

BAUFORSCHUNG FÜR DIE PRAXIS, BAND 98

Rainer Oswald, Matthias Zöller, Géraldine Liebert, Silke Sous

Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen (nach EnEV 2009)

Fraunhofer IRB Verlag

Die vorliegende Arbeit wurde unter dem Förderkennzeichen
Z 6 – 10.08.18.7-08.27; II2-F20.08-48; II2-F 20.09-044 / F 2781 vom Bundesamt
für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, mit Mitteln der Forschungsinitiative
Zukunft Bau gefördert. Für den Inhalt sind allein die Verfasser verantwortlich.

Druck und Weiterverarbeitung:

IRB Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **Fraunhofer IRB Verlag**, 2011

ISBN 978-3-8167-8552-1

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 0711 970-2500, Telefax 0711 970-2508

E-Mail info@irb.fraunhofer.de

URL www.baufachinformation.de

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warennamen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen werden oder aus ihnen zitiert werden, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Bitte beachten:

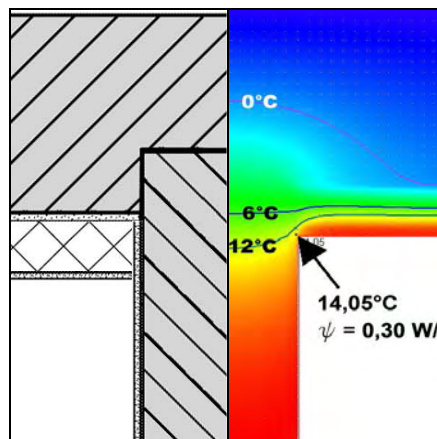
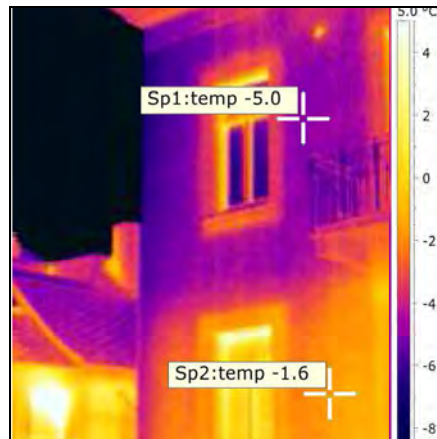
Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

Energetisch optimierte Gründerzeithäuser

Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen unter besonderer
Berücksichtigung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung von April 2009

Abschlussbericht



Energetisch optimierte Gründerzeithäuser -

Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung von April 2009

Abschlussbericht

Gefördert vom: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung,
Bonn

Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7-08.27

Bearbeitet durch: AIBAU
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik, gGmbH, Aachen

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Oswald
Dipl.-Ing. Matthias Zöller

Bearbeiter/Autoren: Dipl.-Ing. Géraldine Liebert
Dipl.-Ing. Silke Sous

Aachen, im Dezember 2010

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung / Initiative Zukunft Bau gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Bearbeitern.

INHALT:

1.	Einleitung.....	9
1.1	Aufgabenstellung und Forschungsansatz.....	9
1.2	Ziel und Eingrenzung der Arbeit	9
2.	Vorgehensweise / Datenermittlung.....	11
2.1	Literaturrecherche / Sachverständigenumfrage.....	11
2.2	Ergebnisse aus Recherche und Umfrage	11
2.2.1	Gebäudenutzung.....	13
2.2.2	Außenwandaufbau und weitere Randbedingungen	13
2.2.3	Material der Innendämmung und diffusionstechnische Eigenschaften.....	14
2.2.4	U-Werte der innen gedämmten Außenwandkonstruktionen	16
2.2.5	Auswertbarkeit der vorliegenden Umfrageergebnisse	17
2.3	Dank.....	17
3.	Systemvergleich Außen-/Innendämmung.....	19
3.1	Außendämmung.....	19
3.2	Innendämmung	20
4.	Rechnerische Nachweisverfahren	22
4.1	Nachweisverfahren nach DIN 4108 (Tauwassernachweis nach Glaser und Temperaturfaktor f_{Rsi})	22
4.2	Nachweisfreie Konstruktionen	23
4.3	Nachweis mit hygrothermischer Simulationsrechnung	24
4.4	Vereinfachter Nachweis nach Planungsleitfaden WTA.....	25
5.	Regelquerschnitt bei Innendämmungen	27
5.1	Diffusionstechnische Eigenschaften des Dämmsystems.....	27
5.2	Dämmschichtdicke	29

Inhalt	
5.3	Schlagregenschutz 31
5.4	Hinterströmen des Dämmsystems..... 34
5.5	Schall- und Brandschutz..... 36
5.6	Zusammenfassung zur Ausbildung des Regelquerschnittes bei Innendämmungen 37
6.	Grundsätzliche Aspekte bei der Detailgestaltung von Unterbrechungen bei Innendämmungen..... 39
6.1	Unterbrechungen des Dämmsystems in der Fläche 39
6.2	Unterbrechungen des Dämmsystems an Rändern 40
7.	Fensteranschlüsse 43
7.1	Dämmung der Fensterleibung 43
7.2	Möglichkeiten zum Erhalt alter Fenster..... 47
7.3	Lage des Fensters im Bauteilquerschnitt..... 48
7.4	Anschluss der Luftdichtheitsebene an die Fensterkonstruktion 51
7.4.1	Diffusionsoffenes Dämmsystem 51
7.4.2	Dämmsystem mit raumseitiger Dampfsperre..... 53
7.5	Zusammenfassung zur Ausbildung von Fensteranschlüssen bei Innendämmungen 54
8.	Einbindende Bauteile..... 55
8.1	Erfordernis flankierender Maßnahmen an einbindenden Bauteilen 55
8.2	Möglichkeiten zur Entschärfung von Wärmebrücken..... 56
8.3	Massive Trennbauteile 58
8.3.1	Mauerwerksinnenwände 58
8.3.2	Stahlbetondecken 60
8.4	Leichte Trennbauteile 62
8.4.1	Fachwerkinnenwände und Holz-/Metallständerwände..... 62
8.4.2	Holzbalkendecken..... 63

8.5	Zusammenfassung zur Anschlussausbildung von einbindenden Bauteilen bei Innendämmungen	67
9.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Forschungsarbeit.....	69
9.1	Grundsätzliches.....	69
9.2	Weiterer Forschungsbedarf	71
10.	Objektdokumentation.....	73
11.	Anhang	123
11.1	Erhebungsbogen	125
11.2	Literatur	127
11.2.1	Fachbücher und Fachaufsätze	127
11.2.2	Normen und Regelwerke.....	134

1. Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Forschungsansatz

Deutschlandweit weisen Gründerzeitgebäude in der Regel nur ein geringes wärmeschutztechnisches Niveau auf und bergen bei energetischen Modernisierungen große Einsparpotenziale [IWU 1997]. Eine heizenergiesparende Ertüchtigung der Gebäudehülle an der insbesondere in Innenstadtlagen ortsbildprägenden, meist denkmalgeschützten Bausubstanz kann häufig nur mit Innendämmungen erreicht werden. Der Gebäudetyp der Gründerzeithäuser wurde ausgewählt, weil er sehr häufig vorkommt und außenliegende Dämmmaßnahmen an den meist aufwändig gestalteten Fassaden nicht realisierbar sind. Viele ältere Gebäude anderer Konstruktionstypen verfügen über ähnliche Details, daher können die Ergebnisse der Forschungsarbeit können daher häufig angewendet werden.

Die Energieeinsparverordnung vom April 2009 [EnEV 2009] schreibt bei Ersteinbau / Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen auf der Innenseite sowie bei der Außenputzerneuerung an bestehenden Gebäuden mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten $> 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ einen U-Wert von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor. Die Auswirkungen dieser Forderung auf die Baupraxis sollen analysiert und hinsichtlich z. B. der Umsetzbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Nutzbarkeit der Immobilien bewertet werden. Zurückliegende - meist theoretische - Untersuchungen und eigene Schadenserfahrungen bei ausgeführten Objekten haben gezeigt, dass eine energetische Modernisierung mit Innendämmungen, die die Einhaltung eines solchen U-Wertes zum Ziel hat, in bestimmten Anwendungssituationen problematisch und schadensauslösend sein kann.

1.2 Ziel und Eingrenzung der Arbeit

Ziel und Schwerpunkt der Forschungsarbeit ist die Darstellung und Entwicklung von in der Baupraxis anwendbaren Detaillösungen für die energetische Modernisierung von Gebäudeaußenwänden mit Innendämmungen. Die beiden wesentlichen Detailausbildungen

Einleitung

sind der Anschluss der inneren Dämmebene an einbindende Bauteile (z. B. Wände und Decken) und der im Bereich von Fensterleibungen. Für beide werden bei hohem energetischen Wärmeschutzniveau häufig unproblematische Lösungen ausgeführt, wobei aber ein hoher Aufwand bei hohen Kosten entsteht. Mit der vorliegenden Untersuchung wird anhand von Berechnungen und an ausgeführten Beispielen untersucht, ob auch weniger aufwändige Konstruktionen gut funktionieren. Dabei werden die erforderlichen Maßnahmen ermittelt, die je nach Bauart variieren können.

Planern und Ausführenden werden die komplexen bauphysikalischen Zusammenhänge bei Innendämmmaßnahmen erläutert und anhand von ausgeführten Objekten Lösungsmöglichkeiten für einzelnen Detailpunkte aufgezeigt. Durch die Untersuchung bereits energetisch modernisierter Gebäude - wie im Folgenden detailliert begründet, wird sich die Forschungsarbeit nicht auf Gründerzeitgebäude beschränken - , bauphysikalische Berechnungen und Schadenserfahrungen aus der Gutachtertätigkeit können Konstruktionsempfehlungen hergeleitet und dargestellt werden.

Die Untersuchung beschäftigt sich mit den Grenzen des sinnvollen Wärmeschutzes bei Altbauten und damit, ob energetische Modernisierungen an kritischen Konstruktionen zu Schäden führen können. Die im Rahmen von Modernisierungen mögliche Primärenergieeinsparung ist allerdings nicht Schwerpunkt der Arbeit, sondern vor allem die Aspekte der Schadensvermeidung. Mit dem energetischen Einsparungspotenzial hat sich das Passivhaus Institut [Feist 2005] beschäftigt.

Planer und Ausführende erhalten in der Baupraxis anwendbare Konstruktionsempfehlungen und Detaillösungen für die energetische Modernisierung der Außenhülle von Altbauten, die nicht das technisch erzielbare Maximum des Wärmeschutzes darstellen, sondern abgestuft nach sinnvollen Grenzen handhabbare Lösungen erläutern.

2. Vorgehensweise / Datenermittlung

2.1 Literaturrecherche / Sachverständigenumfrage

Zu Beginn der Forschungsarbeit stand eine umfangreichen Literaturrecherche, die auch eine Auswertung eigener Gutachten des dem Institut angegliederten Bausachverständigenbüros von Prof. Dr.-Ing. R. Oswald und Dipl.-Ing. G. Dahmen zum Thema „Innendämmungen“ umfasste. Das Büro befasst sich seit über 30 Jahren mit der Bewertung von Schäden an Gebäuden, neben der Gutachtertätigkeit werden auch Baumaßnahmen bauphysikalisch beraten und deren Ausführung begleitet.

Parallel hierzu wurden 1.135 öffentlich bestellte und vereidigte Bausachverständige mit den Bestellungsgebieten: Schäden an Gebäuden, Bautenschutz, Bauphysik, Wärme- und Schallschutz angeschrieben und nach ihren Erfahrungen zu Gebäudemodernisierungen mit Innendämmungen befragt, bei denen das Anforderungsniveau der [EnEV 2009] erreicht wurde.

Inhalte des vom AIBAU entwickelten Fragebogens (s. Kapitel 1.1) waren neben der Anschrift der Objekte und deren Baujahr auch der Zeitpunkt inzwischen durchgeführter Modernisierungen. Zugleich wurde gefragt, ob Pläne oder Fotos vorhanden sind und ob eine Besichtigung der benannten Objekte im Rahmen der Forschungsarbeit möglich ist.

2.2 Ergebnisse aus Recherche und Umfrage

Von den 1.135 angeschriebenen Personen haben 178 geantwortet. Dies entspricht einem Rücklauf von etwa 15,7 %. Auch wenn die durchgeführte Umfrage nicht als statistisch repräsentativ gelten kann, sind einige Hinweise und Informationen allgemeiner Art und zu konkreten Objekten in die vorliegende Forschungsarbeit eingeflossen.

19 Umfrageteilnehmer (ca. 11 %) gaben an, dass sie in den letzten fünf Jahren etwa 60 Modernisierungen mit Innendämmungen mit Anforderungen auf dem Niveau der [EnEV 2009] beraten oder geplant haben. Als Ergebnisse aus der Recherche und der o. g. Umfrage wurden 36 deutschlandweit verteilte Gebäude genauer ausgewertet (s. Abb. 1).

Zu 28 Objekten konnten detaillierte Informationen zusammengetragen werden. Diese umfassen das Gebäudealter und das Jahr der Modernisierung sowie die wesentlichen konstruktiven Merkmale und Besonderheiten der Gebäude wie z. B. die Außenwand- und Deckenkonstruktionen und das zur Innendämmung verwendete Material. Bei einem Gebäude wurden zu Vergleichszwecken fünf unterschiedliche Innendämmvarianten in unterschiedlichen Räumen ausgeführt. Bei einem weiteren Gebäude war dieselbe Außenwand eines Zimmers mit zwei unterschiedlichen Dämmstoffen bekleidet.



Abb. 1: Lage der Untersuchungsobjekte

Bei den benannten Gebäuden handelte es sich nicht nur um innerstädtische Gründerzeitgebäude, die etwa ein Viertel der Untersuchungsobjekte ausmachen. Von Kollegen wurden auch zahlreiche Bauernhäuser und Gutshöfe benannt, für die die Art der Umfrage angepasst wurde, um eine breitere Basis für die Aussagen der Forschungsarbeit zu schaffen.

Nach dem Einholen genauerer Informationen bei den Sachverständigen bzw. Eigentümern wurden für zehn der zur Verfügung stehenden Gebäude Besichtigungstermine vereinbart. Diese Häuser konnten detailliert in den wesentlichen Bereichen in Augenschein genommen werden. Zerstörende Untersuchungen sind verständlicherweise nicht durchgeführt worden. Da die Besichtigungen im sehr langen und kalten Winter 2009/2010 durchgeführt wurden, konnten aussagekräftige thermografische Untersuchungen durchgeführt werden. Bei einigen Objekten wurden die Dämmmaßnahmen im bewohnten Objekt nacheinander raumweise ausgeführt. Zum Zeitpunkt der Besichtigung war der Einbau noch nicht vollständig

abgeschlossen, sodass auch eine Untersuchung und Dokumentation der einzelnen Einbauschritte möglich war.

Zusätzlich zu den von den Besitzern / Nutzern / Sachverständigen zur Verfügung gestellten Planunterlagen und Fotos wurden die Feststellungen der Begehungen von den Autoren mithilfe eines Erhebungsbogens dokumentiert (s. Kapitel 11.1).

2.2.1 Gebäudenutzung

Bei den untersuchten Gründerzeitgebäuden handelt es sich um innerstädtische Mehrfamilienwohnhäuser aus der Zeit von Ende des 19. bis Mitte des 20. Jahrhunderts, die im Erdgeschoss häufig Ladenlokale oder Praxen und in den oberen Geschossen Wohnungen aufweisen.

Die ursprüngliche Absicht, die Forschungsarbeit auf baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen bei Gründerzeithäuser zu beschränken, konnte aufgrund der von den Architekten und Sachverständigen benannten Untersuchungsobjekte nicht beibehalten werden. Daher wurden im Rahmen der Forschungsarbeit auch industriell genutzte Gebäude aus der Jahrhundertwende untersucht, die zu Wohnzwecken teilweise in Kombination mit Büros umgebaut worden waren. Weiterhin wurden freistehende Einfamilienhäuser wie Bauernhäuser und Gutshöfe aus dem 19. Jahrhundert besichtigt.

2.2.2 Außenwandaufbau und weitere Randbedingungen

Bei den für die Untersuchung zur Verfügung stehenden Gebäuden waren in 15 Fällen die Außenwände als Sichtmauerwerkskonstruktionen (Ziegel oder Bruchstein) ausgeführt worden, bei zwei Objekten war die Außenwandkonstruktion im Zuge der Modernisierungsarbeiten hydrophobiert worden. Bei sieben Gebäuden war das Außenwandmauerwerk geschlämmt bzw. verputzt. Die Mauerwerksdicken schwankten je nach Art und Konstruktionsprinzip zwischen 38 und 50 cm. Weiterhin waren auch Fachwerkbauten Bestandteil der Untersuchung. In einem Fall waren Stahlbetonfertigteile verwendet worden. Bei 20 der 28 Gebäude waren die Fensterleibungen im Rahmen der

Modernisierungen je nach verwendetem Dämmstoff und in Abhängigkeit von dessen Wärmeleitfähigkeit mit 20 – 50 mm zusätzlich gedämmt worden. Bei 13 Objekten bestanden die Geschossdecken aus Holzbalkendecken, deren Anschlüsse an die Außenwand in sechs Fällen in die Innendämmmaßnahmen miteinbezogen worden waren.

Die Innendämmung der äußeren Gebäudehülle wurde meist nicht als einzelne Maßnahme ausgeführt, sondern häufig mit der Erneuerung der Fenster oder der Wärmeversorgungsanlage kombiniert.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass in keinem der beschriebenen / besichtigten Gebäude auf den Innenoberflächen der Außenwände Schäden festzustellen sind, die auf den nachträglichen Einbau der Innendämmung zurückgeführt werden können.

In einigen Gebäude war jedoch festzustellen, dass Innendämmungen auch funktionieren können, wenn die im Folgenden empfohlenen Konstruktionsregeln nicht eingehalten worden waren. In diesen Fällen kann das Ausbleiben der eigentlich zu erwartenden Schäden mit dem auf die bauliche Situation abgestimmten Heiz-/ Lüftungsverhalten der Nutzer erklärt werden.

2.2.3 Material der Innendämmung und diffusionstechnische Eigenschaften

Als Materialien für Innendämmungen waren bei acht Gebäuden Mineralwolle, bei sieben Mineraldämmplatten und bei sechs Zelluloseschüttungen verwendet worden. Viermal wurden Polystyrolämmplatten eingebaut. Weniger häufig wurden Innendämmungen aus Calciumsilikat- bzw. Holzfaser-/Korkdämmplatten ausgeführt (s. Abb. 2). Ebenfalls gering war der Anteil der Polyurethan-Hartschaum-Dämm-Paneele bzw. Vakuum-Isolations-Paneel-Elemente.

In zwölf Fällen waren die diffusionsoffenen Dämmstoffe wie Calciumsilikat-, Holzfaser-, Kork- oder Mineraldämmplatten unmittelbar verputzt worden (rote Balken in Abb. 2). Bei eigentlich diffusionsoffenen Dämmstoffen wie Mineralwolle oder Zelluloseschüttungen waren fünf mal feuchtheadaptive Dampfsperren unterhalb der raumseitigen Bekleidung eingebaut

worden (orange Balken in Abb. 2). Die übrigen Innendämmungen mit Mineralwollematten wurden mit Dampfsperren versehen. Die Innendämmungen aus Zelluloseschüttungen wurden zwischen einem Ständerwerk aus Konstruktionsvollholz eingebracht und mit OSB-Platten bekleidet, deren Fugen dampfdicht verklebt wurden, so dass diese als diffusionsdichtes Dämmsystem zu bewerten sind (gelbe Balken in Abb. 2). Hierzu zählen ebenfalls aufgrund des hohen Diffusionswiderstandes des Materials Innendämmungen aus Polystyrol- und Polyurethanplatten sowie Vakuumisulationspaneele.

Gebäude mit Schaumglasdämmungen standen für die Erhebung nicht zur Verfügung, da die Anwendungshäufigkeit dieses Dämmstoffs bei Innendämmungen offenbar gering ist.

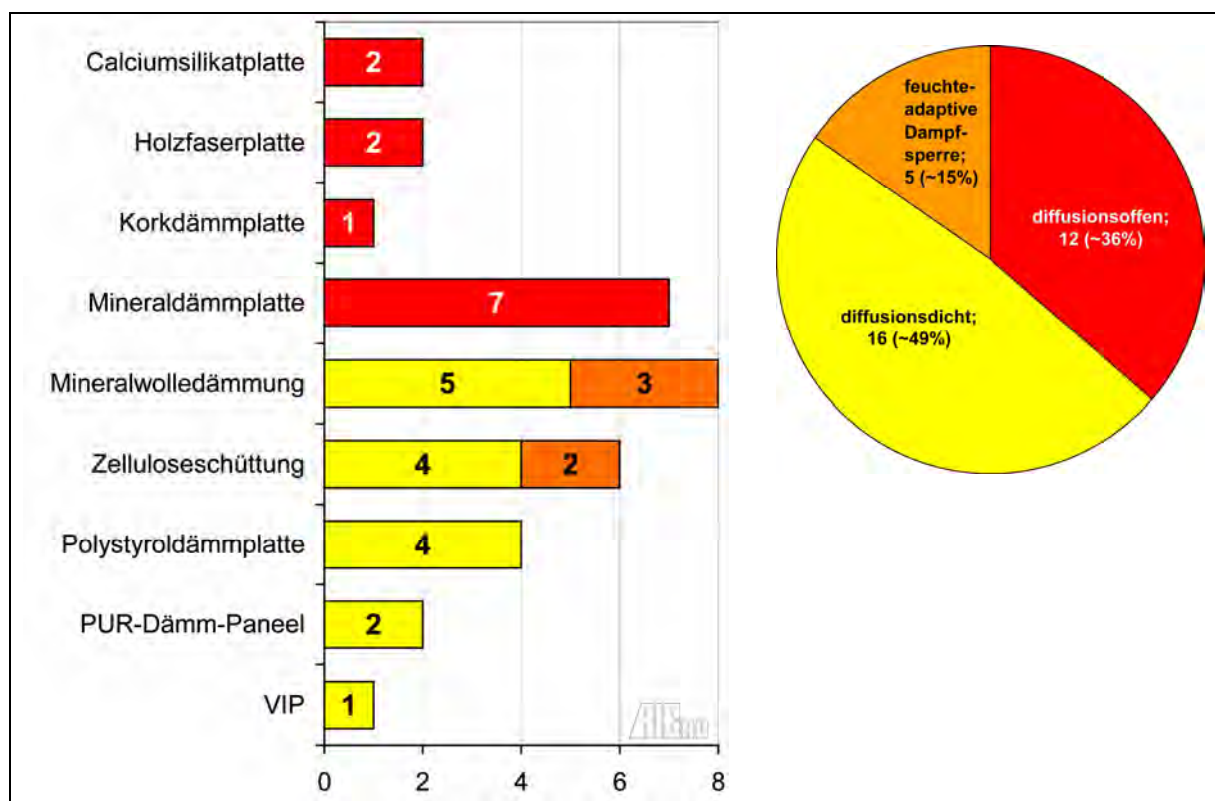


Abb. 2: Art und Anzahl der für die Innendämmungen verwendeten Materialien (links) sowie Art und Anzahl der eingebauten Dämmsysteme (rechts)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass kein deutlicher Schwerpunkt hinsichtlich diffusionsoffener (ca. 36 %) oder diffusionsdichter Dämmsysteme (ca. 49 %) abgeleitet werden kann (zur Definition diffusionsoffen/diffusionsdicht s. Kapitel 5.1).

2.2.4 U-Werte der innen gedämmten Außenwandkonstruktionen

Zwölf der 28 Gebäude erfüllen mit einem U-Wert unter $0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ die Anforderungen der [EnEV 2009]. Fünf dieser Gebäude sind noch vor Inkrafttreten der [EnEV 2002] modernisiert worden, so dass eine mehrjährige Praxisbewährung der dort ausgeführten Konstruktionen nachgewiesen ist. Zehn weitere Gebäude halten den nach EnEV 2002 – 2007 [EnEV 2002/2007] gültigen Grenzwert $\leq 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ein (s. Abb. 3).

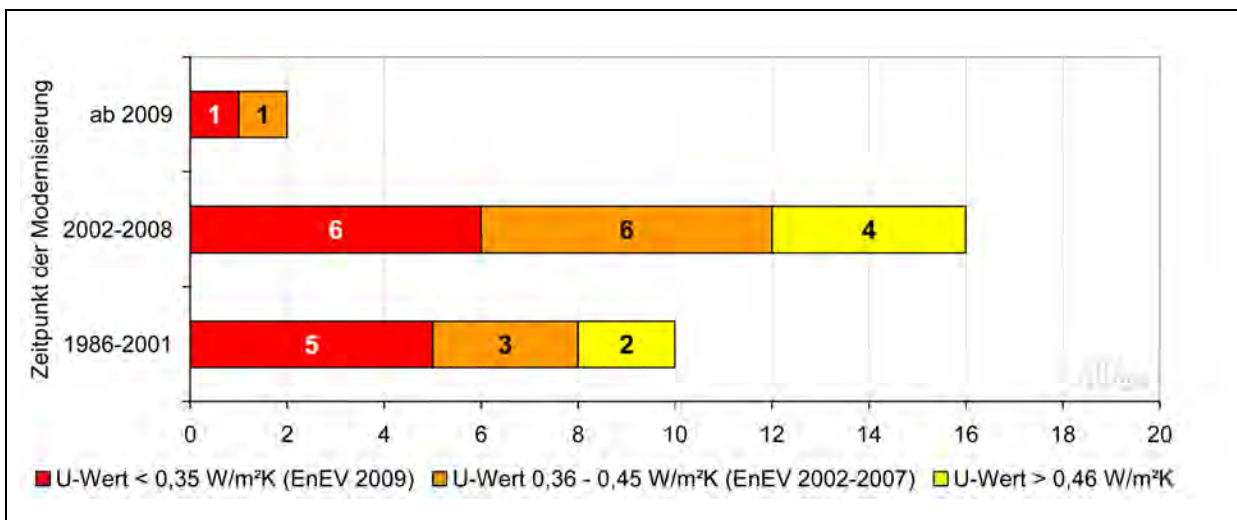


Abb. 3: Anzahl der benannten Objekte, Zeitpunkt der Modernisierung und Darstellung der U-Werte der realisierten Außenwandkonstruktionen

Die langjährige baupraktische Bewährung innen gedämmter Gebäude auf hohem energetischen Niveau konnte vertiefend bei einem Gebäude überprüft werden. Dazu wurde ein vor etwa 25 Jahren modernisierter und unter Denkmalschutz stehender Gutshof, der von den Gesellschaftern des AlBau damals bauphysikalisch beraten wurde, erneut besichtigt. Die damalige Vorgabe des Bauherrn war die Einhaltung eines mittleren k-Wertes von $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Verlust von Wohnraumfläche oder die Höhe der tatsächlichen Baukosten waren von untergeordneter Bedeutung. Daher konnte ein umfassendes und konstruktiv aufwändiges Modernisierungspaket vorgeschlagen und ausgeführt werden. Folgende Maßnahmen wurden durchgeführt: abschnittsweiser Einbau einer nachträglichen Querschnittsabdichtung (Schutz gegen aufsteigende Feuchte), die Außenwände wurden weiß geschlämmt (Verbesserung des Schlagregenschutzes), Einbau einer 12 cm dicken Mineralwollgedämmschicht ($\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$), Systemaufbau mit Dampfsperre und innerer Vormauerschale, Dämmung der Fensterleibungen und Flankendämmung entlang der einbindenden Bauteile. Bei der Vor-

Ort-Untersuchung ohne zerstörende Maßnahmen wurden keine Schäden festgestellt, so dass in diesem Fall gute Praxiserfahrungen beim Einsatz großer Dämmschichtdicken und aufwändiger Lösungen vorliegen.



Abb. 4: Unsaniertem Zustand des Gutshofes im Jahr 1986



Abb. 5: Besichtigter Zustand 2010

Im Folgenden ist zu überprüfen, inwieweit möglicherweise auch abgestufte Maßnahmen schadensfrei ausführbar sind.

2.2.5 Auswertbarkeit der vorliegenden Umfrageergebnisse

Basierend auf der zuvor beschriebenen Datengrundlage können im Rahmen der Forschungsarbeit Aussagen zu möglichen Dämmschichtdicken für Innendämmungen, zum Umgang mit Wärmebrücken bzw. Rändern von Innendämmungen, zu schadensfreien Ausführungen an Detailpunkten (Fensterleibungen, einbindenden Bauteilen, Holzbalkendecken) gemacht werden. Diese Ergebnisse werden detailliert in den Kapiteln 5 bis 8 beschrieben.

2.3 Dank

Eine wichtige Grundlage der vorliegenden Arbeit stellt die zuvor beschriebene Umfrage unter Sachverständigen dar. Diese hatte u. a. das Ziel festzustellen, ob in der Praxis

Vorgehensweise / Datenermittlung

überhaupt Innendämmungen auf hohem energetischen Niveau ausgeführt werden. Weiterhin sollten geeignete Untersuchungsobjekte gefunden werden. Die Kollegen haben unentgeltlich an den Umfragen teilgenommen, teilweise ihre persönlichen Erfahrungen / Erkenntnisse und auch umfangreiches Informationsmaterial zur Verfügung gestellt. Einige von ihnen haben durch persönliche Kontakte tatkräftig zum Gelingen der Vor-Ort-Untersuchungen und der Befragungen der Hausbewohner beigetragen. Ihnen allen gilt daher ein besonderer Dank.

Gedankt sei außerdem den Arbeitsgruppenmitgliedern Herrn Robert Borsch-Laaks, Herrn Prof. Dr.-Ing. Nabil A. Fouad und Herrn Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel für die fachliche Beratung.

3. Systemvergleich Außen-/Innendämmung

Die nachträgliche Dämmung von Außenwänden kann entweder auf der Außen- oder der Innenseite des tragenden Mauerwerks erfolgen. Die grundsätzlichen Konstruktionsarten sowie die Vor- und Nachteile der beiden Möglichkeiten werden im Folgenden kurz beschrieben.

3.1 Außendämmung

Eine nachträgliche Dämmung von Gebäuden auf der Außenseite wird bei verputzten Gebäuden in der Regel durch das Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystems ausgeführt. Weiterhin kann eine Außendämmung durch den Einbau von Wärmedämmplatten bzw. -matten und einer Verblendschale oder einer hinterlüfteten Bekleidung erfolgen. Diese werden am tragenden Wandquerschnitt mechanisch befestigt. Zur (eingeschränkten) Verbesserung des Wärmeschutzes dienen auch Wärmedämmputze.

Mit der Dämmung eines Gebäudes auf der Außenseite ist meistens eine starke Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes verbunden, die aus denkmalpflegerischen Gründen unerwünscht sein kann. Weiterhin wird für eine Dämmung der Gebäudehülle auf der Außenseite ein Gerüst erforderlich. Äußere Dämmmaßnahmen lassen sich in der Regel nicht als Eigenleistung ausführen. Auch können städtebauliche Gründe (z. B. Grenzüberbauung) einer Dämmung des Gebäudes auf der Außenseite entgegenstehen.

Weist das Bestandsgebäude eine zweischalige Außenwandkonstruktion mit Luftschicht auf, kann der vorhandene Hohlraum mit Einblasdämmungen oder Schüttungen ausgefüllt werden, so dass eine kerngedämmte Konstruktion entsteht. Dadurch kann eine begrenzte Erhöhung des Wärmeschutzes erzielt, gleichzeitig kann aber ggf. der Schlagregenschutz eingeschränkt werden.

Aus bauphysikalischer Sicht weisen Außendämmungen gegenüber Innendämmungen einige Vorteile auf: Bei einer nachträglichen Dämmung von Gebäudeaußenwänden auf der Außenseite verringert sich die Temperaturbelastung des tragenden Wandquerschnitts. Die

Systemvergleich Außen-/Innendämmung

große Wärmespeicherkapazität massiver Bauteile wirkt sich positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz aus. Der Dämmstoffquerschnitt wird im Bereich von Decken und Innenwänden nicht unterbrochen, so dass die Anzahl von Wärmebrücken deutlich reduziert wird. An der Grenzschicht zwischen Dämmung und tragendem Bauteil wird Tauwasserausfall sicher vermieden.

Andererseits ist jedoch z. B. bei Wärmedämmverbundsystemen von einer erhöhten Veralgungsneigung auf der Putzoberfläche auszugehen, da diese durch den außenliegenden Dämmstoff vom restlichen Wandquerschnitt thermisch entkoppelt ist und hohen tageszeitlichen Temperaturschwankungen unterliegt.

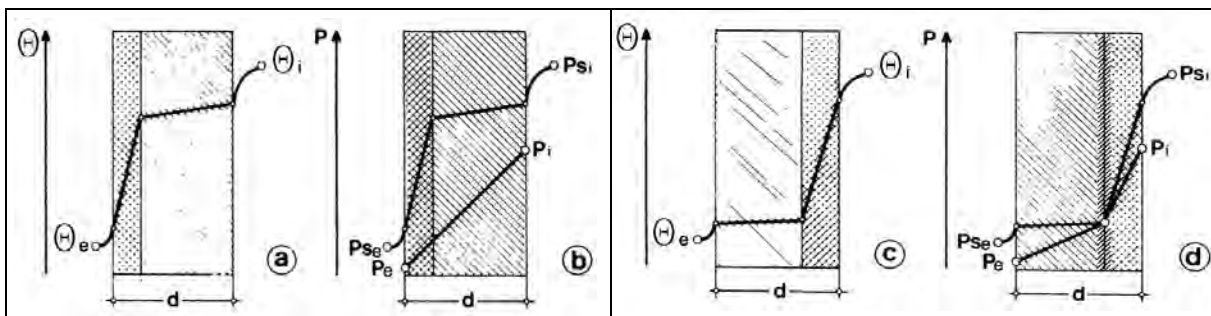


Abb. 6: Temperatur- und Dampfdruckverlauf im Winter unter stationären Bedingungen, links: Außendämmung (a + b), rechts: Innendämmung (c + d) [Schild u. a. 1982, aktualisiert]

3.2 Innendämmung

Innendämmungen von Außenwänden können ebenfalls unterschiedlich konstruiert werden:

Bei ebenem Untergrund werden die Dämmplatten unmittelbar auf dem Untergrund verklebt oder verdübelt und die Dämmstoffoberflächen verputzt. Alternativ können Innendämmungen als aufgeklebte Verbundplatten aus Dämmschicht und Bekleidung (teilweise mit integrierter Dampfsperre) errichtet werden. Ebenfalls zum Einsatz kommen Wärmedämmputze.

Ist der Untergrund uneben kann die Innendämmung als Platten, Matten oder anspritzbare Flocken zwischen Rahmenkonstruktionen aus Holz oder Aluminium verlegt und mit einer raumseitigen Beplankung versehen werden. Je nach Erfordernis wird raumseitig der Innendämmung eine Dampfsperre eingebaut [Royar 1984, IWU 1997]. Bei solchen Ständerkonstruktionen sind besondere Maßnahmen zur Wärmebrückenvermeidung (s. Kapitel

6.1) und zur Vermeidung von Konvektionsströmen hinter die Dämmebene (s. Kapitel 5.4) erforderlich.

Hauptgrund für den Einsatz von Innendämmungen ist bei Verbesserung des Wärmeschutzes und höherer Energieeinsparung die Beibehaltung des äußeren Erscheinungsbildes von Gebäuden, das in innerstädtischen Bereichen oft aus denkmalpflegerischen Gründen nicht verändert werden darf.

Im Gegensatz zu Außendämmungen entfällt das Aufstellen von Gerüsten und die damit verbundenen Kosten. Innendämmungen können raumweise und je nach Kenntnisstand bzw. handwerklichem Geschick auch in Eigenleistung ausgeführt werden.

Vorteil einer Dämmung der Außenwand auf der Innenseite des tragenden Wandquerschnitts - insbesondere bei temporärer Raumnutzung - ist weiterhin das schnelle Aufheizen der Raumluft. Da der massive Wandquerschnitt durch die Innendämmung von der Raumluft abgeschottet wird, kann dieser nicht als Wärmespeicher in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz herangezogen werden. Auch das Austrocknungspotenzial der bestehenden Wandkonstruktion wird herabgesetzt. Dies kann bei einer Schlagregenbeanspruchung einer einschaligen Außenwand, die als Regenspeicher funktioniert, zu einer starken Erhöhung des Feuchtegehaltes führen. In den Wintermonaten steigt zudem die Gefahr der Tauwasserbildung an der Grenzschicht zwischen der alten Innenwandoberfläche und der Rückseite der Dämmschicht (s. Abb. 6). Durch eine Unterbrechung der Dämmschicht entlang einbindender Innenwände und Decken wird die Wärmebrückenproblematik deutlich verschärft.

Innendämmungen sind aus den zuvor genannten Gründen sorgfältig und mit Sachverstand zu planen. Die wesentlichen zu berücksichtigenden Aspekte werden im folgenden Text benannt und erläutert.

4. Rechnerische Nachweisverfahren

4.1 Nachweisverfahren nach DIN 4108 (Tauwassernachweis nach Glaser und Temperaturfaktor f_{Rsi})

Der klimabedingte Feuchteschutz wird in Teil 3 von [DIN 4108] geregelt, in dem Anforderungen an Bauteile und Nachweisverfahren zur Tauwasserbeurteilung beschrieben werden. Bei dem sog. Nachweisverfahren nach Glaser handelt es sich um ein Diffusions-Berechnungsverfahren, bei dem unter stationären Randbedingungen (Tauperiode: Außenklima -10 °C und 80 % rel. Feuchte, Innenklima: +20 °C und 50 % rel. Feuchte) Tauwasserausfall und Verdunstung des auftretenden Tauwassers (Verdunstungsperiode: Außen-/Innenklima +20 °C und 70 % rel. Feuchte) ermittelt werden. Die in der Norm festgelegten Anforderungen besagen, dass die ausfallende Tauwassermenge immer unter der Verdunstungsmenge liegen muss und generell 1,0 kg/m² (bei nicht saugfähigen Oberflächen 0,5 kg/m²) nicht überschreiten darf. Bei Holz beträgt die Erhöhung des maximal zulässigen Feuchtegehaltes 5 Masse-%, bei Holzwerkstoffen 3 Masse-%.

Da im Bereich von Wärmebrücken geringere raumseitige Oberflächentemperaturen, erhöhte Transmissionswärmeverluste und somit eine größere Gefahr von Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung gegeben sind, fordert Teil 2 von [DIN 4108] an diesen Stellen die Einhaltung eines Temperaturfaktors $f_{Rsi} \geq 0,7$, wenn Wärmebrücken nicht nach Beiblatt 2 von [DIN 4108] konstruiert wurden, damit bei einer raumseitigen Oberflächentemperatur von 12,6 °C eine Luftfeuchte auf der Bauteiloberfläche von 80 % nicht überschritten wird. Dann ist unter Normrandbedingungen nicht von einem Risiko der Schimmelpilzbildung auszugehen.

Durch das Aufbringen einer Dämmschicht auf der Innenseite von Außenwänden ändern sich die Temperatur- und Feuchteverläufe im Regelquerschnitt. An der Grenzschicht zwischen der Innendämmung und der Außenwand sinkt die Temperatur ab und die relative Luftfeuchte steigt an, weil bei gleichem Wassergehalt der Luft die relative Luftfeuchtigkeit mit

sinkender Temperatur ansteigt. Daher ist sicherzustellen, dass in dieser Ebene Tauwasserausfall und Schimmelpilzbildung verhindert werden (s. Abb. 7 und Abb. 8).

Ein rechnerischer Nachweis kann bei kapillar speicherfähigen Grenzschichten nicht durch das einfache Bewertungsverfahren nach Glaser erfolgen, da dieses die tatsächlich ablaufenden, komplexen Feuchtetransportvorgänge aus der Überlagerung von Sorption, Diffusion und Kapillarität nicht berücksichtigt (s. Kapitel 4.3). Praktisch bewährt hat sich dieses Verfahren nur für eine vergleichende feuchttechnische Beurteilung unter stationären Randbedingungen bei nicht absorbierenden Oberflächen und nicht kapillar leitenden Baustoffen [Kießl 1992].

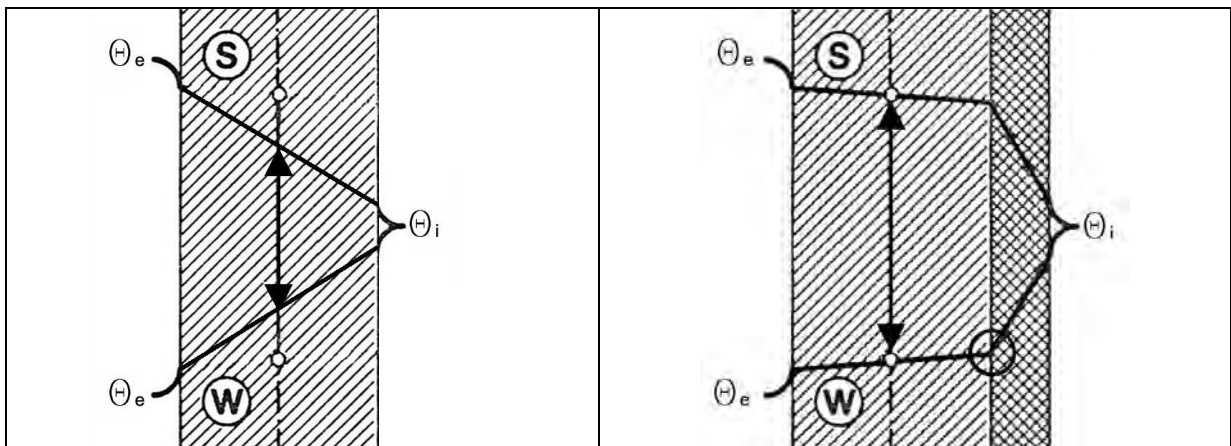


Abb. 7: Temperaturverlauf im ungedämmten Wandquerschnitt [Schild u. a. 1982, aktualisiert]
 obere Linie (S): Temperaturverlauf im Sommer
 untere Linie (W): Temperaturverlauf im Winter

Abb. 8: Temperaturverlauf im innen gedämmten Wandquerschnitt [Schild u. a. 1982, aktualisiert]
 obere Linie (S): Temperaturverlauf im Sommer
 untere Linie (W): Temperaturverlauf im Winter

4.2 Nachweisfreie Konstruktionen

Sollen zur Sicherstellung eines hygienischen Mindestwärmeschutzes massive Außenwände nachträglich auf der Innenseite gedämmt werden, sind nach Teil 3 der [DIN 4108] alle diejenigen Konstruktionen vom Tauwassernachweis nach Glaser befreit, deren Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ nicht überschreitet (entspricht etwa 4 cm Dämmstoff mit einer Wärmeleitfähigkeit λ von $0,040 \text{ W/mK}$) und deren wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke inkl. Innenputz oder innerer Bekleidung $s_{d,i} \geq 0,5 \text{ m}$ ist. Für Innendämmungen aus Holzwolleleichtbauplatten bei massiven

Außenwänden darf bei einer nachweisfreien Konstruktion ein Wärmedurchlasswiderstand R von $0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ nicht überschritten werden. Innendämmungen von Holzfachwerkwänden dürfen nachweisfrei ausgeführt werden, wenn bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht $R \leq 1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke inkl. Innenputz oder innerer Bekleidung $s_{d,i}$ zwischen $1,0 \text{ m}$ und $2,0 \text{ m}$ liegt, um eine ausreichende Austrocknung eingedrungener Feuchtigkeit zum Innenraum hin nicht zu unterbinden. Das [WTA-Merkblatt 8-5 2008-05] spricht eine Empfehlung zur Nachweisbefreiung bei Fachwerkgebäuden nur bei $R \leq 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$ aus.

Bei nachweisfreien Konstruktionen sind bei mangelfreier Ausführung durch Innendämmmaßnahmen keine Schäden an der Bausubstanz zu erwarten. Die wichtigsten Planungshilfen beim Einbau größerer Dämmschichtdicken werden im Folgenden beschrieben.

4.3 Nachweis mit hygrothermischer Simulationsrechnung

Es ist seit langem bekannt, dass das oben beschriebene Diffusionsberechnungsverfahren nach [DIN 4108] bei der Betrachtung innen gedämmter poröser Baustoffe zu realitätsfernen, d. h. zu negativen Ergebnissen führt. Die Wasserspeichervorgänge und Transporte flüssigen Wassers im Bauteilquerschnitt werden hierbei nicht berücksichtigt. Feuchtetransporte in massiven Baustoffen verlaufen aber tatsächlich komplexer, da sich Sorptions-, Diffusions- und Kapillaritätsvorgänge überlagern. Bereits vor einer Tauwasserbildung nimmt der Feuchtegehalt im Baustoff durch Sorption zu: In nicht vollständig mit Wasser gefüllten größeren Materialporen wird Wasser in einem Feuchtefilm an der Porenoberfläche weitergeleitet. Weiterhin wird Tauwasser durch Kapillartransport im Baustoff verteilt und weitergeleitet, so dass es an der Oberfläche verdunsten kann. Unter Kapillarität versteht man einen Saugmechanismus in mit Wasser gefüllten Poren, der von der Oberflächenspannung des Wassers bestimmt wird [Oswald 1994].

Die Intensität der kapillaren Saugfähigkeit eines Baustoffes (z. B. Putz oder Oberflächenbeschichtung) wird durch den Wasseraufnahmekoeffizienten w beschrieben. Hinsichtlich der Regenschutzwirkung können nach [DIN 4108] drei Gruppen unterschieden

werden: stark saugend ($w > 2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$), wasserhemmend ($0,5 < w \leq 2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$), wasserabweisend ($w \leq 0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$). Als wasserdicht kann eine Schicht angenommen werden, wenn der Wasseraufnahmekoeffizient w unter $0,001 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ liegt.

Eine Zusammenstellung von w -Werten (in der Tabelle W_w -Wert genannt) typischer Baustoffe kann Abb. 9 entnommen werden.

Baustoff	Wasseraufnahmekoeffizient W_w [$\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$]	Baustoff	Wasseraufnahmekoeffizient W_w [$\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$]
Klinker	0,5 bis 5	Gips, Gipsmörtel	20 bis 70
Handschlagziegel	1 5 bis 25	Weißkalkputz	7 bis 15
Lochporoton	5 bis 10	Kalkzementputz	0,5 bis 4,0
Vormauerziegel	5 bis 10	Zementputz	0,1 bis 2,0
Kalksandstein	2,5 bis 10	Polymerdispersions-Beschichtungen	0,05 bis 0,20
Schlaitdorfer Sandstein	1,5	2-Komponenten-Polymer-Beschichtungen	< 0,01
Rüthener Sandstein	6 bis 15	Silikonimprägnierte mineralische Baustoffe	0,01 bis 0,10
Obernkirchner Sandstein	1,5 bis 3,0		
Krenzheimer Muschelkalk	1,5		
Zementbeton	0,1 bis 1,0		
Bimsbeton	2 bis 4		
Porenbeton	2 bis 8		

Abb. 9: Wasseraufnahmekoeffizienten W_w von Baustoffen [Fischer u. a. 2008]

Dynamische Simulationsberechnungen (z. B. mit dem Programm WUFI des Fraunhofer Institutes für Bauphysik) berücksichtigen solche instationären Randbedingungen, so dass die Auswirkungen möglicher Dämmvarianten bereits vor der tatsächlichen Ausführung bewertet und abgeschätzt werden können. Allerdings müssen zur realistischen Abschätzung hygrothermischer Prozesse eine Vielzahl von Parametern (Materialdaten, Schlagregenbelastung, Klimadaten) bekannt sein. Verschiedene Normen und Literaturen (z. B. Teil 4 der [DIN 4108] oder Datenbanken, wie z. B. MASEA-Datenbank des Fraunhofer IRB) beinhalten Angaben zu Baustoffen. Meistens liegen die für den speziellen Einzelfall erforderlichen Daten jedoch nicht vor und müssen aufwändig ermittelt werden. Dies erfordert oft das Hinzuziehen eines Fachmannes.

4.4 Vereinfachter Nachweis nach Planungsleitfaden WTA

Ein vereinfachter Nachweis des Feuchteschutzes wird im Planungsleitfaden für Innendämmungen [WTA-Merkblatt 6-4 2009-05] dargestellt. Dieses grafische Verfahren kann vom Planer/Ausführenden leicht angewendet werden (s. Abb. 10).

Rechnerische Nachweisverfahren

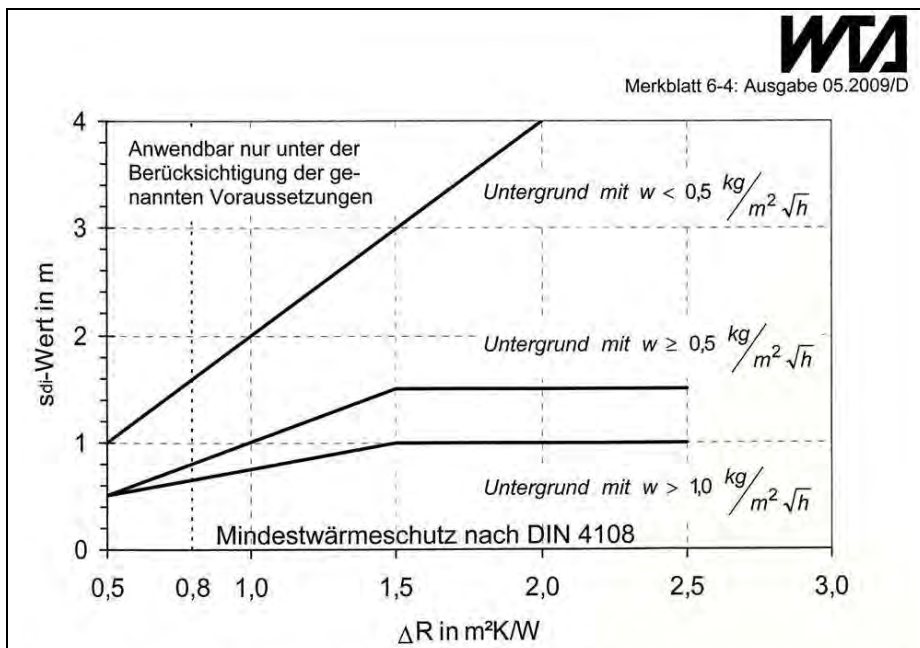


Abb. 10:
Minimal erforderlicher s_{di} -Wert des neuen Aufbaus (Dämmung plus Dampfbremse) in Zusammenhang zur wärmetechnischen Verbesserung ΔR für verschiedene kapillaraktive Untergründe [WTA-Merkblatt 6-4 2009-05]

Werden die genannten Grenzwerte und Randbedingungen für den inneren Wasserdampfdiffusionswiderstand $s_{d,i}$, die wärmeschutztechnische Verbesserung ΔR und Kapillarität / Saugfähigkeit des Untergrundes w eingehalten, fällt an der Grenzschicht zwischen alter Wandoberfläche und Rückseite der Innendämmung kein Tauwasser aus. Das Diagramm darf jedoch nur angewendet werden, wenn: der Schlagregenschutz der Fassade funktionsfähig ist, die vorhandene Außenwand einen Wärmedurchlasswiderstand von mindestens $R \geq 0,39 \text{ m}^2K/W$ aufweist, ein normales Innenraumklima herrscht, die Jahresmitteltemperatur über $7^\circ C$ liegt und eine wärmetechnische Verbesserung ΔR von nicht mehr als 2,5 bzw. 2,0 m^2K/W angestrebt wird. Wird eine dieser Voraussetzungen nicht erfüllt, ist eine Berechnung erforderlich [Borsch-Laaks 2009/2010].

5. Regelquerschnitt bei Innendämmungen

Die grundsätzlichen Veränderungen der Temperatur- und Feuchtehaushalte innen gedämmter Außenwände im Vergleich zu außen oder nicht gedämmten Außenwänden sind in den Kapiteln 3 und 4 bereits beschrieben worden.

Zur Planung und Ausführung dauerhaft schadensfreier Innendämmungen müssen zudem die diffusionstechnischen Eigenschaften und die aus bauphysikalischer Sicht maximal mögliche Schichtdicke des aufzubringenden Systems sowie die vorhandene Schlagregenbeanspruchung der Außenwand und die hieraus resultierende Schlagregenschutzfunktion ermittelt werden.

Aspekte des erforderlichen Schall- und Brandschutzes müssen ebenfalls bei innen gedämmten Außenwänden beachtet werden.

5.1 Diffusionstechnische Eigenschaften des Dämmsystems

Innendämmungen sind nach diffusionsdichten, diffusionshemmenden und diffusionsoffenen Systemen zu unterscheiden. Sowohl in [DIN 4108] als auch im Merkblatt des Deutschen Dachdeckerhandwerks „Wärmeschutz bei Dach und Wand“ [ZVDH 2004-09] werden diese diffusionstechnischen Eigenschaften definiert. Demnach weisen diffusionsoffene Konstruktionen eine wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d unter 0,5 m auf. Bei diffusionshemmenden Schichten liegt der s_d -Wert zwischen 0,5 und 1500 m. Darüber hinaus gilt ein Baustoff/Bauteil als diffusionsdicht (s_d -Wert ≥ 1500 m). Diffusionshemmende und diffusionsdichte Schichten werden als Dampfsperren bezeichnet.

Die Umfrage im Rahmen der Forschungsarbeit hat ergeben, dass bei Innendämmungen aus Mineralwolle häufig raumseitig Dampfsperren eingebaut werden, um den Feuchteeintrag in die Konstruktion aus der Raumluft sicher zu vermeiden.

Berechnungen von [Kießl 1992] zeigen, dass nicht grundsätzlich bei der Verwendung von Mineralwollgedämmschichten auch der Einsatz von Dampfsperren erforderlich ist. Untersuchungen von [Achtziger 1985] belegen Tauwasserausfall an der Grenzschicht

Regelquerschnitt bei Innendämmungen

zwischen innerer Wandoberfläche und Rückseite der Dämmschicht nur bei einer diffusionsoffenen Dämmschicht vor einer Stahlbetonwand, die verglichen mit Putz oder Mauerwerk i. d. R. eine wesentlich geringere kapillare Leitfähigkeit besitzt. Ob der Einbau von Dampfsperren in jedem Fall erforderlich ist, kann durch eine Berechnung überprüft werden.

In fünf Fällen waren im Rahmen energetischer Modernisierungen der untersuchten Gebäude Mineralwolledämmungen mit feuchteadaptiven Dampfsperren eingebaut worden. Diese auf Polyamidbasis oder als Polyethylencopolymer hergestellten Folien werden in der Regel bei geneigten Dachkonstruktionen verwendet. Sie verändern ihre Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte. Bei relativen Luftfeuchtegehalten unter 40 % steigt der s_d -Wert je nach Material etwa bis 10 m, ab etwa 75 % rel. Feuchte sinkt er unter 1 m. Feuchteadaptive Dampfsperren weisen also im Winter eine dampfsperrende Wirkung auf, ermöglichen im Sommer jedoch aufgrund relativer Diffusionsoffenheit eine Austrocknung der Konstruktion zum Innenraum hin. Wichtig ist jedoch, dass auch die innenraumseitige Bekleidung entsprechend diffusionsoffen gewählt wird, um diese Funktion nicht zu unterbinden.

Zwei Gebäude aus der Stichprobe der Forschungsarbeit waren mit Calciumsilikatplatten gedämmt worden. Calciumsilikatdämmplatten weisen eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit auf ($\lambda = 0,060 \text{ W/mK}$). Zur Erreichung der Anforderungen nach [EnEV 2009] sind demnach Dämmschichtdicken von ca. 14 cm erforderlich. Grundsätzlich findet bei diffusionsoffenen Dämmstoffen entsprechend des Dampfdruckgefälles ein Diffusionsstrom von innen nach außen statt, so dass es an der Grenzschicht zu Tauwasserausfall kommen kann. Dieses Wasser kann sich an den Porenwandungen anlagern oder - je nach Menge und Größe der Poren - diese vollständig füllen. Hierdurch ergibt sich ein Gefälle der Feuchte von außen nach innen. Die Wirkung kapillaraktiver Dämmstoffe beruht auf der Fähigkeit, Wasser in entgegen der Richtung des Diffusionsstromes und in Richtung des Feuchtigkeitsgefälles als kapillare Weiterleitung zur dem Innenraum zugewandten Oberfläche der Innendämmung zu transportieren. Voraussetzung ist, dass die Dämmplatten vollflächig auf dem Untergrund verklebt sind. Untersuchungen von Künzel in [Geburtig u. a. 2010] zeigen, dass die Geschwindigkeit des Rücktransportes mit zunehmendem Feuchtegehalt steigt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass der kapillare Rücktransport bei nicht vollständiger

Durchfeuchtung auch geringer wird. Die tatsächlich ablaufenden Wassertransportvorgänge bedürfen weiterer Untersuchungen, da insbesondere bei dem hier interessierenden hohen Dämmniveau Abweichungen zwischen Simulation und Praxis bestehen.

Minerale Dämmplatten, die gelegentlich auch als „kapillar aktiv“ bezeichnet werden, sind hydrophobierte Platten, die in der Regel als außenseitiges Wärmedämmverbundsystem verwendet werden und weisen eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ auf. Sie können daher derzeit nicht als kapillar leitfähig im zuvor beschriebenen Sinn bezeichnet werden. Die Entwicklung dieser Platten für Innendämmungen ist noch nicht abgeschlossen.

Bei sog. Vakuumisulationspaneelen (VIP) handelt es sich um vorgefertigte, diffusionsdicht verschweißte und evakuierte Elemente auf Kieselsäurebasis mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit, die überwiegend bei Neubauten in Passivhaustechnologie zum Einsatz kommen. Bei der Modernisierung von Bestandsgebäuden sind diese Elemente z. B. aufgrund der Unebenheiten vorhandener Untergründe nur eingeschränkt einsetzbar, auch wenn inzwischen eine begrenzte Bearbeitbarkeit der Kanten bei der Montage durch einen umlaufenden PU-Rand möglich ist.

5.2 Dämmschichtdicke

Häufiger Anlass von Innendämmungen ist die Beseitigung von Wärmeschutzmängeln, die in Altbauten aufgrund geänderter Heizgewohnheiten und veränderter Luftwechselbedingungen zu Schimmelschäden geführt haben. Durch die Innendämmungen muss daher der Wärmeschutz mindestens auf den Standard des hygienischen Mindestwärmeschutzes angehoben werden, der in Teil 2 von [DIN 4108] definiert wird. Die Energieeinsparverordnung [EnEV 2009] fordert aber, dass bei solchen ohnehin erforderlichen Instandsetzungen auf größeren zusammenhängenden Flächen auch bestimmte Grenzwerte des energiesparenden Wärmeschutzes zu erfüllen sind.

Der Wärmeschutz von Innendämmungen wird an Unterbrechungen der Dämmebene herabgesetzt. Mit zunehmender Dämmschichtdicke sinkt die Grenzschichttemperatur ab. Daher ist zu überprüfen, bis zu welcher Dämmschichtdicke Innendämmungen schadensfrei ausgeführt werden können (s. Kapitel 6).

Regelquerschnitt bei Innendämmungen

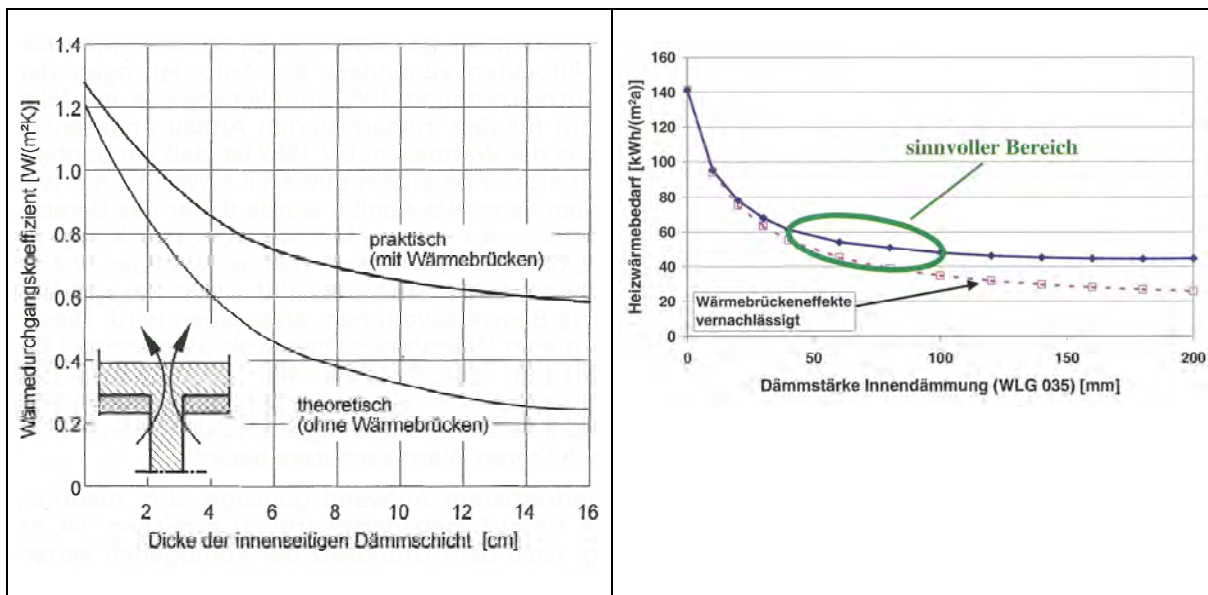


Abb. 11: Einfluss linearer Wärmebrücken auf den Wärmedurchgangskoeffizienten [Gertis 1987]

Abb. 12: Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der Dämmschichtdicke der Innendämmung [Feist 2005]

Je besser der Wärmeschutz, desto größer wird zudem der Einfluss der längenbezogenen Wärmebrückenverluste entlang der Ränder (ψ -Werte). Untersuchungen von [Gertis 1987] haben ergeben, dass der Wärmeschutz eines Bauteils durch Wärmebrückeneinflüsse erheblich sinkt (s. Abb. 11).

Diesen Zusammenhang greift [Feist 2005] in einer Analyse zur Abhängigkeit des Heizwärmebedarfes von der Dämmschichtdicke der Innendämmung auf (s. Abb. 12). Die wirtschaftliche Obergrenze liegt in einem beispielhaft betrachteten Gründerzeitgebäude bei etwa 10 cm Dämmschichtdicke ($\lambda = 0,035 W/(mK)$).

Die weitere Erhöhung der Schichtdicke verringert bei gleicher konstruktiver Gestaltung der Wärmebrücken den Primärenergiebedarf nur noch unwesentlich. Werden Wärmebrücken mit dem entsprechend notwendigen Aufwand (z. B. Dämmung aller flankierenden Bauteile) weiter reduziert, sind auf der Innenseite der Außenwände Dämmschichtdicken bis 15 cm sinnvoll.

Die tatsächlich wirksame Energieeinsparung ist in hohem Maße auch vom Heiz- und Lüftungsverhalten der Nutzer abhängig. So führen deutlich höhere Raumlufttemperaturen und eine größere Luftwechselrate zu einem größeren Energieverbrauch (im Vergleich zum

theoretischen und rechnerisch ermittelten Energiebedarf). Auf diesen Aspekt soll aber im Rahmen der Forschungsarbeit nicht näher eingegangen werden.

Aufgrund der unvermeidbaren Grundkosten bei Innendämmmaßnahmen ist der Einbau von weniger als 4 - 5 cm Dämmschichtdicke auch aus privatwirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen, da der Aufwand dann in einem ungünstigen Verhältnis zu den Energieeinsparungen steht.

5.3 Schlagregenschutz

Das Aufbringen einer Dämmschicht auf der Innenseite von Außenwänden verändert neben der Temperatur- auch die Feuchteverteilung im Bauteilquerschnitt. Sinkt die Temperatur an der Grenzschicht steigt die relative Luftfeuchte und somit die Sorptionsfeuchte an.

Zudem wird dem Wandquerschnitt vom Innenraum her keine Wärmeenergie mehr zugeführt und damit eine Austrocknung des Querschnitts nach außen hin verlangsamt. Weiter kann in den Außenwandquerschnitt eingedrungene Feuchtigkeit (z. B. Schlagregen) zur Innenseite nur noch eingeschränkt oder nicht mehr abtrocknen, der periodisch eindringende Schlagregen kann zum „Aufschaukeln“ des Feuchtegehaltes an der Grenzschicht führen.

Vor der Auswahl des Dämmsystems ist daher zu klären, welcher Schlagregenbeanspruchung und welchen weiteren Feuchtebeanspruchungen aus dem Innenraumklima die zu dämmende Wand ausgesetzt ist. Das vorhandene Feuchtespeicherungs- und das Austrocknungspotenzial der Außenwand sind zu ermitteln. Dies kann je nach festgestellten Randbedingungen mit Hilfe des vereinfachten Nachweises nach WTA-Planungsleitfaden [WTA Merkblatt 6-4 2009-05] oder einer hygrothermischen Simulation geschehen, die ggf. das Hinzuziehen eines Fachmanns erfordert.

Hinsichtlich der Schlagregenbeanspruchung unterscheidet Teil 3 von [DIN 4108] je nach örtlicher Lage und Gebäudeart drei Beanspruchungsgruppen. Beanspruchungsgruppe I liegt bei geringer Beanspruchung und Jahresniederschlagsmengen unter 600 mm bzw. bei größeren Regenmengen von windgeschützten Lagen vor. Mittlere Beanspruchung bei

Regelquerschnitt bei Innendämmungen

Beanspruchungsgruppe II bedeutet, dass die Jahresniederschlagsmengen unter 800 mm liegen bzw. bei größeren Regenmengen die zu beurteilenden Häuser in windgeschützten Lagen stehen. Außenwände sind in Beanspruchungsgruppe III einzuordnen, wenn die auftretende Jahresniederschlagsmengen über 800 mm liegt bzw. Gebäude in windreichen Gebieten oder in exponierten Lagen aus Gruppe II errichtet wurden.

Nicht alle Außenwandkonstruktionen sind für alle Beanspruchungsgruppen geeignet.

Zweischalige Außenwandkonstruktionen (z. B. Außenwände mit Verblendschale oder hinterlüfteten Bekleidungen) weisen ein zweistufiges Abdichtungssystem auf und sind daher für alle Anwendungsfälle gut geeignet.

Bei beidseitig verputztem Ziegelmauerwerk - dem weitaus häufigsten Anwendungsfall bei Gründerzeitgebäuden - gewährleistet i. d. R. die äußere Putzschicht bereits einen ausreichenden Schlagregenschutz. Ggf. kann bei Beanspruchungsgruppe III ein wasserabweisender Außenputz erforderlich sein.

Unverputztes Mauerwerk, wie bspw. die Außenwandkonstruktionen der im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Bauernhäuser, funktioniert als Regenspeicher, d. h. eindringende Feuchtigkeit wird im Querschnitt gespeichert und trocknet nach innen und außen ab. Ziegelsichtmauerwerkskonstruktionen mit einer Mindestdicke von 31 cm und einer 2 cm dicken verspringenden Schalenfuge sind gem. Teil 3 von [DIN 4108] lediglich für die geringste Schlagregenbeanspruchungsgruppe geeignet. Voraussetzung für das Funktionieren dieser einschaligen Konstruktion ist eine hohlraumfreie, wasserabweisende Fuge. In der Baupraxis hat sich aber gezeigt, dass aufgrund von Fehlstellen im Bereich der Fuge eine ausreichende Schutzfunktion meist nicht sichergestellt ist [Schild u. a. 1990]. Vor dem Aufbringen einer Innendämmung sind Sichtmauerwerkskonstruktionen in jedem Fall hinsichtlich des vorhandenen Schlagregenschutzes zu überprüfen. Ggf. muss der w-Wert zur Durchführung einer feuchteschutztechnischen Simulation bestimmt werden.

Bei zweischaligen Sichtmauerwerkskonstruktionen werden diese Probleme vermieden, da zwischen den beiden Schalen kein Kontakt besteht und Feuchtigkeit nicht bis an die innere

Wandoberfläche geleitet wird. Aus diesen Gründen werden diese Konstruktionen im [WTA Merkblatt 6-4 2009-05] und in [DIN 4108] auch bei hoher Beanspruchung als ausreichend geschützt angesehen.

In [Borsch-Laaks 2010] ist detailliert eine Parameterstudie beschrieben, die als Grundlage zur Erstellung des [WTA Merkblatt 6-4 2009-05] diente. Hierin wurde der Schlagregenschutz einer einschaligen, beidseitig verputzten 30 cm dicken Vollziegelaußenwand am Standort Holzkirchen untersucht. Auch ohne Innendämmung ist bei Schlagregenbeanspruchungsgruppe III zur Vermeidung unzulässig hoher Wassergehalte in der Konstruktion ein wasserabweisender Außenputz (mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten $w \leq 0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$) erforderlich. Berechnet wurde ebenfalls der Gesamtwassergehalt nach dem Aufbringen einer Innendämmung in unterschiedlicher Dicke, die auf der Innenraumseite dampfdicht abgedeckt ist und somit keine Verdunstung der eingedrungenen Feuchtigkeit zum Innenraum hin zulässt. Ostfassaden sind bei wasserhemmend ausgeführten Außenputzen ($w \leq 2,0 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$) und einem Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung $\Delta R = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (entspricht 12 cm Wärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$) als unkritisch anzusehen. Bei Nord- und Südfassaden ist zwar ein erhöhter Feuchtegehalt festzustellen, der jedoch im tolerablen Bereich liegt. Wird in diesen Fällen ein wasserabweisender Außenputz verwendet, bestehen keine Bedenken hinsichtlich eines ausreichenden Schlagregenschutzes.

Unzureichend ist die Situation auf der stark durch Schlagregen beanspruchten Westseite des Gebäudes: bei wasserabweisenden Außenputzen führt bereits eine Innendämmung mit geringer Dicke (z. B. 4 cm Wärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit λ von $0,040 \text{ W/mK}$) zu einem deutlich (bis zu vierfach) erhöhten Wassergehalt. Außenputze sollten auf den Wetterseiten daher einen w -Wert unter $0,1 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ aufweisen, um die notwendige Schlagregenschutzfunktion zu gewährleisten. Diese geringe Wasseraufnahmefähigkeit des Außenputzes kann gemäß Merkblatt durch entsprechende Beschichtungssysteme sichergestellt werden.

5.4 Hinterströmen des Dämmsystems

Tauwasser- und Schimmelpilzschäden können auf der Innenseite der Mauerwerkswand entstehen, wenn Innenraumlufte die innenseitige Dämmschicht hinterströmt. Diese Gefahr ist gegeben, wenn Dämmplatten auf Mörtelbatzen verklebt werden oder der Untergrund sehr uneben ist. Dringt warme, feuchte Innenraumlufte in die Hohlräume an der Grenzschicht zwischen alter Wandoberfläche und Rückseite der Innendämmung, kühlt sich die Luft aufgrund der Innendämmung ab und kann somit Tauwasser und Schimmelpilze verursachen (s. Abb. 13).

Das Hinterströmen des Dämmsystems unterscheidet sich wesentlich vom Durchströmen des Außenwandquerschnittes. Durchströmt Luft den gesamten Wandquerschnitt, auch durch die bestehende Außenwandkonstruktion, können Wärmeverluste, aber auch Tauwasser in der Außenwand die Folge sein (s. Abb. 14). Ein Durchströmen kann entweder durch eine geschlossene Putzschicht auf der Innenseite oder durch eine raumseitig vor dem Dämmsystem eingebaute Luftdichtheitsschicht verhindert werden.

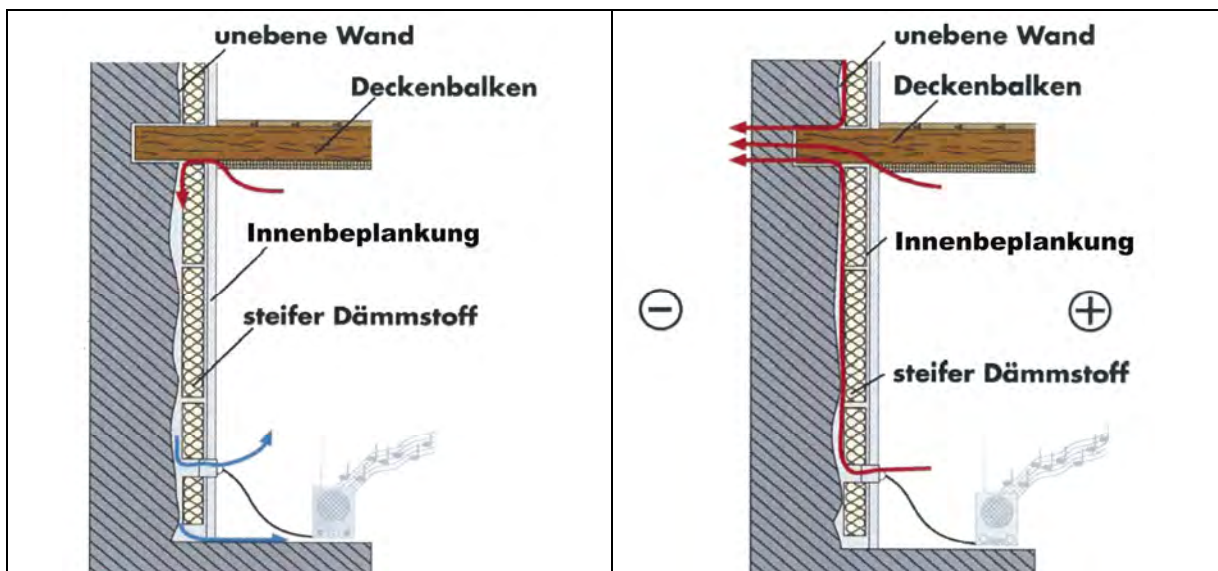


Abb. 13: Hinterströmen von Innendämmungen
[Energieagentur NRW 2004]

Abb. 14: Durchströmen von Innendämmungen
[Energieagentur NRW 2004]

Häufig wird kontrovers zwischen Eigentümern und Nutzern diskutiert, ob durch das Aufhängen von Bildern mit Nägeln die ggf. eingebaute Dampfsperre derart perforiert wird, dass Schäden am Innendämmsystem zu erwarten sind. Aus bauphysikalischer Sicht ist dazu Folgendes

auszuführen: Bei Massivwänden ist die Grunddichtigkeit - wie zuvor beschrieben - in der Regel durch das Mauerwerk und den Putz gewährleistet. Wenn die Anschlüsse z. B. an neu eingesetzten Fenstern luftdicht ausgeführt sind, kann durch die o. g. Perforationen keine Durchströmung der Konstruktion hervorgerufen werden, die zu Schäden führen würde. Beim Einbau von Elektroinstallationen werden beispielsweise durch Beschädigung der Dampfsperre Konvektionsströme (Luftströmungen) möglich, durch die Feuchtigkeit hinter der Dämmung transportiert werden kann.

Die Zuverlässigkeit von nicht vollflächig mit dem Untergrund verklebten Dämmsystemen wird durch die Anordnung einer raumseitigen Installationsebene mit einer inneren Bekleidung oder durch eine massive Vorsatzschale erhöht, die das Beschädigungsrisiko durch nachträgliche Installation mit Steckdosen oder durch das Aufhängen von Regalen minimieren (s. Abb. 15). Im Rahmen der Vor-Ort Untersuchungen konnte durch thermografische Aufnahmen die Funktion einer Vorsatzschale überprüft und eine fachgerechte Ausführung nachgewiesen werden (s. Abb. 16).



Abb. 15: Typische Ausführung einer massiven Vorsatzschale einer Innendämmung aus Mineralwolle mit Dampfsperre

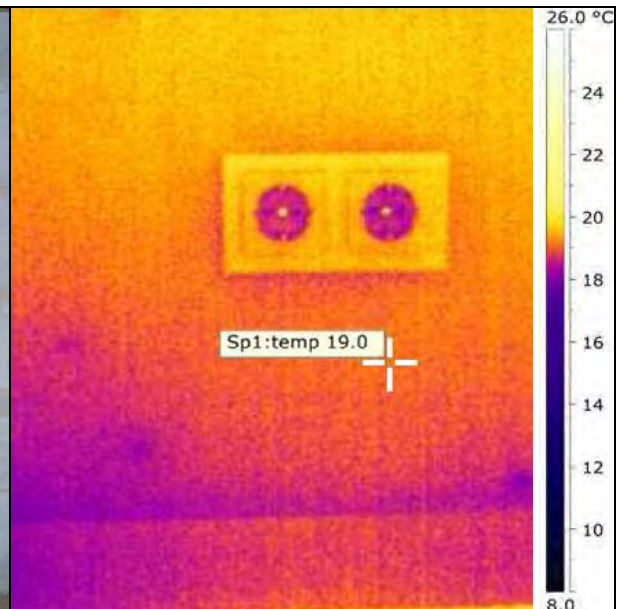


Abb. 16: Thermogramm einer in die Vorsatzschale eingebauten Steckdose

5.5 Schall- und Brandschutz

Innenseitig auf die Außenwand aufgetragene Dämmschichten verändern zum einen die Schalldämmung der Außenwand gegenüber Außenlärm, aber zum anderen auch die Schallübertragung zwischen benachbarten Innenräumen (Schall-Längsleitung).

Durch Innendämmungen mit hoher dynamischer Steifigkeit (z. B. Holzwolle-/Mehrschichtenleichtbauplatten oder verputzte Polystyrolhartschaumplatten), die vollflächig auf dem Untergrund verklebt werden, ergeben sich ungünstige Resonanzfrequenzen im bauakustischen Messbereich. Das Luftschalldämmmaß verringert sich daher und infolge dessen wird die Flankenschallübertragung zwischen den Räumen vergrößert (s. Abb. 17 und 18). Eine solche Verschlechterung des Schallschutzes ist auch bei in die Geschossdecke zur Verringerung der Wärmebrückenwirkung einbetonierten Dämmstreifen festzustellen. Dieser Aspekt ist besonders bei Wohnungstrennwänden zu beachten.

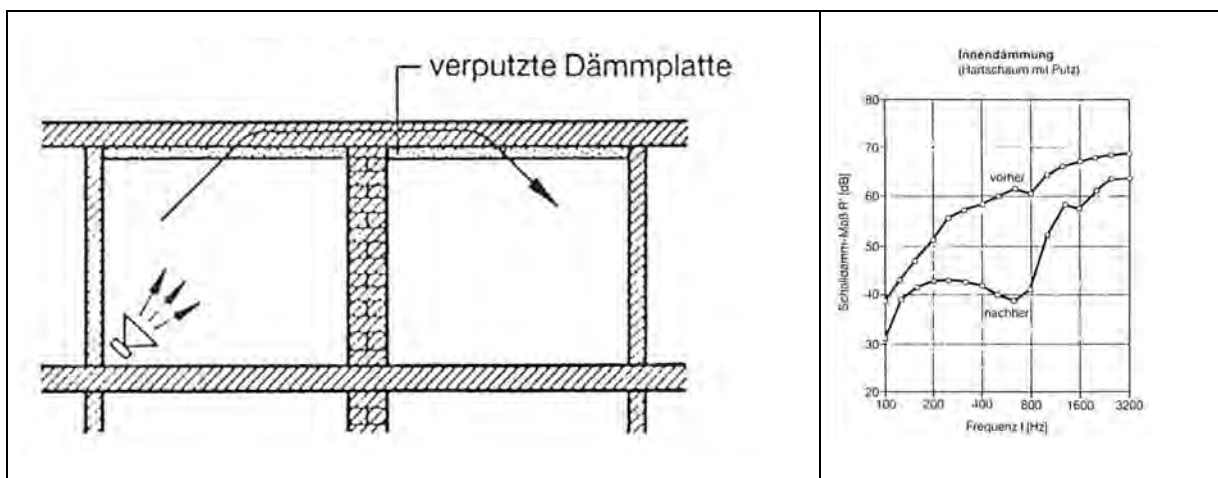


Abb. 17 + 18: Reduzierung des Luftschalldämm-Maßes der einbindenden Trennwände bei innen gedämmten Außenwänden infolge Schall-Längsleitung

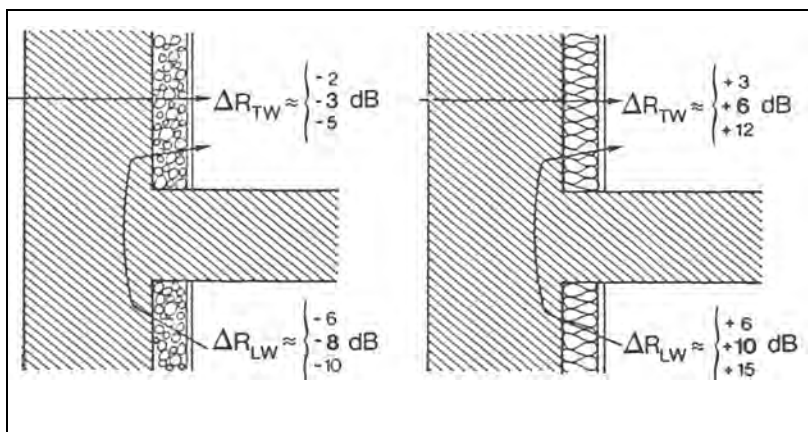


Abb. 19: Verbesserung (+) oder Verschlechterung (-) des bewerteten Schalldämm-Maßes (ΔR_{TW}) und der Schall-Längsdämmung (ΔR_{LW}) der Außenwand bei Zusatzdämmung mit Verbundkonstruktionen aus Hartschaum (links) und Mineralfasern (rechts). Die mittlere Zahl charakterisiert eine durchschnittliche Bauausführung. [König 1984]

Werden Innendämmungen jedoch als biegeeweiche Vorsatzschalen (z. B. Mineralwolledämmung mit Gipskartonbekleidung mit Randfugen) ausgebildet, wirken sich diese positiv auf die Schall-Längsleitung aus (s. Abb. 19).

Zum Brandschutz führen die Bauordnungen der einzelnen Länder in Abhängigkeit von Art und Nutzung des jeweiligen Gebäudes aus, welche brandschutztechnischen Eigenschaften Baustoffe und Bauteile aufweisen müssen. Grundsätzlich fordert die Musterbauordnung [MBO 2002] für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 (Höhe bis 13 m und Nutzungseinheiten < 400 m² sowie sonstige Gebäude), dass Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein müssen. Unterkonstruktionen aus normal entflammbaren Baustoffen sind dann zulässig, wenn eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. In diesen Fällen sind zwischen fremden Nutzungseinheiten die beschriebenen Anforderungen an den Brandschutz zu erfüllen, der durch Innendämmungen auch positiv beeinflusst werden kann. Gebäude mit einer Höhe von bis zu 7 m sind von diesen Regelungen ausgenommen.

5.6 Zusammenfassung zur Ausbildung des Regelquerschnittes bei Innendämmungen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass beim Einbau von Innendämmungen nicht notwendigerweise Dampfsperren erforderlich sind (Ausnahme: innen gedämmte Stahlbetonwände). Bei fachgerechtem Einbau (z. B. hinter einer inneren Bekleidung) können diese dampfsperrenden Schichten jedoch die Funktionssicherheit der Konstruktion erhöhen (Ausnahmen: innen gedämmte Fachwerk- und Sichtmauerwerkskonstruktionen, deren Austrocknung nach innen hin möglich sein muss).

Werden diffusionsoffene Dämmsysteme verwendet, muss auch die innere Bekleidung ausreichend diffusionsoffen ausgeführt werden (s. Kapitel 5.1).

Vakuumisulationspaneele sind bei der Modernisierung von Altbauten nur mit großem Aufwand realisierbar.

Regelquerschnitt bei Innendämmungen

Die wirtschaftliche Obergrenze von Dämmschichtdicken liegt bei üblichem konstruktiven Aufwand im Bereich der Wärmebrücken bei etwa 10 cm, da eine weitere Erhöhung der Dämmstärke den Primärenergiebedarf nur noch unwesentlich verringert. Bei weiterer Reduzierung der Wärmebrücken können Dämmschichtdicken bis 15 cm sinnvoll sein.

Zweischalige Außenwandkonstruktionen sowie intakte Putzfassaden weisen in der Regel eine ausreichende Schlagregenschutzfunktion in allen Beanspruchungsgruppen auf. Dagegen muss unverputztes einschaliges Mauerwerk - insbesondere auf den stark beanspruchten Wetterseiten - differenzierter betrachtet und ggf. durch eine feuchtetechnische Simulation überprüft werden.

Das Hinterströmen von Innendämmungen ist z. B. durch vollflächige Verklebung der Dämmschichten zu vermeiden. Die Zuverlässigkeit von Innendämmsystemen wird durch den Einbau von inneren Bekleidungen oder Vorsatzschalen erhöht.

Durch den Einbau von Dämmschichten auf den Innenseiten von Außenwänden sind die Auswirkungen auf Schall- und Brandschutz zu beachten.

6. Grundsätzliche Aspekte bei der Detailgestaltung von Unterbrechungen bei Innendämmungen

Die innen liegende Dämmebene wird im Bereich von Fenstern und einbindenden Bauteilen (Innenwänden/Decken) unterbrochen. Die Wärmeverluste im Bereich dieser Wärmebrücken sollten eingegrenzt werden, da diese vor allem bei einem hohen Dämmniveau einen großen Einfluss auf die Wirksamkeit der gesamten Dämmmaßnahme haben. Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich im Wesentlichen mit der Schadenfreiheit der ausgeführten Detaillösungen. Auf die Wärmebrückenverluste, die sich negativ auf die Energiebilanz auswirken, wird nur am Rande eingegangen.

Bei den Untersuchungen im Rahmen der Objektbegehungen zur Forschungsarbeit konnten zahlreiche Fensteranschlüsse und Ausführungen der Innendämmungen an einbindende Bauteile mit der Wärmebildkamera überprüft werden, da die Besichtigungen einiger der benannten Objekte in den Wintermonaten mit tiefen Außentemperaturen erfolgten.

6.1 Unterbrechungen des Dämmsystems in der Fläche

Neben linearen Wärmebrücken sind beim Einbau von Innendämmungen auch Wärmebrücken, z. B. durch Dämmplattenstöße und Dämmstoffdübel, die im Außenwandmauerwerk verankert sind, möglich.

Besonderes Augenmerk ist auf die Lücken in Innendämmungen zu legen. Kleinere Spalten an Dämmplattenstößen oder Unterbrechungen durch Befestigungen oder Metallständerprofile, die bei einer Außendämmung der Gebäudehülle meist unproblematisch sind, können bei Innendämmungen Schäden hervorrufen. Bei Lücken in Außendämmungen wird der Wärmebrücke durch Querleitung aus größeren inneren Wandbereichen die Wärme zugeführt. Die Wärmeverluste werden also auf der Wandinnenoberfläche großflächig verteilt. Die gleiche Lücke führt bei Innendämmungen jedoch zu einer scharf begrenzten deutlichen Absenkung der Oberflächentemperatur. In diesen Fällen ist darauf zu achten, dass entweder thermisch geringer leitfähige Materialien verwendet werden (z. B.

Kunststoffdübel) oder die Dübelköpfe nicht bis an die Putzoberfläche reichen und versenkt eingebaut werden, damit der Innenputz als wärmequerleitende Schicht dienen kann.

Foto und Thermogramm von Abb. 20 wurden während der Begehungen im Winterhalbjahr 2009/2010 aufgenommen. Die Dämmplatten aus Kork sind zum Zeitpunkt der Aufnahme mit Kunststoffdübeln am Untergrund befestigt. Der zum System gehörenden Lehminnenputz war noch nicht vorhanden. Im noch nicht fertig gestellten Bereich zeichnete sich die Lage der Dübel auf dem Thermogramm als etwas kühlere Flächen auf den Innenwandoberflächen ab. Nach dem Verputzen wies die Wandoberfläche auch im Bereich der Dübel ein einheitliches Temperaturniveau auf.

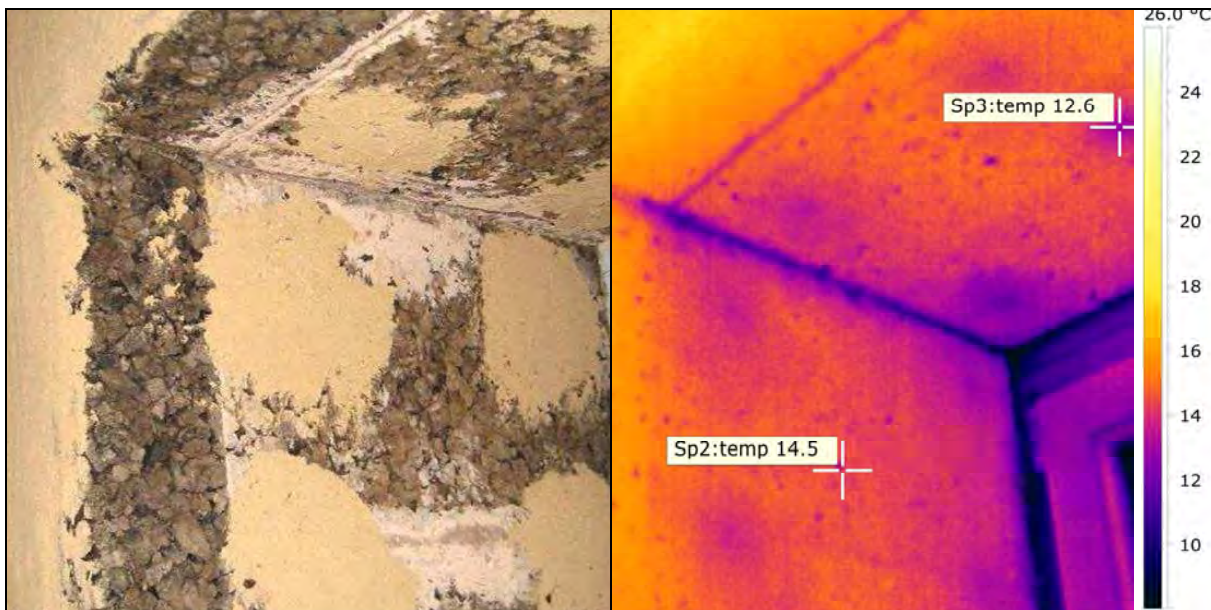


Abb. 20: Beispiel einer typischen punktuellen Wärmebrücke bei Innendämmungen durch Dämmstoffdübel

6.2 Unterbrechungen des Dämmsystems an Rändern

Das Innendämmsystem der Außenwände wird an Fenstern oder im Bereich von einbindenden Bauteilen (Geschossdecken und Innenwände) unterbrochen. An diesen Rändern der Innendämmung sinkt die innere Oberflächentemperatur so stark ab, dass unter bestimmten Voraussetzungen das Schimmelpilzkriterium von 12,6 °C [DIN 4108] nicht mehr eingehalten wird. Das Berechnungsverfahren sowie die -randbedingungen werden in Kapitel 4.1 detailliert erläutert. Die im unsanierten Gebäude noch in unkritischem Maße vorhandenen linearen Wärmebrücken werden durch den Einbau von Innendämmungen

verstärkt und sind daher bereits im Planungsstadium zu berücksichtigen. Die grundsätzlichen Sachverhalte sind z. B. in Veröffentlichungen von [König 1984] enthalten, die im jeweiligen Einzelfall tatsächlich erforderlichen Maßnahmen werden in den Kapiteln 7 und 8 der Forschungsarbeit dargestellt.

Dämmt man zur Vermeidung der Wärmebrücke das einbindende Bauteil durch einen Dämmstoffstreifen, so können Probleme auftreten, die König am Beispiel der Außenwanddecke untersucht. Die Untersuchungen zeigen, dass bei einer ungedämmten Gebäudeecke die Temperatur mit zunehmender Entfernung von der Ecke kontinuierlich ansteigt, die Wirkung der geometrischen Wärmebrücke also abnimmt. Bei einer streifenförmigen Dämmung nur der inneren Gebäudekante auf einer Breite von 50 cm am Rand der Innendämmung zur ungedämmten Wand ist ein deutlicher Temperaturabfall festzustellen. Je nach Dicke der Dämmschicht kann die Differenz zwischen gedämmter und ungedämmter Wandfläche bis zu 10 K betragen, wobei dieser Effekt mit zunehmender Dämmschichtdicke ansteigt (s. Abb. 21). Eine raumseitige Abdeckung der Dämmschicht (z. B. Innenputz) wirkt als Wärme querleitende Schicht und verringert den Temperaturabfall am Rand der Innendämmung (s. Abb. 22). Temperatursprünge und somit die Unterschreitung des Schimmelpilzkriteriums an den Rändern der Innendämmung können z. B. auch durch den Einbau von Dämmkeilen oder in Ausnahmefällen auch durch eine Beheizung der Einbindestelle verhindert werden (s. hierzu Kapitel 8.2).

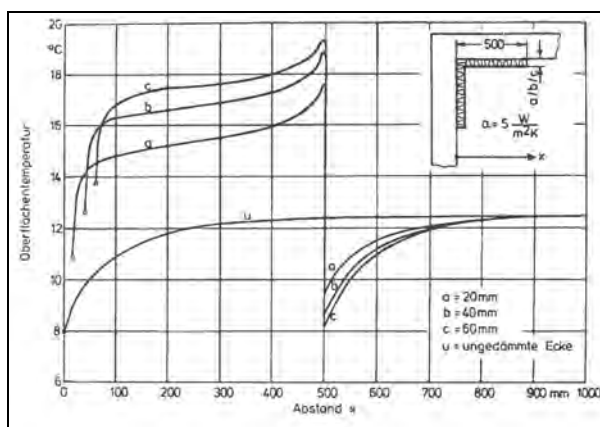


Abb. 21: Oberflächentemperaturen bei verschiedenen Dämmstoffdicken [König 1984]

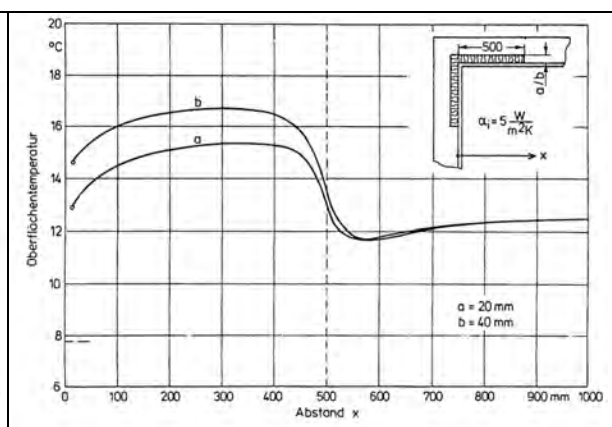


Abb. 22: Oberflächentemperaturen bei eingelassener Wärmedämmung und durchgehendem Innenputz [König 1984]

Detailausbildung bei Innendämmungen

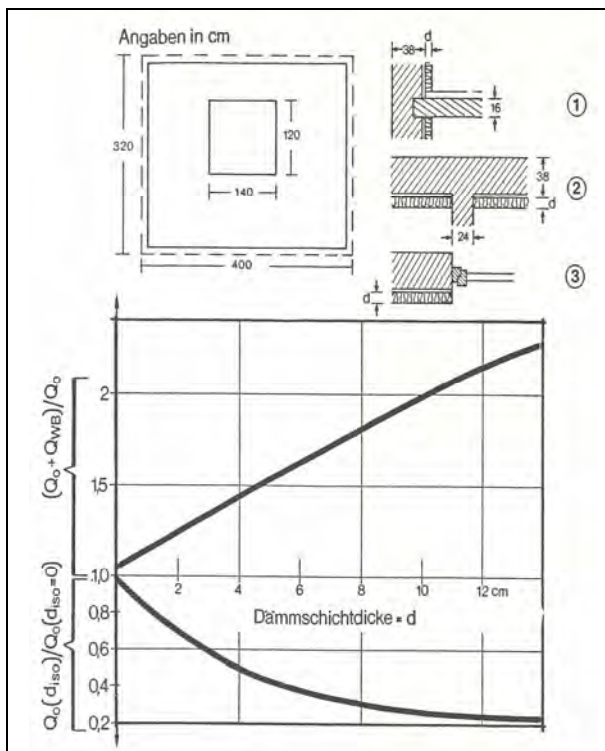


Abb. 23: Einfluss der Wärmebrücken auf den Wärmestrom Q_0 durch eine Außenwand mit unterschiedlicher Dicke der Innendämmung d_{iso} [König 1984]

Die o. g. Untersuchungen von König zeigen ebenfalls, dass sich unter Berücksichtigung der Wärmebrücken Geschossdecke (1), einbindende Innenwände (2) und Fensteranschlüsse (3) der Wärmestrom Q_0 von innen gedämmten Außenwänden bei einer Dämmstärke d_{iso} von 4 cm ($\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$) verglichen mit dem ungedämmten Zustand bei Berücksichtigung der Wärmebrücken um das 1,5-fache - bei einer Dämmschichtdicke von 10 cm sogar um das 2-fache - erhöht (s. oberes Diagramm in Abb. 23). Die untere Kurve stellt die Entwicklung des Wärmestromes ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken dar.

7. Fensteranschlüsse

Zur Vermeidung von Schäden müssen entlang der Fensteranschlüsse auch nach dem Einbau der Innendämmung drei Funktionen gewährleistet sein: Schlagregenschutz, Luftdichtheit und Vermeidung von Wärmebrücken. Die äußere Fuge zwischen Blendrahmen und der Außenwand ist schlagregendicht auszuführen, die Luftdichtheitsebene und die innere Dämmebene müssen innenseitig an der Fensterkonstruktion angeschlossen werden. Die Dämmung sollte den Fensterrahmen möglichst hinterfahren. Im Bereich der seitlichen Leibungen wird dies meist ausgeführt, aber auch im Sturz- und Brüstungsbereich ist die Dämmung bis hinter den Rahmen zu führen (s. Abb. 27).

In fast allen Fällen der untersuchten Innendämmmaßnahmen sind gleichzeitig auch neue Fenster und Türen sowie ein neues Heizsystem eingebaut worden. Die Fenster wurden hinsichtlich ihrer Position im Wandquerschnitt unverändert eingebaut, um das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes nicht wesentlich zu verändern.

7.1 Dämmung der Fensterleibung

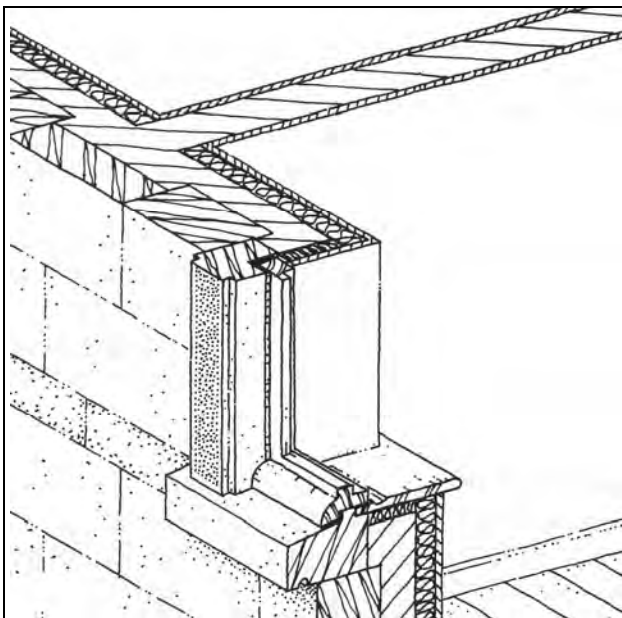


Abb. 24: Innendämmung in Leibung, Sturz und Fensterbank weiterführen, ggf. Dämmstoffe mit geringerer Wärmeleitfähigkeit einbauen [Oswald 1995]

Bei denkmalgeschützter Bausubstanz dürfen in der Regel die Außenansichten der Gebäudehülle - und somit auch die Lage der vorhandenen Fensterkonstruktionen - nicht verändert werden. An Fensterleibungen steht zudem meistens nicht die gleiche Einbautiefe für die Dämmschicht wie im Bereich des Regelquerschnittes zur Verfügung. Zur Vermeidung von schadensauslösenden Temperaturabsenkungen am Rand der Innendämmung (Berechnungsverfahren s. Kapitel 4.1) sollte daher die technisch maximal mögliche Dämmschichtdicke eingebaut werden. Die Dämmschicht ist auch unterhalb der Fensterbank einzubauen (s. Abb. 24).

Detailausbildung bei Innendämmungen

Bei zu geringem Raumangebot sollten Dämmstoffe mit geringerer Wärmeleitfähigkeit eingesetzt werden. Zusätzlich kann der alte Leibungsputz entfernt werden, wobei der Schlagregenschutz und die Luftdichtheit nicht eingeschränkt werden dürfen.

Ausreichend hohe Oberflächentemperaturen werden bei 36,5 cm dicken Ziegelaußenwänden bereits mit einer 2 cm dicken Leibungsdämmung aus Polyurethan ($\lambda = 0,030 \text{ W/(mK)}$) erreicht. Bauphysikalisch günstig ist das Hinterfahren des Blendrahmens mit Dämmstoff, da hierdurch höhere Oberflächentemperaturen im inneren Anschlussbereich der Fensterleibung erreicht werden können.

Vorhänge oder Gardinen beeinträchtigen die Erwärmung der Leibungsfläche, da sie in geschlossenem Zustand verhindern, dass warme Raumluft an den Leibungsflächen vorbeiströmt und diese erwärmt. Bei einem der Untersuchungsobjekte konnte dieser Sachverhalt durch Thermografieaufnahmen visualisiert werden. Die Vorhänge wurden erst unmittelbar vor der Aufnahme geöffnet (s. Abb. 25 + 26). Die Temperatur ist auf der Leibungsfläche hinter dem Vorhang deutlich geringer als auf der mit der Raumluft in Verbindung stehenden vorderen Leibungsfläche. Schäden auf den anschließenden Oberflächen waren nicht vorhanden, da im Bereich der Fensterleibungen nicht nur der Mindestwärmeschutz, sondern ein höheres Dämmniveau an diesen Stellen bereits in der Planung vorgesehen worden ist. Somit war in diesem Fall sichergestellt, dass durch das Anbringen von Vorhängen auch bei geschlossenen Vorhängen keine Schäden im Bereich der Fensterleibungen entstehen können.

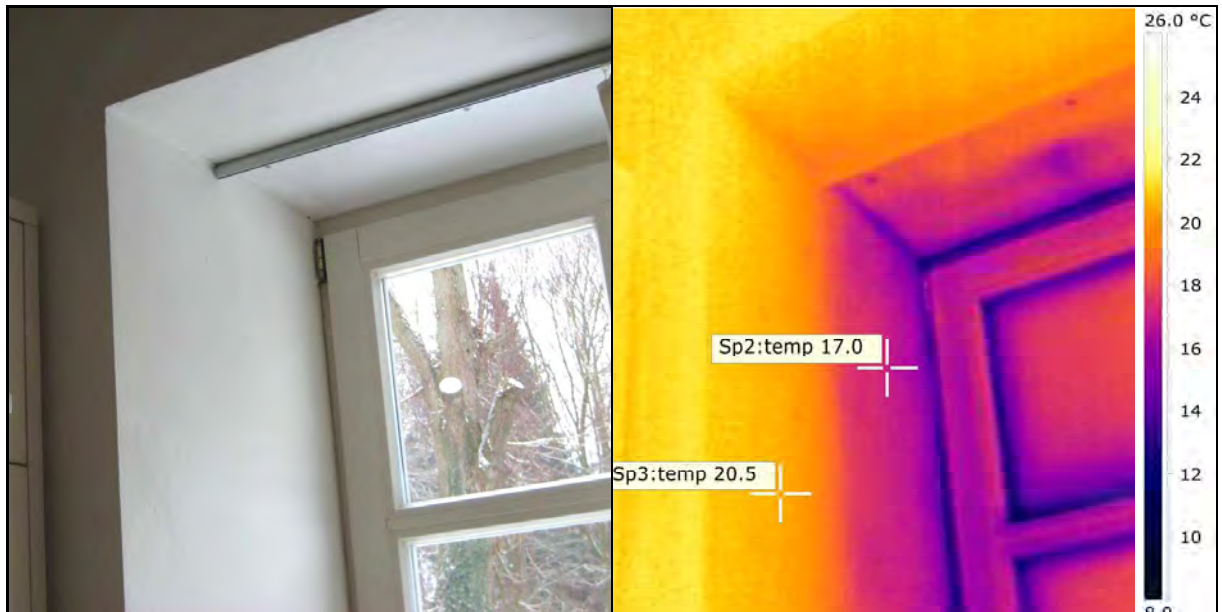


Abb. 25 + 26: Auswirkung von Vorhängen auf die Oberflächentemperatur im Bereich der Fensterleibung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Forschungsarbeit wurde ein Gutshof besichtigt, der vor gut 25 Jahren energetisch modernisiert wurde. In diesem Fall wurde die Wärmebrücke im Bereich der Fensterleibung mit großem konstruktiven Aufwand minimiert und eine optimale, schadensfreie Detaillösung ausgeführt: Die alten, schmalen Außenanschlänge wurden verbreitert, um so ausreichend Platz für eine 3 cm dicke Zusatzdämmung der Fensterleibung ($\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$) zu schaffen, die bis hinter den Fensterblendrahmen geführt wurde (s. Abb. 28). Die Mineralwollgedämmung wurde mit einer Dampfsperre abgedeckt und diese dicht an die neue Fensterkonstruktion angeschlossen. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Schlagregenschutzes wurde die Fuge zwischen Anschlag und Rahmen elastisch geschlossen (s. Abb. 27).

Detailausbildung bei Innendämmungen

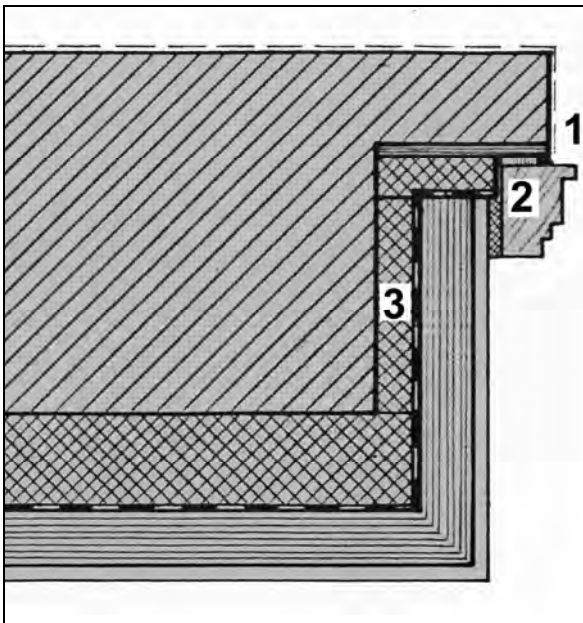


Abb. 27: Äußere Fuge schlagregendicht ausführen (1), luftdichter Anschluss zw. Luftdichteitsebene und Fenster (2), Dämmung der Leibung und des Hohlraumes zw. Leibung und Blendrahmen (3)



Abb. 28: ausgeführtes Beispiel einer Innendämmung im Bereich der Fensterleibung bis hinter den Blendrahmen

Die Fensterleibungen eines weiteren Objektes waren jedoch nicht in das Dämmsystem mit einbezogen worden, ohne dass es im ungedämmten Anschlussbereich zu Schimmelpilzbildung gekommen war. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Raum selten beheizt und somit die Innenraumlufttemperatur äußerst niedrig war. Weiterhin wurde der Raum permanent belüftet, sodass auch keine erhöhten Feuchtegehalte der Luft zu Schäden an den kalten Wandoberflächen führen konnten. Grundsätzlich ist von einer derartigen Ausführung abzuraten, da bereits bei üblichem Nutzerverhalten Schimmelpilzschäden an den ungedämmten Leibungsflächen entstehen können. In diesem besonderen Fall hatte der Bauherr den ausschließlich von ihm genutzten Raum selbst innenseitig gedämmt, ihm war die Problematik auch bewusst.

Aufgrund der Thermik wird der untere Anschluss bei bodentiefen Fenstern, die oft keine Heizkörper erhalten, weniger beheizt. Dennoch sollte auch hier im Bereich der „Fensterbank“ das Schimmelpilzkriterium eingehalten werden. Einige der im Rahmen der Forschungsarbeit besichtigten Gebäude hatten bodentiefe Fenster. Gleichzeitig mit der Dämmung der Außenwände sind in diesen Gebäuden Fußbodenheizungen eingebaut worden. Dabei sollten die Heizleitungen bis in die Fensternische geführt werden, um eine Erwärmung des unteren Fensterbereiches und der inneren Leibungsflächen sicherzustellen (s. Abb. 29 + 30).

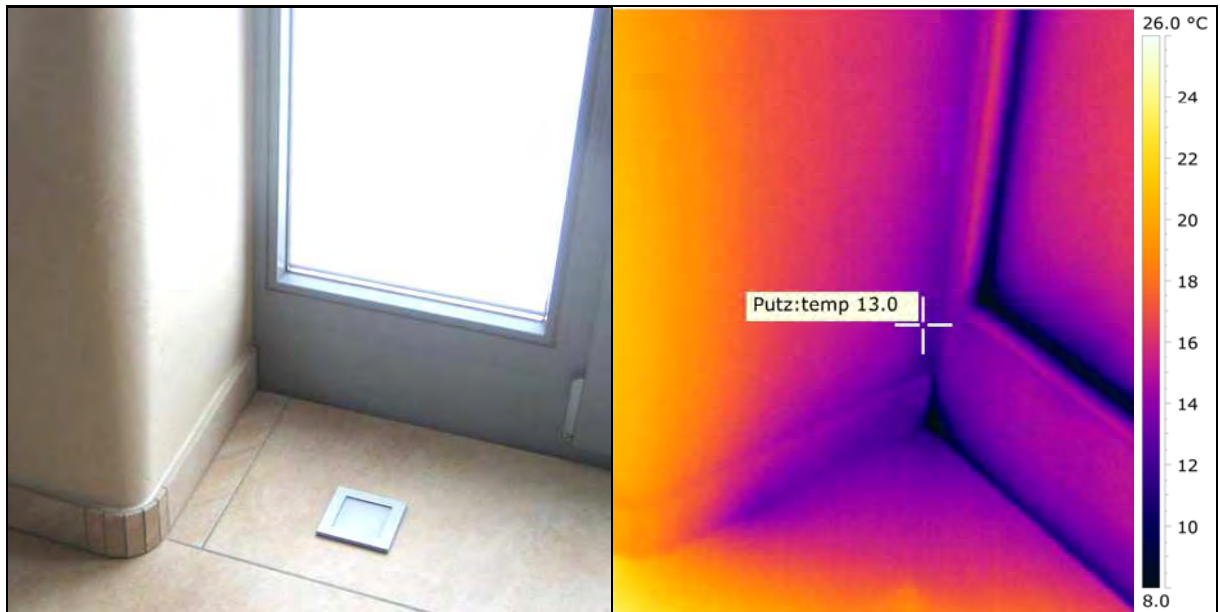


Abb. 29 + 30: Auswirkung von vor bodentiefen Fenstern verlegten Heizleitungen

Die Dämmung der Fensterleibung kann dünner ausgeführt werden, wenn zusätzlich zu der bestehenden Fensterkonstruktion ein neues Fenster in die Ebene der Dämmung eingebaut wird (s. Kapitel 7.2).

7.2 Möglichkeiten zum Erhalt alter Fenster

Soll die vorhandene Fensterkonstruktion z. B. aus Gründen des Denkmalschutzes erhalten bleiben und der Wärmeschutz dennoch verbessert werden, kann dies entweder durch den Einbau einer zweiten Fensterebene zum Innenraum hin erfolgen oder durch Ersatz der Gläser im vorhandenen Rahmen. Im ersten Fall ist die Fensterleibung (ggf. dünnschichtiger) zu dämmen und auf eine gute Belüftung des Zwischenraumes zur Außenluft zwischen äußerer und innerer Fensterkonstruktion zu achten, d. h. die Fugen nach außen sollen offener sein, als die zum Innenraum hin. Bei einigen Objekten sind die alten Fenster aus gestalterischen Gründen erhalten worden. In diesen Fällen sind neue Fenster zum Innenraum versetzt hinter den bestehenden eingebaut worden (s. Abb. 31 + 32).

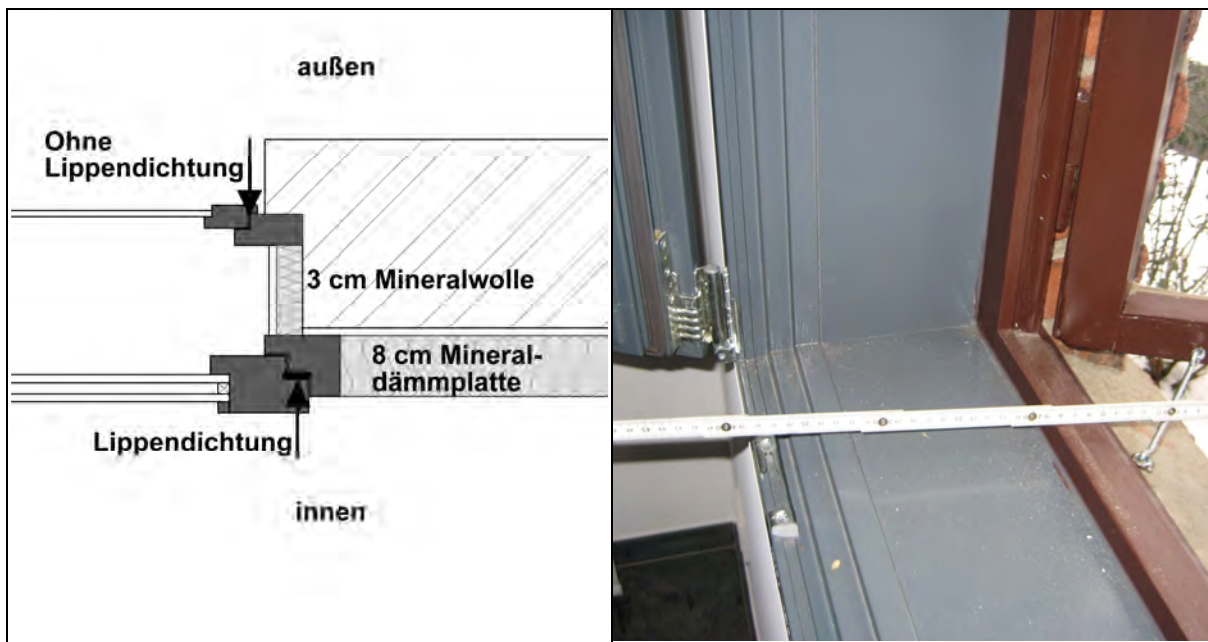


Abb. 31 + 32: Vorschlag zum Einbau eines zweiten Fensters im Bereich der inneren Dämmebene

Beim Austausch der Gläser ist die Tragfähigkeit der vorhandenen Rahmen zu überprüfen, da die neuen Gläser als Zwei- oder Drei-Scheiben-Isoliergläser deutlich schwerer sind als die zur Gebäudeerrichtung üblichen Einscheibenverglasungen. Neben der Verbesserung des Wärmeschutzes sollte bei alten Fenstern auch die Luftdichtheit verbessert werden. Bei Kastenfenstern und Doppelfenstern sollte die innere Fensterkonstruktion luftdichter sein.

7.3 Lage des Fensters im Bauteilquerschnitt

Werden im Rahmen der energetischen Modernisierung neue Fenster eingebaut, kann bei nicht denkmalgeschützten Gebäuden durch Veränderung der Lage des Fensters im Bauteilquerschnitt der Verlauf der Isothermen (Linien gleicher Temperatur) günstig beeinflusst werden.

Dieser bauphysikalische Zusammenhang wurde an einer Modellrechnung simuliert. Als Randbedingungen wurden für die Außentemperatur -5 °C , für die Innenraumtemperatur 20 °C angesetzt, der äußere Wärmeübergangswiderstand mit $0,04\text{ m}^2\text{K/W}$, der innere Wärmeübergangswiderstand entsprechend den Berechnungsvorgaben für Schimmelpilzbewertung nach [DIN 4108] mit $0,25\text{ m}^2\text{K/W}$. Die $36,5\text{ cm}$ dicke und beidseitig verputzte Ziegelaußenwand ($\lambda = 0,81\text{ W/(mK)}$) wurde auf der Innenseite mit einer 10 cm dicken Dämmschicht ($\lambda = 0,035\text{ W/(mK)}$) bekleidet. Die Einbausituation des Fensters wurde variiert.

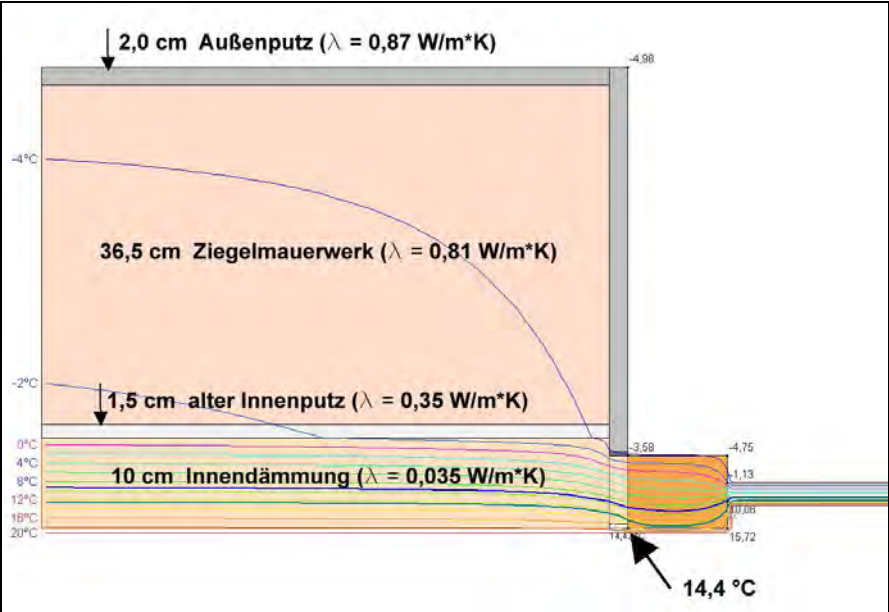


Abb. 33:
Temperaturverlauf bei
innenbündig
eingebauten Fenstern

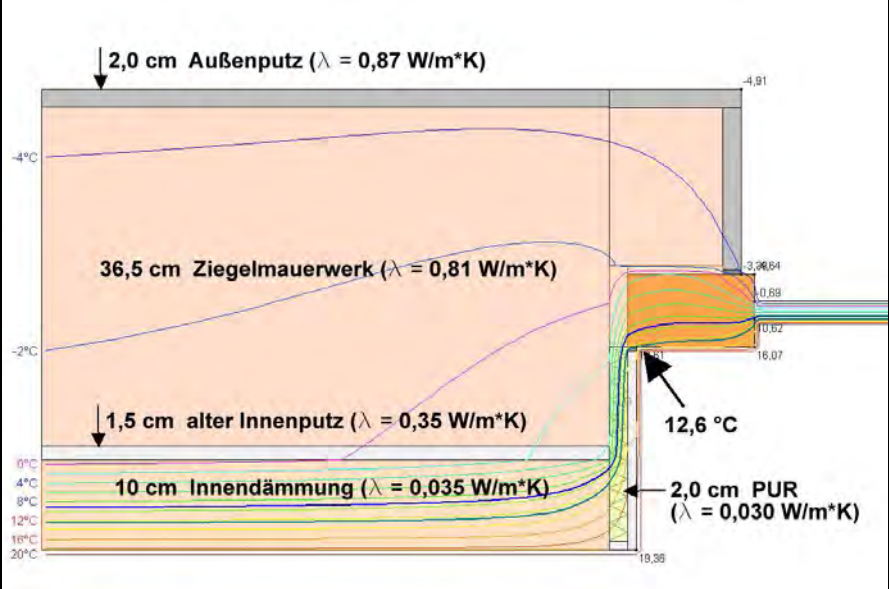


Abb. 34:
Temperaturverlauf bei
mittig eingebauten
Fenstern

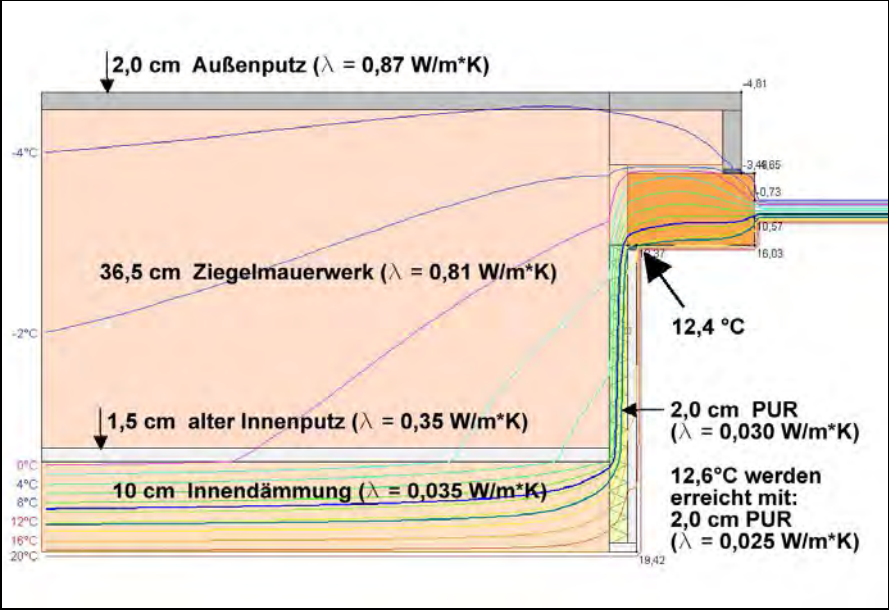


Abb. 35:
Temperaturverlauf bei
mit Außenanschlag
eingebauten Fenstern

Detailausbildung bei Innendämmungen

Am Verlauf der Isothermen in den Berechnungsbeispielen (s. Abb. 33 - 35) ist zu erkennen, dass bei einer geringen Tiefe der inneren zu dämmende Leibung die Oberflächentemperaturen im Leibungsbereich höher liegen als bei einem weiter nach außen eingebauten Fenster. Je höher die Oberflächentemperaturen im Leibungsbereich sind, umso geringer fallen auch die Wärmeverluste im Bereich des Fensteranschlusses aus.

Bei einem der Untersuchungsobjekte wurden neue Fenster in die innere Dämmebene eingebaut. Auf dem Thermogramm ist am homogenen Farbverlauf erkennbar, dass die Oberflächentemperatur entlang der Anschlussfuge zwischen Fenster und Innendämmung (s. Pfeile) nur sehr wenig absinkt (s. Abb. 36 und 37).

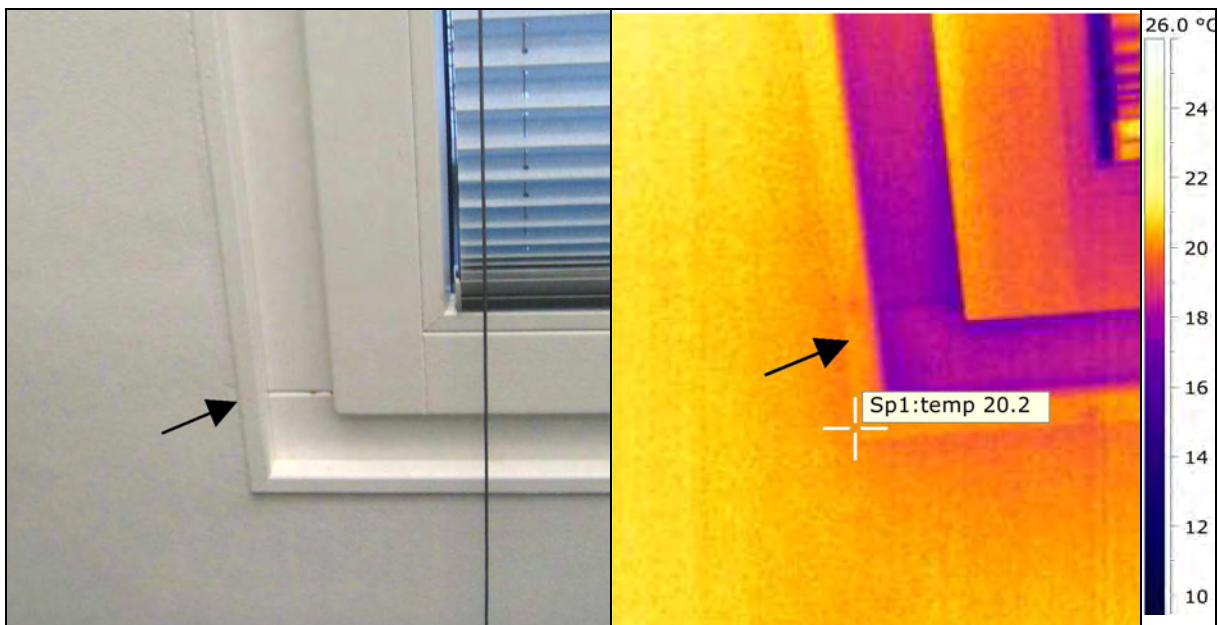


Abb. 36 + 37: Durch die in die innere Dämmebene eingebauten Fenster verringert sich die Oberflächentemperatur im Anschlussbereich kaum

Ist diese Variation der Lage des Fensters zur Innenseite hin nicht möglich, können zur Vermeidung von Schimmelpilz ausreichend hohe Oberflächentemperaturen im Bereich der Fensterleibung bei einer Dämmschichtdicke von 2 - 3 cm ($\lambda = 0,025 - 0,030 \text{ W/mK}$) erreicht werden.

7.4 Anschluss der Luftdichtheitsebene an die Fensterkonstruktion

Wie bereits in Kapitel 5.4 beschrieben, verhindert die Luftdichtheitsebene eine Luftströmung durch das Bauteil. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle sollte möglichst vor Einbau der Bekleidung der Luftdichtheitsschicht und der Ausführung aller Anschlüsse an die einbindenden Bauteile (Fenster / Decken / Innenwände) mit einem Druckdifferenztest (sog. BlowerDoor-Test) überprüft werden. Ggf. vorhandene Fehlstellen können dann relativ einfach nachgebessert werden. Ist die Lage der Fehlstellen nicht einfach zu ermitteln, können diese - bei Temperaturdifferenzen zwischen der Innen- und Außenluft von möglichst mehr als 10 K - mit Hilfe einer Thermografiekamera während des Druckdifferenztestes festgestellt werden.

7.4.1 Diffusionsoffenes Dämmsystem

Bei diffusionsoffenen Innendämmsystemen bildet der Innenputz der vorhandenen Bestandswand die Luftdichtheitsebene. Die Fensterkonstruktion ist luftdicht an den Innenputz anzuschließen. Dies wurde bei den im Rahmen der Forschungsarbeit ausgewerteten Dämmsystemen häufig mit speziellen Klebefolien ausgeführt. Da das Bauernhaus des folgenden Beispiels bereits vor Abschluss der Umbauarbeiten bezogen wurde, konnten die im Bereich der Fensteranschlüsse durchgeführten Arbeiten dokumentiert werden. Zunächst wurden die unmittelbaren Anschlussflächen zwischen Fensterblendrahmen und Mauerwerk in einem schmalen Streifen verputzt, um einen dauerhaft luftdichten Anschluss des Klebebandes zu gewährleisten. Nach dem Einbau des Klebebandes wurden Fensterleibung und –sturz mit einem Lehmputz versehen (s. Abb. 38 und 39). Anschließend wurden 3 cm Holzweichfaser- bzw. Korkdämmplatten ($\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$) eingebaut und mit Lehmputz verputzt (s. Abb. 40 und 41). Im Thermogramm sind entlang der Anschlussfugen keine außergewöhnlichen Temperaturabsenkungen festzustellen, die auf Luftundichtigkeiten zurückzuführen sind (s. Abb. 42 und 43).

Detailausbildung bei Innendämmungen

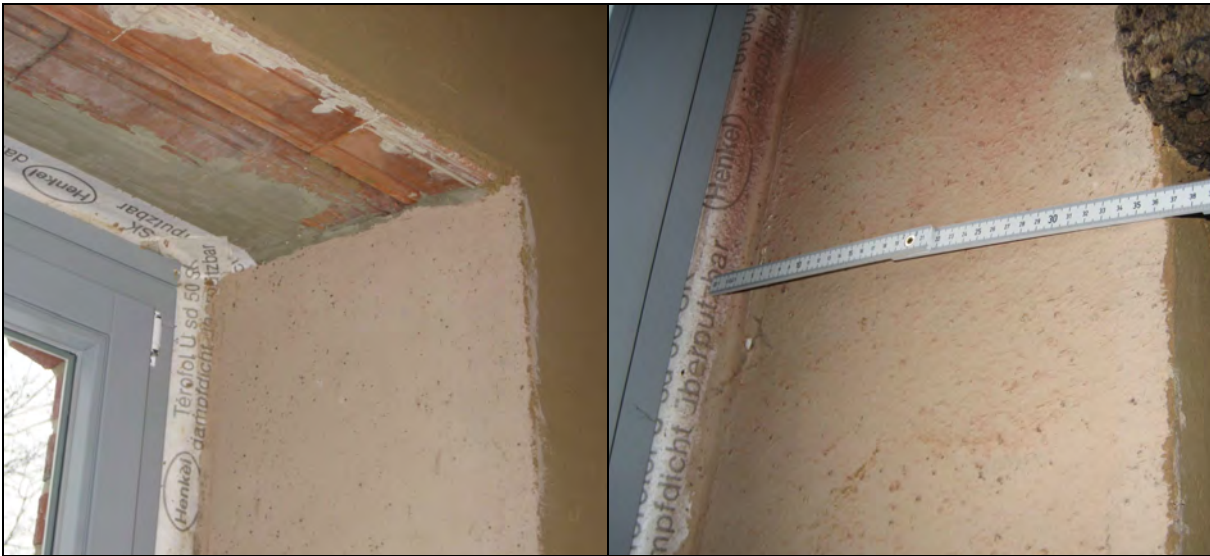


Abb. 38 + 39: Luftdichter Fensteranschluss bei einer diffusionsoffenen Innendämmung



Abb. 40 + 41: Einbau der Holzweichfaser- bzw. Korkdämmplatten mit Dübeln

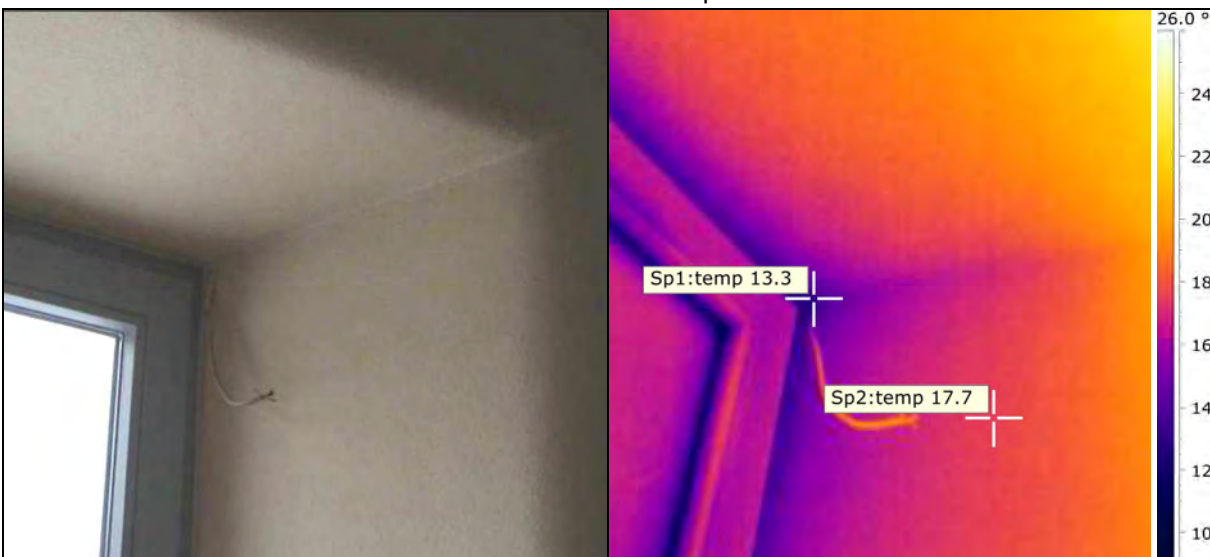


Abb. 42 + 43: fertig gestellte Innenoberfläche nach dem Auftragen des Innenputzes

7.4.2 Dämmsystem mit raumseitiger Dampfsperre

Beim Einbau eines Dämmsystems mit raumseitiger Dampfsperre kann diese auch die Funktion der Luftdichtheitsschicht übernehmen. Diese Ebene ist ebenfalls dampfdicht an die Fensterkonstruktion anzuschließen. Dies kann mit Klebebändern oder speziellen Anschlussprofilen, die an den Blendrahmen geklebt werden erfolgen. Beim Anschluss der Dampfsperre mit Klebebändern ist darauf zu achten, dass nur Bänder verwendet werden, die zum gewählten System passen (s. Abb. 44 und 45). Nach Teil 7 von [DIN 4108] müssen die Klebstoffe und Bauteile für den jeweiligen Verwendungszweck geeignet und aufeinander abgestimmt sein. Die Luftdichtheit muss durch eine ausreichende Haftfestigkeit zwischen den verwendeten Bauprodukten bzw. durch ausreichenden Anpressdruck sichergestellt sein. Hinsichtlich der Eignung von Klebebändern für den vorhandenen Untergrund sind die Herstellerangaben zu beachten. Zum Beispiel sind Klebebänder mit geringer Klebstoffmasse für raue oder faserige Untergründe nicht geeignet.



Abb. 44 + 45: Typische Anschlüsse zwischen Fensterkonstruktion und Dampfbremse (s_d - Wert 0,3 – 5,0) mit Klebebändern [Osika]

Anschlussprofile aus Kunststoff haben den Vorteil, dass sie sich gut am Blendrahmen - ggf. vor dem Einbau des Fensters - befestigen lassen. Entweder ist an ihnen bereits ein Folienstreifen befestigt, an den die Dampfsperre der Wandfläche leicht angeschlossen werden kann, oder sie bieten zumindest eine größere Fläche, auf der die Dampfsperrbahn leichter und sicherer befestigt werden kann (s. Abb. 46 + 47).

Detailausbildung bei Innendämmungen

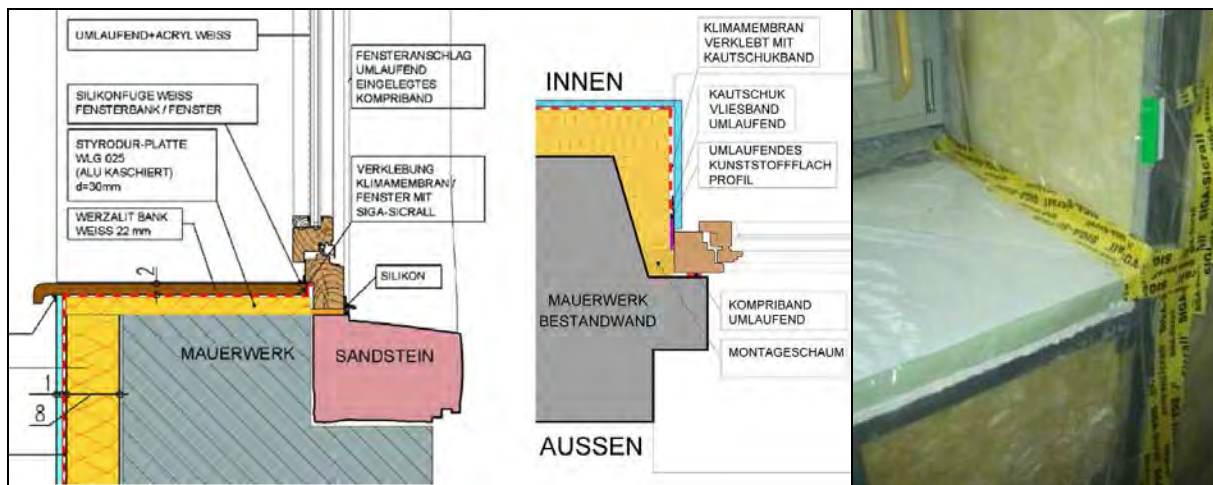


Abb. 46 + 47: Anschluss einer Dampfbremse (s_d - Wert 0,3 – 5,0) an die Fensterkonstruktion mit einem Anschlussprofil [Osika]

7.5 Zusammenfassung zur Ausbildung von Fensteranschlüssen bei Innendämmungen

Wird beim Fensteraustausch die Lage der Fenster unverändert beibehalten, reicht meist eine 2 – 3 cm dicke Dämmung der Leibungsfläche mit einem Polyurethandämmstoff ($\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$) zur Erreichung ausreichend hoher Oberflächentemperaturen aus. Ggf. ist der Leibungsputz zu entfernen, um Platz zu schaffen.

Der Blendrahmen sollte vom Dämmstoff hinterfahren werden. Auch der Bereich der Fensterbank ist in die Dämmmaßnahme mit einzubeziehen.

Bauphysikalisch günstiger ist der Einbau der neuen Fensterkonstruktion in die Ebene der Innendämmung, da Wärmebrückenverluste so deutlicher minimiert werden.

Wird zusätzlich zur bestehenden Fensterkonstruktion eine zweite Fensterebene zum Innenraum hin angeordnet, ist darauf zu achten, dass die Fugen nach außen offener als nach innen sind.

Unabhängig davon, ob ein diffusionsoffenes oder diffusionsdichtes Dämmsystem eingebaut wird, ist zur Vermeidung von Schäden die Fensterkonstruktion luftdicht an die bestehende Luftdichtheitsebene (Innenputz oder Dampfsperre) anzuschließen.

8. Einbindende Bauteile

Binden Innenwände oder Decken in innengedämmten Außenwände ein, so können an den Anschlüssen in Abhängigkeit von der vorhandenen Konstruktion aufgrund der zu erwartenden Temperaturabsenkung zum einen Schäden durch Schimmelpilzbildung, zum anderen Wärmeverluste auftreten, die zum Teil erhebliche negative Auswirkungen auf die Energiebilanz eines Gebäudes haben können. Im Folgenden wird untersucht, unter welchen Randbedingungen Schäden tatsächlich zu erwarten sind und welche Maßnahmen zu deren Vermeidung erforderlich sind. Auf die Verringerung von Wärmebrückenverlusten und die jeweiligen Koeffizienten wird nur am Rande eingegangen.

8.1 Erfordernis flankierender Maßnahmen an einbindenden Bauteilen

Werden Außenwände auf der Innenseite gedämmt, ist im Bereich einbindender Innenwände zunächst festzustellen, ob durch eine mögliche Unterbrechung der Dämmebene überhaupt eine deutliche Wärmebrücke auftritt. Dies ist z. B. bei einschaligen Außenwandkonstruktionen mit hoher Wärmeleitfähigkeit des Wandbildners der Fall. Das Maß der Temperaturabsenkung entlang der Anschlüsse an die innere Dämmebene ist dann abhängig vom Flächengewicht und somit von der Wärmeleitfähigkeit des einbindenden Bauteils (s. Kapitel 8.3.1).

Liegen an der Einbindestelle ungünstige Randbedingungen vor, ist in einem nächsten Schritt zu klären, ob das einbindende Bauteil von der Außenwand entkoppelt werden kann und somit die Unterbrechung der Dämmebene vermieden wird. Dies ist beispielsweise bei leichten Trennwänden möglich (s. Kapitel 8.4.1).

Wenn die Einbindestelle nicht entkoppelt werden kann, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Temperaturabsenkung in diesem Bereich zu reduzieren (s. Kapitel 8.2).

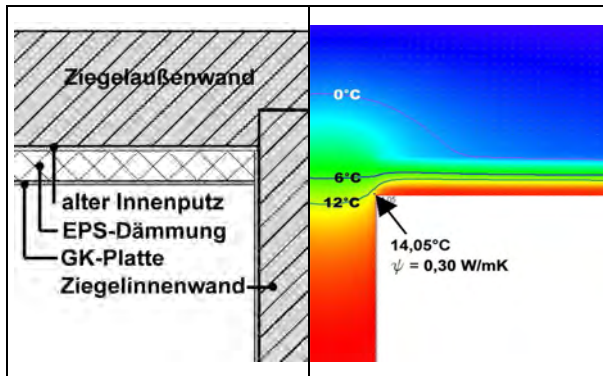
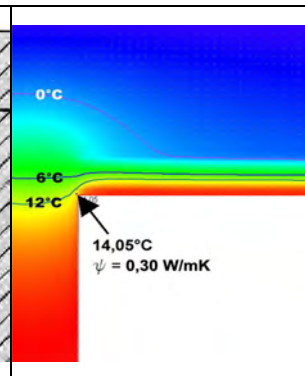
Bei zweischaligen Außenwänden mit gedämmtem Schalenzwischenraum ist keine sich schädigend auswirkende Wärmebrücke zu erwarten, so dass keine zusätzlichen Dämmmaßnahmen im Bereich der Flanke erforderlich sind.

8.2 Möglichkeiten zur Entschärfung von Wärmebrücken

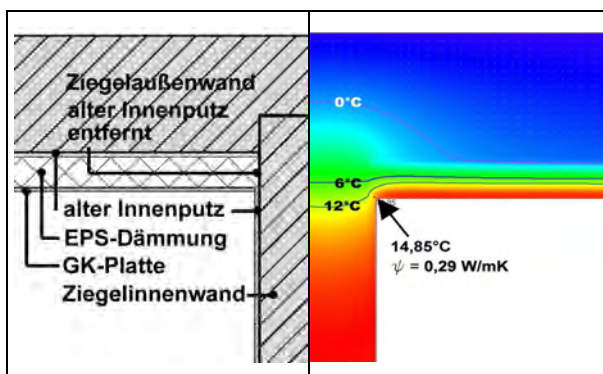
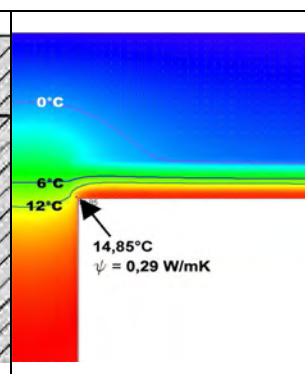
Die beschriebenen Absenkungen der Oberflächentemperaturen entlang der Unterbrechungen der inneren Dämmebene, die hier auftretenden Wärmeverluste oder sogar Schäden an diesen Stellen können beispielsweise durch Einbeziehung der einbindenden Bauteile in die Dämmung oder durch den Einbau von Dämmkeilen entlang der Decken-/Wandanschlüsse vermieden werden.

Denkbar sind bei geringer Unterschreitung der Oberflächentemperaturen auch der Einsatz von wärmequerleitenden Abdeckungen oder - in begründeten Ausnahmefällen - eine Beheizung der Einbindestelle. Insbesondere bei denkmalgeschützter Bausubstanz können Bauteilbeheizungen erforderlich werden. Der Energieaufwand hält sich i. d. R. in Grenzen, da lediglich das Schimmelpilzkriterium erfüllt werden muss. Bei einigen der untersuchten Wohngebäude wurde im Rahmen der energetischen Modernisierung auch das Heizsystem erneuert und den durch die Dämmmaßnahmen verringerten Heizlasten angepasst. Durch eine in den Randzonen der Räume dichtere Verlegung der Heizleitungen der Fußbodenheizung wurde bspw. eine Anhebung der Oberflächentemperaturen entlang der Boden-Wand-Anschlüsse und somit eine Entschärfung der Flanke bewirkt.

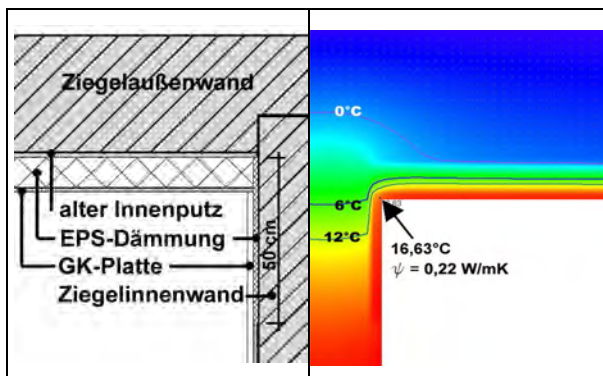
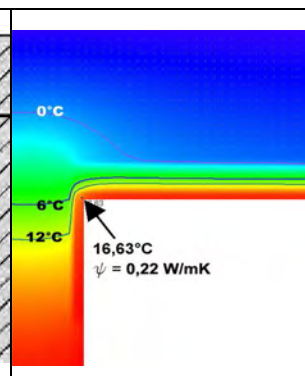
Die Wirksamkeit der unterschiedlichen Möglichkeiten der Wärmebrückenentschärfung wurde in einigen Varianten berechnet und vergleichend nebeneinander gestellt (s. Abb. 48 - 55). Zur konstruktiven Situation: In eine 36,5 cm dicke und beidseitig verputzte Ziegelaußenwand ($\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$) bindet eine 24 cm dicke ebenfalls verputzte Ziegelinnenwand ein. Die Außenwand wurde innen mit einer 10 cm dicken EPS-Dämmung ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) und einer raumseitigen Gipskartonplattenbekleidung versehen.

Abb. 48:
Konstruktive SituationAbb. 49:
Innendämmung

An der Einbindestelle errechnet sich eine Oberflächentemperatur von 14,05 °C und ein Ψ -Wert von 0,30 (W/mK).

Abb. 50:
Konstruktive SituationAbb. 51:
Putz Innenwand entfernt

Entfernt man den Putz der Innenwand in der Breite der Innendämmung der Außenwand, so steigt die Temperatur in der Raumkante geringfügig auf 14,85 °C an. In diesem Fall ist mit einem nur geringfügig kleineren Ψ -Wert von 0,29 (W/mK) zu rechnen.

Abb. 52:
Konstruktive SituationAbb. 53:
2 cm Begleitdämmung

Deutlich angehoben wird die innere Oberflächentemperatur durch den Einbau einer begleitenden 2 cm dicken Dämmung der Innenwand im Bereich eines 50 cm breiten Streifens. In diesem Fall errechnet sich eine Temperatur von 16,63 °C. Auch der Ψ -Wert sinkt auf 0,22 (W/mK) ab.

Detaillausbildung bei Innendämmungen

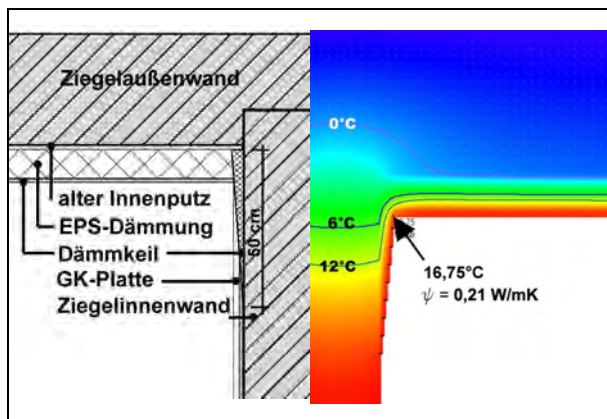


Abb. 54:
Konstruktive Situation

Abb. 55:
Dämmkeil

Eine weitere Erhöhung der Oberflächentemperatur auf 16,75 °C ergibt sich durch den Einbau eines Dämmkeiles 5 cm an der dicksten Stelle. Der Ψ -Wert verringert sich geringfügig auf 0,21 (W/mK).

8.3 Massive Trennbauerteile

8.3.1 Mauerwerksinnenwände

Die Materialien aussteifender / tragender Innenwände weisen u. a. aus statischen Gründen in der Regel eine höhere Rohdichte und somit eine höhere Wärmeleitfähigkeit als nicht tragende Trennwände auf. Zudem binden diese meist in die Außenwandkonstruktion ein. Falls die Oberflächentemperatur rechnerisch so weit absinkt, dass das Schimmelpilzkriterium nicht eingehalten wird, ist eine zusätzliche Dämmung entlang der Flanken erforderlich. Im Rahmen der Forschungsarbeit konnten mehrere Gebäude untersucht werden, bei denen die Flanken der einbindenden Innenwände nicht zusätzlich gedämmt waren, aber dennoch keine Schäden vorhanden sind. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass häufig keine Zusatzdämmung erforderlich ist (s. Beispiel in Kapitel 8.3.2).

Es gab auch Untersuchungsobjekte, deren Flanken gedämmt waren. Bei einem dieser Gebäude wurde die in die Mauerwerksaußenwand einbindende massive Innenwand vollständig mit Mineralwolle (8 cm, WLG 035) gedämmt, die mit einer Dampfsperre versehen und mit Gipskartonplatten bekleidet wurde. Die Dampfsperrfolie wurde in einem 100 cm breiten Streifen zwischen Dämmung und innerer Bekleidung geführt und verspringt an dieser Stelle hinter die Dämmung auf die alte Innenwandoberfläche (s. Abb. 56 + 57). Vorteil dieser Konstruktion ist eine gut luftdichte und handwerklich einfach herstellbare Verklebung des Folienrandes auf der Innenwandoberfläche anstelle des schwierigeren Anschlusses in der Raumecke. Elektroinstallationen wurden bei diesem Gebäude im nicht luftdicht abgedeckten Bereich der Innenwände vorgesehen, um komplizierte Durchdringungen und eventuelle Beschädigungen der Dampfsperrfolie zu vermeiden.

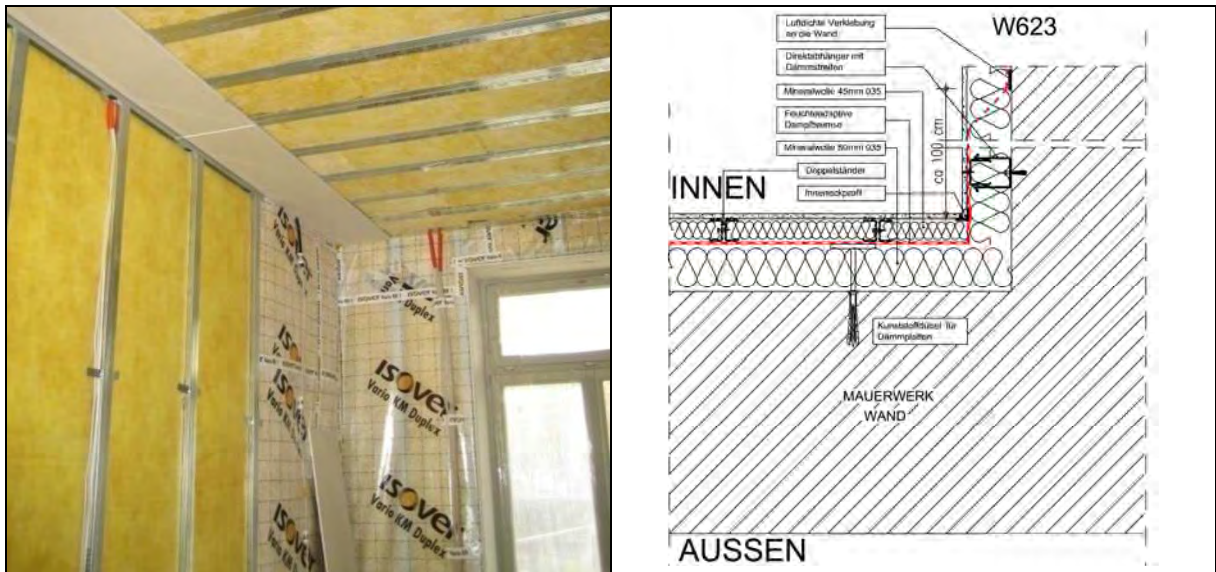


Abb. 56: Innenwand mit Versprung der Dampfbremse, Schallentkopplung durch frei gespannte Unterdecke

Abb. 57: Detailzeichnung – Sicherheitsebene [Osika]

Bei Trennbauteilen zu niedrig beheizten Zonen (z. B. Treppenhäusern) können im Bereich der Einbindestellen die Oberflächentemperaturen das Schimmelpilzkriterium unterschreiten. Die Innenwandflächen müssen dann in das Dämmsystem einbezogen werden. Auf den Abb. 58 + 59 ist jeweils links im Bild die Außenwand zu sehen. Die Trennwand rechts im Bild ist ungedämmt und grenzt bei dieser Erdgeschosswohnung an das nicht beheizte Treppenhaus an. Auf dem Thermogramm ist gut die niedrigere Oberflächentemperatur der Innenwand ablesbar.

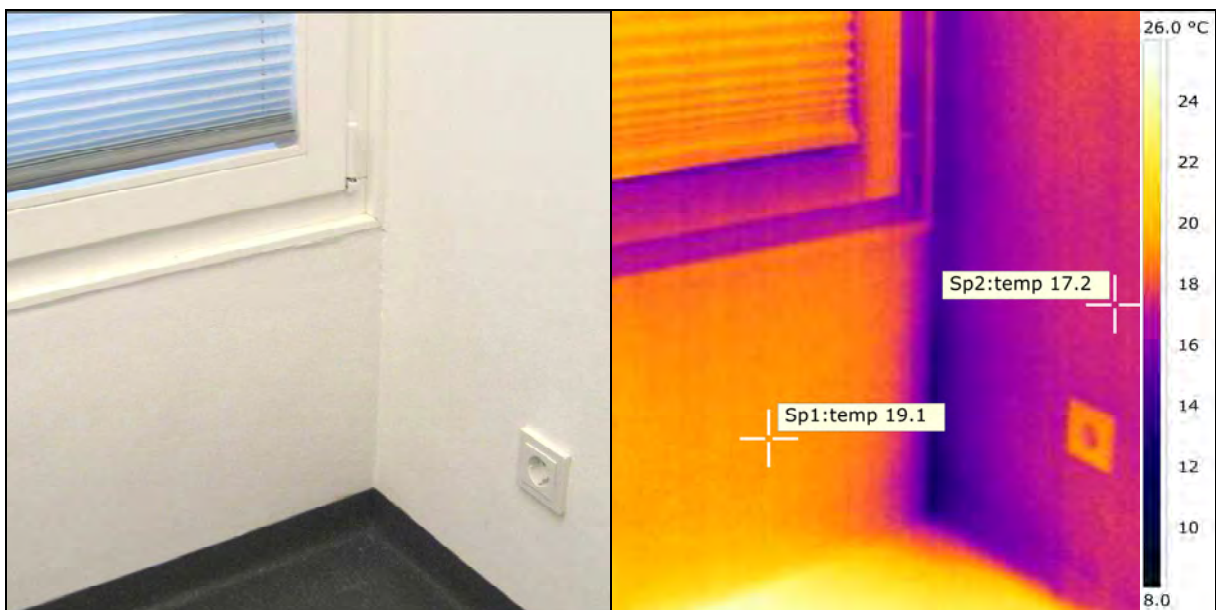


Abb. 58: Innenansicht der Treppenhauswand

Abb. 59: Deutliche Temperaturabsenkung an der Einbindestelle einer nicht gedämmten Treppenhauswand

Detailausbildung bei Innendämmungen

Die zuvor beschriebenen Temperaturabsenkungen entlang der Einbindestellen sind vernachlässigbar gering, wenn bei zweischaligen Außenwänden der Schalenzwischenraum nachträglich z. B. mit Einblasdämmung gedämmt wird. Entlang der einbindenden Bauteile ist dann meist keine zusätzliche Begleitdämmung erforderlich. Bei einem besichtigten Wohngebäude war zusätzlich zur Innendämmmaßnahme in den 6 – 8 cm breiten außen liegenden Schalenzwischenraum eine Einblasdämmung eingebracht worden. Auf dem Thermogramm ist erkennbar, dass die Oberflächentemperatur an der einbindenden massiven Innenwand auch ohne Flankendämmung kaum absinkt (s. Abb. 60 + 61).



Abb. 60: Innenansicht der in die zweischalige Außenwand einbindenden Innenwand

Abb. 61: Homogener Temperaturverlauf entlang der Einbindestelle

8.3.2 Stahlbetondecken

Bei einbindenden Stahlbetonbauteilen ist aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit von Stahlbeton verglichen mit anderen üblichen Wandbaustoffen meistens eine Dämmung der Einbindestelle erforderlich. Dies wird anhand eines baupraktischen Beispiels im Folgenden detailliert betrachtet.

Bei einem der im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Wohngebäude bestehen die Außenwände aus 36,5 cm dickem Ziegelmauerwerk, das beidseitig verputzt ist. Die tragenden Ziegellinnenwände sind 24 cm dick. Die Außenwand wurde innenseitig mit 8 cm dicken Mineraldämmplatten ($\lambda = 0,045 \text{ W/(mK)}$) gedämmt. Im Bereich der Kante berechnet sich bei Berücksichtigung der Randbedingungen des Schimmelpilzkriteriums nach Teil 2 von [DIN 4108]

eine Oberflächentemperatur von 13,7 °C (s. Abb. 62). Zur Vermeidung von Schimmelpilzschäden ist demnach entlang der einbindenden Innenwände keine Flankendämmung erforderlich. Sie kann jedoch Wärmebrückenverluste deutlich minimieren.

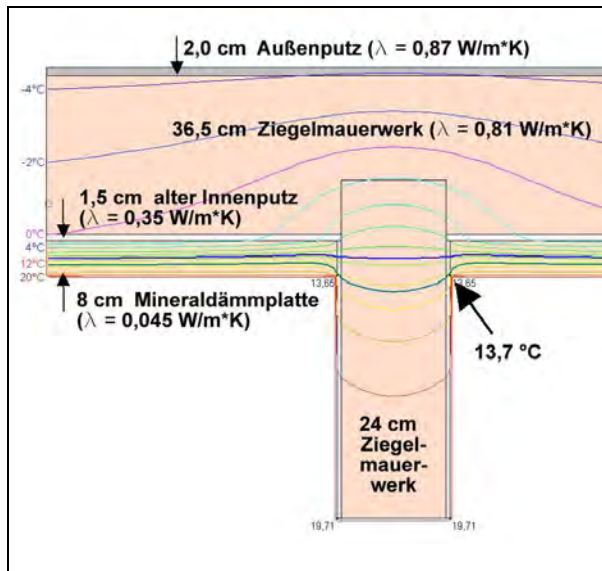


Abb. 62: Horizontalschnitt: Einbindende Ziegelinnenwand

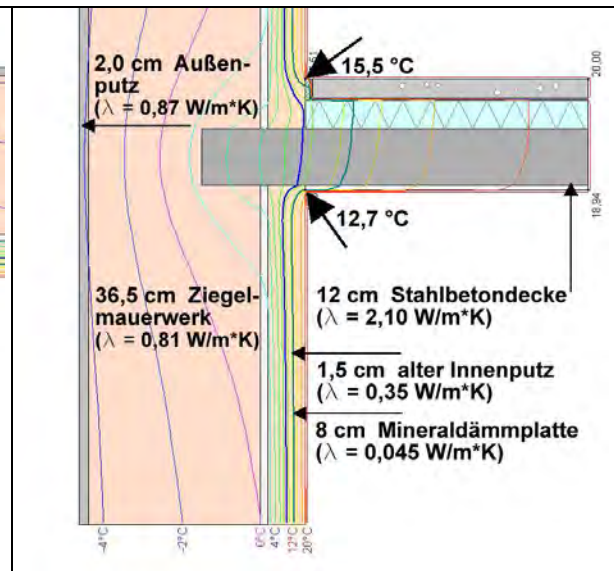


Abb. 63: Vertikalschnitt: Einbindende Stahlbetondecke

Die Decken des Gebäudes sind aus 12 cm dickem Stahlbeton hergestellt und oberseitig gedämmt worden. Im Bereich der oberen Raumkante errechnet sich eine minimale Oberflächentemperatur von 12,7 °C (s. Abb. 63). Das Schimmelpilzkriterium wird knapp erfüllt. Bei dem besichtigten Gebäude waren gut zwei Jahre nach der energetischen Ertüchtigung keine Schäden auf den Wand- und Deckenoberflächen feststellbar. Dies kann neben einem günstigen Nutzerverhalten auch dadurch begründet werden, dass die warme Innenraumluft der sehr hohen Räume die oberen raumumschließenden Flächen aufgrund der Luftströmungen sehr stark erwärmt. Entlang der Deckenoberseite wird aufgrund des Einbaus eines schwimmend verlegten Estrich mit der zusätzlichen Trittschalldämmung eine deutlich höhere Oberflächentemperatur von 15,5 °C erreicht. Auch im Bereich der dreidimensionalen Außenecke waren aufgrund der beschriebenen günstigen Raumklimabedingungen keine Schäden festzustellen (s. Abb. 64 + 65).

Da im Normalfall in diesen 3D-Ecken aufgrund der geringeren Luftströmung und der somit größeren Wärmeübergangswiderstände als im Bereich des Regelquerschnittes am ehesten die Gefahr von Schimmelpilzbildung bestehen, sollte die zuvor beschriebene Lösung in der Regel nicht angewendet werden.

Detailausbildung bei Innendämmungen

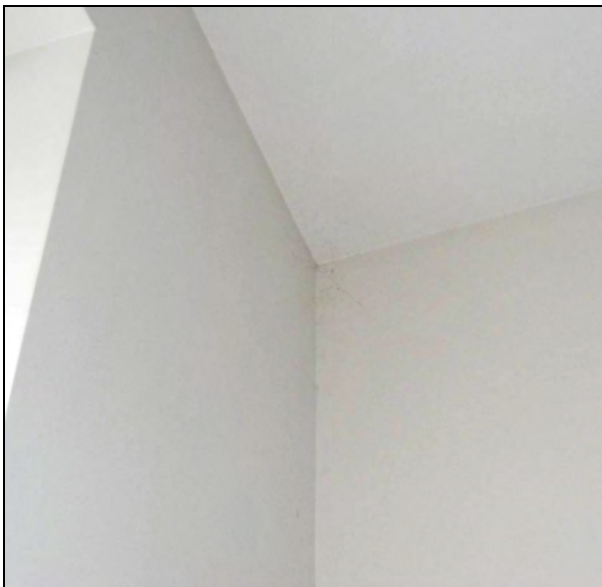


Abb. 64: Typische 3D-Ecke

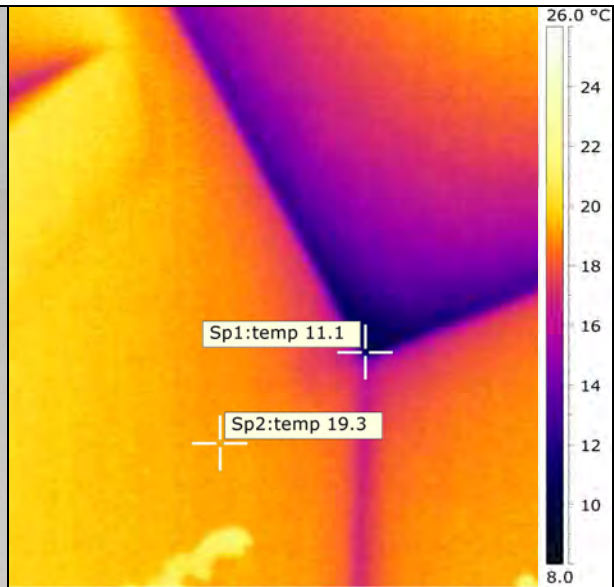


Abb. 65: Deutliche Temperaturabsenkung in der 3D-Ecke

8.4 Leichte Trennbauteile

8.4.1 Fachwerkkinnenwände und Holz-/Metallständerwände

Bei Gründerzeithäusern sind nicht tragende Innenwände häufig in Leichtbauweise z. B. als Fachwerkkonstruktion ausgeführt. Aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit dieser Innenwandbaumaterialien sind flankierende Dämmmaßnahmen in der Regel entbehrlich. Bei dem Beispielgebäude auf Abb. 66 grenzt ein Holzständer an die massive Außenwand (s. Pfeil).



Abb. 66: Typisches Beispiel einer einbindenden Fachwerkwand

Im Zuge umfassender energetischer Modernisierungen bei Altbauten werden oft auch die Grundrisszuschnitte an die Bedürfnisse zukünftiger Nutzer angepasst (z. B. Umnutzung von Scheunen oder Fabriken als Wohnungen). Werden leichte Innenwände nachträglich eingebaut, können diese entweder an die alte innere Oberfläche der Außenwand oder an die bereits eingebaute Innendämmung angeschlossen werden. Im zweiten Fall werden Wärmeverluste entlang der Einbindestelle sicher vermieden, daher eignet sich diese Konstruktion gut als Raumtrennwand (s. Abb. 67). Bei Wohnungstrennwänden (Wände zwischen unterschiedlichen

Nutzungseinheiten) müssen jedoch die jeweiligen Anforderungen des Schall- und Brandschutz eingehalten werden (s. Abb. 68). Dies hat meist zur Folge, dass die Trennwandkonstruktion bis an die Außenwand oder auf die Rohdecke geführt werden muss.

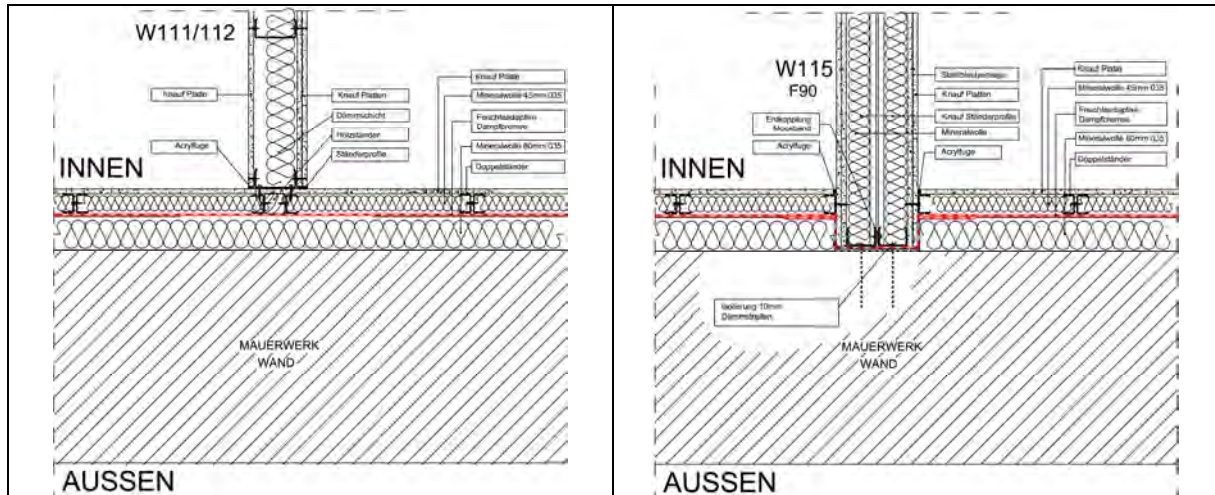


Abb. 67: Anschluss einer Raumbtrennwand an die innen gedämmte Außenwand [Osika]

Abb. 68: Anschluss einer Wohnungstrennwand an die innen gedämmte Außenwand [Osika]

8.4.2 Holzbalkendecken

Bei Gründerzeithäusern bestehen die Geschossdecken häufig aus Holzbalkendecken. Dabei können die Richtungen der Balkenlagen etagenweise wechseln (s. Abb. 69).

In die Innendämmung einbindende Holzbalkendecken stellen wärmeschutztechnisch aufgrund der verwendeten Materialien kein Problem dar. Wenn die Holzbalken in der Außenwand aufliegen, kann es jedoch zu feuchteschutztechnischen Problemen kommen: Unter gewissen Randbedingungen können sich an den in den kalten Bereich der Außenwand einbindenden Köpfen der Holzbalkendecken hohe Feuchtegehalte durch Sorptionsfeuchte einstellen. Durch diesen am Auflager reduzierten Wandquerschnitt liegen die Balkenköpfe weiterhin ggf. in einer stärker durch Schlagregen feuchtebelasteten Mauerwerkszone (s. Abb. 70). Daher ist in diesen Fällen zur Vermeidungen von Schäden insbesondere im Bereich der Holzbalkenköpfe eine genaue Kenntnis der hygrothermischen Randbedingungen erforderlich.

Bei funktionsfähigem Schlagregenschutz der Außenwand (intakter Außenputz) liegen die Feuchtegehalte jedoch meist im unkritischen Bereich [Haustein 2008]. Da Holzbauteile, die dauerhaft einem Feuchtegehalt von mehr als 30 Masse-% ausgesetzt sind, langfristig geschädigt werden, darf dieser nicht überschritten werden. Der in der Norm [E DIN 68800] genannte Wert von 20 M.-% enthält einen Sicherheitsbeiwert.

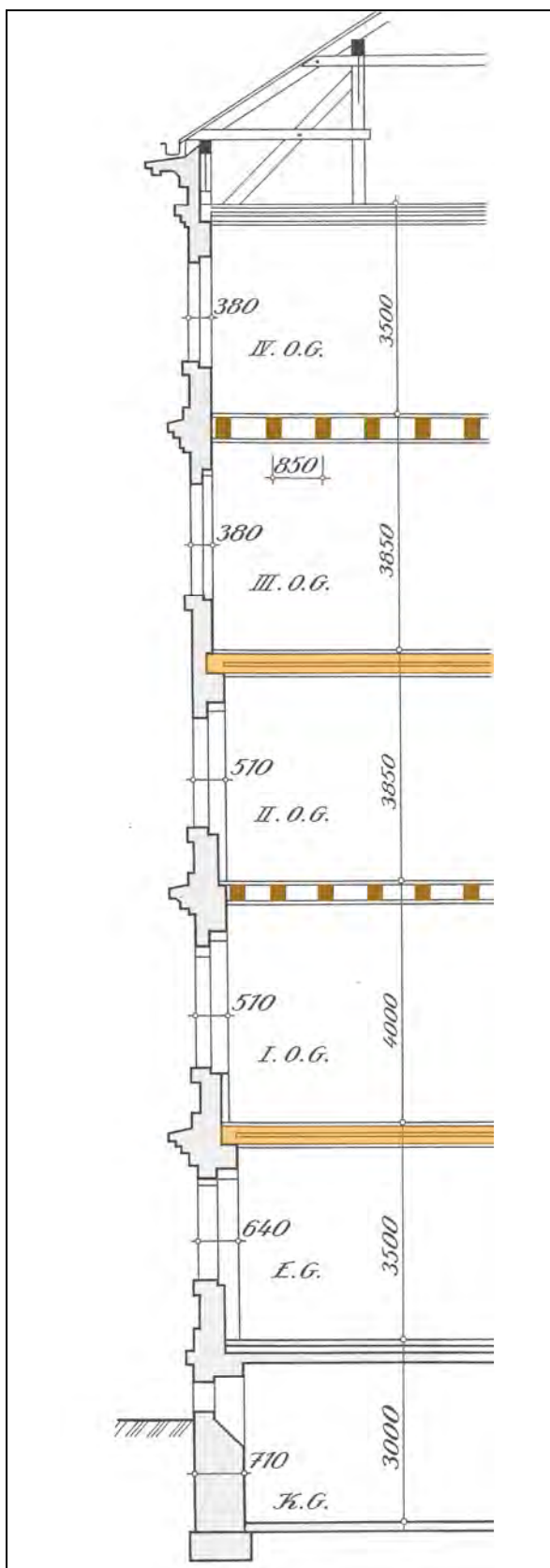


Abb. 69: Schnitt durch ein Gründerzeithaus mit stockwerksweise wechselnden Balkenlagen [Ahnert 1986]

Der Feuchteintrag in die Balkenköpfe erfolgt aufgrund des Luftspaltes zwischen Wandaussparung und Holzbalken nicht direkt über die gut saugende Stirnholzseite, sondern meist nur quer zur Faser entlang des unteren Auflagerpunktes [Gronau 2009]. Wie bereits beschrieben verschlechtert eine innen liegende Dämmschicht das Austrocknungsverhalten des Außenwandquerschnittes und verändert die hygrothermischen Verhältnisse im Wandquerschnitt (s. Kapitel 4.1). Daher ist von einer erhöhten Luftfeuchte im Bereich des Hohlraumes rund um den Balkenkopf auszugehen. Diese wirkt sich auf die Porenluftfeuchte des Holzes aus, sodass die Holzfeuchte geringfügig ansteigt.

Die Luftdichtheitsebene der Wandkonstruktion muss auch im Bereich der Holzbalken dauerhaft dicht angeschlossen sein, um einen Feuchteintrag aus der Innenraumluft zu verhindern. Teil 7 von [DIN 4108] führt hierzu aus, dass Anschlüsse von einbindenden Bauteilen wie z. B. Holzbalkendecken durch Verwendung von beispielsweise Anschlussstreifen oder Ausbildung einer wirksamen Abschottung luftdicht anzubinden sind.

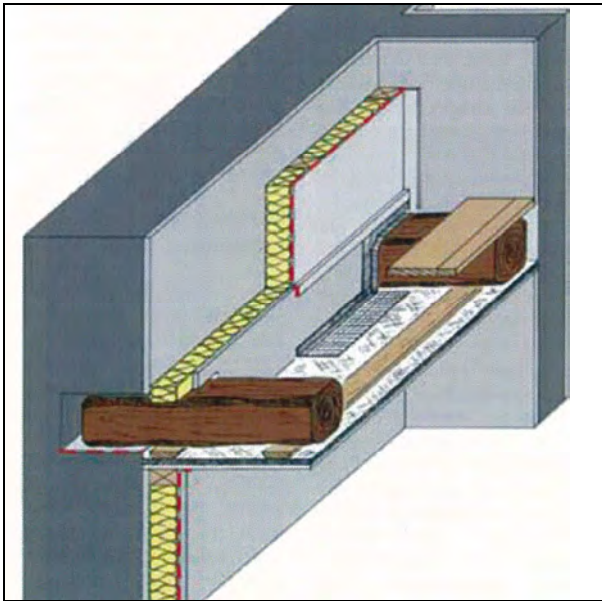


Abb. 70: Lage der Balkenköpfe in einer stark feuchtebelasteten Mauerwerkszone [Energieagentur NRW 2004]

Langjährige Erfahrungen der Projektleiter und Autoren, die Auswertung von Bauschadensgutachten und die Umfrageergebnisse im Rahmen der Forschungsarbeit zeigen insgesamt, dass bei einem funktionierendem Schlagregenschutz der Fassade, bei ausreichendem Schutz gegen aufsteigende Feuchte und bei einem mangelfreien Einbau der Innendämmung keine Schäden an den Balkenköpfen zu erwarten sind.

Unproblematisch ist die Ausführung der Innendämmung bei parallel zur Außenwand verlaufenden Holzbalken. Dieser Detailpunkt kann mit dem Anschluss von leichten Trennwänden (s. Kapitel 8.4.1) verglichen werden.

Zur Minimierung von Wärmeverlusten sollte die Innendämmung möglichst lückenlos - also auch im Bereich des Deckenaufbaus - auf der Innenseite der Außenwand verlegt werden (s. Abb. 70). Hierzu sind entweder die entlang der zu dämmenden Wand verlaufenden Dielen aufzunehmen und die Balkenzwischenräume zu dämmen oder die Deckenkonstruktion von der Unterseite zu öffnen, um die Dämmung von unten einbauen zu können (s. Abb. 71).

Eine sorgfältige Überprüfung der Balken und vor allem der Auflagerpunkte ist vor dem Einbau der Innendämmung immer dann erforderlich, wenn die Randbedingungen Schäden befürchten lassen. Es muss geklärt werden, wie stark die Schädigung ist und ob nicht ggf. Unterstützung oder Ersatz der Holzbauteile erforderlich sind (s. Abb. 72). Dies kann der Fall sein, wenn einschalige Sichtmauerwerkkonstruktionen durch Schlagregen belastet werden oder bei leer stehenden Gebäuden beispielsweise Fensterscheiben zerbrochen sind und die inneren Holzbauteile äußeren Witterungseinflüssen ausgesetzt sind.

In einem der Untersuchungsobjekte wurden die verfaulten und nicht mehr tragfähigen Holzbalkenköpfe durch in die Außenwandkonstruktion einbindende Stahlzangen ersetzt (s.

Detailausbildung bei Innendämmungen

Abb. 73). Die Anschlussbereiche der gut wärmeleitenden Stahlträger an die Innendämmung sind besonders sorgfältig - ggf. auch flankierend - zu dämmen, damit Schäden durch deutliche Temperaturabsenkungen an den Innenoberflächen sicher vermieden werden können (s. Abb. 74).



Abb. 71: Balkenköpfe der Holzbalkendecke ungeschädigt und tragfähig [Borsch-Laaks]



Abb. 72: Überprüfung des Zustandes der Balkenköpfe im Bereich der Auflager der Holzbalkendecke [Flohr 2009]



Abb. 73: Ersatz der durch Wasserschaden verfaulten Balkenköpfe durch Stahlzangenkonstruktionen [Borsch-Laaks]



Abb. 74: Stahlträger gedämmt, Montage des Dämmputzes [Borsch-Laaks]

Deutlich aufwändiger und kostenintensiver sind beispielsweise Ersatzmaßnahmen durch Glasfaser verstärkte Kunststoffträger (s. Abb. 75). Vorteil dieser Konstruktion ist jedoch eine ähnliche Wärmeleitfähigkeit des Materials wie Holz sowie eine gute Bearbeitbarkeit der Oberfläche. Aufgrund der sehr hohen Kosten wird diese Ertüchtigungsmaßnahme meist nur bei besonderen, oft denkmalgeschützten Gebäuden - wie z. B. Schlossanlagen - ausgeführt [Flohr 2009].



Abb. 75: Ersatz der nicht tragfähigen Balkenköpfe durch GFK-Träger [Flohr 2009]

8.5 Zusammenfassung zur Anschlussausbildung von einbindenden Bauteilen bei Innendämmungen

Bei in Außenwände einbindenden Mauerwerksinnenwänden hängt die Erforderlichkeit einer Flankendämmung vom Flächengewicht und von der Rohdichte der Bauteile ab. In den meisten Fällen kann auf eine zusätzliche Flankendämmung verzichtet werden, wenn lediglich Oberflächentemperaturen von $> 12,6\text{ C}^\circ$ (Schimmelpilzkriterium) angestrebt werden.

Bei einbindenden Stahlbetonbauteilen ist aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit eine Begleitdämmung erforderlich. Die Entschärfung vorhandener Wärmebrücken kann durch den Einbau von Dämmkeilen, wärmequerleitender Abdeckungen oder eine Beheizung der Einbindestelle geschehen.

Detaillausbildung bei Innendämmungen

Bei einer zweischaligen Außenwandkonstruktion, deren Schalenzwischenraum nachträglich gedämmt wird sowie bei einbindenden leichten Trennwänden ist meist keine Zusatzdämmung erforderlich.

Weiterhin ist zu prüfen, ob das einbindende Bauteil von der Dämmebene entkoppelt werden kann, da somit eine Wärmebrücke vermieden wird. Dies kann z. B. bei leichten Trennwänden innerhalb einer Nutzeinheit geschehen, so dass keine Flankendämmung eingebaut werden muss.

Hinsichtlich des einzuhaltenden Wärmeschutzes sind die Deckenaufleger von Holzbalkendecken als unproblematisch zu bewerten. Dennoch sollten Wärmeverluste durch eine im Deckenpaket fortgeführte Dämmebene reduziert werden.

Ausschlaggebendes Kriterium für Schäden an den Balkenköpfen von Holzbalkendecken können jedoch hygrothermische Randbedingungen sein. Durch am Auflagerpunkt reduzierte Außenwandquerschnitte liegen die Balkenköpfe in einer ggf. stärker feuchtebelasteten Mauerwerkszone. Eine innenliegende Dämmung erhöht die relative Feuchte im alten Wandquerschnitt. Die Schädigung der in die Außenwand einbindenden Holzbauteile ist durch Sicherstellung des Schlagregenschutzes und Vermeidung des Feuchteintrages aus der Raumluft zu verhindern.

Bei sich aus der Baukonstruktion (z. B. einschaligen Sichtmauerwerkskonstruktionen mit Schlagregenbelastung) oder der Nutzungsgeschichte (z. B. langfristiger Leerstand eines Gebäudes) ergebenden Anlässen ist daher eine Überprüfung der Deckenaufleger von Holzbalkendecken zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit notwendig.

9. Zusammenfassung der Ergebnisse der Forschungsarbeit

9.1 Grundsätzliches

Im historischen Gebäudebestand kann bei gestalterisch anspruchsvollen Fassaden der Wärmeschutz der Gebäudehülle häufig nur durch Innendämmungen verbessert werden.

Innendämmungen sind bei fachgerechter Planung und sorgfältiger Ausführung auch auf hohem Wärmeschutzniveau schadensfrei möglich. Der Einfluss von Wärmebrücken steigt jedoch mit zunehmendem Dämmniveau stark an.

Häufig werden bei hohem energetischem Wärmeschutzniveau Lösungen ausgeführt, die sehr aufwändig und entsprechend kostenintensiv sind. Mit der vorliegenden Arbeit wird anhand von Berechnungen und an ausgeführten Beispielen untersucht, ob weniger aufwändige Konstruktionen auch funktionieren. Dabei werden die erforderlichen Maßnahmen ermittelt, die je nach Bauart variieren können. Die Untersuchung beschäftigt sich mit den Grenzen des sinnvollen Wärmeschutzes bei Altbauten und damit, ob energetische Modernisierungen an kritischen Konstruktionen zu Schäden führen können.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden die Angaben zu 28 Objekten ausgewertet, zehn der Gebäude konnten besichtigt werden. Dabei wurde festgestellt, dass in der Regel:

- diffusionsoffene Innendämmsysteme nur vereinzelt ausgeführt werden;
- flankierend zu den Innendämmungen auch das Heizsystem und die Fenster erneuert werden;
- in Fensterleibungen Dämmstoffe mit geringerer Wärmeleitfähigkeit verwendet werden;
- an massive Außenwandkonstruktionen anschließende Innenbauteile flankierend gedämmt werden.

Aus den Feststellungen an den untersuchten Objekten werden in der Baupraxis anwendbare Detaillösungen für Innendämmungen von Außenwänden entwickelt.

Zusammenfassung

Die Gebrauchstauglichkeit von Innendämmungen wurde unter anderem bei einem vor etwa 25 Jahren modernisierten Gebäude überprüft, das bereits zum damaligen Zeitpunkt die Anforderungen der heute gültigen Energieeinsparverordnung erfüllte. An diesem Gebäude wurden die Detailpunkte besonders sorgfältig geplant und ausgeführt: abschnittsweise Einbau einer nachträglichen Querschnittsabdichtung zum Schutz gegen aufsteigende Feuchte, Schlämmen der Außenwände zur Verbesserung des Schlagregenschutzes, Einbau einer 12 cm dicken Dämmschicht ($\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$) auf der Innenseite der Außenwände und raumseitiger Dampfsperre mit innerer Vormauerschale sowie Dämmung der Fensterleibungen und Flankendämmung entlang der einbindenden Bauteile.

Bei den im Gebäudebestand typischen Mauerwerksaußenwänden benötigen Innendämmungen keine Dampfsperre. Bei einer Dämmung der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ liegt die Grenze des energetisch sinnvollen Wärmeschutzes bei einer Dicke von etwa 10 cm. Dickere Schichten wirken sich energetisch nicht mehr aus, da die Wärmeenergie nicht mehr in nennenswertem Umfang über die Wandflächen übertragen wird, sondern (fast) nur durch die unvermeidbaren Wärmebrücken. Wenn unter erhöhtem konstruktiven Aufwand Wärmebrücken zusätzlich gedämmt werden, kann die sinnvolle Grenze der Dicke in der Fläche auf 15 cm erhöht werden.

Fensterleibungen sollten ebenfalls gedämmt und nicht davon ausgespart werden. Dabei lässt sich ohne großen Zusatzaufwand das Schimmelpilzkriterium aus DIN 4108 mit den dort formulierten Randbedingungen erzielt werden. Bauphysikalisch günstig ist der Einbau neuer Fenster in der Ebene der Innendämmung, da die Oberflächentemperaturen im Anschlussbereich weniger stark absinken.

Unter Schadensaspekten können einbindende Mauerwerkswände zur Erreichung ausreichender Oberflächentemperaturen häufig ohne Flankendämmung schadensfrei ausgeführt werden. Bei hohem Wärmeschutzniveau jedoch ist eine Flankendämmung energetisch sinnvoll. Auch bei Stahlbetonbauteilen ist eine Dämmung der Einbindestelle zur Schadensvermeidung meist erforderlich.

Bei Gebäuden mit Innendämmungen, bei denen Holzbalkendecken in die Außenwand einbinden, ist zur Vermeidung von Schäden an den Balkenköpfen auf einen funktionsfähigen Schlagregenschutz (z. B. einen intakten Außenputz) der Außenwandkonstruktion zu achten. Zusätzlich ist ein Feuchteintrag aus der Raumluft durch konvektive Strömungen zu verhindern. Vor Ausführung der Innendämmung müssen die Balkenköpfe bei konkreten Verdachtsmomenten für eine Schädigung hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit überprüft werden. Zur Reduzierung von Wärmeverlusten sollte die Dämmebene im Deckenaufbau weitergeführt werden.

Die Randbedingungen variieren im jeweiligen Einzelfall. Innendämmungen sind mit Sachverstand zu planen und sorgfältig auszuführen.

9.2 Weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit belegen, dass sich die in der Energieeinsparverordnung [EnEV 2009] festgeschriebenen Anforderungen an den U-Wert der innen gedämmten Außenbauteile umsetzen lassen. Hinsichtlich der Dämmschichtdicken sind die Grenzen der Wirtschaftlichkeit nahezu erreicht, da bei noch geringeren U-Werten das Schadenspotential an den Bestandsbauteilen häufig sehr stark ansteigt.

Das integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) der Bundesregierung sieht eine weitere Erhöhung der energetischen Anforderungen um ca. 30 Prozent ab dem Jahr 2012 vor. Im am 28.09.2010 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit herausgegebenen „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ ist zudem als zentrales Ziel für die energetische Gebäudesanierung und ein energieeffizientes Bauen formuliert, dass der Gebäudebestand bis 2050 nahezu klimaneutral sein soll.

Zur Umsetzung dieser Anforderungen ist es unumgänglich, auch die Anlagentechnik unter Einbeziehung von Erneuerbaren Energien bei der Planung von Modernisierungen mit zu berücksichtigen. Weiterhin ist zu beachten, dass eine Energiebedarfsreduzierung durch bau-

Zusammenfassung

konstruktive Modernisierungsmaßnahmen häufig dazu führt, dass die vorhandene Anlagentechnik nicht auf den verringerten Energiebedarf abgestimmt bzw. überdimensioniert ist.

Die Effizienz energetischer Modernisierungen kann um ein Vielfaches gesteigert werden, wenn baukonstruktive Modernisierungsmaßnahmen mit einem Austausch der veralteten und dem Einsatz effizienter Anlagentechnik kombiniert werden.

Diese ganzheitliche Betrachtungsweise energetischer Modernisierungen spiegelt sich auch in der Umstellung des Nachweisverfahrens für Wohngebäude auf das Normenwerk [DIN V 18599] wider, welches ein Verfahren zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beinhaltet, das die gesamte anlagentechnische Ausstattung eines Gebäudes mit einbezieht. Hinsichtlich der Betrachtung solcher ganzheitlichen Energiekonzepte und der Konsequenzen bei der Umsetzung in die Baupraxis besteht weiterer Forschungsbedarf.

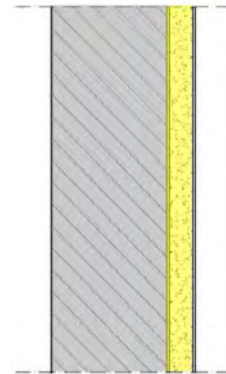
10. Objektdokumentation

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 1**

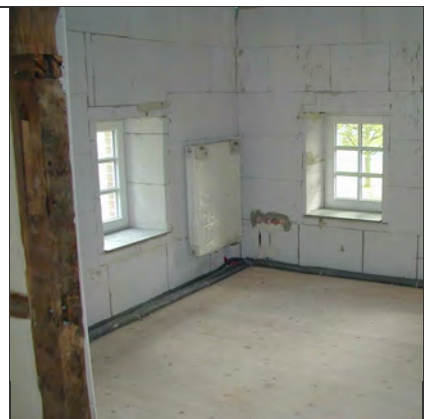
Städtebauliche Situation	freistehendes Bauernhaus
Denkmalschutzaufgaben	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	2 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1900
Jahr der Modernisierung	2006

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Bruchsteinmauerwerk, 50 cm
ggf. alte Innenoberfläche	Kalkzementputz
Innendämmung	Mineraldämmplatte, 10 cm, WLG 045
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	mineralischer Leichtmörtel, 5 mm
Verbesserung R-Wert	2,22 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,38 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

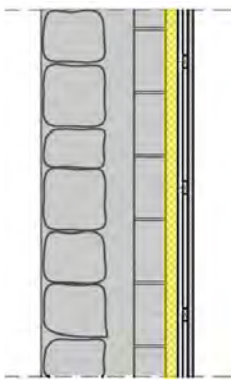
Deckenanschluss	Balken z. T. erneuert, mitgedämmt
einbindende Innenwände	nicht mitgedämmt
Fensteranschluss	Mineraldämmplatte, 5 cm, WLG 045
Erker / Balkon	-



ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 2**

Städtebauliche Situation	freistehendes Berghaus, Mittelgebirgslage	
Denkmalschutzaufgaben	nein	
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken	
Anzahl der Geschosse	2	
Gebäudetyp / Nutzung	Unterkunftshaus mit Gastwirtschaft	
Baujahr	1928	
Jahr der Modernisierung	2005	

AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)

äußerer Oberflächenschutz	z. T. Holzschindeln bzw. Granit-Zyklopen-MW	
Außenwandkonstruktion	Granitmauerwerk 50 cm, innen mit Vollziegel angemauert	
ggf. alte Innenoberfläche	Holzpaneele	
Innendämmung	PUR-Dämmpaneel, 5 cm, WLG 035	
Dampfsperre	integriert in Dämmpaneel	
neue Innenoberfläche	Holzpaneelbekleidung, 2 cm	
Verbesserung R-Wert	1,43 (m²K/W)	
U-Wert gesamte Wand	0,55 W/(m²K)	

KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN

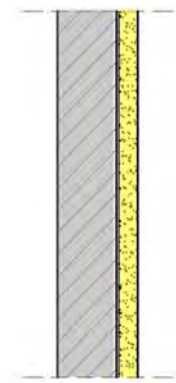
Deckenanschluss	k. A.	
einbindende Innenwände	k. A.	
Fensteranschluss	EPS, 5 cm	
Erker / Balkon	-	

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 11**

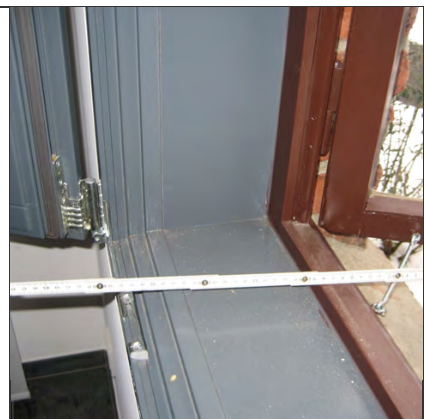
Städtebauliche Situation	freistehende ehem. Schmiede
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	1 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Büronutzung
Baujahr	1891 - 1935
Jahr der Modernisierung	2007 / 2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	Hydrophobierung
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, 25 cm, neu verfugt
ggf. alte Innenoberfläche	entfernt
Innendämmung	Mineraldämmplatte, 8 cm, WLG 045
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	Porenbetonvorsatzschale, 17,5 cm
Verbesserung R-Wert	1,78 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,44 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	Köpfe der Holzbalkendecke ok, teilweise mit Stahllaschen unterstützt
einbindende Innenwände	teilweise Ständerwerk, gedämmt
Fensteranschluss	Fenster erneuert i. d. Ebene d. Innendämmung, Leibung dünner mitgedämmt
Erker / Balkon	-

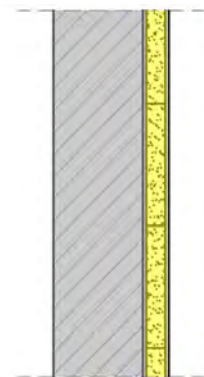


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 12**

Städtebauliche Situation	freistehendes ehem. Kontorgebäude
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Kappen- bzw. Stb.-decken
Anzahl der Geschosse	4
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1898 - 1955
Jahr der Modernisierung	2007 / 2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Reichziegelsichtmauerwerk, 38 cm
ggf. alte Innenoberfläche	alter Kalkzementputz
Innendämmung	Gipsputz, 5mm, Mineraldämmplatte, 8 cm
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	mineral. Leichtmörtel, Gipsputz, 1,5 cm
Verbesserung R-Wert	1,78 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,41 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	Anschlüsse nicht mitgedämmt, neuer Aufbau mit Fußbodenheizung
einbindende Innenwände	Trockenbaukonstruktion
Fensteranschluss	Mineraldämmplatte, 3-4 cm
Erker / Balkon	neu angebaut



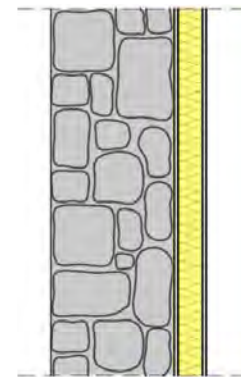
ALLGEMEINE ANGABEN

Objekt-Nr.: 13

Städtebauliche Situation	freistehendes Bauernhaus
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	2 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1873
Jahr der Modernisierung	2007

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Lippischer Sandstein / Bruchstein, 50 cm
ggf. alte Innenoberfläche	entfernt, neu: Leichtlehmputz 1 cm
Innendämmung	Holzweichfaserplatte, in Putz gedrückt + verdübelt 10 cm, WLG 040
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	Lehminnenputz, 1,5 cm
Verbesserung R-Wert	2,50 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,37 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	nicht mitgedämmt, Balkenköpfe ok
einbindende Innenwände	nicht mitgedämmt
Fensteranschluss	teilw. 3-4 cm Calciumsilikat / Holzweichfaserplatte
Erker / Balkon	-

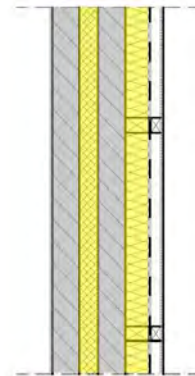


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 14**

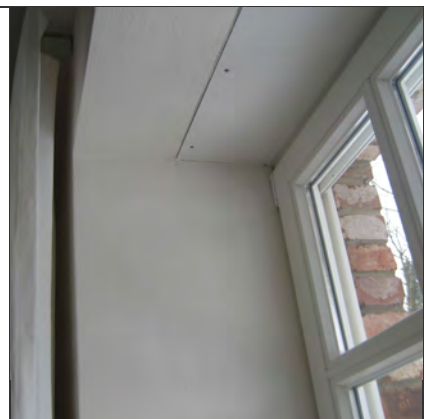
Städtebauliche Situation	freistehendes Bauernhaus
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	1 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1886
Jahr der Modernisierung	2007

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	2 x 11,5 cm ZiegelMW mit Kerndämmung
ggf. alte Innenoberfläche	-
Innendämmung	Zellulose zw. KVH, 10 cm, WLG 040
Dampfsperre	feuchteadaptive Dampfsperre
neue Innenoberfläche	OSB-Platte, 1,2 cm, GK-Platte, 1,5 cm
Verbesserung R-Wert	2,29 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,27 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	Köpfe ok, neuer Fußbodenaufbau mit Fußbodenheizung
einbindende Innenwände	nicht mitgedämmt, da Außenwand mit Kerndämmung
Fensteranschluss	3-4 cm mitgedämmt
Erker / Balkon	vor die Außenwand gestellt

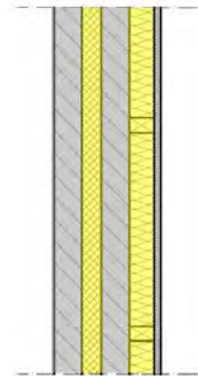


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 15**

Städtebauliche Situation	freistehendes Bauernhaus
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Fachwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	1 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1801
Jahr der Modernisierung	2004

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	
Außenwandkonstruktion	2 x 11,5 cm KS-MW mit Kerndämmung
ggf. alte Innenoberfläche	-
Innendämmung	Zellulose zw. KVH, 10 cm, WLG 040
Dampfsperre	OSB-Platte, 1,2 cm
neue Innenoberfläche	Gipsfaserplatte, 1,5 cm
Verbesserung R-Wert	2,29 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,27 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	mitgedämmt, EPS WLG 040
einbindende Innenwände	Ständerwerk, nicht mitgedämmt
Fensteranschluss	nicht mitgedämmt
Erker / Balkon	-



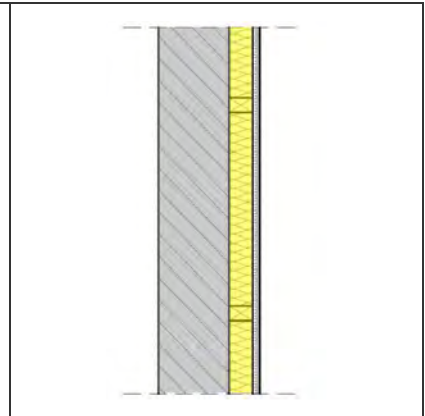
ALLGEMEINE ANGABEN

Objekt-Nr.: 16

Städtebauliche Situation	freistehendes Kötterhaus
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk
Anzahl der Geschosse	1 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	
Jahr der Modernisierung	2007/2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, 25-30 cm
ggf. alte Innenoberfläche	
Innendämmung	Zellulose zw. KVH, 10 cm, WLG 040
Dampfsperre	OSB-Platte, 1,5 cm
neue Innenoberfläche	Gipsfaserplatte, 1,5 cm
Verbesserung R-Wert	2,29 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,35 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	Gebäude vollständig entkernt
einbindende Innenwände	Fachwerkständerwände
Fensteranschluss	nicht mitgedämmt
Erker / Balkon	-

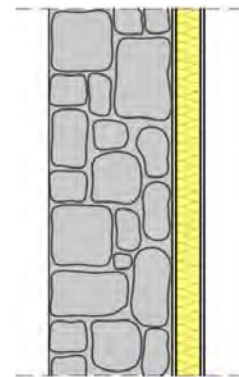


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 17**

Städtebauliche Situation	freistehendes Bauernhaus
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	2 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1880
Jahr der Modernisierung	2007 / 2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Bruchsteinmauerwerk, 50 cm
ggf. alte Innenoberfläche	entfernt, neu: Leichtlehmputz, 1 cm
Innendämmung	Korkdämmplatte, verklebt + verdübelt, 10 cm, WLG 040
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	Lehminnenputz
Verbesserung R-Wert	2,29 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,35 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	mitgedämmt
einbindende Innenwände	Ständerbauweise, gedämmt
Fensteranschluss	Korkdämmplatte, 3 cm, WLG 040
Erker / Balkon	-



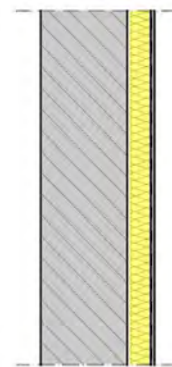
ALLGEMEINE ANGABEN

Objekt-Nr.: 20

Städtebauliche Situation	Blockrandbebauung
Denkmalschutzaufgaben	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	3 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1900 - 1902
Jahr der Modernisierung	2001 / 2002

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk (Klinker- / Backstein), 38 cm bzw. 52 cm, Rohdichte ca. 2.200 kg/m³
ggf. alte Innenoberfläche	Putz
Innendämmung	Mineralwolle, 8 cm, WLG 035
Dampfsperre	feuchteadaptive Dampfbremse, s_d -Wert 0,3–5,0
neue Innenoberfläche	GK-Bekleidung
Verbesserung R-Wert	um 2,29 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,34 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	neuer Fußbodenaufbau (Gussasphalt) und Unterdecke
einbindende Innenwände	mitgedämmt, Dampfbremsenversatz nach 50 cm
Fensteranschluss	Mineralwolle WLG 035
Erker / Balkon	-

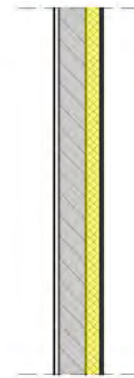


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 21**

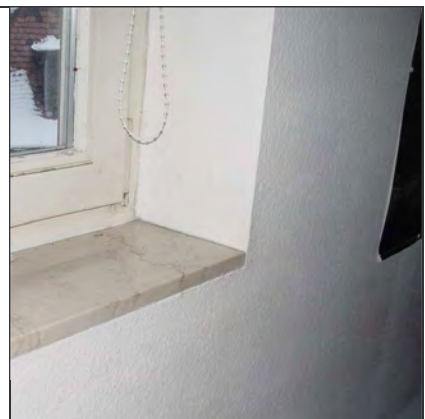
Städtebauliche Situation	einseitig angebaut
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	3
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1903
Jahr der Modernisierung	2000

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	KZ-Putz, 2 cm
Außenwandkonstruktion	Ziegelmauerwerk, 11,5 cm
ggf. alte Innenoberfläche	
Innendämmung	EPS, 6 cm, WLG 040
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	Gipskartonbekleidung, 1,25 cm
Verbesserung R-Wert	1,50 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,54 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	
einbindende Innenwände	
Fensteranschluss	
Erker / Balkon	

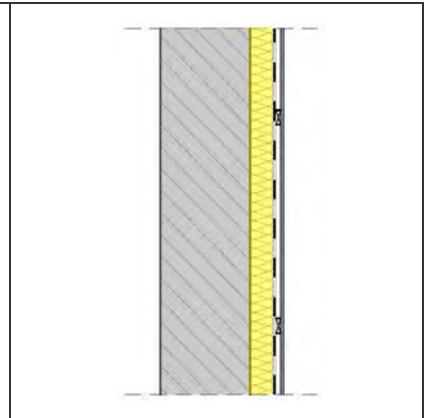


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 22**

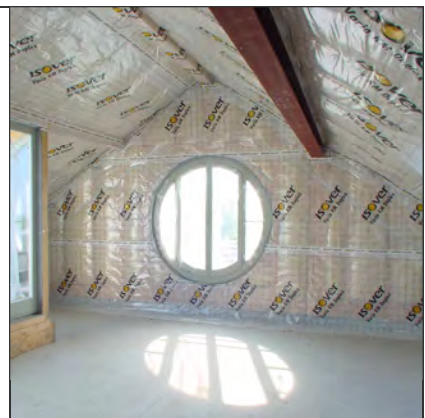
Städtebauliche Situation	ehem. Kaserne
Denkmalschutzaufgaben	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	2 + Dach bzw. 4 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	um 1890
Jahr der Modernisierung	2005 - 2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, (Klinker- / Backstein), 38 cm bzw. 52 cm, Rohdichte 2.200 kg/m ³
ggf. alte Innenoberfläche	Putz 1,5 cm
Innendämmung	Mineralwolle, 10 cm, WLG 035
Dampfsperre	feuchteadaptive Dampfbremse, s_d -Wert 0,3 – 5,0
neue Innenoberfläche	GK-Bekleidung auf Vorsatzschale
Verbesserung R-Wert	um 2,86 (m ² K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,29 W/(m ² K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

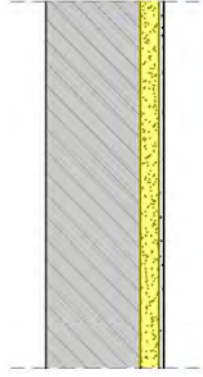
Deckenanschluss	neuer Fußbodenaufbau (Anhydritestrich) und Unterdecke
einbindende Innenwände	mitgedämmt, Dampfbremsenversatz nach 50 cm
Fensteranschluss	Mineralwolle WLG 035, alukaschierte PU-Hartschaumplatte 2 – 3 cm mit WLG 025
Erker / Balkon	Balkone mit ISO-Körben angeschlossen



ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 23**

Städtebauliche Situation	k. A.	
Denkmalschutzauflagen	nein	
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk	
Anzahl der Geschosse	k. A.	
Gebäudetyp / Nutzung	k. A.	
Baujahr	1897	
Jahr der Modernisierung	2009	

AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)

äußerer Oberflächenschutz	-	
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, 40 cm	
ggf. alte Innenoberfläche	entfernt, Lehmputz, 2 cm	
Innendämmung	Mineraldämmplatte, 8 cm, WLG 045	
Dampfsperre	-	
neue Innenoberfläche	Lehmputz	
Verbesserung R-Wert	1,78 (m²K/W)	
U-Wert gesamte Wand	0,41 W/(m²K)	

KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN

Deckenanschluss	bis zur Deckenoberseite gedämmt	
einbindende Innenwände	k. A.	
Fensteranschluss	Mineraldämmplatte, 5 cm, WLG 045	
Erker / Balkon	k. A.	

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 26**

Städtebauliche Situation	giebelständige Blockrandbebauung	
Denkmalschutzauflagen	nein	
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk	
Anzahl der Geschosse		
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnhaus mit Geschäftseinheit	
Baujahr	1893	
Jahr der Modernisierung	1995	

AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)

äußerer Oberflächenschutz		
Außenwandkonstruktion	Ziegelmauerwerk	
ggf. alte Innenoberfläche		
Innendämmung	EPS-Dämmplatten, 5 cm	
Dampfsperre	Folie	
neue Innenoberfläche	Gipsfaserverbundplatten	
Verbesserung R-Wert	1,25 (m²K/W)	
U-Wert gesamte Wand	0,52 W/(m²K)	

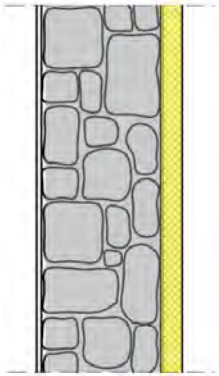
KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN

Deckenanschluss	
einbindende Innenwände	
Fensteranschluss	
Erker / Balkon	

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 27**

Städtebauliche Situation	Blockrandbebauung	
Denkmalschutzauflagen	nein	
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecke	
Anzahl der Geschosse	3 - 4 + Dach	
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung	
Baujahr	1900	
Jahr der Modernisierung	2006	

AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)

äußerer Oberflächenschutz	Putz	
Außenwandkonstruktion	Natursteinmauerwerk 50 cm	
ggf. alte Innenoberfläche	k. A.	
Innendämmung	PUR-Dämmpaneel, 7 - 8 cm	
Dampfsperre	in Dämmpaneel integriert	
neue Innenoberfläche		
Verbesserung R-Wert	2,29 (m²K/W)	
U-Wert gesamte Wand	0,37 W/(m²K)	

KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN

Deckenanschluss	Dämmung endet oberhalb der Balken	
einbindende Innenwände	k. A.	
Fensteranschluss	Calciumsilikat	
Erker / Balkon	k. A.	

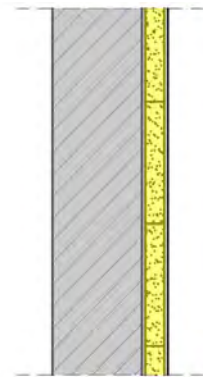
ALLGEMEINE ANGABEN

Objekt-Nr.: 28-1 bis 28-5

Städtebauliche Situation	freistehend
Denkmalschutzaufgaben	nein
Konstruktionsprinzip	MW / Fachwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	2 + 2 Dachgeschosse
Gebäudetyp / Nutzung	Seminargebäude
Baujahr	1926
Jahr der Modernisierung	1988, 2007 / 2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Mauerwerk
ggf. alte Innenoberfläche	entfernt
Innendämmung	Mineralschaum, Holzfaserplatten, Zellulose, VIP, PS-Verbundplatten
Dampfsperre	Div.
neue Innenoberfläche	Putz, Gipsplatten
Verbesserung R-Wert	2,24 – 4,13 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,21 – 0,35 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	keine Flankendämmung
einbindende Innenwände	Flankendämmung nur bei VIP erforderlich
Fensteranschluss	mitgedämmt
Erker / Balkon	keine Flankendämmung

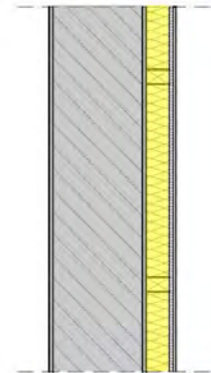


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 29**

Städtebauliche Situation	freistehend
Denkmalschutzaufgaben	k. A.
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	2 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1905
Jahr der Modernisierung	2007 / 2008

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	Kalkzementputz
Außenwandkonstruktion	Ziegel, Sandstein, 38 cm
ggf. alte Innenoberfläche	Kalkputz
Innendämmung	Zellulose eingeblasen zw. KVH, 10 cm, z. T. Dämmputz, 15 cm
Dampfsperre	OSB-Platte, 1,5 cm, z. T. feuchtheadaptive Dampfbremse
neue Innenoberfläche	Gipskarton-Platte, 1,2 cm, bzw. Innenputz
Verbesserung R-Wert	2,29 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,34 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

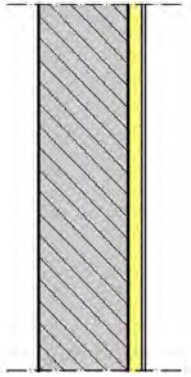
Deckenanschluss	Dämmung bis in die Decke gezogen
einbindende Innenwände	nicht mitgedämmt
Fensteranschluss	Sandsteingewände innen gefälzt zur Wärmebrückenreduzierung, Zellulosedämmung, OSB-Platte
Erker / Balkon	Sandstein mit Zellulose- Innendämmung



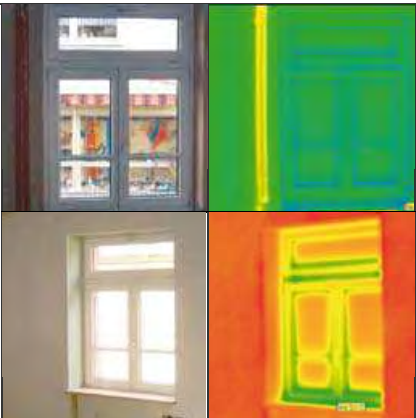
ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 30**

Städtebauliche Situation	freistehend, angrenzend an Objekt 31	
Denkmalschutzauflagen	nein	
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecke	
Anzahl der Geschosse	2 + Dach	
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung	
Baujahr	1927	
Jahr der Modernisierung	2005	

AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)

äußerer Oberflächenschutz	-	
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, 38 cm	
ggf. alte Innenoberfläche	k. A.	
Innendämmung	Mineraldämmplatte 6 cm, WLG 045	
Dampfsperre	-	
neue Innenoberfläche	mineralischer Leichtputz	
Verbesserung R-Wert	1,33 (m²K/W)	
U-Wert gesamte Wand	0,51 W/(m²K)	

KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN

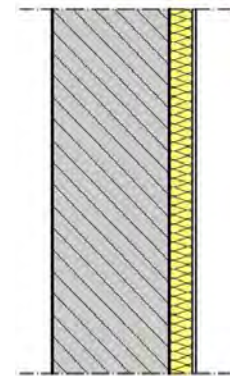
Deckenanschluss	Dämmung endet oberhalb, wg. Schüttung zw. d. Balken	
einbindende Innenwände	k. A.	
Fensteranschluss	EPS, 2 cm, WLG 035, endet vor Blendrahmen	
Erker / Balkon	-	

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 31**

Städtebauliche Situation	freistehend, angrenzend an Objekt 30
Denkmalschutzauflagen	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken
Anzahl der Geschosse	1 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Nebengebäude, Wohnnutzung
Baujahr	1870
Jahr der Modernisierung	2009

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	teilweise Putz
Außenwandkonstruktion	Kalksteinsichtmauerwerk, 50 cm
ggf. alte Innenoberfläche	k. A.
Innendämmung	Mineraldämmplatte, 10 cm, WLG 045
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	mineralischer Leichtputz
Verbesserung R-Wert	2,22 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,35 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

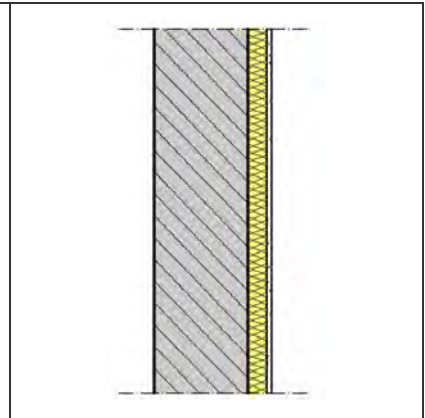
Deckenanschluss	mitgedämmt
einbindende Innenwände	k. A.
Fensteranschluss	EPS, 2 cm, WLG 035
Erker / Balkon	-

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 32**

Städtebauliche Situation	giebelständige Blockrandbebauung
Denkmalschutzaufgaben	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk,
Anzahl der Geschosse	3 + Dach
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung mit Gewerbeinheit
Baujahr	1496
Jahr der Modernisierung	2007

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	Putz
Außenwandkonstruktion	Ziegelmauerwerk, 38 cm
ggf. alte Innenoberfläche	k. A.
Innendämmung	Holzfaserplatte, 8 cm, WLG 045
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	Lehmputz
Verbesserung R-Wert	1,78 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,41 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	mitgedämmt
einbindende Innenwände	k. A.
Fensteranschluss	Holzfaserleibungsdämmplatte, 4 cm, WLG 045
Erker / Balkon	-

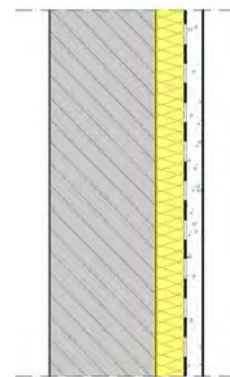


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 33**

Städtebauliche Situation	freistehend
Denkmalschutzaufgaben	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Stb.-Decken
Anzahl der Geschosse	2
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	
Jahr der Modernisierung	1986

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	Schlämme
Außenwandkonstruktion	Ziegelmauerwerk, 45 cm
ggf. alte Innenoberfläche	entfernt
Innendämmung	Mineralwolle, 12 cm, WLG 040
Dampfsperre	PE-Folie
neue Innenoberfläche	Porenbeton, 7 cm, Leichtputz
Verbesserung R-Wert	3,00 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,25 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	1m breit mitgedämmt, Mehrschichtenleichtbauplatte
einbindende Innenwände	mitgedämmt, Mineralwolle, 3 cm, WLG 040, GK-Bekleidung
Fensteranschluss	mitgedämmt, Mineralwolle 5 cm, Porenbeton, 7 cm, Leichtputz
Erker / Balkon	-

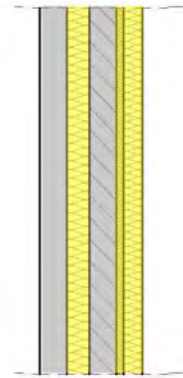


ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 35**

Städtebauliche Situation	Blockrandbebauung
Denkmalschutzauflagen	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Bimsbetondecken
Anzahl der Geschosse	3
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1929
Jahr der Modernisierung	2003

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Ziegelhohlraummauerwerk, 32 cm
ggf. alte Innenoberfläche	Putz, 3 cm
Innendämmung	Calciumsilikatplatten, 8 cm
Dampfsperre	-
neue Innenoberfläche	Spachtelputz
Verbesserung R-Wert	1,23 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,53 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

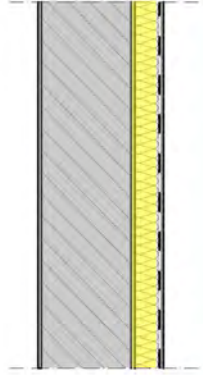
Deckenanschluss	k. A.
einbindende Innenwände	k. A.
Fensteranschluss	Calciumsilikatplatte, 4cm
Erker / Balkon	-



ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 36**

Städtebauliche Situation	Blockrandbebauung	
Denkmalschutzaufgaben	ja	
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Holzbalkendecken	
Anzahl der Geschosse	4+Dach	
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung	
Baujahr	1901	
Jahr der Modernisierung	2001	

AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)

äußerer Oberflächenschutz	-	
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, (Klinker- / Backstein), 38 cm bzw. 52 cm, Rohdichte 2.200 kg/m³	
ggf. alte Innenoberfläche	Putz, 1,5 cm	
Innendämmung	Mineralwolle, 10 cm, WLG 035	
Dampfsperre	feuchteadaptive Dampfbremse, s _d -Wert 0,3–5,0	
neue Innenoberfläche	Gipskartonplatte, 1,25 cm	
Verbesserung R-Wert	um 2,86 (m²K/W)	
U-Wert gesamte Wand	0,28 W/(m²K)	

KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN

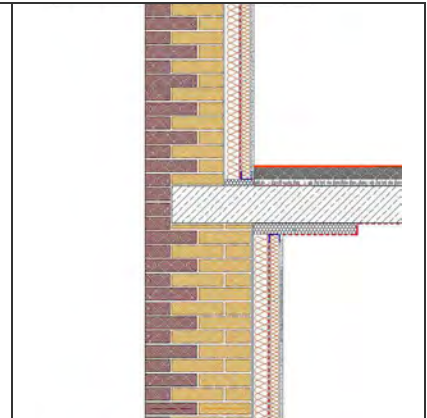
Deckenanschluss	Zellulosedämmung im Deckeneinschub, neuer Fußbodenaufbau mit V100 Platten und Gussasphalt, frei gespannte Unterdecke	
einbindende Innenwände	mitgedämmt, inkl. Dampfbremse	
Fensteranschluss	alukaschierte PU-Hartschaumplatte, 2–3 cm mit WLG 025	
Erker / Balkon	Bestandsbalkone auf der Straßenseite statisch verbessert, auf der Hofseite neue vorgestellte Balkone	

ALLGEMEINE ANGABEN**Objekt-Nr.: 37**

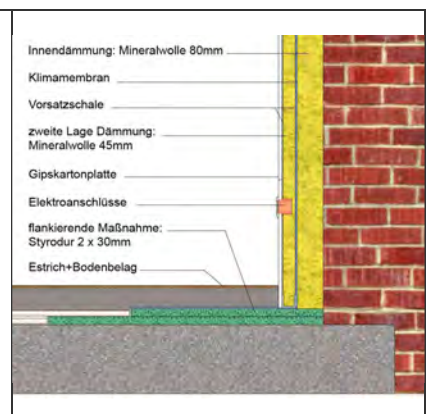
Städtebauliche Situation	ehem. Umspannwerk
Denkmalschutzaufgaben	ja
Konstruktionsprinzip	Mauerwerk, Betondecken
Anzahl der Geschosse	4 + Dachaufbauten
Gebäudetyp / Nutzung	Wohnnutzung
Baujahr	1928
Jahr der Modernisierung	derzeit in Planung

**AUSSENWANDAUFBAU (von außen nach innen)**

äußerer Oberflächenschutz	-
Außenwandkonstruktion	Ziegelsichtmauerwerk, (Klinker-/ Backstein), 38 cm bzw. 52 cm, Rohdichte 2.200 kg/m³
ggf. alte Innenoberfläche	Putz, 1,5 cm
Innendämmung	Mineralwolle 80 mm + 45 mm, mit Sicherheitsebene
Dampfsperre	feuchtheadaptive Dampfbremse s_d -Wert 0,3-5,0
neue Innenoberfläche	Gipskartonplatte, 12,5 mm auf 50er Ständerwand
Verbesserung R-Wert	um 3,86 (m²K/W)
U-Wert gesamte Wand	0,22 W/(m²K)

**KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN**

Deckenanschluss	flankierende Deckendämmung aus Polystyrol, WLK 035, Decke und Boden
einbindende Innenwände	mitgedämmt, Dampfbremsenversatz nach ca. 100 cm
Fensteranschluss	alukaschierte PU-Hartschaumplatte 2 – 3 cm mit WLK 025
Erker / Balkon	auf der Hofseite neue, vorgestellte Balkone



11. Anhang

11.1 Erhebungsbogen

Detaillösungen für Innendämmungen – Erhebungsbogen

Rückantwort

AIBau
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik gGmbH
Theresienstraße 19
52072 AACHEN

per Fax: 0241 / 91 05 07 20
per Mail: g.liebert@aibau.de / silke.sous@aibau.de

Absender:

Ansprechpartner für evtl. Rückfragen:

Sehr geehrte Damen und Herren,

anbei erhalten Sie den ausgefüllten Erhebungsbogen zum o.g. Forschungsprojekt zurück

I. Ich habe in den letzten fünf Jahren Gebäudemodernisierungen mit Innendämmungen beraten bzw. geplant, bei denen das Anforderungsniveau der EnEV (6 – 8 cm Dämmschichtdicke bei WLK 040) erreicht wurde.

☐ Ja
☐ Nein
Anzahl:

II. Ich stehe Ihnen auf Wunsch gerne für Rückfragen und weitere Informationen zur Verfügung.

☐ Ja
☐ Nein

III. Ich kann die Thematik anhand von ausgeführten Objekten erläutern.

☐ Ja (s. Tabelle)
☐ Nein

Tabelle mit Angaben zu III.

Adresse des Objektes	Baujahr	Jahr der Modernisierung	Gibt es Pläne oder Fotos?	Ist eine Besichtigung möglich?

- Detailliertere Angaben mit Fotos oder Skizzen sind erwünscht -

11.2 Literatur

11.2.1 Fachbücher und Fachaufsätze

[Achtziger 1985]

Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung, in: wksb Sonderausgabe 1985

[Achtziger 2000]

Leisten neue Dämmmethoden was sie versprechen? – Kalziumsilikatplatten, hochdämmende Beschichtungen in: Aachener Bausachverständigen Tage 2000, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 2000

[Ahnert u. a. 1986]

Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 – zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1986

[AIBAU 1993]

Schlagregenschutz von Außenwänden – Zur Bewährung und Beurteilung wasseraufnehmender Fassadenkonstruktionen, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1993

[AIBAU 1998]

Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Wohnungsbestand, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bauforschung für die Praxis Band 46, IRB Verlag, Stuttgart, 1998

[AIBAU 2000]

Bewährung innen wärmegeämmter Fachwerkbauten – Problemstellung und daraus abgeleitete Konstruktionsempfehlungen, Bauforschung für die Praxis, Band 54, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000

[Arbeitsgruppe Bautechnik 2005]

Stellungnahme zur Energieeinsparverordnung (EnEV) und zum Energiepass, Arbeitsblatt 25, Information der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, 2005

[Bau Nachhaltig 2009]

Spezialfall: Denkmal – Lösungsansätze im Einklang mit dem Denkmalschutz, www.bau-nachhaltig.de, Mach mit. Bau nachhaltig. Energieeffizientes Bauen in Sachsen, Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH, Dresden, 2009

[Bartels 2008]

Fassaden und Energiesparen: Dämmen oder Denkmal? Deutsches Architektenblatt, Düsseldorf, 2008

[BINE Informationsdienst 2008]

Neue Wege in der Innendämmung: Wissensportal Energie der dena, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2008

[BINE Informationsdienst 2009]

Thema Energie: Nutzen einer Innendämmung, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2009

[Borsch-Laaks 2001]

Feuchtetechnische Untersuchung zur alten Holzbauwand mit HWL-Platten, Robert Borsch-Laaks Büro für Bauphysik, Aachen, 2001

Literaturverzeichnis

[Borsch-Laaks u. a. 2005]

Idyllisch und zeitgemäß – Innendämmung von Fachwerkwänden, Holzbau, Ausgabe 5/2005, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2005

[Borsch-Laaks 2007]

Feuchteschutz: Leser fragen Autoren antworten, Holzbau, Ausgabe 4/2007, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2007

[Borsch-Laaks 2007]

Holzbalkendecken bei der Bestandssanierung: Leser fragen Autoren antworten, Aachen, Holzbau, Ausgabe 4/2007, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2007

[Borsch-Laaks 2008]

Um die Ecke gedacht – Außenwanddecke und Fenstereinbau beim Fachwerkhause, Holzbau, Ausgabe 2/2008, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2008

[Borsch-Laaks 2009]

Die Diffusionsbilanz: Auf die Reserve kommt es an, Holzbau, Ausgabe 1/2009, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2009

[Borsch-Laaks 2010]

Zur Schadensanfälligkeit von Innendämmungen – Bauphysik und praxisnahe Berechnungsmethoden, in: Aachener Bausachverständigen Tage 2010, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau gGmbH), Vieweg Teubner /GWV Fachverlage Wiesbaden 2010

[BUND BERLIN 2009]

Klimaschutzgesetz für Berlin – Stellungnahme des BUND BERLIN, BUND FREUNDE DER ERDE, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Berlin, 2009

[BVU 2009]

Stellungnahme der Vereinigung der Unternehmerverbände in Berlin und Brandenburg e.V. (UVB) Zum Referentenentwurf für ein Klimaschutzgesetz des Landes Berlin, 2009

[Cammerer 1984]

Praktische Untersuchung der Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit Innendämmung, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, Forschungsvorhaben Nr. B I 5-80 01 81-25, Gräfelfing, 1984

[Cammerer 1991]

Bauliche Mindestmaßnahmen für einen ausreichenden Feuchteschutz raumseitig gedämmter Außenbauteile, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, Forschungsvorhaben Nr. B I 5-80 01 87-107, Gräfelfing, 1991, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998

[Cziesielski u. a. 1992]

Nachbesserung von Wärmebrücken durch Beheizung, in: Aachener Bausachverständigen Tage 1992, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau gGmbH), Bauverlag Wiesbaden/Berlin 1992

[dena 2009]

Thema Energie: Denkmalschutz und Energieeinsparung, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2009

[dena 2009]

Leitfaden „Energieeinsparung und Denkmalschutz“, Prüfung von Ausnahmen bei Förderung im KfW-Programm „Energieeffizient Sanieren“, zukunft haus Energie sparen. Wert gewinnen. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2009

[Dreyer u. a. 1999]

Entwicklung einer Innendämmplatte für salz- und nässegeschädigte Bauteile, Nachhaltige Betoninstandsetzung, WTA-Schriftreihe, Heft 20, Aedificatio Verlag, Freiburg, 1999

[Energie und Bau 2008]

Energie sparen im Kulturdenkmal, energieundbau.de, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, 2008

[Energie und Bau 2009]

Anforderungen an bestehende Gebäude und Anlagen nach EnEV 2009, energieundbau.de, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, 2009

[Energieagentur NRW 2004]

Borsch-Laaks/Walther: Modul Innendämmung. In: Bauphysik-Module für Fachveranstaltungen zur energetischen Gebäudesanierung, Energieagentur NRW, Wuppertal, 2004

[Energieagentur NRW 2006]

Bauphysik in der Baupraxis – Wegweiser zur Schadensfreiheit bei der wärmetechnischen Modernisierung, Teilnehmerhandbuch des Impuls-Programms „Bau und Energie“ der Energieagentur NRW, Wuppertal, 2006

[Eßmann u. a. 2005]

Typische Konstruktive und bauphysikalische Probleme, Auszug aus: Energetische Sanierung von Fachwerkhäusern. Die richtige Anwendung der EnEV, 4. Die Fachwerkaußenwand (S. 70 bis 81), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005

[Eßmann 2008]

Energetisch verbessern – EnEV bei der Fachwerkinstandsetzung, Der Maler und Lackierermeister 7/2008, Verlag W. Sachon GmbH + Co. KG, Schloss Mindelburg, Mindelheim, 2008

[Feist 2005]

Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Protokollband 32: Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2005

[Feist u. a. 2009]

Wärmebrücken – Ursachen und Auswirkungen – Hinweise zur Verringerung und Vermeidung, 04 Energiesparinformation, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden, 2009

[Fischer u. a. 2008]

Lehrbuch der Bauphysik – Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima, 6. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, 2008

[Flohr 2009]

Von der Untersuchung bis zur Bauausführung – Standard- und Sonderverfahren im Holzschutz und deren Umsetzung, in: 20. Hanseatische Sanierungstage, Feuchte und Altbausanierung, Heringsdorf 2009

[Fox-Kämper u. a. 2003]

Planungshilfe Energiesparendes Bauen, Fachbuch F10, Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, Aachen, 2003

[Gänßmantel 2009]

Schlagregen raushalten, ausbau + fassade, Sonderheft Innendämmung 2009 (Planung, Projekte, Produkte), C. Maurer Druck u. Verlag GmbH & Co. KG, Geislingen/Steige, 2009

[Gänßmantel 2010]

Marktübersicht Innendämmung, in: Bauen im Bestand – Energetische Sanierung, Heft 4.2010, Rudolf Müller Verlag, Köln

[Geburtig u. a. 2010]

Innendämmung im Bestand, 3. Sachverständigentag der WTA-D, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010

Literaturverzeichnis

[Gertis 1987]

Wärmedämmung innen oder außen? Deutsche Bauzeitschrift 35 (1987), H. 5, S. 631 - 639

[Goldmann 2009]

Ausweg fürs Wasser – Kapillaraktive Systeme können verhindern, dass sich bei Innendämmungen Feuchtigkeit in der Wand anreichert, Deutsches Architektenblatt, Düsseldorf, 2009

[Gronau 2009]

Innendämmung – alles bedacht?, in: Innendämmung im Bestand, 3. Sachverständigentag der WTA-D, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010

[Hähnel 2009]

Holzbalkenaufleger in Außenwänden, in: 20. Hanseatische Sanierungstage, Feuchte und Altbausanierung, Heringsdorf 2009

[Häupl 2007]

Energetische Sanierung denkmalgeschützter Gebäude mit kapillaraktiver Innendämmung, In WTA-Almanach 2007 – Bauen und Instandsetzen, Wien 2007

[Häupl 2010]

Innendämmung von Außenwänden, In Bauphysikkalender 2010, Ernst & Sohn, Berlin 2010

[Hauser u. a. 2006]

Wärmebrückenkatalog für Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen, Bauforschung für die Praxis, Band 74, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2006

[Haustein 2008]

2. Podiumsdiskussion 15.04.2008, in: Aachener Bausachverständigen Tage 2008, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau gGmbH), Vieweg Teubner Verlag Wiesbaden 2008

[Hegner u. a. 2002]

Auszug aus: „Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert“, 4 Maßnahmen im Bestand, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2002

[Herlyn 1998]

Auswirkungen von Innendämmungen auf das Feuchteverhalten von Fachwerkwänden unter zeitgerafften und überhöhten Klimabedingungen, Auszug aus: Fachwerkforschung – Beiträge zur Erhaltung, (S. 114 bis 133), Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz- Institut WKI, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998

[Herlyn 1998]

Verbesserung des Wärmeschutzes von Fachwerkwänden mit Innendämmungen – Ergebnisse aus Bewitterungssimulationen, numerischen Simulationen und in-situ-Messungen, Auszug aus: Fachwerkforschung – Beiträge zur Erhaltung, (S. 1334 bis 153), Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz- Institut WKI, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998

[Hilpert 2005]

Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung – Wissenswertes über die nachträgliche Dämmung bei Altbauten, 11 Energiesparinformation, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden, 2005

[Hoeing 2009]

Die Innendämmung ist besser als ihr Ruf, Wiesbadener Tageblatt 26.08.2009, Verlagsgruppe Rhein Main GmbH & Co. KG, Mainz, 2009

[Holle 2009]

Innendämmung bei erhaltenswerten Fassaden – ein baukonstruktives Projektbeispiel, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, Bauphysik 31, Heft 4, 2009

[Holzbau 2008]

Fachwerkdämmung innen und/oder außen, Holzbau, Ausgabe 2/2008, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2008

[Holzbau 2009]

Wärmeschutz und Luftdichtung auf hohem Niveau, Holzbau, Ausgabe 2/2009 Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2009

[HWK-Koblenz 2009]

Thema: Denkmal – Tatort Altbau, www.thema-denkmal.de, Handwerkskammer Koblenz, 2009

[IWU 1997]

Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung – Materialien für Energieberater, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 1997

[IWU 2005]

Energiesparinformation Nr. 11 des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung, 2005

[Jacobs 2007]

Innendämmung ohne Dampfbremse, Bautenschutz und Bausanierung, Bauen im Bestand, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2007

[Kautsch 2006]

Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre, Untersuchung zur grundsätzlichen Eignung aufgespritzter und verputzter Zelluloseschichten, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 84/2006, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2006

[Kießl 1992]

Wärmeschutzmaßnahmen durch Innendämmung. Beurteilung und Anwendungsgrenzen aus feuchtetechnischer Sicht, in: Aachener Bausachverständigen Tage 1992, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau gGmbH), Bauverlag Wiesbaden/Berlin, 1992

[König 1984]

Bauphysikalische Probleme der Innendämmung, in: Aachener Bausachverständigen Tage 1984, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau gGmbH), Bauverlag Wiesbaden/Berlin, 1984

[Krämer u. a. 2009]

Energetische Gebäudesanierung durch Innendämmung – Alternative zur Außendämmung im Gebäudebestand, Bauverlag BV GmbH DBZ (Deutsche Bauzeitschrift), Gütersloh, 6-2009

[Krus u. a. 2005]

Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 2005

[Küllmer 2005]

Fachwerkinnendämmung mit Zellulosedämmstoff – Mehrjährige Feuchtemessungen bestätigen die dauerhafte Funktionstüchtigkeit, Holzbau, Ausgabe 5/2005, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2005

Literaturverzeichnis

[Künzel u. a. 1995]

IBP-Mitteilung 268, Feuchteadaptive Dampfbremse für Gebäudedämmung, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 1995

[Künzel 1998]

IBP-Mitteilung 336, Innendämmung von Natursteinmauern, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 1998

[Künzel u. a. 1999]

IBP-Mitteilung 351, Frostschäden im Winter – Analyse durch feuchtetechnische Berechnungen am Beispiel einer Kalksandsteinwand, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 1999

[Künzel 1999]

IBP-Mitteilung 355, Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis? Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 1999

[Künzel 2002]

Probleme mit Innendämmung bei der Altbauanierung – Lösungsmöglichkeiten – Beitrag zu den 10. Wiener Sanierungstagen des ofi-Bauinstituts April 2002 Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, 2002

[Künzel u. a. 2005]

Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht, in: Fachtagung „Innendämmung – eine bauphysikalische Herausforderung“, Münster 2005

[Künzel u. a. 2007]

Innendämmung von Kellerwänden – was macht die Feuchte? 18. Hanseatische Sanierungstage, Feuchteschutz, Heringsdorf, 2007

[Künzel u. a. 2008]

Feuchteverhalten von Kellerwänden mit Innendämmung, wksb 60/2008, Zeittechnik-Verlag GmbH, Neu-Isenburg, 2008

[Leipziger Altbautagung 2008]

Altbauanierung: Umweltbewusst, gesund und energieeffizient, Programm Leipziger Altbautagung 08, Leipzig, 2008

[Lenze 2007]

Die Leichtlehmämmung - Die Innendämmung, Auszug aus: Fachwerkhäuser restaurieren – sanieren – modernisieren, 6. Die Wärmedämmung (S. 115-119), 5. aktualisierte Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007

[Liebert/Sous 2010]

Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen bei hohem Wärmeschutzniveau, in: Aachener Bausachverständigen Tage 2010, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau gGmbH), Vieweg Teubner / GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2010

[Meyer 2003]

Heizen und Kühlen mit Kapillarrohrmatten, BINE Informationsdienst, BINE projektinfo 06/03, Fachinformationszentrum Karlsruhe Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH, Bonn, 2003

[Niemz u. a. 2009]

Untersuchungen zum Sorptionsverhalten von Holzwerkstoffen, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, Bauphysik 31, Heft 4, 2009

[Niendorf 2009]

Wärmeschutz: Dämmung fängt von innen an, FAZ.net, Frankfurter Allgemeine GmbH, Frankfurt am Main, 2009

[Opitz u. a. 1979]

KS-Außenwand mit Innendämmung, Kalksandstein-Information GmbH + Co KG, Hannover, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1979

[Oswald 1994]

Nachträglicher Wärmeschutz – Innendämmungen, Schwachstellen – Erscheinungsbilder und Ursachen häufiger Bauschäden, in: Deutsche Bauzeitung, Konradin Medien GmbH, Leinfelden-Echterdingen, 1994

[Oswald u. a. 1995]

Nachträglicher Wärmeschutz für Bauteile und Gebäude, Bauverlag, Wiesbaden/ Berlin, 1995

[Poesis Dämmsysteme 2008]

Innen gewinnen: Innen-Dämmung der Außenwand mit Zellulosedämmstoff (CSO), POESIS KG, Bremen, 2008

[Pohlenz 1995]

Der schadenfreie Hochbau, Band 3: Wärmeschutz, Tauwasserschutz und Schallschutz, 2. Auflage, Rudolf Müller Verlag, Köln, 1995

[Pohlenz 2003]

Schall- und Wärmeschutz bei der künftigen Instandsetzung von Gebäuden Teil II, Auszug aus: ARCONIS – Wissen zum Planen und Bauen, Heft 1/2003 (S. 17 bis 21), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003

[Range 2009]

Sichere Innendämmung mit Wärmedämmlehm – Kapillaraktive Wärmedämmung für diffusionsoffene Wandkonstruktionen, Holzbau, Ausgabe 4/2009, Verlag Kastner Redaktion die neue quadriga, Wolnzach, 2009

[Rasch 2007]

Stellungnahme der Bundesvereinigung Spitzenverbände der Immobilienwirtschaft zum „Integrierten Energie- und Klimaprogramm“ der Bundesregierung, Bundesvereinigung Spitzenverbände der Immobilienwirtschaft (BSI), Berlin, 2007

[Royer 1984]

Nachträgliche Wärmedämmung von Außenwänden - von Gebäuden, Bauphysik für die Baupraxis, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt, 1984

[Ruckdeschel 1999]

Mit Langzeiterprobung – Ein Markt im Fokus: Wärmedämmstoffe, Der Maler und Lackierermeister 11/99, Verlag W. Sachon GmbH + Co. KG, Schloss Mindelburg, Mindelheim, 1999

[Schintze 2009]

Innendämmung von Außenwänden – Die Anwendung von kapillaraktiven Holzfaserdämmstoffen zur raumseitigen Dämmung von Außenwänden, Der Bausachverständige Heft 5 (Oktober 2009), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2009

[Schnörr]

Wärme- und Stromversorgung Wönnichstraße 38 in Berlin-Lichtenberg, Innovative Projekte der Berliner Energieagentur GmbH, Berlin

[Schild u. a. 1982]

Bauphysik, Planung und Anwendung, 3. Auflage 1982, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

[Schild u. a. 1990]

Schwachstellen: Schäden - Ursachen - Konstruktions- und Ausführungsempfehlungen, Band II: Außenwände und Öffnungsanschlüsse, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 4. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 1990

Literaturverzeichnis

[Selk u. a. 2001]

Wärmedämmung von Außenwänden mit Innendämmung, Praxis-Ratgeber 3, Impulsprogramm Schleswig-Holstein, Kiel, 2001

[Stopp u. a. 2003]

Hygrothermische Untersuchungen der Balkenköpfe von Einschubdecken bei innengedämmten Außenwänden unter Einbeziehung der Heizungstechnik, Heizungstechnik gestützte kapillaraktive Innendämmung bei Holzbalkendecken, FH Lausitz, FB Architektur / Bauingenieurwesen / Versorgungstechnik LG Bauphysik, Cottbus, 2003

[Tatter, Kuegler 2009]

Energieeffiziente Gebäude: Energieeffizienz bei Altbauten, www.denkenbauenwohnen.de, Bernhard Tatter + Christian Kuegler Architekten, Leipzig, 2009

[Trinkert 2009]

Natürlich umhüllt, Holzbautechnik, bauen mit holz, BRUDERVERLAG, Köln, 2009

[Verbraucherzentrale NRW 2009]

Dämmung, www.verbraucherzentrale-nrw.de, Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V., Düsseldorf, 2009

[VERIVOX 2009]

Innendämmung erforderlich, wenn außen nichts zu machen ist, VERIVOX GmbH, Heidelberg, 2009

[Walther 2007]

Seminar PBB- Innendämmung, Energie- und Umweltzentrum, Springe, 2007

[Weber 2009]

Dampfdicht ausgebildet – Bauphysikalische Betrachtung von Innendämmungen, Der Maler und Lackierermeister, Verlag W. Sachon GmbH + Co. KG, Schloss Mindelburg, Mindelheim, 2009

[Worch 2009]

Innendämmung – Möglichkeiten und Grenzen, in: WTA-Tag, Darmstadt, WTA-Schriftenreihe, Heft 31, 2009

[Worch 2009]

Feuchte – was tun? / Neue Richtschnur, in: ausbau + fassade, Sonderheft Innendämmung 2009 (Planung, Projekte, Produkte), C. Maurer Druck u. Verlag GmbH & Co. KG, Geislingen/Steige, 2009

[Wortmann u. a. 2001]

Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung, Wissenswertes über die Außendämmung bei Alt- und Neubauten, Praxis Ratgeber 3, Impulsprogramm Schleswig-Holstein, 2001

[Zittlau 2008]

Historischer Baustoff für heutiges Innenleben, Bauen im Bestand 2/2008, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2008

11.2.2 Normen und Regelwerke

[DIN 4108]

DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden:

Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2003-07

Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 2001-07

Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele, 2001-08 (Entwurf von 2009-01)

[E DIN 68800]

E DIN 68800: Holzschutz: Teil 1: Allgemeines, 2009-11

[EnEV 2007]

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung – EnEV vom 24. Juli 2007

[EnEV 2009]

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009

[FPX-Perimeter-Merkblatt]

Merkblatt für den Wärmeschutz erdberührter Bauteile, Fachvereinigung Polystyrol-Extruderschaumstoff (FPX), Darmstadt

[MBO 2002]

Musterbauordnung 2002-11

[WTA-Merkblatt 6-4 2009-05]

Innendämmung nach WTA I Planungsleitfaden, Referat 6 Bauphysik und Bauchemie, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2009

[WTA-Merkblatt 8-5 2008-05]

Fachwerkinstandsetzung nach WTA V: Innendämmungen, Referat 8 Fachwerk, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008

[ZVDH 2004-09]

Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand, herausgegeben vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e.V., Rudolf Müller Verlag, Köln, 2009