CORNET: IN2EUROBUILD –

EINHEITLICHER EUROPÄISCHER LEITFADEN FÜR DIE INNENDÄMMUNG VON BESTANDS BAUTEN UND BAUDENKMÄLERN

Leitfaden Teil 2: **Fassadensanierung und Innendämmung**

Projektnummer: 247 EBG

Projektlaufzeit: 01.05.2019 bis 31.12.2021

Technische Universität Dresden
Institut für Bauklimatik (IBK)

Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)
Holzkirchen

Belgian Building Research Institute (BBRI)

Institut für Holztechnologie Dresden (IHD)

17. November 2022

Inhalt

1 Einleitung ... 1
2 Planungsphasen ... 2
3 Fassadensanierungskonzept ... 5
3.1 Denkmalstatus ... 5
3.2 Dokumentation des Fassadenzustandes ... 5
3.3 Generelle Maßnahmen an der Bestandskonstruktion ... 6
3.4 Hinweise zum Schlagregen- / Spritzwasserschutz ... 10
3.5 Maßnahmen bei Putzfassaden ... 15
3.6 Maßnahmen für Sichtmauerwerk ... 16
4 Erstellung eines Dämmkonzeptes ... 19
4.1 Festlegung des gewünschten Dämmstandards ... 19
4.2 Auswahl möglicher Dämmsysteme ... 20
4.3 Überblick über die wichtigsten Bewertungskriterien ... 28
4.4 Hygrothermisches Verhalten typischer Dämmsysteme ... 28
5 Dimensionierung und Nachweis ... 29
5.1 Nachweisfreie bzw. als erfüllt erachtete Konstruktionen gemäß DIN 4108-3 ... 30
5.2 Vereinfachter Nachweis für Innendämmungen ... 30
5.3 Erweiterung des vereinfachten Nachweises - Klassifizierung diffusionsoffener kapillaraktiver Dämmsysteme ... 31
5.4 Nachweis durch hygrothermische Simulation ... 34
5.5 Simulationstabellen für typische Anwendungsbereiche / Freigaben durch Hersteller ... 36
6 Dimensionierung / Ausführung von Anschlussdetails ... 37
6.1 Allgemeine Dimensionierungsempfehlungen ... 37
6.2 Typische Anschlussdetails ... 39
6.3 Auswahlkriterien für die Detailbemessung ... 40
6.4 Konstruktive Hinweise bei Innendämmmaßnahmen ... 43
6.5 Hygrothermische Simulation von Anschlussdetails ... 46
7 Literaturverzeichnis ... 47
A Anhang ... 49
A I Beschreibung von Abdichtungssystemen ... 49
A II Untersuchte Dämmsysteme zum hygrothermischen Verhalten (aus EnEffID) ... 53
A III Erstellung eines vereinfachten Nachweises nach WTA-Merkblatt 6-4 ... 57
A IV Randbedingungen für den vereinfachten Nachweis zur Klassifizierung diffusionsoffener, kapillaraktiver Dämmmaterialien ... 58
A V Auswertung der Klassifizierung diffusionsoffener, kapillaraktiver Dämmmaterialien ... 59

A VI Kennwerte, Randbedingungen und Bewertungskriterien für hygrothermische Simulationen 60
A VII Anwendungsbeispiel für eine eindimensionale hygrothermische Bemessung 63
A VIII Anwendungsbeispiele für die hygrothermische Bemessung von Anschlussdetails 67
A IX Typische Anschlussdetails 74
A X Ablaufschema Fassadensanierungskonzept 101
A XI Ablaufschema Dämmkonzept 102

1 Einleitung

Der Verbrauch von Heizenergie in Bestandsgebäuden stellt einen großen Anteil am gesamten nationalen Energieverbrauch dar und trägt deshalb maßgeblich zur Produktion von klimaschädlichem CO_2 bei. Um den Klimawandel aufzuhalten und einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, muss deshalb der Heizenergieverbrauch dringend reduziert werden. Dies geschieht am effektivsten durch den Erhalt und die energetische Sanierung von ungedämmten Gebäuden.

Wärmedämmung ist und bleibt eine der wichtigsten Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs im Gebäudebereich. Dabei gewinnt die Innendämmung in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Dies liegt daran, dass ein nennenswerter Teil des Gebäudebestands, der leicht von außen gedämmt werden kann, bereits saniert ist. Der Anteil der verbleibenden Gebäude, bei denen aus verschiedenen Gründen nur eine Innendämmung möglich oder auch vorteilhafter ist, wird im Gegenzug immer größer.
Die Fläche der Außenwände nimmt beim Gesamtgebäude und damit beim energetischen Optimierungspotenzial einen großen Anteil ein. Um einen optimalen Sanierungserfolg zu erzielen, erfolgt die Konzepterstellung auf Grundlage des vorgefundenen Zustandes des Bestandsgebäudes.

Im ersten Teil der vorliegenden Leitfadenreihe wurde deshalb zunächst auf die Bewertung und Zustandsanalyse von Bauwerken eingegangen. Der hier vorliegende zweite Teil der Leitfadenreihe beschreibt die Erstellung eines Sanierungskonzepts und vermittelt ferner, was bei der Planung, Dimensionierung und Ausführung einer Innendämmmaßnahme beachtet werden muss.

In einigen Altbauten stellt Innendämmung die einzige Möglichkeit zur Dämmung der Außenwände dar. Das ist vor allem dann der Fall, wenn stadtbildprägende, baukulturell wertvolle oder anderweitig erhaltenswerte Fassaden Gegenstand der energetischen Ertüchtigung sind sowie bei Sichtmauerwerk oder Grenzbebauungen. Auch bei Objekten mit uneinheitlichen Besitzverhältnissen und in Fällen, bei denen eine Dämmung an der Außenseite wirtschaftlich ungünstiger ist, wird diese Möglichkeit der energetischen Aufwertung genutzt. Bei nur temporär genutzten Gebäuden kann eine Innendämmung aber auch deutliche energetische Vorteile aufweisen, da sie eine signifikant schnellere und kostengünstigere Konditionierung ermöglicht. Generell ist dabei zu beachten, dass durch eine Innendämmung die Temperatur- und Feuchteverhältnisse innerhalb der Wandkonstruktion mitunter stark verändert werden, da die Bestandswand vor allem in der Heizperiode deutlich kälter wird. Neben den energetischen sind daher die feuchtetechnischen Aspekte von besonderer Bedeutung.

Mittlerweile liegen sehr viele Systemlösungen für Innendämmung mit bewährten Ausführungsdetails und jahrzehntelange positive Erfahrungen vor. So gibt es die schon länger bekannten Systeme, welche den Wasserdampftransport durch die Außenwand durch dampfbremsende Schichten begrenzen. Weiterhin wurden auch Systeme entwickelt, die diffusionsoffen sind, dem Anstieg der Feuchte auf der Kaltseite der Dämmung aber durch andere Eigenschaften, wie Kapillarleitung und Feuchtespeicherung, entgegenwirken. Diese Systeme sind mit dem unter Planern gut bekannten Handrechenverfahren nach Glaser nicht mehr nachweisbar. Das liegt unter anderem daran, dass in diesem Verfahren nur der Wasserdampftransport als Mechanismus der Feuchteübertragung berücksichtigt wird. Flüssigwassertransport durch das Bauteil, beispielsweise in Folge von Kondensatbildung oder Regenwasseraufnahme und Feuchtespeicherung bleiben dabei unbeachtet.

Bei einigen Planern existiert durch die Vielzahl der verfügbaren Systeme und Wirkungsweisen eine gewisse Unsicherheit in der Anwendung. Hierfür soll der Leitfaden eine Unterstützung im Planungsprozess darstellen und zur Entscheidungsfindung beitragen.

Diese Leitfadenreihe entstand auf Basis früherer Forschungsprojekte des Fraunhofer Institutes für Bauphysik (IBP), des Institutes für Bauklimatik der TU Dresden (IBK) und des Belgian Building Research Institute (BBRI). Aus den ergänzenden Untersuchungen im gemeinsamen Projekt In2Euro-Build werden im vorliegenden Leitfaden in Bezug auf die Konzeption neuer Projekte mit Innendämmung

- Hinweise zu notwendigen Voruntersuchungen gegeben,
- Vorgehensweisen zur schadensfreien Ausführung erläutert,
- Einsatzbereiche und Grenzen der Innendämmung aufgezeigt sowie
- Kriterien zur Auswahl der passenden Dämmsysteme benannt.

Die vorliegende Anleitung versteht sich als Zusammenfassung und Weiterführung der bereits existierenden Fachkompendien, z.B.

- Arbeiter, K., Innendämmung - Auswahl, Konstruktion, Ausführung [1]
- Fachverband Innendämmung e.V., Praxis-Handbuch Innendämmung: Planung - Konstruktion - Details – Beispiele [2]
- Innenwärmedämmung - Merkblatt der Berufsverbände, Innenwärmedämmung - Merkblatt für Planung und Anwendung im Bestand und Neubau [3]

sowie Einzelrichtlinien, z.B. WTA-Merkblatt 6-4-16 [4] und dient als Leitfaden von der Bestandsanalyse über die Planung und Auswahl der geeigneten Systeme bis hin zur konkreten Umsetzung.

HINWEIS: Am Ende dieses Leitfadens befinden sich zwei Ablaufschemata, die die Erstellung eines Fassadensanierungs- und Dämmkonzeptes verdeutlichen. Mittels Schaltflächen im Text wird der passende Bereich im Ablaufschema geöffnet. Entsprechende Schaltflächen im Ablaufschema führen wieder zurück.

2 Planungsphasen

Die Planung von Innendämmung verläuft in drei Phasen. Sie beginnt mit einer Bestandsaufnahme zur Erfassung der relevanten Informationen und des baulichen Zustandes des Gebäudes einschließlich bauphysikalischer Kennwerte. Dieses Thema wird im Teil 1 des Leitfadens (Bauwerksanalyse) behandelt.
Wenn für das konkrete Gebäude der Zustand der Bausubstanz hinreichend erfasst wurde und eine Ursachenfindung für eventuell vorliegende Schäden erfolgte, kann auf dieser Basis das Sanierungskonzept, beginnend mit dem Fassadensanierungskonzept, erstellt werden.
Anschließend lässt sich ein konkretes Dämmsystem vor dem Hintergrund von Schadensvermeidung, Verringerung der Heizenergieverluste, Kostenvorgaben, denkmalpflegerischen Maßgaben sowie gestalterischen und konstruktiven Anforderungen festgelegen und nachweisen.
Im letzten Schritt erfolgen die Auswahl der relevanten, d.h. repräsentativen Anschlussdetails und deren Dimensionierung.

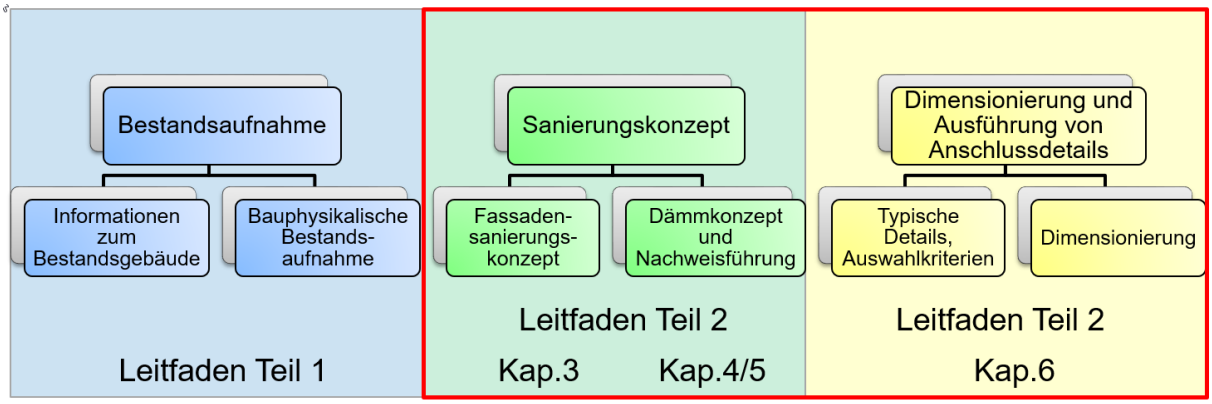


Bild 1 Phasen bei der Planung von Innendämmsystemen

Die Abarbeitung der einzelnen Phasen und Arbeitsschritte in der Reihenfolge des dargestellten Schemas (von links nach rechts) hat sich in der Praxis als sinnvoll erwiesen, da wichtige Abhängigkeiten zu beachten sind.

Zur besseren Übersicht wurde der Umfang der Bestandsanalyse als ein separater Teil 1 des Leitfadens zusammengefasst. Das Sanierungskonzept und die Bemessung konstruktiver Anschlussdetails wurden im vorliegenden Teil 2 zusammengefasst.
Um einen möglichst reibungslosen Ablauf aller Gewerke sicherzustellen und unnötige Verzögerungen zu vermeiden, müssen notwendige Vorleistungen und erforderliche technologische Zeiten mit eingeplant werden. Außerdem ist eine sinnvolle Reihenfolge der Gewerke zu berücksichtigen.

Sicherungsmaßnahmen, Beseitigung von Feuchtequellen
Als erster Schritt werden am Gebäude bei Erfordernis notwendige Sicherungsmaßnahmen vorgenommen sowie Maßnahmen zum Schutz vor weiteren Feuchteeinträgen eingeleitet. Dazu wird auf Kapitel 3.3.1 verwiesen.

Beseitigung von Feuchteschäden, Bauteiltrocknung
Vor Durchführung einer energetischen Sanierungsmaßnahme ist der Aufwand für die Beseitigung von Feuchteschäden und notwendige Bauteiltrocknungen so früh wie möglich nach den Sicherungs- und provisorischen Schutzmaßnahmen in den zeitlichen Ablauf einzuplanen. Je nach Zustand der Bestandskonstruktion können die Leistungen zur Trocknung sehr zeitintensiv sein. Sie sind aber essenziell für einen nachhaltigen Sanierungserfolg. Hierbei wird auf die Beachtung der Kapitel 3.3.2 und 3.3.3 verwiesen.

Abdichtungsarbeiten
Nach der Trocknungsmaßnahme der Bestandskonstruktion (bzw. der abzudichtenden Bereiche) werden die Abdichtungsarbeiten durchgeführt. Hierbei sind für den jeweils vorgegebenen Bemessungsfall bzw. gemäß erarbeitetem Abdichtungskonzept die geplanten Abdichtungsebenen einzubringen (z.B. horizontale Abdichtung in Wandkonstruktionen und auf dem Fußboden, vertikale Abdichtung im erdberührten Bereich). Dabei sollte beachtet werden, dass nach einer Abdichtungsmaßnahme das noch verbleibende Trocknungspotenzial gering ist.

Herstellen des Schlagregenschutzes
Falls sich aus den Bestandsuntersuchungen ergeben hat, dass die Fassade nicht schlagregensicher ist und Handlungsbedarf besteht, wird (nach erfolgter Trocknung und soweit notwendig) die (Wieder-)Herstellung des Schlagregenschutzes in die Wege geleitet. Geeignete Maßnahmen sind im Kapitel 3.4 beschrieben.

Untergrundvorbereitung für Innendämmsystem
Erst nachdem die Maßnahmen zur Vermeidung weiterer Feuchteeinträge durchgeführt wurden (je nach Notwendigkeit) und eine ausreichende Trocknung feuchter Wandbereiche stattgefunden hat, kann das Innendämmsystem aufgebracht werden. Dazu können Vorarbeiten erforderlich werden. In der Regel muss der Untergrund der Bestandswand sauber, tragfähig und trocken sein. Nicht tragfähige Unterputze, Gipsbestandteile, Sperrschichten, Anstriche und Tapeten müssen entfernt werden, wobei die notwendigen Vorarbeiten auch abhängig vom verwendeten Dämmsystem sind (Herstellerangaben).
Wenn plattenförmige Innendämmmaterialien aufgebracht werden sollen, wird eine ebene Fläche benötigt. Je nach Zustand der Bestandsoberfläche ist deshalb die Anordnung eines Grund- bzw. Ebenheitsputzes erforderlich, vor allem beim Einsatz einer kapillaraktiven, diffusionsoffenen Innendämmung.

Folgende Eigenschaften für einen neu aufzubringenden Grundputz werden bei Planung eines diffusionsoffenen, kapillaraktiven Dämmsystems empfohlen:

- Druckfestigkeit: 3-5 N/mm²
- Hohe Porosität
- Dampfdiffusionswiderstand $\mu \leq 15$
- Hinreichende Kapillaraktivität ($A_w > 1$ kg/(m²·h^{0,5}))

Hierbei sind die notwendigen Trocknungszeiten des Grundputzes zu beachten, bis die Innendämmung aufgebracht werden kann. Häufig kommen NHL-Putze, schwach zementhaltige Kalkputze oder Spezialgrundputze zum Einsatz.

Bei plastischen Dämmmaterialien wie Dämmputzen, Aufspritz-Cellulose, Wärmedämmstampflehm oder bei vorgemauerten Schalen mit Hinterfüllmörtel ist kein Grundputz erforderlich.

Aufbringen des Innendämmsystems
Die einzelnen Komponenten von Innendämmsystemen sind aufeinander abgestimmt, weswegen nur systemzugehörigen Komponenten verwendet werden dürfen. Werden Produktsysteme vermischt, besteht die Gefahr, dass die Wand auffeuchtet. Die Dämmplatten sind gemäß Herstellerangaben anzubringen und zu verarbeiten.
Bei der Verwendung von Wärmedämmputzen oder Wärmedämmstampflehm ist der zusätzliche Feuchteeintrag und damit verbunden die notwendige Trocknungszeit im weiteren Arbeitsablauf mit zu berücksichtigen.
Falls im Zuge der Sanierung der Einbau neuer Fenster oder anderer Bauelemente in der Außenwand geplant ist, erfolgt dies vor Einbau der Innendämmung. Die Laibungsdämmung des ausgewählten Innendämmsystems wird dann an das Fensterelement luftdicht und wärmebrückenoptimiert angeschlossen.

Fußbodenaufbau, Deckenverkleidungen
Der weitere Innenausbau, wie die Erstellung des Fußbodenaufbaus und die Anbringung von Deckenverkleidungen bzw. abgehängten Decken erfolgt nach der Installation der Innendämmung. Damit wird sichergestellt, dass potenzielle wärmeleitende Einbauten (wie Estrich) nicht direkt die kalte Bestandswand, sondern die wärmere Oberfläche der Innendämmung berühren.

3 Fassadensanierungskonzept

Vor einer geplanten Innendämmmaßnahme ist der Fassadenzustand des Gebäudes genauer zu begutachten. Durch die geplante Dämmung wird die Bestandswand tendenziell kälter, dadurch bedingt steht weniger Trocknungspotenzial als vor der Maßnahme zur Verfügung.

Die Schutzfunktion einer Fassade nimmt im Laufe der Jahre durch die Verwitterung und andere Einflüsse ab, was durch Veränderungen der Festigkeit, Farbe oder Materialeigenschaften erkennbar wird. Je nach Fassadenmaterial und -qualität sind deshalb entsprechende Wartungszyklen einzuplanen.
Die Erstellung eines Fassadensanierungskonzeptes ist dann sinnvoll, wenn der Sanierungsaufwand aufgrund der bestehenden Komplexität nicht ohne weiteres abschätzbar ist. Dies betrifft z.B. Natursteinfassaden oder ziegelsichtige Fassaden, bei denen die Einhaltung des Schlagregenschutzes nicht sichergestellt werden kann. Außerdem ist die Erstellung eines Konzeptes für Fassaden mit großflächigen, offensichtlichen Schäden, deren umfassende Aufnahme und Begutachtung den Rahmen einer ersten Gebäude-/ Feuchtezustandsuntersuchung sprengen würde, empfehlenswert.
Die im Folgenden empfohlenen Maßnahmen zielen darauf ab, einerseits eine schlagregensichere, standfeste Fassade zu erhalten und andererseits das Trocknungspotenzial einer Fassade zu erhalten oder zu erhöhen.

3.1 Denkmalstatus

Besondere Herausforderungen bei der Sanierung bestehen, wenn das zu sanierende Gebäude unter Denkmalschutz steht. Hier empfiehlt sich eine frühzeitige Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde des jeweiligen Landes bzw. Bundeslandes. Bauliche Veränderungen müssen mit der Behörde abgestimmt werden. Dabei können sich einander entgegenstehende Anforderungen und Wünsche ergeben, z. B. dass Fensteransichtsbreiten nicht verändert werden können oder historisch wertvolle Fassaden keinen Anstrich (und damit notwendigen Schlagregenschutz) erhalten dürfen bzw. keine Veränderungen bei Ziegelsichtfassaden (z.B. Verblechungen im Bereich von Vorsprüngen) zulässig sind. Hier müssen in Zusammenarbeit mit der Behörde Kompromisse gefunden werden. Anforderungen des Denkmalschutzes sind von den Einzelfallentscheidungen der jeweiligen Behörde abhängig und nicht allgemein anwendbar.
Die Vorgehensweisen und Empfehlungen in diesem Leitfaden beziehen sich jeweils auf bauphysikalisch sinnvolle Maßnahmen – ob diese im Kontext des Denkmalschutzes durchführbar sind, ist im Einzelfall zu klären.

3.2 Dokumentation des Fassadenzustandes

Grundlage für die Bauablaufplanung und für eine genaue Kalkulation der Kosten mit den immanenten Abhängigkeiten ist die Dokumentation des Zustandes der Fassade und der vorhandenen relevanten Mängel.
Hierfür werden die einzelnen Schäden an der Fassade detailliert kartiert und eingestuft. Konstruktive Besonderheiten der Fassade und deren Auswirkungen werden dargestellt.
Folgende Schäden können auftreten und sollten in der Kartierung erfasst werden:

- Frostabsprengungen
- Salzbelastungen
- Schäden am Fassadenmaterial (Steine, Fugen und Putz)
- Risse (z.B. konstruktiv, untergrundbedingt, materialbedingt)
- Sichtbare Durchfeuchtungen und Feuchtehorizonte

Ablaufschema FS

- Veralgung, Schimmel
- Bewuchs
- Feuchtequellen (Defekte Gebäudeentwässerung außen/ innen, Spritzwasser, Feuchträume)

In der folgenden Abbildung ist eine Gebäudeansicht als Teil der Dokumentation des Fassadenzustandes ersichtlich.

Bild 2 Darstellung des vorgefundenen Schadensbildes einer Fassade

3.3 Generelle Maßnahmen an der Bestandskonstruktion

3.3.1 Entfernen von Feuchtequellen

Im Rahmen der Bauzustandsanalyse (Teil 1 des Leitfadens) wurden die bestehenden Feuchtelasten sowie deren Ursachen ermittelt und quantifiziert.
Bei vielen Vorhaben (vor allem bei Gebäuden mit längerem Leerstand oder mit Sanierungsstau) müssen zunächst bauliche Sicherungsmaßnahmen am Gebäude oder an gefährdeten Gebäudeteilen zur (temporären) Erhaltung und zur Vermeidung weiterer Schadeinwirkung durchgeführt werden. Dies wird meist aufgrund von Bauschäden aus statischen Gründen oder aufgrund fehlenden Witterungsschutzes erforderlich.
Bei großen Fehlstellen in der Dachkonstruktion oder in der Dachentwässerung bedeutet dies z.B., dass provisorische Schutzmaßnahmen (Abplanen oder Notdach zur Verhinderung weiterer Wassereinträge, Regenableitung vom Gebäude weg) vorgesehen werden. Meist ist dies schon bei der ersten Gebäudebesichtigung erkennbar, so dass diese Hinweise bereits im Gebäude- bzw. Feuchtezustandsbericht dem Bauherrn als Sofortmaßnahmen übermittelt werden.
Vor Durchführung einer Dämmmaßnahme muss durch entsprechende Vorkehrungen gewährleistet werden, dass kein Problem mit aufsteigender und seitlich eindringender Feuchte aus dem Erdreich/ Sockelbereich besteht und dass die Fassadenkonstruktion schlagregensicher ausgeführt ist.
Bei vielen Schadensbildern sind umfangreichere Maßnahmen sowie Maßnahmenkombinationen zur Beseitigung der Feuchteschäden notwendig. Im Anhang des Teils 1 des Leitfadens (Bestandsanalyse) sind Beispiele für typische Schadensbilder dargestellt, wobei Ursachen und Lösungsvorschläge zur Sanierung beschrieben sind.

3.3.2 Entfernen von dampfbremsenden bzw. -sperrenden Schichten

Bei der Konzepterstellung sollte darauf geachtet werden, dass ein möglichst großes Trocknungspotenzial nach außen hin bestehen bleibt oder hergestellt werden kann.
In der Vergangenheit kamen oft Beschichtungen und Putze zum Einsatz, die nach aktuellem Stand der Technik und in Kombination mit einer Innendämmung für den Schlagregenschutz ungeeignet sind. Wenn also den Wasserdampftransport deutlich hemmende Oberflächenschichten vorhanden sind, welche die Trocknung des Mauerwerks nach außen behindern und sich somit bei Anbringung einer Innendämmung besonders ungünstig auswirken, sollte in Erwägung gezogen werden, solche Schichten zu entfernen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn schon Schäden an der Oberfläche zu erkennen sind, wie z.B. Risse, Frostschäden und Absanden.

Bild 3 Beispiel für dichte, zu entfernende Anstriche

Derartige Schichten können verbleiben, wenn:

- die Fassade mit diesen Schichten langfristig schadensfrei ist,
- es sich um wetterabgewandte Seiten handelt,
- keine dauerhaft/ längerfristig hohen Feuchtegehalte vorhanden sind,
- eine Innendämmung mit geringer Stärke eingesetzt wird (nachweisfreie Konstruktionen gemäß DIN 4108-3 [5]

Hygrothermische Simulationen oder fachmännische Begutachtung können den Entscheidungsprozess unterstützen, ob ein Ausbau der Schichten notwendig ist oder nicht. In Einzelfällen können bei dem Verbleib solcher Schichten Schädigungen der Fassaden auftreten, da das Trocknungspotential durch die Innendämmung nochmal reduziert wird.

- Stärker dampfbremsende Beschichtungen sollten idealerweise entfernt werden, sei es mit chemischen oder mechanischen Mitteln. Die Praxis zeigt, dass die Entfernung nie vollständig möglich ist und dass die Poren oberflächlich noch mit Farbresten gefüllt sind. Dies sollte bei nur teilweise dampfbremsenden Farben (wie z. B. Acrylfarben) kein Problem sein, kann sich aber bei dampfdichteren Farben, wie z. B. Ölfarben, Epoxidharzfarben oder ähnlichen Beschichtungen als negativ erweisen. In solchen Fällen muss die Farbentfernung invasiver erfolgen, wobei die Oberfläche des Mauerwerks unvermeidlich beschädigt wird, so dass es oft notwendig ist, eine neue Beschichtung für einen besseren Schutz der (nun beschädigten) Fassade aufzubringen. Diese Grundsätze gelten auch für Fassaden, die mit bituminösen Produkten versehen wurden.
- Zu dampfdichte Putze auf Zementbasis oder Putze mit dichten Zusatzstoffen, die oft Risse aufweisen, sollten entfernt werden. Erfahrungsgemäß trocknet die durch Risse und Fehlstellen eingedrungene Feuchte nur sehr langsam wieder aus, sodass das Mauerwerk mit der Zeit

auffeuchtet. Durch die Entfernung solcher Putze wird das angrenzende Mauerwerk oft beschädigt. Häufig sind daher anschließend geeignete Anstriche oder (dampfdurchlässigere) Putze auf das beschädigte Mauerwerk aufzutragen.

3.3.3 Trocknungsmaßnahmen

Mit dem geplanten Einbau einer Innendämmung an der Außenwand wird das Trocknungsvermögen der Konstruktion mehr oder weniger stark infolge der kälteren Bestandsaußenwand reduziert.

Bei der Sanierungsplanung ist zu bedenken, dass das Abtrocknen der durchnässten Wände viel Zeit in Anspruch nehmen kann. Besonders bei stark durchfeuchteten Wänden sind deshalb möglichst frühzeitig der schadhafte Innenputz sowie dichte Schichten (wie Fliesen), die im Rahmen der Baumaßnahme sowieso ersetzt werden, zu entfernen, um ausreichend Zeit und Trocknungspotenzial zum Innenraum hin zu schaffen. Beim Entfernen von schadhaftem Außenputz schützt ein provisorischer Schlagregenschutz (z.B. durch ein Gerüst) vor erneuten Regeneinträgen in die Fassade. Am günstigsten ist es, wenn das Gebäude bzw. die betroffenen Konstruktionsbereiche nach Durchführung der Sofortmaßnahmen mit natürlicher Lüftung trocknen können. Dafür eignen sich Jahreszeiten, in denen der absolute Feuchtegehalt (in g/m³ oder g/kg) der Außenluft geringer als in der Raumluft ist. Dies ist in den kalten Monaten der Fall. Durch einen kontrollierten Luftaustausch wird somit kalte, trockene Luft in das Gebäude eingetragen und die wärmere, feuchtebelastete Luft aus dem Gebäude abgeführt. Die Sommermonate sind vor allem für die Trocknung von Kellerbereichen nur sehr eingeschränkt geeignet bzw. kann bei ungünstigen Bedingungen durch die Belüftung eine Befeuchtung stattfinden („Sommerkondensation“).
Die Lüftung kann auch mit einfachen Lüftergeräten in Kombination mit Feuchtesensoren an der Außen- und Innenseite geregelt werden, so dass eine Lüftung nur stattfindet, wenn der absolute Feuchtegehalt außen geringer als innen ist.
Durch eine (bei Bedarf) nochmalige Feuchtemessung in ausgewählten Bereichen kann dann überprüft werden, wie erfolgreich die Sofortmaßnahmen zum Witterungsschutz und diese Trocknungsmaßnahmen waren. Falls dies nicht ausreichend ist oder zu lange dauert, kann auf eine technische Trocknung zurückgegriffen werden.
Im Bereich erdberührter Außenwände, bei denen die Horizontalsperre bzw. vertikale Abdichtung nicht intakt sind, ist der Beginn der Trocknungsmaßnahme erst während oder nach der außenseitigen Abdichtungsmaßnahme sinnvoll, damit keine Feuchte aus dem Erdreich nachgezogen wird.
Für die Trocknung von Außenwänden stehen in Abhängigkeit der örtlichen und baulichen Bedingungen sowie des Trocknungsverhaltens der betroffenen Bauteile verschiedene, etablierte Verfahren zur Verfügung. Deren Einsatzmöglichkeiten, Grenzen und Erfolgskontrolle beschreiben das WTA-Merkblatt 6-15-13 [6] und das WTA-Merkblatt 6-16-19 [7] Bei technischen Trocknungsmaßnahmen ist eine begleitende Überwachung der Feuchteentwicklung zu empfehlen, um einen nachhaltigen Erfolg sicherzustellen. Wird permanent oder mit zu hohem Energieeinsatz getrocknet (oder geheizt), trocknet die Wandoberfläche zunächst stark ab. In den tiefer liegenden Bereichen der Wand bleibt die Feuchte jedoch erhalten. Ist die Wandoberfläche sehr trocken, benötigt die Feuchte aus den tieferen Wandschichten mehr Zeit als bei einem mehr oder weniger feuchten Wandabschnitt, um an die Oberfläche zu gelangen und dort auszutrocknen. Für die Trocknung sollte deshalb eine erfahrene Fachfirma beauftragt werden.
Je nach Art der Trocknung ist auf ein ausreichendes Maß an Lüftung zu achten, damit die Feuchte aus dem Raum abgeführt werden kann.
Es wird weiterhin empfohlen, vor allem in Bereichen ehemals feuchter Wandabschnitte raumseitig einen möglichst diffusionsoffenen Kalk- bzw. Kalkzementputz einzusetzen.

3.3.4 Abdichtungsmaßnahmen

Wenn bei der Auswertung der Bestandsanalyse festgestellt wurde, dass Feuchtebelastungen infolge aufsteigender Feuchtigkeit und Spritzwasserbelastung vorhanden sind, ist das Anbringen nachträglicher Abdichtungen für erdberührte Bauteile und Bauteile im Sockelbereich eine wirksame Maßnahme zur Wiederherstellung der Schutzfunktion und zur signifikanten Reduzierung der Feuchtebelastung. Bei vielen älteren Bestandsgebäuden bzw. ursprünglich unbeheizten Gebäuden ist häufig keine Abdichtung vorhanden.
Zur Gewährleistung einer zuverlässigen Funktionsfähigkeit der Bauwerksabdichtung sind verschiedene Faktoren bereits in der Planung mit zu berücksichtigen, um das richtige Abdichtungssystem auszuwählen und zu dimensionieren. Dies sind z.B. Widerstand gegen äußere Einwirkungen, Rissbeschränkung und Nutzungsklasse.
Viele in der Praxis bewährte Abdichtungssysteme sind in der DIN 18533-1 [8] normativ erfasst. Je nach vorgefundenem Zustand der Bestandskonstruktion stehen unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten für die Abdichtung erdberührter Bauteile zur Verfügung. Jedoch gibt es bei jeder dieser Methoden einige Einschränkungen. Dazu zählen in Abhängigkeit vom Verfahren z.B. ein großer notwendiger Arbeitsraum, Art der Wandaufbauten (z.B. Bruchsteinmauerwerk, Inhomogenitäten, Vorhandensein von Hohlschichten), die vorhandene Mauerwerksfeuchte oder die Empfindlichkeit des Gebäudes gegenüber Erschütterungen. Welches der hier vorgestellten Verfahren am besten angewendet werden sollte, kann durch den Planer oder einen Fachingenieur entschieden werden. Die Funktionsfähigkeit des gesamten Abdichtungssystems kann nur sichergestellt werden, wenn eine dauerhafte und mit notwendiger Überlappung versehene Anbindung der einzelnen Komponenten erfolgt.
Ein komplettes Abdichtungssystem besteht dabei aus mehreren Komponenten:

- Äußere vertikale erdberührte Abdichtung oder innere vertikale Abdichtung (gegen Kapillarwasser aus dem Erdreich)
- Äußere Abdichtung im Sockelbereich (Spritzwasserschutz)
- Horizontale Abdichtung in Wänden (aufsteigende Feuchte)
- Horizontale Flächenabdichtung auf der Bodenplatte/Geschossdecke

Eine Beschreibung der Abdichtungskomponenten und einiger Abdichtungsverfahren ist im Anhang A I zu finden.

3.3.5 Umgang mit Salzen

Feuchteschäden an Fassaden treten oft in Verbindung mit Salzschäden auf. Durch zu hohe Feuchte in Bauteilen werden dabei Salze im Wandinneren gelöst und zu Zonen mit geringerer Feuchte (Oberfläche) transportiert, wo häufig die Bedingungen für eine, evtl. auch schadensträchtige, Kristallisation vorliegen. Im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme einer salzbelasteten Fassade sind zunächst die Ursachen der Feuchte- und Salzbelastung (z.B. Belastung durch Nitrate bei ehemaliger Stallnutzung, durch Chloride bei Einsatz von Streusalzen oder durch gelöste Salze durch Mauerwerksdurchfeuchtungen und Einträgen aus dem Erdreich) zu prüfen, sowie Maßnahmen zu deren Beseitigung zu ergreifen (z.B. Sperren, Trocknung...).

Häufige Schadensbilder sind z.B.:

- Ausblühungen von Salzen, Krustenbildungen auf Oberflächen
- Schäden durch Salzkristallisation (Abplatzungen, Schalenbildung und Zermürbung), auch innerhalb des Steingefüges infolge Volumenvergrößerung und Kristallisationsdruck bei nicht ausreichend beständigen Materialien
- Hygroskopische Wasserschäden, sichtbar durch feuchte Flecken, oft mit angegriffener Oberfläche; dabei wird in salzbelasteten Bereichen im Material Feuchtigkeit aus der Raumluft gebunden

Ablaufschema FS

- Bei Putzflächen: Abplatzungen am Anstrich mit Ausblühungen (häufig im Sockelbereich, an der Traufe, unter Fensterbrüstungen)

Nach Bestimmung der Ursache, der Salzart und des Versalzungsgrades können notwendige Schritte und ggf. eine Sanierungsmethode abgeleitet werden. Zur Bestimmung der häufigsten Salzarten gibt es einfache Testkits im Handel. Liegt ein Salzschaden (z.B. mit Substanzschädigung wie Abplatzungen) vor, sollte eine Fachfirma mit der Planung der Sanierung beauftragt werden.
Bei der Salzreduzierung bzw. Salzsanierung gibt es verschiedene Ansätze und Methoden.

- Bei einer Trocknungsmaßnahme werden mit der Bauwerksfeuchte auch die Salze an die Wandoberfläche gelangen und dort auskristallisieren. Diese sind an der Oberfläche immer trocken zu entfernen, z.B. durch Abkehren mit einem Besen. Wenn die Wand nach der Trocknungsmaßnahme trocken bleibt, sind zukünftig keine weiteren Salztransporte mehr zur Oberfläche zu erwarten.
- Bei ziegelsichtigen Fassaden sind die Fugen bis mindestens 50 cm über die beschädigten Bereiche hinaus komplett zu sanieren.
- Bei hohen Salzgehalten erfolgt eine Entfernung der salzbelasteten Bereiche, d.h. Entfernen von belastetem Putz oder Steinen und Neuverputz bzw. Steinersatz.
- Anwendung chemischer Verfahren: Hierbei erfolgt eine Umwandlung von leichtlöslichen Salzen in schwer- oder unlösliche Salze.
- Anwendung physikalischer Verfahren: Hierbei werden Salze in Lösung gebracht und zu einem definierten Ort transportiert, an dem sie auskristallisieren. Dies wird z.B. mit Kompressen realisiert, die auf die Wandoberfläche aufgetragen und nach dem Salzeintrag wieder entfernt werden. Die Wirkungs- und Vorgehensweise wird im WTA-Merkblatt 3-13-19 [9] beschrieben
- Häufig werden spezielle Beschichtungen und Putzsysteme eingesetzt. Am bekanntesten hierbei sind hydrophobe Sanierputze mit hoher Wasserdampfdurchlässigkeit und reduzierter kapillarer Leitfähigkeit, s. dazu WTA-Merkblatt 2-9-20 [10]. Sättigt der Sanierputz durch die vorliegende Salzbelastung zu sehr auf, muss er entfernt werden („Opferputz“). Inzwischen werden auch Putze und Platten angeboten, die in der Lage sein sollen, die Salze aufzunehmen und ohne Schädigung in der Materialmatrix einzulagern. Die langfristige Leistungsfähigkeit solcher Produkte muss noch nachgewiesen werden.

3.4 Hinweise zum Schlagregen- / Spritzwasserschutz

3.4.1 Anforderungen

Die entscheidende Randbedingung für die Bemessung von Innendämmsystemen ist die Schlagregenbelastung einer Fassade. Deshalb ist zuerst zu überprüfen, ob die Schlagregenbelastung für die zu betrachtende Fassade überhaupt relevant ist. Ohne oder mit wenig Schlagregenbelastung sind auch keine Schlagregenschutzmaßnahmen erforderlich.

In einigen Fällen kann Schlagregen eine erhebliche Feuchtelast verursachen, welche bei einer Verwendung der Innendämmung das Schadensrisiko (hoher Feuchtegehalt, Eisbildung) im Bestandsmauerwerk erhöhen kann. Das Trocknungspotenzial reduziert sich nach dem Anbringen der Innendämmung infolge des niedrigeren Temperaturniveaus der Bestandswand sowie des höheren Diffusionswiderstandes in Richtung Innenraum.
Zur Sicherstellung des Schlagregenschutzes von Fassaden ist die aufgenommene Niederschlagsmenge so zu begrenzen, dass es weder zu einer langfristigen Feuchteakkumulation noch zu einem kritischen Wassergehaltsverlauf kommt.
Wichtige Einflussgrößen auf die Schlagregenbelastung sind die Ausrichtung, die geographische Lage (geschützt oder ungeschützt) sowie die Gebäudehöhe; mit zunehmender Höhe nimmt die

Schlagregenbelastung zu. Meistens sind nach West oder Südwest orientierte Fassaden der Wetterseite und damit dem meisten Regen ausgesetzt. Besonders relevant ist dies bei dünnen, einschaligen Wänden oder bei Sichtmauerwerk (s. Teil I, Kap. 4.3).

Die Schlagregenbelastung ist generell davon abhängig, wie groß die Niederschlagssumme und wie stark die Windbelastung an einem Standort sind. An der nachfolgenden Kartendarstellung (Bild 4 links) der Niederschlags-Jahressummen ist zu erkennen, dass eine geringere Belastung von unter 600 mm pro Jahr in diversen Tiefebenen, z.B. Magdeburger Börde, Thüringer Becken, Oberrheinische Tiefebene, zu verzeichnen ist. Eine bis zu doppelt so hohe Niederschlagsbelastung von über 1000 mm pro Jahr ist für das Alpenvorland und das Mittelgebirgsland (z.B. Schwarzwald, Böhmerwald, Thüringer Wald, Harz) zu erwarten.

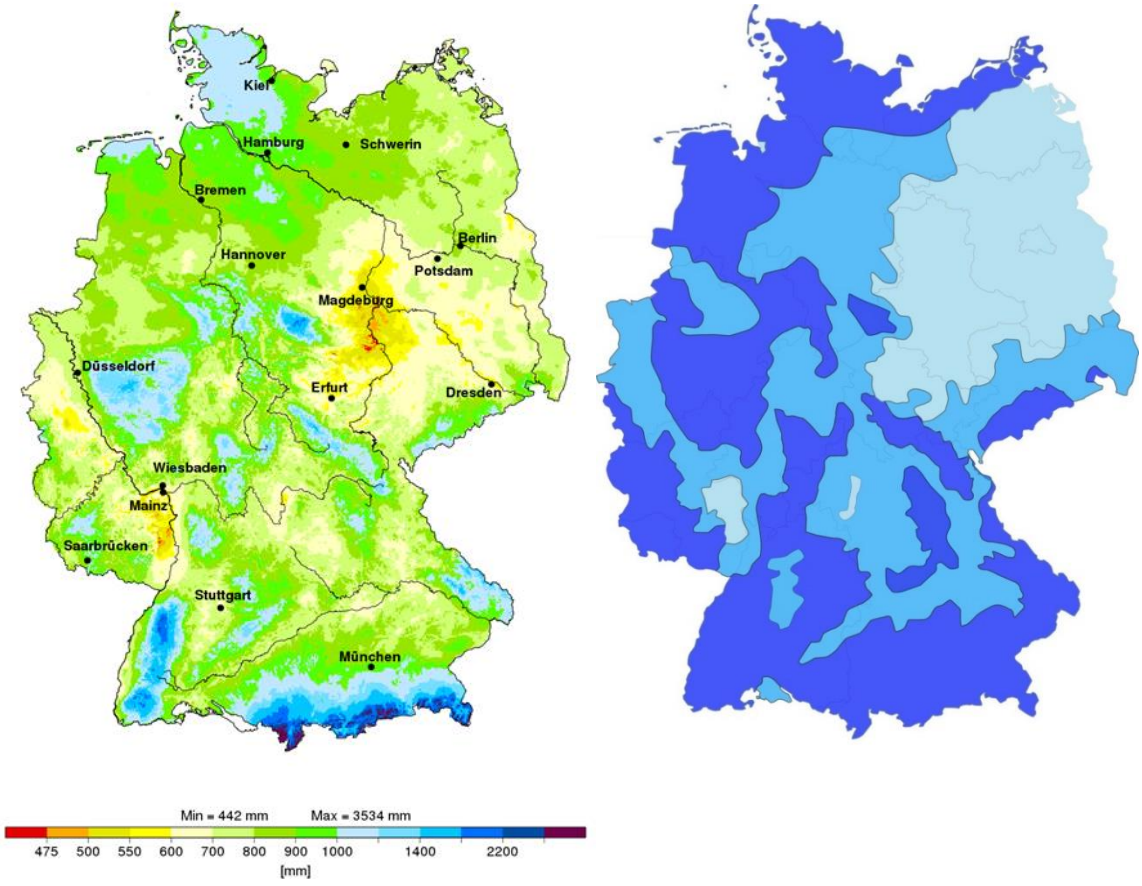


Bild 4 Links: Jährliche Niederschlagsummen in Deutschland gemäß Langzeitmessungen in den Jahren 1961-1990 (Quelle: Deutscher Wetterdienst: Klimaatlas Deutschland, www.dwd.de) und rechts: Daraus abgeleitete Niederschlagszonen gemäß DIN 4108-3 [5], (Quelle: T. Duzia, Wuppertal)

Eine Einteilung der Schlagregen-Belastung gemäß der mittleren Jahresniederschlagssummen nimmt auch die Feuchteschutznorm DIN 4108-3 [5] vor. Es werden in dieser Norm drei Beanspruchungsgruppen unterschieden und per Karte zugeordnet. In der Zuordnung der Schlagregenbelastung in der genannten Norm sind nicht ausschließlich großräumliche Bedingungen des horizontal gemessenen Niederschlags ausschlaggebend. Wie bereits erläutert, ergibt sich eine Schlagregenbelastung aus dem Zusammenspiel von Niederschlag (horizontal) und Windverhältnissen. Die Zoneneinteilung spiegelt dieses Zusammenspiel wider. Daher sind hier beispielsweise die Küstengebiete mit mäßigen Niederschlagssummen (z.B. der Nord-Osten Mecklenburg-Vorpommerns) auf Grund der Windverhältnisse der höchsten Beanspruchungsgruppe zugeordnet.

Tab. 1 Einteilung Beanspruchungsgruppen in DIN 4108-3 [5]

Beanspruchungsgruppe	I	II	III
Jahresniederschlagssumme in mm	< 600	600-800	>800
Farbkennung in Bild 4			

Die Windverhältnisse sind in der Zonenzuordnung des Gebäudes auch lokalklimatisch zu beachten. Steht ein Gebäude in einer windexponierten Lage, z.B. auf einem Berg oder in einer Windschneise, so ist es der höheren Beanspruchungsgruppe zuzuordnen. Das gilt ebenso für windgeschützte Lagen, welche der jeweils niedrigeren Gruppe zugeordnet werden können.

Zur Dimensionierung des Dämmsystems muss die Schlagregenbelastung bekannt sein. Für Vorüberlegungen genügt die Zuordnung des Standortes zur Beanspruchungsgruppe. Für detaillierte Berechnungen wird ein geeignetes Bemessungsklima mit Stundenwerten ausgewählt.

Im Zweifel kann die spezifische Belastung der Fassade sowie deren Saugverhalten über Messungen ermittelt und z.B. mittels Simulationen geprüft werden, ob das Bauteil mit der geplanten Dämmmaßnahme bei diesen Bedingungen funktioniert. Dafür werden wiederum die Materialparameter der vorhandenen Schichten benötigt.

Meistens ist es daher einfacher, den Schlagregenschutz pauschal sicherzustellen, z.B. konstruktiv durch Dachüberstände zum Schutz der Außenwand oder durch eine Verkleidung/ Vorsatzschale. Diese, in technischer Hinsicht ideale Lösung ist häufig wegen der Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes nicht wünschenswert oder durchsetzbar. Wird eine Verkleidung durchgeführt, ist es meistens möglich, auch eine (zumindest geringe) äußere Wärmedämmung einzusetzen, die bauphysikalisch einer Innendämmung in der Regel vorzuziehen ist.
Eine weitere Möglichkeit besteht im Aufbringen einer neuen Beschichtung, eines neuen Putzes oder Dichtschlämmen.

Der w-Wert (Wasseraufnahmekoeffizient) der Bestandswand lässt sich über verschiedene in-situ Messverfahren mit unterschiedlichem Aufwand und Genauigkeit bestimmen (s. Teil I). Diese Messverfahren sind zum Teil auch zur Überprüfung von Hydrophobierungsmaßnahmen geeignet. Wenn nicht direkt ersichtlich ist, ob eine Stelle der Fassade einer Schlagregenbelastung ausgesetzt ist, können dort einfache Schlagregenmesssysteme, wie z.B. [11], angebracht werden.

Gemäß DIN 4108-3 [5] und WTA-Merkblatt 6-5-14 [12] ist ein ausreichender Schlagregenschutz für innen gedämmte Bauteile sichergestellt, wenn die folgende Anforderung an die beanspruchte Fassadenoberfläche eingehalten ist:

- $w \cdot s_d \leq 0{,}1$ kg/m$\sqrt{h}$
- mit $s_d \leq 1{,}0$ m und $w \leq 0{,}2$ kg/m$^2\sqrt{h}$

Der s_d-Wert einer Materialschicht wird ermittelt aus s_d = Dicke * µ-Wert. Von dieser Anforderung kann jederzeit abgewichen werden, wenn der Schlagregenschutz durch Lage, Ausrichtung, konstruktive Gegebenheiten und Bebauungen oder andere Umstände erbracht wird bzw. geringe oder keine Schlagregenexposition vorliegt.

Ist kein ausreichender Schlagregenschutz gegeben, müssen entsprechende Maßnahmen zur Sicherstellung getroffen werden. Bei Putzfassaden ist dies mit einem geeigneten standfesten, rissfreien Außenputz nach obigen Anforderungen erfüllt. Andernfalls lässt sich der Schutz auch durch Ausbesserungen/Rissverfüllungen und einen wasserabweisenden Anstrich oder einem Neuverputz sicherstellen.

Bei steinsichtigen Fassaden, bei denen keine konstruktiven Maßnahmen zur Reduzierung der Wasseraufnahme möglich sind, kann auch die Verwendung einer hydrophoben Imprägnierung eine Option darstellen.

3.4.2 Hydrophobierende Maßnahmen

Wenn keine andere Maßnahme zielführend ist, besteht bei Sichtmauerwerk die Möglichkeit, eine Hydrophobierung zur Reduzierung der kapillaren Wasseraufnahme anzuwenden. Diffusionsoffene Mittel, welche auf die Bestandsziegel angepasst werden, sind dabei in der Regel vorzuziehen. Eine Abstimmung mit anderen Arbeitsschritten des Sanierungskonzeptes ist notwendig.
Für die Planung und Anwendung einer hydrophobierenden Imprägnierung steht mit dem WTA-Merkblatt 3-17 [13] eine wichtige Entscheidungshilfe zur Verfügung. In dieser werden notwendige Grundlagen sowie die Berücksichtigung von objektspezifischen Parametern und Auswirkungen auf den Untergrund erläutert. Weiterhin werden Wirkungsweisen verschiedener Systeme und Vorschläge zur Maßnahmenplanung vorgestellt.
Die Kenntnis des vorhandenen Untergrundes und der verbauten Fassadenmaterialien und derer Eigenschaften einschl. Fugen ist wichtig vor Ausführung der geplanten Maßnahme.
Dazu gehört auch, in Erfahrung zu bringen oder zu überprüfen, ob das zu behandelnde Mauerwerk dafür geeignet ist. Voraussetzungen sind u.a. ausreichend niedrige Salzkonzentrationen und möglichst Rissfreiheit bzw. -begrenzung im Mauerwerk.
Die Information, ob die Fassaden in der Vergangenheit schon Beschichtungen erhalten haben und welche diese waren ist wichtig für die Planung einer erneuten Behandlung. Alternativ kann eine chemische Verträglichkeit durch Laboruntersuchungen überprüft werden, was in bauphysikalischen Laboren, aber häufig auch durch die Hersteller der Hydrophobierungssysteme angeboten wird.

Anwendung der Hydrophobierung:
Nach erfolgter Flächenreinigung sowie Sanierung der Fugen und Risse wird eine hydrophobe Imprägnierung aufgebracht, welche die Diffusionsfähigkeit des Mauerwerkes und damit das Trocknungspotential nicht oder möglichst wenig beeinträchtigt, die Schlagregenaufnahme jedoch deutlich (auf w-Werte unter 0,2 kg/m²√h reduziert.
Nach den Voruntersuchungen und Festlegung der erforderlichen Eindringtiefe erfolgt die Auswahl geeigneter Produkte. Diese werden zunächst auf Musterflächen, die die wesentlichen Objekteigenschaften mit Berücksichtigung der Stein- und Fugensysteme sowie die Schlagregenbelastung berücksichtigen, appliziert. Eine unbehandelte Vergleichsfläche ist dabei auch vorzusehen.
Alternativ kann die Eignungsprüfung des ausgewählten Mittels für die konkrete Fassade vorab mittels Laborversuchen erfolgen. Die Anpassung auf die Bestandskonstruktion erfolgt dabei in der Art, dass an verschiedenen Probekörpern des Fassadenmaterials, bei denen die kapillare Wasseraufnahme im Labor gemessen wurde, Imprägnierungsmittel mit unterschiedlicher Wirkstoffkonzentration aufgetragen werden. Nach einer definierten Einwirkzeit wird erneut die kapillare Wasseraufnahme gemessen und hinsichtlich des idealen Wirkstoffgehalts ausgewertet. Dabei lässt sich auch feststellen, ob Besonderheiten bei der Applikation (z.B. Einwirkzeit) zu beachten sind und ob es Unverträglichkeiten mit evtl. früher aufgebrachten Mitteln gibt.
Die Durchführung der Imprägnierung ist nach langen, trockenen Witterungsperioden günstig.

Das Instrument der hygrothermischen Simulation erlaubt es, die Erfolgsaussichten von Sanierungsmaßnahmen wie einer Hydrophobierung genauer abzuschätzen (s. dazu Anhang A VI Kennwerte, Randbedingungen und Bewertungskriterien für hygrothermische Simulationen). Anhand der folgenden Luftfeuchtefelder wird zunächst die Feuchteverteilung einer ziegelsichtigen Bestandskonstruktion ohne hinreichenden Schlagregenschutz (Bild 5 links) exemplarisch an einen Wintertag gezeigt. Daneben ist diese Konstruktion mit einer 5 cm dicken kapillar leitfähigen, diffusionsoffenen Innendämmung (hier: Perlitedämmung) abgebildet. Es ist zu erkennen, dass sich

ohne zusätzliche Schlagregenschutzmaßnahme die Feuchtebelastung der Außenwand bei Anwendung einer Innendämmung im Vergleich zum Ausgangszustand erhöht, weil das Trocknungspotential durch den geringeren Wärmeeintrag aus dem Innenraum und den höheren Diffusionswiderstand nach innen eingeschränkt ist. Somit können fassadenseitige Schlagregeneinträge nicht mehr in dem Umfang wie vorher trocknen. Eine Auffeuchtung der Konstruktion kann stattfinden, was zu einem erhöhten Frostrisiko bei nicht frostbeständigen Materialien führen kann.

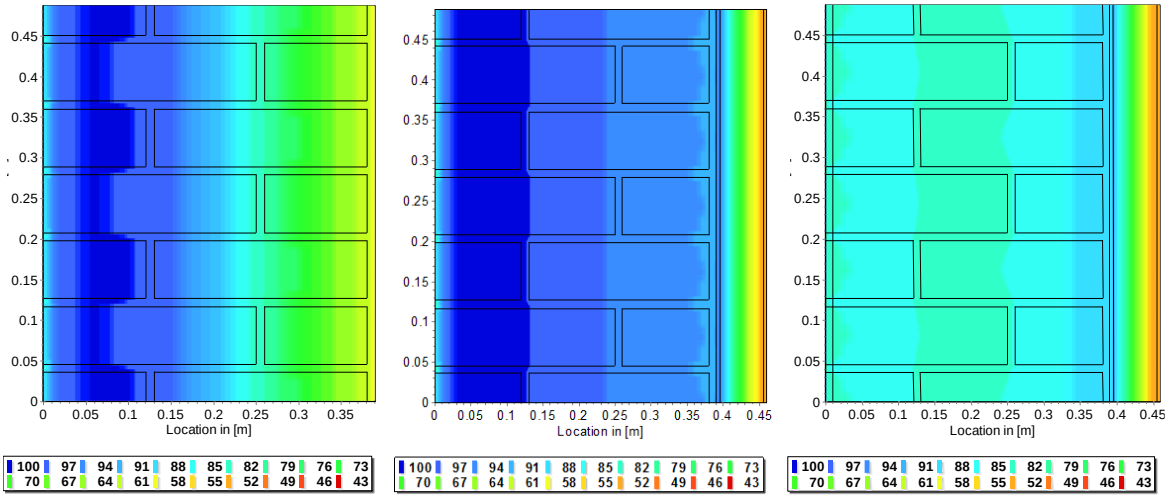


Bild 5 Simulation einer ungedämmten Ziegelwand (links) und mit 5 cm Perlite-Innendämmung (Mitte und rechts), rechts mit Hydrophobierung; Felder am 24.2. des dritten Berechnungsjahres

Eine an die Bestandskonstruktion angepasste hydrophobe Imprägnierung der Außenoberfläche ist eine Möglichkeit, die kapillare Wasseraufnahme der Fassade herabzusetzen, ohne das Trocknungspotenzial in Dampfform nach außen einzuschränken. In Bild 5 rechts wird gezeigt, dass die Hydrophobierung zu unkritischen Verhältnissen führt.

Eine Grundvoraussetzung für eine Hydrophobierungsmaßnahme ist bei einer nicht intakten Fassade die vorherige Durchführung einer hinreichenden Fassadeninstandsetzung mit Risse- und Fugensanierung und bei Notwendigkeit mit partiellem Materialaustausch.
Erfolgt dies nicht, besteht die Gefahr, dass Schlagregen über die schadhaften Stellen hinter die Hydrophobierung gelangt und akkumuliert. Die Wand kann zwar nach wie vor diffusiv austrocknen, dass Mehr an eingedrungener Feuchte kann allerdings nicht ausgeglichen werden. Durch derartige, nicht fachgerechte „Sanierungen“ kann eine Hydrophobierung einen Schaden sogar begünstigen.
Die Anwendung von Hydrophobierungsmitteln ohne Abstimmung auf das Fassadenmaterial des Gebäudes birgt die Gefahr, dass die Hydrophobierung wirkungslos oder (weit) unter ihren Möglichkeiten bleibt. Es sollte beachtet werden, dass Hydrophobierungsmittel alle 5 bis 15 Jahre erneuert werden müssen.

3.4.3 Beachtung von exponierten Fassadenelementen

Für ungestörte Fassaden lässt sich der Schlagregenschutz meist mit einer der zuvor erläuterten Maßnahmen erfüllen. Fassaden sind jedoch häufig mit exponierten Elementen ausgestattet. Es ist notwendig, dass diese Elemente in gutem Zustand sind und bleiben, aus geeigneten Materialien bestehen und die richtige Form/Gestalt und Abmessung haben. Bei denkmalgeschützten Fassaden muss bezüglich der möglichen Änderungen vorab eine Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde erfolgen.
Beispiele für solche Fassadenelemente sind Gesimse und Sockelvorsprünge in der Fassade, Bossensteine, Gesimse, Stuck- und Zierelemente, Konstruktionsübergänge, Fugen, Fensteranschlüsse, Balkonanschlüsse usw.

Fensterbänke beispielsweise sollten aus einem kompakten und idealerweise durchgängigen Material hergestellt sein, welches keine oder eine nur sehr geringe kapillare Wasseraufnahme besitzt und frostbeständig ist. Wenn sie aus mehreren Elementen bestehen, sollten sie so konstruiert sein, dass eventuell über Fugen eindringendes Wasser effizient von der Fassade weggeführt wird. Dies kann durch eine kleine "Rinne" unter jeder Fuge oder durch eine wasserdichte Membran unter der gesamten Fensterbank erreicht werden. Idealerweise ragt die Fensterbank mit einer Tropfkante einige Zentimeter aus der Fassade heraus, ist mit einem Gefälle von der Fassade weg geneigt und besitzt beidseitig eine Abschlusskante, die ein seitliches Abfließen von Wasser von der Fensterbank in die Konstruktion verhindert.

Bild 6 Fachgerechte Ausführung bei zwei sehr unterschiedlichen Beispielen: Fensterbank jeweils aus einem Stück (Naturstein bzw. Blech), Fensterbank ist geneigt, ragt aus der Fassade heraus, mit vertikalen Enden (auf dem linken Foto nicht sichtbar), mit Ablaufnut

Bild 7 Ungünstige Ausführung: Fensterbank ragt nicht aus der Fassade heraus (links) bzw. kein vertikaler Abschluss der Fensterbank (rechts), so dass Regen direkt in die Fassade eindringen und Schäden verursachen kann

3.5 Maßnahmen bei Putzfassaden

Bei **Putzfassaden** ohne Schäden mit einem intakten oder neu aufzubringenden Außenputz ist der Schlagregenschutz meist gegeben bzw. lässt sich durch partielle Ausbesserungen in Verbindung mit einer Beschichtung erzielen. Erfüllt die Putzschicht im Anschluss die Anforderungen gem. WTA Merkblatt 6-5-14 [12] müssen keine gesonderten Planungsleistungen erbracht werden. Werden die pauschalen Anforderungen nicht erfüllt, kann die Eignung des Putzsystems für die spezifische Situation im Einzelfall z.B. mit Hilfe einer hygrothermischen Simulation oder mit Hilfe von Messungen (s. Leitfaden Teil I) nachgewiesen werden.

Bei Fassaden mit Rissen wird anhand einer Rissklassifizierung überprüft, um welche Art von Rissen es sich handelt (z.B. Rissursachen aus der Konstruktion, aus dem Putzuntergrund, aus der Ausführung der Putzarbeiten, der Mörtelzusammensetzung, Verwendung nicht geeigneter Beschichtungen oder aus einer Überlagerung verschiedener Ursachen).
Daraus lassen sich notwendige Maßnahmen für Instandsetzungsverfahren an der Fassade ableiten.
Für die Beurteilung, Festlegung von Untersuchungsmaßnahmen und Auswahl von Instandsetzungsverfahren bei gerissenen Putzen an Fassaden wird auf das WTA-Merkblatt 2-4-14 [14] verwiesen. Dort werden Verfahren zur Instandsetzung von Einzelrissen (Verfahren E1 bis E6) sowie Verfahren zur flächigen Instandsetzung (Verfahren F1 bis F8), jeweils in Abhängigkeit der Rissart und der vorhandenen Oberfläche, beschrieben
Falls aufgrund von Salzbelastungen ein Sanierputz aufgebracht werden soll, sei auf das WTA-Merkblatt 2-9-20 [10] verwiesen.

Auch bei der Ausbesserung bzw. dem Ersatz von Putzen sollten möglichst diffusionsoffene Putze verwendet werden, die das Trocknungspotenzial nicht oder nur sehr marginal einschränken, aber das Eindringen von Schlagregen hinreichend verhindern WTA Merkblatt 6-5-14 [12]. Neu aufzubringende, wasserabweisende Beschichtungen sind vorzugsweise hoch wasserdampfdurchlässig, besonders wenn das darunterliegende Mauerwerk frostempfindlich ist. Gut geeignet dafür sind Silikatfarben, Siloxanfarben und Kalkfarben. Acrylfarben sind weniger wasserdampfdurchlässig. Epoxid-, Polyurethan- und Ölfarben sind dagegen stark dampfbremsend und sollten auf den Außenoberflächen nach Möglichkeit vermieden werden.

3.6 Maßnahmen für Sichtmauerwerk

Da die Sanierung von Sichtfassaden (z.B. Ziegel oder Naturstein) in der Regel anspruchsvoller als eine Putzsanierung zu planen und auszuführen ist, wird dieses Thema umfangreicher behandelt. Wie auch bei Putzfassaden sind zunächst ggf. vorhandene Feuchte- und Salzschäden in den betrachteten Konstruktionsbereichen zu behandeln, Trocknungsphasen einzuplanen und bei Notwendigkeit entsprechende Abdichtungsmaßnahmen vorzusehen.

3.6.1 Reinigung der Fassade

Vor weiterführenden Fassadenerhaltungs- und Sanierungsarbeiten ist meist eine Fassadenreinigung notwendig, bei der z. B. lose Fassadenbestandteile entfernt werden. Ziel ist der Erhalt einer festen, gereinigten Fassadenoberfläche (frei von Algen, Salzen, Rußpartikeln, Reifenabrieb, etc.), die für die weiteren Sanierungsschritte geeignet ist.
Die Oberflächen von Ziegel- und Klinkerfassaden sollten mit einem möglichst schonenden Verfahren gereinigt werden, um die Brennhaut der Steine nicht zu verletzen. Verfahren wie Sandstrahlen sind deshalb ungeeignet.
Als einfachstes Verfahren wird die Anwendung eines Heißdampfstrahlverfahrens empfohlen. Für viele Flächen ist eine Reinigung ohne chemische Zusätze bereits ausreichend. In einzelnen Bereichen können je nach vorgefundenem Zustand spezielle Tenside, Algenlöser usw. eingesetzt werden. Die verwendeten Reinigungsmittel müssen aufeinander und auf die ggf. folgende hydrophobe Imprägnierung abgestimmt sein. Es ist zu bedenken, dass Reinigungslösungen aufzufangen und zu entsorgen sind. Dies sollte bei der Kalkulation eingeplant werden.
Es wird empfohlen, eine Probefläche anzulegen, an der das Reinigungsergebnis überprüft werden kann.

3.6.2 Risssanierung

Risse in der Fassade (Flankenabrisse an Fugen, Risse im Ziegel selbst bzw. statisch bedingte Risse) sind Schwachstellen in der Konstruktion, die die bauphysikalische Schutzfunktion der Gebäude-

hülle stören. Wenn Schlagregen und Frost ins Mauerwerk eindringen, können gravierende Schäden entstehen. Ist nicht nur die Fassadenoberfläche von Rissen betroffen, sondern auch die Konstruktion an sich, liegt oft auch ein statisches Problem vor. Daher hat die Risssanierung im Rahmen einer energetischen Sanierung eine große Bedeutung.
Nach einer Risskartierung und ggf. einer statischen Begutachtung erfolgt zunächst eine ursachenbedingte Differenzierung, ob die Risse bauwerks-, untergrund- oder materialbedingt sind, um daraus notwendige Maßnahmen ableiten zu können. Hierzu dienen die Erfassung der Risstiefe, -breite, -länge und des Rissverlaufes. Durch z.B. das Setzen von Gipsmarken kann überprüft werden, ob die Risse noch dynamisch sind.
Die Vorschläge zur Sanierung der Risse können dabei je nach Art und Ausbreitung vom Austausch des Fugenmörtels über Injektion bis hin zum Einsatz von Spiralankern aus Edelstahl reichen, welche bei statischen Problemen eingesetzt werden.

3.6.3 Fugensanierung

Oft ist der Verbund zwischen Steinmaterial und Fugenmörtel abgerissen, so dass hier mit einer Fugensanierung die Dichtheit der Fassade wiederhergestellt werden muss.
Folgende Schritte sind dafür notwendig:

- Entfernen des (schadhaften) Fugenmörtels bis in ca. 20 mm Tiefe, dabei Vermeidung einer Schädigung der Ziegel
- Neuverfugung mit einem auf die Konstruktion hinsichtlich Festigkeit, Elastizität und Farbe abgestimmten, wasserabweisenden, witterungs- und frostbeständigen Reparaturmörtels, der nicht das Trocknungspotenzial des Verlegemörtels behindert. Optimalerweise weist die neue Verfugung bessere Regenschutzeigenschaften auf als der Stein selbst – dann kann eine eventuell erforderliche Bemessung des Bauteils anhand der Mauersteineigenschaften erfolgen.
- Im Spritzwasserbereich: Verfugung mit einem für den Sockelbereich geeigneten Mörtel
- Nachbehandlung bzw. Ausformen der Fuge

3.6.4 Kriterien für Materialaustausch

Beschädigte Steine in der Fassade sind gegen Materialien mit adäquaten Materialparametern auszutauschen. Dies kann im günstigsten Fall mit vor Ort vorhandenen, gut erhaltenen Mauersteinen geschehen, die im Rahmen der Sanierung durch z.B. Erweiterung oder Ergänzung von Öffnungen anfallen. Ansonsten sind passende Ersatzsteine zu verwenden.
Dazu ist eine Klassifizierung der Bestandsmaterialien erforderlich, um deren Eigenschaften festzustellen. Die Auswahl der Ersatzsteine erfolgt in Anpassung an das Bestandsmaterial. Hierbei sind folgende (hygrothermische) Materialparameter zu berücksichtigen:

- Wasseraufnahmefähigkeit (ähnlich dem Bestandsziegel oder etwas weniger saugfähig)
- Festigkeit
- Rohdichte
- Frostbeständigkeit (Dauerhaftigkeit)
- Ausführungsart (Voll-, Lochziegel, gleichartiger Ersatz)
- Oberfläche und Farbe

Wenn dies nicht beachtet wird, können sich erfahrungsgemäß Unterschiede an der Fassade schnell abzeichnen, z. B. durch unterschiedliche Feuchteaufnahme bis hin zu Hinterfeuchtungen und Schalenbildung. Auch der einzusetzende Ersatzmörtel sollte so gut wie möglich dem Bestandsmörtel ähneln, wobei jedoch unterschiedliche bzw. geänderte Witterungsbedingungen mit zu beachten sind.

Bild 8 Bestehender Langlochziegel in der Fassade, linke Aufnahme während der Bestandsanalyse, rechte Aufnahme nach der Sanierung

3.6.5 Antigraffiti-Beschichtungen

Die Entfernung von Graffiti von der Fassade verursacht meist hohe Kosten. Falls es im Rahmen der Sanierungsmaßnahme gewünscht ist, kann auf die fertiggestellte Fassade eine Antigraffiti-Beschichtung aufgetragen werden. Dabei handelt es sich um Systeme, bei denen das tiefere Eindringen von Farbschichten aus Graffitisprays verhindert wird. Somit bleibt die Farbe an der Oberfläche und kann durch geeignete Reinigungsverfahren leicht entfernt werden.
Je nach gewähltem System kann eine solche Beschichtung Einfluss auf das Trocknungsverhalten der Fassade und auf eine evtl. aufgetragene hydrophobierende Maßnahme nehmen.
Eine Einteilung der (zumeist wasserdampfdurchlässigen) Systeme erfolgt entsprechend ihrer Entfernbarkeit und Dauerhaftigkeit.

Temporäre Systeme:

Systeme auf Silikonbasis: Bei einer Reinigung löst sich das System gemeinsam mit dem Graffiti auf und muss deshalb erneuert werden.

Semipermanente Systeme:

a. Einschichtsystem: Schutzschicht wird bei der Reinigung teilweise abgetragen, teilweise Erneuerung nach einer Reinigungsmaßnahme erforderlich, Verwendung von hydro- und oleophobierenden Systemen.
b. Zweischichtsystem: permanente Grundierung + temporär wirkende Schutzschicht, Auflösung der Schutzschicht bei einer Reinigung gemeinsam mit dem Graffiti, nur Schutzschicht muss erneuert werden.

Permanente Systeme:

System mit mehreren Schichten, die permanent auf oder im Untergrund verbleiben, reinigungsbeständig, erhöht den Diffusionswiderstand der Fassade und verzögert das Austrocknungsverhalten, Beschichtungssystem meist auf Polyurethanbasis.

4 Erstellung eines Dämmkonzeptes

4.1 Festlegung des gewünschten Dämmstandards

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus Bestandsanalyse, Feuchteuntersuchung, effektiver Schlagregenbelastung sowie Materialuntersuchungen kann ein Dämmkonzept für die energetische Sanierung des konkreten Gebäudes erstellt werden.
Im Zuge der Bearbeitung sind zunächst folgende Fragestellungen gemeinsam mit dem Auftraggeber zu klären:

- Geht es primär um die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes und damit nur um die Schadensfreiheit oder soll ein bestimmtes Dämmniveau z. B. zur Inanspruchnahme von Fördermitteln erzielt werden?
- Soll das Gebäude komplett in einer Gesamtmaßnahme oder zumindest in einer Maßnahmenkombination saniert werden?
- Sind nur Einzelmaßnahmen geplant (die aber ggf. andere Maßnahmen mit bedingen)?
- Wie sieht der verfügbare Kostenrahmen aus?
- Wie sieht das geplante Nutzungskonzept aus? Gibt es innerhalb des Gebäudes stark differierende Nutzungen, z.B. mit erhöhten Feuchtelasten?
- Gibt es erhöhte Brandschutz- oder Schallschutzanforderungen, die zu berücksichtigen sind?
- Muss bei der Auswahl des Innendämmsystems eine starke mechanische Beanspruchbarkeit der Oberfläche berücksichtigt werden?
- Ist z.B. in Küchen das Platzieren von Hängeschränken geplant (sodass ggf. Zusatzmaßnahmen zur Verankerung notwendig werden)?
- Wie werden die raumseitigen Oberflächen ausgeführt (z.B. Putz in Wohnräumen, Fliesen in Nassräumen)?

Zunächst wird gemeinsam der Zielbereich des angestrebten U-Wertes festgelegt. Um zu erkennen, welche Dämmstärke für den angestrebten Wärmeschutz benötigt wird, wird auf Grundlage der Materialuntersuchungen oder gemäß Literaturrecherche, (z.B. http://altbaukonstruktionen.de [15] oder https://www.masea-ensan.de [16]) der U-Wert der bestehenden Außenwandkonstruktion (z.B. bei Altbauten mit Ziegelkonstruktionen meist ca. 1,3 – 1,5 W/(m²·K) bei einer Außenwandstärke von 36,5 cm) ermittelt.

In der folgenden Abbildung ist die Auswirkung unterschiedlicher Dämmstärken und Wärmeleitfähigkeiten auf den U-Wert erkennbar. Dabei wurde von einem U-Wert der Bestandskonstruktion von 1,32 W/(m²·K) ausgegangen.
Bei einem U-Wert von < 0,73 W/(m²·K) ist der Mindestwärmeschutz für Außenwände eingehalten. In der Abbildung ist ersichtlich, dass bei einer Wärmeleitfähigkeit für die Innendämmung von 0,025 – 0,30 W/(m·K) (z.B. PUR-Hartschaum) bereits ab 2 cm Dämmstärke der Mindestwärmeschutz erreicht ist. Bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,075 W/(m·K), wie es beispielsweise bei bestimmten Dämmputzen der Fall ist, sind dagegen mindestens 5 cm erforderlich.
An dem schnellen Abfall zu Beginn ist auch zu erkennen, dass die ersten Zentimeter einer Dämmung den stärksten Einfluss auf den U-Wert haben. Je nach Bestandskonstruktion und verbleibenden Wärmebrücken wirken sich größere Dämmstärken energetisch kaum noch aus, abgesehen von anderen Problemen, die sich mit steigender Dämmstärke ergeben (z. B. Raumverlust).

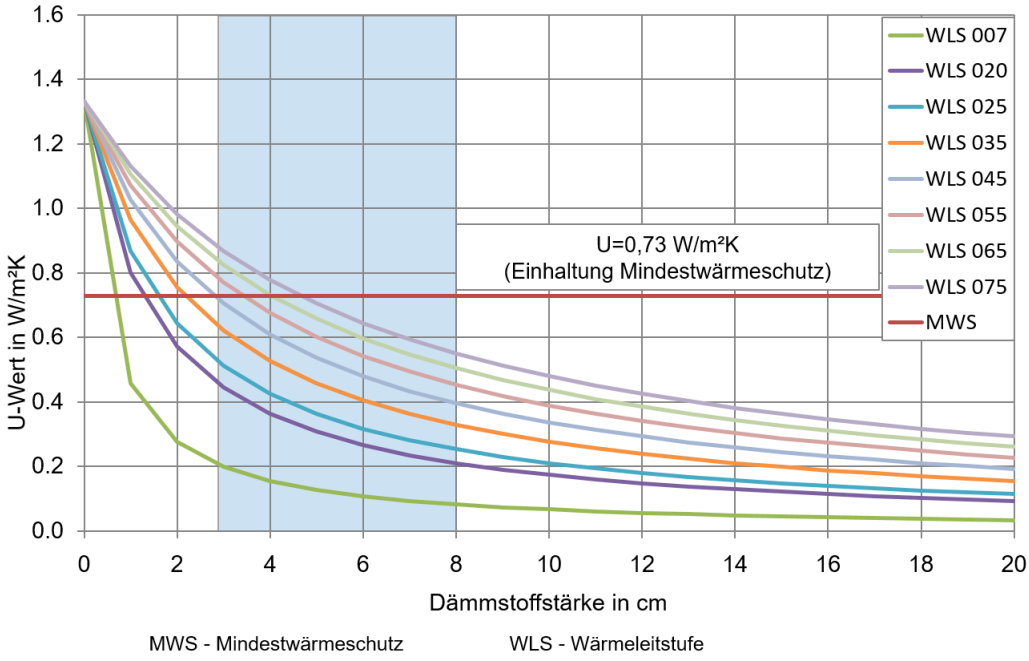


Bild 9 Abhängigkeit des U-Wertes von der Dämmstärke und der Wärmeleitstufe (WLS) des Dämmmaterials, übliche Dämmstärken blau hinterlegt

4.2 Auswahl möglicher Dämmsysteme

4.2.1 Auswahlkriterien

Ungeachtet der Gegebenheiten im einzelnen Bauwerk gilt es, bei der Anwendung von Innendämmung einige Grundsätze zu beachten. Prinzipiell gilt:

1. Je geringer die Feuchtebelastung von innen und außen ist, desto größer ist die Auswahl an möglichen Innendämmsystemen.
2. Findet von außen kein Feuchteeintrag statt, können fast alle üblichen Innendämmsysteme eingesetzt werden. Das Anbringen einer diffusionsbremsenden oder sogar diffusionsdichten Innendämmung stellt hier eine günstige Lösung dar, da auf diesem Weg auch der Feuchteeintrag von der Raumseite minimiert wird – dies gilt insbesondere bei eher hohen Feuchtelasten im Innenraum.
3. Gibt es neben dem Diffusionstransport aus dem Raumklima dagegen weitere Feuchtequellen von außen, sind diese oft nur mit großem Aufwand oder auch gar nicht zu eliminieren. Dies kann Trocknungspotenzial auch in Richtung Innenraum erfordern und die Wahl der geeigneten Materialien sowie der zulässigen Dämmdicke entsprechend einschränken. Der Grundsatz: So diffusionsdicht wie nötig, so diffusionsoffen wie möglich, sollte vor allem bei feuchtesensitiven Konstruktionen mit Feuchtebelastung von außen beachtet werden.
4. Je besser (geringer) der U-Wert der Bestandskonstruktion ist, umso geringer ist die Kondensationsgefahr für die Innendämmung.

Es ist anhand der Voruntersuchungen zu prüfen, ob sich grundsätzliche Einschränkungen bei der Auswahl des Dämmsystems ergeben. Dies sind z.B. bautechnische oder bauphysikalische Einschränkungen.

Bautechnische Einschränkungen

Wandbeschaffenheit und Ebenheit der Wand

Bei plattenförmigen Dämmstoffen, die an die Bestandswand geklebt werden, ist eine relativ ebene Fläche erforderlich. Dazu kann der Auftrag eines Grundputzes/Ausgleichsputzes erforderlich werden. Bei zu unebenen Wänden kann als eine Alternative z.B. die Verwendung eines Dämmputzes in Erwägung gezogen werden.

Eignung der Oberfläche und Tragfähigkeit der Bestandswand

Es muss vorab geprüft werden, ob die Wand mit dem Bestandsinnenputz das geplante Innendämmsystem aufnehmen kann. Nicht tragfähige Schichten (wie lose Bestandsputze) an der Bestandswand sind vorher zu entfernen. Gleiches gilt bei Feuchteeintrag von außen für Tapeten und einige gipshaltige Untergründe. Wenn die Bestandswand selbst nicht in der Lage ist, das Dämmsystem aufzunehmen, kann z.B. eine raumseitig vorgesetzten Dämmkonstruktion eine Lösung darstellen.

Materialspezifische Unverträglichkeiten

Vor Anwendung der Innendämmung wird überprüft, ob in der Bestandskonstruktion Materialien vorhanden sind, die mit Komponenten des Dämmsystems unerwünschte chemische Reaktionen auslösen, z.B. kann bei vorhandenen Stahlelementen die Reaktion mit anderen Metallen oder mit Klebemörteln, Lehm- oder Gipsputzen Korrosion auslösen.

Mechanische Beanspruchbarkeit der Oberfläche

Je nach geplanter Nutzung ist vorab zu überlegen, welcher mechanischen Beanspruchung die zukünftige raumseitige Oberfläche standhalten muss. Für z.B. Kinderbetreuungseinrichtungen oder Sporthallen muss eine mechanisch beanspruchbare Ausführung der Oberflächenmaterialien (z.B. dickere Putzlage mit Gewebeeinlage) und eine abriebfestere Oberflächenbeschichtung als für normale Wohn- oder Büronutzung verwendet werden.

Bauphysikalische Einschränkungen

Trocknungspotenzial der Bestandswand

Je diffusionsoffener die Konstruktion der Bestandswand ist, umso größer ist das Trocknungspotenzial nach außen. Damit kann in die Konstruktion eingedrungene Feuchtigkeit wieder schneller austrocknen als bei dichten Wänden. Somit steht bei diffusionsoffenen Bestandskonstruktionen eine größere Anzahl an möglichen Innendämmsystemen zur Verfügung als bei diffusionsdichten Außenwänden.
Bei erdberührten Wänden steht weniger Trocknungspotenzial nach außen zur Verfügung, da die Erdreichtemperaturen ganzjährig geringen Schwankungen unterliegen und sich nur selten über 15°C bewegen. Außerdem findet dort kein Luftaustausch mit der Umgebung statt.

Feuchtebeständigkeit der Bestandswand, feuchtebezogene Eigenschaften

Der Untergrund eines Innendämmsystems kann feuchtebeständig oder feuchteempfindlich sein. Wenn diesbezügliche Einschränkungen vorliegen, z.B. bei gipshaltigen Untergründen oder Holzbestandteilen in der Konstruktion, muss bei der Auswahl des Innendämmsystems darauf geachtet werden, dass der zukünftige Feuchtegehalt in diesen Bereichen nicht unzulässig ansteigt. Dies kann z.B. durch hygrothermische Simulationen nachgewiesen werden, wobei auf das WTA-Merkblatt 6-2-14 [18] verwiesen wird.

Nutzungskonzept
Bei der Vorauswahl von Dämmsystemen sollte die künftig geplante Nutzung berücksichtigt werden. Dies betrifft neben den grundsätzlichen temperatur- und feuchtetechnischen Randbedingungen auch Nutzungszeiten, zu berücksichtigende Spitzenlasten usw. So ist z.B. bei einer Schwimmbadnutzung der Fokus anders ausgerichtet als bei der Nutzung eines Versammlungsraums oder Museums, Lagers für Kunstgegenstände/Instrumente oder mit ggf. genau definierten Nutzungsrandbedingungen. Auch bei stark differierenden Nutzungsanforderungen kann die Auswahlmöglichkeit an Dämmsystemen eingegrenzt sein.

Brandschutz- und Schallschutzanforderungen
Nicht alle Dämmsysteme sind aus brandschutz- und schallschutztechnischer Sicht für jede Einbausituation geeignet. Für z.B. Fluchtwege und Wände/ Geschossdecken zwischen Nutzungseinheiten sind andere Anforderungen bezüglich des Brandschutzes und/ oder des Schallschutzes zu berücksichtigen. Weiterhin ist zu beachten, dass sich harte Dämmplatten, z. B. PUR, tendenziell ungünstiger als faserige Dämmmaterialien bezüglich des Schallschutzes verhalten.

Betriebswirtschaftliche Vorauswahl

Die auf dem Markt befindlichen Dämmsysteme unterscheiden sich deutlich bezüglich ihrer Kosten, wobei immer das komplette Dämmsystem einschließlich der Verarbeitung zu betrachten ist. In einigen Fällen sind die Dämmmaterialien selbst preiswert, aber dazugehörige Komponenten kostenintensiv. Oder die Arbeitsgänge zur Anbringung des Systems auf dem Untergrund einschließlich notwendiger Vorarbeiten sind zeitintensiv, so dass dadurch die Kosten steigen. In anderen Fällen kann auch bei einer sehr hochpreisigen Nutzfläche eine preisintensivere, aber hoch effiziente schlanke Wärmedämmung sinnvoll sein.

4.2.2 Einteilung von Innendämmsystemen

Bild 10 gibt einen Überblick über typische Innendämmsysteme und deren Feuchteverhalten in Winter und Sommer – letzterer ist normalerweise eher unproblematisch, daher wird hier der Sonderfall einer z.B. durch Regenaufnahme von außen befeuchteten Wand betrachtet. Ganz links ist eine diffusionsoffene Faserdämmung ohne Dampfbremse dargestellt. Auf der kalten Rückseite der Dämmung kann sich im Winter Tauwasser bilden. Dies ist bei einem saugfähigen Untergrund bis zu einem gewissen Grad tolerabel, sorgt aber für einen Feuchteeintrag in die Bestandswand. Niederschlagsfeuchte oder Tauwasser können im Sommer durch die offene Dämmung zwar gut nach innen austrocknen, trotzdem ist eine solche Lösung zur Verbesserung von Komfort und Hygiene im Innenraum nur bis zu wenigen Zentimetern Dicke akzeptabel.

Bei größeren Dicken ist eine zusätzliche dampfbremsende Schicht erforderlich (Mitte links). Diese reduziert den Feuchteeintrag über Diffusion im Winter deutlich – beeinträchtigt im Sommer bei konstant hohem s_d-Wert allerdings auch eine in manchen Fällen erforderliche Trocknung nach innen bzw. kann bei feuchtem Mauerwerk durch Umkehrdiffusion sogar zu Tauwasserbildung in der Dämmung führen. Im Prinzip ähnlich verhalten sich dampfbremsende Hartschaumdämmungen (Mitte rechts) ohne separate Dampfbremse. Auch sie schützen im Winter vor Feuchte aus dem Innenraum, behindern aber eine Trocknung im Sommer. Beide Dämmsysteme haben in der Regel sehr gute Dämmeigenschaften und sind immer dann vorteilhaft, wenn von außen keine Feuchte kommt – also bei gutem Schlagregenschutz und trockenen Bestandswänden.

Innendämmsysteme

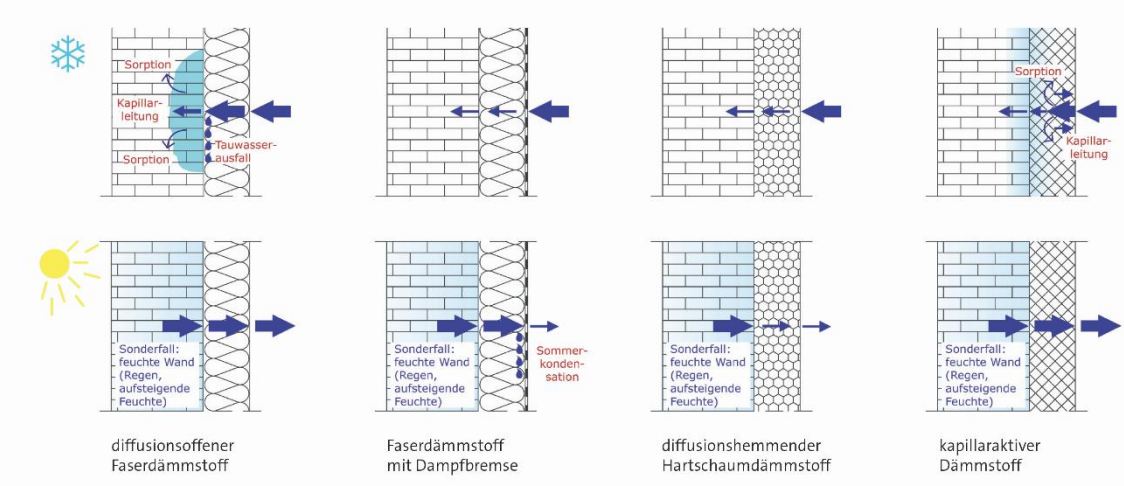


Bild 10 Überblick üb er verschiedene Innendämmsyteme und deren Feuchteverhalten in Winter (oben) und Sommer (unten) für den Spezialfall einer Wand, die z.B. durch Regenaufnahme befeuchtet wird und diese Feuchte zur Raumseite hin abgeben muss

Kann der Schlagregenschutz nicht im gewünschten Maß verbessert werden, sollte die Trocknungsmöglichkeit im Sommer nach innen nicht zu stark beeinträchtigt werden. Dies ist insbesondere bei feuchteempfindlichen Bauteilen wie Fachwerkwänden mit ihren Holzbestandteilen von Bedeutung. Das WTA-Merkblatt zur Innendämmung von Fachwerk fordert in diesem Fall, den rauseitigen Diffusionswiderstand auf maximal 2 m s_d-Wert zu begrenzen.
Auch bei Sichtfassaden ist es oft schwierig, den Schlagregenschutz im erforderlichen Umfang zu erhöhen.
Hier bieten sogenannte kapillaraktive Innendämmungen Vorteile (im Bild ganz rechts dargestellt), da sie die Feuchtezunahme im Winter nicht mit Hilfe einer diffusionshemmenden Schicht, sondern über Feuchtespeicherung und kapillaren Rücktransport begrenzen. Im Sommer erlauben sie eine weitgehende ungehinderte Trocknung nach innen. Genauso günstig ist das Verhältnis zwischen Befeuchtung und Trocknung bei diffusionsoffenen Faserdämmungen (ohne eigene Darstellung) mit geeigneten sog. feuchtevariablen Dampfbremsen. Diese sind bei winterlichen Verhältnissen dampfbremsend und lassen kaum Feuchte in die Wand, während sie bei Trocknungsbedingungen im Sommer um ein Vielfaches durchlässiger werden und eine rasche Austrocknung ermöglichen.

In Leibungsbereichen und bei Anschlussdetails kommen immer häufiger sogenannte Hochleistungsdämmstoffe wie Aerogele oder Vakuumdämmung zum Einsatz, die auch bei geringen Materialdicken noch eine gute Dämmleistung erreichen. Sie sind bei geringer Feuchtebelastung von außen auch für die flächige Anwendung interessant – allerdings meist auch deutlich teurer als konventionelle Dämmstoffe. Seit einigen Jahren gibt es auch „hybride“ Innendämmungen, die versuchen, die Vorteile von konventionellen Dämmstoffen mit denen von kapillaraktiven zu verbinden – meist erfolgt dies durch eine Kombination entsprechender Materialien. Da sie in ihrer Funktionsweise den kapillaraktiven Dämmstoffen ähneln, können Sie bezüglich Vor- und Nachteilen in ähnlicher Weise eingesetzt werden.
Wenn einzelne technische Material- oder Systemeigenschaften herangezogen werden, werden Innendämmungen in erster Linie nach ihrem Diffusionswiderstand eingeteilt. Als Parameter sowohl eines Systems als auch einer Schicht bietet sich hier der s_d-Wert an, der sich folgendermaßen berechnet:

- $s_d = \mu * d$

Dabei ist der μ-Wert die Diffusionswiderstandszahl der Bauteilschicht und d deren Schichtdicke. Bei mehreren Schichten kann der Gesamt-s_d-Wert einfach aufsummiert werden. Die Diffusionswiderstandszahl gibt an, um welchen Faktor das Material diffusionsdichter ist als eine gleich dicke ruhende Luftschicht, die als Referenz verwendet wird. Dementsprechend beschreibt der s_d-Wert als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke, einer wie dicken ruhenden Luftschicht ein Material oder ein System bezüglich des Diffusionswiderstands entspricht.

Gemäß DIN 4108-3 [5] erfolgt eine Einteilung der s_d-Werte in sechs Gruppen, die in der folgenden Tabelle angegeben sind.

Tab. 2 Einteilung von Bauteilschichten nach dem s_d-Wert gemäß DIN 4108-3 [5]

Bauteilschicht	**s_d-Wert**
diffusionsoffen	≤ 0,5 m
diffusionsbremsend	0,5 m < s_d ≤ 10 m
diffusionshemmend	10 m < s_d ≤ 100 m
diffusionssperrend	100 m < s_d ≤ 1.500 m
diffusionsdicht	≥ 1.500 m
mit variablem s_d-Wert	Bauteilschicht, die ihren s_d-Wert in Abhängigkeit von der umgebenden relativen Luftfeuchte verändert

Basierend auf dieser Einteilung wird eine Einteilung der Innendämmsysteme in 3 Kategorien vorgenommen:

- Diffusionsdichte, sperrende und hemmende Innendämmsysteme mit s_d ≥ 10 m
- Diffusionsbremsende Innendämmsysteme mit 0,5 m < s_d ≤ 10 m
- Diffusionsoffene, variable bzw. ggf. kapillaraktive Innendämmsysteme mit s_d ≤ 0,5 m (bei variablen Dampfbremsen ist dieser Wert im Sommer bei entsprechend hohen relativen Luftfeuchten maßgeblich)

Die verschiedenen Dämmsysteme werden im Folgenden beschrieben. Dampfbremsen mit variablem s_d-Wert weisen die Besonderheit auf, dass sie bei niedrigen Raumluftfeuchten im Winter diffusionsdichter und bei höheren Raumluftfeuchten im Sommer sowie bei Trocknungsbedingungen in Richtung Innenraum diffusionsoffener werden. Dadurch steht einem vergleichsweise geringen Feuchteeintrag im Winter ein besonders großes Trocknungspotential im Sommer gegenüber, was zu einer entsprechend höheren Fehlertoleranz führt. Ähnliches gilt für kapillaraktive, feuchtespeichernde Systeme.
Raumseitig ist bei allen Systemen auf eine luftdichte Ausbildung der Anschlüsse, vor allem an Konstruktionsübergängen zu achten. Aufgrund der eher geringen Fehlertoleranz der diffusionsdichten bis stärker diffusionsbremsenden Systemen sind diese Anschlüsse auch dampfdicht auszuführen.

Diffusionsdichte, -sperrende und hemmende Innendämmsysteme

Bei diesen Systemen wird bei sachgerechter Ausführung der Dampfdiffusionsstrom aus dem Innenraum in die Wand weitestgehend verhindert. Dies bedeutet, dass keine erhöhten Feuchtegehalte in der Grenzschicht zwischen Bestandsmauerwerk und Innendämmung durch raumseitige Feuchteeinträge zu erwarten sind. Fassadenseitig ist auf einen geeigneten Schlagregenschutz (vgl. Kapitel 3.4) zu achten. Dies muss bei der Planung und Ausführung konsequent sichergestellt werden.
Meist werden derartige Dämmsysteme für Feucht- und Nassräume (wie Schwimmbäder) verwendet. Dabei kommen entweder Dämmstoffe zur Anwendung, die von sich aus dampfdicht oder dampfbremsend sind (z.B. Schaumglas, Hartschaumdämmstoffe o.ä.), oder die Dampfdichtigkeit wird durch eine raumseitig der Dämmung (meist Faserdämmung, wie Mineralfaser oder Holzfaser)

angeordneten Dampfsperre sichergestellt. Es sollte beachtet werden, dass Feuchtigkeit, die durch Fehlstellen oder Schlagregeneintrag in die Konstruktion gelangt, kaum zum Innenraum hin abtrocknen und im Falle von nach außen diffusionshemmenden Schichten zu einer Ansammlung von Feuchte hinter der Dämmung führen kann.

Diffusionsbremsende Innendämmsysteme

Bei diesen Systemen findet durch den erhöhten Dampfdiffusionswiderstand nur ein geringer Feuchteeintrag in die Konstruktion statt. Durch einen ausreichend niedrigen s_d-Wert des Dämmsystems bzw. der raumseitigen Oberfläche ist ein gewisses Rücktrocknungspotenzial zum Innenraum hin möglich. Der zulässige Feuchteeintrag in die Konstruktion ist dabei von der der Saugfähigkeit der Innenseite der Bestandsaußenwand abhängig. Fassadenseitig ist ein ausreichender Schlagregenschutz sicherzustellen.
Beispiele für diese Dämmungen sind Systeme mit diffusionsoffenen Dämmlagen (z.B. Faserdämmstoffen) in Kombination mit einer Dampfbremse oder dampfbremsende bzw. –hemmende Dämmstoffe, wie z.B. EPS und XPS. Es gibt auch dampfbremsende Dämmsysteme mit kapillaraktiven Eigenschaften. Dies ist z.B. bei hybriden Materialien zu finden.

Variabel dampfbremsende Innendämmsysteme

In diese Kategorie fallen Systeme aus einem diffusionsoffenen Dämmstoff (z.B. Mineralfaser oder Naturfaser) in Kombination mit einer Dampfbremse mit variablem s_d-Wert. Optimalerweise liegt der sd-Wert dieser Bahn im Winter bei niedrigen relativen Luftfeuchten im beheizten Innenraum im diffusionsbremsenden Bereich mit einem s_d-Wert > etwa 2 m und im Sommer, bei nach innen austrocknender Feuchte und dementsprechend hohen relativen Luftfeuchten an der Bahn im diffusionsoffenen Bereich < 0,5 m. Die Systeme vereinen also die Vorteile der zuvor beschriebenen diffusionsbremsenden und der diffusionsoffenen Systeme mit geringem Feuchteeintrag im Winter und hohem Trocknungspotential im Sommer.

Diffusionsoffene Innendämmsysteme

Hier werden diffusionsoffene Dämmmaterialien verwendet, die über eine ausreichende kapillare Leitfähigkeit verfügen. Ein Diffusionsdampfstrom in die Bestandskonstruktion ist in Maßen zulässig. Ein Feuchteanstieg an der Grenzfläche zwischen Bestandskonstruktion und Innendämmsystem ist dabei planmäßig und setzt eine kapillare Rückleitung in Gang; Tauwasserbildung sollte jedoch – nicht zuletzt durch die hohe Feuchtespeicherfähigkeit der Materialien - begrenzt werden. Außerdem müssen die Untergrundmaterialien an der ehemaligen Innenoberfläche den planmäßigen Feuchteanstieg im Winter tolerieren können. Es ist auf eine möglichst vollflächige Verklebung mit dem Untergrund (bei Verwendung von plattenförmigen Dämmstoffen) zu achten. Übliche Beispiele für diese Dämmsysteme sind Calciumsilikat-, Perlite- und Mineralschaumdämmungen. Auch Lehmdämmungen oder Dämmputze gehören in diese Kategorie.

Sonstige

Diffusionsoffene Dämmsysteme ohne kapillaraktive oder variable Eigenschaften sind auch in begrenztem Umfang möglich, z.B. als nachweisfreie Konstruktion zur Sicherstellung des Mindestwärmeschutzes mit einem $\Delta R \leq 0{,}5$ m²K/W.

4.2.3 Auswahl eines Innendämmsystems

Die Entscheidung, welches Dämmsystem für das konkrete Sanierungsvorhaben eingesetzt werden kann, hängt maßgeblich von der Schlagregenbelastung bzw. -sicherheit, der Saugfähigkeit des inneren Oberflächenmaterials der Bestandswand und von der inneren Feuchtebelastung ab.

Liegt keine relevante Regenwasseraufnahme vor und treten keine hohen raumseitigen Feuchtelasten auf, kann aus allen verfügbaren Dämmsystemen eine relativ freie Auswahl getroffen werden.

Sind bei Konstruktionen ohne relevante Regenwasseraufnahme hohe Feuchtebelastungen im Raum zu erwarten, sind diffusionshemmende bis -dichte Dämmsysteme gut geeignet. Dies gilt umso mehr, wenn an der Grenzschicht zwischen bestehender Wand und Innendämmsystem keine erhöhten Feuchtegehalte oder Tauwasserbildung auftreten dürfen, wie bei Gips oder Naturmaterialien. Hier muss grundsätzlich sichergestellt werden, dass nicht mehr Feuchtigkeit in die Konstruktion eindringen darf, als in der gleichen Zeit nach außen verdunsten kann.

In anderen Fällen, in denen das Eindringen von Schlagregen oder anderen äußeren Feuchteeinflüssen nicht verhindert werden kann und keine feuchtigkeitsempfindlichen Untergründe vorhanden sind, sollten vorzugsweise Dämmsysteme verwendet werden, die eine Austrocknung nach innen ermöglichen, wie z. B. diffusionsoffene, kapillaraktive Dämmsysteme oder diffusionsoffene Faserdämmstoffe mit moderaten oder variablen Dampfbremsen.

In einigen Fällen, in denen ein ausreichender Regenwasserschutz an der Außenseite nicht erreicht werden kann und feuchtigkeitsempfindliche Materialien betroffen sind, kann es notwendig sein, die Innendämmung auf das Minimum zu beschränken, das zur Erfüllung / Nachweisfreiheit nach dem jeweiligen nationalen Recht erforderlich ist.

Im Folgenden wird eine Auswahl möglicher Innendämmsysteme vorgestellt.

Die Werte in dieser Tabelle dienen der groben Orientierung. Die hier angegebenen Kennwerte stammen aus verschiedenen Datenquellen. Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass nicht die komplette Bandbreite damit erfasst ist bzw. nicht alle Materialien erfasst sind.
In diesem Zusammenhang wird auf weiterführende Tabellen verwiesen, z.B.[1], [2] und [3].

Tab. 3 Übersicht zu ausgewählten Dämmstoffen mit den wichtigsten hygrothermischen Kenngrößen

			Dämmwirkung			Dampfdiffusion			Kapillarität			Materialtyp			Brand-schutz	Kosten
			Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]			Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl (μ-Wert) [-]		Kombinierbar mit Dampfbremse/Dampfsperre	Wasseraufnahmekoeffizient Aw [kg/m²√h]		erhöhte Einbaufeuchtelast	Organisch	Nachwachsend	Mineralisch	Brandschutzklasse	Gesamtkosten mit Einbau
			Min	Max	Mittel	Min	Max		Min	Max						
Dämmstoffplatten	Aerogel (Matten)		0.014	0.017	0.016	11		✓	0.024	0.03				✓	nicht brennbar	€€€
	Expandiertes Polystyrol (EPS)		0.032	0.045	0.039	20	125		0			✓			schwer/ normal entflammbar	€
	Extrudiertes Polystyrol (XPS)		0.028	0.042	0.035	50	250		0			✓			schwer/ normal entflammbar	€
	Holzfaserplatten		0.037	0.070	0.054	2	5		0.1	30		✓	✓		normal entflammbar	€
	Holzwolle-Leichtbauplatten		0.080	0.170	0.125	2	8	✓	0.4	0.6		✓	✓		normal entflammbar	€
	Kalziumsilikat		0.060	0.090	0.075	2	7		40	80				✓	nicht brennbar	€€€
	Kork		0.037	0.060	0.049	5	18		0.5			✓	✓		normal entflammbar	€€
	Mineralschaum		0.040	0.045	0.043	3	7		0.25	2				✓	nicht brennbar	€€
	Perlite		0.042	0.055	0.049	5	8		100	120				✓	nicht brennbar	€€
	Polyurethan (PUR)/ Polyisocyanurat (PIR)		0.023	0.030	0.027	40	200		0			✓			nicht brennbar	€€
	PUR (mit kap. Einschlüssen)		0.026	0.033	0.030	27	45		0.78			✓			schwer/ normal entflammbar	€€
	Pyrogene Kieselsäure		0.018	0.021	0.020	4	6	✓	0					✓	nicht brennbar	€€€
	Schaumglas		0.037	0.060	0.049	∞			0					✓	normal entflammbar	€€€
	Schilf		0.055	0.090	0.073	2	8		0.9	1.3		✓	✓		normal entflammbar	€€
	Vakuum-Isolations-Paneel (VIP		0.007	0.009	0.008	∞			0					✓		€€€
	Wärmedämmlehm		0.068	0.085	0.077	19	28		1.4	5	✗	✓		✓	normal entflammbar	€€
Gefachdämmstoffe	Hanf		0.039	0.050	0.045	1	2	✓	4			✓	✓		normal entflammbar	€€
	Holzfaser		0.036	0.038	0.037	1	3	✓	0.4	0.7		✓	✓		normal entflammbar	€
	Mineralfaser		0.032	0.045	0.039	1	2	✓	0				✓		nicht brennbar	€
	Schafwolle		0.032	0.045	0.039	1	2	✓	0.4	0.6		✓	✓		normal entflammbar	€
	Stroh		0.038	0.067	0.053	3	4	✓	2	3.3		✓	✓		normal entflammbar	€
	Zellulose		0.034	0.045	0.040	1	2	✓	12			✓	✓		normal entflammbar	€
Plastische Dämmstoffe	Leichtlehm/ Wärmedämmlehm		0.070	0.250	0.160	6	20		3	8	✗	✓		✓	nicht brennbar - normal entflammbar	€€
	Wärmedämmputz mineralisch		0.021	0.080	0.051	3	30		1	10	✗		✓		nicht brennbar	€€
	Wärmedämmputz organisch		0.045	0.080	0.063	3	30		1	10	✗	✓			normal entflammbar	€€
	Zellulosefaserputz		0.050	0.060	0.055	2	3		3	4	✗	✓			normal entflammbar	€€
	Gemauerte Vorsatzschalen		0.055	0.100	0.078	4	10		0.2	30	✗	✓		✓	nicht brennbar - normal entflammbar	€€€

4.3 Überblick über die wichtigsten Bewertungskriterien

Um während der Bearbeitung einige Bemessungsgrößen im Überblick zu haben, werden die wichtigsten Bewertungskriterien für die Anwendung von Innendämmmaßnahmen in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Alle hier aufgeführten Grenzwerte gelten für Deutschland. In anderen Ländern sind die regionalen Vorschriften und ggf. abweichende Grenzwerte zu verwenden.

Tab. 4 Grenzwerte und Bewertungskriterien sowie deren Herkunft

Bewertungskriterium	Quelle	Einheit	Grenzwert
Mindestwärmeschutz (R-Wert)	DIN 4108-2	m²K/W	1,2
Holzschutz (stationär)	DIN 68800 sowie DIN 4108-3	M.%	< 20 M.% (Vollholz) < 18 M.% (Holzwerkstoffe)
Holzschutz (instationär)	WTA 6-8 DIN 4108-3 Anh. D	Rel. Porenluftfeuchte	Instationäres Model oder VTT nach Viitanen
Schimmelwachstum (stationär)	DIN 4108-2		f_{Rsi}-Wert
Schimmelwachstum (instationär)			Instationäre Modelle z.B. WUFI Bio, VTT nach Viitanen oder LIM-Kurven
Wassergehalt Gesamtkonstruktion	WTA 6-5, DIN 4108-3 Anh. D	m³/m³ oder kg/kg	Erreichen eines eingeschwungenen Zustandes
Rel. Feuchte in Grenzschicht zwischen Bestandskonstruktion und Dämmung	WTA 6-5	%	< 95% bei nicht frostbeständigem Material
Durchfeuchtungsgrad in Grenzschicht zwischen Bestandskonstruktion und Dämmung	WTA 6-5	%	< 30% (bzw. Sicherstellung Frostfreiheit des Untergrunds)
Kapillare Wasseraufnahme und Diffusionswiderstand Fassade			$w \cdot s_d \leq 0{,}1$ kg/m√h mit $s_d \leq 1{,}0$ m und $w \leq 0{,}2$ kg/m²√h

4.4 Hygrothermisches Verhalten typischer Dämmsysteme

Im Projekt EneffID [20] wurden verschiedene exemplarische Innendämmsysteme auf ihr hygrothermisches Verhalten untersucht. Dabei wurden umfangreiche Szenarien überprüft, die den überwiegenden Teil der in der Praxis auftretenden Fälle abdecken. Auf die in Heatmaps zusammengefassten Ergebnisse kann daher bei konkreten Projekten zu Planungszwecken direkt zurückgegriffen werden. Für die Parameterstudie in [20] wurden vier Außenklimastandorte betrachtet: Jeweils ein repräsentativer Standort je Schlagregenbeanspruchungsgruppe der DIN 4108-3:2014 (Potsdam für die Beanspruchungsgruppe 1, Hamburg für die Beanspruchungsgruppe 2 und Holzkirchen für die Beanspruchungsgruppe 3) sowie Fichtelberg als Worst-Case-Standort. Im Innenraum wurden verschiedene Feuchtelasten für unterschiedliche Belegungen als Wohn- und Bürogebäude berücksichtigt. Also Unterkonstruktionen wurden typische Außenwandkonstruktionen aus massivem Vollziegel, zweischaliges Ziegelmauerwerk, Hochlochziegel sowie Betonhohlblocksteine mit U-Werten zwischen 1.3 und 1,5 W/m²K berücksichtigt. Damit konnte die überwiegende Zahl der Bauteile in Deutschland auf der sicheren Seite abgedeckt werden. Variiert wurden weiterhin die Farbgebung der Außenoberfläche sowie die dampfbremsende Wirkung der Innenoberflächenmaterialien. Für die Bewertung wurden die jeweils relevanten Bewertungsgrößen herangezogen:

- Schimmelpilzrisiko an der Innenoberfläche

- Tauwassermenge im Dämmstoff bei hydrophoben Mineralfaserdämmstoffen in Anlehnung an die DIN 4108-3:2014
- Überschreitung der Grenzwerte für den Durchfeuchtungsgrad und die rel. Porenluftfeuchte in der Grenzschicht zwischen Innendämmung und Bestandsmauerwerk nach WTA Merkblatt 6-5
- Überschreitungshäufigkeit eines 30prozentigen Durchfeuchtungsgrades im äußeren Teil des Bestandsmauerwerkes in Anlehnung an WTA Merkblatt 6-5 als Kriterium für die Frostbeständigkeit
- Überschreitung der kritischen Holzfeuchte von 18 M.% nach DIN 68800-2:2012-02. Das letzte Kriterium wird durch die neuen Ergebnisse aus dem aktuellen Projekt In2EuroBuild relativiert, da die meisten in diesem Bereich eingesetzten Naturfaserdämmstoffe belegbar höhere Feuchteverhältnisse vertragen.

Die Ergebnisse der feuchtebedingten Anwendungsbereiche und –grenzen wurden in umfangreichen Tabellen und Heatmaps dargestellt. Diese stehen im öffentlich verfügbaren EneffID-Abschussbericht zur Verfügung und können für die Bemessung herangezogen. Eine qualitative Zusammenfassung der Anwendungsschwerpunkte wurde vorgenommen und ist im Anhang A IV zu finden.

5 Dimensionierung und Nachweis

Beim Einsatz einer Innendämmung muss zusätzlich zum thermischen Nachweis der geplanten Wandkonstruktion eine Beurteilung des Feuchteschutzes erfolgen. Damit soll vermieden werden, dass durch unzureichende oder für die Bestandskonstruktion ungeeignete Maßnahmen Schäden an der Bausubstanz entstehen.
Gemäß DIN 4108-3 [5] kann der Nachweis der feuchtetechnischen Unbedenklichkeit einer Baukonstruktion je nach Anwendungsfall mithilfe einer dreistufigen Beurteilungsmethodik erfolgen:

1. Stufe: Nachweisfreie bzw. als erfüllt erachtete Konstruktionen gemäß DIN 4108-3
2. Stufe: Vereinfachter Nachweis durch Taupunktberechnungen bzw. Periodenbilanzverfahren nach DIN 4108-3
3. Stufe: Nachweis durch hygrothermische Simulation

Eine vereinfachte Bewertung für Innendämmsysteme ist nach dem Leitfaden im WTA-Merkblatt 6-4-16 [4] möglich, der den geforderten s_d-Wert auf die Verbesserung der Innendämmebene ΔR und die Saugfähigkeit der Grenzfläche zwischen Dämmung und bestehender Wand bezieht, wobei kapillaraktive, diffusionsoffene Innendämmsysteme nicht berücksichtigt werden. Daher wird in Kapitel 5.3 ein neuer Nachweis für diese Materialien vorgestellt.
Bei erdberührten Bauteilen können vereinfachte Nachweisverfahren z.B. wegen des abweichenden Wärme- und Feuchtespeichervermögens nicht eingesetzt werden. Hierfür sind Simulationsverfahren anzuwenden. Für diesen Einsatzfall sind diffusionsdichte Systeme oft geeignet.

5.1 Nachweisfreie bzw. als erfüllt erachtete Konstruktionen gemäß DIN 4108-3

Die deutsche DIN 4108-3 [5], die den Feuchteschutz von Baukonstruktionen regelt, definiert grundsätzliche Maßnahmen bei Innendämmungen, die hinsichtlich ihres Feuchteverhaltens bei normalem Betrieb einer Wohnung oder eines Bürogebäudes im mitteleuropäischen Klima als unkritisch angesehen werden:

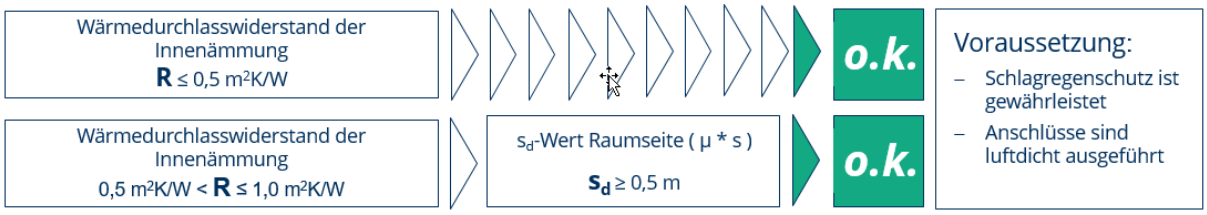


Bild 11 Möglichkeiten einer nachweisfreien Konstruktion

Eine dünne Dämmschicht mit einer wärmetechnischen Verbesserung von ΔR ≤ 0,5 m²K/W kann ohne zusätzliche Anforderungen aufgebracht werden, wenn keine Schlagregenbelastung oder ein ausreichender Regenwasserschutz vorhanden ist und keine Raumluft hinter die Innendämmschicht strömen kann. Bei gleichen Voraussetzungen kann sich die Verbesserung auf bis zu ΔR ≤ 1,0 m²K/W erhöhen, wenn an der Innenoberfläche dampfbremsende Schichten mit $s_d \geq 0{,}5$ m vorhanden sind (Abb. 11). Der Wärmewiderstand R einer Materialschicht berechnet sich aus R = Dicke / Wärmeleitfähigkeit.

5.2 Vereinfachter Nachweis für Innendämmungen

Sollten diese Grenzen überschritten werden, kann, neben dem Rechenverfahren der DIN 4108-3 [5] („Glaser"-Verfahren) oder der DIN EN 13788 [36] („Euro-Glaser"), ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, welches im WTA-Merkblatt 6-4-16 [4] beschrieben wird.
Dort werden das Vorgehen bei der Planung einer Innendämmung und die bauphysikalischen Aspekte vorgestellt sowie Randbedingungen definiert, bei denen ein konkreter hygrothermischer Nachweis entfallen kann.
Der vereinfachte Nachweis nach WTA-Merkblatt 6-4-16 darf nur unter bestimmten Voraussetzungen erstellt werden. Folgende Bedingungen müssen für dessen Anwendbarkeit gegeben sein:

- Ausreichender Schlagregenschutz muss gewährleistet sein, so dass daraus keine nennenswerten Feuchteeinträge zu erwarten sind. Das bedeutet:
    - keine oder nur geringe Exposition (Standort)
    - konstruktiver Schutz (zweischalige Fassade etc.)
    - regenbeanspruchte Außenoberfläche mit folgenden Eigenschaften:
      $w \cdot s_d \leq 0{,}1$ kg/(m·h^{0,5}) mit $w \leq 0{,}2$ kg/(m²·h^{0,5}) und $s_d \leq 1$ m
- kein erdberührtes Bauteil oder sonstige Feuchtequellen
- Mindestdurchlasswiderstand der Bestandswand: R ≥ 0,4 m²·K/W
- Innenklima mit normaler Feuchtelast nach WTA-Merkblatt 6-2-14 [18] oder geringer in nicht klimatisierten Wohn- oder wohnähnlich genutzten Gebäuden.
- mittlere Jahrestemperatur der Außenluft: ≥ 7˚C
- Hinterströmung mit Raumluft hinter die Innendämmung wird ausgeschlossen
- maximale Verbesserung des Wärmedurchlasswiderstandes R um:
    - 2,5 m²·K/W – bei saugfähigem Untergrund oder bei nicht saugfähigem Untergrund in Verbindung mit einer feuchtevariablen Dampfbremse
    - 2,0 m²·K/W – bei nicht saugfähigem Untergrund
- der vorhandene Wandbildner und die aufzubringende Innendämmschicht müssen feuchtebeständig sein (Gleichgewichtsfeuchte bis zu 95 % r. LF).

Für das Berechnungsverfahren der DIN 4108-3 bzw. DIN EN 13788 bestehen andere Einschränkungen: So ist es nicht anwendbar bei „Innendämmung mit R > 1,0 m²·K/W auf einschaligen Außenwänden mit ausgeprägten sorptiven und kapillaren Eigenschaften". Hinweis: Wird das Verfahren dennoch angewendet und die Konstruktion kann damit nachgewiesen werden bedeutet dies, dass sie ohne die sorptiven und kapillaren Eigenschaften funktionsfähig ist. Kann sie nicht nachgewiesen werden, muss ein Verfahren verwendet werden, dass diese Eigenschaften berücksichtigt.

Ablaufschema ID

Der Nachweis gemäß WTA-Merkblatt 6-4-16 erfolgt mit Hilfe eines Diagramms (Bild 12). Anhand der Bestandskonstruktion (Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert) und der geplanten wärmeschutztechnischen Verbesserung (ΔR_i) wird der minimal erforderliche s_d-Wert des gesamten Innendämmsystems abgelesen.

Der Wärmewiderstand R einer Materialschicht berechnet sich aus R = Dicke / Wärmeleitfähigkeit. Für den Wärmedurchlasswiderstand eines Innendämmsystems werden die Wärmewiderstände aller Schichten des Systems aufaddiert.

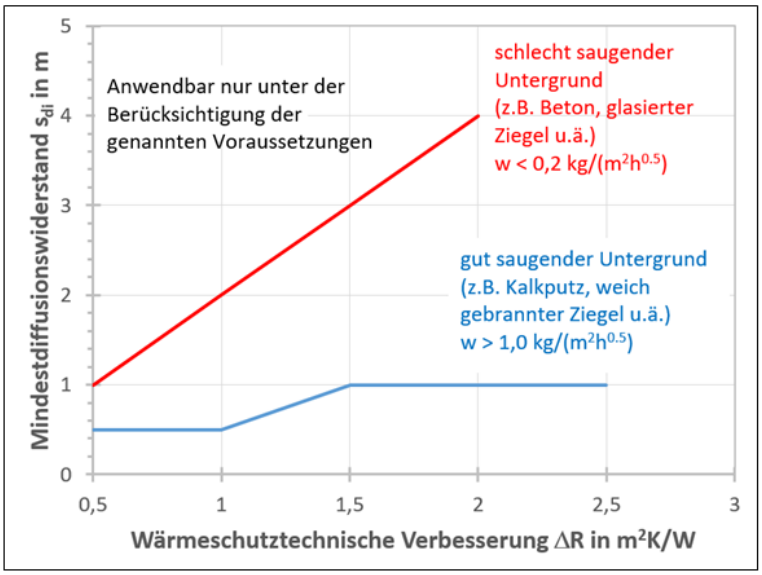


Bild 12 Minimal erforderlicher s_d-Wert des Innendämmsystems (alle Komponenten des Dämmsystems im Zusammenhang zur wärmeschutztechnischen Verbesserung ΔR_i) für verschieden saugfähige Untergründe (Quelle: WTA-Merkblatt 6-4-16 [4]).

Die Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens ist zu begründen und zu dokumentieren. Der vereinfachte Nachweis gilt nur für den ungestörten Wandbereich. Wärmebrücken müssen gesondert untersucht werden. Das Wirkprinzip der kapillaraktiven, diffusionsoffenen Innendämmsysteme wird mit dem vereinfachten, bestehenden Verfahren nicht erfasst.
Ein Beispiel für einen vereinfachten Nachweis wird im Anhang A III beschrieben.

Bei diesem vereinfachten Verfahren mussten die diffusionsoffenen, kapillaraktiven Dämmstoffe noch ausgenommen werden, da keine Bewertung der Funktionsweise verfügbar ist. Um diese Lücke zu schließen, wurde im Rahmen des aktuellen Projektes In2EuroBuild als zusätzliche Bewertungsmöglichkeit eine Erweiterung der Vorgehensweise des vereinfachten Nachweises (2. Stufe) zur Klassifizierung kapillaraktiver, diffusionsoffener Dämmsysteme vorgenommen.

5.3 Erweiterung des vereinfachten Nachweises - Klassifizierung diffusionsoffener kapillaraktiver Dämmsysteme

In diffusionsoffenen, kapillaraktiven Dämmsystemen wirken in der kalten Witterungsperiode zunächst zwei einander entgegengesetzte Feuchtetransport-Prozesse. Der Diffusionstransport aus dem Raum in Richtung des kalten Außenklimas sorgt für einen Eintrag von Feuchte in das Dämmsystem und einen Anstieg der Feuchte auf dessen Kaltseite. Ab etwa 80 % r.F. setzt Flüssigwassertransport ein, der die Feuchte zurück in Richtung Innenraum leitet und einen weiteren Feuchteanstieg bremst oder sogar vollständig kompensiert. Das Feuchteniveau auf der Kaltseite des Dämmstoffs wird aber auch von weiteren Faktoren beeinflusst, vor allem:

- dem Wasserdampfdiffusionswiderstand des Dämmsystems und der Bestandskonstruktion
- der Saugfähigkeit der Bestandsinnenoberfläche
- der Sorptionsfähigkeit des Untergrundes
- der Sorptionsfähigkeit von Kleber und Dämmmaterial
- sowie den Außen– und Raumklimabedingungen

Eine adäquate Berücksichtigung all dieser Einflussparameter ist im Rahmen eines vereinfachten Nachweises nicht möglich. Um eine Klassifizierung der diffusionsoffenen, kapillaraktiven Materialien und damit einen qualitativen Vergleich verschiedener Dämmsysteme zu ermöglichen, werden daher die Anwendungsvoraussetzungen wie beim allgemeinen vereinfachten Nachweis aus WTA-Merkblatt 6-4-16 [4] mit nur geringfügigen Anpassungen übernommen. Auf diese Weise kann bereits ein großer Teil der verbleibenden Einflussfaktoren „eliminiert" werden kann. Die Anwendungsvoraussetzungen aus Abschnitt 5.2.a gelten deshalb auch hier mit folgenden Unterschieden:

- bei schlecht saugendem Untergrund mit $w < 0{,}2$ kg/(m²·h^{0,5}) ist immer eine individuelle Bemessung erforderlich
- Der vereinfachte Nachweis gilt nur für gut oder mäßig saugende Untergründe. Für diese gilt eine maximale Verbesserung des Wärmedurchlasswiderstandes R um 2,5 m²·K/W ohne weitere Differenzierung.
- Der vorhandene Wandbildner und die aufzubringenden Schichten des Innendämmsystems müssen für die jeweils auftretenden Feuchteverhältnisse geeignet sein.

Obwohl kapillaraktive Innendämmungen häufig auch in Bereichen zum Einsatz kommen, bei denen eine Rücktrocknung zum Raum hin, z.B. infolge von Schlagregenaufnahme, erforderlich ist, kann diese Situation nicht in den vereinfachten Nachweis integriert werden. Die spezifische Schlagregenbelastung und das klimabedingte Trocknungspotential unterscheiden sich standortspezifisch so deutlich und beeinflussen das Verhalten des gesamten Bauteils so stark, dass hier keine für die Praxisanwendung noch sinnvollen allgemeingültigen Freigaben möglich gewesen wären. Diese anspruchsvolle Anwendung bleibt somit weiterhin dem Einzelnachweis vorbehalten.

Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmsysteme sollten bevorzugt bei Raumklima mit niedriger oder normaler Belegung zum Einsatz kommen, da der Feuchteeintrag bei anderen Nutzungen u.U. sehr groß sein kann. Für den vereinfachten Nachweis bzw. die Klassifizierung werden daher auch nur diese Belegungen berücksichtigt.

Weiterhin wird unterschieden, ob der Untergrund in geringem oder größerem Umfang in der Lage ist, durch eigene Saugfähigkeit einem Feuchteanstieg im Grenzbereich zwischen Dämmung und Bestandsoberfläche entgegenzuwirken. Dazu wird zwischen Oberflächen mit einem w-Wert von mindestens 0,2 kg/m²√h und solchen mit mindestens 1,0 kg/m²√h unterschieden. Durch die erste Gruppe sind auch dichtere mineralische Oberflächen wie meisten Beton oder Zementputze abgedeckt, aber keine durch Anstriche, Fliesen oder Kunststoffe abgedichtete Oberflächen sowie sehr dichte Beton. In die zweite Gruppe fallen dann stärker saugende Putze sowie die meisten Mauerwerke, bei denen der alte Innenputz oder eine Beschichtung entfernt wurde.

Die Klassifizierung gilt für drei Anwendungsbereiche, für die diffusionsoffene, kapillaraktive Dämmstoffe besonders geeignet sind und sieht jeweils zwei Funktionsstufen vor, je nachdem, wie stark der Feuchteanstieg begrenzt wird. Die Anwendungsbereiche sind entsprechend der obigen Beschreibung in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tab. 5 Anwendungsbereiche für den vereinfachten Nachweis von diffusionsoffenen, kapillaraktiven Dämmstoffen bzw. -systemen

	Anwendungsbereich		
	I	II	III
Feuchtelast nach WTA 6-2	niedrig	niedrig	normal
Saugfähigkeit des Untergrunds in Anlehnung an WTA 6-4	gut saugend w ≥1,0 kg/m²√h	mäßig saugend w ≥0,2 kg/m²√h	gut saugend w ≥1,0 kg/m²√h

Die Einteilung orientiert sich am Feuchteniveau, welches sich auf der Kaltseite der Dämmung bei den genannten Anwendungsbereichen einstellt. Wenn der Dämmstoff oder das Dämmsystem dem Anstieg des Feuchteniveaus stark entgegenwirkt, so dass im Rahmen der obigen Definition die relative Feuchte im Zusammenspiel mit dem Untergrund auf weniger als 95 % r.F. begrenzt werden kann, ist das System im genannten Anwendungsbereich weitgehend uneingeschränkt einsetzbar - es fällt damit in die Kategorie A: *allgemein funktionsfähig*. Unterhalb von 95 % r.F. sind außer Schimmelbildung, was durch eine weitgehend flächige Verklebung unterbunden wird, keine anderen Probleme zu erwarten. Auch Holz und reine Gipsmaterialien (ohne Naturfaserbestandteile) vertragen gem. WTA-Merkblatt 6-5-14 [12] bei niedrigen Temperaturen diese Bedingungen, so dass Frostschäden bei Einhaltung des Mindestwärmeschutzes der Bestandswand ebenfalls nicht zu befürchten sind. Wenn das Feuchteniveau zwar die 95 % r.F. überschreitet, jedoch im Bereich bis max. 99 % r.F. bleibt, kann der Dämmstoff bzw. das Dämmsystem in die Kategorie B: *funktionsfähig bei Feuchtebeständigkeit* eingestuft werden. Wenn dagegen noch höhere Feuchteverhältnisse erreicht werden, kann Tauwasserbildung nicht ausgeschlossen werden und eine pauschale Freigabe ist nicht möglich.

Tab. 6 Klassifizierung für den jeweiligen Anwendungsbereich

	Kategorie		
	A	B	Keine Einstufung
Feuchteniveau an der Grenzschicht Innendämmung / Bestandswand nach dem Winter	≤ 95 % r.F.	≤ 99 % r.F.	> 99 % r.F.
Anforderungen an Material und Untergrund	Keine (feuchtebeständig bis 95 % r.F)	Feuchte-, frost- und fäulnisbeständig bis 99 % r.F.	(Individuelle Bemessung nach WTA-6-5)

Die für die Einstufung der Dämmmaterialien zu ermittelnden Kennwerte und die Randbedingungen für die durchzuführenden Simulationen sind im Anhang A IV beschrieben.

Die Funktionstauglichkeit von diffusionsoffenen Dämmmaterialien mit kapillaraktiven Eigenschaften variiert produktspezifisch. Deshalb ist eine pauschale Angabe nach Materialtyp nicht zielführend.
Im Rahmen des Projektes wurden Untersuchungen für ausgewählte diffusionsoffene Dämmstoffe mit mehr oder weniger ausgeprägten kapillaren Eigenschaften durchgeführt. Im Anhang A V sind die Ergebnisse dieser Bemessungen mit Zuordnung zu den entsprechenden Anwendungsbereichen dargestellt.

5.4 Nachweis durch hygrothermische Simulation

Für alle nicht in die o.g. Kategorien A und B einzuordnenden Konstruktionen ist der Nachweis der Funktionsfähigkeit mittels einer hygrothermischen Simulation gemäß DIN 4108-3 [5] erforderlich. Dies kann über Rückgriff auf bereits durchgeführte Simulationsstudien / Ergebnisse oder durch eine individuelle Beurteilung erfolgen.

Für die individuelle Beurteilung sind auf dem deutschen Markt sind aktuell zwei Softwareanwendungen in der Praxis etabliert - WUFI und DELPHIN.

Die Software WUFI® wurde am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) in Holzkirchen entwickeltet [22]. WUFI® steht dabei für die gekoppelte Berechnung des instationären Wärme- und Feuchtetransportes durch Bauteile. Über die Jahre wurde WUFI® vielfach experimentell validiert und entspricht u.a. den Anforderungen der europäischen Norm DIN EN 15026 [23].
Die Software steht in unterschiedlichen Versionen zur Verfügung, welche neben der Berechnung des eindimensionalen- auch die Beurteilung von zweidimensionalen Fragenstellungen (WUFI® - 2D) oder des Gesamtgebäudeverhaltens (WUFI® Plus) erlauben.

Das am Institut für Bauklimatik der TU Dresden entwickelte Programmpaket DELPHIN 6 [28] ist ein numerisches Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, Luft- und Salztransport in Baukonstruktionen und findet ebenfalls weltweit in Forschungsinstituten und Ingenieurbüros Anwendung. Die Berücksichtigung beliebiger Klima- und Nutzungsrandbedingungen liefert Informationen zu zahlreichen Aspekten wie z.B. aufsteigende Feuchte, Einfluss von Strahlung, Materialien, Schlagregen oder Einbaufeuchte. Auch 3D-Details, wie Stahlträger oder Konsolen können damit berechnet werden. Die Grafikausgabe bildet sämtliche bauphysikalisch relevanten Größen ab, kann die Ursachen möglicher Bauschäden aufzeigen sowie die Nachweisführung von Tauglichkeit und Schadenfreiheit einer Konstruktion erleichtern.

Der Nachweis von Innendämmsystemen durch hygrothermischen Simulationen ist im WTA-Merkblatt 6-5-14 [12] beschrieben. Bei den Simulationen wird prinzipiell zwischen stationär (konstante Innen- und Außenklimarandbedingungen) und instationär (reale Datensätze mit sich verändernden Innen- und Außenklimarandbedingungen) sowie eindimensional und mehrdimensional unterschieden.

Vorgehensweise:

- Nachweis des Ist-Zustandes

Bevor ein oder mehrere Dämmsysteme untersucht werden, ist es in vielen Fällen empfehlenswert, eine hygrothermische Berechnung des Ist-Zustandes der vorgefundenen Bestandskonstruktion mit den gegebenen Randparametern durchzuführen.
Die bei den vorhandenen Klimadateien der Referenzstandorte implementierten Schlagregenmengen stimmen meist nicht mit den Belastungen am konkreten, meist innerstädtischen Standort überein und werden am Standort ggf. deutlich unterschritten. Sie sollten anhand des Feuchteverhaltens der Bestandswand kalibriert werden. Referenzrechnungen sind hierbei sehr hilfreich. Alternativ können auch Schlagregenmessungen an den betreffenden Fassaden durchgeführt werden.
Diese erste Berechnung dient als Referenzrechnung für die folgenden Nachweise mit ausgewählten Innendämmsystemen. Mit der Referenzsimulation sollte sich der bestehende bauphysikalische Zustand der Konstruktion mit den vorhandenen Randbedingungen abbilden lassen, d. h., wenn sich auf der Bestandskonstruktion Schimmel gebildet hat, sollte sich dies mit den Simulationsergebnissen ebenso nachvollziehen lassen.
Im Rahmen des Dämmkonzeptes werden diese Berechnungen meist als eindimensionale Berechnungen für den ungestörten Wandquerschnitt durchgeführt.

Ablaufschema ID

Die Berechnungsdauer muss so gewählt werden, dass der dynamische hygrothermische Gleichgewichtszustand erreicht wird. Für die maximale jährliche Abweichung kann 1 % des Gesamtwassergehaltes in Anlehnung an den Anhang D der DIN 4108-3 [5] verwendet werden.

- Nachweis der innen gedämmten Konstruktion

Auf Grundlage der Referenzrechnung und der Voruntersuchungen werden geeignete Dämmsysteme für die geplante Nutzung analysiert und bewertet. Dabei werden u.a. folgende Eigenschaften berücksichtigt:

  - Wärmeleitfähigkeit,
  - Dampfdiffusion,
  - Flüssigwasserleitfähigkeit und Trocknungspotenzial,
  - Kosten

Mit den Simulationen kann auch untersucht werden, wie die ausgewählten Dämmsysteme mit einer vorhandenen Feuchtebelastung im Mauerwerk umgehen können.
Die Nachweisführung erfolgt mittels hygrothermischer Simulation der ungestörten Bestandswand mit den ausgewählten Dämmsystemen, wobei die Berechnungen mit instationären Randbedingungen, also unter Ansatz eines Realklima-Datensatzes für den Standort bzw. Standortnähe durchgeführt werden. Hierbei werden bei Bedarf Varianten mit und ohne Regeneinfluss, mit und ohne Anfangsfeuchtegehalt der Bestandskonstruktion, mit unterschiedlichen Randbedingungen für verschiedene Innenklimata bzw. für unterschiedliche Dämmstoffvarianten durchgeführt. Die genaue Nachweisführung wird später erläutert.

- Empfehlung eines oder mehrerer Dämmsysteme

Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann dem Auftraggeber unter Berücksichtigung aller festgelegten Anforderungen ein Nachweis für das ausgewählte Dämmsystem übergeben werden bzw. kann ein Vergleich der Dämmsysteme erstellt werden, aus dem eine Empfehlung für gut geeignete Dämmsysteme hervorgeht.

- Weitere Vorgehensweise

Erst wenn die grundsätzliche hygrothermische Funktionsfähigkeit der eindimensionalen Konstruktion mit Innendämmung nachgewiesen werden kann und die Wahl auf ein passendes System gefallen ist, wird eine 2-dimensionale Untersuchung von konstruktiven Anschlussdetails empfohlen. Die Auswahl und Vorgehensweise wird im Kapitel „Bemessung konstruktiver Anschlussdetails“ beschrieben.

Durchführung einer hygrothermischen Simulation

Generell wird zur Thematik der Simulationen auf die bestehenden WTA-Merkblätter 6-1 bis 6-5 verwiesen, in denen Angaben zu Materialien, Klimarandbedingungen, Übergangswiderständen, Simulationsdauer, Ausgaben, Bewertungskriterien und Herangehensweisen usw. erläutert werden.
Im Rahmen der vorliegenden Praxisanleitung wird ein Überblick über die wichtigsten Kennwerte, Randbedingungen und Bewertungskriterien gegeben. Eine Zusammenstellung dieser Daten sowie Hinweise zur Auswertung und Beispiele sind im Anhang A VI zu finden.

5.5 Simulationstabellen für typische Anwendungsbereiche / Freigaben durch Hersteller

Da nicht jeder Planer in der Lage ist, selber hygrothermische Simulationen durchzuführen, stehen teilweise auch Simulationsstudien für verschiedene Dämmstofftypen und gängige Einbausituationen zur Verfügung, die entweder im Rahmen von früheren Forschungsprojekten oder durch einzelne Hersteller durchgeführt wurden. Auch auf solche Ergebnisse kann für die Bemessung zurückgegriffen werden.

6 Dimensionierung / Ausführung von Anschlussdetails

Meist stellt sich in der Planungsphase vor der eigentlichen Detailplanung die Frage, wieviel Platz für z.B. Laibungs- und Flankendämmungen benötigt wird. Dabei ist es hilfreich, wenn zumindest die wichtigsten vorkommenden Anschlüsse schon vorab überschläglich dimensioniert werden können.

6.1 Allgemeine Dimensionierungsempfehlungen

Wenn das grundsätzliche energetische Sanierungskonzept mit Sicherstellung des Schlagregenschutzes, Festlegung eines Dämmsystems und der einzusetzenden Dämmstärken geklärt ist, liegt der Fokus auf der Detailplanung.
Aus langjährigen Erfahrungen mit Innendämmmaßnahmen können folgende überschlägige Dimensionierungsempfehlungen für eine Vorplanung gegeben werden. Im Rahmen der Ausführungsplanung erfolgt für das konkrete Objekt entsprechend der Vor-Ort-Bedingungen und Zustand sowie Eigenschaften der Bestandskonstruktion in der Regel aber nochmal eine Anpassung.

6.1.1 Fensterlaibung/ Fenstersturz

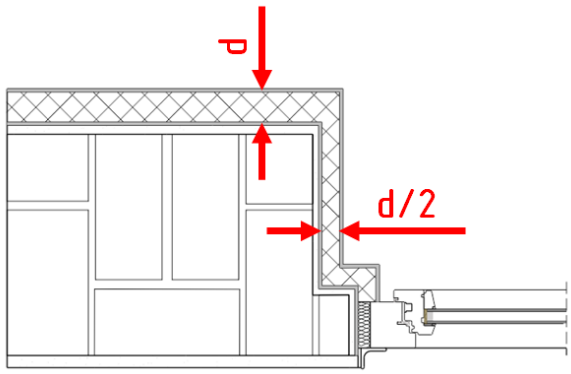


Bild 13 Empfehlung für Vordimensionierung einer innengedämmten Fensterlaibung

In Laibungs- und Sturzbereichen von Bestandsgebäuden steht meist nur wenig Platz für eine Dämmung zur Verfügung. In vielen Fällen ist es ausreichend, wenn ca. die Hälfte der Standard-Dämmstärke der Innendämmung für die Laibung (bei gleichen Dämmeigenschaften) verwendet wird. Bei Verwendung einer Dämmung mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit in diesem Bereich kann die Dämmstärke der Laibungsdämmung ggf. noch reduziert werden.
In diesem Zusammenhang ist besonderes Augenmerk auf die Ausbildung der Fuge zwischen Mauerwerk und Blendrahmen zu legen. Es ist eine durchgehende Dämmebene zwischen dieser Fuge und der Laibungsdämmung herzustellen. Dieser Übergang ist ein typischer Schwachpunkt bei einer Sanierungsmaßnahme.

6.1.2 Einbindende Bestandsinnenwand

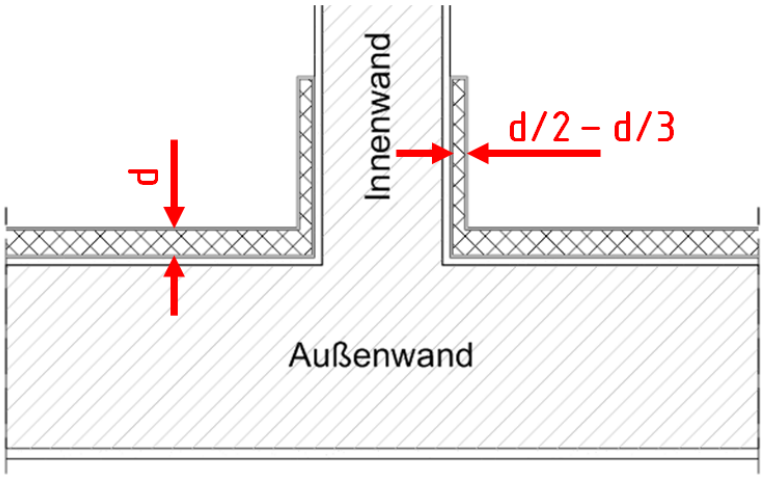


Bild 14 Empfehlung für Vordimensionierung einer einbindenden Innenwand

Zur Reduzierung von Wärmebrücken ist eine Optimierung der Eckbereiche an einbindenden massiven Innenwänden sinnvoll. Ob sie notwendig ist, hängt vor allem vom Wärmedurchlasswiderstand R (s. Kap. 4.2.2) der Bestandswand und von der Stärke der Außen- und Innenwand ab. Je ungünstiger die energetische Qualität der Bestandsaußenwand ist, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Mindestwärmeschutz in der Wandecke bei der Bestandswand und dann auch bei Anwendung der Innendämmung nicht eingehalten wird. Ist der Mindestwärmeschutz der Bestandsaußenwand gut eingehalten, ist eine Flankendämmung in der Regel nicht erforderlich.
Je dünner die Bestandsaußenwand und je dicker die einbindende Innenwand ist, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Anordnung einer Flankendämmung in diesem Bereich notwendig ist. Bei gleichen Wandmaterialien kann überschläglich davon ausgegangen werden, dass sie nur dann erforderlich wird, wenn die Innenwand mehr als die halbe Dicke der Außenwand aufweist.

In vielen Fällen ist es ausreichend, wenn dann ca. ein Drittel bis zur Hälfte der Standard-Dämmstärke der Innendämmung für die Flankendämmung (bei gleichen Dämmeigenschaften) verwendet wird. Bei Verwendung einer Dämmung mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit in diesem Bereich kann die Dämmstärke der Flankendämmung ggf. noch reduziert werden. Als Einbindelänge für die Flankendämmung sind meist 30-40 cm ausreichend. Dies kann in Form einer rechteckigen oder keilförmigen Plattendämmung oder eines Dämmputzes erfolgen. Inzwischen sind auch spezielle „Wärmeleitbleche“ verfügbar, die als Aluminium-Lochblech mit einer dünnen rückseitigen Dämmlage am Innenwandanschluss angebracht und mit eingeputzt werden. Damit wird dieser Anschluss ohne störende Absätze oder Keile ausgeführt.

Bild 15 Beispiele für die Ausführung einer Flankendämmung: als Platte (links, Quelle: www.calsitherm.de), als Dämmkeil (Mitte, Quelle: www.multipor.de) oder Aluminium-Lochblech mit dünner rückseitiger Dämmlage (rechts, Hersteller: www.caparol.de)

6.1.3 Einbindende massive Geschossdecke

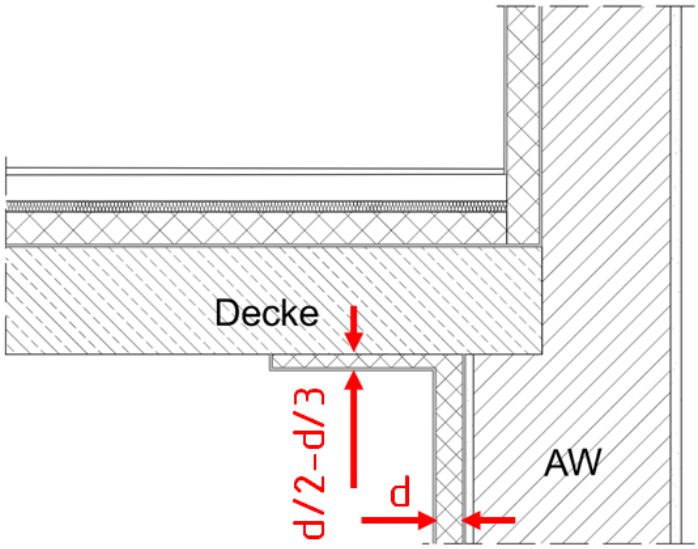


Bild 16 Empfehlung für Vordimensionierung einer einbindenden massiven Geschossdecke

Zur Reduzierung von Wärmebrücken ist eine Optimierung der Eckbereiche an einbindenden massiven Bestands-Geschossdecken (z.B. Stahlbetondecken) zumindest im Bereich einer Außenecke oft notwendig, weil die Einbindetiefe groß ist bzw. keine stirnseitige Deckenranddämmung vorhanden ist. Im normalen Kantenbereich ist eine Flankendämmung nicht immer erforderlich.
In vielen Fällen ist es ausreichend, wenn dann ca. ein Drittel bis zur Hälfte der Standard-Dämmstärke der Innendämmung für die Flankendämmung (bei gleichen Dämmeigenschaften) verwendet wird. Bei Verwendung einer Dämmung mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit in diesem Bereich kann die Dämmstärke der Flankendämmung ggf. noch reduziert werden. Als Einbindelänge für die Flankendämmung sind meist 30-40 cm ausreichend. Die Art der Flankendämmung kann analog zu den einbindenden Innenwänden ausgeführt werden. Die Verwendung von Wärmeleitblechen ist jedoch nur sinnvoll, wenn keine abgehängten Unterdecken angebracht werden.

6.2 Typische Anschlussdetails

Bei der Detailplanung sollte auf möglichst wenig Durchdringungen durch die Dämmebene geachtet werden. Eine durchgehende luftdichte Ebene in der thermischen Hülle muss sichergestellt werden, um das Risiko von konvektiven Dampfeinträgen hinter die Dämmebene zu vermeiden.
Bei den Planungsbeteiligten muss ein Bewusstsein für die Funktionsebenen in Konstruktionen entwickelt werden, um die entsprechenden Materialien an der richtigen Stelle zu platzieren.
Zunächst werden typische Anschlussdetails für das konkrete Gebäude (wie Fenster, Decken, Balkone) erfasst, und die generelle Lage von Schichten in Anschlussbereichen und deren Befestigung an der Unterkonstruktion werden festgelegt.

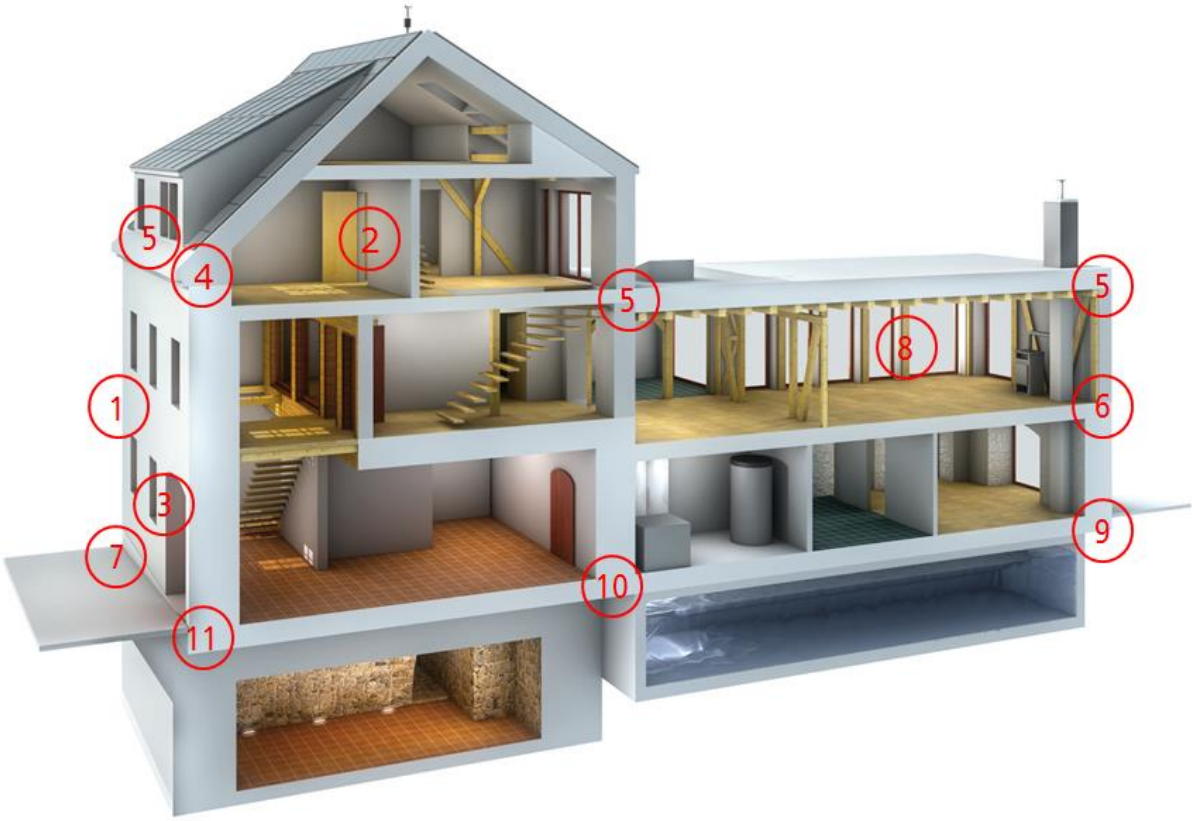


Bild 17 Darstellung üblicher kritischer Anschlussdetails im Gebäude mit Innendämmung (Quelle: Christian Conrad/ Dr. Holger Neuhaus)

Im Anhang A IX sind Prinzipiendarstellungen häufiger Anschlussdetails für unterschiedliche Einbausituationen beschrieben.

Übliche Wärmebrücken sind:

1 Außenecken von Wänden
2 Einbindende Innenwände
3 Fenstersturz, -laibung, -brüstung, auch Rollladen
4 Anschluss Drempel an Dachkonstruktion
5 Ortgang und sonstige Dachanschlüsse
6 Einbindende Geschossdecken
7 Balkonanbindungen
8 Pfeiler
9 Anschluss Außenwand an Bodenplatte/ KG-Decke
10 Innenwände auf KG-Decke
11 Sockelbereiche
12 Durchdringungen durch die thermische Hülle (Stahlträger, Stahlbetonunter- und -überzüge, ...)

6.3 Auswahlkriterien für die Detailbemessung

Anhand der typischen kritischen Detailpunkte kann eine Betrachtung der am konkreten Objekt vorkommenden Wärmebrücken vorgenommen werden. Dabei ist, vor allem wenn die ausgeführten Anschlussdetails nicht eindeutig zu erfassen sind, eine Zusammenarbeit zwischen dem Architekten/ Planer und Bauphysiker sehr wichtig. Bei vielen Konstruktionsanschlüssen kann aufgrund der einfachen und überschaubaren Ausführung oder mit einer durchdachten Planung der Ausfüh-

rungsdetails bzw. in Kombination mit Ausführungshinweisen durch den Bauphysiker auf zusätzliche Berechnungen verzichtet und auf vorhandene passende Detailausführungen zurückgegriffen werden. Damit können durchzuführende Wärmebrückenberechnungen auf ein Minimum reduziert werden.
Aus den zu betrachtenden Anschlussdetails sollte möglichst für die unterschiedlichen Anschlussbereiche jeweils der kritische Fall ausgewählt werden, für den dann die Detailbemessung durchgeführt wird.
So bedeutet dies z.B. bei einbindenden massiven Bestandswänden, dass die Innenwand mit der größten Wandstärke bei gleichzeitiger geringer Außenwandstärke am kritischsten wird. Dies kann dann der Bemessungsfall für alle ähnlichen Anschlüsse werden. So besteht auf der Baustelle mit möglichst einfachen und einheitlichen Konstruktionsvorgaben Klarheit für die Ausführung.

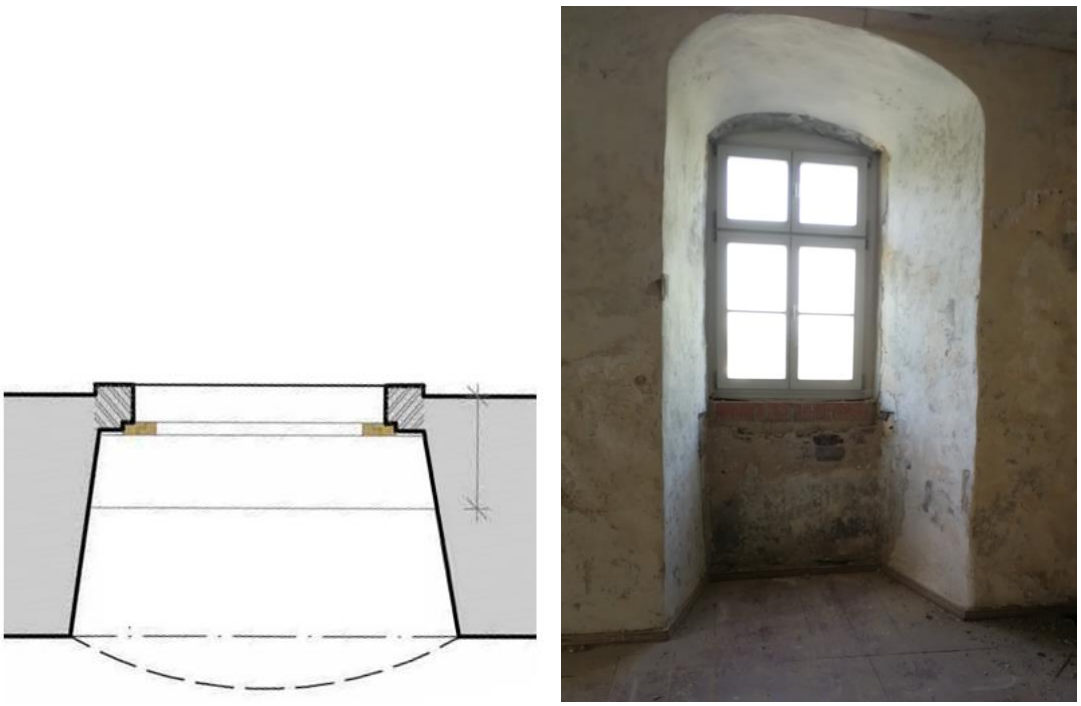


Bild 18 Hygrothermisch kritischer Fensteranschluss: große Wandstärke und fassadennahe Fensterlage, Fenstereinfassung aus Naturstein

Für die Bemessung von Fenstern ist zu beachten, dass die Anschlusssituation umso kritischer wird, je weiter die Fensterebene von der gedämmten Wandebene entfernt ist. Eine nahezu fassadenbündige Lage des Fensters in Kombination mit einer sehr großen Wandstärke stellt demnach den ungünstigsten Fall dar. Außerdem sind Querschnittsschwächungen im Fensteranschlussbereich bzw. Materialwechsel (z.B. Stahlträger im Sturzbereich) mit zu betrachten.

Bild 19 Hygrothermisch kritische Fensteranschlüsse; links: durchgehende Natursteinfensterbank von außen nach innen, rechts: geringe Wandstärke mit zusätzlicher Querschnittsschwächung in der Sturzebene

Des Weiteren sind konstruktive Besonderheiten des Gebäudes, wie Durchdringungen durch die thermische Hülle unbedingt zu berücksichtigen. Es sei hier vor allem auf Stahlträger bzw. Stahlbetonüber- oder -unterzüge mit einer Einbindung in die zu dämmende Außenwand o.ä. hingewiesen (s. Bild 20 und Bild 21).

Bild 20 Beispiel eines Stahlbetonüberzuges in der Decke zum unbeheizten DG

Bild 21 Stahlrahmenkonstruktion in der thermischen Ebene mit Einbindung in den Stahlbetondrempel

6.4 Konstruktive Hinweise bei Innendämmmaßnahmen

6.4.1 Befestigung von Lasten

Durchdringungen durch Befestigungselemente sind eine Schwachstelle in einer innen gedämmten Konstruktion, da sie sich in der potenziellen Kondensatebene befinden. Daher sollten Durchdringungen möglichst vermieden werden, was jedoch selten realisierbar ist.
Leichte Lasten, wie z.B. Bilder können mit Dämmstoff-Schraubdübeln in der Bestandswand befestigt werden. Für mittlere Lasten stehen spezielle Montageelemente ohne mechanische Befestigung, z.B. Montagezylinder oder –quader aus Hartschaum zur Verfügung. Für höhere Lasten können Montageelemente mit mechanischer Befestigung eingesetzt werden (Bild 22).

Bild 22 Beispiele für Befestigung von Lasten in innen gedämmten Konstruktionen: links Spiraldübel für leichte Lasten (Quelle: www.ejot.de), in der Mitte zwei druckfeste Montage-elemente für mittlere Lasten (Quelle: www.dosteba.de), rechts Schwerlastanker mit thermischer Entkopplung für höhere Lasten (Quelle: www.dosteba.de)

6.4.2 Steckdosen

Steckdosen stellen eine Schwachstelle in einer innen gedämmten Konstruktion dar, da sie sich in der potenziellen Kondensatebene befinden. Daher sollte eine Platzierung an diesen Wänden, soweit möglich, vermieden werden. Wenn eine Anordnung notwendig und nicht ausreichend Platz für eine Dämmlage zwischen Dosenboden und Bestandswand zur Verfügung steht (je nach Dämmmaterial zwischen 3 und 4 cm), muss die Dose umdämmt werden.

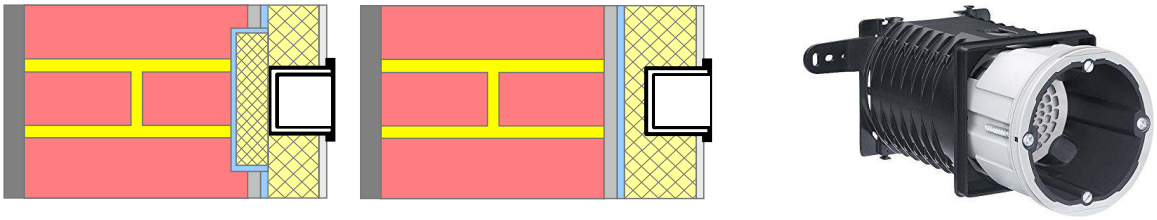


Bild 23 Umdämmung einer Steckdose in einer innengedämmten Außenwand (links), ausreichende verbleibdende Dämmstärke in der Standarddämmung (Mitte) oder Verwendung einer speziellen Dämmdose(rechts, Quelle: www.kaiser-elektro.de)

Dazu wird vor dem Aufbringen der Innendämmung eine Aussparung in der Bestandswand mit der erforderlichen Tiefe und dem notwendigem Überstand vorgesehen. Dieser Bereich wird mit einer Dämmplatte vollflächig ausgefüllt (links im Bild 23). Anschließend kann die Innendämmung wie geplant ausgeführt werden. Hier ist besonders auf die luftdichte Ausführung der Dosen, Schaltereinsätze und Kabelverlegung zu achten.
Dieser Eingriff kann sehr aufwändig sein. Alternativ können spezielle Dämmdosen verwendet werden, welche auf der Rückseite eine Dämmstofflage besitzen und speziell für diesen Anwendungsfall konzipiert sind (Bild 23 rechts).

6.4.3 Haustechnik

Meist geht mit der energetischen Komplettsanierung eines Gebäudes auch die Erneuerung der Anlagentechnik einher. Bei geplanter Weiternutzung der bestehenden Anlagentechnik oder zumindest Teilen davon sollten diese mit ihren vorhandenen Komponenten im Rahmen der Bestandsanalyse erfasst worden sein.
Die Art und Lage der Beheizung sowie das Vorhandensein einer Lüftungsanlage können die Wirkung einer geplanten Innendämmmaßnahme beeinflussen und damit die Auswahl potenzieller Dämmstoffe eingrenzen oder erweitern. Für die Bemessung der Dämmsysteme bedeutet beispielsweise das Vorhandensein einer Lüftungsanlage eine geringere Raumluftfeuchte und damit generell günstigere Bedingungen. Ebenso bedeuten Luftheizungssysteme eine gleichmäßigere Durchmischung der Raumluft und ausgeglichene Temperaturverhältnisse auf der Wandinnenoberfläche.

Neben den raumklimatischen Auswirkungen von Heiz- und Lüftungsanlagen ist auch deren konstruktive Einbindung von Interesse. Mögliche Schwachpunkte müssen eruiert und in die Planung einbezogen werden. So verursachen sowohl Heizungs- als auch Lüftungsanlagen Durchdringungen der Außenwand. Beispiele hierfür sind Heizkörperbefestigungen und Rohrdurchführungen (Außenluftansaugung). Diese potenziellen Schwachstellen können einerseits dazu führen, dass konstruktive Wärmebrücken im Wandquerschnitt entstehen, andererseits können sie die Luftdichtheitsebene durchbrechen und konvektive Feuchteeinträge aus der Raumluft in die Wand verursachen. Der letzte Aspekt ist vor allem bei Systemen mit Dampfbremse mit einem hohen Schadenspotenzial verbunden.
Weiterhin ist zu beachten, dass wasserführende Leitungen niemals außenseitig der Dämmebene anzubringen sind, da hier eine hohe Frostgefahr besteht.

6.4.4 Holzbalkendecken

Im Bereich der Deckenauflager durchdringen die Holzbalken die Ebene der Innendämmung und bilden eine Wärmebrücke. Der Balkenkopf wird etwas kälter und feuchter als zuvor. Es steht deshalb die Frage im Raum, ob die Balkenköpfe sich durch die Innendämmung soweit auffeuchten können, dass sie Schaden nehmen. Mittlerweile ist diese Fragestellung in vielen Forschungsvorhaben (siehe [24], [25], [26]) näher untersucht worden, die Ergebnisse waren überwiegend unkritisch. Folgende Aspekte sind zu beachten:

- Sind bereits Schäden an Balkenköpfen vorhanden, sind diese und deren Ursachen zu beseitigen. Wird das unzureichend durchgeführt, besteht die Gefahr, dass der Schaden bald wieder auftritt.
- Eindringender Schlagregen stellt die größte Gefahr dar. Eine ausreichende Schlagregensicherheit ist deshalb herzustellen (Verweis auf Kapitel 3.4 und WTA-Merkblatt 6-5-14 [12]).
- Auch ohne Schäden ist es zu empfehlen, die Balkenköpfe punktuell an gefährdeten Stellen zu überprüfen, z.B. im Bereich von wasserführenden Leitungen, Dachrohren und an der Gebäudeecke der Wetterseite. Wenn ein Endoskop dafür nicht ausreicht, muss die Decke geöffnet werden.

Für den Fall, dass ein Schaden vorliegt, sollte ein Holzschutzgutachter eingesetzt werden.

Es empfiehlt sich, wenn möglich, durchzudämmen, d.h. dass nicht nur im später sichtbaren Bereich der Raumoberflächen gedämmt wird, sondern auch an der Außenwand in der Deckenebene. Neben den niedrigeren Wärmeenergieverlusten kann dieses Vorgehen auch Schimmelpilzwachstum im Deckenbereich zwischen den Balken vorbeugen. Dort ist Schimmelpilzwachstum zu befürchten, besonders, wenn größere Dämmdicken aufgebracht werden (Bild 24 links). Wird beispielsweise mit 10 cm Innendämmung oder mehr nur im Bereich des Raumes gedämmt, kann sich, vor allem bei dünnem Mauerwerk, die ungedämmte Bestandsoberfläche im unmittelbaren Bereich über der Deckenverkleidung so weit abkühlen, dass dort Schimmel entsteht.
Im Falle von Unsicherheiten lässt sich der Balkenkopfbereich auch durch zweidimensionale, hygrothermische Simulationen sehr gut untersuchen [27].

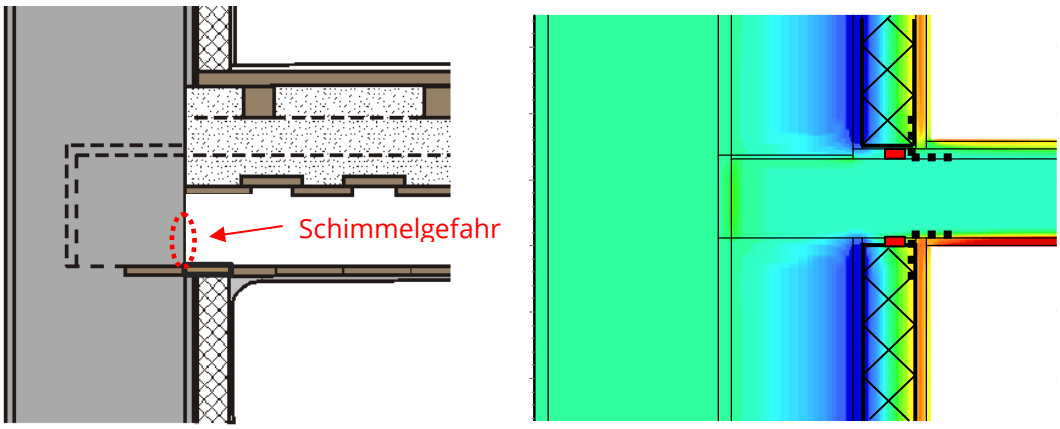


Bild 24 Links: schimmelgefährdeter Bereich bei nicht durchgehender Dämmung, rechts zwei Abdichtungarten an einem Balkenkopf mit Putzanschlussklebeband (schwarz) oder Stopfwolle/Hanfstreifen (rot); das rechte Bild zeigt beispielhaft die Verteilung der relativen Luftfeuchte im Winter (Software: DELPHIN6)

Es wird empfohlen, die Balkenauflager konvektionshemmend abzudichten, (siehe dazu WTA-Merkblatt 8-14 [29]). Das bedeutet, dass zwischen Innendämmung und Deckenbalken z. B. ein Mörtelverstrich auf hinterstopfter Fuge (Stopfwolle, Hanfstreifen) aufgebracht wird (Bild 24 rechts). Bei weitgehend ebenen Oberflächen der Bauteile sind auch vorkomprimierte Dichtungsbänder möglich. Montageschaum ist ungeeignet. Breite Risse im Holz sind zu schließen, z. B. durch Ausspänen (einsetzen von passenden, trockenen Holzstücken) oder Holzdübel. Synthetische Fugendichtmassen sind nicht zu empfehlen. Ein konvektionsdichter Anschluss durch das Schließen von Rissen geringer Breite ist unter üblichen Klimabedingungen zum Schutz der Balkenköpfe nicht erforderlich.

Beim Einbringen neuer Balken ist vor dem Stirnholz eine Luftschicht von mindestens 20 bis 30 mm zu belassen. Im Balkenauflager kann um den Balkenkopf und vor das Stirnholz eine Dämmung angebracht werden, diese muss allerdings diffusionsoffen sein.

Um zu verhindern, dass eventuell aus dem Mauerwerk Feuchte in den Balkenkopf eindringt, sollte eine Sperrschicht unter den Balkenkopf gelegt werden. Diese Sperrschicht lässt sich im Bestand nur mit hohem Aufwand einbringen (statische Abfangung) und ist nur beim Vorliegen einer entsprechenden Feuchtebelastung notwendig. Bei dauerhaft trockenem Mauerwerk ist sie nicht notwendig. Wenn sich eine Feuchtebelastung an Balkenköpfen nicht verhindern lässt und das verbaute Holz wenig dauerhaft ist (z.B. Fichte, Tanne) sind die Balkenköpfe im Oberflächenverfahren oder tiefenwirksam, z. B. im Bohrlochverfahren, mit einem zugelassenen Holzschutzmittel zu behandeln. Wenn weiterhin eine zu hohe Feuchtebelastung zu befürchten ist, können verschiedene Methoden angewendet werden, um den hölzernen Deckenbalken zu entkoppeln (WTA-Merkblatt 8-14 [29]), z. B. Stahl, GFK, Konsole, Zwickauer Balkenschuh, Unter-/Überzug, Betaverfahren, Untermauerung/Haus-in-Haus].

6.5 Hygrothermische Simulation von Anschlussdetails

Bei den meisten Gebäuden steht die Betrachtung von Anschlussdetails für übliche Anschlüsse, also hauptsächlich Fenster-, Decken- und Wandanschlüsse im Vordergrund.
Für einige standardmäßig anzutreffende Bauteilanschlüsse werden im Anhang A VIII exemplarisch Detailzeichnungen vorgestellt und deren Auswertung beschrieben.

7 Literaturverzeichnis

[1] Arbeiter, K. (2014). Innendämmung - Auswahl, Konstruktion, Ausführung. Köln: Rudolf Müller Publishing.

[2] Fachverband Innendämmung e.V. (2016). Praxis-Handbuch Innendämmung: Planung - Konstruktion - Details - Beispiele. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co.

[3] Innenwärmedämmung - Merkblatt der Berufsverbände. (2016). Innenwärmedämmung - Merkblatt für Planung und Anwendung im Bestand und Neubau. Stuttgart: Fachverband der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg, Schweizerischer Maler- und Gipsunternehmer-Verband.

[4] WTA-Merkblatt 6-4-16. (2016). Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden. München: Fraunhofer IRB Verlag

[5] DIN 4108-3. (2018). Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

[6] WTA-Merkblatt 6-15-13. (2013). Technische Trocknung an durchfeuchteten Bauteilen, Teil 1: Grundlagen. München: Fraunhofer IRB Verlag

[7] WTA-Merkblatt 6-16-19. (2019). Technische Trocknung an durchfeuchteten Bauteilen, Teil 2: Planung, Ausführung und Kontrolle. München: Fraunhofer IRB Verlag

[8] DIN 18533-1. (2017). Abdichtung von erdberührten Bauteilen - Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

[9] WTA-Merkblatt 3-13-19. (2019). Salzreduzierung an porösen und mineralischen Baustoffen mittels Kompressen. München: Fraunhofer Verlag IRB Verlag

[10] WTA-Merkblatt 2-9-20. (2020). Sanierputzsysteme. München: Fraunhofer IRB Verlag.

[11] Schöner, Hevesi-Toth, Zirkelbach, & Fitz. (2018). In-Situ Messgerät zur Bestimmung der Schlagregenintensität. Fraunhofer IRB-Verlag

[12] WTA-Merkblatt 6-5-14. (2014). Innendämmung nach WTA II - Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren. München: Fraunhofer IRB Verlag.

[13] WTA-Merkblatt 3-17-10. Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag2010

[14] WTA-Merkblatt 2-4-14. (2014). Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden. München: Fraunhofer IRB-Verlag

[15] http://altbaukonstruktionen.de. (2009). Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Retrieved from ZUB Kassel.

[16] https://www.masea-ensan.de. (2007). Materialdatensammlung für die energetische Altbausanierung. Retrieved from Fraunhofer IBP; IBK TU Dresden; ZUB Kassel.

[17] DIN 4108-2. (2013). Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

[18] WTA-Merkblatt 6-2-14. (2014). Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. München: Fraunhofer IRB Verlag.

[19] WTA Merkblatt 8-5-18. (2008) Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmsysteme, München: Fraunhofer IRB Verlag

[20] Engelhardt, Antretter, & et. al. (2019). Energieeffizienzsteigerung durch Innendämmsysteme - Anwendungsbereiche, Chancen und Grenzen.

[21] DIN 68800-2. (2012). Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

[22] Künzel, H. (1994). Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Fraunhofer IRB-Verlag

[23] DIN EN 15026. (2007). Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Berlin: Beuth Verlag

[24] https://www.renofase.be/ am 14.7.2022

[25] https://www.ribuilt.eu/ am 14.7.2022

[26] EnOB-Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken, Förderkennzeichen: 0329663O-P, Abschlussbericht, 2016

[27] Ruisinger U, Kautsch P. Über die Notwendigkeit dreidimensionaler, hygrothermischer Simulationen. Bauphysik 41, Heft 6, S. 295-301, 2019, https://doi.org/10.1002/bapi.201900024

[28] www.bauklimatik-dresden.de am 14.7.2022

[29] WTA-Merkblatt 8-14-14. (2014). Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. München: Fraunhofer IRB Verlag

[30] WTA-Merkblatt 4-9-19. (2019). Nachträgliches Abdichten und Instandsetzen von Gebäudesockeln. München: Fraunhofer IRB Verlag

[31] WTA-Merkblatt 4-7-15. (2015). Nachträgliche mechanische Horizontalsperre. München: Fraunhofer IRB Verlag

[32] WTA-Merkblatt 4-4-04. (2004). Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit. München: Fraunhofer IRB Verlag

[33] Binder A, Zirkelbach D, Künzel H, Fitz C. Praxisgerechte Beurteilung und Quantifizierung der Kapillaraktivität von Innendämmmaterialien. IBP-Mitteilung 514, 38 (2011), Fraunhofer-Institut für Bauphysik

[34] Hirsch H, Heyn R, Kloseiko P. Capillary condensation experiment for inverse modelling of porous building materials, http://doi.org/10.1051/e3sconf/202017217003, E3S Web of Conferences 172, 17003 (2020)

[35] WTA-Merkblatt 6-3-05. (2005). Rechnerische Prognose des Schimmelwachstums. München: Fraunhofer IRB Verlag

[36] DIN EN 13788. (2013). Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

A Anhang

A I Beschreibung von Abdichtungssystemen

Äußere vertikale erdberührte Abdichtung

Eine vertikale Abdichtung erfolgt idealerweise auf der Außenseite. Diese Lösung wird als bevorzugte Variante angesehen, da nach erfolgter Trocknung weitere Feuchteeinträge in die Außenwand vermieden werden und eine trockenere Bestandswand besser dämmt.
Hierfür stehen in der DIN 18533 [8] unter Berücksichtigung der genannten Einwirkungen und Anforderungen verschiedene Abdichtungssysteme zur Verfügung. Diese können bahnenförmig oder flüssig aufgebracht werden.
Wenn erdberührte Außenwände für eine Abdichtungsmaßnahme freigelegt werden, bietet es sich an, je nach Bestandskonstruktion und geplanter Nutzung, auch eine Perimeterdämmung anzubringen. Damit werden wirksam das häufig auftretende Problem der Sommerkondensation in erdberührten Räumen bekämpft, der Komfort erhöht und Wärmeverluste reduziert.

Bild 25 Prinzipskizze für eine äußere vertikale Abdichtung (Quelle links: https://www.remmers.com/de/bauwerksabdichtung/neubauabdichtung) und Beispiel für eine Ausführung

Innere vertikale Abdichtung

Eine vertikale Abdichtung von innen wird angewendet, wenn eine Abdichtung von außen nicht möglich oder zu aufwändig ist. Dabei bleiben die Bestandswände allerdings feucht.
Die Behandlung von Innenwandanschlüssen erfordert bei der innenseitigen Abdichtung große Sorgfalt, damit auch hier keine Feuchte eindringen kann. Auch eine Innenabdichtung lässt sich problemlos mit einer Innendämmung kombinieren.

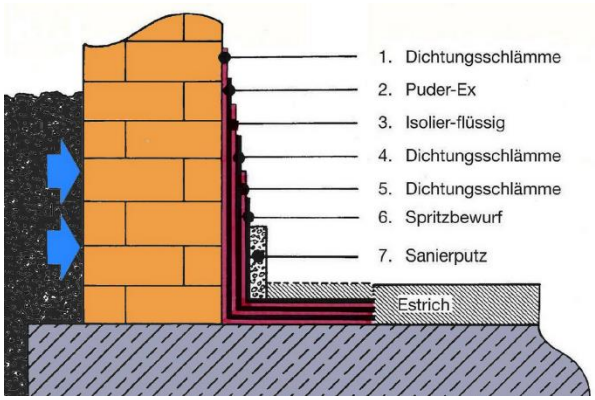
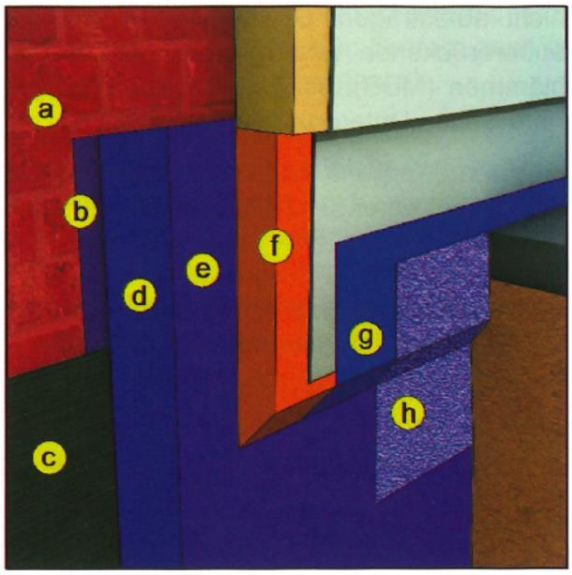


Bild 26 Prinzipskizze für innere Abdichtung (Quelle: https://www.ecodesign-beispiele.at/userfiles/images/133-Schema-20170816-4(2).jpg)

Äußere Abdichtung im Sockelbereich

Eine wichtige Komponente des Abdichtungssystems ist der fachgerechte Anschluss und das Herstellen einer hinreichenden Sockelabdichtung oberhalb der erdberührten Vertikalabdichtung, um Feuchteeinträge im Spritzwasserbereich zu verhindern. Zur Ausführung einer fachgerechten Sockelabdichtung stehen mit dem WTA-Merkblatt 4-9-19 [30] umfangreiche Planungs- und Ausführungsempfehlungen für das nachträgliche Abdichten und Instandsetzen von Gebäude- und Bauteilsockeln zur Verfügung. Darin werden Anschlussmöglichkeiten an Bauwerksabdichtungen beschrieben und Hinweise zu notwendigen Voruntersuchungen, Beanspruchungen usw. für unterschiedliche Ausführungsarten gegeben. Es werden auch Abdichtungs- und Überlappungshöhen sowie mögliche zu verwendende Materialien vorgestellt.



a) Sockelmauerwerk
b) Untergrundvorbehandlung
c) Bestandsabdichtung
d) Haftbrücke auf vorhandener Bauwerksabdichtung
e) Sockelabdichtung
f) Sockeldämmplatte mit Putzsystem
g) Putzabdichtung
h) Schutzschicht

Bild 27 Prinzipskizze für eine Sockelabdichtung (Quelle: WTA-Merkblatt 4-9-19 [30])

Horizontale Abdichtung in Wänden

Bei älteren Bestandsgebäuden wird häufig keine oder eine nicht mehr funktionierende Horizontalsperre vorgefunden. Damit das Aufsteigen von Feuchte im Mauerwerk verhindert oder zumindest hinreichend reduziert wird, wird eine Horizontalsperre in die aufgehenden Außenwände und zum Teil in Innenwände eingebracht, die in die Vertikalabdichtung und an die Flächenabdichtung der Bodenplatte/ Geschossdecke eingebunden wird.
Für die nachträgliche Horizontalabdichtung von Bestandswänden stehen folgende Verfahren zur Verfügung, die sich hinsichtlich Wirksamkeit und Aufwand (und damit Kosten) stark unterscheiden.

Je nach Bestandssituation erfolgt diese Maßnahme auch an Innenwänden. Für die mechanischen Verfahren stehen mit dem WTA-Merkblatt 4-7-15 [31] umfangreiche Hinweise zur Anwendung der Verfahren und zur Materialwahl zur Verfügung. Die Durchführung von Injektage-Verfahren erfolgt gemäß WTA-Merkblatt 4-4-04 [32].

- **Mauerwerksaustausch:** Dies ist ein zeitaufwändiges, traditionelles Verfahren, bei dem abschnittsweise (max. ein Meter!) das häufig salzbelastete Mauerwerk in einem ein bis drei Steine hohen Streifen entfernt und nach dem Einlegen einer Sperrbahn wieder mit geeigneten Materialien ersetzt wird. Das Verfahren bietet eine komplette Feuchtesperre nach unten, allerdings sollte es nur von erfahrenen Fachkräften ausgeführt werden, da es mit einem weitreichenden Eingriff in die Statik verbunden ist. Es eignet sich nur sehr begrenzt bei Bruchsteinwänden.
- **Mauersägeverfahren:** Bei diesem verbreiteten Verfahren wird die Mauerwerksfuge abschnittsweise aufgetrennt. Anschließend werden in die Fuge abdichtende Folien oder Platten eingeschoben und die Sperre verkeilt. Die Fuge wird mit Mörtel bzw. Quellmörtel verschlossen. Die Ausführungsqualität lässt sich problemlos optisch überprüfen. Für dieses Verfahren sind spezielle Werkzeuge und eine durchgehende horizontale Fuge erforderlich.
- **Bohrkernverfahren:** Überlappende Kernbohrungen mit einem Durchmesser von acht bis zehn Zentimetern werden im Abstand von sechs bis acht Zentimetern gebohrt. In die Bohrlöcher wird dichter Mörtel gegossen bzw. eingepresst. Damit ist eine Unterbrechung des Feuchtetransportes gegeben. Dieses Verfahren ist auch bei sehr dicken Wänden möglich. Es ist allerdings sehr kostenintensiv und kommt deshalb nur noch selten zum Einsatz.

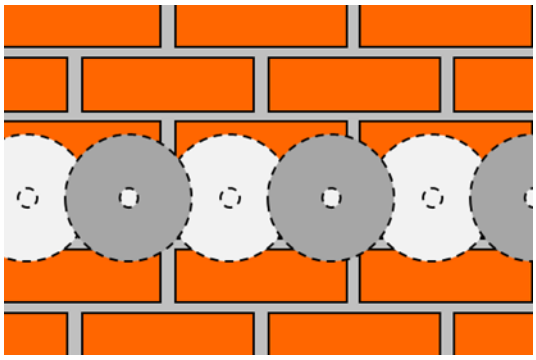


Bild 28 Prinzipskizze des Bohrkernverfahrens

- **Blecheinschlagverfahren:** Voraussetzung für dieses Verfahren ist eine durchgehende Lagerfuge von mindestens 6 mm Dicke. Mit Pressluft werden gewellte Stahlbleche ohne Öffnen des Mauerwerkes in die Fuge eingeschlagen. Die Bleche müssen sich überlappen. Dieses Verfahren ist im Vergleich zu den anderen Verfahren preiswerter. Der Erfolg der Maßnahme ist optisch gut prüfbar und bringt eine vollständige Unterbindung des Feuchtetransportes. Rissbildungen infolge von Vibrationen können nicht ausgeschlossen werden.
- **Injektionsverfahren:** Hierbei wird über zuvor platzierte Bohrungen in die Wand Injektionsflüssigkeit tief und gleichmäßig in die Wand eingebracht. Die Wirksamkeit von Injektionsstoffen beruht auf unterschiedlichen Prinzipien wie Verstopfen, Verengen, Hydrophobieren oder auf Kombinationen aus Verengen und Hydrophobieren. Dabei ist zu bedenken, dass Abdichtungssysteme auf der Basis von Injektionen die aufsteigende Feuchtigkeit nicht vollständig unterbinden, sondern nur zum größten Teil (ca. 80-95%), was aber in der Regel eine ausreichende Behandlung darstellt. In Abhängigkeit vom gewählten System gelten unterschiedliche Anforderungen, weswegen hier in besonderem Maße die Herstellerangaben zu beachten sind.
- **Elektrophysikalische Verfahren:** Aktive elektrische Verfahren mit Anlegen von elektrischem Strom werden aufgrund der erforderlichen hohen Feldstärke als „beschränkt tauglich“ eingeschätzt (https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrophysikalische_Mauertrockenlegung). Elektrische

Verfahren mit elektrischen Feldern, die mit oder ohne Batterien erzeugt werden sollen, („Zauberkästchen“) sind baupraktisch unwirksam. Der im Zusammenhang mit solchen Verfahren zuweilen vorgegebene Erfolg beruht in aller Regel auf den vorgeschriebenen Begleitmaßnahmen, die die Feuchtebelastung senken oder vollständig eliminieren.

Horizontale Flächenabdichtung auf der Bodenplatte/Geschossdecke

Im Rahmen der Sanierungsplanung ist zu überprüfen, inwieweit eine funktionierende Flächenabdichtung auf der erdberührten Bodenplatte bzw. unterste Geschossdecke unter dem beheizten Gebäudebereich vorhanden oder notwendig ist. Bei hochwertig genutzten Räumen ist eine flächige Abdichtungsebene gegen die Belastung durch aufsteigende Feuchte notwendig. Bei Kellergeschossdecken ist die Notwendigkeit aufgrund der im Kellergeschoss befindlichen Feuchtelasten zu überprüfen. Mit dem Anbringen der Flächenabdichtung wird verhindert, dass Feuchte in das darüber liegende Geschoss gelangt. Auch hierfür stehen je nach Einwirkungswiderstand, Rissbeschränkung oder geplanter Raumnutzung unterschiedliche Materialien zur Verfügung, die bahnenförmig zu verlegen oder flüssig aufzubringen sind.
Zwischen den entsprechenden Einbaulagen sind Überlappungen vorzusehen, um den Eintrag von Feuchte sicher zu vermeiden.

A II Untersuchte Dämmsysteme zum hygrothermischen Verhalten (aus EnEffID)

Folgende Dämmsysteme wurden exemplarisch im abgeschlossenen Projekt EneffID [20] auf ihr hygrothermisches Verhalten untersucht.
Die Ergebnisse können dazu dienen, für konkrete Anwendungsfälle eine Vorauswahl geeigneter Systeme vorzunehmen. Die vollständige detaillierte Bewertung der einzelnen Größen kann jeweils dem EneffID- Projektbericht [20] entnommen werden.

Nicht hydrophobierte Holzfaserdämmung

Für die exemplarisch untersuchte, nicht hydrophobierte Holzfaserdämmung ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Das Dämmstoffsystem konnte bis zu einer Stärke von maximal 4 cm (λ= 0,042 W/mK) meist ohne eine zusätzliche dampfbremsende Schicht an der Innenoberfläche eingesetzt werden.
- Ein zusätzlicher sd-Wert von 2 m auf der Raumseite erhöht die maximal mögliche Dicke auf 6 cm – 8 cm (je nach Variante).
- Für extreme klimatische Standorte (hohe Schlagregenbelastung, niedrige Temperatur, westliche Orientierung) wie z.B. Fichtelberg ist dieses System nicht geeignet.
- Bei normalem Raumklima nach DIN EN 15026 [23] waren alle betrachteten Varianten an den Standorten Holzkirchen, Hamburg und Potsdam funktionsfähig.
- Zu beachten ist, dass für Naturfaser-Dämmstoffe die strengen Grenzwerte der DIN 68800-2 [21] zur Bewertung verwendet wurden.

Hinweis: Die Ergebnisse des aktuellen Forschungsprojekts In2EuroBuild zeigen, dass viele als Innendämmung eingesetzte Naturfaser-Dämmstoffe z.T. auch deutlich höhere Feuchtverhältnisse vertragen und genauso beständig oder sogar beständiger sind als Massivholz. Wenn diese Beständigkeit für das jeweils eingesetzte Material geprüft und bestätigt wurde, können die Anwendungsgrenzen entsprechend erweitert werden.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.2 (ab S. 208) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Hydrophobierte Holzfaserdämmung

Für die exemplarisch untersuchte hydrophobierte Holzfaserdämmung ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Das Dämmstoffsystem konnte an den Standorten Potsdam und Hamburg sowie in Holzkirchen bei normaler Feuchtelast bis zu einer Stärke von maximal 4 cm (λ = 0,039 W/mK) ohne eine zusätzliche dampfbremsende Schicht an der Innenoberfläche eingesetzt werden.
- Ein zusätzlicher s_d-Wert von 2 m auf der Raumseite erweitert den Anwendungsbereich deutlich.
- Für extreme klimatische Standorte (hohe Schlagregenbelastung, niedrige Temperatur, westliche Orientierung) wie z.B. Fichtelberg ist dieses System nicht geeignet.
- Zu beachten ist, dass für Naturfaser-Dämmstoffe die strengen Grenzwerte der DIN 68800-2 [21] zur Bewertung verwendet wurden.

Hinweis: Die Ergebnisse des aktuellen Forschungsprojekts In2EuroBuild zeigen, dass viele als Innendämmung eingesetzte Naturfaser-Dämmstoffe z.T. auch deutlich höhere Feuchtverhältnisse vertragen und genauso beständig oder sogar beständiger sind als Massivholz. Wenn diese Beständigkeit für das jeweils eingesetzte Material geprüft und bestätigt wurde, können die Anwendungsgrenzen entsprechend erweitert werden.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.2 (S. 208) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Hanffaserdämmplatte

Für die exemplarische untersuchte Hanffaserdämmung ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Die Hanffaserdämmplatte kann bis zu 4 cm Stärke bei normaler Feuchtelast im Innenraum meist ohne zusätzliche dampfbremsende Schicht an der Innenoberfläche eingesetzt werden.
- An besonders kalten Standorten bzw. stark schlagregenbelasteten Standorten sollte zusätzlich eine dampfbremsende Schicht an der Innenseite vorgesehen werden.
- Bei stärkeren Belegungen und damit größeren Feuchtelasten im Innenraum ist zumindest bei größeren Dämmdicken der Einsatz von moderaten Dampfbremsen oder dampfbremsenden Schichten zu empfehlen.
- Mit einer zusätzlichen dampfbremsenden Schicht mit s_d-Wert 2 m auf der Innenoberfläche kann das Dämmstoffsystem bis zu einer Stärke von 6 cm eingesetzt werden, ausgenommen sind dabei sehr kalte Standorte mit hoher Schlagregenbelastung wie z.B. Fichtelberg.
- Zu beachten ist, dass für Naturfaser basierte Dämmstoffe die strengen Grenzwerte der DIN 68800-2 [21] zur Bewertung verwendet wurden.

Hinweis: Die Ergebnisse des aktuellen Forschungsprojekts In2EuroBuild zeigen, dass viele als Innendämmung eingesetzte Naturfaser-Dämmstoffe z.T. auch deutlich höhere Feuchtverhältnisse vertragen und genauso beständig oder sogar beständiger sind als Massivholz. Eine Hanffaserdämmplatte wurde dabei bisher nicht untersucht. Trotzdem gilt: Wenn diese Beständigkeit für das jeweils eingesetzte Material geprüft und bestätigt wurde, können die Anwendungsgrenzen entsprechend erweitert werden.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.3 (S. 215) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Kork-Lehm-Dämmplatte

Für die exemplarische untersuchte Kork-Lehm-Dämmplatte ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Selbst bei hoher Feuchtelast im Raum versagt keine der betrachteten Varianten, es bestehen aber teilweise zusätzliche Anforderungen an den Untergrund.
- Eine zusätzliche dampfbremsende Schicht ist in der Regel nicht notwendig, da das Dämmstoffsystem selbst ausreichend dampfbremsend ist.
- Zu beachten ist, dass für Naturfaser basierte Dämmstoffe die strengen Grenzwerte der DIN 68800-2 [21] zur Bewertung verwendet wurden.
- Da Kork vermutlich deutlich unempfindlicher gegen Feuchte ist als Holz und Holzwerkstoffe, wäre es ggf. sinnvoll zu überprüfen, welche Feuchtegrenzwerte für das Material geeignet sind. Ggf. wäre auch ein Einsatz des Materials in deutlich feuchterer Umgebung denkbar.

Hinweis: Die Ergebnisse des aktuellen Forschungsprojekts In2EuroBuild zeigen, dass viele als Innendämmung eingesetzte Naturfaser-Dämmstoffe z.T. auch deutlich höhere Feuchtverhältnisse vertragen und genauso beständig oder sogar beständiger sind als Massivholz. Wenn diese Beständigkeit für das jeweils eingesetzte Material geprüft und bestätigt wurde, können die Anwendungsgrenzen entsprechend erweitert werden. Bereits im damaligen Abschlussbericht wurde darauf hingewiesen, dass Kork aufgrund seiner sonstigen Einsatzbereiche eine vermutlich sogar besonders hohe Feuchtebeständigkeit aufweist.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.4 (S. 218) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Aerogel-Hochleistungsdämmputz

Für den exemplarisch untersuchten Aerogel-Hochleistungsdämmputz ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Es wurde sowohl der Zustand mit Einbaufeuchte als auch der eingeschwungene Zustand des Systems bewertet.
- Bei keiner Variante ergaben sich für das zweite Berechnungsjahr (mit Baufeuchte) zusätzliche Anforderungen, die nicht auch im eingeschwungenen Zustand bestehen. Eine besondere Berücksichtigung der durch den Dämmputz eingebrachten Feuchte ist daher nicht erforderlich.
- Selbst bei hoher Feuchtelast im Innenraum wurde keine Variante im Regelquerschnitt als ungeeignet eingestuft, es bestehen aber teilweise zusätzliche Anforderungen an den Untergrund.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.5 (S. 221) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Hochleistungsdämmputz

Für den exemplarisch untersuchten Hochleistungs-Dämmputz ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Alle betrachteten Varianten waren auch bei hoher Feuchtelast im Innenraum nach DIN EN 15026 [23] schadensfrei und funktionsfähig. Allerdings ergaben sich dabei für etwa die Hälfte der Fälle zusätzliche Anforderungen an den Untergrund.
- Die Dämmwirkung ist, vor allem bei geringer Schichtdicke eher moderat.
- Da bei Putzsystemen durch die Baufeuchte ebenfalls eine erhebliche Feuchtemenge in die Konstruktion eingebracht wird, wurde zusätzlich das zweite, in den meisten Fällen noch nicht eingeschwungene Berechnungsjahr zusammenfassend betrachtet.
- Bei keiner Variante ergaben sich für das zweite Berechnungsjahr (mit Baufeuchte) zusätzliche Anforderungen, die nicht auch im eingeschwungenen Zustand bestehen. Eine besondere Berücksichtigung der durch den Dämmputz eingebrachten Feuchte ist daher nicht erforderlich.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.6 (S. 223) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Mineraldämmplatte

Für die exemplarisch untersuchte Mineraldämmplatte ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Alle betrachteten Varianten waren auch bei hoher Feuchtelast im Innenraum nach DIN EN 15026 [23] schadensfrei und funktionsfähig. Allerdings ergaben sich dabei für viele der betrachteten Varianten zusätzliche Anforderungen an den Untergrund.
- Die zusätzlichen Anforderungen ergaben sich Hauptursächlich aus dem Überschreiten der Grenzfeuchte von 95% r.F. nach WTA-Merkblatt 6-5-14 [12] im Bereich der Grenzschicht.
- Zusätzlich wurde für dieses Dämmstoffsystem der Einfluss der Klebeschicht betrachtet, explizit wurden ein Leicht- und ein Dünnbettmörtel betrachtet.
- Das System mit Dünnbettmörtel führte auf Grund des etwas geringeren Rücktrocknungspotentials der Bestandswand tendenziell zu leicht höheren Wassergehalten als die Variante mit Leichtmörtel.
- Der Dünnbettmörtel verhielt sich also geringfügig kritischer und wies keine Vorteile gegenüber dem normalen Leichtmörtel auf.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.7 (S. 225) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Organische Aerogeldämmplatte

Für die exemplarisch untersuchte organische Aerogeldämmplatte ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Alle betrachteten Varianten waren auch bei hoher Feuchtelast im Innenraum nach DIN EN 15026 [23] schadensfrei und funktionsfähig. Es ergaben sich für ca. 40% dieser Varianten zusätzliche Anforderungen an den Untergrund.
- Ein zusätzlicher s_d-Wert von 2 m auf der Innenoberfläche wirkte sich in den meisten Varianten positiv auf die Bewertung aus.
- Trotz der geringen Dämmstoffstärken von maximal 3 cm ergaben sich gute Dämmwirkungen.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.8 (S. 228) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

Mineralische Aerogeldämmplatte

Für die exemplarisch untersuchte mineralische Aerogeldämmplatte ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Alle betrachteten Varianten waren auch bei hoher Feuchtelast im Innenraum nach DIN EN 15026 [23] schadensfrei und funktionsfähig. Es ergaben sich für ca. 25% dieser Varianten zusätzliche Anforderungen an die Bestandskonstruktion.
- Die zusätzlichen Anforderungen ergaben sich hauptsächlich für die Wetterschale des zweischaligen Mauerwerks, hierbei ist nach der Maßnahme die Frostbeständigkeit des Klinkers sicherzustellen.
- Ein zusätzlicher s_d-Wert von 2 m auf der Innenoberfläche führte nicht zu einer Verbesserung der Bewertung der Varianten.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.9 (S. 231) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

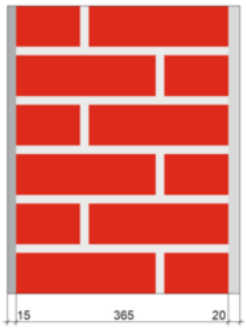
Expandiertes Polystyrol (EPS)

Für die exemplarisch untersuchte EPS-Dämmung ergaben sich folgende Anwendungsbereiche- und Grenzen:

- Es wurden verschiedene EPS Formen betrachtet, eine Verbundplatte aus grauem EPS und einer aufkaschierten Gipskartonplatte sowie eine weiße EPS Platte mit einem Innenputz auf Gipsbasis.
- Bei Verwendung der Verbundplatte sind bei hoher Feuchtelast im Innenraum nach DIN EN 15026 [23] alle betrachteten Varianten funktionsfähig. Für ca. 25% der Varianten bestehen zusätzliche Anforderungen an die Feuchte- und Frostbeständigkeit des Untergrundes.
- Ein zusätzlicher s_d-Wert von 2 m auf der Innenoberfläche führte nicht zu einer Verbesserung der Bewertung der Varianten.
- Trotz der thermischen Vorteile des grauen EPS ist bei gleicher Dämmstoffstärke keine Differenzierung zwischen den beiden Systemen erforderlich.
- Für Worst-Case-Betrachtungen kann davon ausgegangen werden, dass bei einer nachgewiesenen Funktionsfähigkeit der Verbundplatte auch die verputzte Varianten mit weißen EPS funktionsfähig wäre.

Die Ergebnistabellen finden sich im EneffID-Projektbericht in Kapitel 3.8.10 (S. 233) sowie in den dort referenzierten Anlagen.

A III Erstellung eines vereinfachten Nachweises nach WTA-Merkblatt 6-4



Zusammenfassung der Ergebnisse

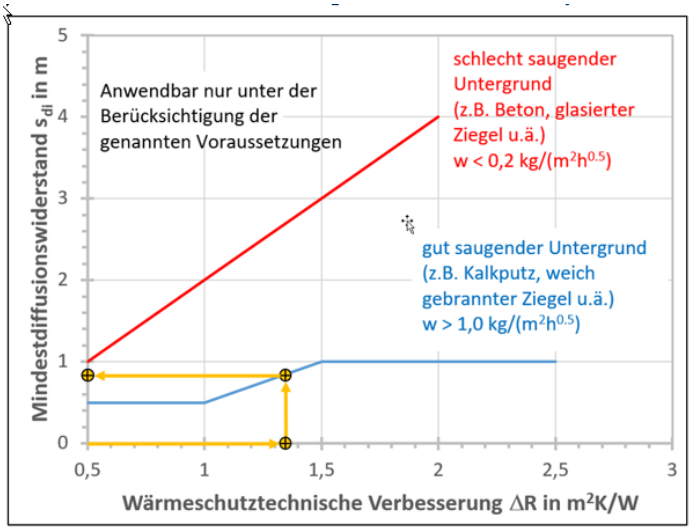
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig)	U = 1,256	W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken)	U = 1,256	W/(m²K)
Wärmedurchlasswiderstand der Konstruktion (trocken) keine Kondensation.	R = 0,506	m²K/W
DIN 4108-2 2013 Tab. 3 Zeile1, Wärmedurchlasswiderstand R >= 1,20 m²K/W	Anforderung nicht erfüllt	
DIN 4108-3 (wasseraufnahmefähig) M_c <= 1,0 kg/m²	Anforderung erfüllt	
Trocknungszeit im Sommer t_{ev} < 90d	Anforderung erfüllt	

> 0,4 m²K/W

Materialeigenschaften

	Material	d [mm]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	μ [---]	w_{80} [m³/m³]	w_{sat} [m³/m³]	A_W [kg/m²h$^{0.5}$]
1	Kalkputz (historisch)	15	1.800	0,8200	12,0	0,0111	0,3017	7,6200
2	Altbauziegel Dresden ZB	365	1.769	0,7886	8,6	0,0091	0,3491	9,0000
3	Kalkzementputz	20	1.900	0,8000	15,0	0,0530	0,2200	1,9980

Untergrund ist saugfähig



Notizen:

- $R_{Bestand}$ > 0,4 m²K/W
- Untergrund ist saugfähig
- ΔR_i = 1,36 m²K/W
- s_d = 0,93 m
- $s_{d,min}$ = 0,86 m

$s_d > s_{d,min}$

Perlitegefüllter Ziegel WDF 80
mit Hinterfüllmörtel

(1) Wärmeschutztechnische Verbesserung ΔR_i

ΔR_i = d/λ = 0,02 m / 0,175 W/mK +
0,08 m / 0,065 W/mK +
0,01 m / 0,51 W/mK

= 1,36 m²K/W

(2) Ermittlung des s_d-Wertes

s_d = μ*d = 0,02 m * 20 + 0,08 m * 5 + 0,01 m * 13

= 0,93 m

Kennwerte der Innendämmung

	Material	d [m]	λ [W/mK]	μ [---]
1	Hinterfüllmörtel	0,02	0,175	20
2	WDF 80	0,08	0,065	5
3	Innenputz	0,01	0,510	13

A IV Randbedingungen für den vereinfachten Nachweis zur Klassifizierung diffusionsoffener, kapillaraktiver Dämmmaterialien

Für die Einstufung des Dämmmaterials ist die Ermittlung der hygrothermischen Materialkennwerte inkl. einer Bestimmung der kapillaren Rückleitfähigkeit (sog. Kapitest [33] oder Kondensationstest [34]) erforderlich. Danach wird das Verhalten des Materials unter standardisierten Randbedingungen simuliert, die aus realen und normativen Anforderungen abgeleitet wurden und für die o.g. Anwendungsbereiche ein kritisches winterliches Szenario (stationäre Referenzsimulation) darstellen. Bei diesem Szenario dürfen die zuvor genannten Grenzwerte der relativen Feuchte nicht überschritten werden. Die Referenzsimulation wurde durch einen umfassenden Vergleich mit Simulationen unter realen Klimabedingungen als kritisch repräsentativ abgesichert. Auf dieser Basis erfolgt dann die Einstufung des Dämmstoffs oder Dämmsystems – je nachdem wie der Hersteller sein Produkt vertreibt. Der Aufbau der Konstruktion und die Randbedingungen der Referenzsimulation sind in Bild 29 bzw. Tab. 7 dargestellt.

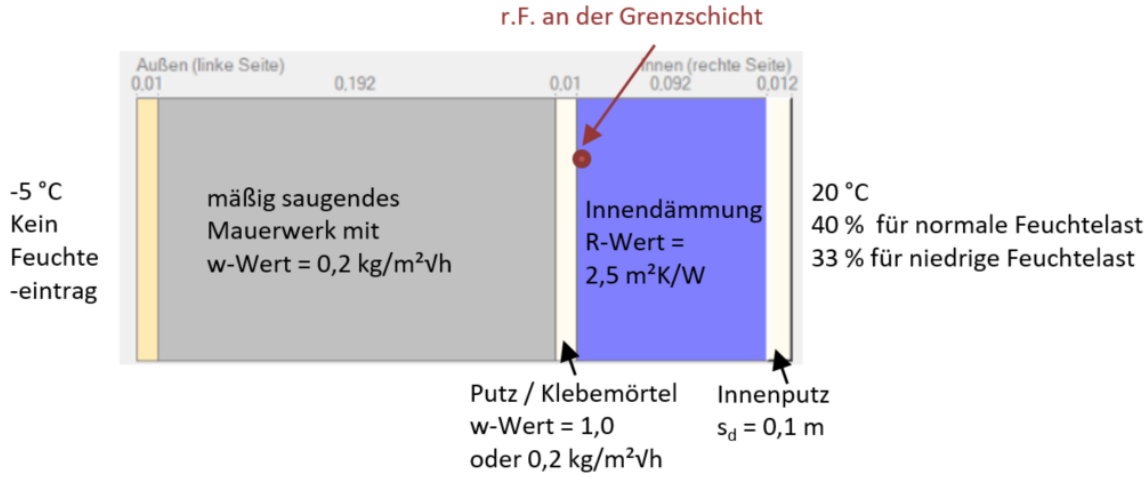


Bild 29 Aufbau und Randbedingung der Referenzsimulation

Bei dem Aufbau wird von einem mäßig saugenden Mauerwerk oder Beton mit einem w-Wert von 0,2 kg/m²√h ausgegangen. Der R-Wert der Innendämmung wird in Anlehnung an die Anwendungsgrenzen des WTA-Merkblatts 6-4-16 [4] mit 2,5 m²K/W angenommen. Das Bestandsmauerwerk wird so dimensioniert, dass es den alten Mindestwärmeschutz (R ≥ 0,4 m²K/W) nach DIN 4108-2 [17] erfüllt, bei einer Wärmeleitfähigkeit von 0,48 W/mK ergibt sich damit eine Stärke von 19,2 cm für das Mauerwerk. Die übrigen Randbedingungen der Simulation sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Die Temperaturen des Außen- und Innenklimas werden jeweils wie beim „Norm-Winter“ der DIN 4108 konstant mit -5 °C und 20 °C angenommen. In Anlehnung an die Raumklimamodelle für die hygrothermische Simulation wird die relative Feuchte im Raum mit 40 % r.F. für eine „Normale Feuchtelast“ und 33 % r.F. für eine „Niedrige Feuchtelast“ angenommen. An der Außenoberfläche wird keine Regenaufnahme berechnet, was Voraussetzung für die Verwendung des vereinfachten Nachweises ist. Kann dies nicht gewährleistet werden, ist eine individuelle Simulation mit den standortspezifischen Außenklima- und Regendaten notwendig.

Für die Auswertung der Referenzsimulation wird die relative Feuchte an der Grenzschicht zwischen Bestandsmauerwerk und Innendämmsystem am Ende des dreimonatigen Norm-Winters betrachtet und das Dämmmaterial oder –system für jeden der drei Anwendungsbereiche in die Kategorie A oder B eingestuft.

Tab. 7 Randbedingungen für die stationäre Referenzsimulation

Außenoberfläche	
Außenklima	-5 °C, relative Feuchte: beliebig, da kein Feuchteaustausch berechnet wird
Neigung	90 °
Übergangskoeffizient außen	17 W/m²K
Zusätzlicher s_d-Wert außen	10000 m (Kein Feuchteaustausch mit Außenluft)
Regenwasseraufnahmekoeffizient	Keine Regenaufnahme
Innenoberfläche	
Innenraumklima	Temperatur: 20 °C relative Feuchte: 40 % (Feuchtelast Normal) 33 % (Feuchtelast Niedrig)
Übergangskoeffizient innen	8 W/m²K
Sonstiges	
Anfangsfeuchte:	Ausgleichsfeuchte bei 70 % r.F.
Berechnungszeitraum	3 Monate

A V Auswertung der Klassifizierung diffusionsoffener, kapillaraktiver Dämmmaterialien

Nach dem oben beschriebenen Bewertungsschema wurden über 20 verschiedene diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmmaterialien bewertet. Die meisten davon erreichten je nach Anwendungsbereich entweder die Kategorie A (allgemein funktionsfähig) oder die Kategorie B (funktionsfähig bei Feuchtebeständigkeit). Einige erreichten bei Anwendungsbereich II (mäßig saugender Untergrund, niedrige Feuchtelast) und III (gut saugender Untergrund, niedrige Feuchtelast) aber auch Feuchtegehalte über 99 % r.F., so dass für diese keine direkte Einstufung in die beiden Kategorien möglich war. Weitergehende Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass das Feuchteniveau auf der Kaltseite der Dämmung auf einfache Weise durch eine minimal erhöhte dampfbremsende Wirkung der Innenbeschichtung positiv beeinflusst werden kann. Wird der s_d-Wert der inneren Beschichtung moderat von 0,1 m auf 0,2 m für Anwendungsbereich I bzw. auf 0,5 m für die Anwendungsbereiche II und III erhöht, ist die Bedingung „diffusionsoffen“ immer noch erfüllt, es konnten damit aber alle untersuchten Dämmsysteme in Kategorie A eingruppiert werden.

Tab. 8 Kategorisierung der untersuchten Innendämmmaterilien

Material	Anwendungsbereich					
	I		II		III	
	gut saugender Untergrund ($w \geq 1{,}0$ kg/m²√h), niedrige Feuchtelast (WTA 6-2)		mäßig saugender Untergrund ($w \geq 0{,}2$ kg/m²√h), niedrige Feuchtelast (WTA 6-2)		gut saugender Untergrund ($w \geq 1{,}0$ kg/m²√h), normale Feuchtelast (WTA 6-2)	
	sdi = 0,1 m	sdi = 0,2 m	sdi = 0,1 m	sdi = 0,5 m	sdi = 0,1 m	sdi = 0,5 m
Aerogeldämmplatte-1	●	●	●	●	●	●
Aerogeldämmplatte-2	●	●	●	●	●	●
Aerogeldämmputz-3	●	●	●	●	●	●
Calciumsilikat-1	●	●	●	●	●	●
Calciumsilikat-2	●	●	●	●	●	●
Dämmplatte mit Perlite-1	●	●	●	●	●	●
Dämmplatte mit Perlite-2	●	●	●	●	●	●
Dämmputz-1	●	●	●	●	●	●
Dämmputz-2	●	●	●	●	●	●
Dämmputz-3	●	●	●	●	●	●
Hanffaserplatte	●	●	●	●	●	●
Holzfaser-1	●	●	●	●	●	●
Holzfaser-2	●	●	●	●	●	●
Holzfaser-3	●	●	●	●	●	●
Holzfaser-4	●	●	●	●	●	●
Holzfaser-5	●	●	●	●	●	●
Holzfaser-6	●	●	●	●	●	●
hydrophile Mineralwolle-1	●	●	●	●	●	●
hydrophile Mineralwolle-2	●	●	●	●	●	●
Mineraldämmplatte-2	●	●	●	●	●	●
Mineralschaumplatte-1	●	●	●	●	●	●
Zellulosefaser-1	●	●	●	●	●	●
Zellulosefaser-2	●	●	●	●	●	●

● Funktionsfähig (Kategorie A)
● Funktionsfähig, wenn Dämmsystem und Untergrund feuchtigkeits-, frost- und fäulnisbeständig sind. (Kategorie B)
● Tauwasserrisiko möglich. Individueller Nachweis erforderlich.

Aufgefallen ist im Kontext der Untersuchungen zudem, dass innerhalb bestimmter Materialtypen wie z.B. den aerogelhaltigen Materialien, den mineralischen Dämmplatten sowie den Holzfaserdämmungen z.T. deutliche produktspezifische Unterschiede zu beobachten sind. Hier ist es deshalb explizit nicht möglich, von einem ähnlichen Material auf ein anderes zu schließen, sondern das Materialverhalten muss individuell ermittelt und bewertet werden.

A VI Kennwerte, Randbedingungen und Bewertungskriterien für hygrothermische Simulationen

Im Folgenden sind Kennwerte und Randbedingungen gemäß WTA-Merkblatt 6-2-14 [18] zur Erstellung der hygrothermischen Simulation beschrieben, außerdem werden Hinweise zur Auswertung gegeben sowie Bewertungskriterien vorgestellt.

Materialkennwerte

Für die Simulation sind thermische und hygrische Materialparameter erforderlich, deren Umfang den Anforderungen des WTA-Merkblattes 6-2 entsprechen muss, im Fall von Innendämmmaterialien werden die Materialmessungen durch einen sogenannten Kapi- bzw. Kondensationstest ergänzt.
In den Datenbanken der verfügbaren Simulationsprogramme ist eine Vielzahl von bereits charakterisierten Materialien enthalten. Liegen Materialparameter aus der Bestandsanalyse vor, kann ein passendes Material aus der Materialdatenbank der Software ausgewählt und angepasst werden. Bei unsicheren Parametern wird empfohlen, eine Variantenanalyse durchzuführen, um festzustellen, wie groß der Einfluss dieses Parameters auf das Feuchteverhalten dieser Konstruktion ist. Im Zweifelsfall oder bei zu großem Einfluss auf die Konstruktion sollte eine detaillierte hygrothermische Laboruntersuchung des Materials oder zumindest des Parameters erfolgen.
Viele häufig verwendete Innendämmsysteme sind mit ihren Komponenten in den Materialdatenbanken der Software bereits enthalten bzw. sind sie von den Herstellern zur Verfügung zu stellen.

Klimadaten

Für instationäre Simulationen liegen in der Regel geeignete Klimadatensätze (Stundenwerte) für das Außenklima vor.

Zur Modellierung des Raumklimas bietet das WTA-Merkblatt mithilfe der folgenden Diagramme eine Ableitung der instationären Raumluftzustände aus den Außenlufttemperaturen und entsprechend der geplanten Nutzung an. Für den Regelfall wird „normale Feuchtelast“ oder für allgemeine Bemessungen „normale Feuchtelast + 5%“ verwendet. Die „hohe Feuchtelast“ ist nur zu wählen, wenn außergewöhnlich hohe Feuchtelasten zu erwarten sind.

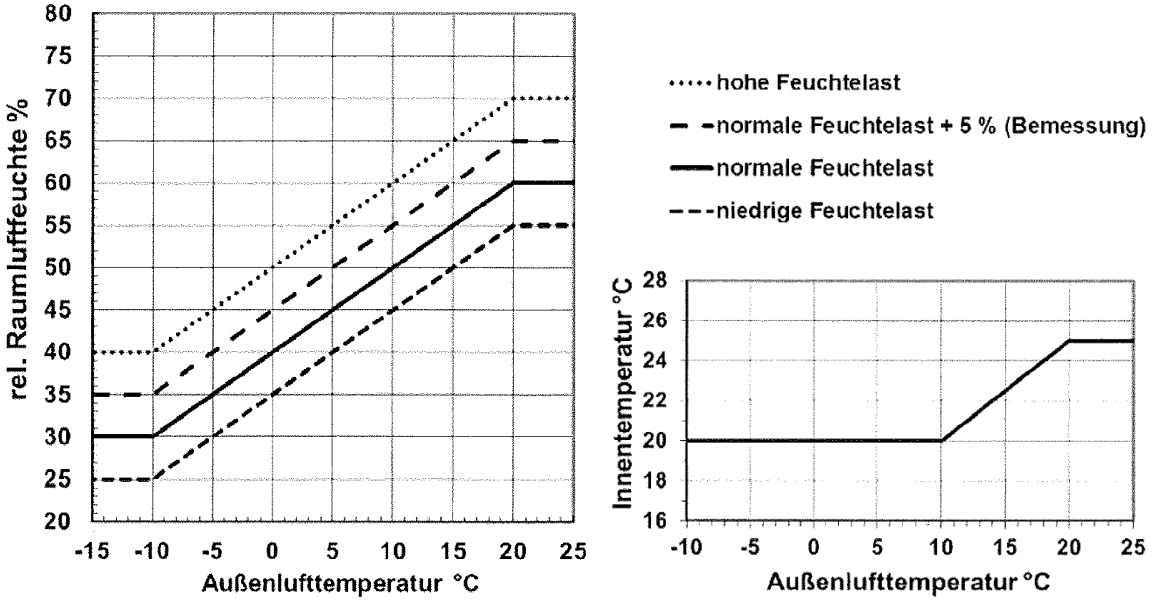


Bild 30 Ableitung der Raumlufttemperatur und –feuchte in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur nach WTA-Merkblatt 6-2-14 [18]

Alternativ können auch abweichende Raumklimabedingungen verwendet werden, z.B:

- Vorhandene Messwerte für das konkrete oder ein ähnliches Gebäude
- Ergebnisse aus vorher durchgeführten Gebäude- bzw. Raumsimulationen
- Verwendung vorgegebener Nutzungsanforderungen und -begrenzungen

Das sich ergebende Raumklima wird stark durch das Nutzerverhalten bzw. durch haustechnische Anlagen, aber auch durch Speichereigenschaften der angrenzenden Bauteile und Einrichtungsgegenstände bestimmt.

Anfangsbedingungen

Die Feuchte in einer Konstruktion ist so genau wie möglich zu erfassen, um als Ausgangszustand der Simulationen berücksichtigt werden zu können. Die Materialfeuchte kann z.B. anhand von Feuchtemessungen für die konkreten Schichten eingegeben werden, bei neu einzubringenden Materialschichten wird die Einbaufeuchte angesetzt.
In der Regel interessiert das Verhalten der eingeschwungenen, innen gedämmten Konstruktion, wofür die Anfangstemperatur und –feuchte oft nur eine untergeordnete Rolle spielt. Besonders bei frostgefährdeten Materialien oder Konstruktionen mit Holz oder Holzwerkstoffen bzw. bei Konstruktionen, die dicht verschlossen werden, kann der Einfluss der Einbaufeuchte allerdings eine wichtige Rolle spielen und ist deshalb zu berücksichtigen.

Dauer der Simulation, Startzeitpunkt

Die Simulation wird bis zum Erreichen eines eingeschwungenen Zustandes durchgeführt, mindestens jedoch über einen Zeitraum von 3 Jahren.
Prinzipiell kann die Berechnung zu jedem beliebigen Zeitpunkt gestartet werden. Wenn keine konkreten Angaben vorliegen, wird empfohlen, die Rechnung ab Anfang Oktober zu starten. Damit wird der kritische Fall der Kombination aus Einbaufeuchte und diffusiven Feuchteeinträgen aus dem Innenraum in die Wand im Winter abgebildet. Außerdem werden damit drei komplette Winterperioden erfasst.

Ausgaben

Für die berechneten Konstruktionen können viele verschiedene Ausgaben, wie Temperatur, rel. Luftfeuchte, Durchfeuchtungsgrad und Wassergehalt an verschiedenen Positionen im zeitlichen Verlauf visualisiert werden. Sinnvoll ist die Überprüfung raumseitiger Oberflächen sowie kritischer Positionen wie die Kaltseite der Dämmung mit Klebemörtel (potenzielle Kondensationsebene), bestehende Innenoberfläche der Bestandskonstruktion (Mauerwerk und Putz), feuchteempfindliche Materialien (z.B. Holz) sowie die Bestandskonstruktion an sich (Einfluss aus Schlagregen und Frost, Überprüfung der Erhöhung des Sättigungsgehaltes als Folge der Dämmmaßnahme).

Bewertungskriterien

Das WTA-Merkblatt 6-5-14 [12] gibt für Innendämmsysteme eine instationäre Nachweisführung vor. Der Nachweis ist erbracht, wenn folgende Kriterien eingehalten werden:

- WTA-Kriterium eingeschwungener Zustand: Es wird ein eingeschwungener Zustand erreicht. Es muss nachgewiesen werden, dass keine stetige Auffeuchtung stattfindet, d.h., nach einer Einschwingphase müssen sich Feuchteeintrag und Trocknung der Konstruktion die Waage halten. Der eingeschwungene Zustand ist erreicht, wenn sich der jährliche Gesamtwassergehalt und der Wassergehalt in einzelnen Materialschichten im Vergleich zum Vorjahr um weniger als 1% verändert. Bei vielen Konstruktionen sind dafür drei simulierte Jahre ausreichend.
- WTA-Kriterium Dauerhaftigkeit: Um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion zu gewährleisten, müssen langfristige Feuchteschäden ausgeschlossen werden. Dazu werden die maximal auftretenden Feuchteverhältnisse der einzelnen Bauteilschichten und der Oberfläche beurteilt.

Wenn keine abweichenden Erkenntnisse über die zu untersuchende Konstruktion vorliegen, gelten folgende Anforderungen:

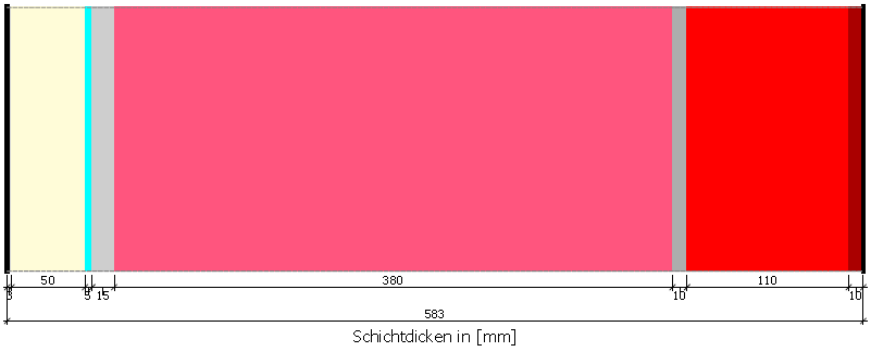
- WTA-Kriterium Frost: Sind die Materialien mutmaßlich nicht frostbeständig, sollte ein Sättigungsgrad von 30 % nicht überschritten werden (Sättigungsgrad: Verhältnis des vorhandenen Wassergehalts zur Porosität). Ein höherer Sättigungsgrad ist zulässig, sofern die relative Luftfeuchte innerhalb der Materialschicht unter 95 % bleibt.
- WTA-Kriterium Gips: Bei gipshaltigen Untergründen sollte eine relative Luftfeuchte von 95 % nicht überschritten werden
- WTA-Kriterium Holz: In Holzbauteilen darf die relative Porenluftfeuchte 95 % bei 0°C und 86 % bei 30 °C im Tagesmittel nicht überschreiten; Zwischenwerte können linear interpoliert werden. Langfristig sollten im Jahresverlauf 85 % relativer Luftfeuchte nicht überschritten werden.

  Das Kriterium gilt bisher nur für Massivholz, nicht für Holzwerkstoffe. Im Rahmen des Projekts konnte aber gezeigt werden, dass z.B. bestimmte Holzfaserdämmstoffe gegen Fäulnis weniger empfindlich sind als das Kiefer-Splintholz. Bei nachgewiesener höherer Beständigkeit können die Kriterien nach WTA auch für solche Holzfaserdämmstoffe verwendet werden.

- WTA-Kriterium Schimmel: Die inneren Bauteiloberflächen müssen schimmelpilzfrei bleiben, wobei auf das WTA-Merkblatt 6-3-05 [35] verwiesen sei. Dies gilt besonders für Bereiche, bei denen der Oberflächentemperaturfaktor f_{Rsi} kleiner als 0,7 ist.

A VII Anwendungsbeispiel für eine eindimensionale hygrothermische Bemessung

Konstruktionsskizze



Materialeigenschaften

	Material	d [mm]	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	μ [---]	w_{80} [m³/m³]	w_{sat} [m³/m³]	A_w [kg/m²h$^{1/2}$]
1	Calsitherm KP-Kalkglätte	3,0	1250	0,2810	12,1	0,0134	0,5283	8,0243
2	Calsitherm Klimaplatte WF	50,0	187	0,0620	3,6	0,0068	0,9295	45,9372
3	Calsitherm KP-Kleber	5,0	1410	0,6000	22,9	0,1066	0,4680	0,2279
4	Kalkzementputz	15,0	1800	0,8000	12,0	0,0111	0,3017	7,6200
5	Hintermauerziegel	380,0	1769	0,8200	8,6	0,0091	0,3491	9,0000
6	Kalkzementmörtel	10,0	1570	0,8000	11,0	0,0252	0,4080	10,5600
7	Außenziegel 1	110,0	1999	0,8200	52,0	0,0031	0,2456	2,6100
8	Brennhaut Außenziegel 1	10,0	1999	0,8200	52,0	0,0031	0,2456	0,2000

d - Schichtdicke, λ - Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit, μ - Dampfdiffusionswiderstandsfaktor, w_{80}/w_{sat} - Feuchtegehalt bei 80% relativer Luftfeuchte bzw. Sättigung, A_w - Wasseraufnahmekoeffizient, Schichten von links nach rechts

Bild 31 Konstruktionsaufbau und stationäre Berechnung einer innen gedämmten Außenwand

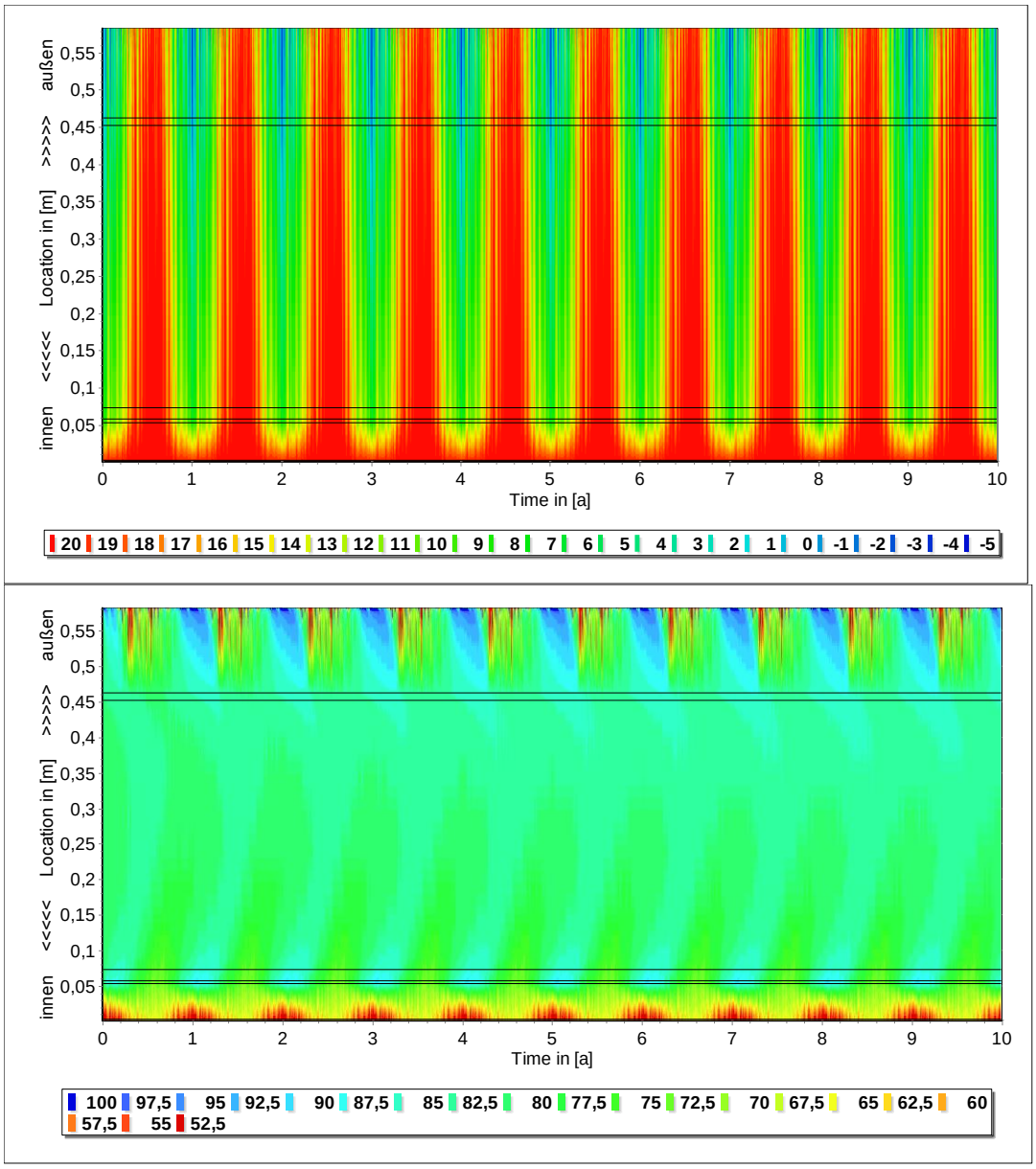


Bild 32 Temperatur- und Luftfeuchtefeld einer innen gedämmten Konstruktion, Bestandskonstruktion mit Ausgleichsfeuchte, Simulationszeitraum: 10 Jahre, Berechnung mit Delphin 6.0

In Bild 32 wird der Verlauf der Temperatur und der Luftfeuchte in einem Zeitraum von 10 Jahren für die innen gedämmte Wandkonstruktion dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit aufgetragen, auf der y-Achse die Temperatur bzw. die Luftfeuchte. Die horizontalen Linien symbolisieren Materialschichtgrenzen. Entlang der oberen Begrenzung befindet sich die Außenoberfläche. Im Temperaturfeld ist zu sehen, dass während der warmen Jahreszeit die gesamte Konstruktion nahezu durchgehend über 20°C warm ist. Minustemperaturen dringen maximal bis in die Mitte der Bestandskonstruktion vor. Aus dem unteren Luftfeuchtefeld in Bild 32 geht hervor, dass höhere Feuchtebelastungen nur im äußeren Bereich auftreten.

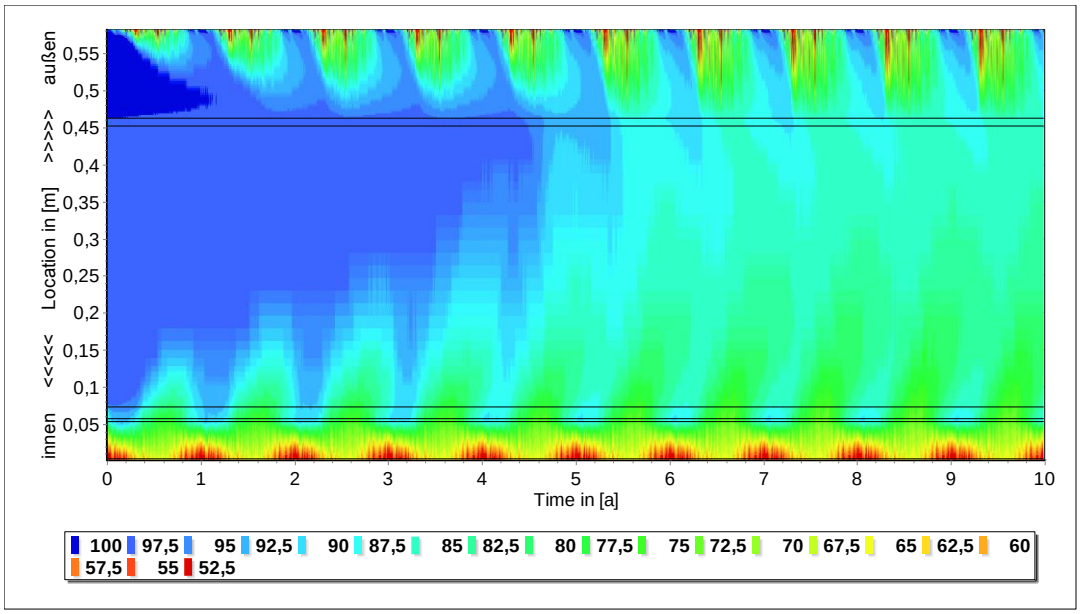


Bild 33 Luftfeuchtefeld einer innen gedämmten Konstruktion, Bestandskonstruktion mit Anfangsfeuchte, mit Darstellung des Trocknungsverhaltens, Simulationszeitraum: 10 Jahre, Berechnung mit Delphin 6.0

Im Vergleich dazu wurde der Bestandskonstruktion in Bild 33 eine höhere Anfangsfeuchte zugewiesen. Wie zu sehen ist, benötigt die Konstruktion ca. 8 Jahre, bis der eingeschwungene Zustand bzw. der Zustand ohne erhöhte Feuchtebelastung erreicht ist.
Die Darstellungen in Bild 32 und Bild 33 verdeutlichen anschaulich den zeitlichen Verlauf und vermitteln einen Eindruck über die hygrothermischen Vorgänge in der eindimensionalen, gedämmten Wandkonstruktion. Es ist erkennbar, wie die Konstruktion mit dem ausgewählten Dämmsystem mit den zusätzlichen Feuchtegehalten umgehen kann.

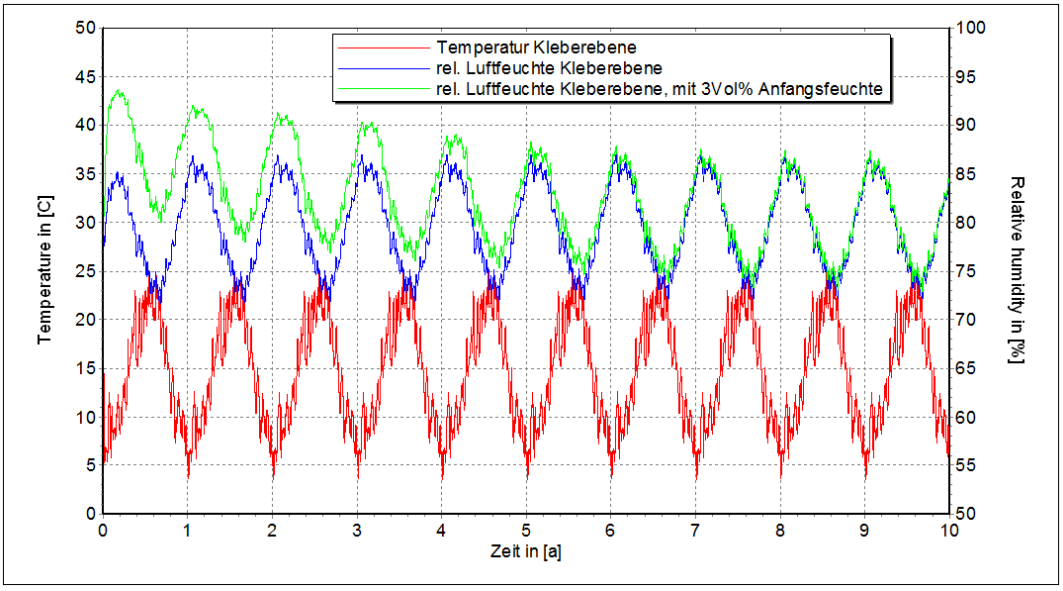


Bild 34 Verlauf der Temperatur und der rel. Luftfeuchte in der Kleberebene des Innendämmsystems, Vergleich einer Konstruktion mit und ohne Anfangsfeuchtegehalt über 10 Jahre

Durch die Auswertung von Verlaufsdiagrammen wie in Bild 34 können Aussagen dazu getroffen werden, ob in der potenziellen Kondensatebene (hier: Ebene zwischen Bestandskonstruktion und Dämmsystem) unzulässig hohe Feuchtegehalte entstehen und wie groß der Einfluss in diesem Bereich durch z.B. einen erhöhten Anfangsfeuchtegehalt der Konstruktion ist.

In der Darstellung sind auf der linken Achse die Temperatur, auf der rechten Achse die Luftfeuchte aufgetragen. Demnach stimmt die Simulation mit erhöhter Anfangsfeuchte ab ungefähr dem sechsten Jahr ungefähr mit der Simulation ohne Anfangsfeuchte überein. Auch bei erhöhter Anfangsfeuchte wird eine rel. Luftfeuchte in der Kleberebene des Dämmsystems von 95% nicht überschritten.
Hinter der Innendämmung besteht in diesem Fall bei Minimaltemperaturen von +5°C keinerlei Frostgefahr.

A VIII Anwendungsbeispiele für die hygrothermische Bemessung von Anschlussdetails

Für einige standardmäßig anzutreffenden Bauteilanschlüsse werden nachfolgend exemplarisch Details vorgestellt.
Da zum Zeitpunkt der Detailbemessung die Frage des Schlagregenschutzes der Fassade bereits geklärt sein sollte, wird bei den folgenden Simulationen von einer intakten, ausreichend wasserabweisenden Fassade ausgegangen.

Detail 1: Innenwandanschluss massiv

Anhand des Beispiels einer einbindenden, massiven Innenwand in die Außenwand an Temperaturfeldern im Bild 35 wird dargestellt, wie sich generell eine Innendämmung auf angrenzende Bauteile auswirkt. Hierbei wurden zur Vereinfachung die Randbedingungen gemäß DIN 4108-2 [17] herangezogen: Innentemperatur 20°C und Außentemperatur: -5°C.

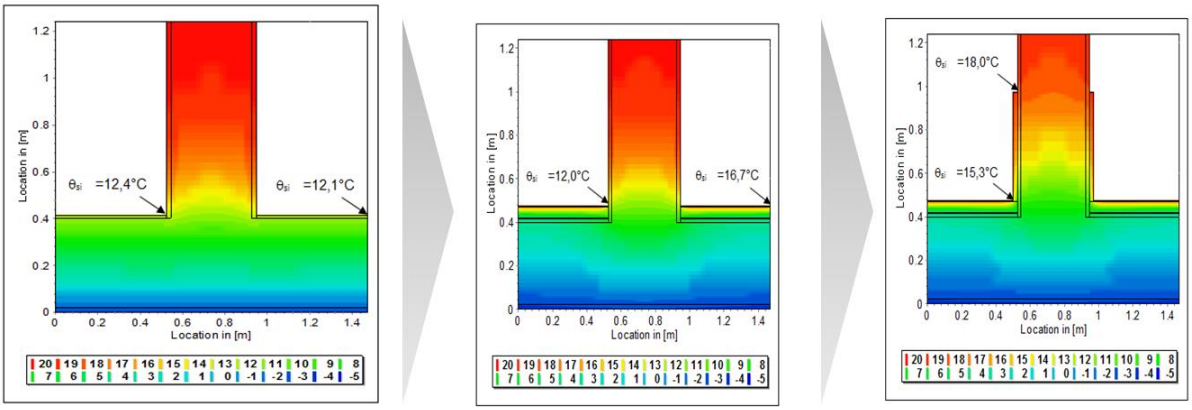


Bild 35 Einbindende Innenwand in eine Außenwand, links: ohne Innendämmung, Mitte: mit Innendämmung, ohne Flankendämmung, rechts: mit Innen- und Flankendämmung

Dabei ist zu erkennen, dass an der ungedämmten Außenwand (Bild 35 links) eine geringe Oberflächentemperatur unterhalb des Mindestwärmeschutzes auftritt. Im Bereich der Ecke zur einbindenden Innenwand ist die Temperatur durch die Wärmeeinträge der Innenwand geringfügig höher. Mit Anwendung einer Innendämmung an der Außenwand (Bild 35 Mitte) steigt die Oberflächentemperatur der neuen inneren Oberfläche der Außenwand, allerdings sinkt das Temperaturniveau im Anschlussbereich zur Innenwand, da nun die Bestandsaußenwand kälter wird. Mit der Anordnung einer Flankendämmung im Anschlussbereich (Bild 35 rechts) verbessert sich die thermische Situation deutlich.
Dieser Effekt der Durchdringung und Entkopplung ist bei Betrachtung der Anschlussdetails immer mit zu berücksichtigen. Je größer die Stärke der Bestandsaußenwand und je geringer deren U-Wert ist, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Flankendämmung zur Einhaltung des Mindestwärmeschutzes notwendig wird.

Detail 2: Trennwandanschluss – Trockenbau neu

Bei vielen Sanierungsmaßnahmen werden neue Trennwände, meist in Trockenbauweise errichtet. Diese werden (zumindest, wenn erhöhte Anforderungen bestehen) gemäß Herstellervorgaben und aus statischen, brandschutztechnischen und Schallschutzgründen üblicherweise direkt an der

Bestandswand befestigt. Dies bedeutet aber auch, dass sich bei geplanter Anwendung einer Innendämmung die C-Profile der Befestigung und die Mineralfasereinlage in der potenziellen Kondensatebene befinden. Je stärker das Innendämmsystem ist, umso größer ist dabei das Schadenspotenzial.
Um die bauphysikalischen Anforderungen, aber zugleich die Herstellervorgaben zu erfüllen, wurde am IBK der TU Dresden dieses Anschlussdetail detailliert hygrothermisch untersucht und ein praktikables Detail entwickelt, dass für viele Situationen dieses Anschlusses einsetzbar ist. Somit kann in den meisten Fällen inzwischen dafür ein detaillierter Nachweis entfallen.
In Bild 36 sind der übliche Standardanschluss und der optimierte Anschluss dargestellt, wobei hier ein Kimmstein oder Flachsturz senkrecht an die Wand angebracht wird, um den Anschluss der Trockenbauwand aus dem hygrisch kritischen Bereich zu verschieben.

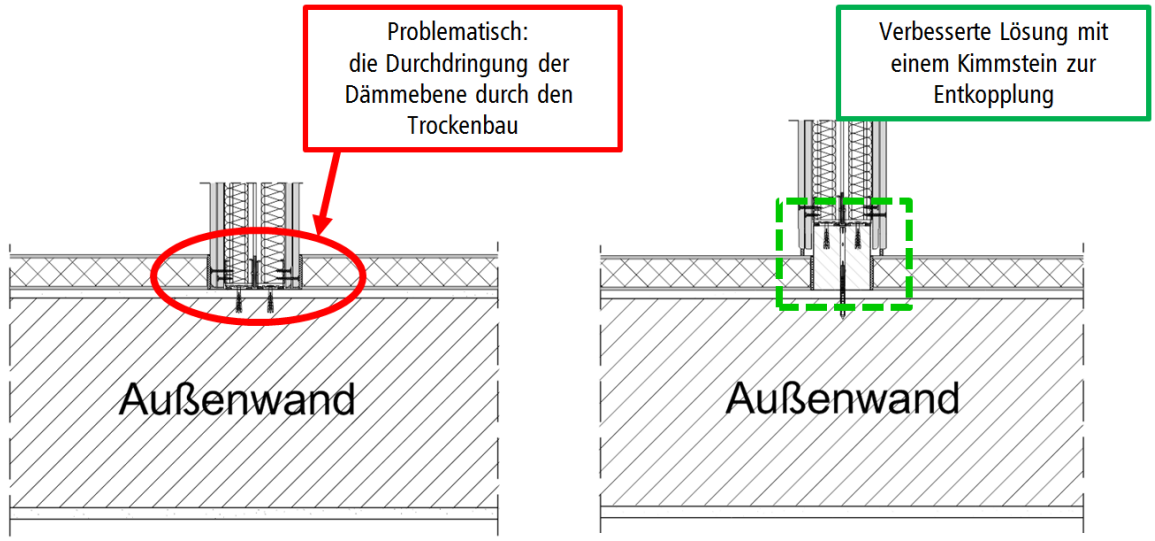


Bild 36 Anbindung einer neu zu errichtenden Trockenbau an eine innen gedämmte Außenwand, links: Standardanschluss, rechts: mit Kimmstein oder Sturz zur hygrischen Entkopplung

Bei einer rein thermischen Betrachtung dieses Anschlusses zeigt sich, dass bei beiden Varianten der Mindestwärmeschutz eingehalten ist und dass bei einer dynamischen Simulation die Temperatur in der Anschlussecke unkritisch sind, was im Bild 37 und im Bild 38 zu erkennen ist.

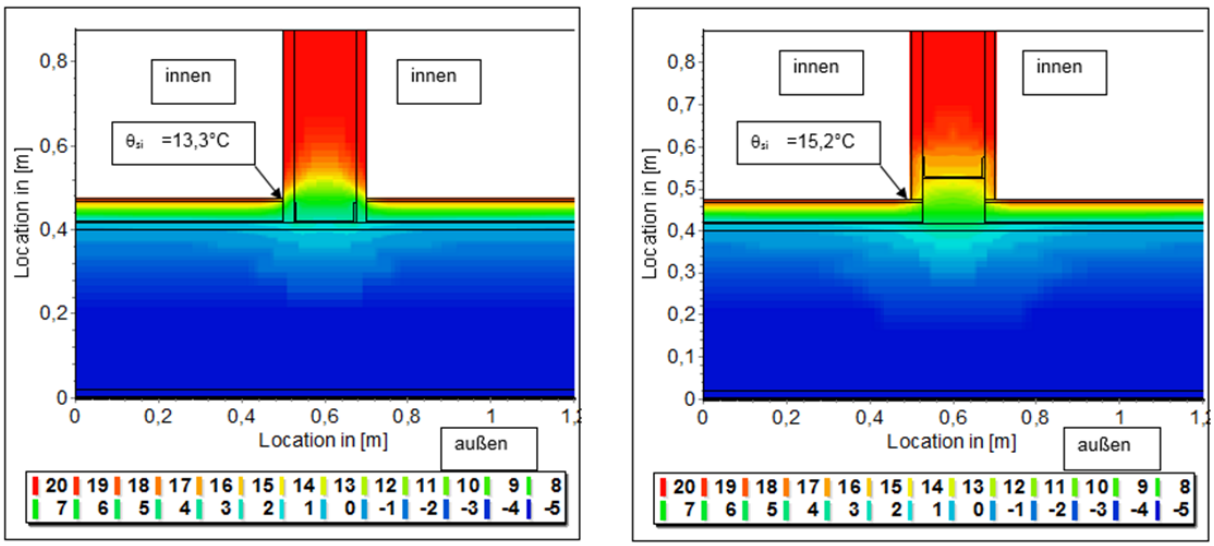


Bild 37 Anbindung Trockenbau an innen gedämmte Außenwand, Temperaturfeld am 10.01. des 3. Berechnungsjahres mit Realklimarandbedingungen, links: Standardanschluss, rechts: mit Kimmstein oder Sturz zur hygrischen Entkopplung

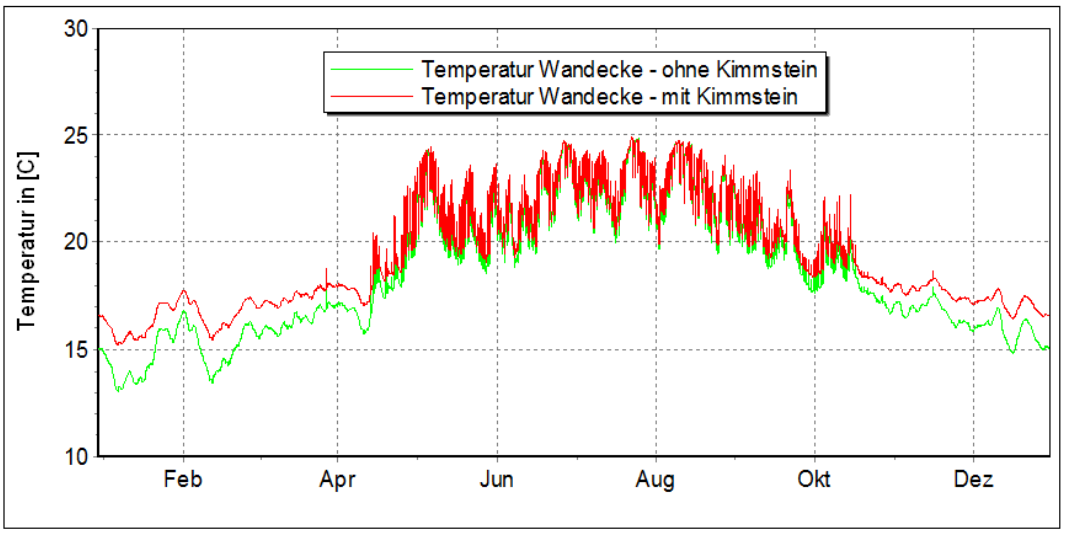


Bild 38 Anbindung Trockenbau an innen gedämmte Außenwand, Verlauf der Temperatur in der Wandecke im 3. Berechnungsjahr, mit Realklimarandbedingungen, links: Standardanschluss, rechts: mit Kimmstein oder Sturz zur hygrischen Entkopplung

Erst bei hygrischer Betrachtung wird deutlich, dass der Anschluss der Trockenbauwand mit Durchdringung der thermischen Ebene hygrisch kritisch werden kann. Dies wird in der Darstellung des Luftfeuchtefeldes für beide Varianten an einem identischen Tag im Bild 39.

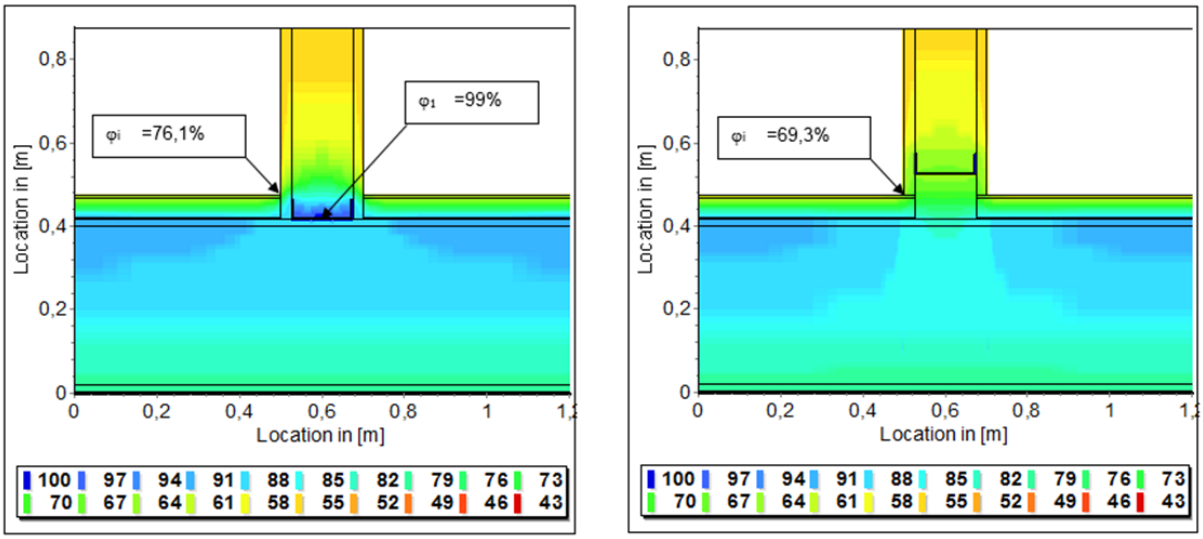


Bild 39 Anbindung Trockenbau an innen gedämmte Außenwand, Luftfeuchtefeld am 24.04. des 3. Berechnungsjahres mit Realklimarandbedingungen, links: Standardanschluss, rechts: mit Kimmstein oder Sturz zur hygrischen Entkopplung

Noch eindrucksvoller ist dieser Effekt am Verlauf der relativen Luftfeuchte in diesem Anschlussbereich erkennbar, wobei im folgenden Bild 40 der Verlauf über 2 Berechnungsjahre dargestellt wird. Dabei ist zu erkennen, dass die rel. Luftfeuchte über einen Zeitraum von ca. 3 Monaten bei ca. 99% liegt. Dies bedeutet, dass die Gefahr des Auftretens von Kondensat besteht, was verbunden sein kann mit Korrosion der Schnittflächen der C-Profile bzw. Durchfeuchten der Mineralfaserdämmung im Anschlussbereich. Im betrachteten Beispiel beträgt die Innendämmstärke 5 cm. Bei größerer Dämmstärke verstärkt sich dieser Effekt noch.

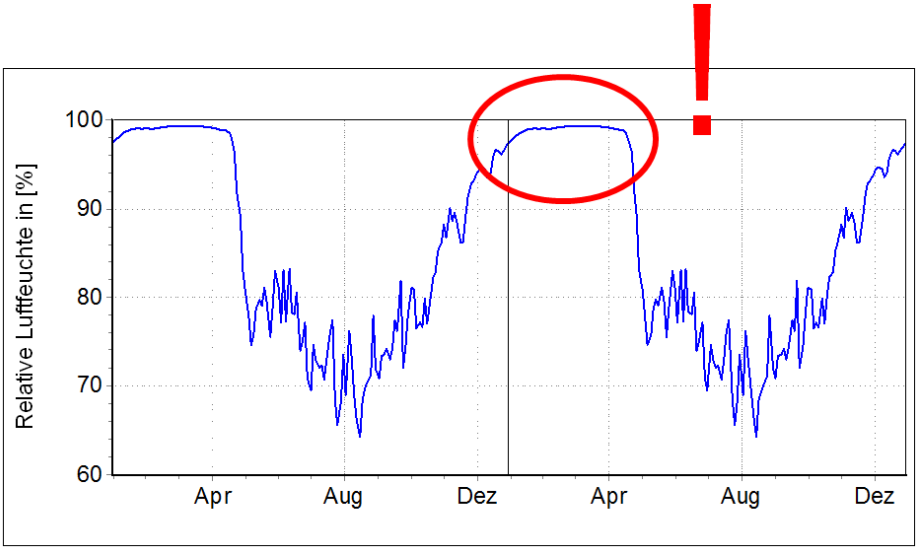


Bild 40 Anbindung Trockenbau an innen gedämmte Außenwand, Verlauf der rel. Luftfeuchte im kritischen Anschlussbereich im 2. und 3. Berechnungsjahr mit Realklimarandbedingungen beim Standardanschluss

Im Bild 41 ist der Verlauf der rel. Luftfeuchte in der Wandecke für beide Varianten dargestellt, wobei zu erkennen ist, dass die optimierte Variante deutlich niedrigere Luftfeuchten im Winterhalbjahr aufweist und damit unkritischer ist.

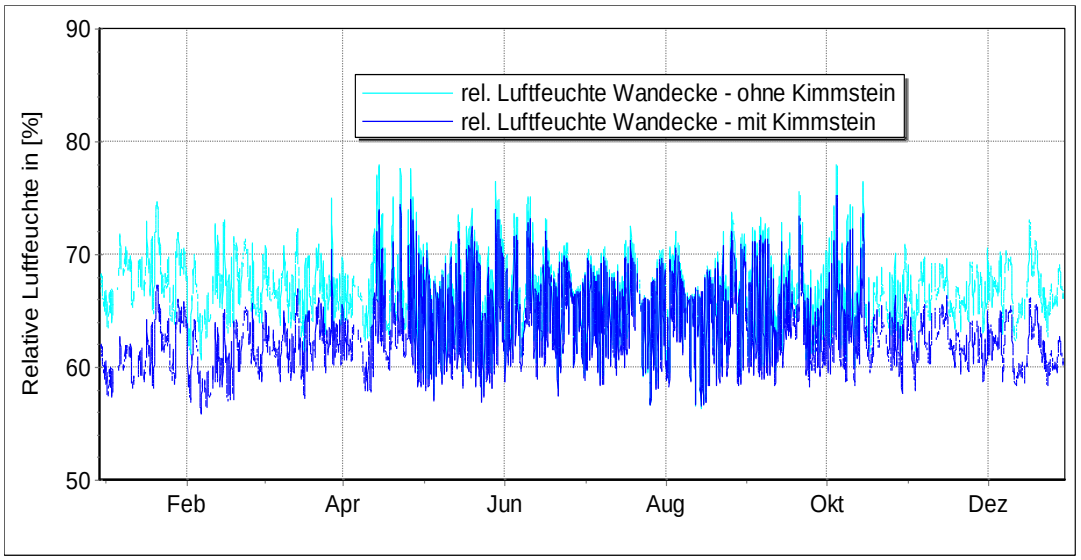


Bild 41 Anbindung Trockenbau an innen gedämmte Außenwand, Verlauf der relativen Luftfeuchte in der Wandecke im 3. Berechnungsjahr, mit Realklimarandbedingungen,

Detail 3: Fensterlaibung

Die Ertüchtigung des Fensteranschlusses ist in nahezu jedem Bestandsgebäude ein wichtiges Thema im Rahmen der energetischen Sanierung mit einer Innendämmung.
Am Beispiel einer Fensterlaibung (Bild 42 wird die Nachweisführung erläutert. Eine wichtige Voraussetzung zur Sicherstellung des hygienischen Mindestwärmeschutzes ist die Herstellung einer durchgehenden Dämmebene. Dies ist mit dem Einbau neuer Fenster meist gut realisierbar, da die Fenster beim Einbau eine gewisse Toleranz zum Justieren benötigen. Somit stehen meist 2-3 cm Platz zwischen Mauerwerk und Blendrahmen zur Verfügung. Dieser Zwischenraum wird nach Fenstermontage mit einem für diesen Anwendungsfall geeigneten Dämmstoff (z.B. PUR-Schaum oder ein vorkomprimiertes Dichtband) versehen. Somit kann der Anschluss der Laibungsdämmung in dieser Ebene weitergeführt werden und der kritische Anschluss entschärft werden.

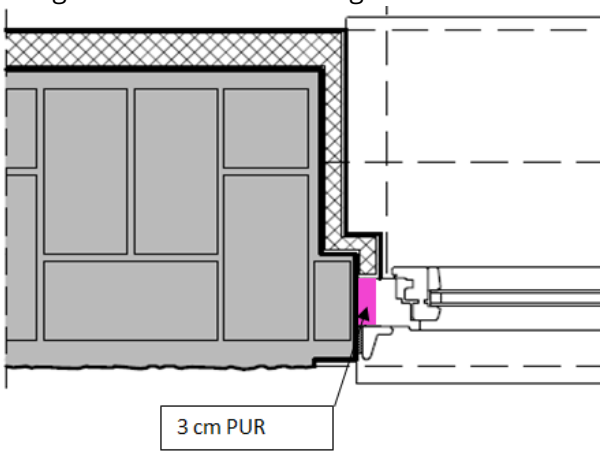


Bild 42 Fensterlaibungsanschluss einer innengedämmten Wand, Lage des Fensters nahezu außenbündig. Auf eine durchgehende Dämmebene muss geachtet werden.

Bei der Nachweisführung des hygienischen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 [17] ist zu erkennen, dass mit der gewählten Lösung der Mindestwärmeschutz eingehalten ist und die unter stationären Randbedingungen nach DIN 4108-2 [17] erforderliche Temperatur in der Ecke (≥ 12,6°C) mit 12,9°C knapp eingehalten ist, was im Bild 43 zu erkennen ist.

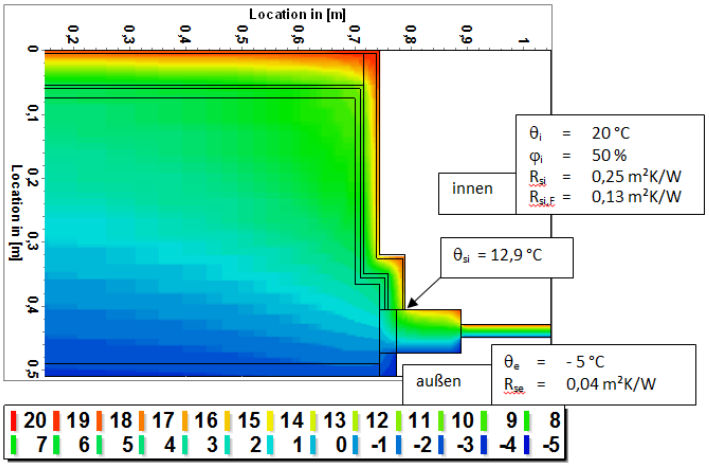


Bild 43 Temperaturfeld, Oberflächentemperatur in [°C], Fensterleibung an Außenwand d= AW 38 cm, Innendämmung 5 cm, Laibungsdämmung 2,5 cm, Randbedingungen nach DIN 4108-2 [17]

$\theta_{si,\,vorhanden} = 12{,}9°C > \theta_{si,\,zulässig} = 12{,}6\ °C$

In einem weiteren Schritt wird der hygrothermische Nachweis für diesen Detailanschluss erbracht. Im Bild 44 sind das Temperaturfeld und das Luftfeuchtefeld für einen kritischen Tag des 3. Berechnungsjahres dargestellt.

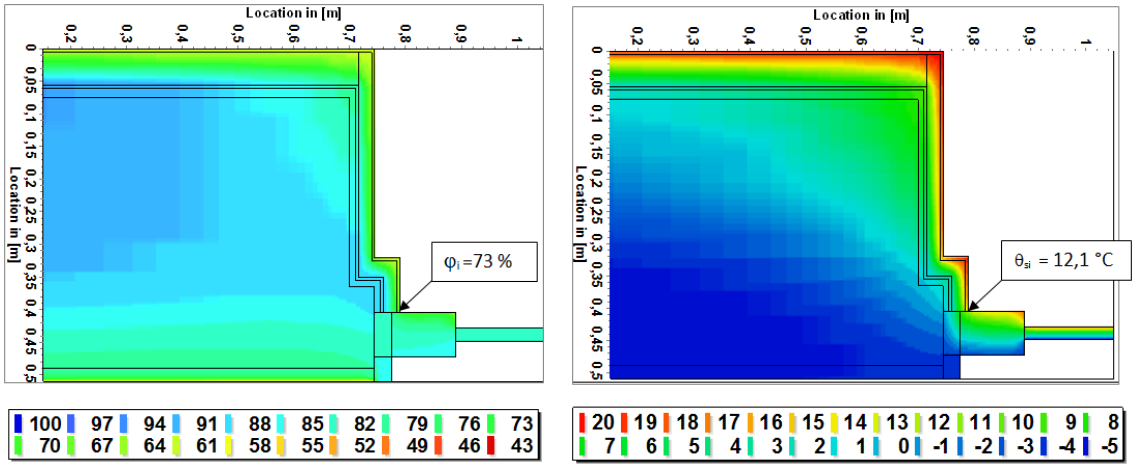


Bild 44 rechts: Temperaturfeld, Oberflächentemperatur in °C und links: Luftfeuchtefeld in % für den Fensterlaibungsanschluss

Zusätzlich werden der Verlauf der Temperatur und der rel. Luftfeuchte (Bild 45 und der Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte, aufgetragen mit einer Grenzkurve für die Auskeimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat (Bild 46) ausgegeben.

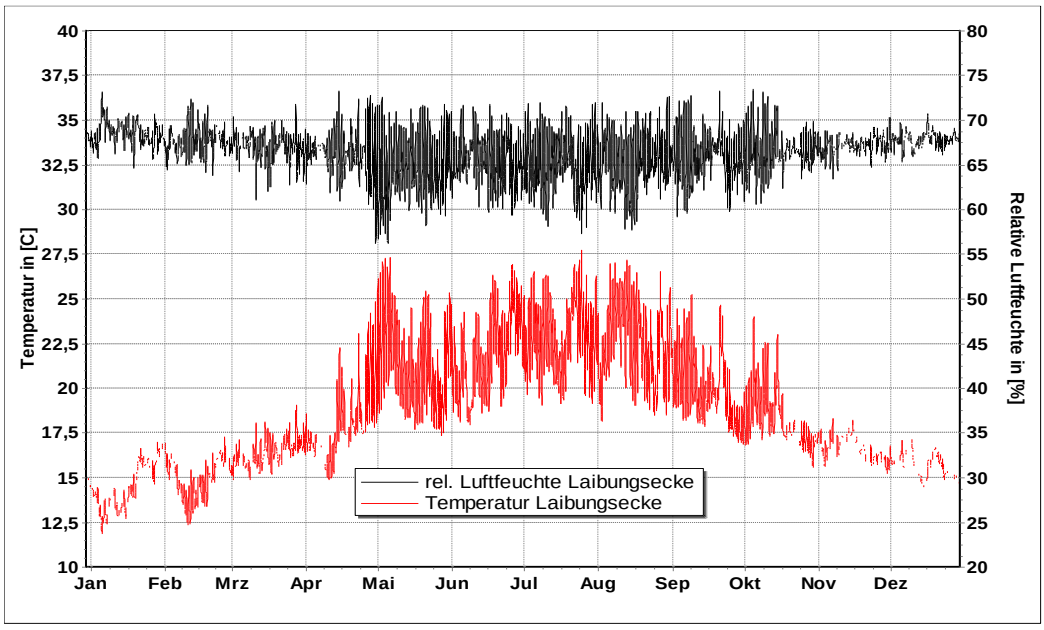


Bild 45 Verlauf der Oberflächentemperaturen in °C und rel. Luftfeuchte in % in der Fensterlaibung, dargestellt das 3. Berechnungsjahr mit Beginn am 01.Januar

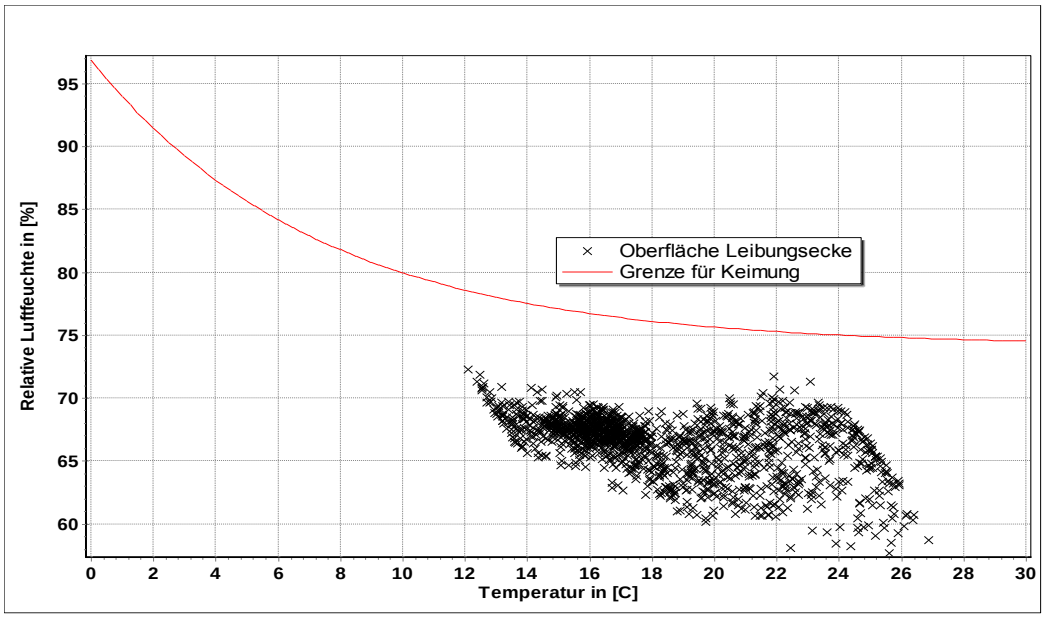


Bild 46 Jahreszyklus der Temperatur und rel. Luftfeuchte in der Laibungsecke in der Fensterlaibungsecke, Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, dargestellt das 3. Berechnungsjahr mit Beginn am 01.Januar

Aus den Abbildungen ist zu erkennen, dass bei der Berechnung unter Realklimarandbedingungen keine kritischen Werte auftreten. Die Oberflächentemperaturen
im Eckbereich des Laibungsanschlusses sind auch an kalten Tagen nur zeitlich begrenzt unterhalb der Schimmelgrenztemperatur (nach DIN 4108-2 [17]), die entsprechende rel. Luftfeuchte steigt vereinzelt bis auf ca. 73%. Somit ist für diesen Anschluss mit den gewählten Klimarandbedingungen nicht mit oberflächennahen Feuchte- und Schimmelschäden zu rechnen.

A IX Typische Anschlussdetails

Im Folgenden werden einige typische Anschlussdetails für unterschiedliche Einbausituationen vorgeschlagen.

0 Übersicht Innendämmvarianten

Einbindende Innenwand

1.1 Einbindende Bestandsinnenwand mit gerader oder keilförmiger Flankendämmung
1.2 Einbindende Bestandsinnenwand, Anschluss mit Wärmeleitblech
1.3 Anbindende neue monolithische Innenwand
1.4 Anbindende neue Trockenbau-Trennwand (innerhalb der Nutzungseinheit)
1.5 Anbindende neue Trockenbau-Trennwand (als Wohnungstrennwand)

Geschossdecke

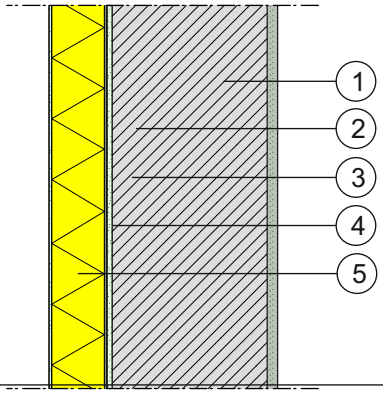
2.1 Einbindende Bestands-Massivdecke mit Flankendämmung
2.2 Einbindende Bestands-Massivdecke mit Wärmeleitblech
2.3 Einbindende neue Massivdecke mit stirnseitiger Dämmung
2.4 Holzbalkendecke ohne Öffnung der historischen Decke, Bereich Feldmitte
2.5 Holzbalkendecke mit Öffnung der historischen Decke, Bereich Feldmitte
2.6 Holzbalkendecke ohne Öffnung der historischen Decke, Bereich Deckenbalken
2.7 Holzbalkendecke mit Öffnung der historischen Decke, Bereich Deckenbalken
2.8 Holzbalkendecke ohne Öffnung der historischen Decke, Bereich Streichbalken
2.9 Holzbalkendecke mit Öffnung der historischen Decke, Bereich Streichbalken

Fenster

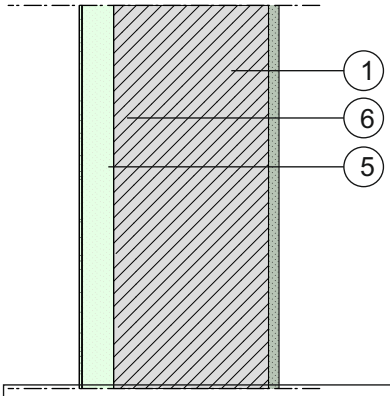
3.1 Fensterlaibung mit Anschlag
3.2 Fensterlaibung ohne Anschlag, Lage des Fensters außenbündig
3.3 Fensterlaibung ohne Anschlag, Lage des Fensters mittig im Mauerwerk
3.4 Fensterbrüstung, Lage des Fensters mittig im Mauerwerk

IN2EuroBuild

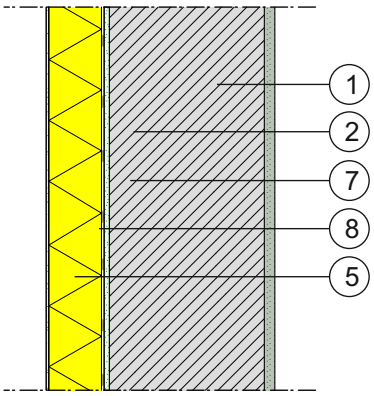
Diffusionsoffenes, kapillaraktives System mit Dämmplatten



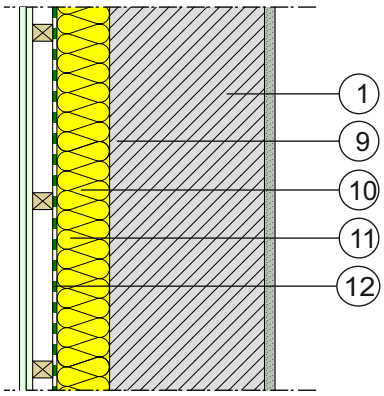
Diffusionsoffenes, kapillaraktives System mit plastischen Materialien (Dämmputz)



Diffusionshemmendes / -dichtes System mit diffusionshemmenden /-dichten Platten



Diffusionshemmendes / -dichtes System mit Fasermatten und Dampfbremse



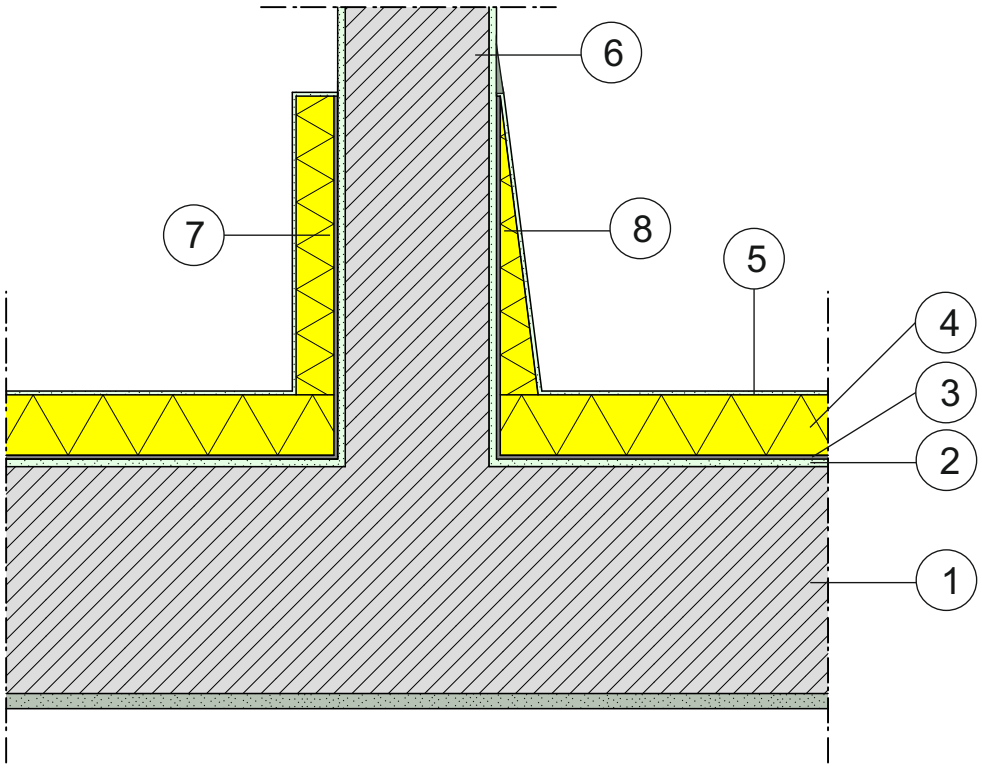
1	Bestandsmauerwerk
2	Bestandsputz oder neuer Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / Innenputz
6	Dämmputz
7	Klebemörtel, auch im Punkt-Wulst-Verfahren möglich
8	Diffusionsdichte oder diffusionshemmende Dämmplatte
9	Faserdämmmatte zwischen Unterkonstruktion
10	Dampfbremse, / -sperre
11	Lattungsebene / Luft
12	Verkleidung, z.B. Gipskarton, OSB

Übersicht Innendämmvarianten

V1 bis V4

Detail
0

IN2EuroBuild



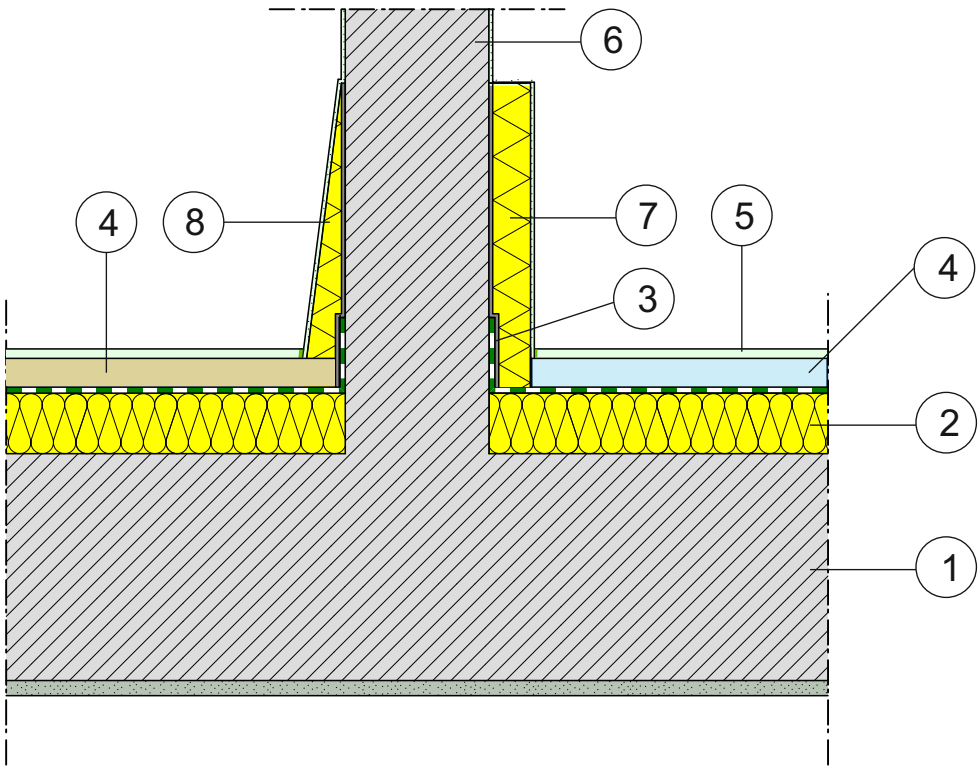
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Bestandsinnenwand
7	Flankendämmung, geklebt, gerade
8	Flankendämmung, geklebt, keilförmig

Einbindende Bestandsinnenwand mit gerader oder keilförmiger Flankendämmung

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
1.1.1

IN2EuroBuild



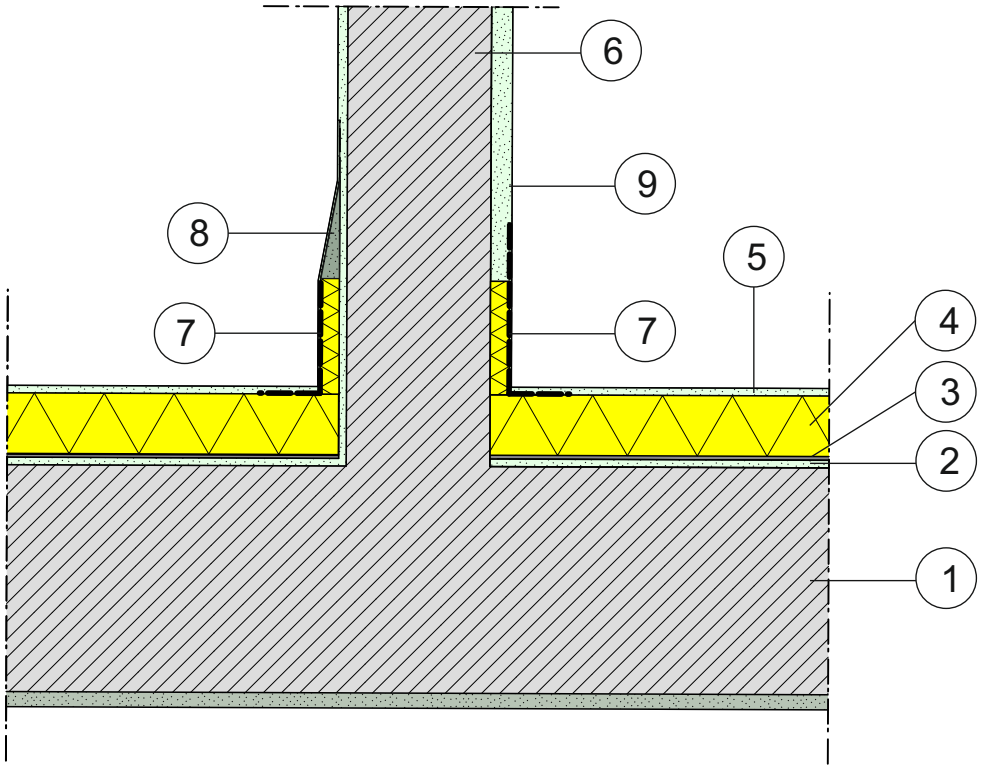
1	Bestandsmauerwerk
2	Faserdämmmatte zwischen Unterkonstruktion
3	Dampfbremse, mit Putzanschlussband
4	Lattungsebene / Luft
5	Verkleidung, z.B. Gipskarton, OSB
6	Bestandsinnenwand
7	Flankendämmung, geklebt, gerade
8	Flankendämmung, geklebt, keilförmig
9	Trennstreifen

Einbindende Bestandsinnenwand mit gerader oder keilförmiger Flankendämmung

V2 - Innendämmung mit Fasermatten und Dampfbremse

Detail
1.1.2

IN2EuroBuild



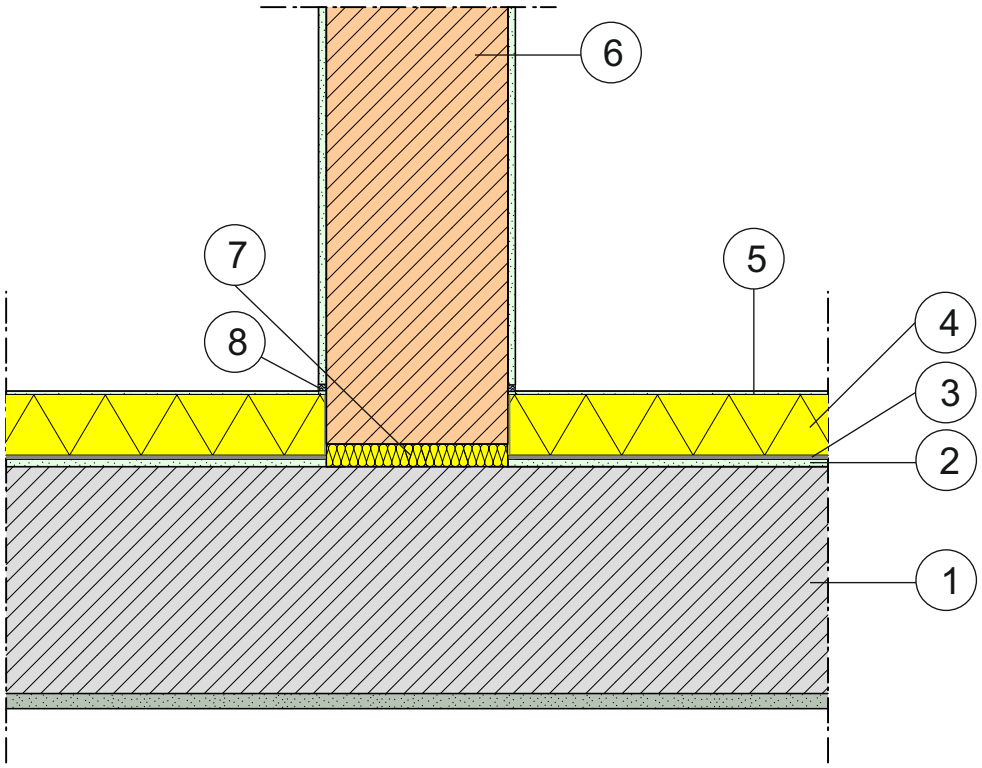
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Bestandsinnenwand
7	Wärmeleitblech mit rückseitiger Dämmlage auf einem Schenkel
8	Einbau auf bestehender Putzlage mit Anschrägung
9	Einbau oberflächenbündig mit bestehender Putzlage

Einbindende Bestandsinnenwand
Anschluss mit Wärmeleitblech

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
1.2.1

IN2EuroBuild



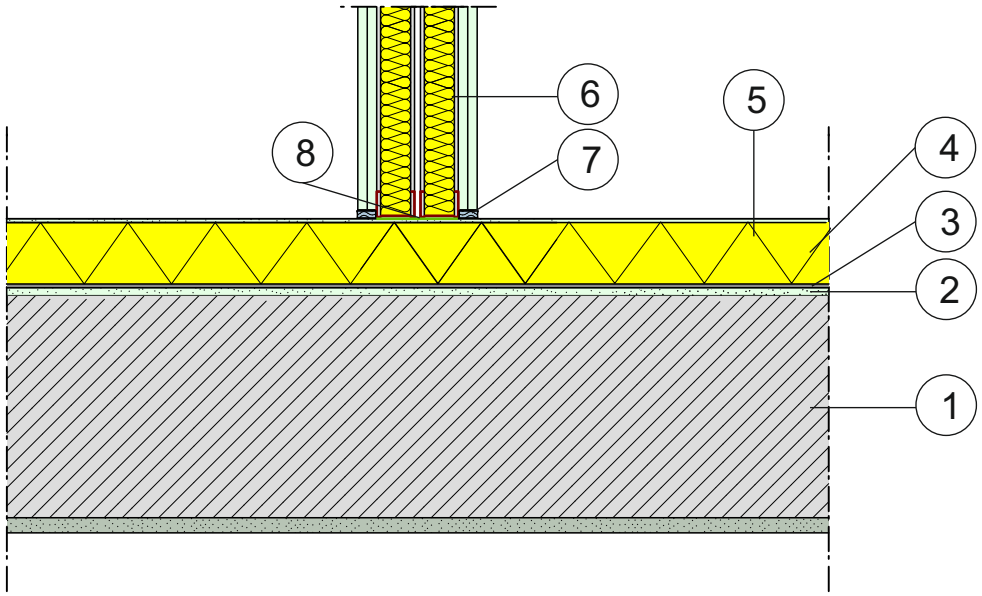
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Neue monolithische Innenwand
7	Thermische Trennung, z.B. 3 cm Mineralfaser
8	Fugenband, Anputzleiste

Anbindende neue monolithische Innenwand

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
1.3.1

IN2EuroBuild



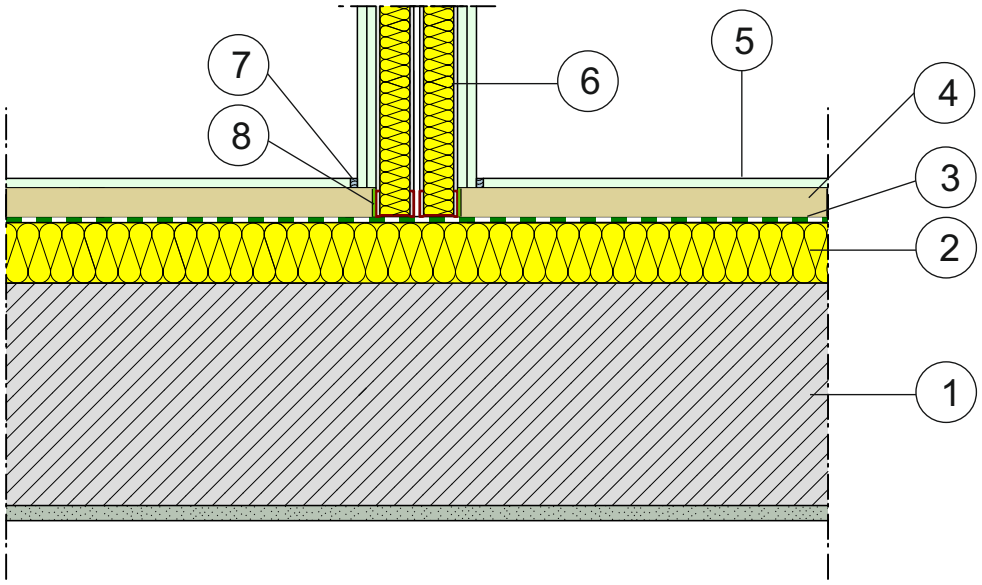
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Neue Trockenbau-Trennwand innerhalb der Nutzungseinheit
7	Acrylfuge
8	Trockenbau-Dichtband

Anbindende neue Trockenbau-Trennwand (innerhalb der Nutzungseinheit)

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
1.4.1

IN2EuroBuild



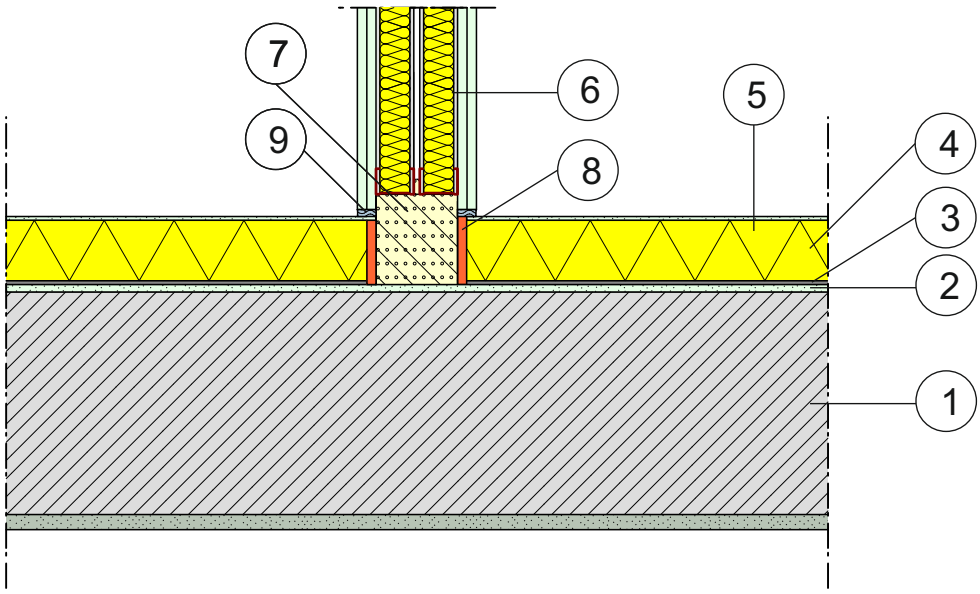
1	Bestandsmauerwerk
2	Faserdämmmatte zwischen Unterkonstruktion
3	Dampfbremse
4	Lattungsebene / Luft
5	Verkleidung, z.B. Gipskarton, OSB
6	Neue Trockenbau-Trennwand innerhalb der Nutzungseinheit, je nach Anschlusssituation ggf. Befestigung am Boden und an der Decke
7	Fuge
8	Trennstreifen

Anbindende neue Trockenbau-Trennwand (innerhalb der Nutzungseinheit)

V2 - Innendämmung mit Fasermatten und Dampfbremse

Detail
1.4.2

IN2EuroBuild



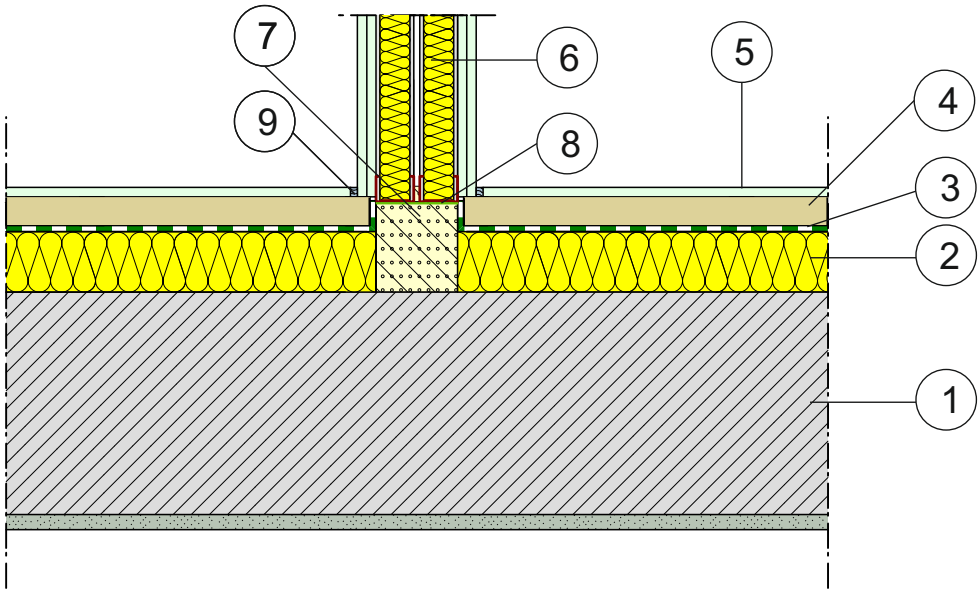
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Neue Trockenbau-Trennwand als Wohnungstrennwand
7	Kimmstein / Sturz senkrecht an der Wand befestigt
8	Elastische Trennlage / Dichtband zwischen Kimmstein und Innendämmung
9	Anschlussfuge

Anbindende neue Trockenbau-Trennwand (als Wohnungstrennwand)

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
1.5.1

IN2EuroBuild



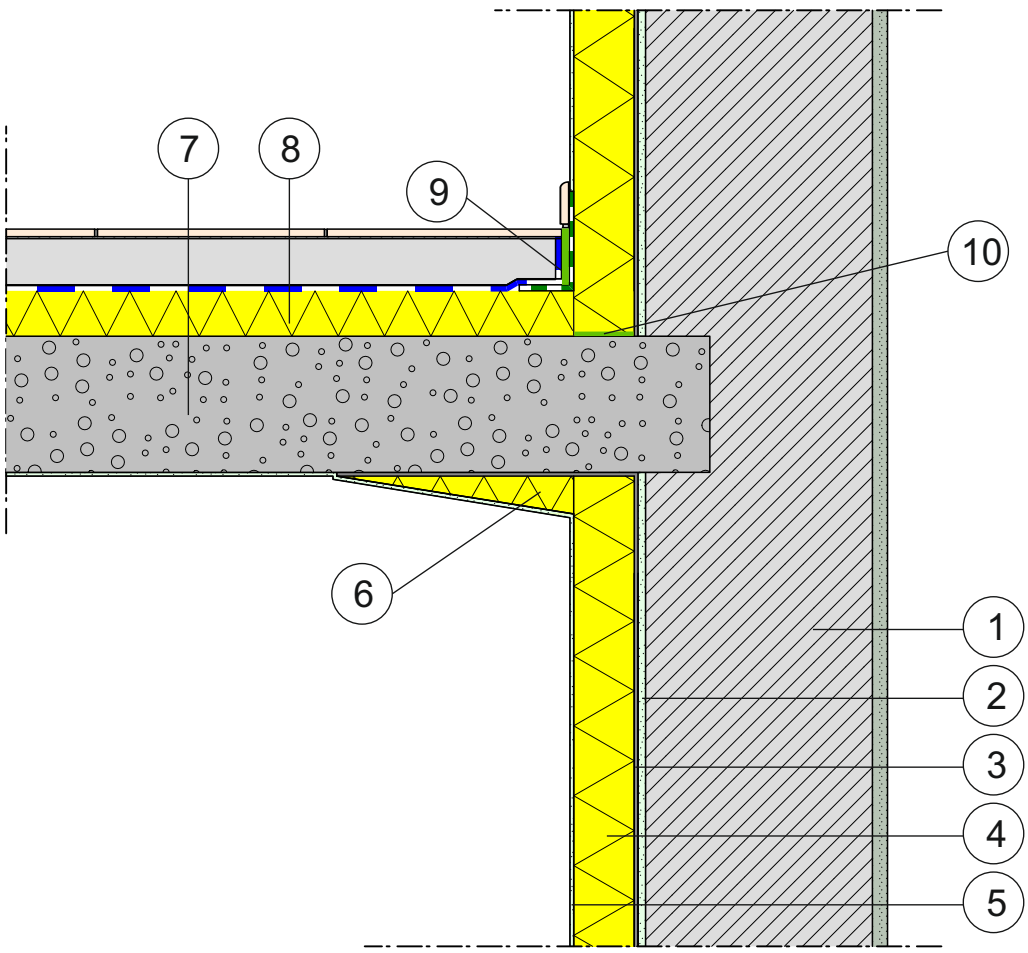
1	Bestandsmauerwerk
2	Faserdämmmatte
3	Dampfbremse mit Anschlussband
4	Lattungsebene / Luft
5	Verkleidung, z.B. Gipskarton, OSB
6	Neue Trockenbau-Trennwand als Wohnungstrennwand
7	Kimmstein / Sturz senkrecht an der Wand befestigt
8	Trennstreifen
9	Anschlussfuge

Anbindende neue Trockenbau-Trennwand (als Wohnungstrennwand)

V2 - Innendämmung mit Fasermatten und Dampfbremse

Detail 1.5.2

IN2EuroBuild



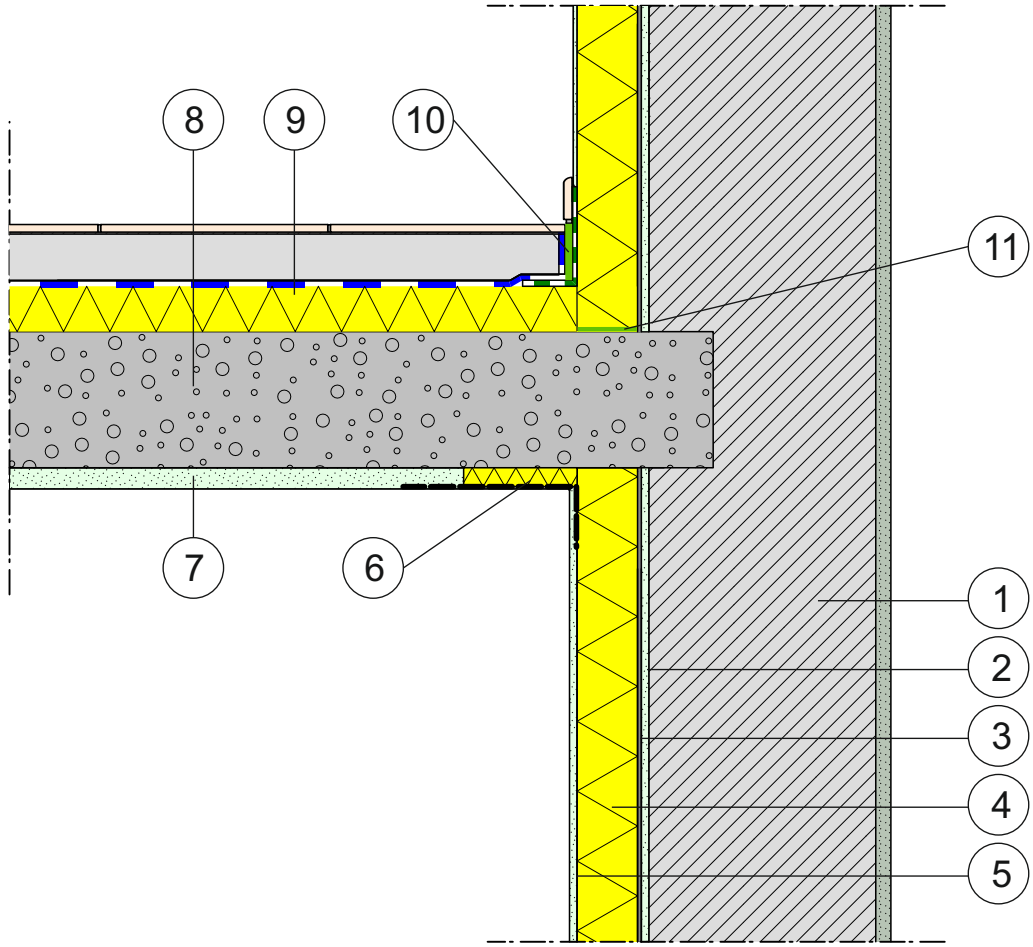
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Flankendämmung (hier als Keildämmung)
7	Bestandsdecke
8	Neuer Fußbodenaufbau
9	Randdämmstreifen
10	Schallschutztechnische Entkopplung

Einbindende Bestands-Massivdecke mit Flankendämmung

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.1.1

IN2EuroBuild



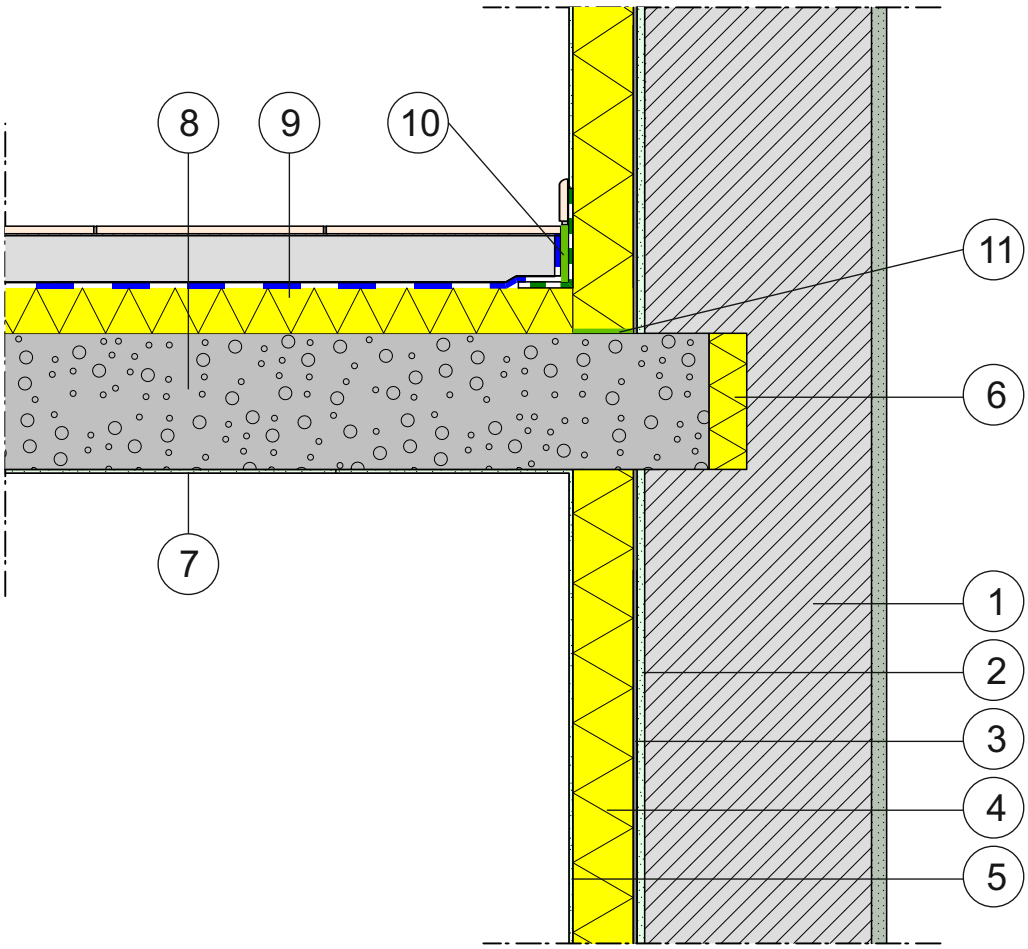
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Wärmeleitblech mit rückseitiger Dämmlage auf einem Schenkel
7	Deckenputz, neu
8	Bestandsdecke
9	Fußbodenaufbau, neu
10	Randdämmstreifen
11	Schallschutztechnische Entkopplung

Einbindende Bestands-Massivdecke mit Wärmeleitblech

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.2.1

IN2EuroBuild



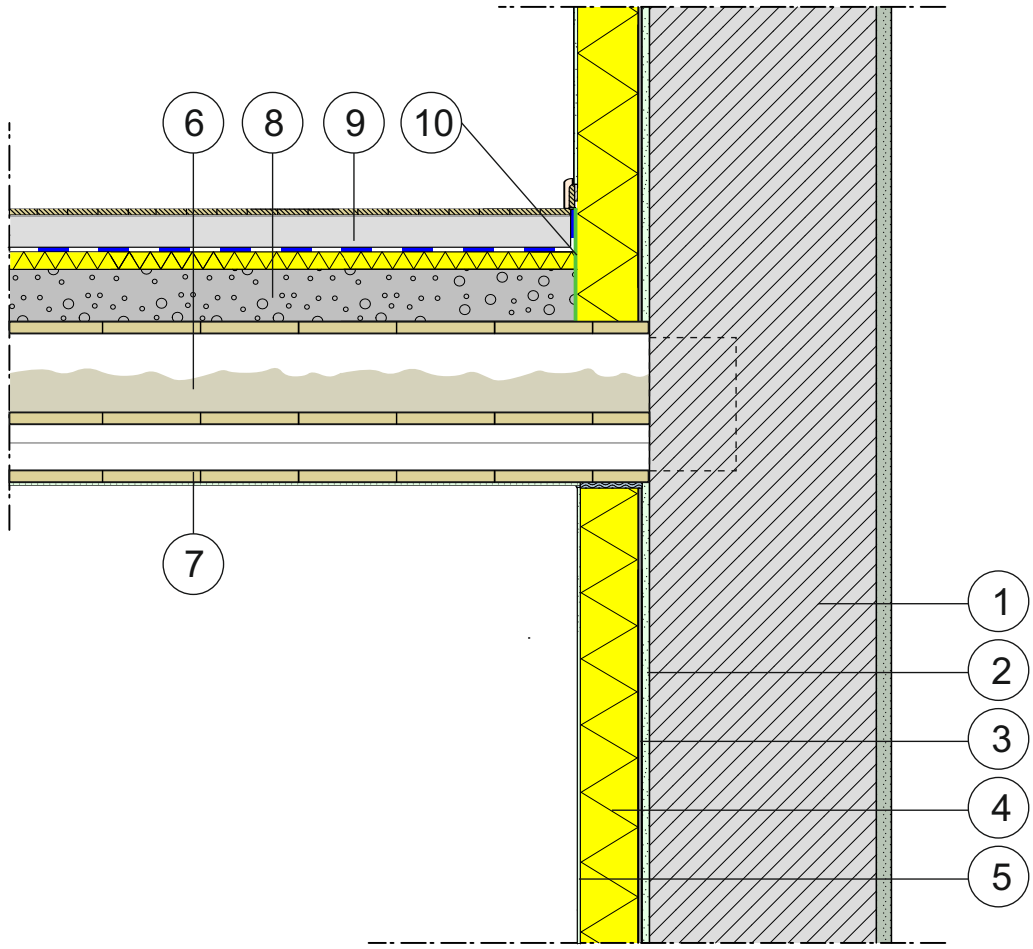
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Stirnseitige Dämmung, z. B. 5 cm EPS
7	Deckenspachtelung / Deckenputz neu
8	Bestandsdecke
9	Fußbodenaufbau, neu
10	Randdämmstreifen
11	Schallschutztechnische Entkopplung

Einbindende neue Massivdecke mit stirnseitiger Dämmung

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.3.1

IN2EuroBuild



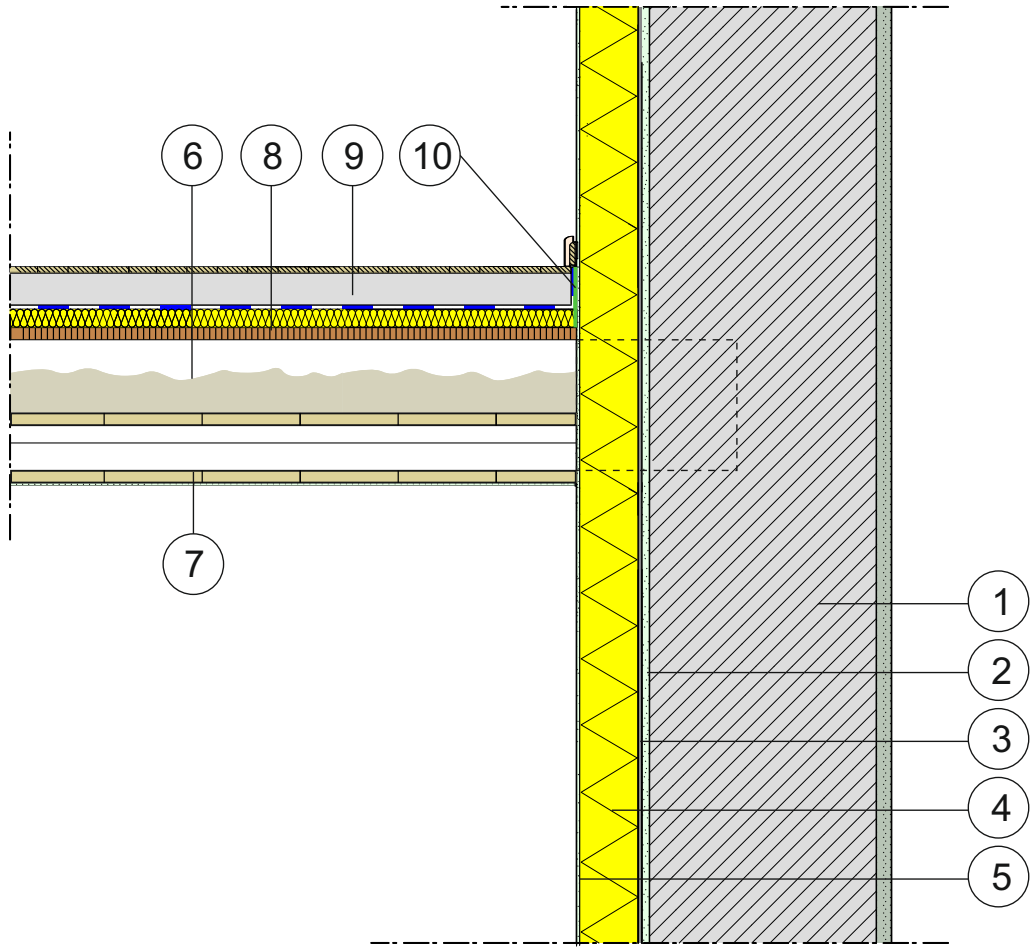
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Bestehende Holzbalkendecke mit Einschub und Dielung
7	Bestehende Unterdecke
8	Ausgleichsschüttung
9	Neuer Fußbodenaubau mit schwimmendem Estrich auf schallschutztechnischer Entkopplung
10	Randdämmstreifen

Holzbalkendecke ohne Öffnung der historischen Decke Bereich Feldmitte

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.4.1

IN2EuroBuild



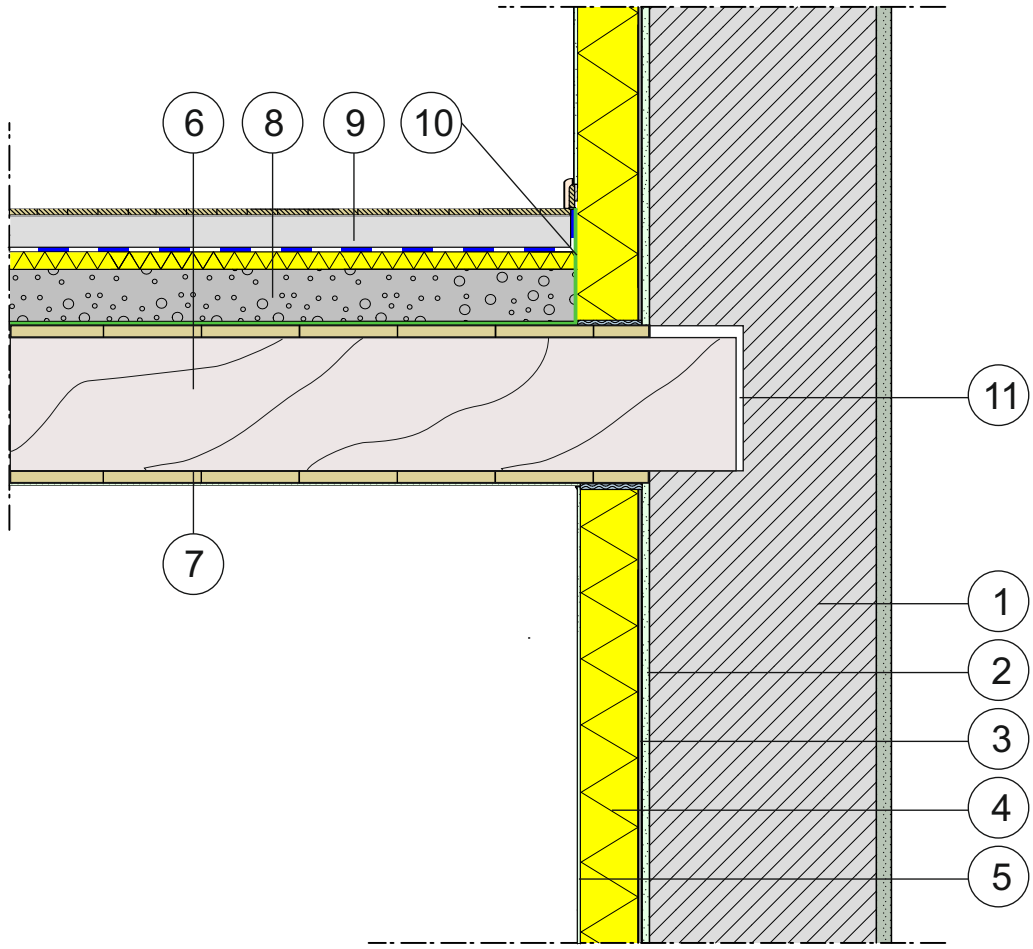
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Holzbalkendecke zurückgebaut, Einschub ggf. neu
7	Unterdecke neu bzw. angearbeitet
8	OSB-Platte neu
9	Neuer Fußbodenaubau mit schwimmendem Estrich auf schallschutztechnischer Entkopplung
10	Randdämmstreifen

Holzbalkendecke mit Öffnung der historischen Decke Bereich Feldmitte

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.5.1

IN2EuroBuild



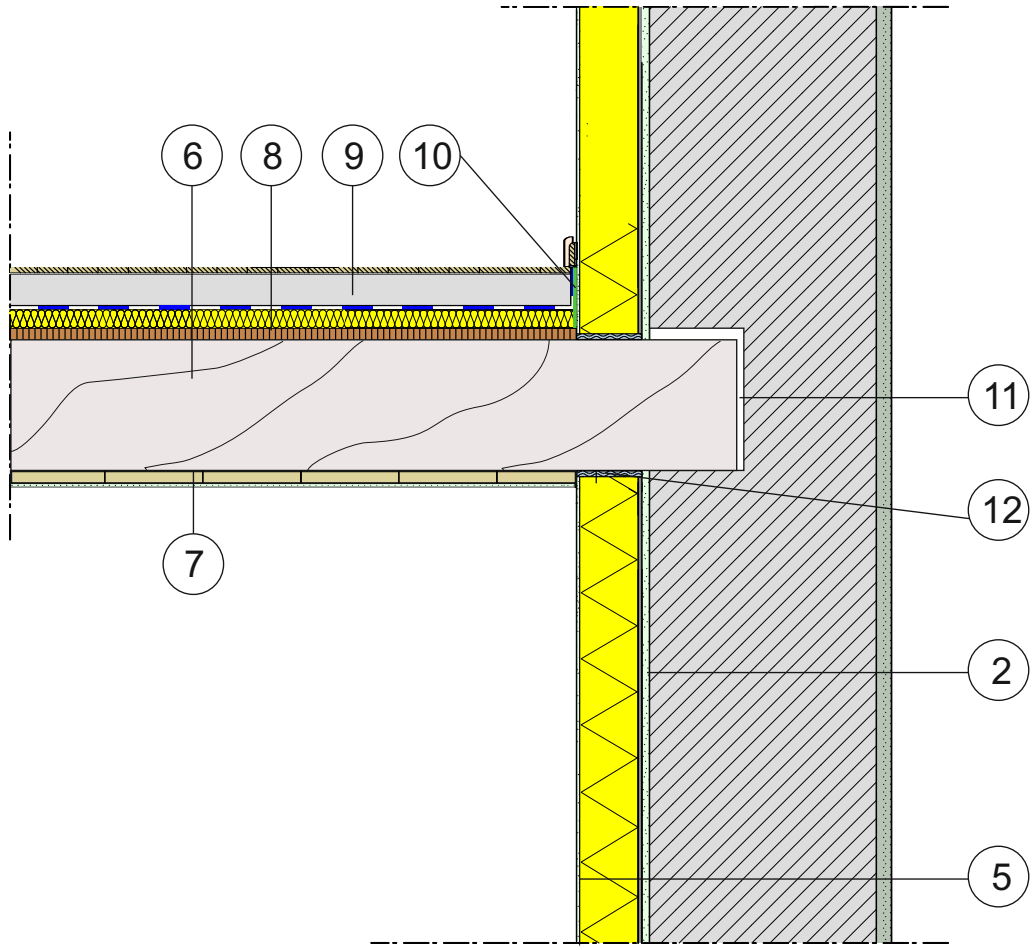
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Bestehende Holzbalkendecke (hier Balken) und Dielung
7	Bestehende Unterdecke
8	Ausgleichsschüttung
9	Neuer Fußbodenaubau mit schwimmendem Estrich auf schallschutztechnischer Entkopplung
10	Randdämmstreifen
11	Hohlraum zwischen Balkenkopf und Mauerwerk

Holzbalkendecke ohne Öffnung der historischen Decke Bereich Deckenbalken

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.6.1

IN2EuroBuild



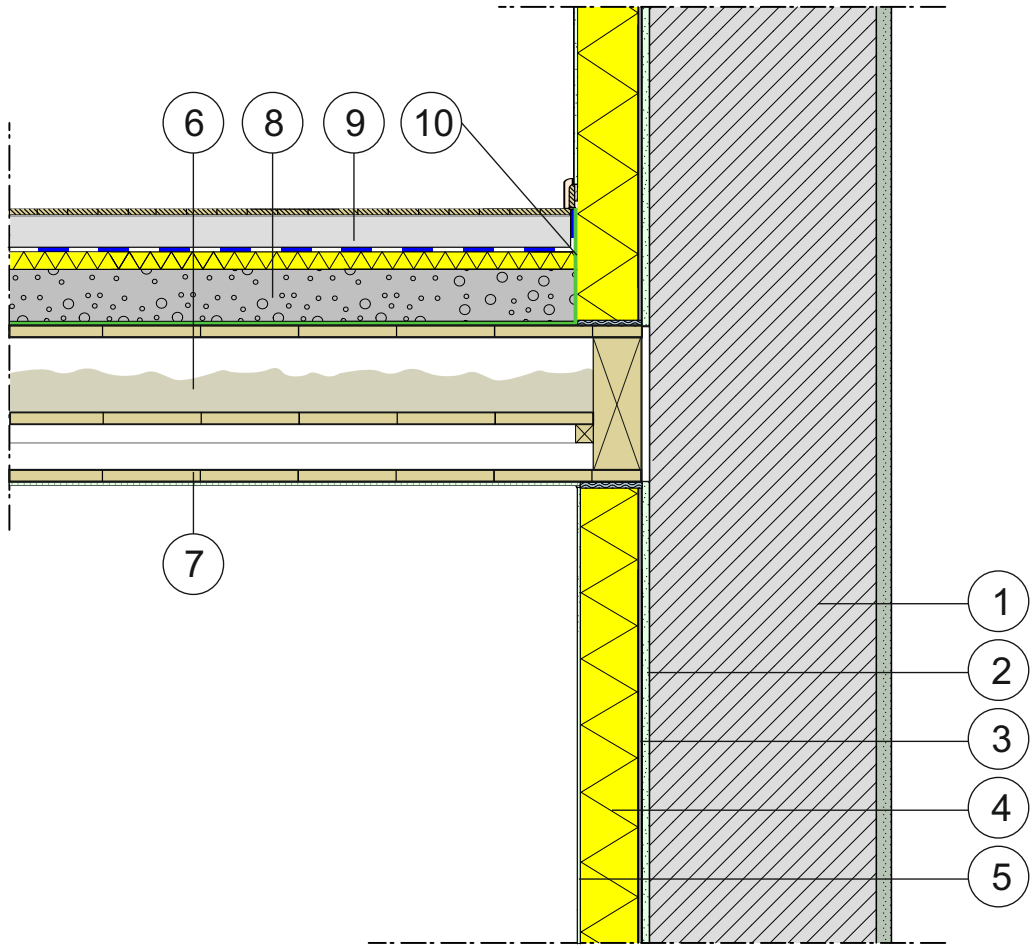
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Holzbalkendecke zurückgebaut, Einschub ggf. neu
7	Unterdecke neu bzw. angearbeitet
8	OSB-Platte neu
9	Neuer Fußbodenaubau mit schwimmendem Estrich auf schallschutztechnischer Entkopplung
10	Randdämmstreifen
11	Hohlraum zwischen Balkenkopf und Mauerwerk
12	Konvektionshemmender Anschluss umlaufend am Holzbalken

Holzbalkendecke mit Öffnung der historischen Decke Bereich Deckenbalken

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.7.1

IN2EuroBuild



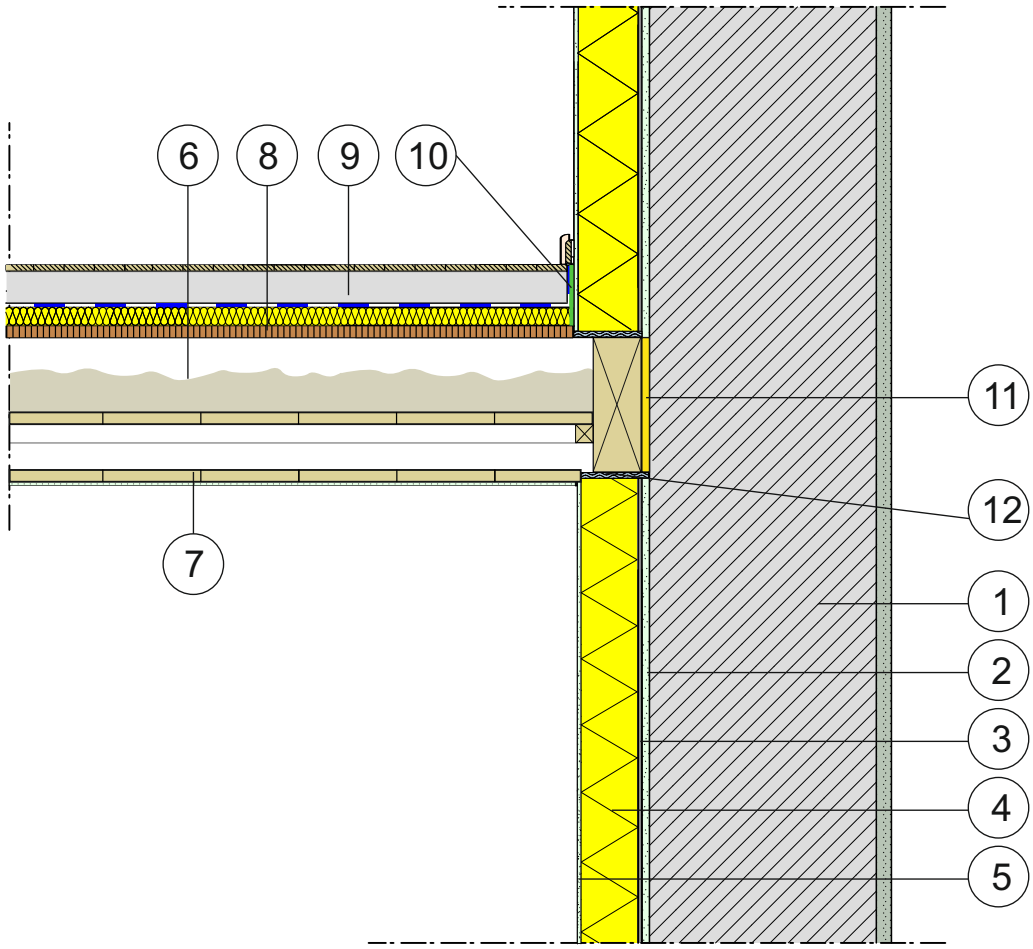
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Bestehende Holzbalkendecke mit Einschub und Dielung
7	Bestehende Unterdecke
8	Ausgleichsschüttung
9	Neuer Fußbodenaubau mit schwimmendem Estrich auf schallschutztechnischer Entkopplung
10	Randdämmstreifen

Holzbalkendecke ohne Öffnung der historischen Decke Bereich Streichbalken

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.8.1

IN2EuroBuild



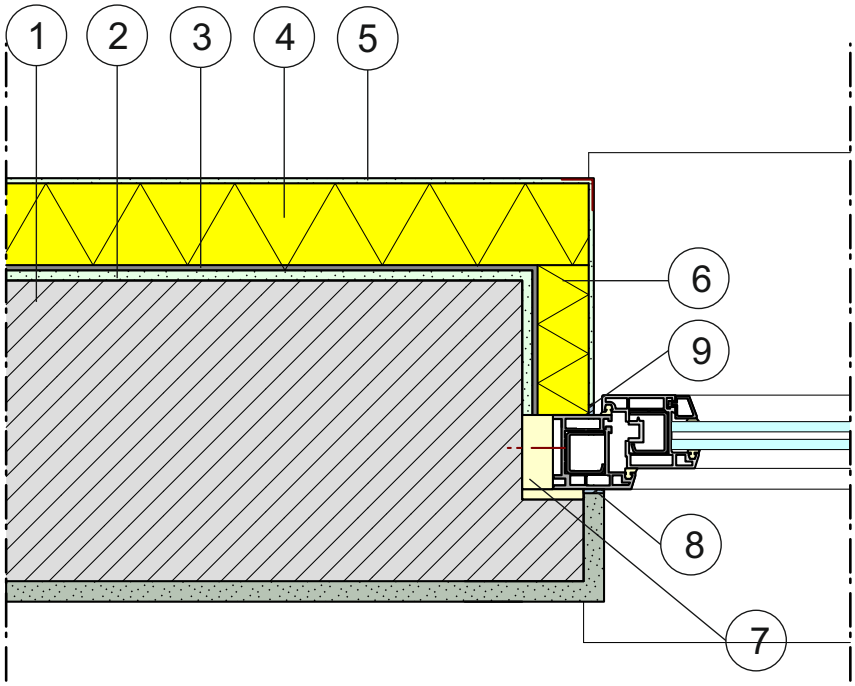
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Holzbalkendecke zurückgebaut, Einschub ggf. neu
7	Unterdecke neu bzw. angearbeitet
8	OSB-Platte neu
9	Neuer Fußbodenaubau mit schwimmendem Estrich auf schallschutztechnischer Entkopplung
10	Randdämmstreifen
11	Diffusionsoffene Dämmung hinter Streichbalken
12	Trennlage zur Innendämmung am Streichbalken

Holzbalkendecke mit Öffnung der historischen Decke Bereich Streichbalken

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
2.9.1

IN2EuroBuild



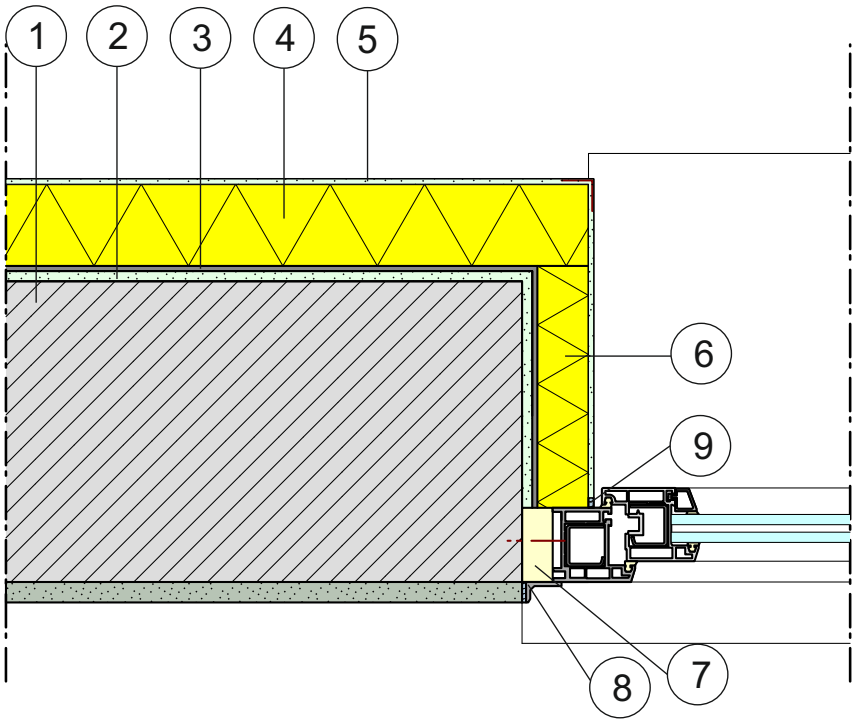
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Flankendämmung
7	Dämmlage zwischen Blendrahmen und Mauerwerk sowie Anschlag, z.B. PUR
8	Schlagregensicherer Anschluss, z.B. Kompriband, Anputzleiste
9	Anschlussband, Anputzleiste

Fensterlaibung mit Anschlag

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
3.1.1

IN2EuroBuild



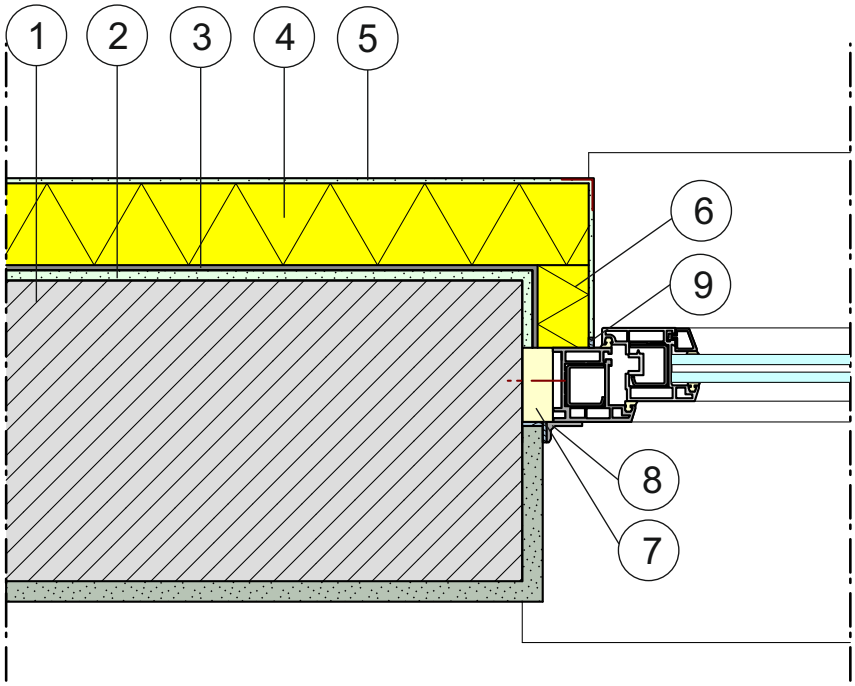
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Flankendämmung
7	Dämmlage zwischen Blendrahmen und Mauerwerk, z.B. PUR
8	Schlagregensicherer Anschluss, z.B. Kompriband, Abdeckleiste
9	Anschlussband, Anputzleiste

Fensterlaibung ohne Anschlag
Lage des Fensters außenbündig

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
3.2.1

IN2EuroBuild



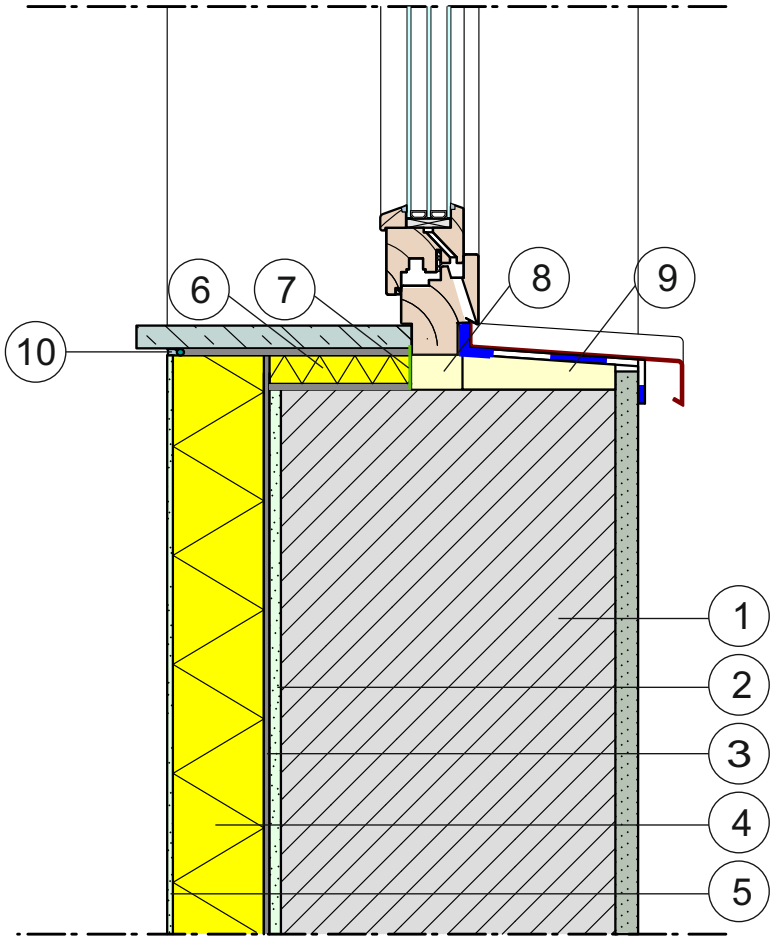
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Flankendämmung
7	Dämmlage zwischen Blendrahmen und Mauerwerk, z.B. PUR
8	Schlagregensicherer Anschluss, z.B. Kompriband, Abdeckleiste
9	Anschlussband, Anputzleiste

Fensterlaibung ohne Anschlag
Lage des Fensters mittig im Mauerwerk

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
3.3.1

IN2EuroBuild



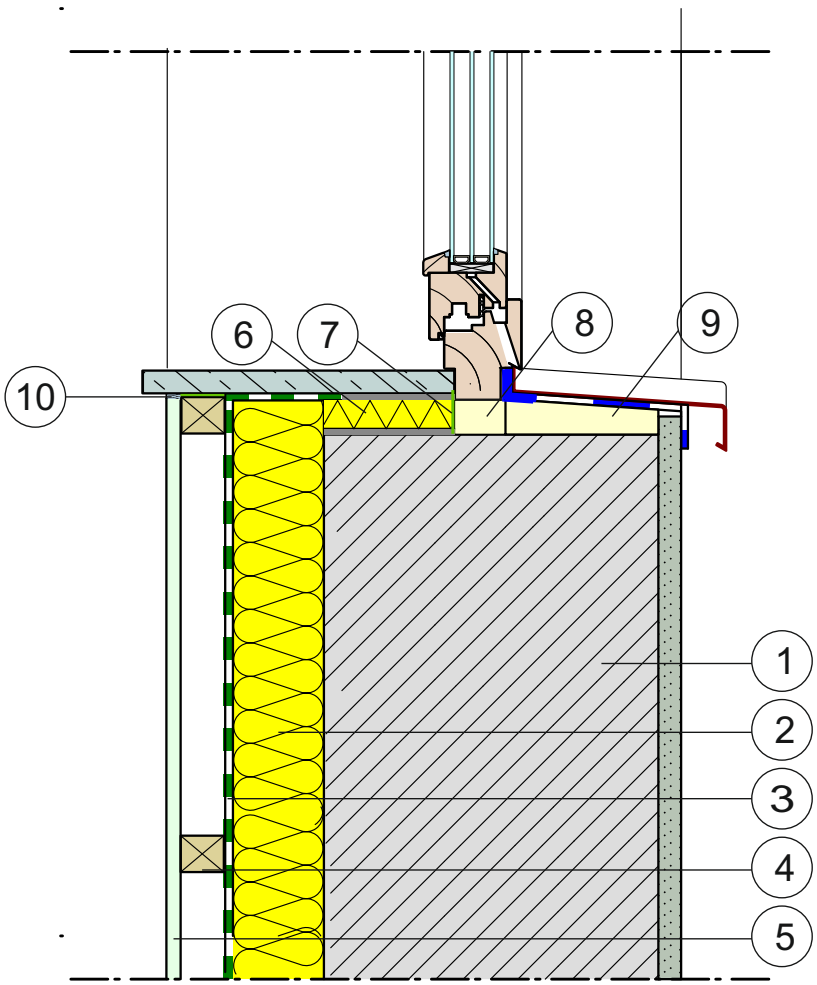
1	Bestandsmauerwerk
2	Ausgleichsputz
3	Klebemörtel
4	Dämmplatte
5	Oberflächenspachtel / diffusionsoffener Innenputz
6	Brüstungsdämmung, z.B. 3 cm XPS
7	Anschlussband
8	Dämmlage zwischen Blendrahmen und Mauerwerk, z.B. PUR
9	Dämmlage unter äußerer Fensterbank
10	Trennstreifen, Fuge

Fensterbrüstung
Lage des Fensters mittig im Mauerwerk

V1 - Diffusionsoffene, kapillaraktive Innendämmung

Detail
3.4.1

IN2EuroBuild



1	Bestandsmauerwerk
2	Faserdämmmatte zwischen Unterkonstruktion (bis unter Fensterbank)
3	Dampfbremse
4	Lattungsebene / Luft
5	Verkleidung, z.B. Gipskarton, OSB
6	Brüstungsdämmung, z.B. 3 cm XPS
7	Anschlussband
8	Dämmlage zwischen Blendrahmen und Mauerwerk, z.B. PUR
9	Dämmlage unter äußerer Fensterbank
10	Trennstreifen, Fuge

Fensterbrüstung in Mauerwerks-Bestandswand, Lage des Fensters mittig im Mauerwerk

V2 - Innendämmung mit Fasermatten und Dampfbremse

Detail
3.4.2

IN2EuroBuild – Einheitlicher europäischer Leitfaden für die Innendämmung von Bestandsbauten und Baudenkmälern

Fassadensanierungskonzept

Denkmalschutzanforderungen beachten, wenn erforderlich!

Art der Fassade

Putzfassade

Ziegelsichtfassade, Natursteinfassade, (Fachwerkfassade)

Kann Feuchtebelastung, z.B. aufsteigende Feuchte, Spritzwasserbelastung sowie durch sonstige Feuchteschäden und Salze ausgeschlossen werden?

Nein

Beseitigung der Feuchtequellen

Beachtung von Beschichtungen

Trocknungsmaßnahmen

Abdichtungsmaßnahmen

Umgang mit Salzen, Sanierungsmethoden

Nein

Kann Feuchtebelastung, z.B. aufsteigende Feuchte, Spritzwasserbelastung sowie durch sonstige Feuchteschäden und Salze ausgeschlossen werden?

Ja

Ja

Fassade intakt? Keine Schäden, Risse? Wasserabweisender Anstrich vorhanden?

Nein

Riss- und Putzsanierung

Herstellen eines wasserabweisenden Anstriches

Ja

Fassade intakt? Keine Schäden an Ziegeln und Fugen, keine Risse, Algen?

Nein

Schäden beseitigen Vorarbeiten an der Fassade ausführen

Schonende Fassadenreinigung

Fugensanierung

Risssanierung

Kriterien für Materialaustausch

Antigrafitti- Beschichtungen

Ja

Schlagregenbelastung an der Fassade relevant?

Ja

Schlagregenschutz erfüllt?
$w \cdot s_d \leq 0{,}1$ kg/mh$^{0.5}$
mit **$s_d \leq 1{,}0$ m** und
$w \leq 0{,}2$ kg/m^{2}h$^{0.5}$

Nein

Schutz durch konstr. Maßnahmen möglich?

Ja

Konstruktive Maßnahmen vorsehen

Nein

Hydrophobierende Maßnahme an der Fassade möglich?

Ja

Bemessung einer Hydrophobierungs-maßnahme

Nein

Nein

Bauteilanschlüsse wie Konstruktionsübergänge, Fugen, Fensteranschlüsse, Fensterbänke beachten

Ja

ggf. Begrenzung der Dämmstärke erforderlich, Nachweis des Innendämmsystems über Simulation erforderlich

Weiter zum Dämmkonzept

Legende

- einfache Lösung, für 70-80% aller Fälle anwendbar
- Überprüfung, ggf. Maßnahmen erforderlich
- Mehraufwand, Fachplaner /-firma hinzuziehen

IN2EuroBuild – Einheitlicher europäischer Leitfaden für die Innendämmung von Bestandsbauten und Baudenkmälern

Dämmkonzept

Legende
- einfache Lösung, für 70-80% aller Fälle anwendbar
- Überprüfung, ggf. Maßnahmen erforderlich
- Mehraufwand, Fachplaner /-firma hinzuziehen

Festlegung des gewünschten Dämmstandards

- Mindestwärmeschutz oder Effizienzhausniveau?
- Gesamtsanierung oder Einzelmaßnahmen?
- Kostenrahmen?
- Nutzungskonzept (z.B. mit Keller oder Schwimmbad...?)

Bautechnische Einschränkungen? — Ja:
- Beschaffenheit und Ebenheit der Wand, Eignung der Oberfläche ?
- Tragfähigkeit der Wand?
- Materialspezifische Unverträglichkeiten?
- Starke mechanische Beanspruchung der Oberfläche geplant?

Nein → Berücksichtigung bei Auswahl des Dämmsystems

Bauphysikalische Einschränkungen? — Ja:
- Trocknungspotenzial?
- Feuchtebeständigkeit der Bestandswand?
- Nutzungskonzept (z.B. stark differierende Nutzungsanforderungen?)
- Brand- und schallschutztechnische Anforderungen?

Nein → Berücksichtigung bei Auswahl des Dämmsystems

Betriebswirtschafliche Vorauswahl

Vorauswahl von Innendämmsystemen — Übersicht Dämmsysteme

Schlagregenschutz gewährleistet bzw. keine Belastung? — Nein → Abstimmung Maßnahme

Ja

Hohe innere Feuchtelasten?

Ja → Bevorzugt diffusionsdichte Dämmsysteme

Nein → Freie Dämmsystemwahl

Abstimmung Maßnahme → Bevorzugt diffusionsoffene und kapillaraktive Dämmsysteme

Nachweisverfahren, 1-dimensionale Wandaufbauten — Überblick Bewertungskriterien

Stufe 1
Nachweisfreie Konstruktionen

Anwendungs-voraussetzungen gem. DIN 4108-3 erfüllt ?

Nein → **Stufe 2**
Vereinfachter Nachweis gemäß WTA 6-4

Anwendungs-voraussetzungen gem. WTA 6-4 erfüllt ?

Nein → **Stufe 3**
Genauer Nachweis durch hygrothermische Simulation

Ja

Kapillaraktives Dämmsystem gewünscht ?

Nein → Dämmsysteme ohne Berücksichtigung der kapillaren Eigenschaften

Ja → Diffusionsoffene kapillaraktive Dämmsysteme (ΔR <2.5 [m²K/W])

Feuchtelast

Raumklima mit niedriger Feuchtelast nach WTA 6-2

Untergrund

- Gut saugender Untergrund w≥ 1 [kg/m²√h] (Anwendungsbereich I)
- Mäßig saugender Untergrund w≥ 0.2 [kg/m²√h] (Anwendungsbereich II)

Raumklima mit normaler Feuchtelast nach WTA 6-2 → Gut saugender Untergrund w≥ 1 [kg/m²√h] (Anwendungsbereich III)

Dämmstoff und Untergrund frostbeständig?

Ja → Grenzfeuchte ≤ 99% r.F. (Kategorie entsprechend A/B)

Nein → Grenzfeuchte ≤ 95% r.F. (Kategorie entsprechend A)

Exemplarische Tabelle zur Klassifizierung generischer Dämmstoffe nach den Anwendungsfällen

Nein → Grenzfeuchte ≤ 99% r.F. (Kategorie entsprechend A/B)

Ja

„Worst case“ Auswahl treffen
- Feuchtekritischste Ausrichtung der Gebäudefassade,
- Schlagregenbelastung nimmt mit Gebäudehöhe zu
- Geringste Wandstärke

Simulationsrandbedingungen gemäß WTA 6-5 bezüglich Material, Klimarand- und Anfangsbedingungen beachten

Simulation der ungedämmten Bestandskonstruktion * als Referenzrechnung 1D/ 2D, stationär, instationär

Anpassung der Randbedingungen bzw. Konstruktion *

Nein

Plausibilität vorhanden? — Hinweis: Feuchte bei eingeschwungener Simulation = vorgefundenem Zustand?

Ja

Simulation der innen gedämmten Konstruktion Dämmsystem / Randbedingungen Var. 1 — Link zum Tutorial zum Import von Wassergehaltsprofilen als Anfangswassergehaltsprofil in der Simulationssoftware

ggf. Variantenvariation mit unterschiedlichen Systemen oder Dämmstoffstärken

Vergleich mit der Referenzrechnung sowie Vergleich der Dämmsysteme untereinander — Exemplarische Bewertungskriterien:
- Wirtschaftliche und ökologische Betrachtung
- thermisches und hygrisches Verhalten
- Schadensfreiheit (Schimmel, Kondensat, Frost) an der Oberfläche bzw. Grenzschicht
- Wassergehalt Gesamtkonstruktion

Empfehlungen zur Anwendung

$R_{ID} \leq 0{,}5$ m²K/W

$0{,}5$ m²K/W $\leq R_{ID} \leq 1{,}0$ m²K/W → Innendämmsystem + raumseitige Bekleidung: $S_d \geq 0{,}5$ m

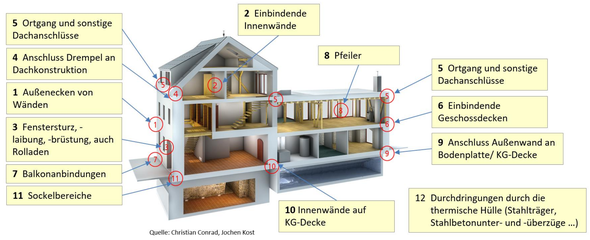
Dämmsysteme ohne Berücksichtigung der kapillaren Eigenschaften → Anwendung des Diagrammverfahrens gemäß WTA 6-4

Untergrund

- Gut saugender Untergrund w > 1,0 kg/m²√h → $R_{ID} \leq 2{,}5$ m²K/W
- Schlecht saugender Untergrund w < 0,2 kg/m²√h → $R_{ID} \leq 2{,}0$ m²K/W Ausnahme: $R_{ID} \leq 2{,}5$ m²K/W *1

*1 bei Verwendung einer feuchtevariablen Dampfbremse

Betrachtung der konstruktiven Anschlussdetails gemäß Detailkatalog, Wärmebrückenberechnung oder im Bedarfsfall hygrothermische Simulation



Quelle: Christian Conrad, Jochen Kost