

Thermische Sanierung im Bestand

- Problemstellungen und Lösungsansätze

zum

Wärmeschutz der Außenwände -

Bayerische Architektenkammer, Architektenseminar Nr. 12230

München, Haus der Architektur, 18. Dezember 2012

Dr. Reinhard O. Neubauer

IBN Bauphysik Consult

Theresienstraße 28, D-85049 Ingolstadt

IN@ibn.de

Karlstraße 35, D-80333 München

M@ibn.de

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	3
2 Wärmeschutz im Bestand	5
3 Das rechtliche Beurteilungs-Maß des Wärmeschutzes	6
4 Bestandsanalyse	9
4.1 Bauweise	9
4.2 Möglichkeiten	9
4.3 Feststellung des Wärmeschutzniveaus	9
5 Wärmeschutz der Außenwände	10
6 Zusammenfassung	19
7 Literatur	21

1 Einleitung

Im Zuge der globalen Bemühungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen, wird verstärkt der Wärmeschutz von Bestandsgebäuden in den Focus gestellt. Wer einen Altbau energetisch saniert und über ein Zehntel der Außenwandfläche dämmt, muss die Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) beachten. Sie bestimmt, wie gut die Außenwand mindestens gedämmt sein muss. Kann, aus welchen Gründen auch immer, eine Wärmedämmung an der Außenseite nicht angebracht werden, kann der Wärmeschutz auch auf der Innenseite erfolgen, d.h. es wird eine Innendämmung ausgeführt. Bauen im Bestand ist kein neues Betätigungsfeld der Architektur. Jedoch im Hinblick auf die gestiegenen Bauwerksanforderungen an Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit rücken zukünftig die Materialauswahl sowie die bedarfsgerechte Planung und Ausführung immer mehr in den Vordergrund. Wenngleich ein hoher Qualitätsstandard bezüglich Planung und Materialauswahl erreicht wird, kommt es immer noch zu gravierenden Fehleinschätzungen, die einen negativen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit ausübt. Unsachgemäße Anwendung, Planung und Ausführung beschränkt sich nicht nur auf den Bereich des Neubaus. Gerade in der Altbausanierung gibt es Defizite bei der Schadensanalyse, der Bewertung von Schäden und deren ingenieur- bzw. naturwissenschaftlicher Lösung.

Typischerweise wird heute unter „*Modernisierung*“ der energetische Aspekt verstanden, wobei als Ausgangspunkt die bauliche Analyse des Gebäudes, d.h. der Gebäudehülle und der Anlagentechnik, sowie seiner Nutzung im Vordergrund steht.

An den Wärmeschutz werden bei Bauaufgaben im Gebäudebestand gegenüber Neubauprojekten differenziertere Anforderungen gestellt. Die Schwierigkeit ist häufig, bestehende Bausubstanz (mit nicht bekannten wärmetechnischen Eigenschaften) ganz oder teilweise mit in die Baumaßnahme einzubeziehen.

Die Sanierung von Altbauten gehört zu einer wichtigen Aufgabenstellung für Architekten, Bauingenieure und Handwerker. Konstruktive Vorschläge zur Verbesserung des Wärmeschutzes sind in der Bauwirtschaft sehr gut eingeführt (KfW-Programme, Vor-Ort Beratungen usw.).

Bei der Sanierung von Altbauten sind oft bestehende Bauteile und Baukonstruktionen mit neuen Bauteilen zu kombinieren. Diese besondere Problemstellung erfordert angepasste Lösungen und lässt Standarddetails, wie sie im Neubau Anwendung finden, nur selten zu. Darüber hinaus wird der Planer mit Bauweisen und Baustoffen konfrontiert, die in ihren wärmetechnischen Eigenschaften nicht bekannt und somit schwer abzuschätzen sind. Ein rechnerischer Nachweis des baulichen Mindestwärmeschutzes nach der DIN 4108 ist daher häufig nicht durchführbar.

Insbesondere sind auf dem Gebiet der Sanierung alter Holzbalkendecken Unsicherheiten in der Planung und Konstruktion zu erkennen. Das beweisen Schadensfälle, die entweder aus Unkenntnis des Planers, aus zu großem Kostendruck des Bauherrn oder durch Mängel in der Ausführungsqualität zu wärmetechnisch nicht ausreichenden Lösungen führen. Doch Wärmeschutz ist am Bauwerk ein Detail von erheblichem Gewicht.

Eine weitere Fragestellung beschäftigt sich mit dem anzusetzenden Wärmeschutzniveau unter der Berücksichtigung bestehender Bausubstanz, die von der Erneuerung nicht betroffen ist. Wie verändert beispielsweise ein neues Fenster die Wärmedämmeigenschaften einer massiven Außenwand im Laibungsbereich? Oder, welchen Einfluss hat eine schwimmend verlegte Estrichkonstruktion auf die in das Außenmauerwerk einbindenden Holzbalken?

Messtechnische Untersuchungen der Feuchte und der Temperaturen geben Aufschluss über den Bestand und ermöglichen häufig erst eine Festlegung der Schutzziele und der erforderlichen Maßnahmen. Im Vortrag wird auf die oben genannten Fragestellungen eingegangen und es werden praxisgerechte Beispiele gegeben.

2 Wärmeschutz im Bestand

Soll der Wärmeschutz der Außenwand verbessert werden, können sich bestimmte Probleme aus rechtlicher Sicht ergeben. Im Zuge der Erfordernis zur Anbringung einer Wärmedämmung, muss nicht immer der klassische Fall: „Denkmalschutz“ vorliegen. Häufig liegt auch der Fall vor, dass das Haus an der Grundstücksgrenze steht. Eine zusätzliche Außendämmung würde dann zum Nachbarn oder über die Straße ragen, oder die Wärmedämmung überbaut ein öffentliches Grundstück. Im Allgemeinen gilt in einem solchen Fall: Soll der Wärmeschutz einer Grenz wand verbessert werden und soll diese in Form einer Außendämmung erfolgen, bedarf es dafür grundsätzlich der Zustimmung des Eigentümers des Nachbargrundstücks. Je nach Landesnachbarrecht kann sich aber eine Duldungspflicht des Nachbarn ergeben oder, es ergibt sich eine Duldungspflicht aus dem nachbarschaftlichen Gemeinschaftsverhältnis. Liegen beide Voraussetzungen nicht vor, verbleibt dem Eigentümer nur der Verzicht auf eine Außendämmung und damit die Alternative der Innendämmung. Der Planer ist also aus mancherlei Gründen, wie sie sich bei denkmalgeschützten Fassaden, Grenzbebauung oder einzuhaltende Gebäudefluchten ergeben, auf intelligente Innendämm-Lösungen angewiesen. Aus bauphysikalischer Sicht ist die Anordnung von Dämmschichten an der Innenseite einer Außenwand kein Tabu. Innendämmungen können heute mit vertieften Kenntnissen in der Bauphysik geplant und schadensfrei ausgeführt werden.

Zusammenfassend kann also dargestellt werden, dass in vielen Fällen eine Innendämmung durchaus empfehlenswert bzw. sinnvoll ist. Diese können z.B. sein:

- Das Gebäude oder die Fassade steht unter Denkmalschutz
- Der Dachüberstand ist zu gering
- Grenzbebauung, d.h. bei angrenzenden Gebäuden bzw. bei zu geringen Grenzabständen
- Einhalten von Gebäudefluchten
- Dämmmaßnahmen sollen nur in einzelnen Wohnungen bzw. Räumen durchgeführt werden.
- Umnutzung von Kellerräumen mit Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz
- Temporäre Nutzung bzw. Beheizung des Gebäudes

3 Das rechtliche Beurteilungs-Maß des Wärmeschutzes

In der Praxis der Rechtsprechung ist häufig der Wärmeschutz gefordert, der nach öffentlich-rechtlichen Maßstäben festgelegt wurde, welcher aber im Einzelfall oftmals als nicht ausreichend bewertet wird. Es wird im Grunde immer der Wärmeschutz erwartet, der zu keinem Mangel führt.

In der Praxis der Rechtsprechung ist häufig der Wärme- und Feuchteschutz gefordert, der nach öffentlich-rechtlichen Maßstäben festgelegt wurde, welcher aber im Einzelfall oftmals nicht ausreichend bewertet wird. Es wird im Grunde immer der Wärme- und Feuchteschutz erwartet, der zu keinem Mangel führt. Nach Art. 13 ff BayBO müssen Gebäude einen ihrer Nutzung und den klimatischen Verhältnissen entsprechenden Wärmeschutz haben. Diese allgemeine Anforderung des Gesetzes wird konkretisiert durch die eingeführte technische Regel DIN 4108.

Inwieweit die DIN 4108 aber tatsächlich einen ausreichenden Wärme- und Feuchteschutz zur Vermeidung von Mängeln festlegt, kann für Innendämmungen im Wohnungsbau in Frage gestellt werden. Aus rechtlicher Sicht ist nachstehendes zu beachten (siehe hierzu § 633 BGB): „Das Werk ist frei von Sachmängeln, wenn es die vereinbarte Beschaffenheit hat. Ist keine Beschaffenheit vereinbart, ist das Werk frei von Sachmängeln, wenn es sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte, für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Besteller nach der Art des Werkes erwarten kann.“ Damit ist, wenn nichts anderes vereinbart, eine „Mittlere Verkehrserwartung“, bzw. der „Erwartungshorizont des Bestellers“ geschuldet.

Der „Erwartungshorizont“ des Bestellers ist aber im Allgemeinen bezüglich des erwarteten Wärme- und Feuchteschutzes nicht bekannt, oder zumindest ist die Erwartung in der Regel größer als die Anforderungen gem. DIN 4108.

Wird auf die DIN 4108 zurückgegriffen, ist gewöhnlich kein ausreichender Wärmeschutz zum Zweck der Festlegung einer Qualität sicherzustellen. Die DIN 4108 stellt zwar diesen Anspruch nicht, da sie ausschließlich eine Sicherheits- bzw. Schutznorm ist und keine Qualitätsnorm, trotzdem wird bei Wärme- und Feuchteschutzfragen immer wieder auf die DIN 4108 abgestellt. Das Anforderungsniveau der DIN 4108 darf aber nicht mit einer Qualitätsbewertung gleichgestellt

werden. Grundsätzlich gilt, dass wenn nichts vereinbart wird, muss der Wärme- und Feuchteschutz sichergestellt werden, der entsprechend den anerkannten Regeln der Technik zu erwarten ist. Welcher Wärme- und Feuchteschutz entspricht aber den anerkannten Regeln der Technik? Hierzu können die Entscheidungen des BGH weiterhelfen, z.B.:

Urteil vom 17. 12.1996: „Ein Werk ist unabhängig davon, ob die anerkannten Regeln der Technik eingehalten sind, fehlerhaft, wenn es nicht den Anforderungen des vertraglich vorausgesetzten Gebrauchs entspricht.“

Urteil vom 14.05.1998: „Es kommt in erster Linie nicht auf die Einhaltung der DIN-Normen an; wichtig ist: ... Aus der bloßen Beachtung der DIN-Normen folgt noch nicht, dass damit auch die anerkannten Regeln der Technik genügt sind. Gibt es keine Vereinbarung, so kommt es auf die anerkannten Regeln der Technik an.“

Urteil vom 14.05.1998: „Die DIN-Normen sind keine Rechtsnormen, sondern private technische Regelungen mit Empfehlungscharakter. Sie können die anerkannten Regeln der Technik wiedergeben oder hinter diesen zurückbleiben. Nach BGH kommt es auf die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik an. Diese dürfen keineswegs mit den DIN-Normen identisch gesetzt werden. Die Mangelfreiheit kann nicht ohne Weiteres eine DIN-Norm entnommen werden. Maßgebend ist nicht, welche DIN-Norm gilt, sondern ob die Bauausführung zur Zeit der Abnahme den anerkannten Regeln der Technik entspricht.“

Urteil vom 07.03.2002: „Ein Mangel eines Bauwerkes liegt vor, wenn die Bauausführung von dem geschuldeten Werkerfolg abweicht, und durch diesen Fehler der nach dem Vertrag vorausgesetzte Gebrauch gemindert wird. Für die Frage, ob ein Mangel vorliegt, ist es unerheblich, dass die Bauausführung möglicherweise wirtschaftlich und technisch besser ist als die vereinbarte.“

Fazit: In der juristischen Rangfolge kommt es zuerst auf die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit und dann auf die anerkannten Regeln der Technik an. DIN-Normen spielen für die Beurteilung keine Rolle.

Dies verdeutlichen abschließend das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts, das als sogenannte "Meersburg"-Urteil vom 22.05.1987 in die Literatur Eingang gefunden hat:

DIN-Normen sind "Vereinbarungen gewisser Kreise ... , die eine bestimmte Einflussnahme auf das Marktgeschehen bezwecken.", und der sogenannte „Blasbachtalbrückenfall “ mit Urteil des 7. Senats des Bundesgerichtshofs vom 6.05.1985 (VII ZR 304/83) mit dem der BGH klar stellt, dass DIN-Normen zwar einen Mindeststandard setzen, von der Praxis aber jederzeit überholt werden können.

Abschließend gilt, dass unter Baubeteiligten oftmals angenommen wird, dass die DIN-Normen die "Regeln der Technik" darstellen und bei deren Einhaltung - sofern die Parteien nichts davon Abweichendes vereinbaren - das Werk mangelfrei hergestellt wurde. Dies ist nicht zwingend zutreffend. Diesbezüglich hat der für Baurecht zuständige 7. Zivilsenat des BGH in einem Urteil vom 4. Juni 2009 (VII ZR 54/07) festgestellt, dass ein nur nach den Mindestanforderungen der einschlägigen DIN ... mangelhaft sein kann. Wenn der Kaufvertrag keinen deutlichen Hinweis enthalte, dass der ... nur in einer Mindestqualität zur Ausführung komme, die dem üblichen ... nicht entspreche, liegt, wenn nur der ... gemäß den Mindeststandards der DIN ... ausgeführt wurde, ein Mangel ... vor, der den Käufer ggfs. zum Rücktritt vom Kaufvertrag berechtigen kann.

4 Bestandsanalyse

Die Bestandsanalyse des Objekts im Zuge der Festlegung des Wärmeschutzes ist ein wichtiger Schritt das Maß der Verbesserung überhaupt erst festlegen zu können. Wird eine gründliche Bestandsanalyse des Objektes durchgeführt, kann das zu erreichende Wärmeschutzniveau festgelegt werden.

4.1 Bauweise

Feststellung der Wärmeschutzqualität:

- Decken / Dächer
- Trennwände / Fassaden
- Fenster / Türen
- Haustechnische Anlage, z.B. Heizung

4.2 Möglichkeiten

Feststellung der Eignung:

- Nutzungsanalyse
- Sanierungsaufwand
- Kostenrahmen
- Behördliche Auflagen
- ...

4.3 Feststellung des Wärmeschutzniveaus

An den Wärmeschutz werden bei Bauaufgaben im Gebäudebestand gegenüber Neubauprojekten differenziertere Anforderungen gestellt. Die Schwierigkeit ist häufig, bestehende Bausubstanz (mit nicht bekannten wärmetechnische Eigenschaften) ganz oder teilweise mit in die Baumaßnahme einzubeziehen. Bauphysikalische Messungen helfen dabei den Bestand zu qualifizieren.

5 Wärmeschutz der Außenwände

Beim Einsatz einer Innendämmung ergeben sich bauphysikalische Fragen, die in der Vergangenheit oft dadurch beantwortet wurden, dass eine Innendämmung erst gar nicht ausgeführt wurde. Insbesondere aufgrund fehlender Berechnungsmethoden, war bei Planern und Bauherrn häufig die Angst vor einem bauphysikalischen Problem zu groß um eine Innendämmung einzusetzen. Vielen Planern und Handwerkern gilt die innenseitige Anbringung von Außenwanddämmungen immer noch als äußerst riskante Sanierungsmaßnahme.

Moderne Bauarten, neuartige Materialien und dynamischer Rechenansätze ergeben heute eine viel differenziertere Beurteilungsmöglichkeit wie zu Beginn der 80iger Jahre, in welchem der verstärkte Einsatz von Innendämmungen erfolgte.

Dem Bauphysiker ist im Allgemeinen klar, dass zur Beurteilung einer Innendämmung das Verfahren nach „Glaser“, wie es z.B. in der DIN 4108 beschrieben ist, nicht der fachgemäße Ansatz ist. Das Glaser-Verfahren ist nicht in der Lage reale Prozesse innerhalb eines Bauteils, von Strahlungsabsorption bis Feuchtwanderung, zu berücksichtigen. Ebenso wenig ist es möglich innerhalb der Berechnung ein reales Baustoffverhalten, z.B. feuchteabhängige Diffusionswiderstände oder feuchteabhängige Wärmedämmeigenschaften, abzubilden.

In der DIN 4108-3 wird die Tauwasser- bzw. Verdunstungsmenge, die durch Diffusion in das betrachtete Bauteil hinein- bzw. heraus gelangen kann, mit standardisierten Klimabedingungen im stationären Berechnungsverfahren nach dem "Glaser-Verfahren" errechnet. Für die Berechnung stehen 2 Blockklimata (Winter- bzw. Sommerklima) zur Verfügung.

Als Option ist in der DIN 4108-3 das Verfahren nach Jenisch enthalten. Dieses liefert differenziertere Ergebnisse aufgrund regional angepasster Klimarandbedingungen.

Beide Ansätze erlauben aber keine detaillierte Betrachtung der Wärme- und Feuchteströme.

Es ist nicht möglich, den genauen Feuchtegehalt eines der eingesetzten Materialien zu bestimmen oder wichtige Transportmechanismen wie Sorption und Kapillarität zu berücksichtigen. Das Glaser-Verfahren dient seit Jahrzehnten im Baubereich ausschließlich der groben Abschätzung von Tauwasser- bzw. Verdunstungsmengen.

Sachverständigenseits und insbesondere als Ingenieur, kann das Verfahren nach Glaser nicht zufriedenstellen. Die Berechnungen mit dem „Glaser-Verfahren“ sind für die Praxis nur dann relevant, wenn nicht hygroskopische Materialien verwendet werden und es lediglich um eine einfache vergleichende Bewertung der reinen Diffusionsbilanz geht (z. B. bei Steildächern und Holztafelbauwänden). Hierfür hat es sich allerdings, auch in seiner statischen Form mit Blockklima nach DIN 4108-3 durchaus bewährt.

Wie sich eine Außenwand mit unterschiedlich angebrachter Wärmedämmung thermisch verhält, ist nachstehend grafisch in Abbildung 1 dargestellt.

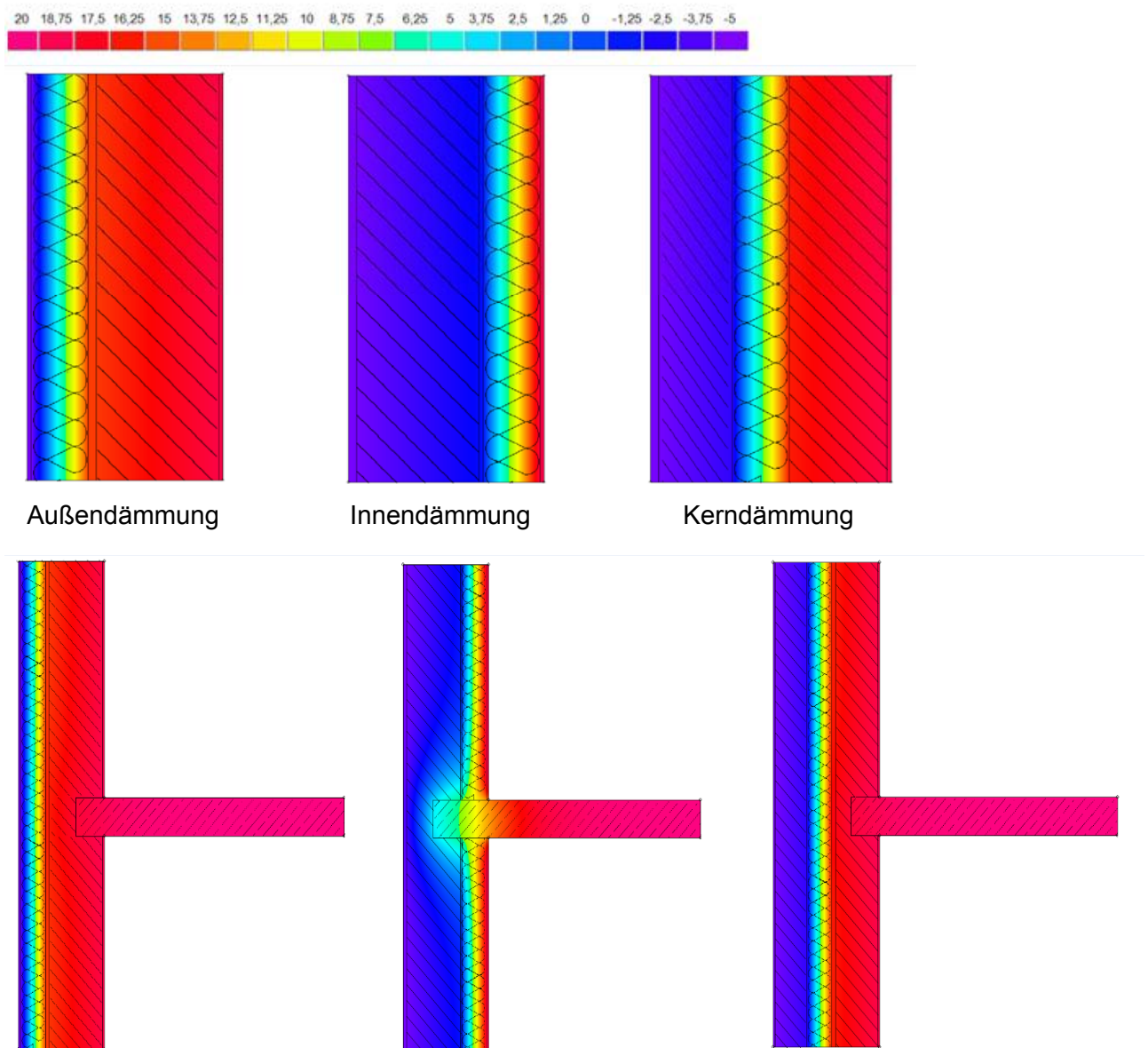


Abb. 1: Darstellung des Wärmeschutzes einer Außenwand mit jeweils gleichem U-Wert

In Abbildung 1 ist die Temperaturverteilung im Querschnitt der Wand bei verschiedener Wärmedämm-Maßnahme dargestellt. Da der rechnerische Wärmeschutz bei allen Konstruktionen in Abbildung 1 gleich ist, d.h. der Wärmedurchlasswiderstand bzw. der Wärmedurchlasskoeffizient, ist auch der im ungestörten Querschnitt auftretende Wärmeverlust der gleiche.

Betrachtet man aber ein einbindendes Bauteil (siehe Abb. 1, unten), dann zeigt sich augenscheinlich der Einfluss der Wärmebrückenproblematik beim Einsatz einer Innendämmung.

Diese wird im nächsten Abschnitt noch genauer besprochen. Wesentlich ist, dass bei einer entsprechend dicken Innendämmung die Außenwand vollständig durchkühlt kann und im Übergangsbereich: Außenwand/Wärmedämmung, bei geeigneten Klimaten, kritische Temperaturen / Feuchten auftreten können.

5.1 Wärmebrücken

Eine Wärmebrücke ist definiert als ein Bereich in Bauteilen eines Gebäudes, durch den die Wärme schneller nach außen transportiert wird als durch die angrenzenden Bauteile.

Im Bereich von Wärmebrücken sinkt bei niedrigen Außentemperaturen die raumseitige Oberflächentemperatur von Bauteilen ab. Es kann deshalb die Gefahr bestehen, dass durch zu niedrige Oberflächentemperaturen bei geeigneten Randbedingungen eine Schimmelpilzbildung einsetzt. Diese tritt nicht erst bei einer Tauwasserbildung, sondern gemäß DIN 4108 bereits bei einer (durch die Oberflächentemperatur bedingten) relativen Luftfeuchte von 80 % an der Bauteiloberfläche auf.

Aus der Abbildung 1 ist deutlich zu erkennen, dass eine Innendämmung bei niedrigen Außentemperaturen zu einer Absenkung der Temperatur der Außenwand führt.

Da im Altbaubereich die Decken und Innenwände meist ohne thermische Trennung an diese Außenwand angebunden sind, ist damit in Außenwandnähe auch deren Temperatur zum Teil deutlich erniedrigt. In Abbildung 2 ist dies nochmal zur Deutlichkeit der Problematik als Skizze am Beispiel einer angrenzenden Innenwand veranschaulicht (stationäre Betrachtung). Die Innen-

dämmung bewirkt unter den zugrunde gelegten Außenklimabedingungen eine Absenkung der Oberflächentemperatur auf der Innenseite des Mauerwerks auf etwa 4 °C. An der raumseitigen Dämmstoffoberfläche beträgt die Temperatur dagegen 17 °C. Bei einer Raumlufffeuchte von 50 % rel. Feuchte ergeben sich damit unkritische Oberflächenfeuchten von 60 %.

Da die Innenwandoberfläche über die Außenwand abgekühlt wird, ergibt sich dagegen am Übergang zum gedämmten Bereich eine deutlich abgesenkte Oberflächentemperatur von lediglich 10 °C. Die Folge ist eine Oberflächenfeuchte von 95 %. Die sich bei dieser Oberflächenfeuchte potenziell ergebenden Probleme sind bekannt.

Dieses Problem kann, wie in Abbildung 2, links gezeigt, durch eine Dämmung von Teilbereichen der Innenwand (bzw. Decke) gelöst werden.

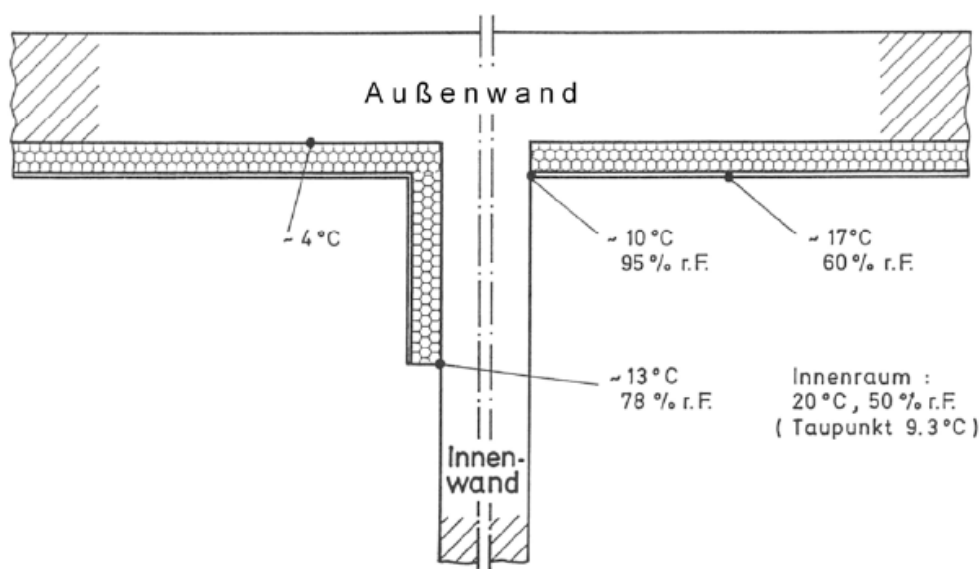


Abb. 2: Darstellung der Wärmebrückenproblematik durch eine Innendämmung
[Krus, Sedlbauer, Künzel]

Dieses Wärmebrückenproblem der einbindenden Bauteile liegt auch bei einer Decke vor.

Eine Entschärfung dieser Art von Wärmebrücke kann z.B. mit einem Dämmkeil erfolgen (siehe Abbildung 3).

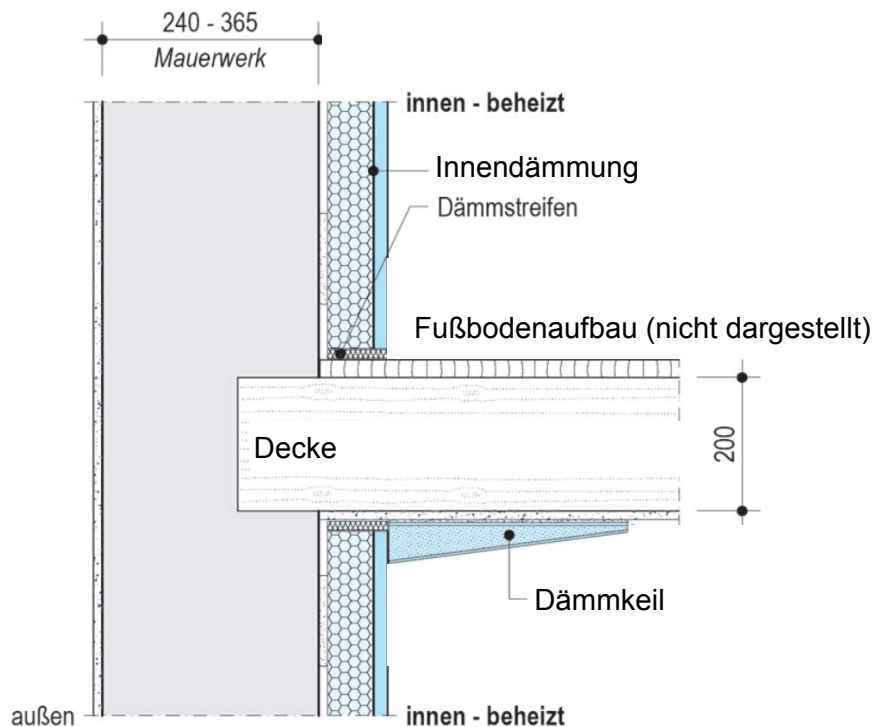


Abb. 3: Beispielskizze zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung mittels „Dämmkeil“

Diese Maßnahme zur Entschärfung der Wärmebrückenwirkung bei Einsatz einer Innendämmung ist jedoch nicht immer erforderlich und von Fall zu Fall unterschiedlich zu bewerten. Wesentliche Faktoren zur Beurteilung der Wärmebrückensituation sind dabei der Wärmeschutz der Außenwand und die Dicke der Innendämmung.

Ein weiteres Wärmebrückenproblem ergibt sich häufig bei Fensterlaibungen (Neubauer).

Aufgrund der geometrischen Verhältnisse im Bereich des Fensteranschlusses an die Laibung ist wegen der an dieser Stelle vorhandenen Wärmebrücke die Oberfläche der Fensterlaibung umso stärker tauwassergefährdet, je weiter der Fensteranschluss nach außen rückt. Wärmebrücken an Fensterlaibungen können z.B. durch den Einsatz von Laibungsdämmplatten, welche typischerweise in Dicken von 20 mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/(mK)}$ eingesetzt werden, wirksam reduziert werden. Die Dämmplatten werden dabei vollflächig verklebt.

In der Abbildung 4 ist beispielhaft der Einsatz einer Laibungsdämmung dargestellt.

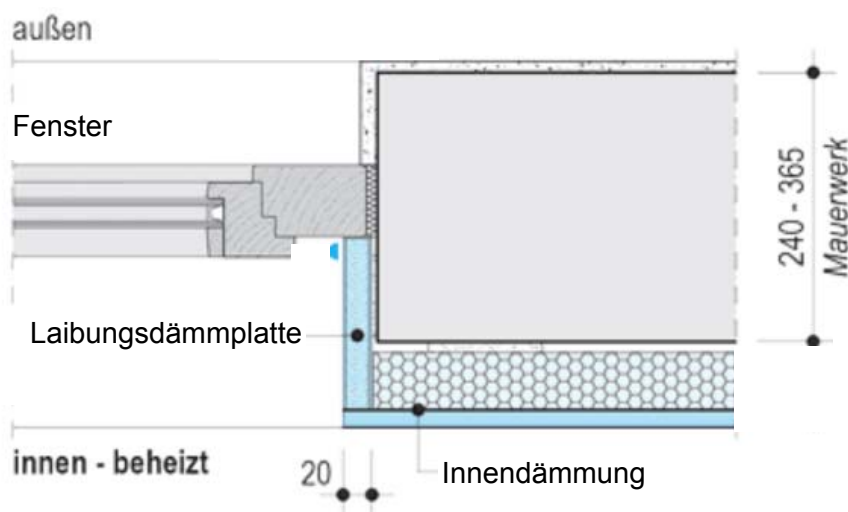


Abb. 4: Beispielskizze Fensterlaibung mit „Laibungsdämmplatte“

Wird der Mindestwärmeschutz eingehalten, ist bei normaler Wohnraumnutzung auch der Schutz vor Oberflächentauwasser und Schimmelpilzbildung durch erhöhte Oberflächenfeuchte gewährleistet. Normale Wohnraumnutzung bedeutet, dass die relative Luftfeuchte im Winter im Mittel unter 50 % bleibt. Durch die Dämm-Maßnahme kann die Temperatur, wie bereits in Abbildung 1 dargelegt, hinter der Dämmung unter den Taupunkt der Raumluft sinken. Wasserdampfdiffusion oder Luftkonvektion aus dem Wohnraum führen dann zu einer Feuchteerhöhung in diesem Bereich. Um Luftkonvektion zu verhindern, muss der gesamte Wandaufbau luftdicht ausgeführt werden. Hohlräume z.B. zwischen Innendämmung und Außenwand sind zu vermeiden. Aufgrund der häufig vorhandenen Unebenheiten von Außenwänden im Altbau sind Dämmstoffe, die sich dem Untergrund anpassen können, wie z.B. Dämmputze oder Faserdämmstoffe, günstig. Auch Innendämmungen aus Leichtlehm sind anwendbar, solange kein zu hoher Feuchteeintrag während der Applikationsphase damit verbunden ist. Starre Dämmplatten hingegen können Hohlräume bilden, deren dauerhafte Abdichtung besondere Sorgfalt erfordert.

Eine Innendämmung kann den Trocknungsverlauf nach einem Schlagregenereignis bedeutend beeinflussen. Bei einem Wandaufbau ohne Dämmung kann die Feuchte nach beiden Richtungen, also auch zur Raumseite hin, austrocknen.

Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn die Fassade keinen modernen Schlagregenschutz aufweist.

Bringt man eine Innendämmung auf, die nach gängiger Praxis entweder selbst relativ dampfdicht ist (z.B. Hartschaumplatten) oder eine Dampfsperre beinhaltet, wird eine Austrocknung nach innen weitgehend unterbunden.

Zusätzlich kann die Innendämmung das Temperaturniveau des dahinter liegenden Mauerwerks reduzieren, was ggf. die Trocknung nach außen verlangsamen kann.

Aus diesem Grund sollte versucht werden den sd-Wert der raumseitigen Dämmschicht inklusive Dampfbremse zu minimieren, ohne den Tauwasserschutz zu gefährden.

Die Absenkung des Temperaturniveaus in der Außenwand durch die Innendämmung und die damit einhergehende Verschlechterung der Trocknungsbedingungen lassen sich allerdings durch eine Anpassung des raumseitigen sd-Wertes nicht lösen. Hier muss dafür gesorgt werden, dass der Schlagregenschutz verbessert wird, will man nicht ein größeres Frostschadensrisiko nach der Dämm-Maßnahme in Kauf nehmen. In solchen Fällen bietet sich beispielsweise eine Fassadenhydrophobierung an.

Zur Sanierung feuchter Wände wird vereinzelt das Aufbringen einer wasser- und dampfdichten Innendämmung z.B. aus Schaumglas vorgeschlagen. Der Innenraum soll dadurch wirksam vor Feuchte und Kälte der Außenwände geschützt werden. Handelt es sich bei der Feuchte in den Wänden jedoch um aufsteigende Grundfeuchte, steht zu befürchten, dass die Innendämmung wegen ihrer bereits beschriebenen Trocknungsbehinderung zu einem Ansteigen des Feuchtehorizontes in der Wand führt.

Rechnerische Untersuchungen in [Holm, Krus] deuten darauf hin, dass das Aufbringen einer Innendämmung ohne zusätzliche Maßnahmen zur Begrenzung des Kapillartransports aus dem Untergrund, z.B. durch Bohrlochinjektionen, Probleme hervorrufen kann.

In Abbildung 3 ist die kapillare Wasseraufnahme eines 60 cm starken Ziegelmauerwerks unter natürlichen Klimabedingungen mit und ohne Dämmung dargestellt.

Aufgrund der Trocknungsmöglichkeit des ungedämmten Mauerwerks nach innen und nach außen, stellt sich nach etwa einem Jahr ein dynamisches Gleichgewicht ein, so dass die Feuchtefront nicht mehr weiter ansteigt.

Während eine Außendämmung mit Mineralfaserdämmplatten (WDVS) die Trocknungsbedingungen durch die Erhöhung der mittleren Mauerwerkstemperatur kaum verschlechtert, bewirkt eine Innendämmung einen weiteren Anstieg der kapillaren Feuchte auch über zwei Jahre hinaus. Das bedeutet, dass die Innendämmung den Feuchtehorizont im Mauerwerk über den Ausgangszustand hinaus ansteigen lässt, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen ergriffen werden.

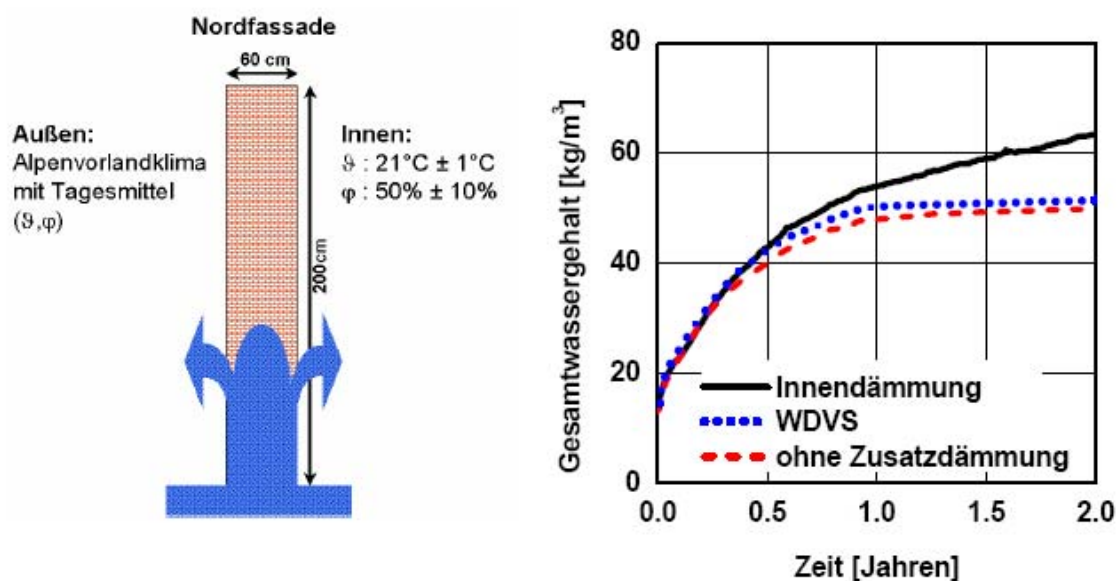


Abb. 5: Zweidimensionale Berechnung der kapillaren Wasseraufnahme von Ziegelmauerwerk mit und ohne Dämmung unter natürlichen Klimabedingungen [Holm, Krus].

Am Beispiel einer Außenwand aus Leichtbetonsteinen mit einem Wärmedurchgangskoeffizient von $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ lässt sich die Auswirkung einer nachträglich angebrachten Innendämmung mit Hilfe des Softwareprogramms WUFI veranschaulichen. Durch die gewählte Innendämmung wird der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand auf $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verbessert, was einer Dämmschichtdicke von 50 mm ($\lambda_R = 0,04 \text{ W}/(\text{mK})$) entspricht.

Betrachtet werden folgende Dämmstoffe:

- Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)
- Mineralfaserdämmung
- Zellulosefasern

- Kalzium-Silikatplatten (wegen der geringeren Dämmwirkung wurde die Dicke auf 60 mm erhöht).

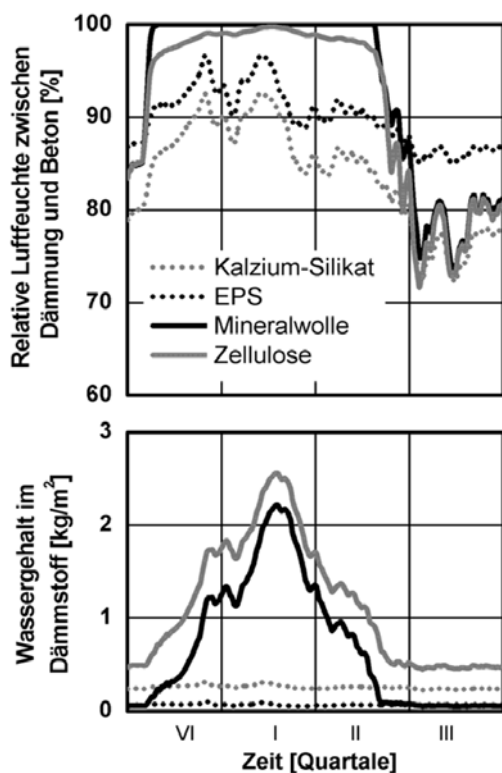


Abb. 6 : Jahresverläufe der relativen Feuchte hinter der Dämmung (oben) und des Wassergehalts in der Dämmschicht (unten) beim Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe zur nachträglichen Innendämmung einer Leichtbetonwand [Krus, Sedlbauer, Künzel].

Die Verläufe der relativen Luftfeuchte zwischen Leichtbetonwand und Innendämmung sowie des Wassergehalts in der Dämmschicht sind in Abbildung 6 oben, dargestellt. Im Fall der extrem dampfdurchlässigen Dämmstoffe, Mineralwolle und Zellulosefasern, fällt im Winter Tauwasser an der Leichtbetonwand aus. Auch die Dämmung selbst nimmt einiges an Feuchte auf. Die aufgenommenen Feuchtemengen sind zwar nicht dramatisch und trocknen im Sommer wieder aus. Dennoch kann der Einsatz dieser Dämmstoffe ohne Dampfbremse nicht empfohlen werden, da die Tauwassermenge mit ca. 2000 g/m² unzulässig hoch ist. Am günstigsten wäre hier eine Dampfbremse mit einem sd-Wert von ca. 2 m oder eine feuchteadaptive Dampfbremsfolie [Künzel]. Der höhere Diffusionswiderstand der Polystyrol-Hartschaumplatten verhindert eine Tauwas-

serbildung. Allerdings bleibt die Feuchte hinter der Dämmung auch im Sommer über 80 % r. F., was unter Umständen zu großflächiger Schimmelpilzbildung hinter der Dämmung führen kann. Unter der Voraussetzung einer dauerhaften, kapillaren Verbindung zwischen der Dämmplatte und dem Untergrund verhindert die Kalzium-Silikat-Dämmung sowohl eine Tauwasserbildung als auch eine überhöhte relative Feuchte hinter der Dämmung während der Sommermonate.

6 Zusammenfassung

Im Gebäudebestand kann der Wärmeschutz der Gebäudehülle häufig nur durch Innendämmungen verbessert werden. Innendämmungen sind bei fachgerechter Planung und sorgfältiger Ausführung auch auf hohem Wärmeschutzniveau schadensfrei möglich [Oswald, Zöller, Liebert, Sous]. Eine Wärmedämmung innen empfiehlt sich immer dann, wenn eine Außendämmung nicht möglich ist. Generell ist jedoch eine Außendämmung effizienter, da Wärmebrücken wie Deckenanschlüsse überdämmt werden und somit ihre Wirkung entschärft wird. Dass der Einfluss von Wärmebrücken mit zunehmendem Dämmniveau ansteigt, ist hinlänglich bekannt.

Ausnahmen bei der Bevorzugung einer Außendämmung bilden Gebäude, die nicht regelmäßig genutzt werden, wie beispielsweise Ferienwohnungen, Kirchen und Gemeinderäume sowie Sporthallen. Die Innendämmung bewirkt hier, dass mit vergleichsweise wenig Energieeinsatz nur die Raumluft erwärmt wird, aber nicht das gesamte Mauerwerk. Das bedeutet eine schneller zur Verfügung stehende Behaglichkeitstemperatur bei weniger Heizkosten.

Die Vorteile sprechen in den genannten Fällen für sich: Unabhängig von der Detailausführung und den eingesetzten Materialien bewirkt eine Innendämmung im Bestandsbau neben der Energieeinsparung und der damit verbundenen Senkung des CO₂-Ausstoßes eine Verbesserung der thermischen Behaglichkeit.

Aus bauphysikalischer Sicht sind heute Innendämmungen kein Tabuthema mehr und gehören in das Repertoire eines jeden Bauphysikers. Die detailoptimierte Planung wird hier vorausgesetzt.

Die heutigen Erkenntnisse zur feuchtetechnischen Auswirkung bei innen gedämmten Außenwänden lassen sich so zusammenfassen:

- Innendämmungen verhalten sich feuchtetechnisch besser als die Glaserberechnung prognostiziert. Im Wesentlichen wird dies durch kapillarleitfähige Putze und Mauerwerksbaustoffe bewirkt, die eventuelle lokale Feuchteerhöhungen hin zu verdunstungsfähigen Oberflächen verteilen.
- Die Ergebnisse von Glaserberechnungen und der hieraus motivierte Einbau von diffusionshemmenden bis diffusionssperrenden Schichten, liegen nicht auf der sicheren Seite und führen häufig zu einer Fehleinschätzung.
- Die komplexen Feuchtetransportvorgänge sind heute berechenbar geworden. Geeignete und validierte Computerprogramme stehen dem bauphysikalischen Planer seit Jahren zur Verfügung.
- Es ist zwingend auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile und Anschlussbereiche zu achten. Hohlräume im Bereich der Dämmung müssen vermieden werden.
- Bei Holzdecken ist auf den Tauwasserschutz der Balkenköpfe zu achten.
- Für Fälle mit denen Risiken für Schlagregen und Dampfkonvektion bestehen, sollten die Austrocknungspotenziale nach innen hin erhöhen werden [Künzel].
- Eine Innendämmung erhöht die Gefahr der winterlichen Tauwasserbildung hinter der Dämmung und verringert das Austrocknungspotential der Wand. Es sollten deshalb bei Bedarf nur diffusionshemmende Schichte ($s_d \leq 2 \text{ m}$) verwendet werden.

- Kapillaraktive Innendämmsysteme, wie z.B. Kalziumsilikatplatten, können eine Tauwasserbildung verhindern [Häupl, Fechner, Martin, Neue].
- Innendämmungen führen zu einer Absenkung des Temperaturniveaus der Außenwand. Ist eine hohe Schlagregenbeanspruchung vorhanden, steigt das Frostschadensrisiko. Deshalb sollten hier zusätzliche Regenschutzmaßnahmen vorgesehen werden.

7 Literatur

Bauphysik-Kalender: Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und techn. Wissenschaften GmbH, Berlin, 2001 bis 2012

DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz. Beuth Verlag, Berlin, Juli 2001

DIN EN 15026 Norm , 2007-07: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007

DIN EN ISO 13788 Norm , 2001-11: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren (ISO 13788:2001); Deutsche Fassung EN ISO 13788:2001

Glaser, H.: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen.

Kältetechnik 11 (1959), H. 8

Hartwig M. Künzel: Problemlösungen für schwierige bauphysikalische Sanierung. Tagungsband zur 10. e.u.[z.] - Baufachtagung, Springer 2001

Häupl P., Fechner H., Martin R., Neue J.: Energetische Verbesserung der Bausubstanz, Bauphysik 21, Heft 4 (1999)

Holm, A. und Krus, M.: Zweidimensionale WUFI-Berechnungen zur aufsteigenden Feuchtigkeit. Hanseatische Sanierungstage 1999.

Jenisch, Richard; Stohrer, Martin; Tauwasserschäden 2. Aufl. 2001, Fraunhofer IRB-Verlag

Joachim Achtziger: Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung. wksb Sonderausgabe 1985.

Krus, M und Künzel, H.M.: Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Fassaden nach Hydrophobierungsmaßnahmen. WTA-Journal 1 (2003), H. 2, S. 149-166.

Krus, M.; Sedlbauer, K.; Künzel, H.: Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht Fachtagung "Innendämmung - eine Bauphysikalische Herausforderung" , Münster, (2005)

Künzel, H.M.: Richtiger Einsatz von Dampfbremsen bei der Altbausanierung. WTA-Journal 1 (2003), H. 1, S. 6-25.

Künzel, H.M., Holm, A. und Krus, M.: Analyse von Feuchteschäden und Sanierungsplanung durch rechnerische Simulation. Referateband 9. Wiener Sanierungstage, ofi Bauinstitut, Wien 2001, Beitrag Nr. 11.

Neubauer, R. O.: Der Fenstereinbau - Anforderungen und Montage aus der Sicht der Sachverständigen. *Der Sachverständige*, Wißner Verlag, Augsburg, Oktober 2002, S. 270 - 276

Oswald R., Zöllner M., Liebert G., Sous S.: Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen (nach EnEV 2009). Bauforschung für die Praxis, Band 98, Fraunhofer IRB Verlag, (2011)