

Systematisierung architektonischer Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle

Jan Cremers, Dipl.-Ing. Architekt

Technische Universität München, Fakultät für Architektur, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie,
Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog, Arcisstrasse 21, D-80333 München, www.gt.ar.tum.de
Tel: +49 (0)89 289 28698 Fax: +49 (0)89 289 28675 Email: cremers@lrz.tum.de

Vakuum-Dämmsysteme gehören derzeit zu den großen Innovationsfeldern im Baubereich und erfahren überall zunehmende Aufmerksamkeit, die in ihrer im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen enorm hohen Effizienz begründet ist.

Die Anforderungen an den Wärmeschutz als eine der maßgeblichen Schutzfunktionen der Gebäudehülle sind seit den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts parallel zu einem zunehmenden Bewußtsein um die Notwendigkeit eines sorgfältigen Umgangs mit (Energie-)Ressourcen kontinuierlich und signifikant gestiegen. Vakuum-Dämmsysteme scheinen in diesem Zusammenhang einen Ausweg aus dem resultierenden und im Hinblick auf die architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten wenig erfreulichen Zwang zu immer höheren Dämmstoffstärken aufzuzeigen.

Die Verbesserung der Effizienz, also die Reduzierung der notwendigen Dämmschichtstärke bzw. die gleichzeitig mögliche weitere Verbesserung der Dämmwirkung ist daher die Hauptmotivation für die bisherigen Anwendungen von Vakuum-Dämmsystemen im Baubereichⁱ. Durch sich daraus ergebende weitere Aspekte beispielsweise konstruktiver, gestalterischer oder ökonomischer Art kann diese zusätzlich gestärkt werden.

Die bisher umgesetzten und untersuchten Anwendungen basieren in der Regel auf dem Ansatz, konventionelle Dämmstoffe durch Vakuum-Dämmsysteme zu ersetzen und bekannte und bewährte konstruktive Wand-, Dach- und Bodenaufbauten gemäß den speziellen Erfordernissen von Vakuum-Dämmsystemen anzupassen.

Eine Systematisierung der Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen in der Gebäudehülle mit der Intention, Zusammenhänge und weiteres Potential aufzuzeigen, ist Gegenstand eines laufenden Promotionsvorhabens am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Thomas Herzog, an der TU München und soll hier in Auszügen vorgestellt werden.

1 Bekannte und zukünftig denkbare Vakuum-Dämmsysteme

Abb. 1 zeigt die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Hüll- und Kernmaterialien zu Vakuum-Dämmsystemen, die zurückliegend untersucht wurden, teilweise derzeit Verwendung finden oder zukünftig denkbar sind. Die einzelnen Varianten sind hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit für sichtbares Licht (transparent, transluzent, opak) als Teil des einwirkenden solaren Strahlungsspektrums zugeordnet. Es sei darauf hingewiesen, dass die aufgeführten nicht-opaken Systeme mit Ausnahme der sog. 'Vakuum-Verglasung', die in diesem Aufsatz nicht weiter thematisiert werden soll, bislang nicht verfügbar, aber Gegenstand laufender Forschungstätigkeiten sind.

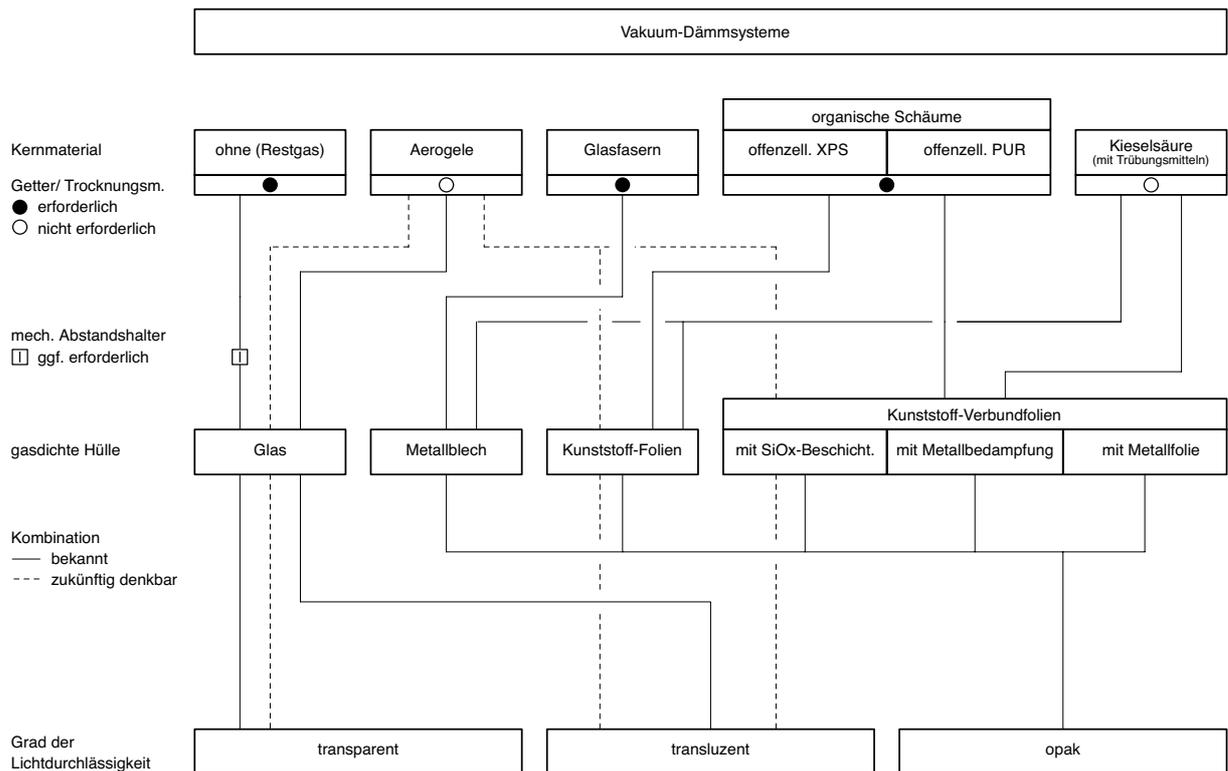


Abb. 1 Vakuum-Dämmsysteme, Kombination möglicher Einzelkomponenten und Grad der Lichtdurchlässigkeit

2 Typologie zur Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen

Bevor darauf eingegangen wird, wie Vakuum-Dämmsysteme im Bereich der Gebäudehülle eingesetzt werden können, stellt sich die Frage, wo und mit welcher Zielsetzung dies sinnvoll geschehen könnte.

Erst die Beantwortung dieser Fragen legt die wesentlichen Grundlagen für spätere Untersuchung konstruktiver Zusammenhänge.

Abb. 2 und 3 zeigen zwei analog aufgebaute Typologien zu Anwendungen von lichtundurchlässigen und lichtdurchlässigen Vakuum-Dämmsystemen in der Gebäudehülle. Aus dem elektromagnetischen Strahlungsspektrum spielen für die Gebäudehülle neben dem Ausschnitt des sichtbaren Lichts (Wellenlänge ca. 400 - 800 nm) insbesondere die angrenzenden Bereiche größerer und kleinerer Wellenlänge, die Infrarot- und Ultraviolettstrahlung, eine Rolle.

Betrachtungsebene 1: Anwendungsbereiche

Gebäudehülle im Sinne dieser Arbeit meint die vollständige ein Gebäude begrenzende Fläche gegenüber der Außenluft, also das, was man - vereinfacht - als Dach und Fassade bezeichnen kann. Der erdberührende Bereich der Gebäudehülle wird im vorliegenden Aufsatz nicht behandelt, da für die vorliegende Untersuchung die Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen aus den folgenden Gründen nicht von vorrangigem Interesse ist:

- Erdberührende Bereiche sind nicht oder nur unter erheblichem Aufwand zu Wartungs- oder Kontrollzwecken zugänglich.
- Die Anforderungen an Druckfestigkeit sind meist sehr hoch.
- Im erdberührenden Bereich eingesetzte Materialien müssen den äußeren Einflüssen standhalten, das heißt sie dürfen nicht verrotten, müssen absolut wasserbeständig und resistent gegen Wurzelwerk sein. Diese Anforderungen müssten durch ergänzende Maßnahmen erfüllt werden.
- Unter der Erde herrscht in der Regel kein Platzmangel, der den Hauptvorteil von Vakuum-Dämmsystemen zum Tragen brächte.
- Die mit der Tiefe zunehmend konstanten und moderaten Temperaturen stellen verhältnismäßig geringe Anforderungen an das Wärmedämmvermögen.

In den oben genannten Typologien werden daher nur die Bereiche Fassade und Dach untersucht und unterschieden.ⁱⁱⁱ

Betrachtungsebene 2: Ausschnitt

Im weiteren wird differenziert in Gebäudehüllenausschnitte mit und ohne ‚Öffnungen‘, wobei darunter permeable, das heißt strahlungs- und / oder luftdurchlässige Bereiche verstanden werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Fenster- oder Türöffnungen handeln, ebenso aber auch um solche für opake Lüftungsflügel oder größere verglaste Bereiche.

Betrachtungsebene 3: Einbausituation

Die nächste Betrachtungsebene bezieht sich auf die Einbausituation: Ist das Dämmsystem in seiner Lage unveränderlich eingebaut oder in ein bewegbares Bauteil wie zum Beispiel einen Fensterflügel oder einen Klappladen integriert. Ist letzteres der Fall, handelt es sich bei den beschriebenen bewegbaren Elementen um sogenannte ‚Manipulatoren‘^{iv}.

Betrachtungsebene 4: Verhältnis zur primären thermischen Trennebene

Im folgenden Schritt wird die Beziehung zur primären thermischen Trennebene des betrachteten Gebäudehüllenausschnittes herangezogen, um folgendermaßen zu differenzieren:

Fällt das betrachtete Dämmsystem mit der primären thermischen Trennebene zusammen, wie dies zum Beispiel für einen gedämmten Lüftungsflügel gilt, so wird das Verhältnis zu dieser Trennebene als ‚identisch‘ bezeichnet.

Dies ist von der Situation zu unterscheiden, in der das Dämmsystem ‚additiv‘ zu einer bestehenden (und daher ‚primären‘) thermischen Trennebene, wie sie zum Beispiel von einem Fenster gebildet wird, eingesetzt wird. Es ist an dieser Stelle unerheblich, von welcher Qualität die bestehende thermische Trennung ist.

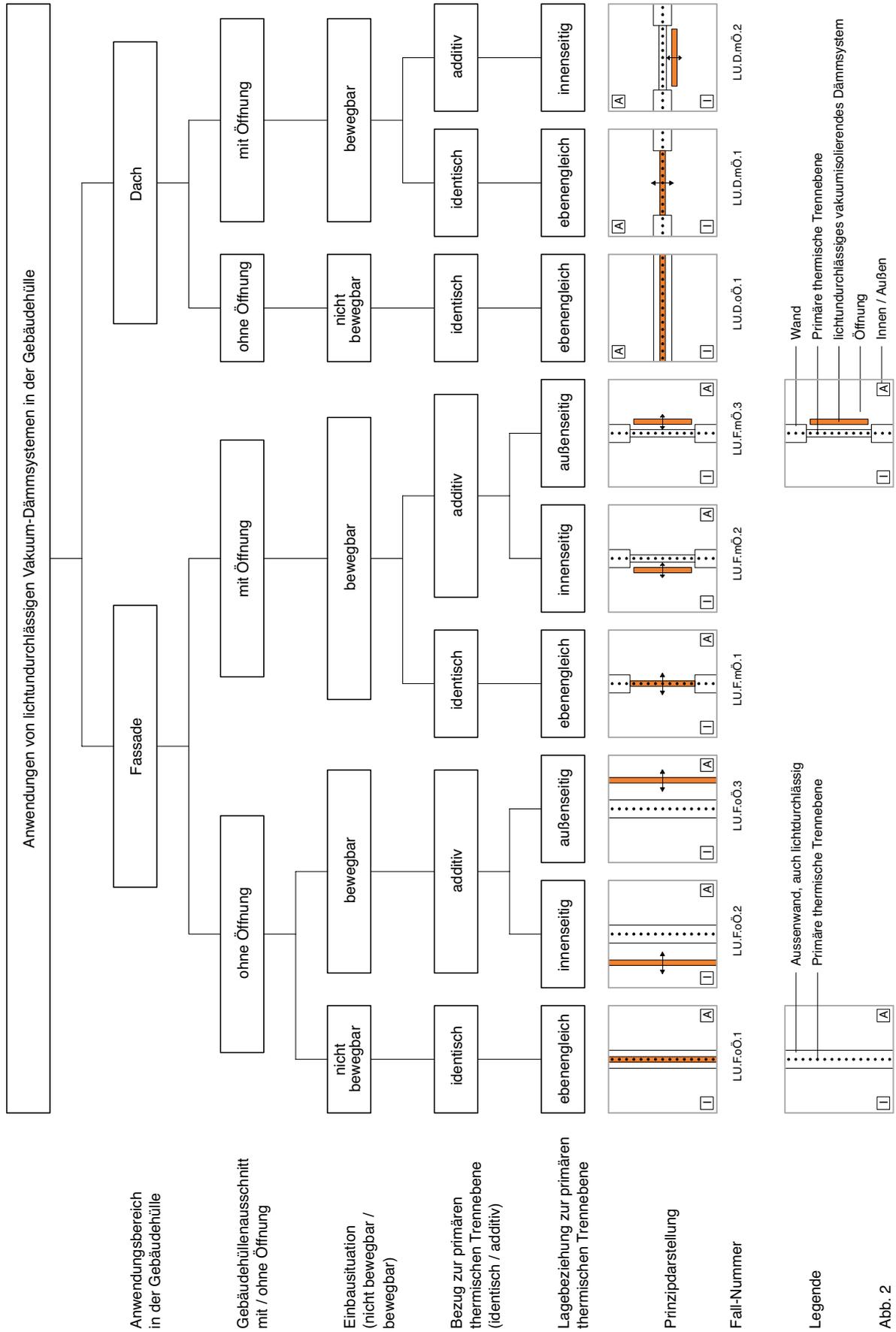


Abb. 2

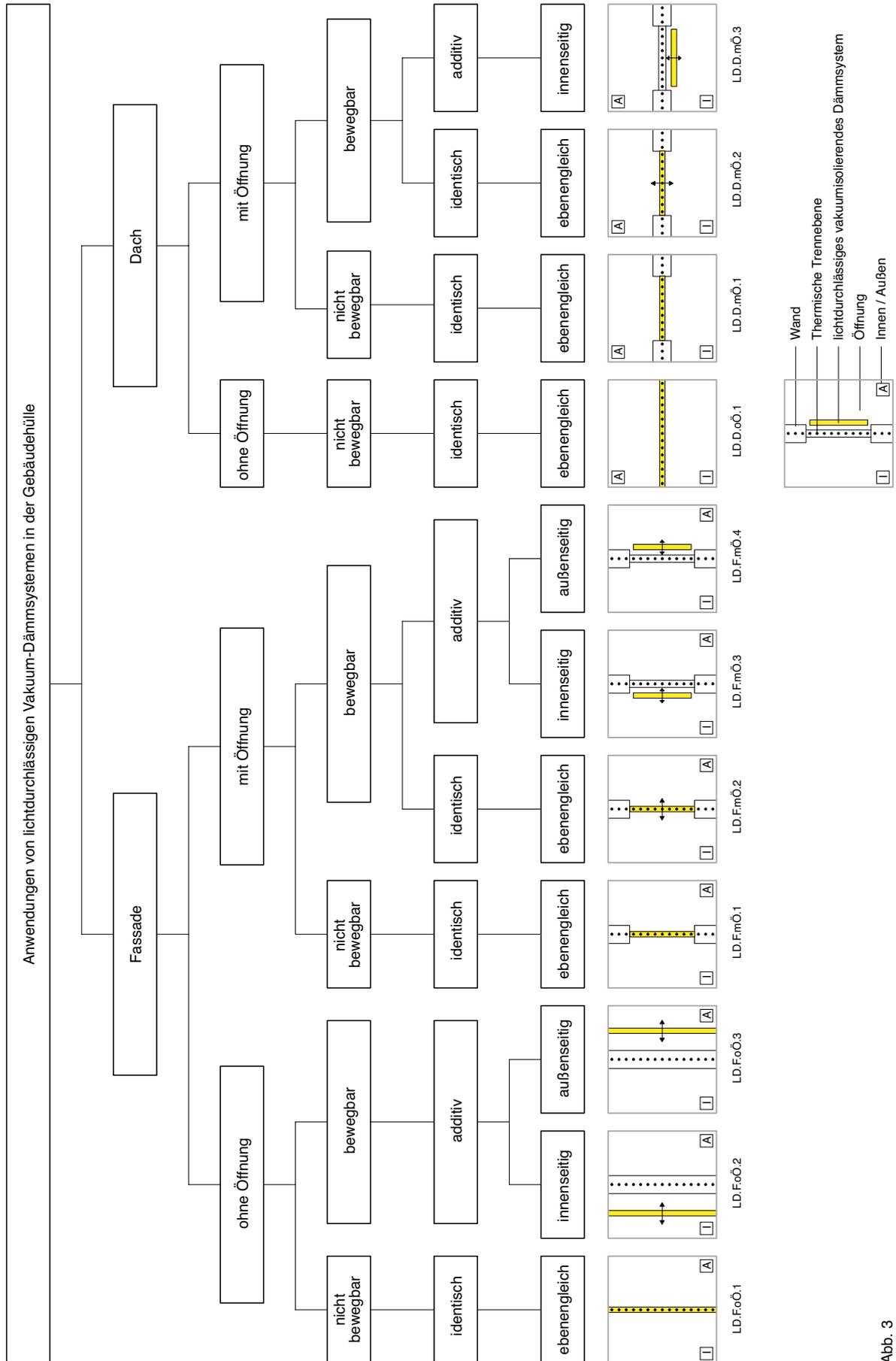


Abb. 3

Offensichtlich kann der Fall ‚additiv‘ für statische Einbausituationen nicht vorkommen, sondern nur für ‚bewegbare‘ Anwendungen.

Die beiden letztgenannten Ebenen ergänzen die bisherigen Betrachtungen für den Fall ‚bewegbar-additiv‘ um den Aspekt des temporären Wärmeschutzes, wobei hierunter sowohl Tag / Nacht-Zyklus-bezogene (wie zum Beispiel Klapppläden) als auch saisonale Maßnahmen (zum Beispiel Vorfenster^v) zu rechnen sind.

Betrachtungsebene 5: Lagebeziehung zur primären thermischen Trennebene

Das Dämmsystem kann, wenn es im oben genannten Sinne ‚additiv‘ ist, auf die primäre thermische Trennebene bezogen entweder innen- oder außenseitig eingesetzt werden. Bildet es selbst die primäre thermische Trennebene (Fall ‚identisch‘), so wird die Lagebeziehung folglich als ‚ebenengleich‘ bezeichnet.

Prinzipdarstellung und Fallnummer

Alle dargestellten Betrachtungsebenen werden in einer zugeordneten piktogrammartigen Prinzipdarstellung zusammengefasst und es wird eine die Betrachtungsebenen widerspiegelnde Fallnummer zugeordnet, die im weiteren als Referenz dienen kann.

Prinzipiell sind die bisher erfolgten Darstellungen für alle Arten lichtdurchlässiger und lichtundurchlässiger Dämmsysteme gültig. Der potenziell deutlich geringere Dämmstärkebedarf im Vergleich zu konventioneller Dämmung lässt allerdings Anwendungen mit dem Ziel des temporären Wärmeschutzes interessant erscheinen. Es sind nicht alle theoretisch vorstellbaren, sondern nur die dem Verfasser sinnvoll erscheinenden Möglichkeiten erfasst. Beispielsweise fehlt der Fall ‚Lichtundurchlässig / Dach / mit Öffnung / bewegbar / additiv / außenseitig‘ (der die Nummer LU.D.mÖ.3 hätte), da der konstruktive Aufwand für eine solche Anwendung (zum Beispiel wegen Schnee, Regen usw.) unverhältnismäßig erscheint. Dennoch könnten auch solche Fälle anhand der vorliegenden Typologie begrifflich und logisch eindeutig bezeichnet und beschrieben werden.

Eine Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen als sogenannte Transluzente Wärmedämmung (TWD) fällt im Sinne dieser Typologie unter den Fall LD.F.oÖ.1.

3 Weitere Merkmale zur Klassifizierung der Anwendungsmöglichkeiten

Abb. 4 zeigt weitere Merkmale zur Klassifizierung der Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen, die sowohl für lichtdurchlässige als auch für lichtundurchlässige Varianten Gültigkeit haben. Hierbei werden Aspekte in die Betrachtung einbezogen, die für weitere Klassifizierungsschritte Bedeutung haben.

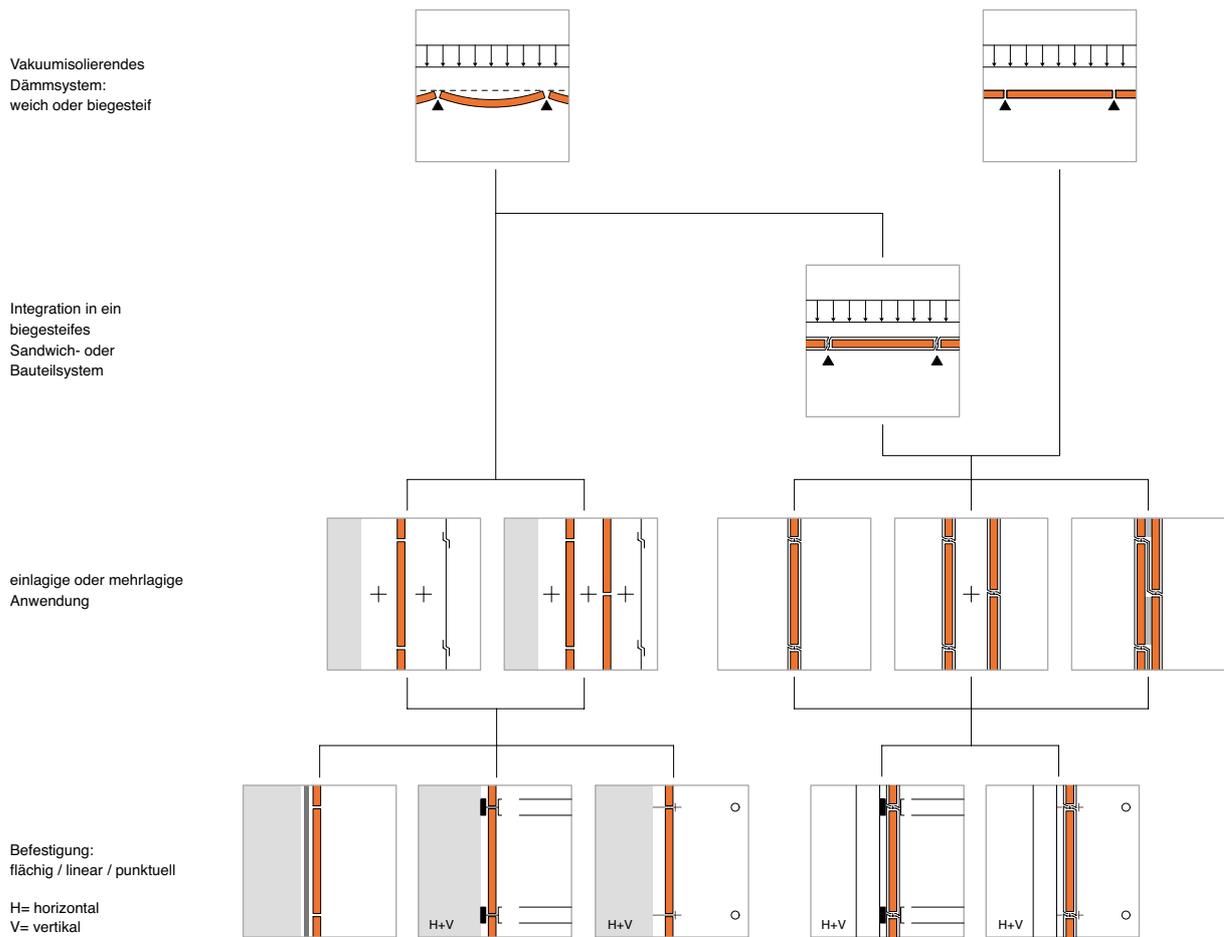


Abb. 4 Zusammenhang zwischen Biegesteifigkeit, Ein- und mehrlagiger Anwendung und Art der Befestigung (vereinfacht)

Eigenstabilität der Vakuum-Dämmsysteme

Ob das betrachtete Dämmsystem in seiner statischen Wirkung als biegesteif oder weich einzustufen ist, spielt für die weiteren Anwendungsmöglichkeiten eine gewisse Rolle. Die meisten bisher verfügbaren Vakuum-Dämmsysteme sind in diesem Sinne als ‚weich‘ zu klassifizieren, da sie keine nennenswerten Biegemomente aufnehmen können. Das gilt zum Beispiel für alle VIP mit Folienhüllmaterialien.

Sogenannte Vacuum Insulating Sandwiches (VIS) mit Metallblech als Hüllmaterial dagegen verfügen nicht zuletzt durch das Vakuum zwischen den Paneelschalen über eine beträchtliche Biegesteifigkeit, die andere Anwendungen und vor allem konstruktive Möglichkeiten erschließt.

Integration in ein biegesteifes Sandwich-oder Bauteilsystem

Ist die Gesamtsystemeigenschaft der Biegesteifigkeit erforderlich, kann dies für weiche Vakuum-Dämmsysteme dadurch erreicht werden, dass diese in ein übergeordnetes biegesteifes System integriert werden, wie zum Beispiel in ein sandwichartiges Bauteil, wobei das Vakuum-Dämmsystem dann ein Subsystem bildet. Dies bedingt eine entsprechende Randausbildung. Das übergeordnete System selbst kann unter Umständen auch evakuiert sein, wie dies teilweise bei in Pfosten-Riegel-Paneele eingesetzten Vakuum-Dämmsystemen der Fall ist.

Werden weiche Dämmsysteme nicht im Rahmen von Vorfertigung in ein anderes System integriert, müssen sie einzeln vor Ort eingebaut werden. Dies hat sich aufgrund der Empfindlichkeit der eingesetzten Hüllmaterialien als sehr problematisch erwiesen.

Ein- oder mehrlagiger Einsatz

Grundsätzlich können die betrachteten Dämmsysteme ein- oder mehrlagig eingesetzt werden. Letzteres kann sinnvoll sein, um durch Versatz der Stöße im Randbereich in der zweiten Lage die Wärmebrücken deutlich zu entschärfen. Im Falle der Integration in ein übergeordnetes System kann solch eine versetzte Anordnung auch in den einzelnen Elementen erfolgen. Dabei ist dann ein entsprechender, gestufter Elementstoß auszubilden. Das Maß des Versatzes zwischen den Lagen ist je nach Anwendungsfall zu wählen. Dargestellt ist in Abb. 4 ein maximaler Versatz von 50%, da so das Prinzip der Maximierung der Weglänge des Wärmedurchgangs am deutlichsten wird. Aus praktischen Gründen (vor allem im Hinblick auf Zwänge aus dem Maßsystem und der Befestigung) wird man dieses Verhältnis in konkreten Anwendungen kaum vorfinden.

Im Zusammenhang mit der Montage stellt sich außerdem die Frage nach Austausch- und Demontagemöglichkeiten, die eng in Zusammenhang mit der Art der Befestigung und der Randausbildung stehen.

Obwohl der mehrlagige Einsatz prinzipielle Vorteile im Hinblick auf die Reduzierung von Wärmebrücken bietet, muss darauf hingewiesen werden, dass damit in der Regel ein erheblicher Mehraufwand (Material, komplexere Unterkonstruktion, erhöhter Montageaufwand) verbunden ist, der zu entsprechend höheren Kosten führt.

Befestigung

Grundsätzlich können folgende Befestigungsvarianten von flächigen Elementen unterschieden werden:

- flächig,
- linear,
- punktuell,

sowie alle hieraus denkbaren Kombinationen.

Weiche Vakuum-Dämmsysteme können nur sehr eingeschränkt Biege-, Zug- oder Scherbeanspruchungen ausgesetzt werden. Prinzipiell sollten diese daher so weit wie möglich reduziert werden.

Einer von der flächigen Befestigung abweichenden Art der Fixierung ist immer der Vorzug zu geben, da diese in der Praxis nur durch Klebung herzustellen ist und damit prinzipiell nicht zerstörungsfrei lösbar ist, einen hohen Aufwand bedeutet und die Paneele in ungeeigneter Weise belastet. Obwohl theoretisch auch denkbar, ist eine flächige Befestigung von biegesteifen Systemen nicht dargestellt, da für eine derartige Befestigung normalerweise keine Notwendigkeit besteht.

4 Beispielhafte, prinzipiell mögliche Wandaufbauten

Abb. 5 zeigt eine Auswahl an möglichen prinzipiellen Wandaufbauten für die Anwendung von lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen Vakuum-Dämmsystemen für statische Einbausituationen in Wandbereichen ohne Öffnungen (gemäß Abb. 2 und 3).

Unterscheidende Merkmale sind beispielsweise die Anzahl der eingesetzten Dämmsystemlagen, die Art der Lastabtragung oder die Frage, ob eine Hinterlüftung vorgesehen ist oder nicht.

| Typ | Kerndämmung | Kerndämmung | Innendämmung | WDV-System | Hinterlüftete Fassade | Sandwich-Paneel | PR-Paneel |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| Lastabtragung | tragend oder nicht tr. | nicht tragend |
| Schichtigkeit | mehrschichtig | mehrschichtig | mehrschichtig | mehrschichtig | mehrschichtig | mehrschichtig | mehrschichtig |
| Schaligkeit | einschalig | einschalig | einschalig | einschalig | mehrschalig | einschalig | einschalig |
| Hinterlüftung | nicht hinterlüftet | nicht hinterlüftet | nicht hinterlüftet | nicht hinterlüftet | hinterlüftet | nicht hinterlüftet | nicht hinterlüftet |
| Elementierung | Schale nicht element. | Schale elementiert | | | | elementiert | elementiert |

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|
| einlagige Anwendung eines lichtundurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes | | | | | | | |
| mehrlagige Anwendung eines lichtundurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes | | | | | | | |
| einlagige Anwendung eines lichtdurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes | | | | | | | |
| mehrlagige Anwendung eines lichtdurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|---------------------|---------------|-------------------------------------|
| Legende | Vakuum-Dämmsystem, lichtdurchlässig | Vakuum-Dämmsystem, lichtundurchlässig | Opakes Material | außen - oder innenliegende Schutzschicht | Dampfbremse/-sperre | Hinterlüftung | Lichtlenk- oder Verschattungssystem |
|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--|---------------------|---------------|-------------------------------------|

Abb. 5 Ausgewählte Wandaufbauten für die Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen (links innen / rechts außen)

5 Ausblick

Die vorgestellten Ansätze dienen der systematischen Klassifizierung von Anwendungen neuartiger Vakuum-Dämmsysteme. Aktuelle und zukünftige Beispiele können entsprechend ihren Merkmalen differenziert und zugeordnet werden. Die Strukturierung liefert zudem Hinweise auf bisher weniger beachtete Aspekte und Zusammenhänge. Dies gilt beispielsweise für die Anwendungsmöglichkeiten zukünftig potentiell verfügbarer transluzenter oder transparenter Systeme, aber ebenso für den bislang nahezu unberücksichtigten Themenkomplex des temporären Wärmeschutzes.

Desweiteren fällt bei der Beschäftigung mit den bekannten Anwendungen auf, dass bislang offenbar keine Versuche unternommen wurden, den einleitend formulierten Ansatz der Substitution konventioneller Dämmstoffe umzukehren und eine Gebäudehüllenkonstruktion zu entwickeln, die in ihrem Aufbau möglichst konsequent den Eigenschaften und der Logik von Vakuum-Dämmsystemen folgt.

Als Beispiel für solch einen 'inversen Ansatz' möge der Außenwandaufbau gemäß der Abbildungen 6 bis 8 dienen, wobei das dargestellte Primärtragwerk (hier eine Seilnetzkonstruktion mit peripher eingeleiteten Vorspannkraften) auch durch eine einfachere Lösung ersetzt werden könnte, zum Beispiel durch vertikale Stützen.

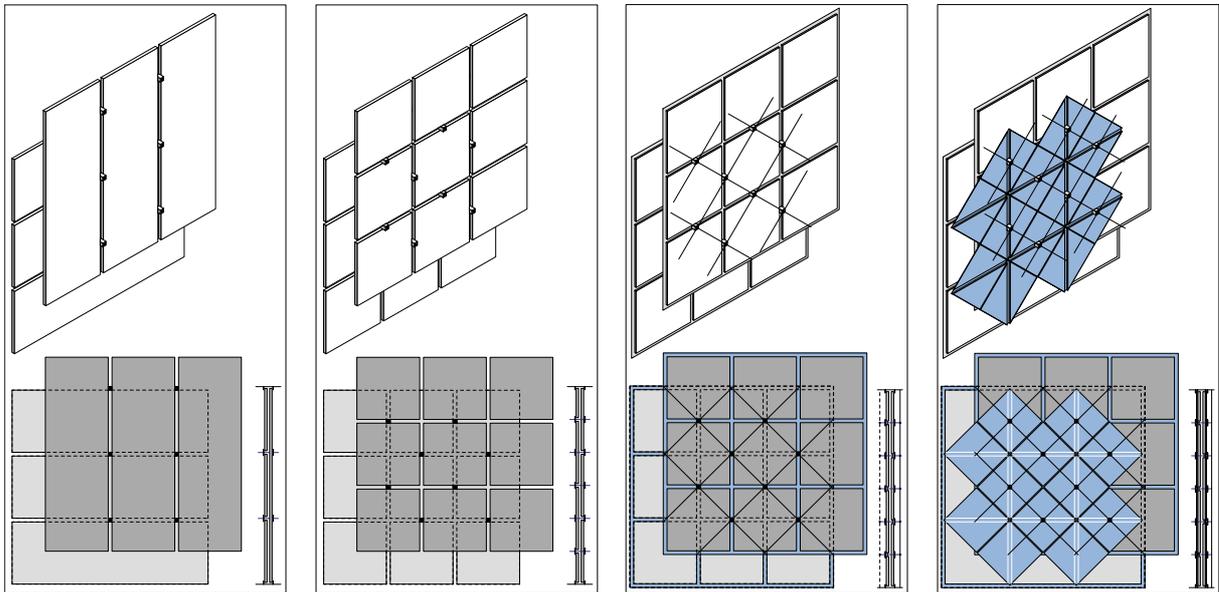


Abb. 6 Entwicklungsschritte des in Abb. 7 und 8 gezeigten Wandaufbaus

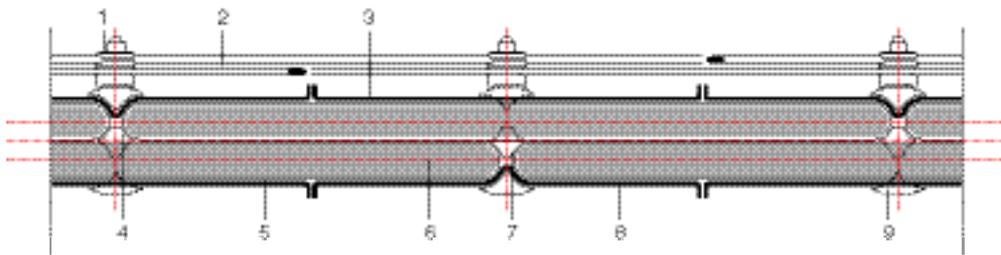


Abb. 7 und 8

Vorgeschlagener Wandaufbau, Schnitt M 1:5

1 Knoten

2 Verspannungsebene

3 Wandhaut außen, z.B. Blech

4 Formteile aus Dämm-Material

5 VIP-Hülle

6 VIP-Kernmaterial

7 Luftkammer im Bereich eines Elements

8 Wandhaut innen, z.B. Blech

9 Befestigung an Verspannknoten von innen,

Innenhaut abnehmbar, dadurch VIP-
Elemente einzeln tauschbar



Der Autor ist Architekt und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog und beschäftigt sich derzeit im Rahmen eines Promotionsvorhabens mit dem Thema der architektonischen Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle.

Anmerkungen

ⁱ vergl. Beitrag des Verfassers im Kapitel 'Außen- und Innenbedingungen' in Herzog, Thomas; Krippner, Roland; Lang, Werner: Fassadenatlas. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2004, S. 17-25

ⁱⁱ Kommentierte Beispielsammlungen finden sich auf www.vip-bau.de, www.vip-bau.ch und insbesondere in Schwab, Hubert et al.: Entwicklung und Anwendung von evakuierten höchsteffizienten Dämmungen für Gebäude. Abschlussbericht ZAE 2-1203-21, Würzburg: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE), 2003

ⁱⁱⁱ Eine wichtige Ausnahme stellt der Sanierungsbereich dar, wo der Einsatz von Vakuum-Dämmsystemen aus Platzgründen sehr wohl sinnvoll sein kann. Hier sind vor allem nachträgliche Dämmungen oberhalb der Bodenplatte zu nennen, ein Anwendungsfall, für den es bereits eine Reihe von Ausführungsbeispielen gibt. Durch das ZAE-Bayern wurden hierzu einige Anwendungen betreut, zum Beispiel die Sanierung eines Turnhallenfußbodens in Gemünden (Ing.-Büro Rosel), eines Kellerbodens im eza!-Haus in Kempten (Bayosan Wachter GmbH) und eines weiteren Turnhallenfußbodens in Nürnberg (va-Q-tec AG). Siehe hierzu ausführliche Darstellungen in Schwab, Hubert et al.: Abschlussbericht ZAE 2 - 1203 - 21 (2003), S. 28-29, 35-40.

^{iv} Für die im Bereich der Gebäudehüllen verwendeten beweglichen Elemente findet sich bei Waldemar Jaensch der Begriff ‚Manipulator‘. Die Definition entstand auf Basis seiner von Prof. Thomas Herzog betreuten Dissertation. In dem Begriff ist ‚manus‘ (lat. Hand) und ‚Manipulation‘ (‚Eingriff, um etwas zum eigenen Vorteil zu verwenden. Im 18. Jh. entlehnt aus gleichbedeutend frz. ‚manipulation‘, einer Ableitung von frz. ‚manipuler‘ zum eigenen Vorteil beeinflussen.)‘ enthalten. Im Bereich der Technik bezeichnet Manipulator „ein Gerät zum Handhaben von Gegenständen. Der Manipulator ersetzt den unmittelbaren Zugriff der menschlichen Hand; Kräfte und Bewegungen des Menschen können dabei in gleichem oder geänderten Verhältnis übertragen werden.“ (dtv-Lexikon).

^v Bei einem Vorfenster (auch ‚Winterfenster‘) handelt sich um ein saisonal, nämlich im Winter, nutzbares zusätzliches - aber abnehmbares - Fensterelement, das - im Winter eingesetzt - den Wärmeverlust durch das Fenster (historisch in der Regel jeweils mit Einfachverglasung) reduziert. Vergleiche hierzu Ausführungen und systematische Einordnung in Lang, Werner: Wärme- und Sonnenschutzsysteme aus Holz für Doppelfassaden, Dissertation, München: Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog, TU München, 2000, S. 3-6