

Auswirkungen der Luft(un)dichtheit auf die Feuchtebelastung von Konstruktionen mit Innendämmsystemen

Dipl.-Ing. Paul Wegerer, Dipl.-Ing. Maximilian Neusser und
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar

*alle: Institut für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz,
Technische Universität Wien, Karlsplatz 13/206-2, 1040 Wien, Österreich
Tel. (+43) 1 / 58801-20661, Fax (+43) 1 / 58801-920661, paul.wegerer@tuwien.ac.at*

KURZFASSUNG

Der Beitrag beleuchtet das Schadensrisiko von Innendämmsystemen speziell unter dem Fokus der Luftdichtheit am Beispiel eines Holzbalkenanschlusses, der nachträglich mit einer Innendämmung verkleidet wird. Da in der Praxis keine absolut luftdichten Konstruktionen erzielbar sind, müssen die Auswirkungen von Leckagen und die damit verbundene Durchströmung des Innendämmsystems beachtet werden. Dabei gilt es, verschiedene Parameter wie beispielsweise materialspezifische Kenndaten, Klimarandbedingungen, konstruktive Größen bis hin zu verarbeitungstechnischen Randbedingungen zu erfassen bzw. in der Planung zu berücksichtigen. Ziel ist es, die Zuverlässigkeit einer Konstruktion bereits in der Planungsphase anhand von hygrothermischen Bauteilsimulationen unter der Berücksichtigung von möglichen Strömungspfaden abschätzen zu können, um spätere Schäden zu vermeiden. Anhand des vorliegenden Beispiels soll gezeigt werden, wie dicht Anschlüsse von Konstruktionen hergestellt werden können und wie sich Leckagen auf das hygrothermische Verhalten von Bauteilen auswirken. Die Ergebnisse zeigen, dass Konstruktionen, die mit einer Dampfbremse ausgestattet und im Falle absoluter Luftdichtheit funktionstüchtig sind, unter Berücksichtigung geringster Strömungspfade bzw. Undichtheiten und typischer Druckverhältnisse versagen.

SCHLÜSSELWÖRTER

Innendämmung, Luftströmung, Luftdichtheit, Balkenkopf, Dauerhaftigkeit

EINLEITUNG

Die Anbringung einer Innendämmung an Außenwandmauerwerk ist mit sehr komplexen feuchtephysikalischen Einflüssen verbunden. Es ist daher wichtig, die Einflussfaktoren vor einer Dämmmaßnahme zu erörtern und abzuwägen. Vor allem die Randbedingungen, die durch eine Befeuchtung bzw. durch die bestehende Konstruktion gegeben sind, sollten genau untersucht und in die Planung einbezogen werden.

Der vorliegende Beitrag soll die Wichtigkeit dieser Randbedingungen mit speziellem Fokus auf die Durchströmung von innengedämmten Konstruktionen hervorheben und die Auswirkungen von unsachgemäß hergestellten Innendämmsystemen anhand der Dauerhaftigkeit darstellen. Am Beispiel eines Holzbalkenanschlusses werden verschiedene Luftdichtheitsszenarien vorgestellt und diskutiert.

PLANUNG UND DIMENSIONIERUNG EINER INNENDÄMMUNG

Bei der Planung einer Innendämmmaßnahme müssen verschiedenste Parameter sowie deren Zusammenhänge berücksichtigt werden. Neben den materialspezifischen Angaben sowie den hygrothermischen Zuständen in der Bestandskonstruktion sind vor allem die Abmessungen und die Anschlussdetails von Interesse. Für den Planer einer Innendämmung steht eine grundlegende Frage im Mittelpunkt: Welche Dämmstärke ist maximal zulässig, um für eine bestimmte Bestandskonstruktion ein dauerhaft funktionstüchtiges Innendämmsystem auszuarbeiten? Bild 1 zeigt drei mögliche Parameter, die die Wahl der richtigen Dämmstärke massiv beeinflussen.

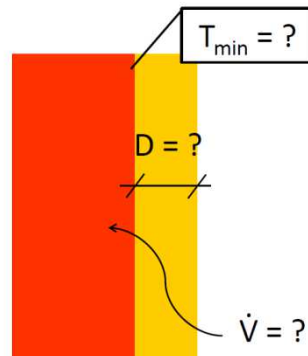


Bild 1: Parameter für die Funktionstüchtigkeit eines Innendämmsystems

Wie in Wegerer (2010) beschrieben bildet eine ausführliche Bauaufnahme der Bestandskonstruktion die Basis für die Planung einer Innendämmung unter Berücksichtigung aller möglichen Randbedingungen und Einflussgrößen.

BERECHNUNGSVERFAHREN FÜR INNENDÄMMSYSTEME

Das Berechnungsverfahren bzw. der Nachweis eines Innendämmsystems auf Funktionstüchtigkeit und Dauerhaftigkeit erfolgt nach den nationalen Normen wie beispielsweise der ÖNORM B 8110-2 oder der europäischen Norm EN ISO 13788. Diese Regelwerke stützen sich im Wesentlichen auf das Glaserverfahren und liefern somit einen unzureichenden Nachweis der Dauerhaftigkeit, da weder instationäre Einflüsse noch eine mögliche Durchströmung der Konstruktion berücksichtigt werden.

Mit der Anwendung von Simulationstools in der Planung von Innendämmsystemen können instationäre Zustände unter realen Klimabedingungen abgebildet werden. Der Vergleich von Messungen an Innendämmsystemen und parallel dazu durchgeführten Simulationen zeigt, dass die Tools realitätsgetreue Ergebnisse liefern. Die Grundlage für hygrothermische Simulationen bildet die EN 15026. Auch diese Norm geht jedoch nicht auf die Berücksichtigung von Leckagen in der luftdichten Schicht einer Konstruktion ein.

Nach aktuellem Stand der Technik sollten Innendämmsysteme mit hygrothermischen Simulationstools geplant und dimensioniert werden. Die derzeit in der Planung eingesetzten Programme berücksichtigen keine Durchströmung der Konstruktion und können somit die Frage nach der Funktionstüchtigkeit des Systems nur unzureichend beantworten. Die Sensibilität einer Innendämmung auf eine mögliche Durchströmung soll anhand des folgenden Beispiels veranschaulicht werden.

LUFT(UN)DICHTHEIT AM BEISPIEL EINES HOLZBALKENANSCHLUSSES

Modellbildung

Der Einfluss der Luftdichtheit von Konstruktionen auf die Feuchtebelastung soll im Folgenden am Beispiel eines Deckenbalkenanschlusses untersucht werden. Dabei wird angenommen, dass eine Wohnung nur teilweise saniert wird und dass die Deckenkonstruktion in der ursprünglichen Form erhalten bleibt. Die Deckenbeschüttung und der Fußbodenaufbau bleiben unverändert, ebenso die Deckenuntersicht, die Sturzschalung und der Verputz. Bild 2 zeigt einen Schnitt durch den Deckenanschluss des Modells. Die Innendämmung wird auf die bestehende Deckenschalung aufgestellt. Um die Montage des Dämmmaterials zu ermöglichen, muss lediglich ein kleiner Bereich des Fußbodenaufbaus geöffnet werden. Die für die Innendämmkonstruktion erforderliche Dampfbremse wird in den Fußboden eingebunden. Sie wird hinter der innenseitigen Gipskartonplatte geführt, wobei nur der Holzbalken diese luftdichte Schicht durchdringt. Diese Vorgehensweise ermöglicht die thermische Sanierung einzelner Wohnungen, ohne benachbarte Wohneinheiten zu beeinträchtigen.

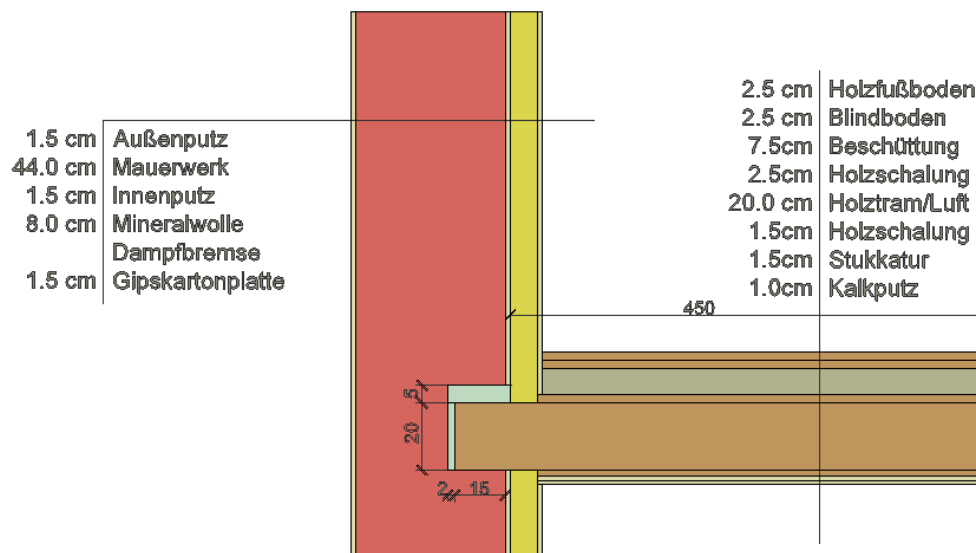


Bild 2: Geometrie – Schnitt durch den Deckenbalken

Klimarandbedingungen

Um die Rechenzeit und die Parametervielfalt so gering wie möglich zu halten, werden zur Berechnung der Materialfeuchte stationäre Klimarandbedingungen angenommen.

Außenluft: $T_e = -5 \text{ °C}$, $RH_e = 80 \%$

Die Innenraumlufttemperatur wird mit 20 °C konstant angenommen. Die relative Luftfeuchte der Innenraumluft wird in den nachfolgenden Simulationen variiert, um so unterschiedlich dichte Gebäudehüllen darzustellen.

Beschreibung des Berechnungsmodells – Geometrie und Randbedingungen

Ausgehend von den geometrischen Vorgaben des Deckenanschlusstdetails wird ein Balkenkopf mit dem Querschnitt $b/h = 16/20$ cm unter der Annahme eines zweiachsig-symmetrischen Systems dreidimensional modelliert. Die beiden Symmetrieebenen, jene des Balkens und jene des Luftraums zwischen den Balken, dienen als Schnittebenen des Modells und werden mit adiabatischen Randbedingungen belegt. Einen Meter unter und über dem Deckenbalkenschluss wird das Modell ebenfalls mit adiabatischen Randbedingungen begrenzt. Aufgrund der nicht vernachlässigbaren Wasserdampfkonvektion und -diffusion innerhalb des Balkenzwischenraums wird die gesamte Trakttiefe von 4,5 m modelliert. Das Geschwindigkeitsfeld innerhalb der Lufträume, hervorgerufen durch temperaturbedingte Dichteunterschiede, wird mit Hilfe eines k - ϵ -Turbolenzmodells und mittels Wallfunctions beschrieben (vgl. Haupt 2005). Am inneren Ende der Decke, vor dem Anschluss an die tragende Mittelwand des Gebäudes, wird wiederum ein adiabatischer Abschluss hergestellt. Das beschriebene Modell ist in Bild 3 dargestellt.

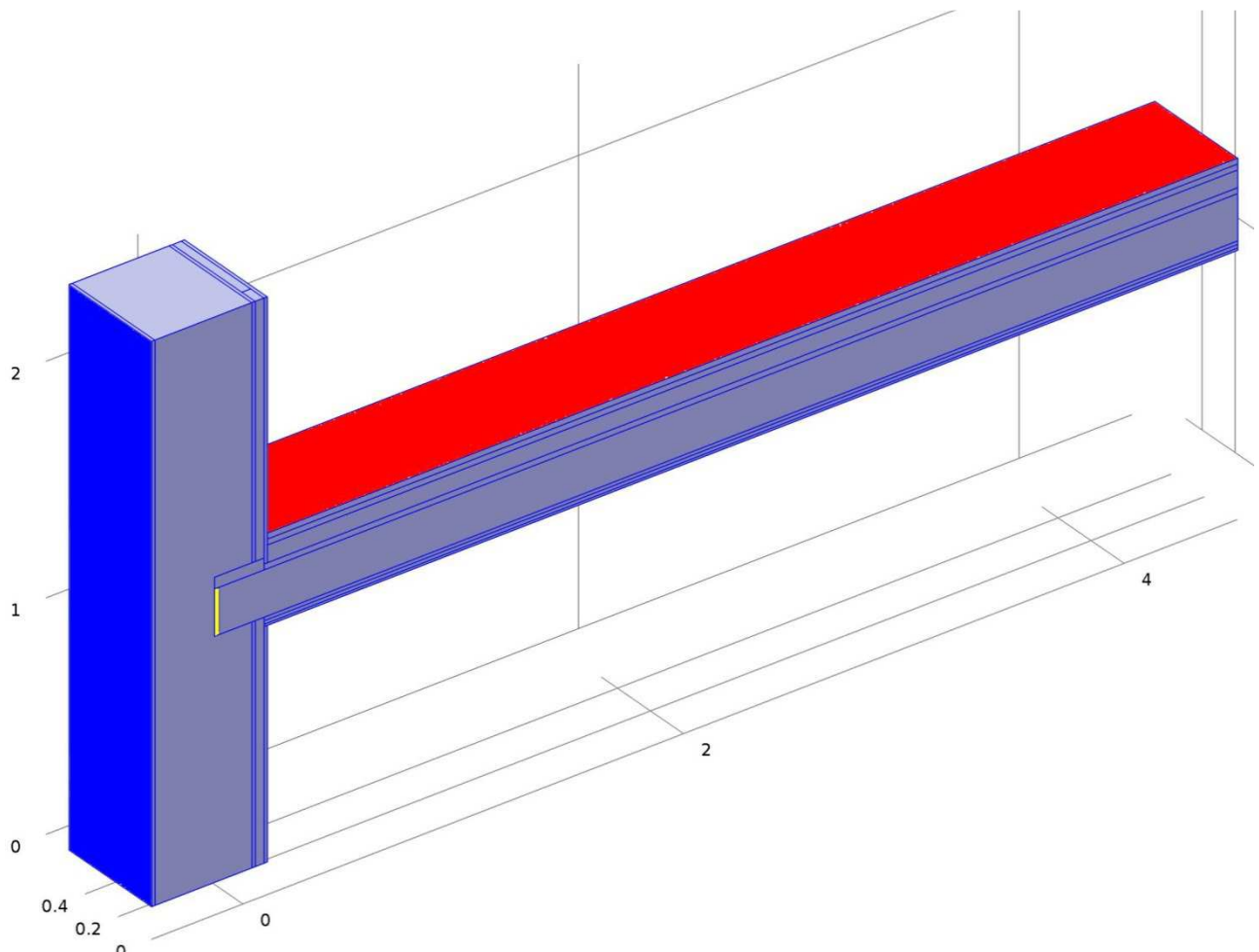


Bild 3: Simulationsmodell mit Randbedingungen (rot – innen, blau – außen, gelb – Feuchtequelle, hellviolett – adiabatisch)

Variation von Parametern

Ziel der Parametervariation ist es, die verschiedenen Einflussgrößen auf die Feuchtebelastung des Holzbalkens möglichst ganzheitlich zu erfassen und deren Auswirkungen zu quantifizieren. Als Parameter dienen die Dicke der Innendämmung, die Dichte der Gebäudehülle und der Leckagevolumenstrom durch die Konstruktion.

Die Dichte der Gebäudehülle, beschrieben durch den n_{50} -Wert, wird durch ihren Einfluss auf das Rauminnenklima berücksichtigt. Eine dichtere Gebäudehülle und somit eine Senkung des n_{50} -Werts bedeutet bei typischer Wohnungsnutzung eine Erhöhung der maximalen und der mittleren zu erwartenden relativen Luftfeuchte im Kernwinter im Falle reiner Fensterlüftung (Harreither 2012). Für die folgenden Berechnungen werden drei Varianten herangezogen, wie in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Angenommener Zusammenhang zwischen n_{50} -Wert und der relativen Luftfeuchte des Raumklimas

$n_{50}=10,0 \text{ h}^{-1}$	$RH_i = 35 \%$
$n_{50}=3,0 \text{ h}^{-1}$	$RH_i = 40 \%$
$n_{50}=1,5 \text{ h}^{-1}$	$RH_i = 55 \%$

Einer der wesentlichsten Parameter ist die Luftdichtheit der Innendämm- und Deckenkonstruktion und der dadurch entstehende Leckagevolumenstrom durch die luftdichte Ebene in den Bauteil. Dieser wird durch ein vereinfachtes Modell einer konvektiven Feuchtequelle beschrieben. Der Volumenstrom pro m^2 Bauteiloberfläche wird wie folgt berechnet:

$$Q = |\Delta P|^{2/3} \cdot \frac{q_{50}}{50} \quad (1)$$

- Q Leckagevolumenstrom in $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$
 ΔP Druckdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich in Pa
 q_{50} Luftströmung durch den Bauteil bei 50 Pa Druckdifferenz in $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$

Die Druckdifferenz aufgrund des thermischen Auftriebs wird entsprechend der Höhe des zusammenhängenden Luftraums mit $\Delta P = 1,6 \text{ Pa}$ abgeschätzt. Der q_{50} -Wert in Eqn. 1 beschreibt die Qualität der ausgeführten luftdichten Ebene und welche Maßnahmen zur Vermeidung von Leckagen bauseits getroffen wurden. Als Basis für die Berechnung von Q nach Eqn. 1 wird für alle Varianten $q_{50} = 0,15 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ angenommen.

Die konvektive Feuchtequelle für die Abbildung des Leckagevolumenstroms in die Konstruktion liefert einen Feuchteeintrag in Form eines Massenstroms \dot{m} in kg/s . Er ist von der raumseitigen Randbedingung, dem Druckunterschied zwischen Innen- und Außenrandbedingung und der Oberflächentemperatur entlang des Luftpfades abhängig.

$$\dot{m} = Q \cdot A \cdot (w_{\text{sat},i} \cdot RH_i - w_{\text{sat}}) \quad (2)$$

\dot{m} Massestrom in kg/h

Q Leckagevolumenstrom in $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$

$w_{\text{sat},i}$ Sättigungswassergehalt der Innenraumluft in kg/m^3

w_{sat} Sättigungswassergehalt der Luft im Bereich des angenommenen Luftpfades in kg/m^3

RH_i relative Luftfeuchte der Innenraumluft, dimensionslos

Ergebnisse des Berechnungsmodells

Als maßgebliches Bewertungskriterium für die Feuchtebelastung des Holzbalkens wird jeweils der maximal auftretende Wassergehalt in M-% herangezogen. Als kritischer Grenzwert für einen dauerhaft auftretenden Wassergehalt werden bei Holz laut Künzel (1996) 20 M-% angegeben.

Bild 4 zeigt den Vergleich der relativen Luftfeuchten im vertikalen Schnitt des Holzbalkens unter Variation des Innenklimas, bedingt durch Senkung des n_{50} -Werts.

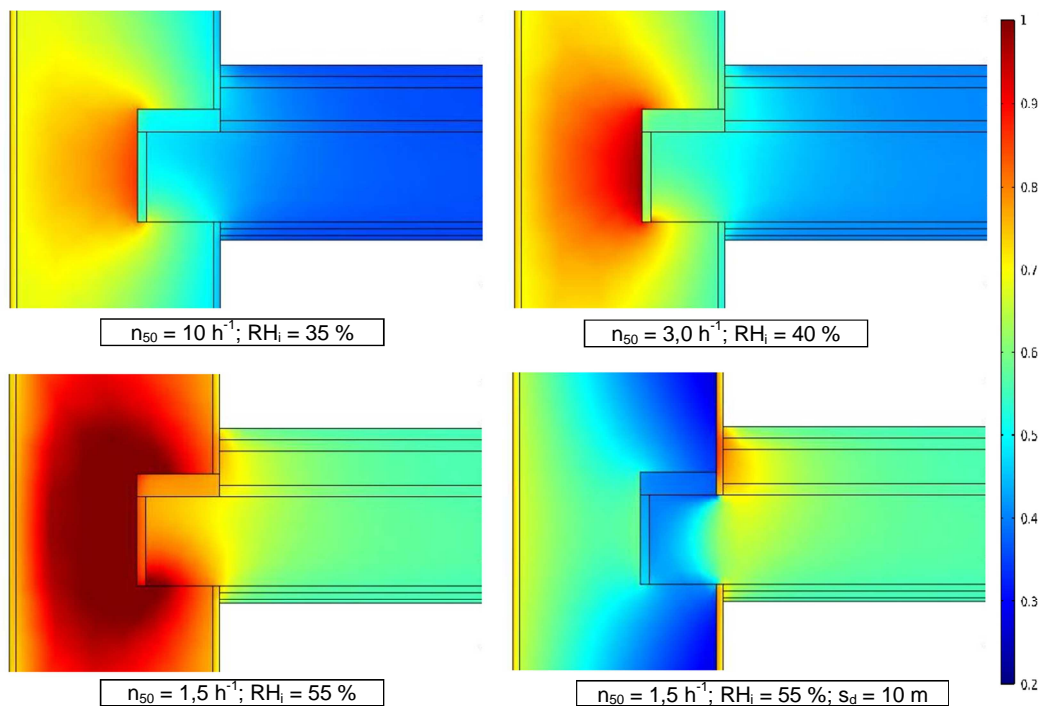


Bild 4: Bestand – Vergleich der relativen Luftfeuchte im Vertikalschnitt durch die Holzbalkenachse bei $q_{50} = 0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

Tabelle 2: maximal auftretender Wassergehalt in M-% bei unterschiedlichem Luftwechsel

$n_{50} = 10 \text{ h}^{-1}$	$RH_i = 35 \%$	12,99	M-%
$n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$	$RH_i = 40 \%$	16,35	M-%
$n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$	$RH_i = 55 \%$	gesättigt	
$n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$, $s_d = 10 \text{ m}$	$RH_i = 55 \%$	16,16	M-%

Aufgrund der relativ diffusionsoffenen Deckenunter- bzw. -oberseite und der stark ausgeprägten Luftwalze im Balkenhohlraum, beispielhaft dargestellt in Bild 5, kommt es durch die Erhöhung der relativen Luftfeuchte des Innenklimas zu einer Verstärkung des Problems eines erhöhten Wassergehalts im Balkenkopf.

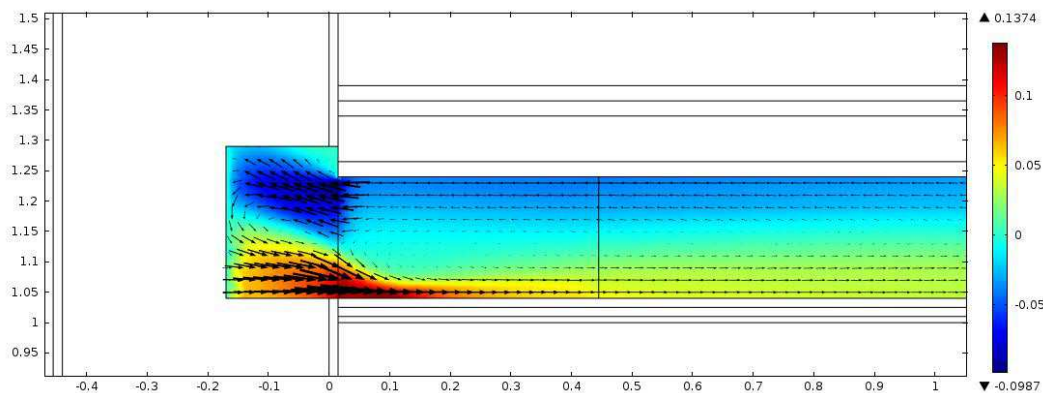


Bild 5: Darstellung des Geschwindigkeitsfeldes und dessen X-Komponente

Die Ergebnisse in Tabelle 1 und Bild 4 sprechen für einen möglichst hohen n_{50} -Wert, was aus energetischen Gründen jedoch nicht möglich ist. Eine positive Beeinflussung des Raumklimas im Sinne einer Reduktion der Versagenswahrscheinlichkeit der Konstruktion kann durch eine mechanische Lüftungsanlage angestrebt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Raumlufftfeuchte keine kritischen Werte erreicht.

Die Variante mit Dampfbremse (dargestellt in Bild 4 rechts unten) zeigt deren ausgeprägten Einfluss. Dabei ist auch die luftdichte Trennung zwischen dem Balkenzwischenraum und dem Luftraum im Auflagerbereich erkennbar.

Im Folgenden wird das Bestandsmodell um eine Innendämmung erweitert. Dabei werden drei verschiedene Dämmstärken angegeben und jeweils mit und ohne Berücksichtigung einer Leckage dargestellt.

Bild 6 zeigt den Einfluss der Dämmstärke und der Leckagen innerhalb der luftdichten Ebene auf die Verteilung der relativen Luftfeuchte in der Innendämmkonstruktion. Die Leckage wird wie zuvor beschrieben durch eine Feuchtequelle im Luftraum am Balkenkopf modelliert. Es ist deutlich erkennbar, dass die vorliegende Konstruktion sehr sensibel auf einen konvektiven Feuchteeintrag reagiert. Um das Schadensrisiko einer innen gedämmten Konstruktion abschätzen zu können, müssen daher die konvektiven Feuchteinträge in die Berechnung einfließen. Die folgende Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Simulationen aus Bild 6.

Tabelle 3: Maximal auftretender Wassergehalt in M-%

ID-Stärke in cm	Balkenkopf		Durchstoßpunkt	
	$\Delta P = 0 \text{ Pa}$	$\Delta P = 1,6 \text{ Pa}$	$\Delta P = 0 \text{ Pa}$	$\Delta P = 1,6 \text{ Pa}$
2	10,02	12,80	12,53	12,54
4	11,08	19,11	12,06	13,46
8	12,59	33,12	12,59	17,34

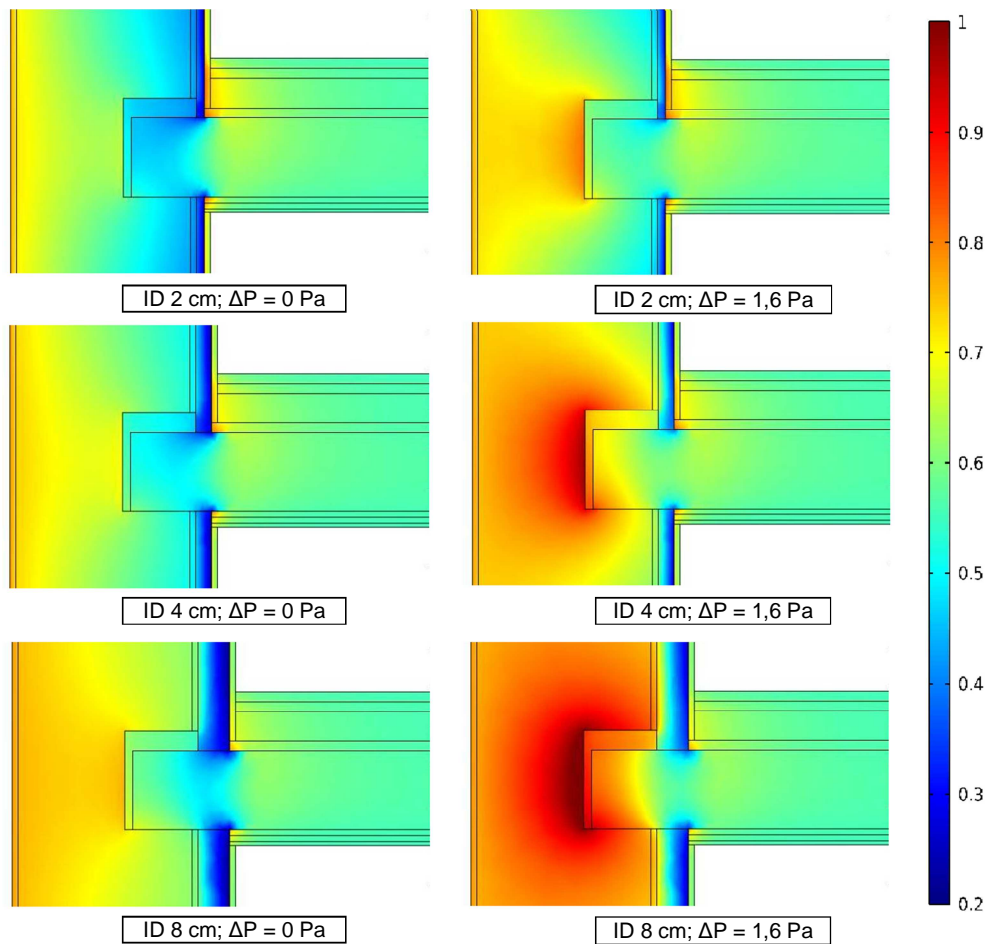


Bild 6: Verlauf der relativen Luftfeuchte im Vertikalschnitt durch die Holzbalkenachse bei unterschiedlichen Dämmstärken mit/ohne Berücksichtigung von Leckagen

Die Ergebnisse von $\Delta P = 0$ Pa Druckunterschied würden Dämmstärken von 8 cm als problemlos einstufen. Betrachtet man dasselbe Modell mit einem angenommenen Luftpfad und der damit einhergehenden Kondensation bei einer Unterschreitung des Taupunktes (Feuchtequelle), ist dieses jedoch als kritisch zu bewerten. Entsprechend der Ergebnisauswertung tritt innerhalb der Berechnungsvarianten in zwei unterschiedlichen Bereichen des Holzbalkens ein erhöhter Wassergehalt auf. Einerseits stellt der Balkenkopf einen kritischen Bereich dar, andererseits ist der Durchstoßpunkt des Holzbalkens durch die Dampfbremse ein schadensanfälliger Punkt, was auf geringere Temperaturen im Bereich der Durchdringung der Wärmedämmung zurückzuführen ist. Bei allen Varianten ist eine deutliche Zunahme der relativen Luftfeuchte im Bereich des Balkenkopfes aufgrund von Undichtheiten innerhalb der Dampfbremse zu beobachten. Diese Ergebnisse untermauern die Forderung, dass auf eine qualitativ hochwertige Ausführung der luftdichten Ebene besonders zu achten ist.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das vorliegende Beispiel einer hygrothermischen Simulation eines Holzbalkenkopfes zeigt, dass für die Dimensionierung einer Innendämmung die Berücksichtigung von Leckagen unumgänglich ist. Der Vergleich von Modellen mit und ohne Berücksichtigung von Strömungspfaden verdeutlicht, dass das Schadensrisiko durch Fehlstellen in der luftdichten Schicht merklich erhöht wird. Zur Vermeidung von Schäden an der Konstruktion infolge Durchströmung ist die Leckageortung nach der Herstellung der luftdichten Schicht besonders wichtig. Nur so können mögliche Luftpfade erkannt und gegebenenfalls mit relativ geringem Aufwand vor der Nutzung des Gebäudes saniert werden.

Bei der hygrothermischen Simulation von Innendämmsystemen sollte daher eine gewisse Luftundichtheit bzw. eine Durchströmung der Konstruktion angenommen werden, um die Funktionstüchtigkeit und die Dauerhaftigkeit der Konstruktion vorweg abschätzen zu können. Hier sollte das Hauptaugenmerk auf Wärmebrücken gelegt werden, wobei die Einhaltung einer Mindesttemperatur an der kalten Seite der Dämmung das Planungsziel sein muss, damit das Auftreten von kritischen relativen Luftfeuchtwerten vermieden wird. Dies ist im Wesentlichen von der Konstruktion, speziell der Dicke und Luftdichtheit der Dämmschicht, und von den Klimarandbedingungen abhängig. Bei besonders kritischen Detailbereichen, besonders bei Holzbauteilen, kann eine Temperierung während der kalten Jahreszeit Abhilfe schaffen. Dies ist vor allem im Denkmalschutz eine sichere Maßnahme, um einerseits historische Konstruktionen zu erhalten und gleichzeitig die Energieeffizienz dieser Gebäude mit einer thermischen Sanierung zu steigern.

Referenzen

Bednar, T. (2000). Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden – Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren. Dissertation TU Wien, 2000.

Künzel, H. (1996). Der Feuchtehaushalt von Holzfachwerkwänden. Bauforschung für die Praxis. Band 23, IRB-Verlag Stuttgart.

Wegerer, P (2010). Beurteilung von Innendämmsystemen – Langzeitmessung und hygrothermische Simulation am Beispiel einer Innendämmung aus Schilfdämmplatten. Diplomarbeit am Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Institut für Hochbau und Technologie, TU Wien 2010.

Haupt, W. (2005). Do's and Don'ts of CFD-Simulations on Free Convection. Aus Tagungsband: 7th symposium on Building Physics in the Nordic Countries, June 13-15th, 2005.

Harreither, Ch., Nusser, B., Bednar, T. (2012), Decision Support Method for Flat Roofs using Probabilistic Tools to calculate Life Cycle Costs and Energy Efficiency, International Building Physics Conference, Kyoto, 2012

ÖNORM B 8110 Teil 2: 2003-07-01: Wärmeschutz im Hochbau – Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz

ÖNORM EN 15026: 2007-04: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bau-elementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation

ÖNORM EN ISO 13788: 2001-07: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren