet werden, unterhalb der eine Holzzerstörung ausgeschlossen ist.

Das entsprechende Kriterium nach [13] und [14], das aktuell auch im Rahmen der Erarbeitung eines WTA Merkblattes zur Bewertung hygrothermischer Daten von Holzbauteilen Anwendung findet¹, wurde als Grundlage der Auswertung der Berechnungsergebnisse herangezogen (siehe Abb. 4). Vorteil dieser Betrachtung ist, dass sie die Abhängigkeiten sehr viel genauer abbildet als der Pauschalgrenzwert von 20 M.-% Holzfeuchte, und trotzdem stets auf der sicheren Seite liegt.

¹ Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): WTA Merkblatt 6-8 HYGROTHERMISCHE BERECHNUNG VON HOLZBAUTEILEN. Arbeitsstand innerhalb der WTA Arbeitsgruppe 6-1 zur Erarbeitung des Merkblattes

4 Ergebnisse

Für die Darstellung der Ergebnisse wurden Liniengrafiken einzelner Zustandsgrößen (Wassergehalt, relative Luftfeuchte) an verschiedenen Stellen innerhalb der Konstruktion über der Zeit gewählt, da eine räumliche Verteilung dieser Größen über der Konstruktion leider jeweils nur zu einem Zeitpunkt möglich ist. Die jeweils gewählten Ausgabepunkte sind in den dafür gewählten Linienfarben in Abb. 5 angegeben.

4.1 Westwand

An einem Holzbalken der Decke über 1. OG in der Westwand wurde eine Schädigung festgestellt (siehe Abb. 6.) Zudem deutet der Umstand, dass in der Vergangenheit bereits die meisten Holzbalken durch andere Deckenkonstruktionen ersetzt wur-

Abb. 5: Erläuterung zu den Ausgabepunkten innerhalb der Liniengrafiken zu den Detailberechnungen der Holzbalkenköpfe (dargestellt am Berechnungsmodell für das Balkenaufleger in der Ostwand)

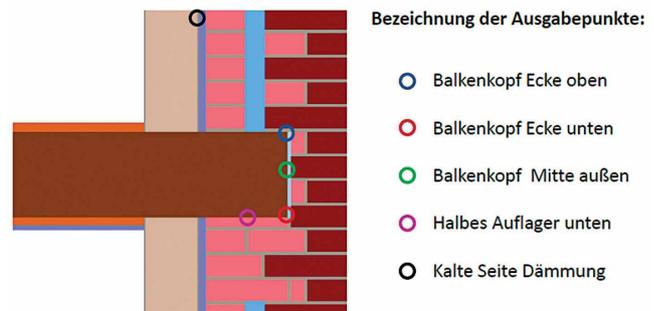


Abb. 6: Freigelegter Holzbalkenkopf in der Westwand; Schädigung im äußeren Bereich des Holzbalkens (Fotos: Architekt Matthias Thürigen)

den darauf hin, dass hier bereits früher Schäden aufgetreten sind.

Im ersten Schritt wurde deshalb die Bestandskonstruktion ohne Innendämmung berechnet. Ziel dieser Referenzrechnung war, in Abhängigkeit von den inneren und äußeren Randbedingungen rechnerisch nachzuvollziehen, ob bereits ohne Innendämmung für die Konstruktion ein gewisses Feuchterisiko besteht. Dies gibt Aufschluss über die Genauigkeit der rechnerischen Abbildung und die Richtigkeit der im Rahmen der Modellierung getroffenen Annahmen. Im zweiten Schritt wurde die Konstruktion mit der Innendämmung analysiert.

4.1.1 Bestandskonstruktion

Das Holzbalkenkopfdetail der Westwand wurde zunächst im Bestand ohne Innendämmung berechnet. Es wurden die in Tab. 3 angegebenen Randbedingungen angesetzt.

Abb. 7 zeigt den Verlauf der relativen Luftfeuchte an den in Abb. 5 gekennzeichneten Stellen innerhalb der Bestandskonstruktion ohne Innendämmung. Ab dem zweiten Jahr ist eine kontinuierliche Abnahme der Feuchte innerhalb der Konstruktion erkennbar. Die Maximalwerte der relativen Luftfeuchte im Bereich des Balkenkopfes liegen bei 87 bis 88 %. Die erhöhten Feuchtegehalte im Winter und Frühjahr können jeweils im Sommer und Herbst wieder austrocknen.

Die Auswertung der Verläufe von Temperatur und relativer Porenluftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkenkopfes bezüglich des Risikos der Holzzerstörung nach [13] und [14] ist in Abb. 8 dargestellt. Es wird deutlich, dass keine für das Holz kritischen Feuchtezustände erreicht werden. Die Konstruktion ist unter den angesetzten Bedingungen im Bestand funktionstüchtig.

Da das Gebäude in letzter Zeit ungenutzt leer stand, wurde in einem weiteren Schritt die Bestandskonstruktion mit einem als unbeheizt angesetzten Innenklima berechnet. Dazu wurde die Innentemperatur im Jahresgang zwischen 4 und 20 °C und die relative Raumluftfeuchte zwischen 60 und 80 % schwankend angesetzt. Die entsprechenden Ergebnisse zeigen Abb. 9 und 10.

Anhand der Verläufe der relativen Luftfeuchte innerhalb der Konstruktion (Abb. 9) ist eine Auffeuchtung innerhalb der ersten drei bis vier Jahre erkennbar. Nach ca. vier Jahren wird ein eingeschwungener Zustand erreicht, der in den darauffolgenden Jahren immer wieder abgebildet wird. Die maximalen Porenluftfeuchten im Bereich des Balkenkopfes erreichen Werte von knapp über 90 %.

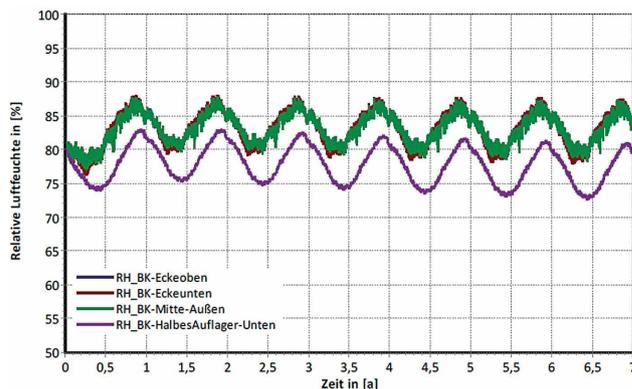


Abb. 7: Balkenaullager West Bestand: relative Luftfeuchte an verschiedenen Stellen innerhalb der Konstruktion – Bestandskonstruktion ohne Innendämmung; zur Erläuterung der Ausgabepunkte in der Konstruktion siehe Abb. 5

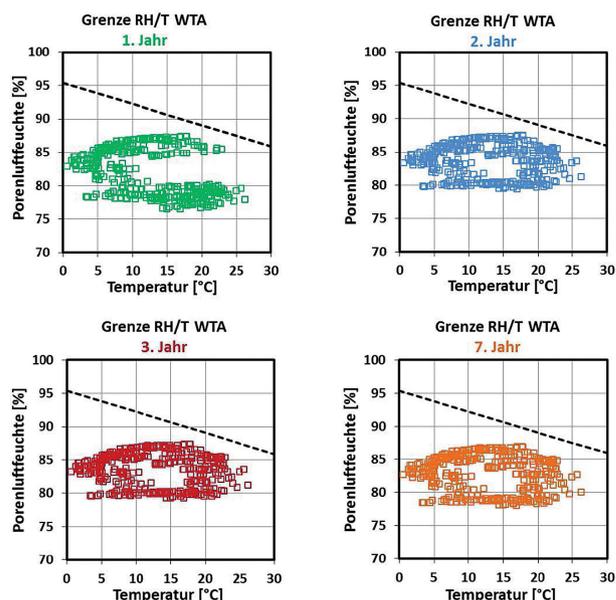


Abb. 8: Balkenaullager West Bestand: Auswertung von Temperatur und relativer Luftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkens bezüglich des Risikos der Holzzerstörung für das erste, zweite, dritte und siebte Jahr

Im Sommer und Herbst trocknen sie jeweils auf Werte um 84 % herunter.

Die Auswertung der Verläufe von Temperatur und relativer Porenluftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkenkopfes bezüglich des Risikos der Holzzerstörung nach [13] und [14] zeigt Abb. 10. Die Grenze zum kritischen Bereich wird bereits im zweiten Jahr erreicht, im dritten und den darauffolgenden Jahren wird sie überschritten.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Innenklima, insbesondere die niedrigen Temperaturen und damit die Reduktion des Trocknungspotenzials der Wand nach außen bereits im Bestand ohne Innendämmung zu für den Holzbalken kritischen Bedingungen führen kann.

Tatsächlich sind in der Westwand nur noch in Teilbereichen Holzbalken vorhanden. Im Bereich der Sanitärräume und des Flures wurden diese bereits früher durch Stahlsteindecken ersetzt. Wann und aus welchem Grund dies geschah, ließ sich leider nicht mehr in Erfahrung bringen. An einem freigelegten Balkenkopf (Abb. 6) konnten aller-

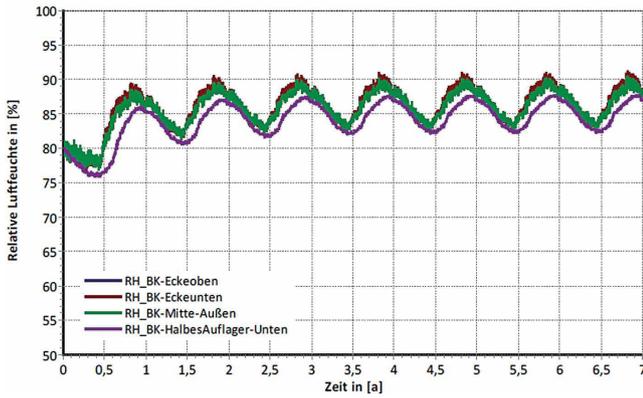


Abb. 9: Balkenaufleger West Bestand: relative Luftfeuchte an verschiedenen Stellen innerhalb der Konstruktion – Bestandskonstruktion ohne Innendämmung mit unbeheiztem Innenklima; zur Erläuterung der Ausgabepunkte in der Konstruktion siehe Abb. 5

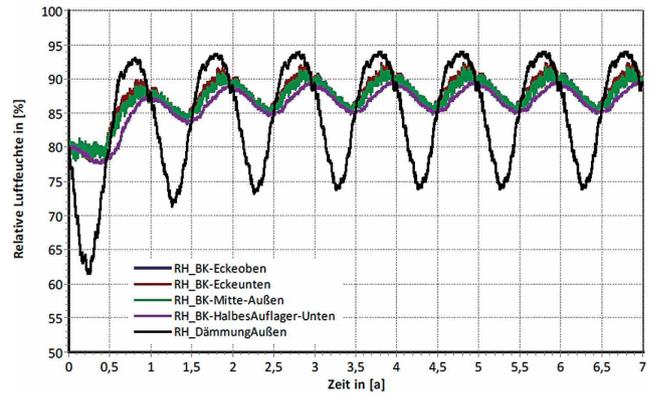


Abb. 11: Balkenaufleger West mit 16 cm Innendämmung: relative Luftfeuchte an verschiedenen Stellen innerhalb der Konstruktion; zur Erläuterung der Ausgabepunkte in der Konstruktion siehe Abb. 5

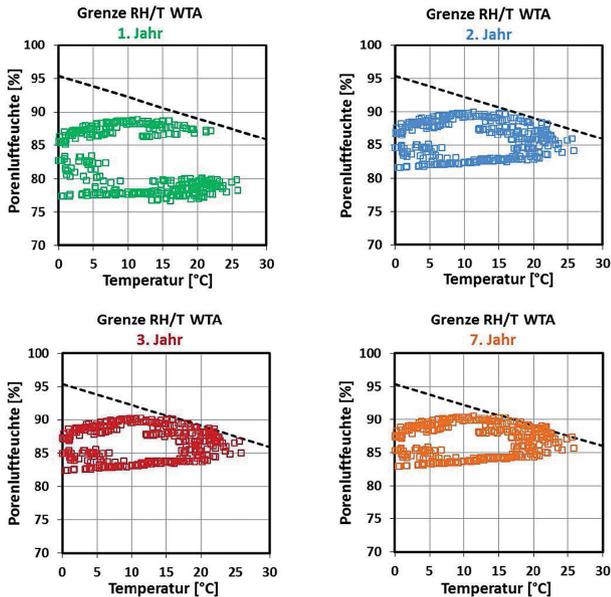


Abb. 10: Balkenaufleger West Bestand: Auswertung von Temperatur und relativer Luftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkens bezüglich des Risikos der Holzzerstörung für das erste, zweite, dritte und siebte Jahr der Variante mit unbeheiztem Innenklima

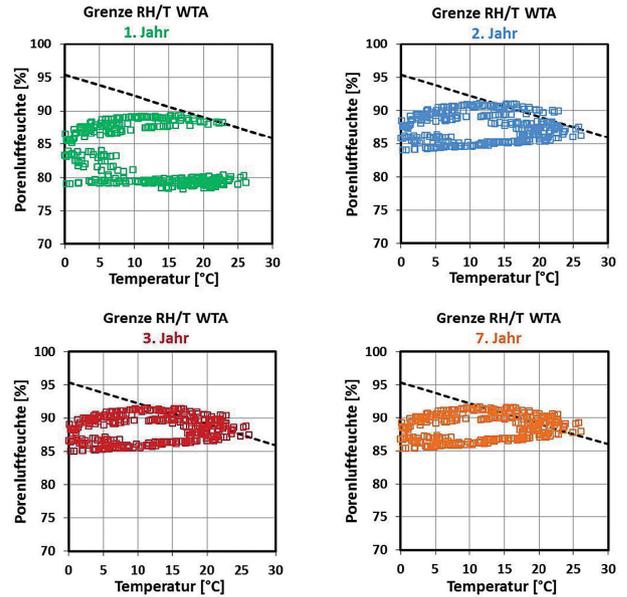


Abb. 12: Balkenaufleger West mit 16 cm Innendämmung: Auswertung von Temperatur und relativer Luftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkens bezüglich des Risikos der Holzzerstörung für das erste, zweite, dritte und siebte Jahr

dings auch im Bestand Feuchteschäden festgestellt werden. Die auf Grundlage der Modellierung erzielten Ergebnisse lassen sich mit den Erfahrungen und Beobachtungen am realen Gebäude gut in Einklang bringen.

4.1.2 16 cm Innendämmung

Das Holzbalkenkopfdetail der Westwand wurde im nächsten Schritt mit einer 16 cm dicken, kapillaraktiven Innendämmung berechnet. Es wurden die in Tab. 3 angegebenen Randbedingungen angesetzt.

Abb. 11 zeigt die Verläufe der relativen Luftfeuchte an den in Abb. 5 gekennzeichneten Positionen innerhalb der Konstruktion. Deutlich erkennbar ist der Anstieg der relativen Luftfeuchte auf Werte von rund 94 % an der kalten Seite der Dämmung jeweils im Winter und das Austrocknen im Sommer. Diese Werte sind Teil des Wirkprinzips diffusions-offener, kapillaraktiver Innendämmsysteme und unkritisch.

Im Bereich des Holzbalkenkopfes ist ein Anstieg der relativen Luftfeuchte während der ersten drei bis vier Jahre

erkennbar, bis sich ein eingeschwungener Zustand einstellt. Die jeweils erreichten Maximalwerte liegen bei ca. 92 bis 93 % an der unteren Ecke des Holzbalkenkopfes. An seiner oberen Ecke liegen die Werte nur unwesentlich darunter. Diese Werte deuten bereits darauf hin, dass die Innendämmung das Trocknungspotenzial der Wand soweit reduziert, dass für das Holz kritische Werte erreicht werden.

Die Auswertung der Verläufe von Temperatur und relativer Porenluftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkenkopfes bezüglich des Risikos der Holzzerstörung nach [13] und [14] ist in Abb. 12 dargestellt.

Diese Auswertung zeigt, dass bereits im ersten Jahr kritische Werte erreicht werden. In den folgenden Jahren wird die Grenzkurve deutlich überschritten. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen der unbeheizten Bestandskonstruktion (Abb. 10) macht deutlich, dass durch das Aufbringen der Innendämmung die Holzbalkenköpfe in der Westfassade stark gefährdet sind. Ohne weitere Maßnahmen darf diese Konstruktion nicht ausgeführt werden.



Abb. 13: Freigelegter Holzbalkenkopf in der Ostwand – unbeschädigt
(Foto: Architekt Matthias Thürigen)

Die ursprüngliche Vermutung, dass in den Zeiten, wo die relative Luftfeuchte maximal wird, gleichzeitig die Temperaturen so niedrig sind, dass das Risiko der Holzzerstörung niedriger ist als bei reiner Betrachtung der relativen Luftfeuchte oder der Holzfeuchte, findet sich hier nur bedingt bestätigt. Die Punktwolken in den Diagrammen von Abb. 12, die Tagesmittelwerte der berechneten Temperatur- und Luftfeuchteverläufe repräsentieren, weisen auch bei hohen Temperaturen noch verhältnismäßig hohe Luftfeuchten aus. Der Grund dafür liegt einerseits in der großen Feuchtemenge, die in die Konstruktion eindringen und entsprechend nur langsam wieder austrocknen kann. Andererseits führen die starken Regenereignisse vor allem im Frühjahr zu hohen Porenluftfeuchten bei bereits ansteigenden Außentemperaturen. In der Folge kann eine wirksame Trocknung erst im Sommer einsetzen, was zu hohen relativen Luftfeuchten im Bereich des Holzbalkenkopfes führt, während die Temperaturen bereits hohe (sommerliche) Werte erreicht haben.

4.1.3 Fazit Westwand

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst bei Anwendung eines diffusionsoffenen, kapillaraktiven Innendämmsystems die aufgrund der Schlagregenbelastung eingetragene, große Feuchtemenge nicht in ausreichendem Maße austrocknen kann. Die Feuchtegehalte nehmen in der Folge innerhalb der Konstruktion über mehrere Jahre hinweg zu und pegeln sich auf einem für die Holzbauteile kritischen Niveau ein.

Sollte eine Innendämmung ausgeführt werden, ist mit einer weiteren und vermutlich stark beschleunigten Schädigung der Holzbauteile zu rechnen. Diese Aussage ist unabhängig vom vorgesehenen Dämmsystem, da der betrachtete Dämmstoff sehr diffusionsoffen ist und damit bereits für die Innendämmung bestmögliche Trocknungsbedingungen repräsentiert. Auch die Dämmstärke ist hier für das Feuchteverhalten von untergeordneter Bedeutung, da eine spürbare energetische Verbesserung erreicht werden soll, eine deutliche Veränderung der hygrothermischen Auswirkungen jedoch vor allem innerhalb der ersten 3 bis 5 cm Dämmstärke stattfindet. Eine Freigabe für die Ausführung einer Innendämmung kann für die Westwand deshalb nicht ohne weitere Maßnahmen erteilt werden.

4.2 Ostwand

Die meisten in einer Außenwand aufgelagerten Holzbalkenköpfe befinden sich in der Ostwand. Die Decken über EG, 1. OG und 2. OG sind hier nach wie vor intakte Holzbalkendecken. Eine Besonderheit der Ostwand ist die

etwas größere Wandstärke und der Luftspalt, der sich teilweise zwischen einer inneren und einer äußeren Mauerwerksschale befindet (siehe Abb. 3, rechts).

Aus bauphysikalischer Sicht ist die Ostwand weniger problematisch, weil sie im Vergleich zur Westwand einer deutlich geringeren Schlagregenbelastung ausgesetzt ist. Bei der Freilegung eines Holzbalkens wurde keinerlei Beeinträchtigung festgestellt, siehe Abb. 13, die Holzbalken sind voll intakt. Dennoch wurden auch hier die Varianten ohne und mit Innendämmung untersucht.

4.2.1 Bestandskonstruktion

Auf die Darstellung der Ergebnisse wurde verzichtet, sie werden lediglich kurz verbal zusammengefasst.

Die Bestandskonstruktion auf der Ostwand funktioniert problemlos. Die relative Luftfeuchte weist an allen betrachteten Positionen eine über die Jahre hinweg abnehmende Tendenz auf. Es kommt weder zu einer kontinuierlichen Aufweitung der Konstruktion noch werden kritische Feuchtwerte erreicht.

Ähnlich der Westwand wurde anschließend dasselbe Detail mit dem als unbeheizt bezeichneten Innenraumklima berechnet, um die Sensitivität der Konstruktion für derartige Zustände/Randbedingungen zu veranschaulichen. Auch hier ist eine geringfügig abnehmende Tendenz der relativen Luftfeuchte über die Jahre hinweg erkennbar, sie ist jedoch sehr viel weniger ausgeprägt als bei der beheizten Konstruktion. Im Bereich des Holzbalkenkopfes schwankt die relative Luftfeuchte im eingeschwungenen Zustand zwischen rund 77 und knapp 85 %. Diese Werte sind unbedenklich. Die Bestandskonstruktion der Ostwand ist nicht sensibel bezüglich ungünstiger Innenklimabedingungen.

4.2.2 16 cm Innendämmung

Das Holzbalkenkopfdetail der Ostwand wurde im nächsten Schritt mit der 16 cm dicken Innendämmung berechnet. Es wurden die Standardrandbedingungen nach Tab. 3 angesetzt. Abb. 14 zeigt die Ergebnisse in Form der Verläufe der relativen Luftfeuchte an verschiedenen Stellen innerhalb der Konstruktion über sieben Jahre hinweg.

Zunächst ist wieder der Anstieg der relativen Luftfeuchte an der Außenseite der Dämmung auf Werte von rund 90 % im Winter zu erkennen. Im Sommer trocknet die gespeicherte Feuchtigkeit jeweils wieder aus, die relative Luftfeuchte geht auf Werte zwischen 65 und 70 % zurück. Die Innendämmung funktioniert wie beabsichtigt, die Werte sind normal und völlig unbedenklich.

Im Bereich des Holzbalkenkopfes nimmt die relative Luftfeuchte während der ersten zwei bis drei Jahre nach Rechnungsbeginn zu. Anschließend ist der eingeschwungene Zustand erreicht, die Werte pendeln im Jahresgang zwischen rund 80 und 86 %.

Die Auswertung bezüglich des Risikos der Holzzerstörung (Abb. 15) bestätigt, dass diese Werte auch in Kombination mit den erreichten Temperaturen unkritisch sind. Eine Beeinträchtigung der Holzbalken ist an der Ostfassade nicht zu befürchten, die geplante Innendämmung ist auf der Ostseite unkritisch.

4.2.3 Fazit Ostwand

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schlagregenbelastung der Ostwand deutlich geringer ist als auf der Westfassade. Diese geringere Schlagregenbelastung bewirkt, dass die Mauerwerkskonstruktion insgesamt sehr viel weniger Feuchtigkeit aufnimmt und in der Folge auch sehr viel schneller wieder austrocknen kann. Dies kommt der Sensitivität bezüglich veränderter Trocknungsbedingungen zugute, wie einerseits anhand der Berechnung der Bestandskonstruktion mit unterschiedlichem Innenklima und andererseits anhand der Ergebnisse mit Innendämmung gezeigt wurde. In der Folge kann festgehalten werden, dass die Holzbalkenköpfe in der Ostwand auch bei Ausführung der geplanten 16 cm Dämmstärke nicht gefährdet sind.

5 Zusammenfassung

Anhand eines Sanierungsvorhabens wurde ein typisches Detailproblem der Innendämmung – das Balkenaufleger von Holzbalkendecken in Sichtmauerwerkswänden – vorgestellt. Auf Grundlage einer detaillierten Bestandsaufnahme konnten die Detailanschlüsse geplant und analysiert werden. Die Bestimmung der hygrothermischen Basisparameter der Fassadenziegel im Vorfeld der Untersuchungen hat überhaupt erst ermöglicht, die Brisanz der Details zu erkennen und geeignete Lösungen zu entwickeln. Sie ist deshalb für alle Konstruktionen mit Sichtmauerwerk oder anderen schlagregensensitiven Oberflächen dringend anzuraten.

Mithilfe der numerischen Simulation des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports wurden darauf aufbauend die Holzbalkenkopfdetails in den Außenwänden untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Innendämmung selbst grundsätzlich gut funktioniert. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch sehr anschaulich, wie sich die Wärme-

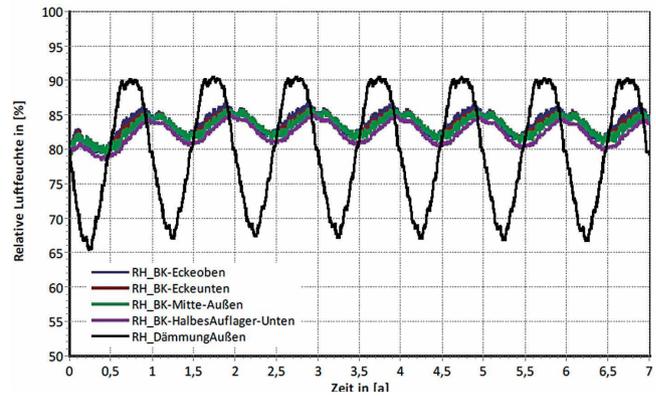


Abb. 14: Balkenaufleger Ost mit 16 cm Innendämmung: relative Luftfeuchte an verschiedenen Stellen innerhalb der Konstruktion; zur Erläuterung der Ausgabepunkte in der Konstruktion siehe Abb. 5

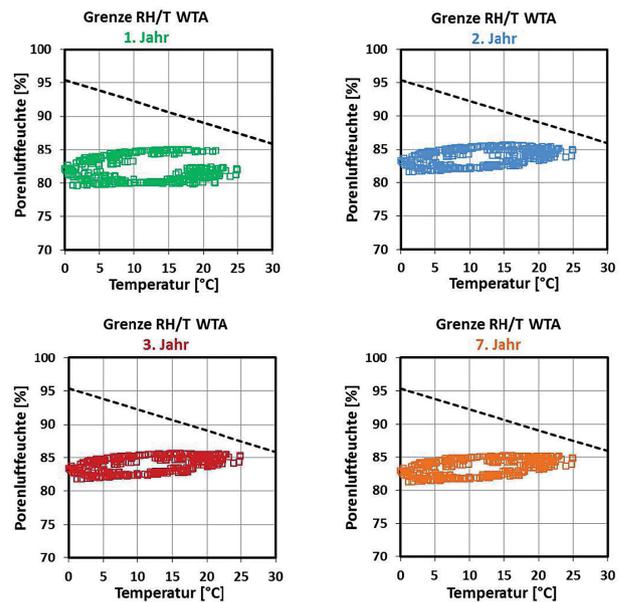


Abb. 15: Balkenaufleger Ost mit 16 cm Innendämmung: Auswertung von Temperatur und relativer Luftfeuchte an der unteren Ecke des Holzbalkens bezüglich des Risikos der Holzzerstörung für das erste, zweite, dritte und siebte Jahr

und Feuchtebedingungen infolge der Innendämmung innerhalb der Konstruktion verändern.

Auf der Westseite ist diese Veränderung so gravierend, dass es zu einer Feuchtebelastung der Holzbauteile kommt. Anhand von Referenzrechnungen ohne Innendämmung konnte zudem gezeigt werden, dass bereits durch ungünstige Innenraumbedingungen (unbeheizt) das Risiko einer Schädigung der Holzbalken steigt, was im Einklang mit der vorgefundenen Bestandssituation steht (Holzbalkendecken nur noch in Teilbereichen, Feuchteschäden an einzelnen Balkenauflagern).

Für die Westseite kann die Innendämmung nur dann ausgeführt werden, wenn weitere Maßnahmen zum Schutz der Holzbauteile veranlasst werden. Als Lösungsmöglichkeiten wurden das Entfernen der Balkenaufleger aus der Ziegelwand bei Abfangung der Holzbalken vor der Dämmebene, sowie die Herstellung eines ausreichenden Schlagregenschutzes der Fassade durch eine hydrophobierende Imprägnierung in Betracht gezogen.

Auf der Ostseite ist die Schlagregenbelastung deutlich geringer als auf der Westseite. Deshalb sind die Holzbalkenköpfe auf der Ostseite bei Ausführung der geplanten 16 cm Dämmstärke nicht gefährdet.

Aufgrund einer durchgängig erhöhten Feuchtebelastung auch im Bereich der Fensteranschlüsse (hier nicht vorgestellt) wurde schließlich eine adaptive hydrophobe Imprägnierung der Fassade ausgeführt.

Dank der genaueren Kriterien zur Bewertung der ermittelten Feuchtezustände an den Holzbauteilen konnte das Risiko einer Beeinträchtigung durch die Innendämmung klar veranschaulicht werden, das so mit einem pauschalen Grenzwert (z. B. 20 M.-%) nicht hätte erfasst werden können. Denn tatsächlich tragen nicht nur die kurzzeitigen Maximalwerte der Porenluftfeuchte, sondern vor allem die niedrigeren Feuchtegehalte bei höheren Temperaturen im Frühjahr und Frühsommer zu dem deutlichen Schädigungsrisiko bei.

Danksagung

Für die sehr konstruktive Zusammenarbeit, das bauphysikalische Interesse und die große Sorgfalt und Detailliebe bei der Bestandsaufnahme, der Planung und schließlich auch der Bauausführung möchte ich mich beim Architekten Herrn Matthias Thürigen herzlich bedanken.

Für die Erarbeitung der Auswertungskriterien zur Holzfeuchte und den intensiven Fachaustausch rund um dieses Thema danke ich zudem Daniel Kehl sehr herzlich.

Verwendete Normen und Quellen

[1] Thürigen Wiedemann Architekten in Potsdam: Bestandsaufnahme mit Detailzeichnungen der Wand-Deckenanschlüsse/Balkenaufleger von Herrn Thürigen

Normen und Richtlinien

[2] DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

[3] DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz

[4] DIN EN 15026:2007-07 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation

[5] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA- (Hrsg.): Merkblatt 6-1-01/D Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. Mai 2002

[6] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA- (Hrsg.): WTA Merkblatt E-6-2-13/D Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Entwurfsveröffentlichung Oktober 2013

[7] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA- (Hrsg.): WTA Merkblatt 6-3-05/D Rechnerische Prognose des Schimmelwachstumsrisikos. 2005

[8] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA- (Hrsg.): WTA Merkblatt 6-4-09/D Innendämmung nach WTA-I-Planungsleitfaden. 2009

[9] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA- (Hrsg.): WTA Merkblatt 6-5-14/D Innendämmung nach WTA II – Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren. Mai 2014

Veröffentlichungen

[10] Brocken, H. J. P.: Moisture transport in brick masonry: the grey area between bricks. Dissertation an der TU Eindhoven, 1998

[11] Derluyn, H.; Janssen, H.; Carmeliet, J.: Influence of the nature of interfaces on the capillary transport in layered materials. *Constr. Build. Mater.* 25 (2011), S. 3685–3693

[12] Holm, A.; Krus, M.; Künzel, H. M.: Feuchtetransport über Materialgrenzen im Mauerwerk. *Int. Z. für Bauinstandsetzen* 2(1996), Nr. 5, S. 375–396

[13] Kehl, D.; Plagge, R.; Grunewald, J.: Wann geht Holz kaputt? Nachweistechische Beurteilung von Holz zerstörenden Pilzen. Beitrag zu den 22. Hanseatischen Sanierungstagen 2012

[14] Kehl, D.: Feuchtetechnische Bemessung von Holzkonstruktionen nach WTA – Hygrothermische Auswertung der anderen Art. Beitrag in *Holzbau – die neue quadriga*. Wolnzach: Kastner Verlag, 2013

[15] Krus, M.; Klier, M.: Flüssigtransport über die Schichtgrenzen zweier miteinander verbundener kapillarporöser Materialien. *IBP Mitteilungen* Nr. 291, 1996

[16] Niemz, P.: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag, 1993

[17] Nikolai, A.; Fechner, H.; Grunewald, J.: Delphin – Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Luft-, Feuchte- und Salztransport in kapillarporösen Medien. Software entwickelt am Institut für Bauklimatik an der Technischen Universität Dresden. URL: <http://www.bauklimatik-dresden.de>

[18] Scheffler, G. A.: Validation of hygrothermal material modelling under consideration of the hysteresis of moisture storage. Dissertation an der TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, 2008

[19] Scheffler, G. A.; Plagge, R.: A whole range hygric material model: Modelling liquid and vapour transport properties in porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53(2010), S. 286–296

[20] Sedlbauer, K.: Prediction of Mould Growth by Hygrothermal Calculation. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 25(2002), S. 321–336

[21] Viitanen, H.; Toratti, T.; Makkonen, L.; Peuhkuri, R.; Ojanen, T.; Ruokolainen, L.; Räisänen, J.: Towards modelling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products* 68(2010), S. 303–313

INFO/KONTAKT



Dr.-Ing.
Gregor A. Scheffler

1997 bis 2003 Studium des Bauingenieurwesens an der TU Dresden; 2003 bis 2008 Promotion zur hygrothermischen Materialmodellierung am Institut für Bauklimatik der TU Dresden; 2008 bis 2009 Hans-Christion-Ørsted Postdoc Stipendiat an der Technischen Universität Dänemarks (DTU); 2009 bis 2011 Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH, Fachbereich Anwendungsforschung und Bauphysik; 2011 bis 2012 Fachbereichsleiter Anwendungsforschung und Bauphysik bei der Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH; seit 2013 Ingenieurbüro Dr. Scheffler und Partner GmbH in Dresden.

Ingenieurbüro Dr. Scheffler und Partner GmbH
Fiedlerstraße 4
01307 Dresden
Tel.: 0351 2546923
Fax: 0351 2546918
E-Mail: gregor.scheffler@ib-scheffler.de
Internet: www.ib-scheffler.de