

Vakuumisolationspaneele aus hygrothermischer und akustischer Sicht

Lenz, K.; Leistner, PhL.; Sedlbauer, K.; König, N. - Fraunhofer-Institut für Bauphysik

1 Einleitung

Der Einsatz und die Nachfrage von Vakuumisolationspaneelen im Bauwesen steigt immer mehr an. Aus thermischer Sicht betrachtet bringt dieser Dämmstoff einen großen Vorteil, da durch die geringe Wärmeleitfähigkeit die Dicke des Paneels im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen erheblich reduziert werden kann. Für die Bauphysik ist nicht nur der Wärmeschutz, sondern auch der Feuchte- und Schallschutz wesentlich. Deshalb soll für den Einsatz von VIP die hygrothermische und akustische Seite betrachtet werden, um zu klären, ob beim Einsatz von VIP Probleme auftauchen können. Abschließend wird kurz die Situation bzgl. der bauaufsichtlichen Zulassung von VIP angesprochen.

2 Hygrothermische Untersuchungen

Vakuumisolationspaneele weisen eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit und bedingt durch deren Aufbau einen sehr hohen Wasserdampf Widerstand auf. Dies bedeutet, dass ein Wasserdampftransport durch das Material nicht möglich ist. Somit kommt Diffusion durch den Dämmstoff nicht zustande. Aufgrund dieser Eigenschaft ist beim Einsatz dieses Dämmstoffes darauf zu achten, dass durch den Feuchte-austausch zwischen Innen- und Außenluft kein Tauwasser oder kritische Feuchtelasten in der Konstruktion entstehen. Da Untersuchungen von VIP bei unterschiedlichen Einsatzgebieten und Einbausituationen unter realen Bedingungen zeitaufwändig und kostenintensiv sind, wurden einige typische Anwendungsgebiete im Bauwesen rechnerisch untersucht.

Rechnerische Untersuchungen

Für die rechnerische Beurteilung der feuchtetechnischen Verhältnisse in Bauteilen, bei denen VIP zur Verwendung kommt, wurde das am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten und mehrfach verifizierten Berechnungsverfahren WUFI®-1D (Wärme- und Feuchte instationär - eindimensional) [1] eingesetzt. Betrachtet wird dabei die zeitliche Entwicklung der Wassergehaltsverteilung im gesamten Bauteil und in den einzelnen Materialschichten nach einer Sanierung. Beobachtet wird ferner der Verlauf der Temperatur und der relativen Feuchte an möglichen kritischen Stellen innerhalb der Konstruktion, die im Folgenden als Monitorpositionen bezeichnet werden. Der untersuchte Zeitraum beträgt fünf Jahren.

Untersuchte Konstruktionen mit VIP

Bei Gebäudesanierungen findet die Verwendung von Vakuumisolationspaneelen immer größeren Einsatz. Bei dieser Anwendung wird die Dämmung oft als Innendämmung aufgebracht; einerseits damit die historische Fassade erhalten bleibt und andererseits, weil durch die geringe Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 0,004 \text{ W/(mK)}$ [2]) des Materials die Dicke für die Dämmung im Vergleich zu herkömmlichen Produkten bis auf ein Zehntel reduziert werden kann. Eine Alternative ist der Einsatz als Außendämmung. Nachfolgend sind für diese beiden Einsatzgebiete das feuchtetechnische Verhalten der Baustoffe untersucht. Es wird ein Vollziegelmauerwerk untersucht, wobei der Einfluss einer Innen- oder Außendämmung dargestellt wird. Die Konstruktion ist in Tabelle 1 beschrieben.

Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Wandkonstruktion.

Variante 1: mit Außendämmung	Variante 2: mit Innendämmung
außen: Zementputz 5 mm VIP – Dämmung 40 mm Vollziegelmauerwerk Gipsputz 15 mm	außen: Zementputz 5 mm Vollziegelmauerwerk VIP – Dämmung 40 mm Gipsputz 15 mm

Bei der Berechnung wird davon ausgegangen, dass in der Wandkonstruktion (Vollziegelmauerwerk), die nach Westen orientiert ist, eine Ausgleichsfeuchte von 80 % vorliegt. Als Außenklima werden Stundenwerte eines typischen Jahres von Holzkirchen und ein normales Innenraumklima [3] angesetzt. Der Berechnungszeitraum beginnt im Januar. Aus Vergleichszwecken wird das Vollziegelmauerwerk bei beiden Varianten als identisch angenommen.

Ergebnisse

Die für eine Außenwand mit Vollziegelmauerwerk ermittelten Ergebnisse sind in Bild 1 dargestellt. Es sind die Wassergehaltsverläufe, die sich im Laufe der Jahre im Vollziegelmauerwerk einstellen, abgebildet.

Die Berechnung zeigt einen deutlichen Unterschied im hygrothermischen Verhalten zwischen einer Innendämmung und einer Außendämmung. Bei einer Außendämmung kommt es zur einer leichten Austrocknung der Konstruktion. Der Wassergehalt der Konstruktion mit einer Innendämmung nimmt im Gegensatz dazu kontinuierlich und stark zu. Ein Grund dafür ist, dass durch die Verwendung einer Innendämmung das Austrocknungsverhalten der Konstruktion nach einem Schlagregenereignis gravierend beeinflusst wird [4]. Die Feuchte kann in diesem Fall nicht nach innen, also zur Raumseite, austrocknen. Hinzu kommt, dass durch die Innendämmung das Temperaturniveau der Ziegelwand abgesenkt wird. Damit wird auch die Trocknung nach außen verringert. Dadurch kommt es zu einer Feuchteakkumulation. Nach fünf Jahren wird im betrachteten Fall ein Wassergehalt von 60 kg/m³ erreicht.

Aus feuchtetechnischer Sicht ist der Grenzbereich zwischen Dämmung und Mauerwerk eine kritische Stelle. Je nach Temperatur- und Feuchteverhältnissen kann Schimmelpilzbewuchs dort auftreten. Für diese Stelle sind in Bild 2 die jeweiligen Verläufe der Temperatur und relativen Luftfeuchte dargestellt. In beiden Fällen liegt die Monitorposition in der Oberflächenschicht des Mauerwerks, die an die Dämmschicht angrenzt.

Es zeigt sich deutlich, welchen Einfluss die Lage der Dämmschicht auf die Temperatur- und Feuchteverhältnisse direkt an der Materialgrenze zwischen Dämmung und Mauerwerk hat. Bei einer Außendämmung kann das innenliegende Mauerwerk nach innen hin etwas austrocknen und wird im Laufe der Jahre trockener. Zudem spiegelt sich an dieser Stelle die Temperaturschwankung des Innenraums wieder. Bei einer Innendämmung wird das Temperaturniveau des außen liegenden Mauerwerks dagegen durch das Außenklimas stark beeinflusst. Die Temperaturen schwanken bei einer Innendämmung jahreszeitlich bedingt zwischen ca. 8 bis 25°C, im Vergleich dazu liegen die Temperaturen bei einer Außendämmung nur zwischen 15 - 25 °C. Nicht nur die Temperaturschwankungen an der Materialgrenze zwischen Mauerwerk und Dämmung sind sehr unterschiedlich, sondern auch die Feuchteverhältnisse. Bei einer Innendämmung kommt es an der Materialgrenze nach ca. 2 Jahren zu einem starken Feuchteanstieg. Es besteht das Risiko bei einer Konstruktion mit Innendämmung, dass an der Materialgrenze zwischen Mauerwerk und Dämmung Schimmelpilz wachsen kann. Um das Schimmelpilzwachstum an dieser Stelle zu beurteilen, wurde mit dem biohygrothermischen Berechnungsmodell WUFI®-Bio [5] diese Schichtgrenze in Hinblick auf Schimmelpilzwachstum untersucht. In Bild 3 ist das berechnete Wachstum von Schimmelpilzen angegeben. Hier zeigt sich, dass es nach ca. zwei Jahren zu einem deutlichen Bewuchs kommen könnte.

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Bei der eindimensionalen Betrachtung der hygrothermischen Einflüsse auf die Konstruktion beim Einsatz von Vakuumisolationspaneelen zeigen sich bei Außendämmungen keine Probleme aus feuchte-technischer Sicht. Die Konstruktion kann gut nach innen austrocknen und die Feuchtebelastung von außen wird deutlich reduziert. Allerdings muss beachtet werden, dass bei vorhandener Baufeuchte z. B. bei einem Neubau kein Trocknungsvorgang durch die Wandkonstruktion nach außen möglich ist. Um in diesem Fall Feuchteschäden und Schimmelpilzbewuchs zu vermeiden muss in den ersten 1 bis 2 Jahren ein vermehrtes Lüften erfolgen. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Variante im Vergleich zur Innendämmung ist, dass für den sommerlichen Wärmeschutz auf der Rauminnenseite durch diesen Konstruktionsaufbau eine sehr große Speichermasse der Wand zur Verfügung steht, durch die Hitzespitzen gepuffert werden können.

Bei dem Einsatz von Vakuumisolationspaneelen als Innendämmung kann es, wie die Ergebnisse zeigen zu Problemen mit hohen Materialfeuchten und Schimmelpilzwachstum in der Konstruktion kommen. Da der Einsatz von Innendämmungen aus VIP in einigen Fällen aber gewünscht ist, sollten einige wichtige Punkte bei der Verwendung beachtet werden. Damit der Feuchteintrag in die Konstruktion durch die Außenrandbedingungen möglichst gering gehalten werden kann, sollte die äußere Fassade-schicht einen guten Feuchteschutz aufweisen (Hydrophobierung, Wasser abweisender Putz, o.ä.). Durch diese Maßnahme wird die Feuchteaufnahme in die Konstruktion vermieden und somit das Risiko von Frostschäden im außenliegenden Mauerwerk wie auch von Schimmelpilzwachstum reduziert.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass der Einsatz von Vakuumisolationspaneelen je nach Verwendung zu Problemen führen kann. Dies bedeutet, dass für den Einsatz der VIP eine genaue Betrachtung der Feuchtesituation unbedingt erforderlich ist. Im Allgemeinen können dann durch konstruktive oder bauphysikalische Maßnahmen mit vertretbarem Aufwand Bauschäden vermieden werden.

Es ist aber zu beachten, dass vor allem bei den Materialübergängen an den Stoßstellen der Vakuumdämmpaneele durch Wärmebrücken feuchte-technische Probleme auftreten können. Diese können in Zukunft mithilfe aufwändigerer zweidimensionaler Berechnungen analysiert werden.

3 Vakuumisolationspaneele aus akustischer Sicht

Auch der akustische Reiz eines fehlenden (Schall-) Ausbreitungsmediums, noch dazu in lokal begrenztem Umfang, ist zweifellos sehr groß. Zuerst gehen dabei die Überlegungen in Richtung Schalldämmung, d.h. dem Schutz mit VIP in Gebäudefassaden oder Maschinenkapseln vor einfallendem oder austretendem Lärm. Da die mittlerweile bestehenden Berechnungswerkzeuge, z. B. [6] zur Bestimmung der Schalldämmung von ebenen Bauteilen an sich mit beliebigen Eingangsdaten gefüttert werden können, lässt sich ein unendlich großes (Ideal-) VIP theoretisch behandeln. Die Schalldämmungswirkung derartiger „Doppelschalen“ ist erwartungsgemäß enorm. Spätestens an dieser Stelle setzt jedoch die Realität des praktisch Möglichen ein, da zahlreiche Begrenzungen zu beachten und zu akzeptieren sind.

Schalldämmung von Vakuum-Isolationspaneelen

Eine wesentliche Abweichung vom unendlichen VIP ist, dass entlang der Paneelflächen sowie an den seitlichen Rändern die Einzelplatten auf Abstand gehalten werden müssen. Die Anregung, Übertragung und Abstrahlung von Körperschall an den entsprechenden Stellen ist dadurch unvermeidbar, kann bestenfalls reduziert werden. Auch von anderen Bauteilen bzw. Bauweisen ist die Bedeutung der Randbedingungen und damit auch des Formats gut bekannt. Ebenso wird im Fall des VIP die Gesamtkonstruktion voraussichtlich sehr steif, das gilt sowohl für die Einzelplatten als auch für die Doppelschale. Neben Eigenschwingungen der Platten folgen aus hoher Biegesteifigkeit mehr und mehr tieferfrequente Koin-

zideneffekte und entsprechende Einbrüche der Schalldämmung. Hinzu kommen die nicht nur akustisch relevanten Fragen der langlebigen Dichtigkeit etc., die allesamt zu Vakuum-Bauteilen führen, welche doch weit vom eingangs skizzierten Ideal entfernt liegen. Es stellt sich die Frage nach einem Vergleich ihrer Schallschutzwirkung mit derjenigen von konventionellen Plattenbauteilen. Bild 4 zeigt dazu eine zwar nicht sehr detaillierte, aber dafür den Stand der Technik umfassend repräsentierende Gegenüberstellung. Die Bauteileigenschaft, die sicher vorrangig mit der Schalldämmung in Verbindung gebracht wird, ist die flächenbezogene Masse. Als Anhaltspunkt in diesem Sinne lässt sich für einschalige Bauteile deshalb das so genannte Massegesetz verwenden, das zu einer Beziehung zwischen Schalldämmung und Flächenmasse gemäß der (durchgezogenen) Kurve in Bild 4 führt. Die große Punkteschar (●) gibt die jeweiligen Wertepaare für Bauteile wieder, die sich durchaus als Standardbauteile bezeichnen lassen. Dazu zählen Metall-, Holzwerkstoff-, Kunststoff- und Gipskartonplatten, aber auch mehrschalige und mehrlagige (Sandwich-) Konstruktionen, bei denen bekanntermaßen noch andere akustische Einflussgrößen als nur die flächenbezogene Masse bestehen; also eine breite Auswahl, die in sich bereits große Unterschiede trägt. Dies bedeutet, dass zwischen Bauteilen mit gleicher flächenbezogener Masse sich die bewerteten Schalldämm-Maße um mehr als 20 dB unterscheiden können. Andersherum betrachtet kann mit Bauteilen, die um 40 kg/m² leichter sind, das gleiche Schalldämm-Maß erreicht werden.

In jedem Fall enttäuschend fällt der Vergleich mit zwei unterschiedlichen Repräsentanten der VIP (■) aus. Trotz ihrer Mehrschaligkeit liegen sie noch fast 10 dB unterhalb der entsprechend ihrer flächenbezogenen Masse zu erwartenden Schalldämmung. Einige Anhaltspunkte für die Folgen der bereits angedeuteten konstruktiven Ausführung liefern die frequenzabhängigen Schalldämmkurven in Bild 5. Auch hier dient ein Vergleich, in diesem Fall mit einem schalltechnisch keineswegs überdurchschnittlichen Standardbauteil (16 mm Spanplatte), der Einordnung. Ihrer flächenbezogenen Masse in etwa entsprechend, startet die Schalldämmung mit dem noch üblichen Anstieg bei tiefen Frequenzen bis etwa 400 Hz. Im Vergleich zum koinzidenz-bedingten Einbruch der Spanplatte bei ca. 2000 Hz, zeigen sich bei den VIP Minima, die sowohl bei tieferen Frequenzen auftreten als auch mit deutlich niedrigeren Schalldämmwerten verbunden sind. Ohne weitere Ursachenforschung liegen hier ganz klar Schwächen derartiger Bauteile.

In erster Konsequenz bedeuten diese schalltechnischen Eigenheiten von VIP entweder Zusatzaufwand bei einer akustisch anspruchsvollen Gesamtkonstruktion oder die Beschränkung auf Einsatzfälle ohne Schallschutzansprüche. Das theoretische Potenzial ist also in der Praxis noch nicht angekommen. In Zukunft wird jedoch eine Annäherung an diese Möglichkeiten stattfinden und akustische Eigenschaften von VIP werden nicht nur der Vollständigkeit halber bei Zulassungsfragen [7] zu Fassadenbauteilen oder Trittschalldämmelementen von Bedeutung sein.

Andere akustische Anwendungen für Vakuum-Bauteile

Die Schalldämmung von Trennbauteilen ist allerdings auch nur ein denkbarer Anwendungsfall für VIP. Aus akustischer Sicht geht es hierbei darum, einfallenden Schallwellen einen möglichst hohen Widerstand entgegenzusetzen, wobei natürlich auch Dämpfungseffekte erwünscht sind. Bei Schalldämpfern in Kanälen etwa ist die Situation anders, da der Schall überwiegend absorbiert werden sollte. Poröse und meist auch voluminöse Kulissen bilden dabei nur eine Variante. Schlanke Resonanzschalldämpfer, z. B. auf der Basis von Helmholtz-Resonatoren oder Plattenschwingern, sind im Vergleich dazu wirksamer und platzsparend. Doch auch Plattenschwinger oder die einfacheren Masse-Feder-Systeme (siehe Bild 6) benötigen hinter den schwingfähigen Platten ein abgeschlossenes Luftkissen. Könnte dessen Größe deutlich reduziert werden, wäre dies von Vorteil.

Die Resonanzfrequenz f_0 eines Masse-Feder-Systems (Bild 6a) ergibt sich bei einigen vereinfachenden Annahmen aus der flächenbezogenen Masse m' und der Nachgiebigkeit $n' = d/(pc^2)$ z. B. der Luftfeder wie folgt, Bild 6b:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{m' \frac{d}{\rho c^2}}} \quad (1)$$

f_0	Resonanzfrequenz
m'	flächenbezogene Masse
ρ	Dichte
c	Schallgeschwindigkeit
d	Dicke des geschlossenen Luftkissens (Feder) hinter der Masse, z. B. Platte.

Um den Resonator auf die besonders schwierig zu dämpfenden tiefen Frequenzen abzustimmen, sind Masse oder Nachgiebigkeit zu erhöhen. Eine ausreichend hohe Nachgiebigkeit lässt sich üblicherweise durch ein dickes Luftkissen erreichen. Wird im Luftkissen auch ein Unterdruck bis hin zum Vakuum mit in Betracht gezogen, können die akustisch relevanten Gaseigenschaften bei der Abstimmung ausgenutzt werden. Mit dem Druck p im (Luft-) Hohlraum gilt für die Dichte:

$$\rho = \frac{p}{RTZ} \quad (2)$$

R	Gaskonstante
T	Temperatur
Z	Realgasfaktor

Mit sinkendem Druck verringert sich gleichfalls die Dichte mit entsprechenden (theoretischen) Folgen für die Resonanzfrequenz. Im fast vollständig evakuierten Fall kann daher die Luftfeder vernachlässigt werden, so dass eine Federwirkung nur noch durch die mechanische Randeinspannung bewirkt wird (Bild 6). Gegebenenfalls kommen Eigenschwingungen der Platte hinzu, die von deren Format und den elasto-dynamischen Materialeigenschaften abhängen. Einen Vergleich der Schallabsorption von Masse-Feder-Systemen und an sich gleich aufgebautem Plattenschwingern mit allerdings anderen Randbedingungen (Einspannung) und ohne evakuiertem Hohlraum zeigt Bild 7 [8]. Die Resonanzkurven sind zwar schmalbandiger, erreichen dafür aber bei viel tieferen Frequenzen ihre höchste Wirkung als ein poröser Absorber mit etwa gleichem Volumen.

Mit Bezug auf die oben erläuterte hohe Biegesteifigkeit von ausgeführten Vakuum-Paneelen infolge Aussteifungen etc. scheint die akustische Nützlichkeit des Masse-Vakuum-Systems nur gering zu sein. Dies hängt jedoch erheblich von der tatsächlich gewählten Gestaltung ab, und ob bei dieser Gestaltung (vibro-) akustische Aspekte berücksichtigt werden. Ist dies der Fall, können die Systeme, wie z. B. in Bild 6c gezeigt, sehr wirksam zur Schallabsorption und Schalldämpfung eingesetzt werden [9]. Die klotzenartige Form der massebehafteten Platte bei gleichem Druck vor und hinter der Platte verändert sich bei evakuiertem Hohlraum gemäß Bild 6c und ist in dieser Gestalt schwingfähig. Das entsprechende Absorptionsverhalten bleibt typisch für Resonanzsysteme mit mehreren Einzelresonanzen (Eigenschwingungen). Die Vorteile liegen auch gar nicht so sehr im Absorptionsspektrum, sondern in der schlanken Bauweise, der robusten Konstruktion sowie in der (meist) metallischen und damit reinigbaren Oberfläche. Diese Kombination kann z. B. bei Schalldämpfern in Lüftungs- und Abgaskanälen eine vielfach hinterfragte Alternative bieten.

4 Ausblick: Zulassung von VIP

In von der Bauaufsicht (DIBt) anerkannten und vom DAP akkreditierten Prüfstellen sowie bei Neuentwicklungen im Rahmen von Zulassungsverfahren werden Wände, Dächer, Mehrscheiben-Isolierglas, Fensterrahmen, Rollladenkästen etc. untersucht und bewertet. Doch vor allem beim Wärme-, Feuchte- und Schallschutz sind Dämmstoffe für die Leistungsfähigkeit moderner Bauteile wie VIP sowie die Fugen und Anschlüsse zwischen diesen Bauteilen wichtig und werden selten zusammen mit den ganzen Bauteilen geprüft. Da die gesetzlichen Vorgaben in den Bauordnungen der Länder sowie den dazugehörigen Normen und Richtlinien, auf den Schutz des Gebäudes und Bewohners abzielen (z.B. bei Hygiene, Gesundheit, Mindestwärmeschutz, wirtschaftlicher Wärmeschutz, Schallschutz etc.) sind nicht allein die Baustoffe wie Dämmstoffe in den VIP zu bewerten, sondern das jeweilige Bausystem (Dach, Wand etc.)

Die klassischen, genormten Dämmstoffe wie Mineralwolle, EPS-Hartschaum, Holzfaserplatten etc. sind in den gültigen Produktnormen der Serie DIN EN 13162, 13163 bis 13171 beschrieben. Alle anderen Dämmstoffe, also auch VIP, sind nicht genormte Dämmstoffe und benötigen deshalb für die Verwendung nach den Landesbauordnungen (LBO) eine allgemeine baurechtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin oder für konkrete Bauvorhaben eine Zustimmung im Einzelfall durch die benannten Stellen der Länder.

Die Kriterien für den Nachweis der Brauchbarkeit von VIP sind im Prüfprogramm des DIBt enthalten (Bild 8). Die Nachweise für die Funktionssicherheit der VIP-Dämmsysteme sind im Sachverständigenausschuss des DIBt noch nicht vorgelegt; deshalb konnte auch noch keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für ein VIP-Dämmsystem ausgesprochen werden.

Die aus wissenschaftlicher Sicht auch bei VIP noch nicht abgeschlossene Frage ist die unterschiedliche Bewertung der Bauteile mit Dämmstoffen unterschiedlicher Stoffart (mit Vakuum, Additiven und Schutzmitteln), Bauanschlüssen oder Fugenbereichen: wie verhalten sich die Stoffe nach 30 Jahren, wozu gehört die „Fuge“ d.h. Schwachstelle im gealterten Zustand? Vakuum-Dämmung „altert“, Fugenbereiche und Dichtstoffe verspröden, Folien können beschädigt werden. Die Berechnungen mit Stoffwerten aus den üblichen Kennwerte-Tabellen als Bemessungswerte (früher Rechenwerte) ergeben i.a. höhere (schlechtere) U-Werte, da die im Probekörper bei den Messungen im Labor eingebauten Dämmstoffe i.a. „fabrikfrisch“, trocken und somit „ohne Zuschlag für die Nutzung“ sind. Hierzu sind für die Übertragung der europäischen Regeln noch weitere Abstimmungen mit der Bauaufsicht nötig, da die bisherigen EN-Normen und europäischen Zulassungen (ETAs) zu der Forderung aus der BPR, die Erfüllung der sechs wesentlichen Anforderungen "über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum bei normaler Instandhaltung" d.h. der Dauerstandsfestigkeit nichts oder wenig aussagen.

Literatur

- [1] Künzel, H. M. (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart.
- [2] www.va-q-tec.de: *Der Innovationssprung in der Wärmedämmung*.
- [3] Künzel, H.M. (1997): *Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnräumen*. IBP-Mitteilung 314.
- [4] Krus, M.; Sedlbauer, K.; Künzel, H. (2005): *Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht*. Beitrag bei Fachtagung „Innendämmung - eine bauphysikalische Herausforderung“ im HBZ Münster.
- [5] Sedlbauer, K.; Krus, M. (2003): *Schimmelpilze in Gebäuden – Biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen*. Bauphysik-Kalender 2003, Ernst und Sohn Verlag, Berlin, S. 435-531.
- [6] Maysenhölder, W. (1999): LAYERS – Ein Werkzeug zur Untersuchung der Schalldämmung von Platten aus homogenen anisotropen Schichten. IBP-Mitteilung 26 (1999), Nr. 347.
- [7] Gellert, R. (2003): Bauaufsichtliche Anforderungen an Dämmstoffe am Beispiele von Vakuumdämmplatten. Tagungsband 1. Fachtagung VIP-Bau, 2003.
- [8] Leistner, P.; Fuchs, H. (2001): *Schlitzförmige Schallabsorber*. Bauphysik 23 (2001), S. 333-337.
- [9] Bschorr, O.; Laudien, E. (1992): *The Silator – A small Volume Resonator*. Journal of Sound and Vibration. (1992) 152, S. 81-92.

Lenz, K.; Leistner, PhL.; Sedlbauer, K.; König, N.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik,
Postfach 1152, D-83607 Holzkirchen und Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
www.bauphysik.de

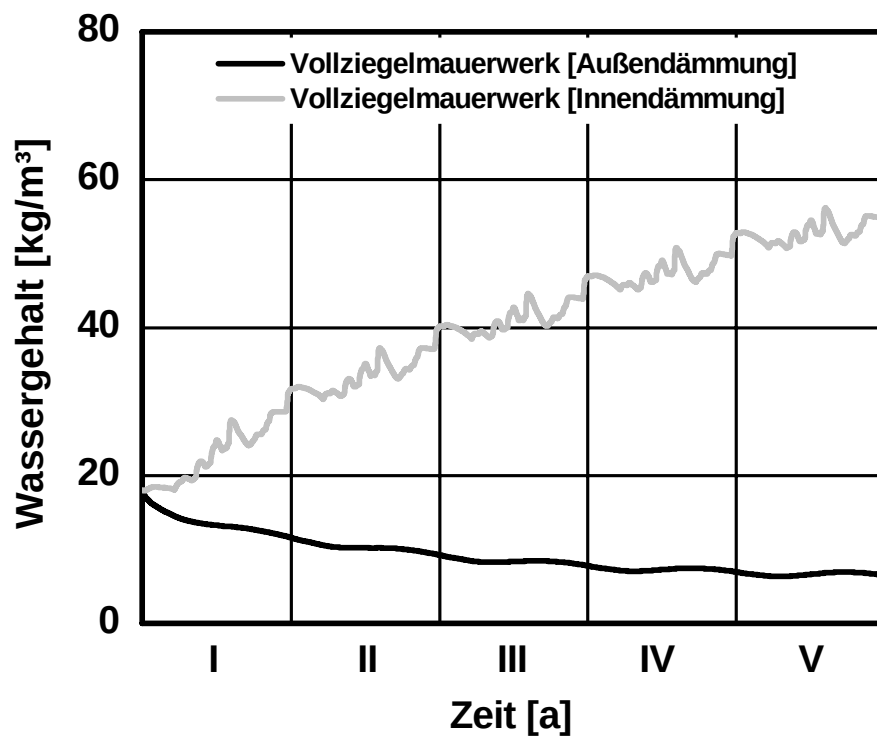


Bild 1 Verläufe des Wassergehaltes im Vollziegelmauerwerk für einen Zeitraum von 5 Jahren.

Variante 1 mit Außendämmung: schwarze Linie.

Variante 2 mit Innendämmung: graue Linie.

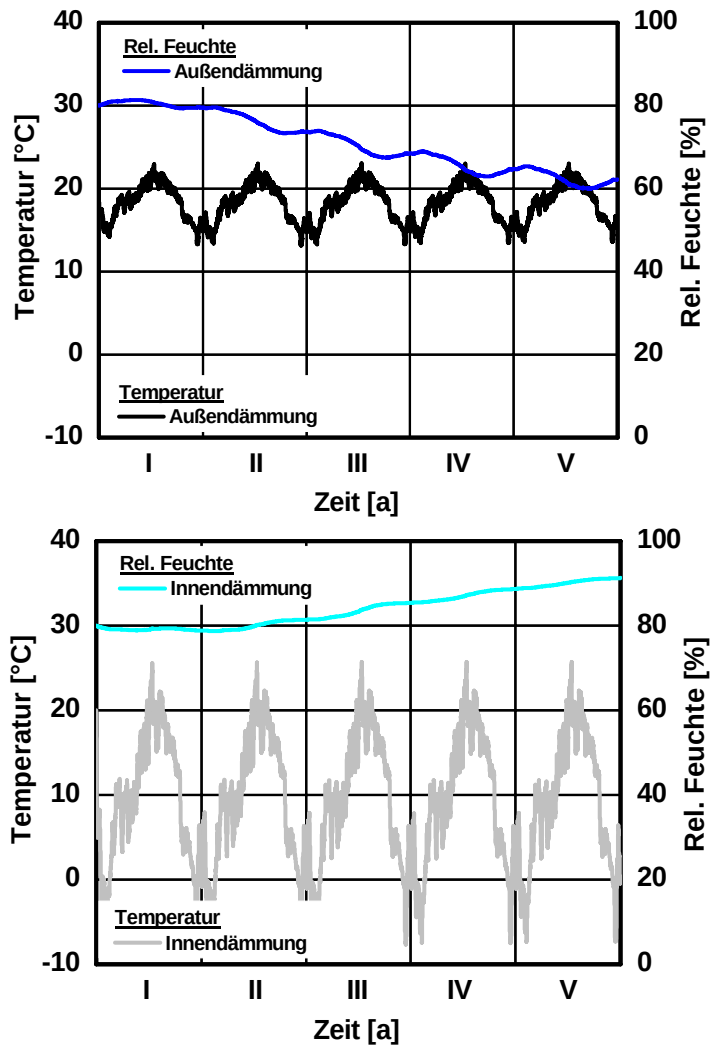


Bild 2 Zeitlicher Verlauf der Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Oberflächenschicht des Ziegelmauerwerks direkt an der Grenze zwischen Mauerwerk und Dämmung.
Oben: Konstruktion mit Außendämmung
Unten: Konstruktion mit Innendämmung.

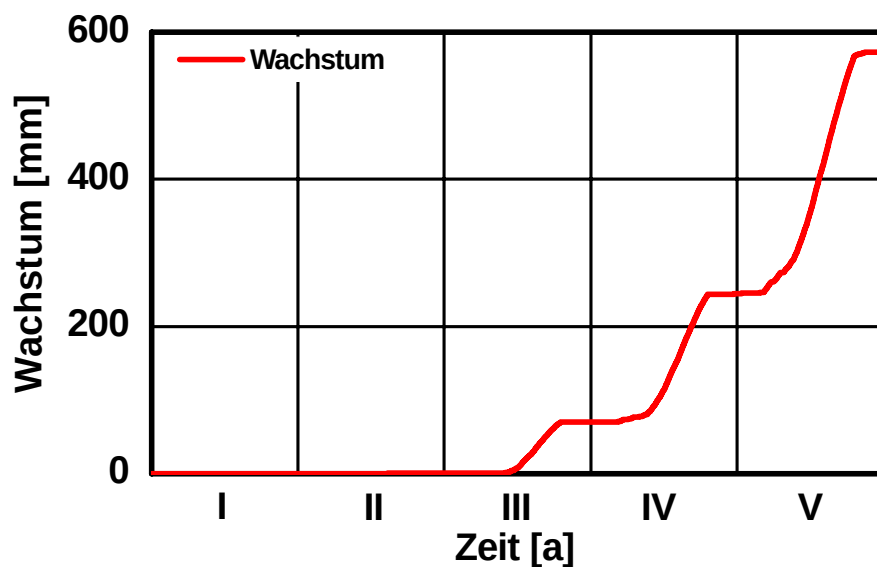


Bild 3 Zeitlicher Verlauf des Schimmelpilzwachstums an der Materialgrenze zwischen Mauerwerk und Dämmung, bei einer Konstruktion mit Innendämmung.

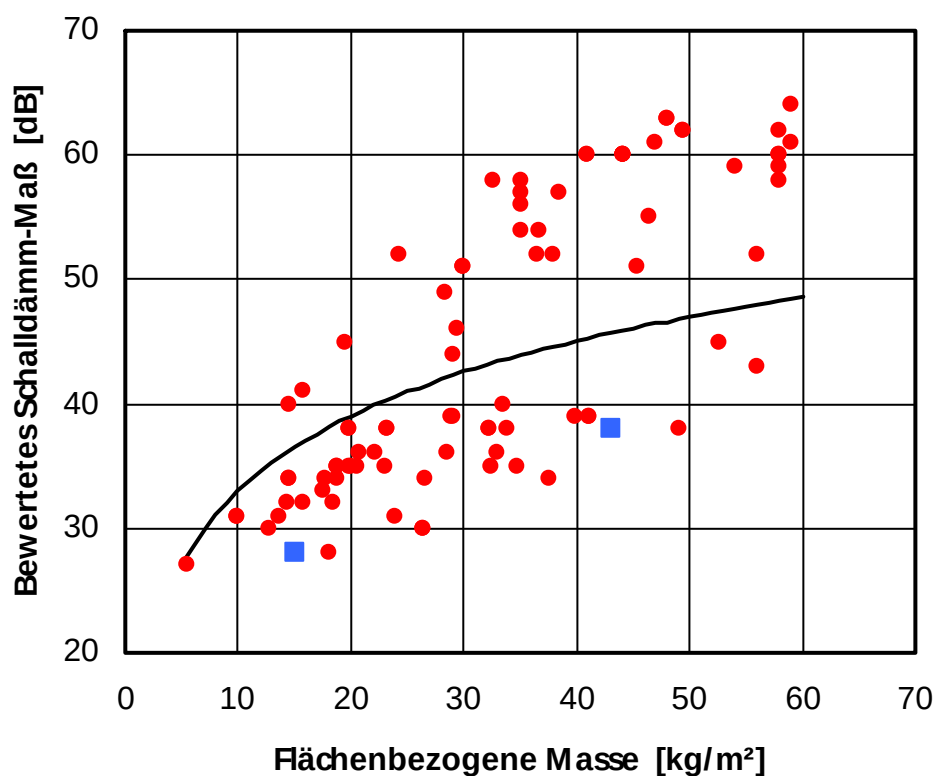


Bild 4 Beziehung zwischen bewertetem Schalldämm-Maß und flächenbezogener Masse von unterschiedlichen Bauteilen (●) und zwei Beispielen für Vakuum-Isolationspaneele (■). Die durchgezogene Kurve markiert das so genannte Massegesetz für die Schalldämmung einschaliger Bauteile.

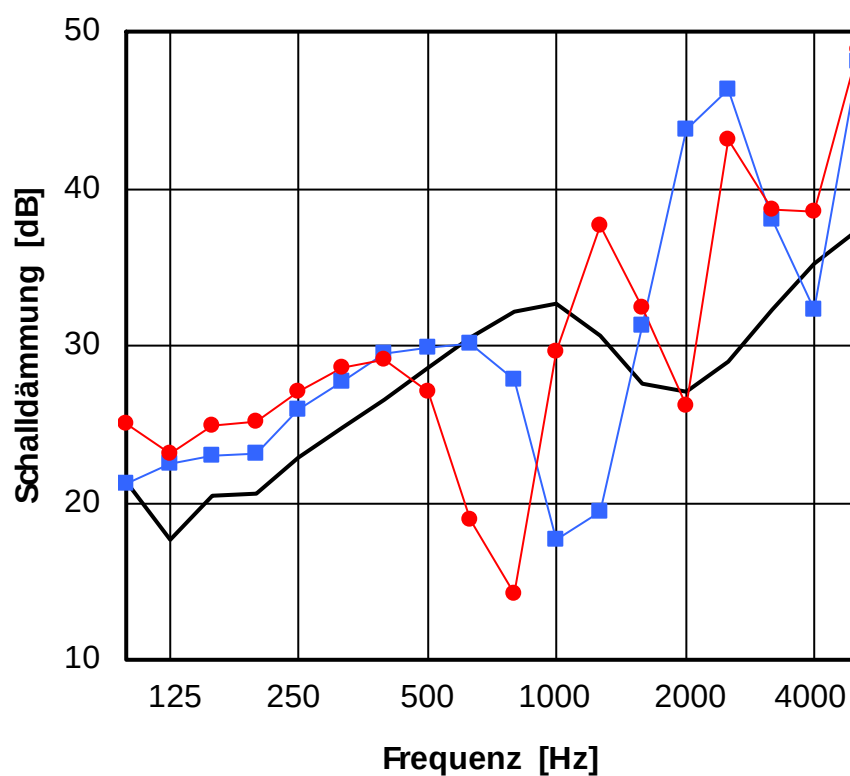


Bild 5 Gemessene Schalldämmung einer Holzspanplatte

— $t = 16 \text{ mm}$, $m' = 13 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 30 \text{ dB}$

sowie von zwei doppelschaligen Metall-Vakuum-Isolationspaneelen:

--●-- $t = 40 \text{ mm}$, $m' \approx 15 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 28 \text{ dB}$,

--■-- $t = 20 \text{ mm}$, $m' \approx 15 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 28 \text{ dB}$.

Alle Bauteile hatten gleiches Format (1,5 m x 1,25 m) und wurden unter gleichen Bedingungen gemessen.

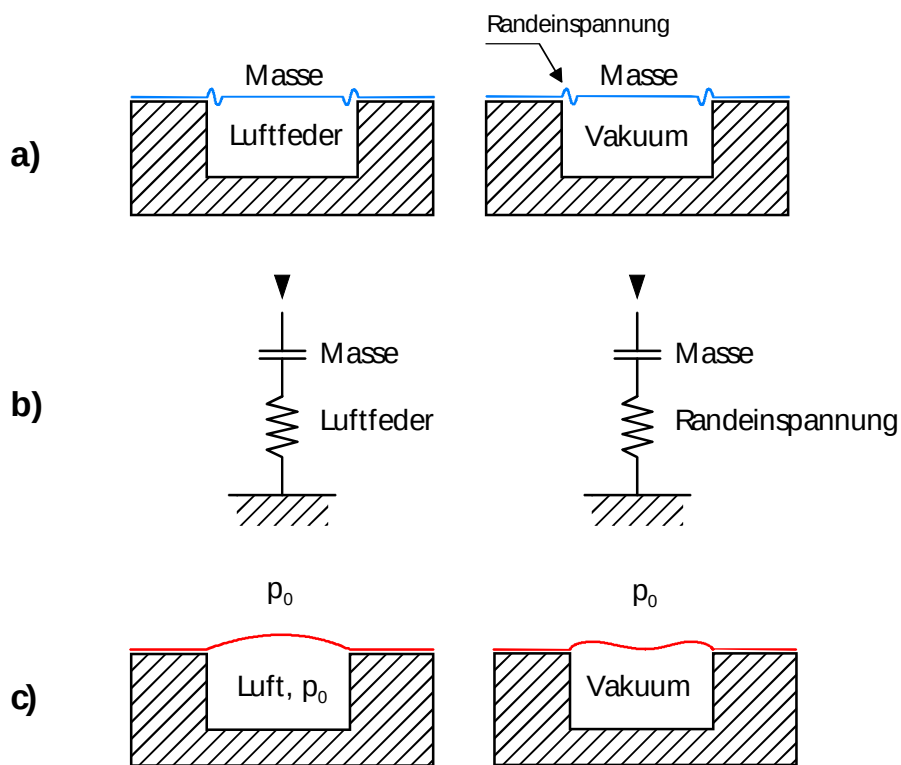


Bild 6 Masse-Feder-System (a) mit Luftfeder oder Vakuum, vereinfachtes Modell (b) und Ausführungsbeispiel (c) nach [9].

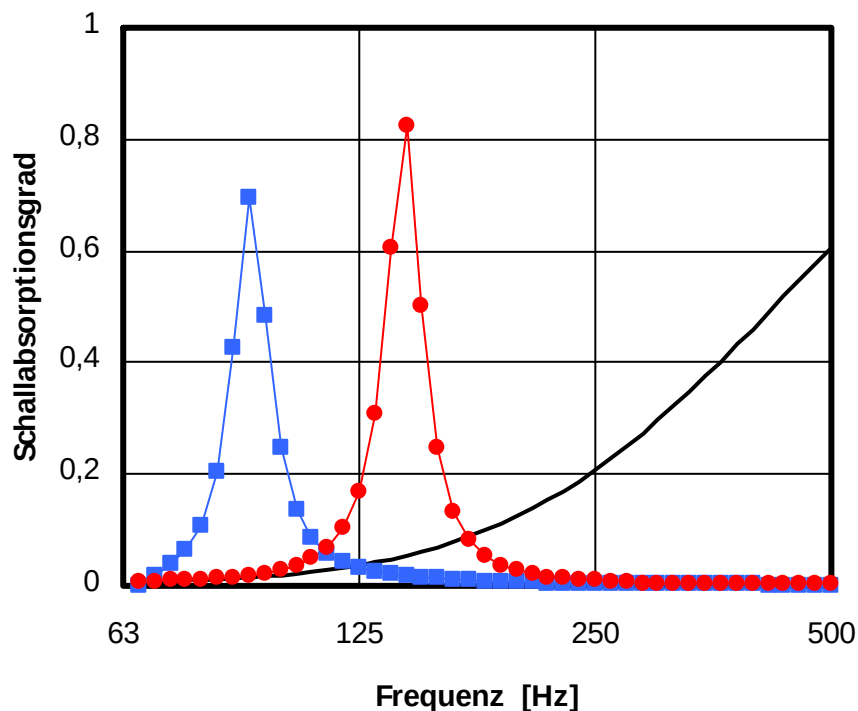


Bild 7 Im Impedanzrohr (200 mm x 200 mm) gemessene (a) und berechnete (b) Schallabsorptionsgrade bei senkrechtem Schalleinfall eines Masse-Feder-Systems (---●---) und eines Plattenschwingers (---■---) mit gleichem Aufbau, aber unterschiedlichen Randbedingungen im Vergleich zu einem porösen Absorber (—) gleicher Dicke, nach [8].

Prüfplan gemäß Beratung im SVA, 2002:

1. Bauteilversuch in Testfassaden und Untersuchungen unter
 - einseitiger Temperaturbelastung
 - Druck - Sogbelastung --> im Wechsel.
2. Insitu-Belastung in Fensterwand über 3 Jahre
3. Prüfung des Wärmedurchlasswiderstandes im Plattengerät vor und nach Klimawechselbelastung (künstliche Alterung)
4. Ggf. Berechnung der Wärmebrücken (3-dimensional)

Bild 8 Übersicht zum Prüfplan für VIP.