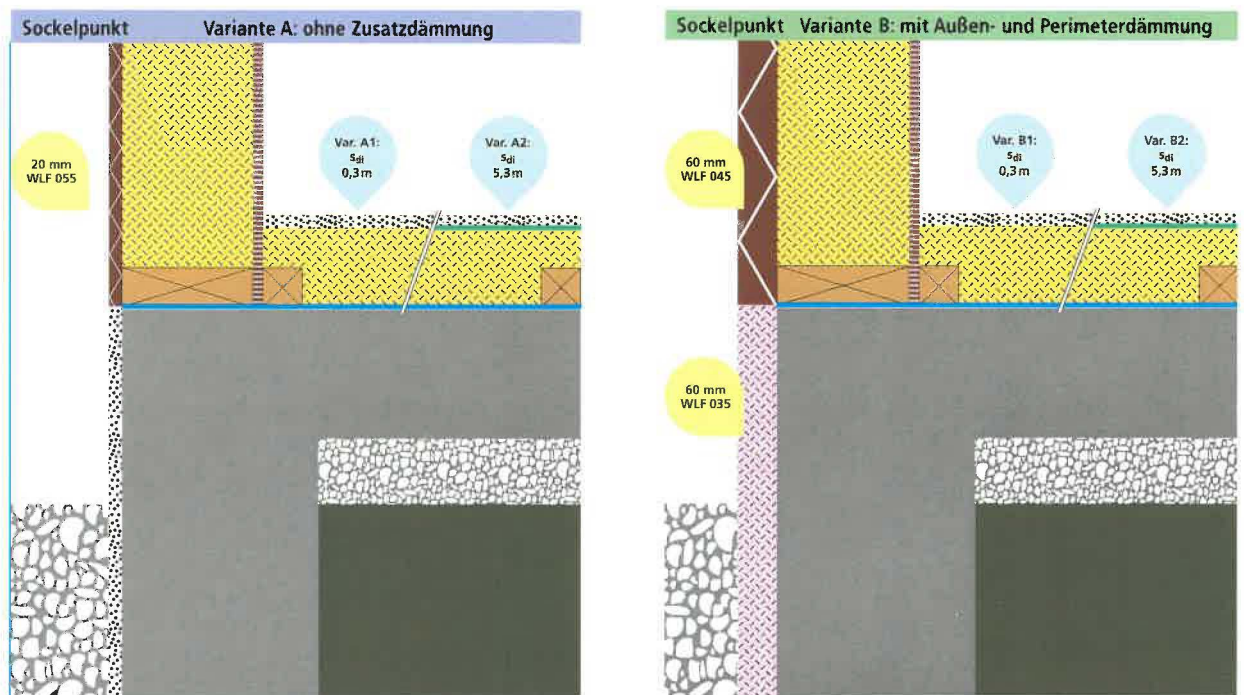


Sonderdruck



Tauwasserschutz zweidimensional

Teil 1 Wohin geht der Dampf im Detail?

Autoren:

Robert Borsch-Laaks,
Sachverständiger für
Bauphysik, Aachen

Dr. Martin Krus,
Fraunhofer Institut für
Bauphysik,
Holzkirchen

Daniel Zirkelbach,
Fraunhofer Institut für
Bauphysik, Holzkirchen

Teil 2 Welche Dampfbremse beim Deckenanschluss?

Teil 3 Hygrothermische Simulation beim Sockelpunkt

Tauwasserschutz zweidimensional

Teil 1: Wohin geht der Dampf im Detail?

Am Sorgentelefon des Bauphysikers gibt es wiederkehrende Fragen, die sich nicht durch eine einfache Diffusionsberechnung nach dem Glaser-Verfahren klären lassen. Wie so oft steckt der Teufel im Detail – auch feuchtetechnisch. Nicht nur die Wärme, auch der Wasserdampf wandert an Kanten und Ecken keineswegs immer geradeaus, wie es übliche eindimensionale Berechnungsmethoden suggerieren.

Ob und wann ein Tauwasserrisiko entsteht und wie es um die Verdunstungspotenziale bestellt ist, kann mit modernen zweidimensionalen Berechnungsverfahren geklärt werden. An exemplarischen Fragen aus der Praxis werden wir in einer mehrteiligen Serie darstellen, welche Antworten die moderne Bauphysik geben kann.

Wie wird gerechnet?

Diffusionsbilanzen mit dem Glaser-Verfahren unter den in [DIN 4108-3] festgelegten Randbedingungen sind immer eindimensional. D. h. es kann nur der Dampftransport senkrecht zur Konstruktionsebene bilanziert werden. Dieser eingeschränkte Blickwinkel ist in Holzbauteilen für die Untersuchung des Gefachbereiches völlig ausreichend. Doch spätestens dann, wenn es um die Holzanteile im Querschnitt geht, versagt diese Betrachtung. Die Ständer und Balken können in üblichen Diffusionsprogrammen nicht abgebildet werden, auch wenn mit der selben Software und demselben Datensatz mittlere U-Werte ermittelt werden.

Die zweidimensionale Ausbreitung der Wärme untersuchen qualifizierte Ingenieurbüros heute mit Hilfe von Wärmebrücken-Berechnungssoftware (siehe Infokasten 1). Die hierbei ausgegebenen Temperaturverläufe (Isothermen) können Hinweise auf feuchtetechnisch kritische Stellen geben – aber sie können auch manchmal in die Irre führen.

Gedämmte Installationsebene: Taupunkt in der Holzbauwand?

Holzrahmenbauwände und Dächer mit hohem Wärmeschutzstandard haben häufig innen gedämmte Installationsebenen. Je dicker die Innendämmung, desto mehr wandert die Dampfbremse (Holzwerkstoffplatte, Pappe oder Folie) in die kühleren Zonen des gedämmten Querschnitts. Kann hierdurch Tauwasser entstehen?

Die Berechnungsnorm gibt hierzu am Beispiel von Flachdachaufbauten eine verallgemeinerbare Nachweisbefreiung:

Wenn die Innendämmung nicht mehr als 20 % des gesamten Wärmewiderstandes ausmacht, sind Diffusionsberechnungen überflüssig [DIN 4108-3] (3.2.3.3.1c)

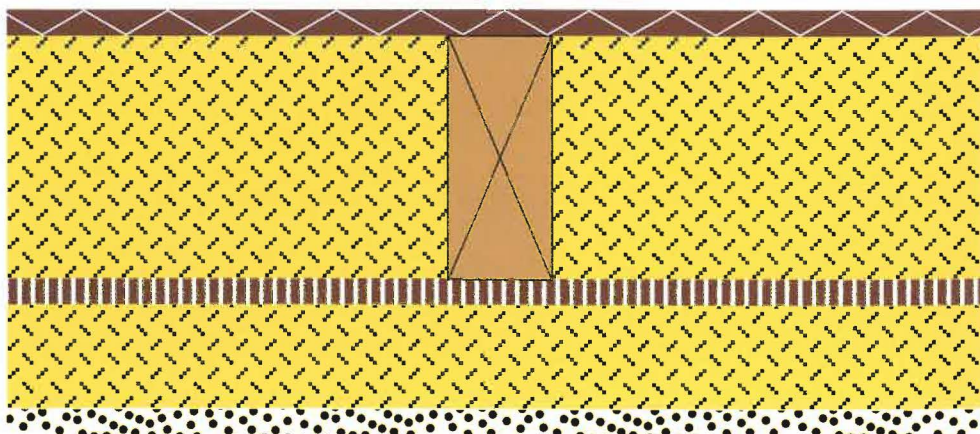
Bei einem Konstruktionsaufbau wie in Abb. 1 dargestellt, macht der innere Anteil (60 mm) allerdings bereits 30 % der Gesamtdämmdicke aus.

Kalkuliert man die Tauperiode im Gefachbereich für diesen Aufbau, ist das Ergebnis beruhigend, d. h. tauwasserfrei.

Im Bereich der Balken sind die Verhältnisse allerdings komplexer. Bei eindimensionaler Betrachtung des Schnittes im Ständerbereich macht die Innendämmung über 50 % des gesamten Wärmewiderstandes aus. Dementsprechend würde die Temperatur an der Innenseite der OSB-Platte nur 3,9° C betragen.

Manche Gutachter gehen nun her und berechnen mit Glaser die Diffusionsbilanz für den Ständerbereich. Dies ist zwar in der Norm – aus gutem Grund, wie wir sehen werden – nirgendwo vorgesehen, aber mit den Ergebnissen kann man Holzbaupraktiker so sehr erschrecken, dass Nachfragen unterbleiben.

Abb. 1
Holzbauwand mit gedämmter Installationsebene. Führt die im Innern liegende Dampfbremse zu Tauwassergefahr an den Ständern?



Autor:
Robert Borsch-Laaks,
Sachverständiger für
Bauphysik, Aachen

Es ergibt sich rechnerisch eine Tauwassermenge, die mehr als das 5-fache der zulässigen Feuchteerhöhung der Platte beträgt (1.660 g/m^2).

Schlauer rechnen mit Wärmebrückenanalyse

Der obige Berechnungsansatz ist physikalisch falsch, weil so getan wird, als ob sich der Dampfstrom quer zu einer unendlich und homogen ausgedehnten Massivholzwand mit Innendämmung bewegen würde. Für eine korrekte zweidimensionale Berechnung dieser Situation, könnten Spezialisten das Berechnungsprogramm WUFI® 2D des Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen, anwenden.

Doch auch schon mit „normaler“ Wärmebrückenberechnung lassen sich bauphysikalische Fehlinterpretationen vermeiden. Die thermische 2D-Analyse zeigt, dass die Temperaturen im kritischen Bereich etwa 4°C höher liegen als die eindimensionale Betrachtung befürchten lässt (vgl. Abb. 2). Es kommt zu einer Querverteilung der Wärme in der OSB-Platte. Dies führt zur „Entspannung“ in der vermeintlichen Tauwasserkrise.

Führt man eine eindimensionale Diffusionsberechnung unter Zuhilfenahme des zweidimensionalen Temperaturprofils durch, dann reduziert sich die mögliche Tauwassermenge auf 40 g/m^2 im 20 mm breiten Bereich, in dem die Temperatur unter $7,9^\circ\text{C}$ sinkt. Pro lfm Ständer ist dies nicht einmal ein Milliliter Tauwasser!

Da in allen Diffusionsbilanzen die Verdunstungspotenziale auch das falsche theoretische Tauwasser um ein Vielfaches übersteigen, ist eine Gefährdung der innen gedämmten Holzrahmenbauwand sicher auszuschließen.

Mal wieder spannend: Der Geschossdeckenanschluss

Seit Anbeginn der Publikation der condetti®-Details in dieser Zeitschrift haben wir immer dort, wo Innenteile die Holzbauaußenhülle ganz oder teilweise durchdringen, Sondermaßnahmen zur Sicherstellung der Luftdichtheit gefordert. Hierbei wurde i. d. R. ein Anschlussstreifen vor Kopf des einbindenden Bauteils entlang geführt, um den „Königskindereffekt“ zu umgehen.

Da diese Anschlussstreifen oft bis auf die kalte Außenseite der Konstruktion gelangen, haben wir stets empfohlen, hierfür keine Dampfsperren, sondern eine diffusionsoffene Bahn zu verwenden. Abb. 3 zeigt den Vertikalschnitt im Außenwand Bereich des Auflagers einer sichtbaren Holzbalkendecke bei Plattenbauweise.

Wir nehmen an, dass der Hohlraum zwischen den Deckenbalken mit einem diffusionsoffenen Faserdämmstoff gefüllt wird und raumseitig nur eine Gipsbauplatte den Dampfdurchgang bremst. Die Isothermen und das zweidimensional berechnete Temperaturprofil entlang des Anschlussstreifens (siehe Abb. 4) werfen Fragen auf.

Fragen an die zweidimensionale Diffusionsbilanz

An der Grenzschicht zwischen Dämmung und Randbalken betragen die Temperaturen -4°C bei außenliegendem Randbalken, bzw. ca. 6°C bei Mittenposition. Muss dann nicht eine Dampfbremse im Deckengefach zur Tauwassererhaltung eingesetzt werden?

Ein Blick auf das zweidimensional berechnete Temperaturprofil entlang des Anschlussstreifens (siehe Abb. 4) führt zu der Frage,

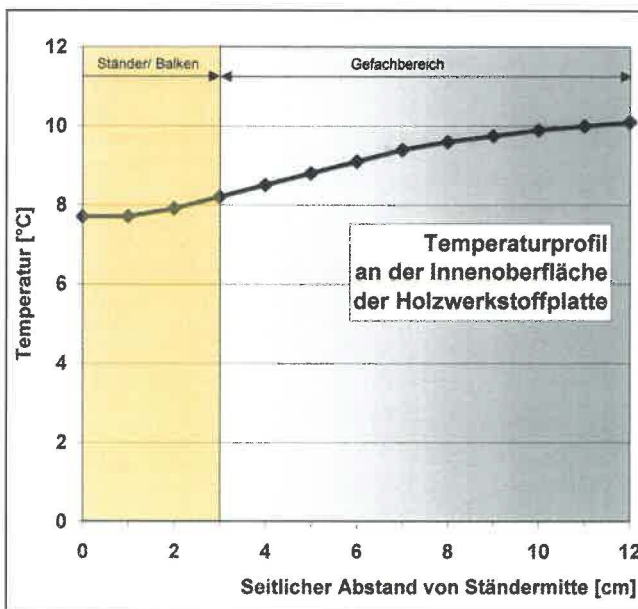


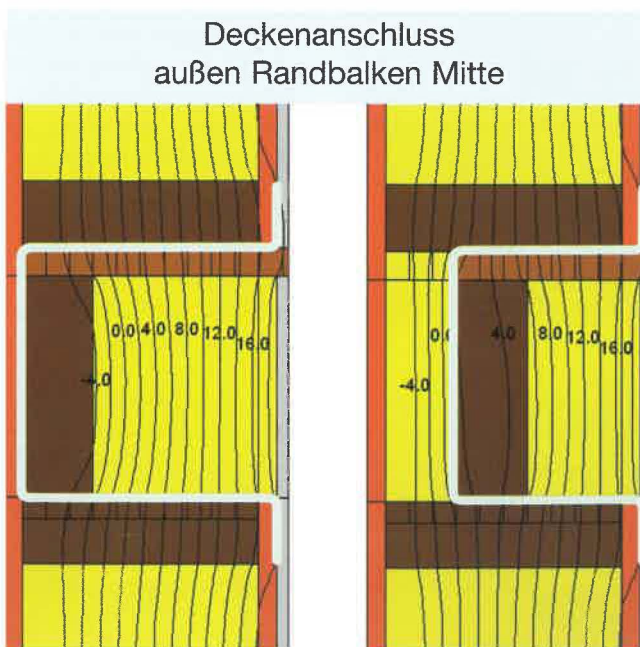
Abb. 2
Oberflächentemperatur auf der Innenseite der dampfbremsenden OSB-Platte berechnet mit dem 2D-Wärmebrückenprogramm „Therm 5.2“

ob auf den ersten 75 mm des Querschnitts (also im relativ warmen Bereich) eine höhere Diffusionsdichtheit der Bahn nicht günstiger wäre.

Nächste Frage: Kommt im kälteren Teil des Bahnenstreifens dessen Diffusionsoffenheit wegen der außenseitig vor der Folie liegenden Schwell- und Rähmhölzer überhaupt zur Geltung?

Wäre es nicht besser, eine feuchtevariable Bahn einzusetzen, wie sie für vergleichbare Situationen bei der außenseitigen Sanierung von Altbaudächern empfohlen wird?

Abb. 3
Isothermen am Deckenanschluss je nach Lage des Randbalkens. Grüne Linie: Verlauf des luftdichtenden Anschlussstreifens



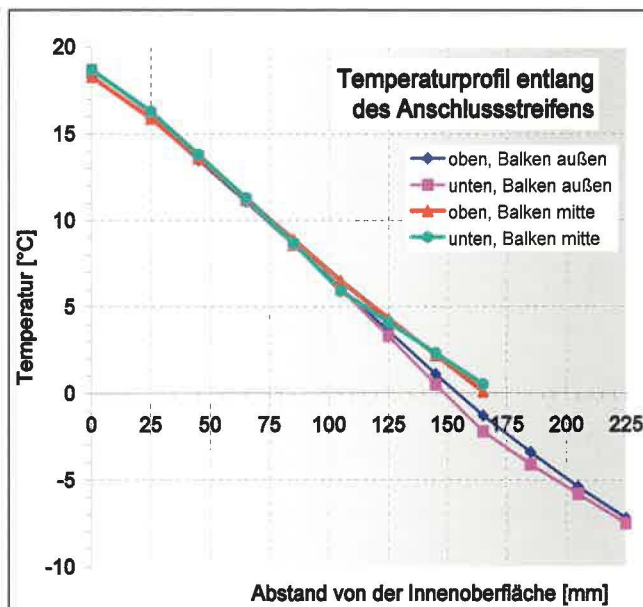


Abb. 4
Temperaturverlauf entlang
des Anschlussstreifens bei
Außen- und Mittellage des
Randbalkens

Derartig komplexe Fragestellungen können nur noch mit dynamischen Berechnungsverfahren untersucht werden, die Wärme- und Feuchtetransport gekoppelt kalkulieren. Dazu mehr im zweiten Teil des Beitrags.

Gegen die nassen Füße: Feuchteanalyse zum Sockelpunkt

Immer wieder wird die Frage gestellt, wie man eine Glaser-Berechnung für eine Bodenplatte durchführen soll. Vergessen Sie dieses Problem. Solches ist in der DIN 4108-3 nicht vorgesehen, weil das Normwinterklima (-10°C) auf Bodenplatten und auch Kellerdecken nicht anzuwenden sind.

Die Norm gibt auch keine speziellen Klimawerte für diesen Fall an – und zwar aus einem ganz einfachen Grund. Die Tau-

punkttemperatur der normalen Raumluft beträgt 9,3°C. Dieses Temperaturniveau wird auf der Oberseite der Rohdecke (d. h. auf der kalten Seite der Bodendämmung) in der Fläche selten erreicht (Keller- und Erdreichtemperaturen bewegen sich meist oberhalb von 10°C). Selbst eine Unterschreitung der TP-Temperatur um ein paar °C führt erfahrungsgemäß nicht zu Tauwasserbildung, da die inneren Schichten des Bodenaufbaus i. d. R. einen ausreichenden Diffusionssperwert aufweisen.

Wie kalt wird es an der Kante?

Führt man den am Sockelpunkt so aus, wie in Abb. 5 dargestellt, so ist der Aufbau praktisch wärmebrückenfrei. Die Dämmebenen gehen lückenlos ineinander über. Mehr ist zur Minimierung der Wärmeverluste nicht nötig. Auf der kalten Seite der Dämmung reguliert bei der Holzbauwand eine diffusionsoffene Holzfaserdämmplatte den Feuchtehaushalt – nach aller Rechen- und Praxiserfahrung zuverlässig.

Aber auf der Unterseite der Bodendämmung liegen ausschließlich dampfsperrende Schichten (Schweißbahn, Betonplatte, Folie auf der Sauberkeitsschicht). Die Wärmebrückenberechnung (Abb. 5 Mitte) zeigt, dass im Randbereich die Temperatur an der Oberseite der Bodenplatte bis unter

die Frostgrenze abfällt. Tauwassergefahr?

Problematische Temperaturen auch bei Perimeterdämmung

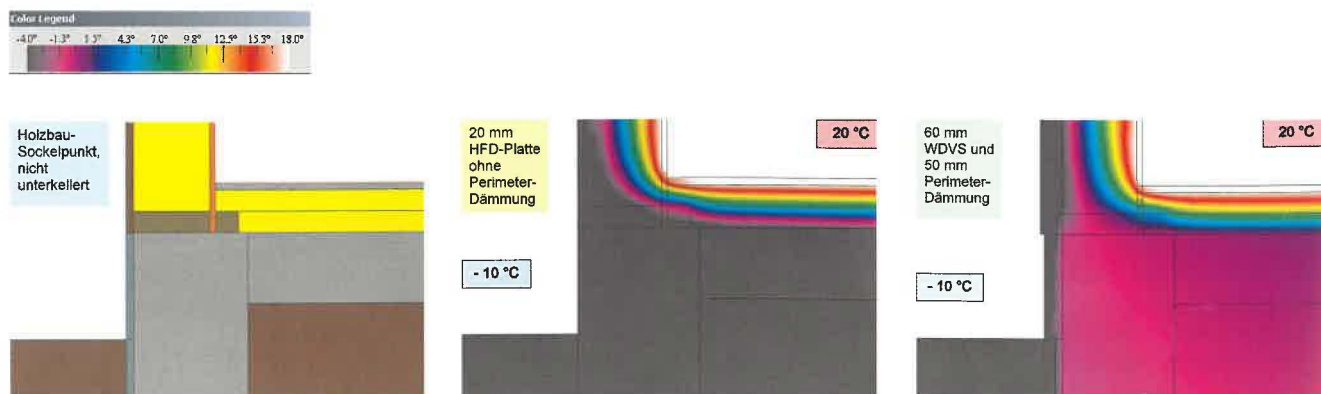
Eine naheliegende Lösung scheint eine Perimeterdämmung auf der Fundamentaßenseite. Auch mit diesem verbesserten Aufbau (Abb. 5 unten) liegen die Oberflächentemperaturen im Randbereich nur knapp über 0°C. Kondensatbildung ist bei diesen Klimaverhältnissen nicht auszuschließen.

Es ist also nicht die Frage, ob Tauwasser ausfallen kann, sondern auf wie viel es sich aufsummiert und wie lange es dauert, bis eine Rücktrocknung erfolgt ist.

Wärme und Feuchte zweidimensional betrachtet

Der dargestellte Sockelpunkt ist die „Königsdisziplin“ der Tauwasser-Berechnungen. Es sind dynamische Klimadatensätze erforderlich, die auch die Erdreichtemperaturen realistisch abbilden. Die in alle Richtungen laufende Diffusionsströme, sowie die Feuchtespeichereffekte in den eingebauten Holzquerschnitten sind in Bewertung einzubeziehen. Glaserberechnungen, aber auch zweidimensionale Temperaturanalysen helfen beim Sockel nicht wirklich bei der Erklärung, warum und wann bauübliche Konstruktionsweisen feuchtechnisch funktionieren.

Abb. 5
Sockelpunkt bei Holzbauwand
auf oberseitig gedämmter
Bodenplatte. Konstruktions-
aufbau und Isothermen in
thermografischer Darstellung.



Tauwasserschutz zweidimensional

Teil 2: Welche Dampfbremse beim Deckenanschluss?

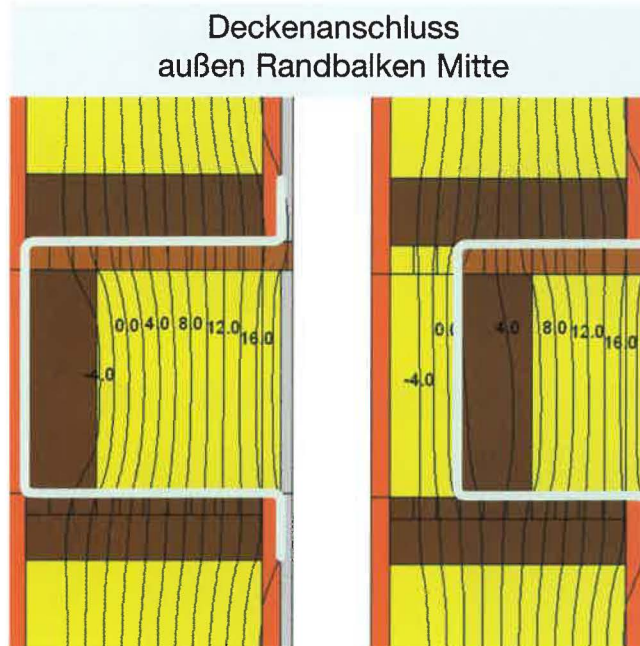
So einfach und geradeaus, wie die üblichen Glaserberechnungen es suggerieren, erfolgt der dampfförmige Feuchte-transport nur dann, wenn es sich um einen ungestörten Regelquerschnitt (z.B. das Holzbaugefach) handelt. Bei Bauteilanschlüssen wissen wir aus den regelmäßig im condetti-Teil veröffentlichten Wärmebrückenberechnungen, dass zweidimensional „verbogene“ Isothermen die Regel sind. Dies hat unmittelbare Folgen auch für das Dampfdruckgefälle und damit die Antriebskraft für den gasförmigen Feuchte-transport.

Hinzu kommt, dass bei komplexen Anschlussdetails, wie z.B. einem Geschossdeckenanschluss in Plattformbauweise, Materialien mit sehr unterschiedlichen Diffusionswiderständen aneinander grenzen. Insbesondere die Lage des Randbalkens und die Frage nach dem richtigen s_d -Wert für den Anschlussstreifen, der die luftdichte Verbindung zwischen Unter- und Obergeschoss herstellt, bedürfen der näheren Untersuchung. Mit der neuen zweidimensionalen Version des Wärme- und Feuchtesimulationsprogramms WUFI® wurden von Dr. Martin Krus die hierbei auftretenden Feuchteverhältnisse untersucht. Die Ergebnisse werden in diesem Beitrag von unserem Autor Robert Borsch-Laaks erläutert.

Zwei Alternativen für die Lage des Randbalkens

Für den Deckenanschluss einer Holzbauwand in Plattformbauweise gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten für die konstruktive Ausbildung. Am einfachsten ist es den Randbalken bzw. die Verblockungen zwischen den Deckenbalken außen im Konstruktionsquerschnitt anzuordnen (vgl. Abb. 1 links). Hierbei muss die Luftdichtungsbahn bis an die Ebene zwischen Randbalken und außenseitiger MDF-Bauplatte herausgeführt werden. D. h. sie wandert in den kältesten Bereich des Konstruktionsquerschnittes.

Dies machte dem Bauphysiker im condetti®-Team schon bei der Entwicklung des ersten Details zum Deckenanschluss (Heft 1/2000) Sorgen. Deshalb wurde als Alternative empfo-



len, den Randbalken etwa mittig im Querschnitt anzuordnen, um vor Kopf hiervon eine Dämmschicht von mindestens 40 mm Stärke anordnen zu können. Zweidimensionale Feuchteanalysen standen zum damaligen Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung, aber die Empfehlung aus dem „bauphysikalischen Bauch“ heraus hat sich, wie die folgend dargestellten Ergebnisse zeigen, als richtig erwiesen.

Die untersuchten Varianten

Bei der untersuchten Konstruktion handelt es sich um einen diffusionsoffenen Holzbauquerschnitt (Dämmdicke 200 mm) mit außenseitiger MDF-Platte und einer Innenbeplankung aus 15 mm OSB und 10 mm Gipskartonplatte. Die Gipsbauplatte bildet auch den inneren Abschluss des Deckengefaches der sichtbaren Holzbalkendecke. Oberhalb der Deckenbalken befindet sich eine Holzschalung und im Innenbereich ein Zement-Estrichaufbau, der allerdings für die feuchte- und wärmetechnische Si-

Abb. 1: Konstruktionsvarianten zum Anschluss einer sichtbaren Geschossdecke in Plattformbauweise. Wo soll der Randbalken liegen? Welchen Diffusionssperrewert darf die Anschlussfolie haben? Anm.: Schnitt im Gefachbereich. Die Ansicht der Deckenbalken ist aus Vereinfachungsgründen nicht dargestellt.

tuation im Anschlussbereich keine Bedeutung hat.

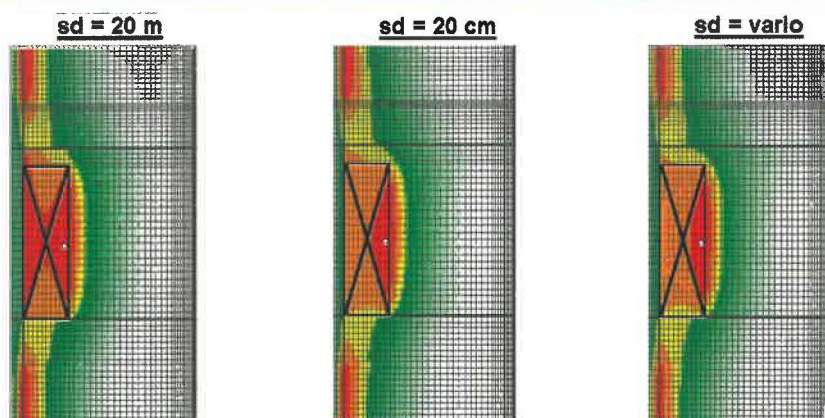
Für den Anschlussstreifen wurden drei verschiedene Folien untersucht:

- PE-Folie (0,2 mm, $s_d = 20$ m)
- diffusionsoffene Unterspannbahn ($s_d = 0,2$ m)
- feuchtevariable Polyamid-Folie (s_d variabel zwischen ca. 0,4 und 4 m)

Alle eingebauten Baumaterialien haben am Anfang eine Ausgleichsfeuchte, die einer rel. Porenluftfeuchtigkeit von 80 % entspricht. Es wurde der Holzkirchener Datensatz für das Außenklima und ein Innenklima mit „normaler Feuchtebelastung“ (50 +/- 10% rel. F.) verwendet. Der Schlagregen und die solare Einstrahlung auf die Fassade werden nicht berücksichtigt, da es sich um

Autoren:
Robert Borsch-Laaks,
Sachverständiger für
Bauphysik, Aachen
Dr. Martin Krus,
Fraunhofer Institut für
Bauphysik,
Holzkirchen

Randbalken außen 19. Februar



Randbalken außen 1. Mai

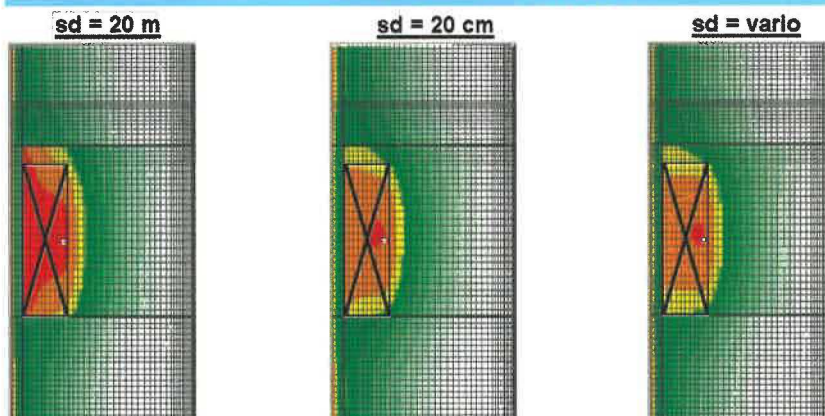


Abb. 2: Feuchteverteilung im Konstruktionsquerschnitt bei Balkenposition außen zu verschiedenen repräsentativen Zeitpunkten in Abhängigkeit vom s_d -Wert des Anschlussstreifens.

□ ... Monitorposition zur Ermittlung der Porenluftfeuchte an der kritischsten Stelle. (Innenseite Randbalken, mittig)

einen Wandaufbau mit Vorhangfassade handelt. Die Wand ist nach Norden orientiert.

Randbalken außen: Bedenklich hohe Feuchtegehalte

In Abb. 2 wird die Feuchteverteilung im Konstruktionsquerschnitt zu zwei verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Die Momentaufnahme vom 19. Februar (oben) stellt erfahrungsgemäß den Höhepunkt der diffusionsbedingten Feuchteerhöhung beim zugrunde gelegten Holzkirchener Klima dar. In den orange und rot markierten Bereichen liegt die Porenluftfeuchtigkeit bei mehr als 90 %. D.h. der Masse bezogene Feuchtegehalt kann hier u. U. über Werte von 20 Masse-% ansteigen (vgl. Infokasten).

Anhand der Verteilung am 1. Mai kann überprüft

werden, ob nach einem vertretbaren Zeitraum von ca. 10 Wochen die Feuchtegehalte wieder auf ein unkritisches Niveau abgetrocknet sind. Es zeigt sich, dass in der dampfdichten Version (s_d -Wert der Folie 20 m) praktisch im gesamten Balkenquerschnitt noch gleich große Wassermengen vorhanden sind. Lediglich die Lage der Maxima hat sich etwas nach außen verschoben.

Aber auch die Varianten mit diffusionsoffener oder feuchtevariabler Bahn weisen außer an den Rändern des Balken noch einen hohen Wassergehalt auf.

Auch eine Frage der Zeit: Wassergehalte im Holz

Die Grafiken zur Feuchteverteilung lassen erkennen, dass sich vor allem im Kern der Hölzer hohe Luftfeuchten und die damit ver-

bundene Ausgleichsfeuchten gemäß der Sorptionskurve des Holzes (vgl. Infokasten) lange halten können. Die Kurven der Abb. 4 zeigen, dass bei Einbau einer PE Folie die Porenluftfeuchte nach der Tauperiode über mehrere Monate auf einem erschreckend hohem Niveau von über 95 % bleibt. Hinzu kommt, dass am Ende des Jahreszyklusses das Feuchteniveau höher liegt als die Ausgangsfeuchte, so dass zu erwarten ist, dass sich in den Folgejahren sich die Situation noch verschärft.

Die Varianten mit diffusionsoffener oder feuchtevariabler Bahn lassen zwar eine Abtrocknung im Jahresverlauf erkennen, aber auch hierbei treten kritische Feuchtegehalte von 90 % rel.F. und mehr über lange Zeiträume auf.

Infokasten

Wieviel Feuchte ist schädlich für's Holz?

„Holz gammelt, verrottet und wird von Schädlingen zerfressen.“ So oder ähnlich lauten immer noch die im Lande weit verbreiteten Vorurteile. Andererseits wissen Fachleute wie die Leser dieser Zeitschrift, dass richtig verbautes Holz auch ohne chemischen Holz„schutz“ ein äußerst langlebiger Naturbaustoff ist.

Die DIN 68 800 hat schon vor mehr als 15 Jahren zum Schutz von Holztragwerken eine klare feuchtetechnische Grenze gesetzt:

- Die Holzfeuchte darf einen massebezogenen Feuchtegehalt von $u_1 = 20\%$ nicht über längere Zeiträume überschreiten. Dieser Grenzwert wird oft in der Hinsicht missverstanden, dass bei Überschreitung unmittelbar ein Holz zerstörender Fäulnisprozess einsetzen würde. Aus biologischer Sicht gilt jedoch, „dass alle Holzpilze erst oberhalb des Fasersättigungsbereichs von etwa $u = 30\%$ nennenswert schädigen, da nur dann genügend freies Wasser in den Lumina der Holzzellen für den Stoffwechsel der Pilze vorliegt.“ [Müller 2005]. D. h. im Grenzwert $u_1 \leq 20\%$ stecken große Sicherheitsreserven.

Des Weiteren ist der niedrig angesetzte Grenzwert lt. Schulze ausdrücklich auf Einzelwerte (daher auch der Index „1“) bezogen, die mittels elektrischer Widerstandsmessungen – sei es im Labor oder Vorort – ermittelt werden, vgl. [Schulze 1997]. Simulationsrechnungen, wie sie für diesen Artikel durchgeführt wurden, sind nicht mit den

Messunsicherheiten praktischer Feuchtemessungen behaftet.

Luftfeuchte und Holzfeuchte

Massivhölzer und auch Holzwerkstoffplatten mit höherer Rohdichte bestehen zu 50 bis 70 % aus Hohlräumen (Poren), die mit Luft und damit auch im einem gewissen Maß mit Wasserdampf gefüllt sind. In Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte wird eine mehr oder weniger große Menge flüssiges Wasser in den Zellen gebunden. Der Zusammenhang zwischen dem massebezogenen Holzfeuchtegehalt und der Porenluftfeuchtigkeit ergibt sich aus den sog. Sorptionsisothermen des Holzes, vgl. Abb. 3. Man kann hierbei grob drei Bereiche unterscheiden:

- Bis zu einer rel. Porenluftfeuchte von etwa 85 % ist das Holz als „trocken“ anzusehen. D. h. sein Wassergehalt liegt sicher unter 20 Masse-%.
- Zwischen 85 und 95 % steigt der Feuchtegehalt steil an und erreicht Werte bis zu 25 Masse-%.
- Oberhalb von 95 % rel. Feuchte hören die Kurven in der Regel auf, weil die Sorptionsisotherme dieses Bereiches messtechnisch nicht mehr sicher zu erfassen ist.

Bei langfristiger Lagerung bei annähernd 100 % rel. F. wird der Fasersättigungsgrad erreicht, der je nach Holzart bei 30- 35 M.-% liegt.

Auffeuchtung und Trocknung in der Praxis

Welchen Feuchtegehalt Hölzer und Holzwerkstoffe

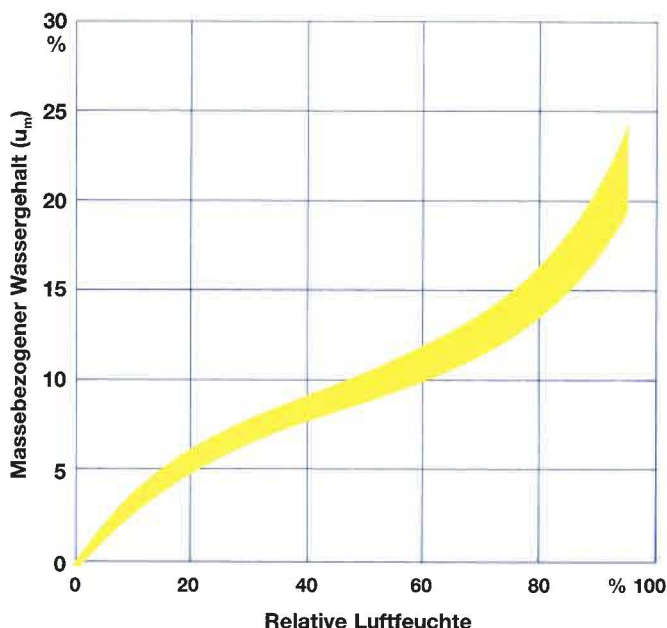


Abb. 3: Massebezogener Feuchtegehalt von Nadelholz in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte

in der Praxis durch Sorption, d. h. durch Einlagerung von Dampfmolekülen, annehmen können, ist von weiteren Faktoren abhängig. Neben einem gewissen, aber untergeordneten Temperatureinfluss (ca. 1 M.-% pro 10°C) ist vor allen Dingen von Bedeutung, ob ein Vorgang der Auffeuchtung (Absorption) oder der Entfeuchtung (Desorption) stattfindet. Die Absorptionskurve stellt die untere Grenze des in Abb. 4 dargestellten Bereichs dar, die Desorption die obere.

D. h. für die praktische Bewertung der Feuchteanalyse folgendes: Der diffusionsbedingte Anstieg des Wassergehaltes in der Tauperiode erfolgt entsprechend der Absorptionskurve. Umgekehrt erfolgt die Rücktrocknung durch Desorption verzögert, d. h. bei gleicher Luftfeuchte bleibt die Materialfeuchte zunächst auf höheren Werten als bei

der Auffeuchtung. Dies ist aber nicht tragisch, solange das absolute Feuchteniveau unter der kritischer Grenze bleibt.

Auf die Untersuchungsergebnisse der WUFI®-Analyse abgebildet heißt dieses Erkenntnis, dass nur die langfristige und deutliche Überschreitung von 90 % rel. F., wie sie bei der Variante Balken außen mit Dampfsperre vor kommt, kritische Zustände erzeugen kann. Die Kurvenverläufe, bei denen die 90 %-Marke nur knapp oder nur kurzzeitig erreicht wird, bergen kein Risiko im Hinblick auf eine Schädigung der Tragkonstruktion.

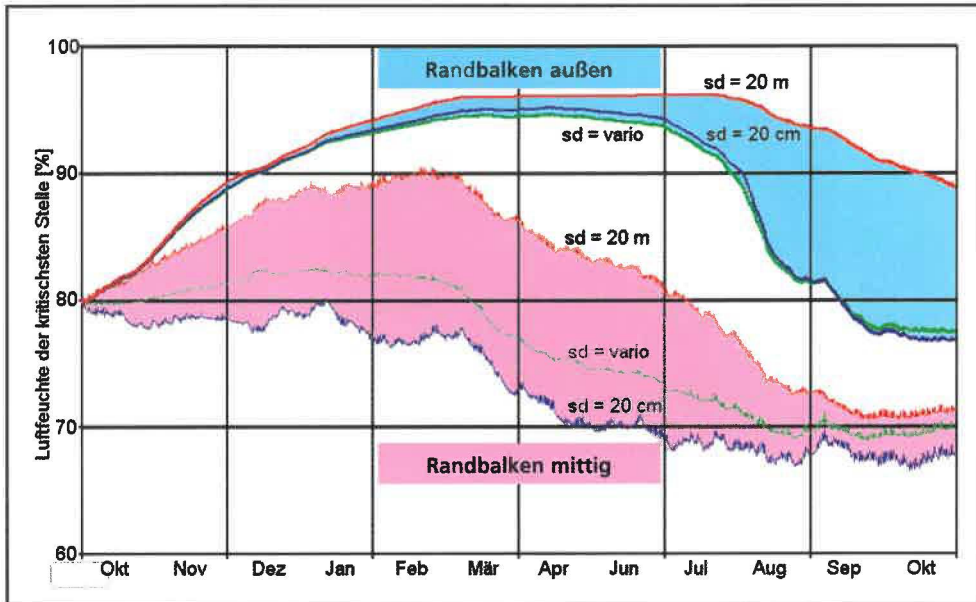


Abb. 4:
Relative Luftfeuchte in den Baustoffporen im Jahresverlauf bei den verschiedenen Varianten für Balkenposition und Folie.

Randbalken mittig 19. Februar

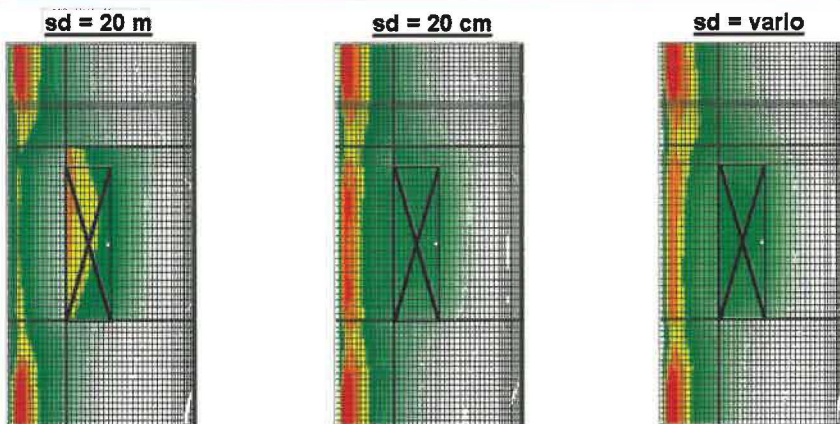
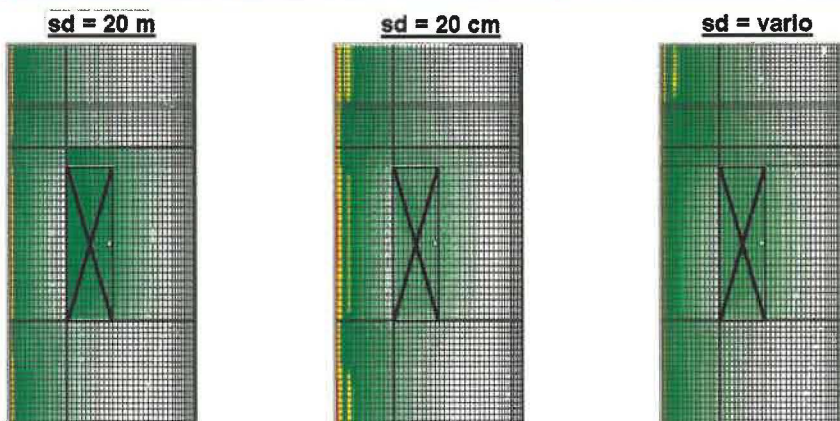


Abb. 5:
Feuchteverteilung im Konstruktionsquerschnitt bei Balkenposition Mitte zu verschiedenen repräsentativen Zeitpunkten in Abhängigkeit vom s_d -Wert des Anschlussstreifens.
□ ... Monitorposition zur Ermittlung der Porenluftfeuchte kritischsten Stelle.

Randbalken mittig 1. Mai



rel. Humidity [-] $x < 0,50$	
	$0,50 \leq x < 0,55$
	$0,55 \leq x < 0,60$
	$0,60 \leq x < 0,65$
	$0,65 \leq x < 0,70$
	$0,70 \leq x < 0,75$
	$0,75 \leq x < 0,80$
	$0,80 \leq x < 0,85$
	$0,85 \leq x < 0,90$
	$0,90 \leq x < 0,95$
	$0,95 \leq x < 1,00$

Randbalken mit Außendämmung

Bei der zweiten untersuchten Variante wurde der Randbalken so weit nach innen versetzt, dass eine außenseitige Dämmung in 60 mm Stärke angeordnet werden konnte. Die Luftdichtungsbahn verläuft nun, wie in Abb. 1 rechts dargestellt, zwischen Kopfdämmung und Randbalken.

Abb. 5 oben zeigt ein völlig anderes Bild als zuvor. Die Version mit der dampfdichten Bahn weist zwar auch in der äußeren Hälfte des Randbalkens und der Deckenschalung erhöhte Feuchtwerte auf, die teilweise über 90% rel. Feuchte liegen, aber die Ausdehnung und die absolute Höhe sind weit unkritischer. Bei der diffusionsoffenen bzw. -variablen Bahn findet in den Wintermonaten nur eine geringfügige Änderung der Feuchtesituation der Tragkonstruktion statt.

Feuchte zwischen MDF und Dämmung

Auffällig ist allerdings, dass es immer noch Bereiche mit hoher Porenluftfeuchtigkeit an der Grenzschicht zwischen Dämmung und MDF-Platte gibt. Dies ist jedoch ein ganz normaler Vorgang, da wir uns am 19. Februar auf der Höhe der winterlichen Tauperiode befinden. Auch wenn ein diffusionsoffener Regelquerschnitt nach Glaserberechnung als „tauwasserfrei“ ermittelt wird, so heißt dies nicht, dass an der kalten Seite der Dämmung keine erhöhten Luftfeuchten vorkommen. Im Grunde genommen bestätigen die dynamischen Simulationen, was auch eine genaue Betrachtung eines Glaserdiagramms erkennen lässt:

- Auf der kalten Seite der Dämmung entstehen während der Tauperiode Dampfgehalte, die nahe dem Sättigungsdampf-

druck liegen, auch wenn es nicht zum Tauwasseranfall, d. h. 100 % Sättigung kommt.

Dies ist aber erfahrungsgemäß unproblematisch, da es schon im Frühjahr – wie auch die Abb. 5 unten zeigt – zu einer raschen Austrocknung kommt. Bei der Beurteilung des Schadensrisikos ist auch zu bedenken, dass hohe Holzfeuchten nur bei „moderaten“ Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes ein Wachstum von Mikroorganismen ermöglichen.

Die erkennbar hohen Feuchtegehalte in der außenseitigen MDF-Platte sollten allerdings in einem Punkt zu denken geben. Porenluftfeuchten von 90 bis 95 % und mehr lassen befürchten, dass die Heranziehung der Platten zur Gebäudeaussteifung fraglich wird. Hierfür darf der Masse bezogene Feuchtegehalt 15 % nicht übersteigen. Aber dies ist eine andere Baustelle.

Großes Trocknungspotenzial bei mittlerer Balkenposition

Die Kurven für die mittige Balkenposition in Abb. 3 zeigen für alle Dampfbremsvarianten, dass sich mit der Zeit ein geringerer Feuchtegehalt als am Anfang einstellen wird. Die Luftfeuchte an der kritischsten Stelle befindet sich am Ende des Jahreszyklusses auf einen etwa 10 %- Punkte niedrigerem Niveau. Bei der dampfdichten Folie kommt es allerdings in der Winterzeit zu einer Feuchteumverlagerung, die über gut zwei Monate an der kritischsten Stelle Werte nahe 90 % rel. F. erreicht.

Die diffusionsoffene Bahn zeigt den günstigsten Verlauf. Die sowieso schon unproblematische Ausgangsfeuchte (s. Infokasten) wird nur im Januar noch einmal erreicht, ansonsten findet eine stetige Abtrocknung statt.

Fazit: Nicht die Dampfbremse, sondern die Konstruktion entscheidet

Die Untersuchung zeigt ein anderes Ergebnis als die Fragestellung im Titel erwarten ließ. Ein Randbalken, der ohne Überdämmung auf der kalten Seite der Konstruktion angeordnet wird, durchläuft im Jahresverlauf kritische Phasen, auch wenn vor Kopf diffusionsoffene Bahnen entlang geführt werden. Wird das zu schützende Holz soweit nach innen versetzt, dass ca. 1/3 der Gesamtdämmstärke außenseitig davor angeordnet werden kann, so ist die Wahl des Folienmaterials von untergeordneter Bedeutung.

Um die aufgeworfenen Fragen für alle Praxisfälle erschöpfend zu beantworten, wären Konstruktionsalternativen z. B. mit Stellbrettern statt Gipsbauplatten zwischen den Sichtbalken, geschlossene Decken mit Dämmstoffen verschiedener Diffusionsfähigkeit u. ä. zu untersuchen. Insofern mag dieser Beitrag nur Anstöße für vertiefende Forschungsvorhaben geben.

Zweidimensionale, gekoppelte Wärme- und Feuchtesimulationen erfordern zwar heute nicht mehr den Einsatz von Großrechnern. Aber auch an PCs mit schnellen Prozessoren muss mit erheblichen Rechenzeiten kalkuliert werden – vom Eingabeaufwand ganz abgesehen. Auch die Interpretation der Ergebnisse ist aufwändiger als bei einer schlichten Glaserrechnung. Deshalb werden wir die zweite Aufgabenstellung aus dem ersten Teil dieser Serie (Sockelpunkt) in einem späteren Heft behandeln. ■

Taufwasserschutz zweidimensional

Teil 3: Hygrothermische Simulation beim Sockelpunkt

Zweidimensionale Berechnung von thermischen Wärmebrücken ist heute eine nachgefragte Ingenieurleistung. Auch hygrothermische Simulationen zu feuchtetechnisch fraglichen Konstruktionsquerschnitten sind längst dem universitären Milieu erwachsen. Eindimensionale WUFI®-Analysen werden zunehmend auch von Ingenieuren und Bauphysikern in der Planungspraxis eingesetzt. Aber beides zusammen? Instationärer, zweidimensionaler Wärme- und Feuchtetransport und das im Anschlussdetail, wie kann man das berechnen? In den ersten beiden Teilen dieser Serie haben wir uns mit Anschlüssen beschäftigt (Innendämmung vor Holzständerwerk, Geschoßdeckenanschluss in Plattformbauweise), die noch vergleichsweise einfach mit der ersten Fassung von WUFI®-2D zu untersuchen waren. Der Sockelpunkt mit seinen speziellen Wärme- und Feuchteverhältnissen durch Betonfundamentplatte und Erdreichanbindung brauchte ein verbessertes Rechenwerkzeug. Die hier vorgestellte Untersuchung diente somit auch dazu, die Beta-Version des neuen WUFI®-2D 3.0 zu testen.

Das Fundament dämmen oder nicht?

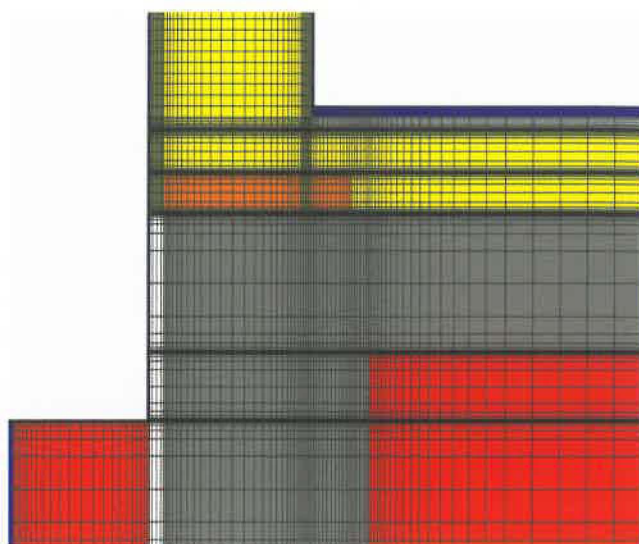
Aus zweidimensionalen Wärmebrückenberechnungen wissen wir seit langem, dass die gängige Perimeterdämmung außenseitig der umlaufenden Fundamentstreifen wärmetechnisch wenig bringt.

Da im Holzbau die Dämmebenen von Wand- und oberseitig gedämmter Bodenplatte nahezu lückenlos ineinander übergehen, gibt es nur geringe Wärmebrückeneffekte, oder anders ausgedrückt: Die massive Fundamentkonstruktion liegt komplett auf der kalten Seite des Bodenquerschnitts. Kalte Bauteile zu dämmen bringt herzlich wenig.

Eine detaillierte Analyse zu den wärmetechnischen Effekten verschiedener Formen der Perimeterdämmung folgt im Teil 4, S. 14 f.

Der Preis der Sparsamkeit: Taufwasserrisiko?

Ein häufig zu hörendes Argument gegen das Weglassen der Randdämmung



von Fundamentplatten unter Holzhäusern ist die Taufwassergefahr. In der Tat zeigt die zweidimensionale Temperaturanalyse, dass der äußere Bereich der Fundamentplatte besonders kalt wird, weil er an Außenluftklima grenzt. Die Temperaturen im gedämmten Fall liegen allerdings auch nur wenige Grad höher (vgl. S. 4, Abb. 5). Diese thermische Momentaufnahme hilft jedoch bei der zweidimensionalen Betrachtung der Feuchtetransportvorgänge nicht wirklich weiter.

Vier Varianten hygrothermisch simuliert

Deshalb haben wir zwei modellhafte Konstruktionsaufbauten mit WUFI®-2D analysiert. Es handelt sich dabei um Holzrahmenbauwände in üblicher Ausführung (200 mm Dämmdicke, innen liegende OSB-Platte als Aussteifung und Dampfbremse, außen diffusionsoffene MDF-Bekleidung), vgl. S. 15, Abb. 2.

In den Varianten mit Zusatzdämmung wird ein 60 mm dickes WDVS montiert, das in unverminderter Stärke im Erdreich weitergeführt wird.

Der Fußbodenaufbau besteht in den ungedämm-

Abb. 1:
Das WUFI®-2D Gitternetz des Konstruktionsaufbaus am Sockelpunkt ohne Perimeterdämmung

ten Varianten aus 120 mm Faserdämmstoff zwischen einer gekreuzten Balkenlage und einem Trockenestrichsystem. Als „worst case“ wird angenommen, dass keine Dampfbremse eingeplant wird, im anderen Fall beträgt der s_d -Wert der Dampfbremse 5 m.

Auf der Fundamentplatte sperrt eine vollflächig verlegte Schweißbahn gegenüber dampfförmigem und flüssigem Wassertransport.

Die Anfangsbedingungen

Es hat sich bewährt feuchtedynamische Simulationen auf einem relativ hohem Niveau der Baustofffeuchte zu starten. Hierbei wird i.d.R. der Ausgleichsfeuchtegehalt zugrunde gelegt, der sich in den Baustoffen bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % einstellt. Für diesen Ansatz spricht folgendes:

Autoren:
Robert Borsch-Laaks,
Sachverständiger
für Bauphysik, Aachen und
Daniel Zirkelbach,
Fraunhofer Institut für
Bauphysik, Holzkirchen

- Wenn Baustellen sich in die Wintermonate hinziehen, was die Regel ist, ist es auch ohne besondere Katastrophen durchaus möglich, dass die Baustoffe sich an winterliche Umgebungsbedingungen anpassen (vgl. Abb. 2).
- Die Ausgleichsfeuchte bei 80 % rel. F. entspricht auch dem sog. „praktischen Feuchtegehalt“ nach DIN 4108. Dieser ist Grundlage für die Feuchte-Zuschläge auf den Labormesswert für die Wärmeleitfähigkeit.
- In Holz und Holzwerkstoffen stellen sich bei 80 % rel. F. massebezogene Feuchtegehalte ein mit den maximal zulässigen Holzfeuchten nach ATV und VOB korrespondieren (vgl. Sorptionskurven in Heft 5/2003, S. 27).

Also gehen wir aus von einer gewissen Auffeuchtung während des Bauprozesses, die sich aber im Bereich des Zulässigen bewegt, weil die wärmetechnischen Eigenschaften der Baustoffe noch den λ -Bemessungswerten entsprechen und die Feuchtezustände in Hölzern und Holzwerkstoffen deutlich unter den Grenzen liegen, die fäulnisgefährdend wären.

Fragen gesucht

Wir haben bereits in verschiedenen Fachbeiträgen dieser Zeitschrift die Methode der hygrothermischen Simulation angewendet (s. Infokasten, S. 13). Hierbei geht es stets darum, dort, wo die Weisheit des „Glaserverfahrens“ aufhört, Klarheit über Feuchtestransport und Feuchtezustände zu erlangen. Zunehmend wird diese fortgeschrittene Form der feuchtetechnischen Bauteilanalyse von Ingenieuren und Bauphysikern als Planungswerkzeug benutzt (z.B. bei außenseitig dampfdichten Dächern,

bei Innendämmungen und generell beim Einsatz feuchteadaptiver Dampfbremsen).

Die einfache Glaserberechnung beschränkt sich auf die Ermittlung von Tauwassermengen und Verdunstungspotentialen unter stationären Klimabedingungen. Es gibt klar definierte Grenzwerte, die über die Zulässigkeit des Konstruktionsaufbaus eine Ja-oder-nein-Antwort erlauben. Gleichwohl wissen wir heute, dass die einfache Schwarz-Weiß-Beurteilung in vielen Fällen nicht unbedingt „auf der sicheren Seite“ liegt (vgl. [Künzel 1999]). Die Beschränktheit der Untersuchung reiner Diffusionsprozesse wird nicht wirklich beseitigt, wenn mit monatlichen Mittelwerten für Temperatur und Luftfeuchte gerechnet wird, wie dies beim „Euro-Glaser“ nach [DIN EN ISO 13788] der Fall ist.

Drei Schritte zur hygrothermischen Analyse

Die Vorgehensweise bei hygrothermischen Simulationen und die Anforderungen an die hierbei zu verwendende Berechnungs-Software sind zunächst in Deutschland über das WTA-Merkblatt 6-2-01/D definiert worden. Dieses wurde inzwischen Grundlage einer neuen Euro-Norm

[DIN EN 15026], die allen Simulationsprogrammen aus verschiedenen Ländern zugrunde liegen sollte.

Für die baupraktische Bewertung von Konstruktionen hat sich hiernach ein dreistufiges Verfahren bewährt.

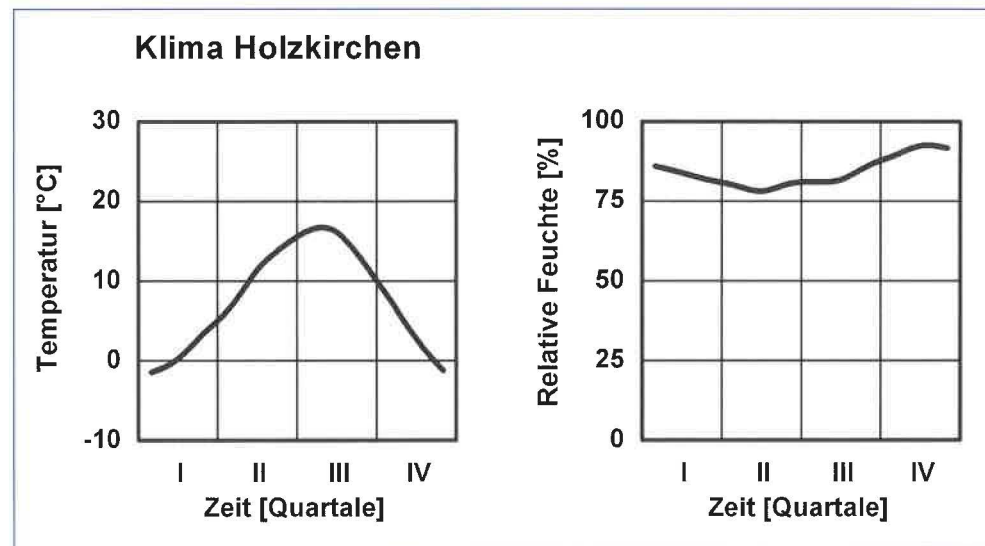
• Untersuchung des Gesamtwassergehaltes

Im ersten Schritt wird der Gesamtwassergehalt der Konstruktion bzw. des interessierenden Bestandteils im Verlauf mehrerer Jahreszyklen untersucht. Es wird eine Antwort auf die Frage gesucht: Hat der Gesamtwassergehalt im Verlauf der Jahre eine fallende oder eine ansteigende Tendenz? Die Betrachtung des Gesamtwassergehaltes ist besonders dann hilfreich, wenn der Einfluss verschiedener Klimarandbedingungen im Rahmen einer Parameterstudie untersucht werden soll (z.B. Einfluss von Klimastandort, Innenraumfeuchte, Orientierung des Bauteils nach Himmelsrichtung bzw. Neigung, etc.).

• Verlauf des Feuchtegehaltes besonders kritischer Bestandteile der Konstruktion

Dieser Punkt ist insbesondere bei Holzbaukonstruktionen von Bedeutung. Er lässt sich durch grafische Ausgabe des massebezoge-

Abb. 2: Jahresverlauf von Außentemperatur und relativer Außenluftfeuchte am Klimastandort Holzkirchen.



nen Feuchtegehaltes (z.B. tragende Hölzer, statisch wirksame Beplankungen) im Hinblick darauf untersuchen, ob Holzschädigung durch Fäulnis zu befürchten ist.

• Untersuchung der relativen Luftfeuchte in den Baustoffporen

Diese „härteste“, dritte Stufe der feuchtetechnischen Analyse hilft dabei, Schimmelrisiken aufzuspüren und Bereiche zu bestimmen, in denen die Funktionstüchtigkeit von Dämmschichten durch zu hohe Wassergehalte eingeschränkt wird. Dies gilt insbesondere für Dämm- und Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die zum einen in ihrer Wärmeleitfähigkeit unmittelbar vom Feuchtegehalt abhängen und/oder durch Feuchteerhöhungen geschädigt werden können.

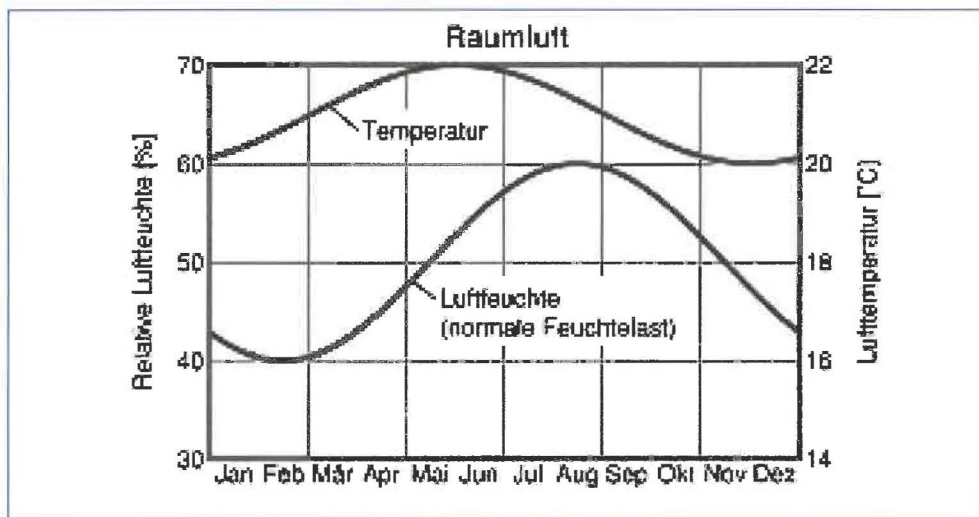


Abb. 3:
Jahresverlauf der Temperatur
und der relativen Raumluft-
feuchte bei normaler Feuchte-
last.

Die Klimarand- bedingungen

Bislang gibt es nur eine begrenzte Anzahl von Standorten für die alle Klimaparameter aufgrund langjähriger meteorologischer Messungen soweit bekannt sind, dass alle Register des Könnens von hygrothermischen Simulationen ausgeschöpft werden können. Einschränkungen gibt es vor allem bei der Verfügbarkeit von Schlagregendaten. Um auf der sicheren Seite liegend zu planen, wird für die Bewertung einer Konstruktion, die überall im Lande eingesetzt werden soll, der Klimadatensatz für den Standort Holzkirchen empfohlen. Dies hat im wesentlichen zwei Gründe:

- Das Holzkirchner Klima ist eines der „härtesten“ in feuchtetechnischem Sinne (lange Frost-

perioden mit niedrigen Temperaturen und hohe Schlagregenbelastung)

- Umfangreicher Datenbestand (Stundenmittelwerte), der mit den Ergebnissen der Freilanduntersuchungen am Fraunhofer Institut vielfach abgeglichen ist.

Für die Abbildung der Temperaturverhältnisse im Erdreich wurde auf die parallel zum Außenklima in Holzkirchen gemessene Temperatur im ungestörten Erdreich in 50 cm Tiefe zurückgegriffen. Um die Beeinflussung der Erdreichtemperaturen durch das Bauteil mit zu berücksichtigen, wird ein Teil des Bodens mit in den Bauteilaufbau integriert und erst an dessen Oberfläche die gemessene Erdreichtemperatur angesetzt.

Innere Feuchtebelastung: Feuchtequellen – Lüftung

Aus den Forschungen des IBP wurden für die WUFI®-Anwendung drei „Feuchtebelastfälle“ definiert (vgl. Abb. 3). Die Feuchtebelast (Differenz zwischen Dampfgehalt innen und außen) ergibt sich aus innerer Feuchteproduktion und Luftwechselrate:

- **Geringe Feuchtebelast.** Relative Raumluftfeuchte $45 \% \pm 15 \%$ im Jahresverlauf (z.B. Büroräume, Schlafräume ohne beson-

dere Feuchtequellen).

- **Normale Feuchtebelast.** Relative Luftfeuchte $50 \% \pm 10 \%$ (übliche Wohnnutzungen inklusive Küchen und häusliche Bäder).
- **Hohe Feuchtebelast.** Relative Luftfeuchte von $55 \% \pm 5 \%$, Sondernutzungen mit hohen Feuchtequellen und geringen Luftwechselraten (kommt im Wohnbereich normalerweise nicht vor).

Was kann das neue WUFI® 2D?

Gegenüber der ersten WUFI® 2D-Version haben sich nicht die Physik und Numerik geändert, aber das Handling des Programms erlaubt weit mehr als früher. An allen Schnittflächen bzw. Grenzen des zu untersuchenden Konstruktionsdetails können die Randbedingungen frei gewählt werden (Temperatur, Feuchte, Strahlungsabsorption, Regenwasseraufnahme etc.). Wie bei vielen zweidimensionalen Wärmebrückenberechnungen werden die Materialien in ein Gitter aus rechteckigen Elementen aufgelöst (s. Abb. 1, S. 10).

Im Rahmen eines Iterationsverfahrens werden nicht nur Wärme-, sondern auch die Feuchteübergänge von Element zu Element berechnet. Darüber hinaus werden sowohl die Wärme- wie auch die Feuchtespei-

cherfähigkeit der Materialien berücksichtigt. Als Transportmechanismen für die Feuchte erfasst das Programm sowohl die Dampfdiffusion als auch Sorptions- und Kapillarleitung (vgl. Heft 5/2003 S. 24 ff.).

Neue Freiheiten in der Analyse

Das Gitternetz zur zweidimensionalen Analyse wird in der neuen Version von WUFI®-2D automatisch generiert. Besonders angenehm ist es, dass nach erfolgter Rechnung die wärme- und feuchtetechnischen Zustände jedes einzelnen Gitterelementes (oder sinnvoller Gruppen solcher) graphisch und numerisch ausgewertet werden können (z. B. durch Kurven, die den zeitlichen Verlauf von Temperatur und Feuchtegehalt darstellen).

Wie schon von WUFI® 1D bekannt, kann man sich den Jahresverlauf in einem Film darstellen lassen – in der neuen 2D-Version auch als 3D-Grafik. Mit diesem Rüstzeug ausgestattet machen wir uns an die Untersuchung des dargestellten Sockelpunktes.

Entwicklung des Gesamtwassergehaltes

Abbildung 4 zeigt über drei Jahreszyklen die Entwicklungstendenz des Gesamtwassergehalts der vier untersuchten Varianten. Alle weisen auf die Dauer eine abfallende Tendenz auf, d.h. alle Bauteile trocknen gegenüber dem Anfangszustand deutlich aus. In allen Baustoffschichten von Außenwand und Fußbodenaufbau befinden sich pro m^3 Konstruktion zusammengekommen etwa 14 (ungedämmte Variante) bzw. 17 (gedämmte Variante) Liter sorbiertes Wasser. (Anmerkung: Der Unterschied im Anfangswassergehalt resultiert daher, dass die gedämmte Version durch das Holzfaserverdichtungs-

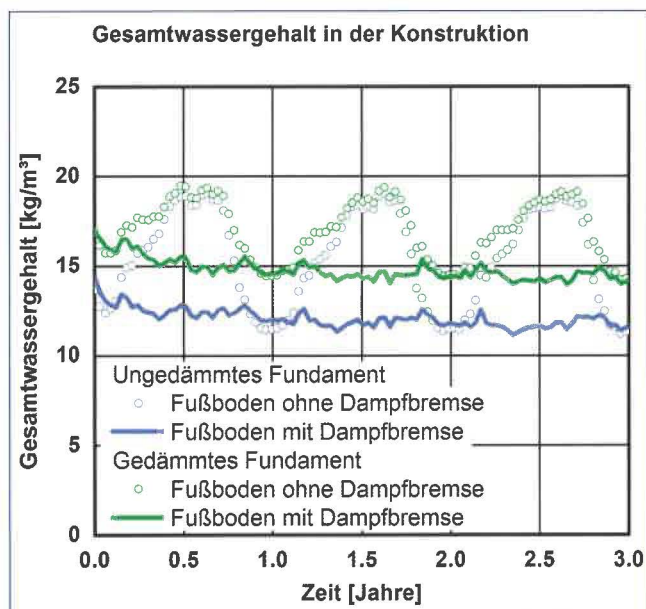


Abb. 4: Verlauf des Gesamtwassergehalts in den Holzbauteilen der untersuchten vier Varianten über drei Jahre. Start der Berechnungen: jew. am 1. Oktober. Außenklima: Holzkirchen, Innenklima: normale Feuchtebelast. Orientierung der Wand: Nord, keine Regenabsorption (Vorhangsfassade)

Die Konstruktionen mit Dampfbremse im Fußbodenaufbau zeigen nur geringe Schwankungen im Wassergehalt und bewegen sich auf einen Wert zu, der 4 bis 5 kg/m³ unter dem Ausgangsniveau liegt.

Bei den Konstruktionen ohne Dampfbremse ist nach Start des Rechenlaufs am 1. Oktober eine starke Auffeuchtung bis zum Ende des ersten Winterhalbjahres feststellbar. Dem folgt eine sommerliche Austrocknung, die auf einem niedrigeren Feuchteniveau endet, als zu Anfang des Jahreszyklus vorgefunden wurde. Die jährlichen, diffusionsbedingten Pendelausschläge nehmen auf die Dauer in der absoluten Höhe ab und der mittlere Feuchtegehalt sinkt auch bei den dampfgeoffenen Varianten.

(Vorläufiges) Fazit

Das erste Ergebnis der Analyse lautet also: Es sind keine Auffeuchtungstendenzen erkennbar, im Gegenteil, alle Varianten trocknen aus unter den anfänglichen Ausgleichsfeuchtegehalt bei 80 % rel. F. Dies ist eine gute Nachricht, aber reicht noch nicht, um die feuchtetechnische Unbedenklichkeit zu bescheinigen. Insbesondere bei den diffusionsoffenen

eine höhere Baustoffmasse beinhaltet.)

Am Ende der drei Jahreszyklen hat sich der Wassergehalt um jeweils etwa 2 bis 3 L/m³ verringert. Der Trocknungsprozess ist auch nach dem 3. Jahr noch nicht abgeschlossen – wie am besten am Vergleich der Maxima und Minima im Kurvenverlauf abgelesen werden kann.

Varianten ist zu prüfen, ob die zeitweise deutliche Feuchteerhöhung an Hölzern oder Dämmstoffen in

bestimmten Bereich Schäden hervorrufen kann. Darum geht es im Teil 4 der Untersuchung.

Infokasten

Ergebnisse von feuchtetechnischen Analysen mit WUFI® in Fachartikeln und condetti®-Details

Wir haben mittlerweile in einer ganzen Reihe von Artikeln in dieser Zeitschrift hygrothermische Simulationen zur feuchtetechnischen Bewertung von Konstruktionen angewendet. Hier ein Überblick der wichtigsten Beiträge:

Jenseits von Glaser - Teil 1,2: Feuchtedynamik von Holz und Holzwerkstoffen, Teil 3: Ein Fallbeispiel zur modernen Analyse von Feuchtetransportvorgängen, Robert Borsch-Laaks, Heft 5/ 6-2003 und 1-2004

Eine Holzbauhülle im Industriebau. Innovativer Holzbau fordert innovative Bauphysik, Robert Borsch-Laaks, Heft 4-2003

Alles Öko oder was? Holzschutz bei Naturdämmstoffen. Robert Borsch-Laaks/ Gerhard Wagner, Heft 2-2004

Belüftet oder lieber doch nicht? Tauwasserschutz bei flach geneigten Dächern in Holzbauweise. Robert Borsch-Laaks, Heft 5-2004

Tauwasserschutz zweidimensional, Teil 1: Wohin geht der Dampf im Detail? Teil 2: Welche Dampfbremse beim Deckenanschluss? Robert Borsch-Laaks, Martin Krus, Heft 5-2005 und 1-2006

Innendämmung von massiven Außenwänden. Eine Chance für den Holzbau? Robert Borsch-Laaks, Wilfried Walther, Heft 5-2005

Wärmetechnische Dachsanierung von außen. Robert Borsch-Laaks, Wilfried Walther

Teil 1: Diffusionsoffen und voll gedämmt - die beste Lösung für das Steildach, Heft 6-2006

Teil 3: Luftdichtung mit Unterspannbahn und Aufsparendämmung mit Holzfasernplatten, Heft 2-2007

Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise.

Teil 1: Belüftet oder nicht? Diffusionsoffen oder diffusiondicht. Daniel Schmidt, Heft 3-2007

Berg- und Tal-Verlegung der Dampfbremse bei der Dachsanierung von außen.

Robert Borsch-Laaks, Heft 1-2008

Condetti®-Detail: Gebäudeabschlusswand - Horizontal, versetzt in Heraklith-Bauweise. Heft 1-2002

Condetti®-Detail: Attika – Flachdach ohne Belüftung. Heft 6-2004

HINWEIS: Auch ältere Hefte sind beim Verlag z. T. noch lieferbar. Abonnenten können auch Artikel als pdf von der Website www.dieneuequadrige.de runterladen. Beim Suchen hilft ein Artikel- Gesamtverzeichnis seit Heft 6-1999, das unter RBL@holzbauphysik.de kostenlos bestellt werden kann.

Tauwasserschutz zweidimensional

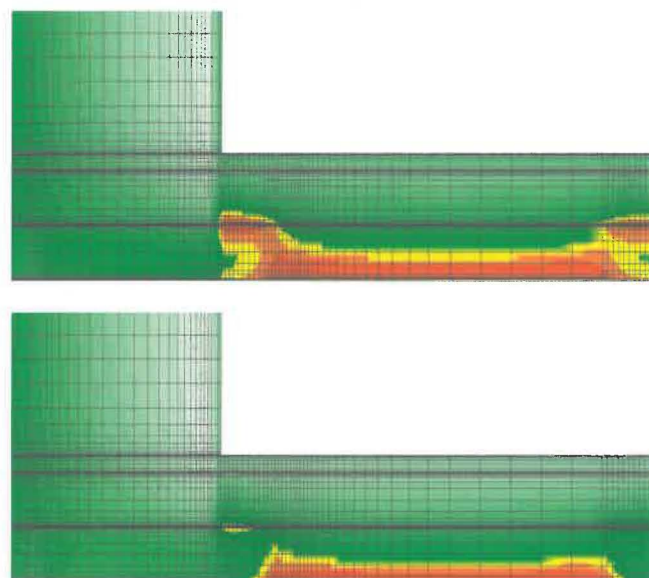
Teil 4: Sockelpunkt bei einem Holzhaus mit Bodenplatte

Ist bei einem Holzrahmenbau-Sockel mit Dämmung auf einer üblichen Fundamentplatte eine Perimeterdämmung rings um den Fundamentsockel feuchtechnisch notwendig? Wird die Fundamentecke ohne Dämmung nicht zu kalt, so dass kritische Feuchtezustände für die Holzkonstruktion entstehen können? Auf eine solche Fragestellung kann man planerisch verwertbare Antworten durch zweidimensionale hygrothermische Simulationen gewinnen.

Im dritten Teil dieser Artikelserie hatten wir als erstes Ergebnis einer dreijährigen WUFI®-Simulation festgestellt: Der Gesamtwassergehalt aller Konstruktionsvarianten weist eine deutliche Tendenz zu sinkenden Feuchtegehalten auf. Aber es bleibt die Frage: Sind die Austrocknungszeiten schnell genug oder können im Verlauf der Jahreszyklen kritische Feuchtezustände für Holz, Holzwerkstoffe und Dämmstoffe entstehen?

Was spart die Perimeterdämmung?

Bevor wir zu den feuchtechnischen Simulationen kommen, sollte aufgrund von Nachfragen energieberatender Leser noch mal die wärmetechnische Seite des Holzbausockelpunktes quantitativ betrachtet werden. Die thermografischen Darstellungen der zweidimensionalen Wärmebrückenberechnungen im ersten Teil (S. 4) hatten es schon angedeutet: Wird – wie üblich – die Bodendämmung auf der Platte angeordnet, so kommt die Sockelkante dem dämmtechnischen Ideal schon sehr nahe. Es gehört zu den Systemeigenschaften des Holzrahmenbaus, dass die Dämmschichten von Boden und Wand fast lückenlos ineinander übergehen können. Was kann da die Perimeterdämmung noch Großes leisten? In Tabelle 1 haben wir die Ergebnisse der 2D-Berechnungen mit dem Programm Therm 5.2 zusammengestellt. Auch ohne PD werden am Sockelpunkt gem. den in Abb. 2 dargestellten Konstruktionstypen negative ψ -Werte (ca. $-0,03$



W/mK) erreicht. Setzt man bei Variante 1 die 20 mm dicke äußere Wand-Beplankung mit Holzfaserdämmplatten als Perimeterdämmung (WLG 035) bis an die Unterkante der Fundamente fort, so lässt sich hierdurch der ψ -Wert nur um $0,01$ W/mK verbessern (Var. 1.1). Dies entspricht einer jährlichen Heizwärmeeinsparung von knapp 1 kWh pro lfm Sockel. Bei einem EFH mit 40 m Umfang sind dies gerade mal rd. 40 kWh p.a. bzw. bezogen auf die Nutzfläche ca. $0,3$ kWh/m²a.

Angesichts dieser geringen Einsparpotenziale sollte man nicht aus den Augen verlieren, dass für die Perimeterdämmung energieintensive XPS-Dämmstoffe eingesetzt werden. Die Spalte „Energetische Amortisationszeit“ in Tab. 1 gibt Auskunft darüber, wie viele Jahre es dauert, bis die „eingebaute Energie“ durch die Einsparung wieder reingeholt wurde. Bei Var. 1.1 sind dies 27 Jahre – eine lange Zeit, aber noch in vertretbarem Rahmen angesichts der langen Nutzungszeit von Perimeterdämmungen.

rel. Humidity [-] $x < 0,50$

	$0,50 \leq x < 0,55$
	$0,55 \leq x < 0,60$
	$0,60 \leq x < 0,65$
	$0,65 \leq x < 0,70$
	$0,70 \leq x < 0,75$
	$0,75 \leq x < 0,80$
	$0,80 \leq x < 0,85$
	$0,85 \leq x < 0,90$
	$0,90 \leq x < 0,95$
	$0,95 \leq x < 1,00$

Abb. 1: Verteilung der relativen Luftfeuchte in Hohlräumen und Poren der Baustoffe jeweils Mitte Februar des 1. (oben) und 3. Jahres (unten). Variante A1: Diffusionsoffener Fußbodenaufbau ohne Perimeterdämmung.

Autoren:
Robert Borsch-Laaks,
Sachverständiger
für Bauphysik, Aachen und
Daniel Zirkelbach,
Fraunhofer-Institut für
Bauphysik, Holzkirchen

Weniger ist mehr

Der Löwenanteil der möglichen Verbesserung (70%) kann schon durch eine „Spardämmung“ erreicht werden, die nur den freiliegenden oberen Teil des Fundamentes abdeckt (Var. 1.2). Der reduzierte Materialeinsatz rechnet sich (energetisch) dann schon in 10 Jahren.

Die Variante 2 mit Außendämmung des Ständerwerks weist ähnliche Werte für die Verbesserungspotentiale auf. Besonders ungünstig ist die „gut gemeinte“ Lösung mit einer 60 mm Perimeterdämmung bis an den Fußpunkt der Fundamente (Var. 2.3). Der bescheidenen Reduzierung der Verluste um 1,1 kWh/ma steht ein Primärenergieaufwand zur Herstellung von 66 kWh/m gegenüber, d.h. die Rückzahlzeit beträgt dann 61 Jahre – wohlgerne energetisch betrachtet, ökonomisch sind alle Varianten zur Perimeterdämmung weit jenseits der Wirtschaftlichkeit.

Die letzten Zeilen des Vergleichs zeigen einen interessanten Effekt bei der Wärmebrückenoptimierung. Eine Erhöhung der Fußbodendämmung von 120 auf 200 mm (Var. 3.0) ändert nichts Wesentliches am ψ -Wert, aber der Effekt der Perimeterdämmung wird noch geringer (Var. 3.1), weil die 2D-Sockelverluste vor allem aus der Querströmung der Wärme resultieren, die in die hochleitfähige Betonplatte über die Fußbodenfläche eindringt. Viel entscheidender ist jedoch, dass die erhöhte Bodendämmung bei 100 m² Fläche eine jährliche Heizwärmeeinsparung von rd. 600 kWh, also das 15-fache der Perimeterdämmung, erbringt und diese Maßnahme sich schon nach 4 Jahren energetisch amortisiert hat.

Tabelle 1: Verbesserung der Wärmebrücken-Koeffizienten am Sockelpunkt durch verschiedene Dämmmaßnahmen

Var. Nr.	Außendämmung (Holzfaserplatten)	Perimeterdämmung (WLG 035)	WB-Koeff. ψ [W/mK]	Verbesserung zur 0-Version [W/mK]	Einsparung p. lfm Sockel [kWh/ma]	Energet. Amort. Zeit [Jahre]
Ohne Außendämmung						
1.0	20 mm WLG 055	keine, Sockelputz	-0,030	-	-	-
1.1	20 mm WLG 055	20 mm, h=1100 mm	-0,040	-0,010	-0,8	27
1.2	20 mm WLG 055	20 mm, h=300 mm	-0,037	-0,007	-0,6	10
Mit Außendämmung						
2.0	60 mm WLG 045	keine, Sockelputz	-0,031	-	-	-
2.1	60 mm WLG 045	20 mm, h=1100 mm	-0,042	-0,011	-0,9	25
2.2	60 mm WLG 045	20 mm, h=300 mm	-0,039	-0,007	-0,6	10
2.3	60 mm WLG 045	60 mm, h=1100 mm	-0,044	-0,013	-1,1	61
2.4	60 mm WLG 045	60 mm, h=1100 mm	-0,039	-0,008	-0,7	26
Mit 200 mm Fußbodendämmung						
3.0	60 mm WLG 045	keine, Sockelputz	-0,031	-	-	-
3.1	60 mm WLG 045	60 mm, h=1100 mm	-0,040	-0,009	-0,8	86

Bleibt nur noch die Frage, ob die Perimeterdämmung evt. aus Gründen des Tauwasserschutzes am Ende doch erforderlich ist.

Gibt es Tauwasser ... und ist dies schädlich?

Auf der Höhe der ersten winterlichen Tauperiode ergibt sich bei allen Konstruktionsvarianten ein ähnlicher Gesamtwassergehalt (vgl. Abb. 4, S. 13). Betrachten wir zu diesem Zeitpunkt ein „Standbild“ der Verteilung der relativen Porenluftfeuchtigkeit im Konstruktionsquerschnitt bei der Variante ohne Perimeterdämmung und ohne Dampfbremse im Fußboden (Var. A 1 in Abb. 1):

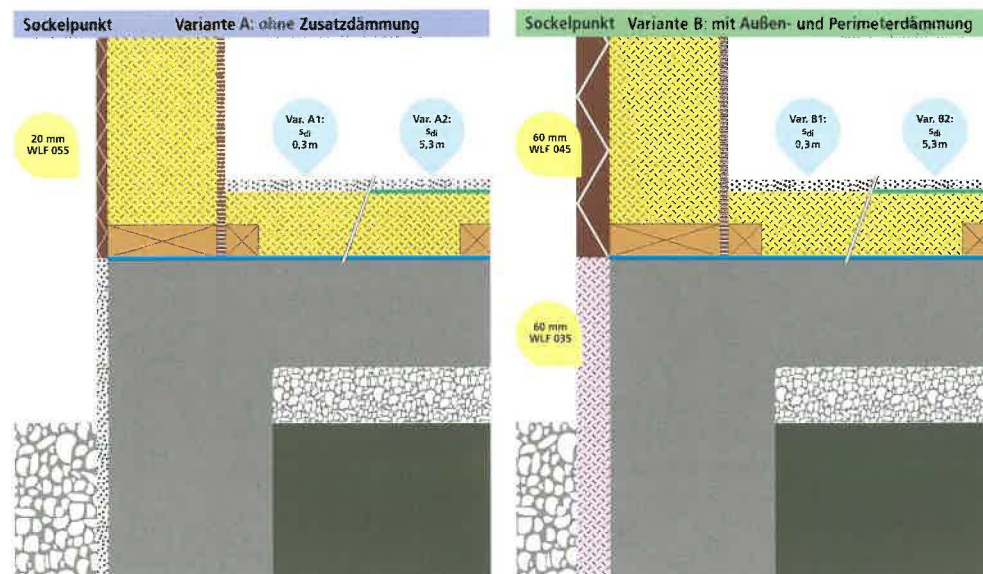
Es sind einige Bereiche zu erkennen, die hohe Luftfeuchtwerte in den Porenhohlräumen der Baustoffe aufweisen. Auf der kalten Seite der Dämmung und auch in den Randzonen der Auflagerhölzer des Fußbodenaufbaus treten Porenluftfeuchten von mehr als 90 % auf. Ist dies eine Gefahr für die Holzkonstruktion?

Es sollten aus zwei Gründen vorschnelle Schlüsse vermieden werden:

- Gefährdungen durch Holz zerstörende Pilze oder auch Schimmelbefall treten nicht spontan, sondern in Abhängigkeit von Zeitdauern und Temperaturverhältnissen auf.

Abb. 2: Die untersuchten Konstruktionsvarianten:

- A: Ohne Perimeterdämmung**
- 1) Fußboden ohne Dampfbremse
 - 2) Fußboden mit DB, $s_d = 5,0$ m
- B: Mit Außen- und Perimeterdämmung (60 mm)**
- 1) Fußboden ohne Dampfbremse
 - 2) Fußboden: mit DB, $s_d = 5,0$ m



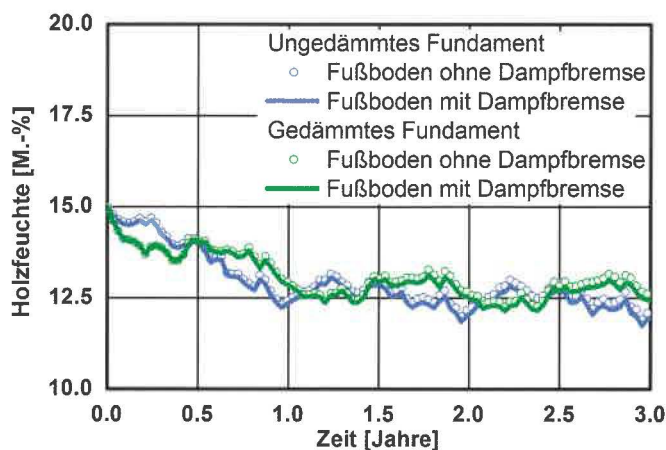


Abb. 3:
Verlauf der Holzfeuchte in der
Schwelle in den ersten drei
Jahreszyklen
Hinweis: Berechnungsbeginn
für einen Jahreszyklus ist jew.
1. Oktober

• Die Ausgleichsfeuchte von Holz und Holzwerkstoffen folgt der Erhöhung der relativen Luftfeuchte stets mit einer mehr oder weniger großen Verzögerung bei gleichzeitigem Abkappen der Feuchte-spitzen.

Dass sich die Ergebnisse aus Diffusions- und Tauwasserberechnungen und der tatsächliche Feuchtegehalt von Hölzern deutlich unterscheiden können, hatte bereits das Fraunhofer Institut für Holzforschung (WKI Braunschweig) in einer Untersuchung an Holztafelbauten im Jahre 1983 festgestellt. Im Vergleich von Glaserberechnungen und den bei Freilandversuchen praktisch gemessenen Feuchtegehalten hatten die Forscher dieses Phänomen mit einem anschaulichen Begriff versehen: Die „**Sorptionsträgheit**“ von Holz, vgl. [Kosatz u. Kratz 1983]. Das heißt, die Materialfeuchte folgt der Erhöhung der Porenluftfeuchtigkeit und damit auch der befürchteten Tauwasserbildung nur mit deutlicher Verzögerung. Dies nährte schon damals den Verdacht der Forscher, dass Tauwasserberechnungen alleine keine zuverlässigen Aussagen über das praktische Feuchteverhalten unter realen Klimarandbedingungen erlauben.

Mit Hilfe der hygrothermischen Simulation kann man diesen dynamischen Vorgang heute rechnerisch verfolgen.

des. Entsprechend den Vorgaben (s. Randbed. Abb. 4, S. 13) startet die Schwelle mit einer Anfangsfeuchte von 15 Masse-%. Am Anfang des Kurvenverlaufs in Abb. 3 scheint sich die landläufige Meinung zu bestätigen, dass die Varianten ohne Sockeldämmung sich ungünstiger verhalten. Während die außen gedämmten Konstruktionen keinen Anstieg der Holzfeuchte im ersten Winter aufweisen, bleibt der Feuchtegehalt in den anderen Fällen in etwa auf dem Ausgangsniveau.

Im darauf folgenden Sommer kehren sich jedoch die Verhältnisse um und die Feuchte nimmt bei den ungedämmten Varianten kontinuierlich ab, während sie in den anderen Fällen bis zum Ende des Sommers auf hohem Niveau verbleibt. Dieser antizyklische Verlauf setzt sich in den folgenden Jahren fort, wobei die Unterschiede immer geringer werden. Generell kann man sagen, dass in allen Varianten eine Abtrocknung der Schwelle gegenüber dem Einbauzustand gesichert ist und deshalb eine Gefährdung ausgeschlossen werden kann. Abbildung 3 zeigt, dass der mittlere Feuchtegehalt im Verlaufe von drei Jahren auf Werte um 12 M-% absinkt. Wir befinden uns also weit unterhalb kritischer Werte.

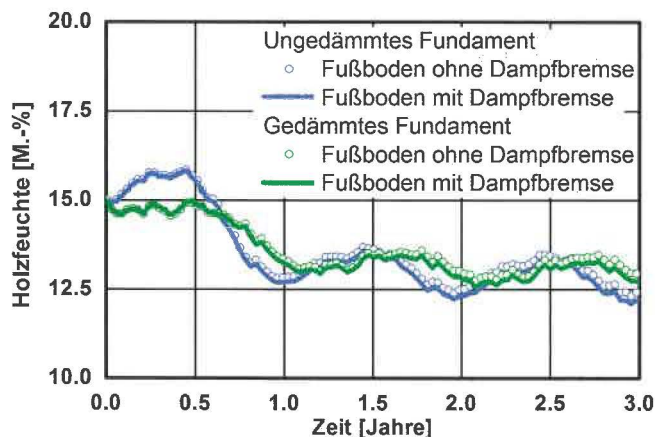
Auch am Schwellenrand: Alles o.k.

Die thermische Analyse (S. 4) hatte gezeigt, dass vor allem die untere rechte (innere) Ecke der Schwelle in Folge niedriger Temperaturen tauwassergefährdet sein könnte. Deshalb haben wir eine gesonderte Auswertung für diesen Teil des Holzquerschnittes vorgenommen (Abb. 4). Im ersten Winter kommt es bei ungedämmten Fundamenten zunächst zu einem

Holzfeuchte in der Schwelle

Das kritischste Bauteil im Konstruktionsdetail ist sicher die Schwelle des Holzrahmenbauelementes, denn auf ihr ruht die gesamte Last des Gebäudes. Deshalb ist deren Sicherheit vor Fäulnis von zentraler Bedeutung für die Standsicherheit des Gebäu-

Abb. 4:
Verlauf der Holzfeuchte in den
unteren 5 mm der inneren
Hälfte der Schwelle.



Anstieg der Masse bezogenen Holzfeuchte, der aber unter 20 M-% bleibt. Diese Erscheinung resultiert aus einer Umlagerung der eingeschlossenen Anfangsfeuchte.

Der Unterschied zum gedämmten Fundament beträgt allerdings weniger als 2 M-%. Im Verlauf des Austrocknungsprozesses verlieren sich die Unterschiede zusehends. Insgesamt nimmt die Schwelle am Diffusionsprozess augenscheinlich kaum teil, was verständlich ist, wenn man bedenkt, dass die bis zum Boden reichende OSB-Bepankung einen s_d -Wert von ca. 2 m Luftschichtdicke besitzt.

Deutlich kritischer: Die Lagerhölzer

Abbildung 5 zeigt einen deutlichen und länger anhaltenden Anstieg der Holzfeuchte im außen liegenden Randholz des Fußbodenaufbaus. Diese Erscheinung betrifft jedoch nicht primär die Konstruktionen mit ungedämmtem Fundamentsockel, sondern diejenigen, bei denen im Fußbodenaufbau keine Dampfbremse eingebaut wurde. Verantwortlich ist der Diffusionsstrom aus dem Innenraum, der bei den Fußbodenkonstruktionen ohne Dampfbremse naturgemäß am höchsten ist.

Dass es sich hierbei vor allen Dingen um eine Wechselwirkung mit dem Innenklima handelt und nicht die Dämmung des Fundamentsockels entscheidend ist, zeigt der Vergleich mit dem Holzfeuchteverlauf im rechten Randholz (o. Abb.). Dieser ist dem im linken sehr ähnlich.

Feuchtegehalt in der Bodendämmung

Im Standbild (Abb. 1) fällt als erstes ins Auge, dass oberhalb der Grenz-

schicht zwischen Fundamentplatte und Wärmedämmung erhöhte Luftfeuchten auftreten. Dies ist zunächst nicht weiter verwunderlich, da die Momentaufnahme in der winterlichen Tauperiode erfolgte. Deshalb haben wir für die untersten 10 mm der Dämmschicht den Jahresverlauf gesondert analysiert (Abb. 6). Die Konstruktionen **ohne** Dampfbremse weisen in allen Jahren relativen Luftfeuchten in den Hohlräumen der Mineralfaser-Dämmung nahe der 100 %-Grenze auf, d.h. es tritt zumindest in Teilbereichen der Schicht Tauwasser auf.

Anders bei den Bodenaufbauten **mit** Dampfbremse. Auch hier herrschen lange Zeit Luftfeuchten von über 90 %. Tauwasserbildung tritt allerdings nicht auf und die Maxima und die Zeitdauern weisen in den Folgejahren eine deutliche Tendenz zu niedrigeren Werten auf. D. h. in diesen Varianten gibt es im Wesentlichen eine klimabedingte Umlagerung der Einbaufeuchte, die im Laufe der Zeit abnimmt – langsam zwar (wg. der Dampfbremsen auf beiden Seiten) aber stetig.

Nicht sorptionsfähige Materialien wie Mineralfasern haben mit solchen Feuchtegehalten keine Verrottungsprobleme. Auch eine nennenswerte Verringerung ihrer Dämmfähigkeit ist nicht zu erwarten. Der Wassergehalt beträgt zwar in den unteren 5 mm im Wintermittel 25 Vol-% (was eine Erhöhung des λ -Wertes auf 0,08 W/mK bedeutet), auf den U-Wert umgerechnet ändert dies weniger als 2% am Dämmwert des Bodenaufbaus.

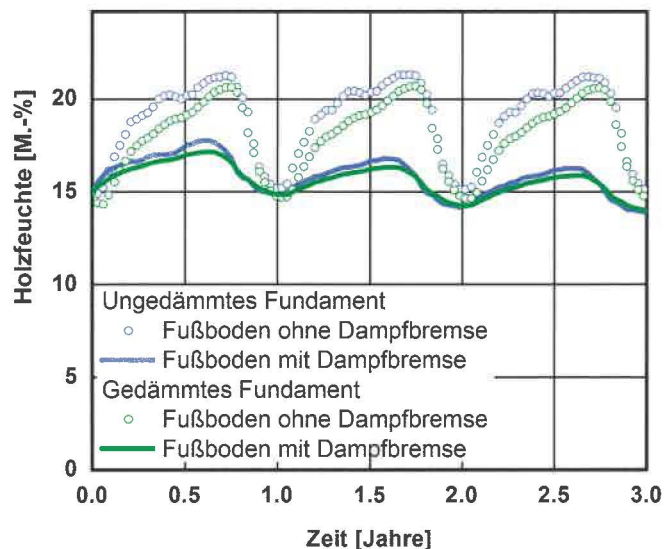


Abb. 5:
Verlauf der Holzfeuchte im
linken Randholz des Fuß-
bodenaufbaus.

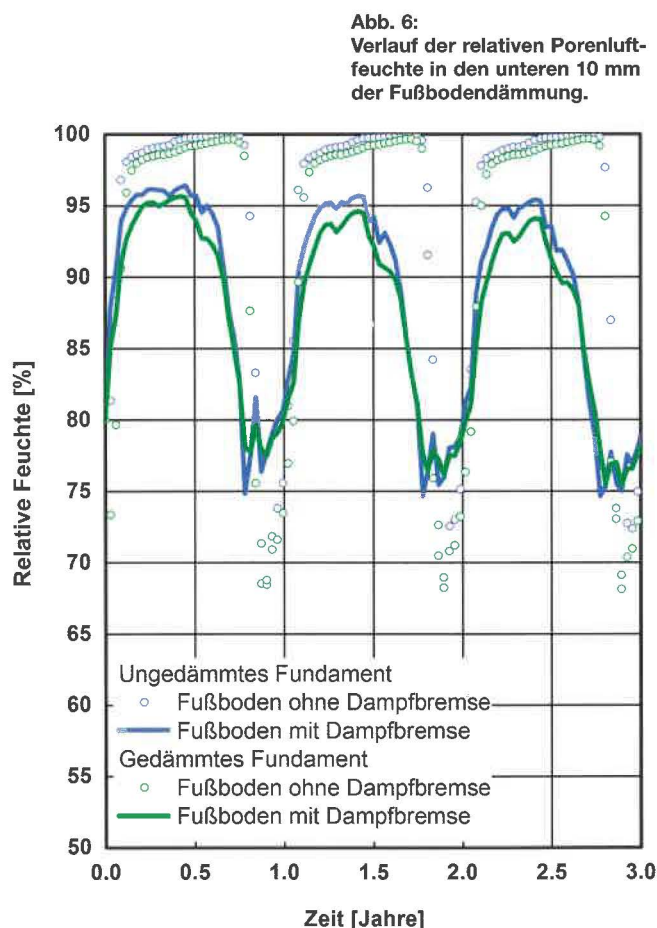


Abb. 6:
Verlauf der relativen Porenluft-
feuchte in den unteren 10 mm
der Fußbodendämmung.

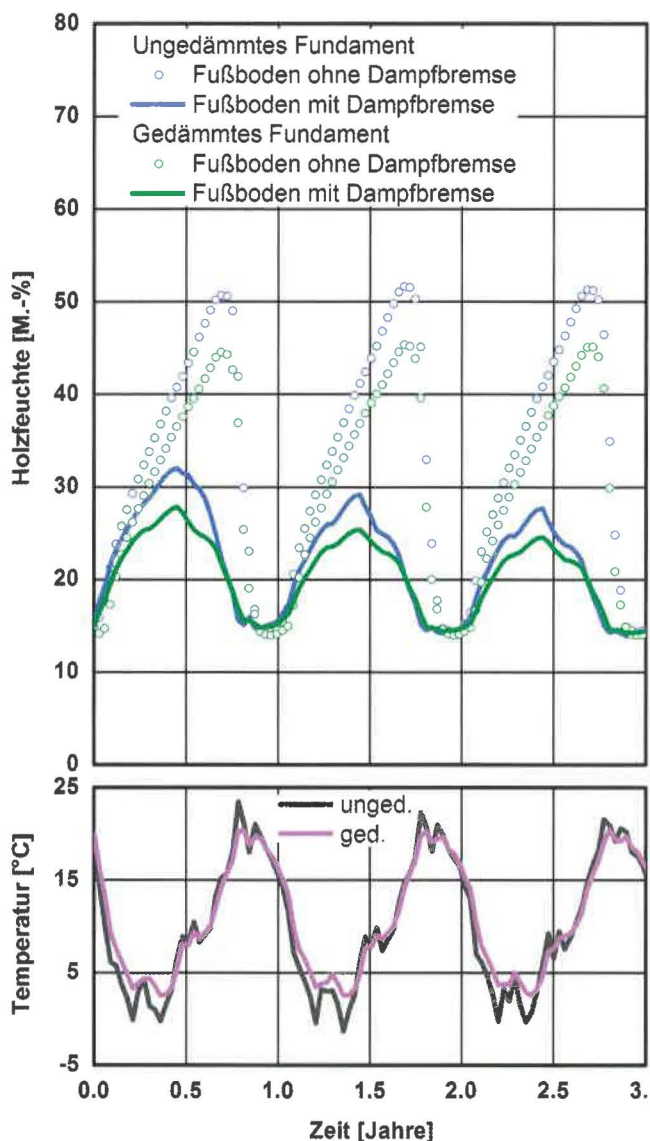


Abb. 7:
oben:
Verlauf der Holzfeuchte im
Eckbereich (5*5 mm) des Kon-
struktionsholzes am äußeren
Rand des Fußbodenaufbaus.
unten:
Verlauf der Temperaturen im
untersuchten ECKelement

Hygroskopische Dämmstoffe brauchen eine Dampfbremse

Vom Einsatz feuchteempfindlicher Naturdämmstoffe ist ohne Dampfbremse allerdings abzuraten. Die über Monate andauernden hohen Luftfeuchten lassen Schimmelbildung befürchten. Es mag sein, dass die Sorptionsfähigkeit von solchen Dämmstoffen die Feuchteansammlungen abpuffern und verteilen kann. Ob dies in vorliegendem Fall ausreichen würde, bedarf einer gesonderten Untersuchung.

Um beim heutigen Stand der Wissens auf der sicheren Seite zu konstruieren, ist zu beachten:

- Dampfbremse in den Fußbodenaufbau
- Dämmstoffe verwenden mit guter Schimmelschutzausrüstung (vgl. Heft 1/2007, S. 11 ff.)

Die kritischste Zone: Die Ecke des Randholzes

Wie das Standbild (Abb. 1) schon zeigt, treten besonders hohe Feuchtegehalte an den unteren Ecken der Konstruktionshölzer auf. Dies lässt befürchten, dass vielleicht diese Bereiche nach und nach wegfaulen könnten.

Die dreijährige Simulation des Feuchtegehaltes dieses Eckbereiches (5*5 mm) in Abb. 7 zeigt dementsprechend deutlich höhere Maxima und Amplituden der Jahreszyklen. Die Konstruktionen ohne Dampfbremse im Fußboden (o. Abb.) erreichen in allen Jahren Feuchtegehalte jenseits des Fasersättigungsgrades – und das zu Zeiten relativ hoher Temperaturen (Frühjahr bis Sommer). Im Lauf der Jahre ist keine Verbesserung der Situation erkennbar.

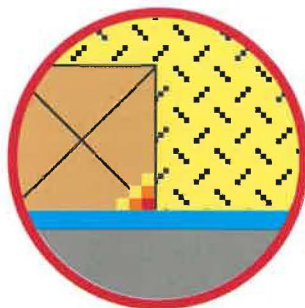
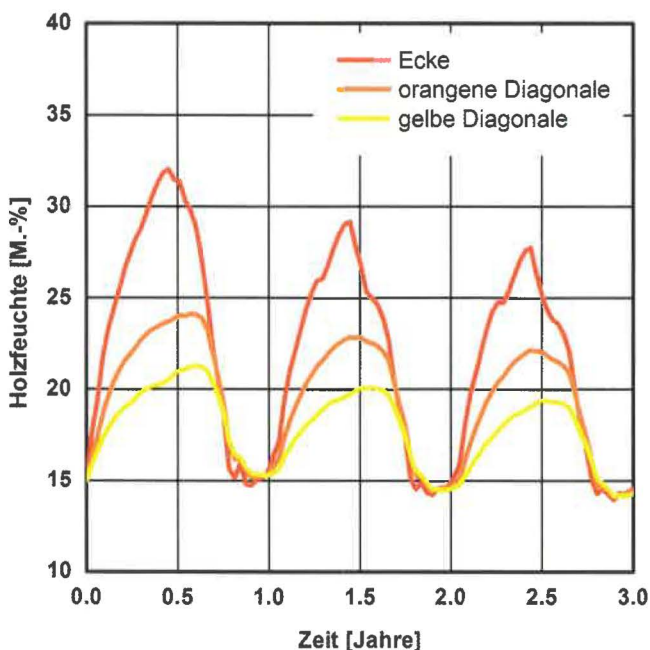


Abb. 8: Detailanalyse zur unteren rechten Ecke des linken Randholzes im Fußbodenaufbau (Var. A2). Die feuchttechnisch untersuchten Elemente des Holzquerschnittes haben jeweils eine Kantenlänge von 5 mm (siehe Lupe).

Auch in den Konstruktionen **mit** Dampfbremse kommen Feuchtegehalte deutlich über 20 M-% vor. Auch nach gewisser Abtrocknung im 3. Jahreszyklus liegt die Holzfeuchte in diesem Bereich ca. ein halbes Jahr lang über 20 M-% (Maximum: 28 M-%). Aus Sicht des Holzschutzes erscheint dies als recht bedrohliches Szenario.

Ein Blick auf die jeweils herrschenden Temperaturen (unten in Bild 7) mag aufkommende Ängste relativieren. Bei knapp über 0°C bis etwa 10°C herrschen ungünstige Bedingungen für Keimung und Wachstum von Pilzen jedweder Art.

Noch genauer hingeschaut

Um das mögliche Problem räumlich näher einzugrenzen, haben wir für die Variante A2 (Sockel ohne Perimeterdämmung aber **mit** Dampfbremse) die Nachbarzellen des Eckelementes ausgewertet. Abb. 8 zeigt Erstaunliches: Schon die unmittelbaren Nachbarelemente der Ecke weisen deutlich niedrigere Feuchtegehalte auf (orange-ne Diagonale). Der Zeitraum der Überschreitung der 20 %- Marke wird um fast 30 % verkürzt und das Maximum sinkt auf ca. 22 M-%. Die nächste Diagonale (10 – 15 mm von der Spitze entfernt, gelbe Kurve) bleibt im Mittel ganzjährig unter dem Grenzwert.

Also ist die durch Diffusion an die kalte Sockellecke hervorgerufene Feuchteerhöhung von lokal äußerst begrenzter Ausdehnung. Aus der Sicht der Holzschutzes erscheint es fraglich, ob sowenig feuchte Holzmasse in der Lage ist, einen Pilz zu ernähren. Aus der Praxis sind den Autoren jedenfalls bislang keine Feuchteschäden an derarti-

gen Fußbodenkonstruktionen bekannt geworden, die in ihrem Schadensbild ein diffusionsbedingtes Wegfäulen der Ecken der Lagerhölzer zeigen.

Neue Fragen an die Forschung

Um zu beurteilen, ob berechnete Feuchtezustände wirklich kritisch sind, fehlen der Wissenschaft noch überzeugende Modelle, um die Ergebnisse hygrothermischer Simulationen (holz)biologisch zuverlässig bewerten zu können.

Für die Gefährdung des Holzes durch Schwämme gilt grundsätzlich, „*dass alle Holzpilze Holz erst oberhalb des Fasersättigungsbereichs von etwa 30 % u nennenswert schädigen, da nur dann genügend freies Wasser in den Lumina der Holzzellen für den Stoffwechsel der Pilze vorliegt.*“ [Müller 2005].

An dieser Stelle muss hinterfragt werden, ob die Grenzziehung des normierten Holzschutzes ($u_m \leq 20 \text{ M-\%}$) auf die Auswertung hygrothermischer Simulationen zu übertragen ist. Nach [Schulze 1997] war die Festlegung der 20% Grenze nicht erfolgt, weil bei diesem Feuchtegehalt Fäule entsteht, sondern um ein Sicherheitspolster für die Unwägbarkeiten der punktuellen, elektrischen Holzfeuchtemessung zu schaffen.

2D- Simulationen sind jedoch mit diesen Unsicherheiten nicht behaftet. Von daher erscheint es sinnvoll, hierfür aus der Kenntnis von Holz- und Schädlingsbiologie andere Bewertungskriterien zu entwickeln. Diese sollten neben dem kritischen Feuchtegehalt, die Temperatur bezogenen Wachstumsbedingungen und die räumliche Ausdehnung berücksichtigen. Hier ist die Forschung gefragt, analog zur

„Modellspore“ für Schimmelpilzwachstum interdisziplinär wissenschaftlich abgesicherte Methoden zu entwickeln, um aus hygrothermischen Simulationen verlässliche Aussagen für den Holzschutz zu ermöglichen.

Fazit

Diese Artikelserie hat in Ihren vier Teilen durch zweidimensionale thermische und hygrische Berechnungen und Simulationen einige häufig diskutierte Detailfragen aus dem Holzrahmenbau geklärt.

- Die Dämmdicke von Innenschalen vor Holzständern oder -sparren darf weit mehr betragen als die vom Nachweis befreiten 20 % der Gesamtdämmstärke nach DIN 4108-3.

Der Nachweis, dass die Faustregel 1/3 zu 2/3 ebenfalls auf der sicheren Seite liegt, kann durch 2D-Wärmebrückenanalyse und angepasste Glaserberechnung geführt werden.

- Für den Anschlussstreifen, der zur Luftdichtung am Deckenanschluss bei Plattformbauweise eingesetzt wird, sollten diffusionsoffene oder feuchtevariable Bahnen verwendet werden.

Empfehlenswert ist, das Deckenaufleger so zu konstruieren, dass außenseitig vor der Bahn noch 40 bis 60 mm Dämmung angebracht werden können.

- Perimeterdämmungen sind bei Holzbauten mit Dämmung auf einer Betonbodenplatte wärmetechnisch kaum wirksam und äußerst unwirtschaftlich. Aus Gründen des Tauwasserschutzes sind sie ebenfalls überflüssig.

Wichtig ist allerdings der Einbau einer Dampfbremse

oberhalb der Bodendämmung und der Einsatz geeigneter Dämmstoffe. Um temporäre Befeuchtungen von Teilbereichen durch Umlagerung eingeschlossener Feuchte auf ein Minimum zu begrenzen, ist die Verwendung von trockenem Bauholz hier von besonderer Bedeutung, weil die Austrocknungspotentiale durch beidseitige Dampfbremsen gering sind. ■

Literaturverweise

[DIN EN 13788:2001]
Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren, Beuth-Verlag Berlin 2001-11.

[DIN EN 15026:2007]
Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation, verabschiedet am 31.1.07, Veröffentlichung folgt im Beuth-Verlag Berlin

[Kossatz u. Kratz 1983]
G. Kossatz, W. Kratz: Das feuchtigkeits-technische Verhalten hölzerner Außenbauteile in Theorie Praxis. In: Holz als Roh- und Werkstoff, 41. Jg., S. 27-31 u. S. 95-100, Springer Verlag, Berlin 1983.

[Künzel, H.M. 1999]
Künzel, H.M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – Quo vadis?, IBP Mitteilungen 355, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart/Holzkirchen, 1999

[Müller 2005]
Johann Müller (Hrsg): Holzschutz im Hochbau, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2005

[Schulze 1997]
H. Schulze: Baulicher Holzschutz, Informationsdienst Holz. Reihe 3, Teil 5, Folge 2, 1997-09 [WTA 2001]

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.: WTA-Merkblatt 6-2-01. Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. WTA-Publications München: 2001