

Kurzbericht

**Entwicklung von Standardlösungen zur Wärmedämmung
und Luftdichtheit von Bestandsgebäuden unter Verwendung
von Einblasdämmung und Dichtkleber**

(Az. SWD-10.08.18.7-17.35)

Projekt-Nr.: IBH 981-16

Antragssteller/Bearbeiter:

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH
Leipziger Straße 184
34123 Kassel

Fördermittelgeber:

Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Referat II 3
Deichmanns Aue 31 - 37
53179 Bonn

Bearbeiter:

Universität Kassel
Fachgebiet Bauphysik
Gottschalkstraße 28a
34127 Kassel

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU

Kassel, den 16. Dezember 2019



Dipl.-Ing. Marc Klatecki
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH



Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH



Dipl.-Ing. Anna Bauer
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH



Luisa Vogt
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Anton Maas
Universität Kassel



Dipl.-Ing. Rolf Gross
Universität Kassel



Armin Weissmüller
Knauf Insulation GmbH Zentraleuropa

Eine wesentliche Herausforderung bei der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden ist die gleichzeitige Sicherstellung der Luftdichtheit und des Feuchteschutzes. Durch die unzureichende Betrachtung von Anschlussdetails kann es zu erhöhten Wärmeverlusten kommen, die in letzter Konsequenz zu einer Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung führen. Zusätzlich können aufgrund einer mangelhaft ausgebildeten Luftdichtheit konvektive Feuchteinträge auftreten, die als Folge tauwasserbedingte Schäden in der Konstruktion hervorrufen.

Die Gefahr von Tauwasser- oder Schimmelpilzbildung an den raumseitigen Oberflächen in Anschlussbereichen der Konstruktion kann in der Regel durch lokale Dämmmaßnahmen ohne größere bauliche Eingriffe unterbunden werden. Für die Vermeidung von konvektiven Feuchteinträgen muss jedoch die Luftdichtheitsebene ertüchtigt werden. Alternativ zum Einsatz von Folien, was oftmals mit einem hohen Rückbauaufwand verbunden ist, kann hierfür auch flüssiger Dichtkleber verwendet werden.

Daher war das Ziel des Forschungsvorhabens unterschiedliche Einblasdämmstoffe und sprühbare Luftdichtheitsschichten sowie die dazugehörigen Applikationstechniken hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Anwendbarkeit bei der energetischen Sanierung von Gebäuden zu erproben.

Neben dem Einbringen verschiedener Schüttdämmstoffe, mit den vom Hersteller empfohlenen Einbaudichten, wurde auch die gezielte Injektion von zusätzlichem Dämmstoff in bereits mit Einblasdämmstoff versehene Konstruktionen zur Ermittlung der Verbesserung der Luftdichtheit untersucht. Die Injektion erfolgte hierbei, ohne größere bauliche Eingriffe an der Konstruktion, durch punktuelle Öffnungen in der thermischen Gebäudehülle mittels Einblasnadel. Zusätzlicher Dämmstoff kann auf diese Weise in kritische Bereiche oder über das gesamte Bauteil eingebracht werden. Die Erprobung erfolgte an Regelprüfständen und realen Wand- und Dachquerschnitten im Labor. Diese wurden mit unterschiedlichen Schüttdämmstoffen und Applikationstechniken durchgeführt und eine Bewertung der Wirksamkeit und Verarbeitbarkeit vorgenommen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden Glaswolle- und Zellulosedämmstoffe untersucht. Die Ergebnisse für Glaswollendämmstoffe lassen sich auf Dämmstoffe auf Basis Glaswolle, die hinsichtlich der Stoffeigenschaften, Rohdichte und Faserstruktur vergleichbar sind, übertragen. Die untersuchten Zellulosedämmstoffe bestehen aus kleinen Partikeln und ohne Beimischung von Hochglanzpapier als Füllstoff und sind auch nur auf solche übertragbar. Zum Einbringen der Schüttdämmstoffe wurden Einblasschläuche, Drehdüsen und Einblasnadeln verwendet. Zusätzlich wurden unterschiedliche Flüssigdichtstoffe und deren Applikationstechniken, Airless-Sprühgerät und Pinsel, auf deren Anwendbarkeit und Wirksamkeit getestet.

Anhand von erarbeiteten Einsatzempfehlungen kann die Notwendigkeit von zusätzlichen baulichen Maßnahmen oder die Nichteignung abgeleitet werden. Zusätzlich werden Empfehlungen für diese baulichen Maßnahmen erarbeitet und bewertet, inwiefern sich hierfür die untersuchten Applikationstechniken eignen.

Dabei wurden die Bauteile im sanierten Zustand hinsichtlich Tauwasserbildung in der Dämmebene und Wassergehalt in der außenseitigen Holzkonstruktion bzw. der Vorsatz-

schale untersucht. Es werden typische Ausführungen von Flach- und Steildächern, oberen Geschossdecken, Außenwänden mit Klinker-Vorsatzschale sowie Außenwände in Holzbauweise mit und ohne Witterungsschutz betrachtet. Alle Konstruktionen wurden mit den untersuchten Dämmstoffen geprüft und bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Tauwasserbildung innerhalb der Dämmebene weniger problematisch ist. Die zul. Grenzwerte werden in den seltensten Fällen überschritten. Wenn es zum Versagen der Konstruktion kommt, dann durch eine Überschreitung der zulässigen Wassergehalte in der vorhandenen Holzkonstruktion.

Steildächer sind in der Regel unproblematisch. Diffusionsoffene Steildachkonstruktionen sind auch nach einer Sanierung funktionstüchtig. Dabei sollte jedoch sichergestellt werden, dass die Hinterlüftung unter der Ziegeleindeckung wirksam bleibt. Gelangt Dämmstoff in diesen Bereich, z.B. durch eine defekte Unterspannbahn, sollte eine Dampfsperre auf- bzw. eingebracht werden. Bei Steildächern mit außenseitiger Vollholzschalung oder Holzwerkstoffplatte kann es hingegen zu Überschreitung der zulässigen Wassergehalte kommen. Daher ist einerseits eine hohe Luftdichtheit und andererseits eine Reduzierung des Diffusionsstroms sicherzustellen.

Bei Flach- und Gründächern zeigt sich, dass diese nur dann funktionstüchtig sind, wenn eine raumseitige Luftdichtheitsebene vorhanden ist und es nicht zu einer Verschattung des Daches bzw. von Teilbereichen des Daches kommt. Außerdem muss die Infiltration feuchtwarmer Raumluft auf ein Minimum reduziert werden, was durch eine erhöhte Schüttdichte realisierbar ist. Jedoch handelt es sich weiterhin um ein feuchtekritisches Bauteil. Zur Sicherstellung des Feuchteschutzes sind diese Dächer je nach Anwendungsfall mit einer 80 bis 120 mm dicken Überdämmung zu versehen.

Obere Geschossdecken sind unabhängig vom verwendeten Dämmstoff unproblematisch. Es kommt weder zu einer Tauwasserbildung noch zu Wasseransammlungen in der Holzschalung. Bei oberen Geschossdecken ist ein Aufschütten der Dämmstoffe oder ein offenes Aufblasen möglich. Die sich einstellende Dichte ist beim offenen Aufblasen wenig von Bedeutung, da eine mögliche Setzung des Dämmstoffs unproblematisch wäre.

Massive Wandkonstruktionen mit Klinkervorsatzschale sind ebenfalls uneingeschränkt funktionstüchtig. Es kommt zu keiner Tauwasserbildung und die sich einstellenden Wassergehalte in der Vorsatzschale sind gering, sodass keine Frostgefahr besteht. Für die Injektion der Schüttdämmstoffe in den Hohlraum der zweischaligen Wand, sind spezielle Einblas- und Drehdüsen mit kleinen Öffnungen erhältlich, die in die Fugen der Vorsatzschale geführt werden können. Auf diese Weise ist eine zerstörungsarme Ertüchtigung möglich.

Direkt bewitterte Außenwände in Holzständerbauweise sind nur mit einer raumseitigen Dampfbremse funktionsfähig. Diese kann aufgesprüht oder auf herkömmliche Weise mit Folien und Klebeband erzeugt werden. Ist außenseitig eine Holzwerkstoffplatte als Putzträgerplatte aufgebracht, ist von den untersuchten Dämmstoffen nur die Verwendung des Glaswollämmstoffs möglich, um die zulässigen Wassergehalte innerhalb der Holzwerkstoffplatte nicht zu überschreiten. Hingegen sind Holzaußenwände mit Witterungsschutz feuchteschutztechnisch unproblematisch, solange die Hinterlüftung nach der Sanierung weiterhin gewährleistet ist. Alle untersuchten Dämmstoffe sind für Sanierung witterungsge-

geschützter Holzaußenwände geeignet, wobei sich für den untersuchten Glaswollgedämmstoff etwas geringere Wassergehalte ergeben.

Um die Luftdichtheit feuchteschutztechnisch kritischer Anschlussdetails zu erhöhen, eignet sich vor allem die Nachverdichtung mit der Einblasnadel. Aufgrund des kleinen Querschnitts und der Form der Nadelspitze, kann diese in bereits vorhandenen Dämmstoff eingestochen und die Dichte an diesen Stellen gezielt erhöht werden. Der Einblasschlauch sowie die Drehdüse sind zum Nachverdichten dieser Bereiche weniger geeignet, da sich der Schlauch nicht in bereits vorhandene Dämmung hineinschieben lässt und auch die Drehdüse nicht in die Konstruktion geführt werden kann.

Um Leckagen im Bereich feuchteschutztechnisch kritischer Anschlussdetails mittels sprühbarer Luftdichtheitsschichten zu verschließen, kann bei gut erreichbaren Fugen ein Pinsel verwendet werden. Für einen flächigen Auftrag und zur Abdichtung schwerer zugänglicher Spalten bietet sich als Applikation der sprühbaren Luftdichtheitsschichten ein Airless-Spritzgerät an.

Hinsichtlich der Applikationstechniken ergeben sich keine Einschränkungen für die Verwendung des Einblasschlauches und der Einblasnadel. Lediglich bei der Drehdüse gibt es Voraussetzungen in Bezug auf die Luftdichtheit der Konstruktion. Um die benötigte Dichte des Dämmstoffs einzubringen, muss der Druck im Bauteil konstant sein. In den durchgeführten Versuchen war es daher fast nie möglich, die vom Hersteller empfohlene Dichte mit der Drehdüse zu erreichen. Die Gefahr, die sich hierbei ergibt, ist, dass es im Laufe der Zeit zu Setzungen und Fehlstellenbildung kommt. Eine Setzung infolge Windanströmung bzw. Beregnung des Bauteils im Rahmen einer Freibewitterung des Dachmodells konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Soll die Ertüchtigung der Luftdichtheitsebene durch die Erhöhung der Einbaudichte des Dämmstoffs erzielt werden, eignet sich die Applikation mit dem Einblasschlauch am besten. In den durchgeführten Untersuchungen konnten mit dem Schlauch die höchsten Dichten erreicht werden. Eine nachträgliche Verdichtung ist mit Schlauch jedoch nicht möglich. Ist die Konstruktion im Bereich feuchteschutztechnisch kritischer Anschlussdetails nachzuverdichten, eignet sich hierfür die Einblasnadel. Jedoch kam es, ebenso wie bei der Drehdüse, bei der Verwendung der Einblasnadel bei hohen gewünschten Dichten zum Verschluss des Schlauches an der Querschnittsverjüngung.

Im Hinblick auf die Wahl der Dämmstoffe, hat sich bei der Volumenstrommessung am Regelprüfstand sowie am realen Wand- und Dachmodell gezeigt, dass bei Einsatz des Zellulosedämmstoffs ca. 10 - 15 kg/m³ mehr Material erforderlich ist, um die gleiche Luftdichtheit zu erzielen. Dies hat sich auch bei der Bestimmung der längenbezogenen Strömungswiderstände bestätigt. Für den untersuchten Glaswollgedämmstoff ergaben sich mehr als doppelt so hohe Strömungswiderstände im Vergleich zu dem Zellulosedämmstoff. Um den gleichen längenbezogenen Strömungswiderstand zu erzielen, ist beim Zellulosedämmstoff eine um 20 kg/m³ höhere Einbaudichte erforderlich. Die Einbringung von Einblasdämmstoffen in Bestandskonstruktionen führt i.d.R. zu einem erhöhten Strömungswiderstand und damit einer erhöhten Luftdichtheit der Konstruktion. Dadurch werden die Lüftungswärmeverluste reduziert und die Behaglichkeit (infolge von verringerten Zugerscheinungen) verbessert. In den

Volumenstrommessungen am Wandmodell konnte festgestellt werden, dass durch Applikation der Schüttdämmstoffe bereits eine hohe Reduktion der Luftdurchlässigkeit erzielt werden kann. Es ist jedoch nicht grundsätzlich davon auszugehen, dass Luftdichtheitswerte wie im Neubau eingehalten werden können. Hierzu müssen in der Regel vor Einbringung des Einblasdämmstoffs Abdichtungsmaßnahmen (z.B. Abdichtung mit sprühbarer Luftdichtheitschicht, Klebebändern oder -massen) erfolgen. Auch in den Versuchen am Wandmodell hat sich gezeigt, dass bei zusätzlicher Applikation einer sprühbaren Luftdichtheitschicht, eine weitere Erhöhung der Luftdichtheit erzielt werden kann, wenn dieser Effekt auch wesentlich kleiner im Vergleich zur Injektion von Schüttdämmstoffen ist.

Auffällig war, dass bei den Einblasversuchen am Regelquerschnitt sowie am Dach- und Wandmodell die Dichteverteilung des Dämmstoffes über die Konstruktion schwankt. Daher ist in der Praxis eine Qualitätssicherung nach Durchführung der Dämmmaßnahme zwingend erforderlich. Diese kann beispielsweise mittels Endoskopie, Thermografie und einer Blower Door-Messung erfolgen. Bei der Endoskopie können Fehlstellen erkannt und Bereiche aufgezeigt werden, in die kein Dämmstoff eingeblasen wurde. Aussagen über die eingebrachte Dichte können hiermit nicht getroffen werden, da die Wärmeleitfähigkeit λ der untersuchten Dämmstoffe nahezu unabhängig von der Dichte ist.

Eine Möglichkeit der Qualitätssicherung ist die Kombination von Thermografie und Blower Door-Messung. Damit können sogenannte Temperaturdifferenzbilder erstellt werden, auf denen die Änderungen der Oberflächentemperaturen infolge von erzwungenen Strömungen durch das Bauteil dargestellt wird. Auf diese Weise ist es möglich, den Luftaustritt am Bauteil auch an sehr unzugänglichen Stellen zu identifizieren.

Bei der Verarbeitung der sprühbaren Luftdichtheitschicht hat sich gezeigt, dass für unterschiedliche Anwendungen unterschiedliche Applikationstechniken sinnvoll sind. So hat der Pinsel einen höheren Materialauftrag und ist aufgrund des geringen Reinigungsaufwands für kleinere Flächen geeignet. Das Sprühgerät weist eine hohe Flächenleistung auf und der Materialauftrag ist dünner und gleichmäßiger. Durch den verhältnismäßig hohen Reinigungsaufwand eignet es sich besonders für großflächige Anwendungen.

Zur Qualitätssicherung ist bei „blindem Sprühen“ eine Endoskopie zwingend erforderlich, um zu überprüfen, ob alle Bereiche mit dem Sprühgerät erreicht wurden und der Materialauftrag gleichmäßig ist.

Im Hinblick auf das Verschließen von Leckagen zeigen die untersuchten sprühbaren Luftdichtheitschichten ähnliche Eigenschaften. Es waren jeweils mehrere Aufsprühvorgänge notwendig, um eine Verringerung des Leckagevolumenstroms zu erzielen. Die Leckagen waren mit bloßem Auge allerdings noch zu erkennen. Um eine ausreichende Abdichtung der Leckagen zu erzielen sind daher mehr als vier Materialschichten erforderlich. Leckagen bis zu 3 mm ließen sich mit den sprühbaren Luftdichtheitschichten bei Auftrag von mehr als vier Schichten relativ gut verschließen. Leckagen größer als 3 mm waren alleine mit den sprühbaren Luftdichtheitschichten nicht verschließbar.