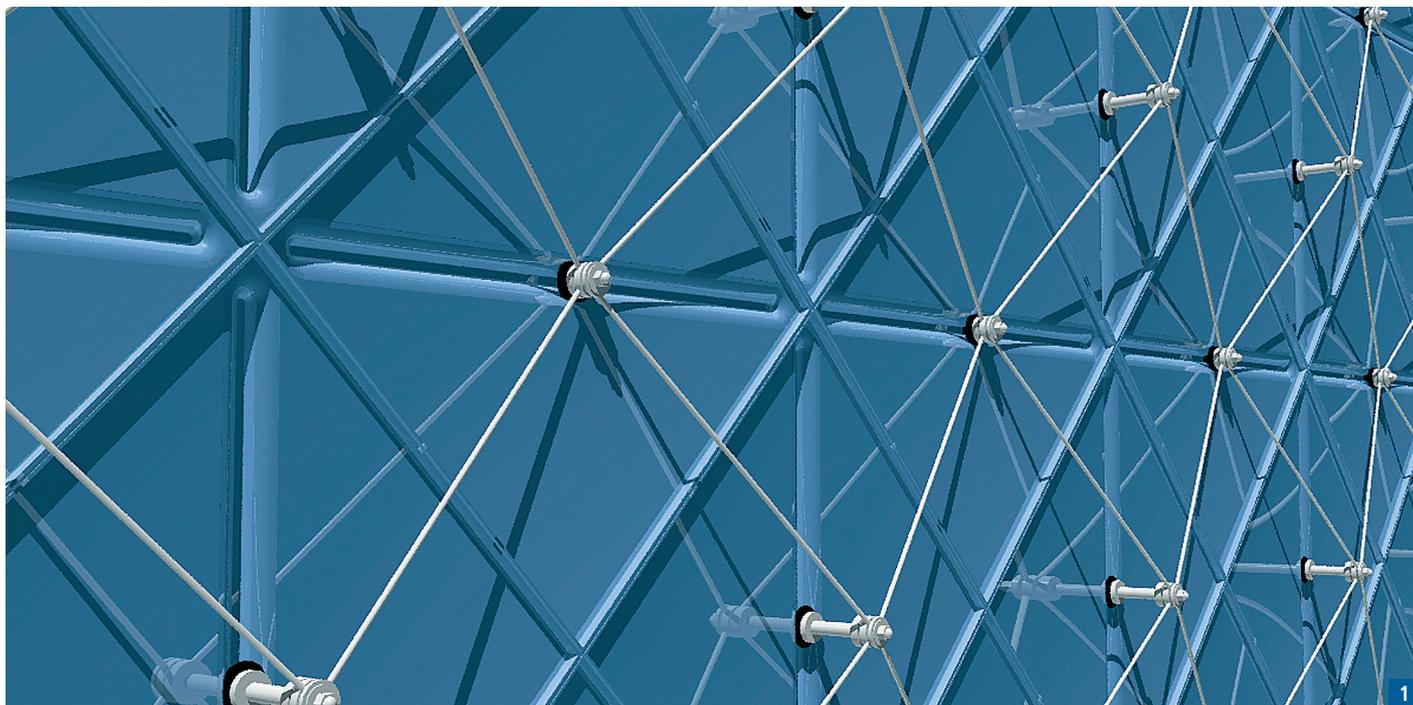


## Vakuum-Dämmsysteme in nichttragenden Aussenwandsystemen

# SCHLANK UND HOCHGEDÄMMT



**Während nahezu alle bisherigen Anwendungen von Vakuum-Dämmsystemen den Ansatz verfolgen, mit diesen neuartigen Systemen konventionelle Dämmstoffe in bekannten Konstruktionen zu substituieren (unter Berücksichtigung eventuell notwendiger Anpassungen), sollen hier beispielhaft aus den die neuen Systeme bestimmenden Merkmalen entwickelte Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.**

Vakuum-Dämmsysteme weisen insbesondere folgende Eigenschaften auf:

- sehr hohes Wärmedämmvermögen bei minimaler Dicke
- statisch nur durch flächig aufgebracht Druck belastbar
- in engen Grenzen verformbar
- Versagensfall ohne Gefahr für Leib und Leben (im Unterschied zum Beispiel zu Glas)
- nicht penetrierbar (beispielsweise zu Befestigungszwecken)

Diese Liste an speziellen Merkmalen liefert neben dem oben beschriebenen konventionellen Ansatz weitere Gründe für die bisher hauptsächlich betrachtete Anwendung als Dämmschicht vor tragenden Wänden oder als besonders gut dämmende «Einlage» in tafel- oder sandwichartigen Elementen.

Aus Sicht des Verfassers legen die genannten Eigenschaften mit Ausnahme des letzten Punktes eine Beschäftigung mit dem Typ der «hängenden Fassade» aus der Gruppe der nichttragenden Aussenwandkonstruktionen nahe (im Unterschied zur «stehenden Fassade», siehe Abb. 2, links und rechts), wenn ein weiteres Ziel darin besteht, möglichst wenig weitere Elemente hinzuzufügen.

Diese Grundannahme bildet zusammen mit der Entscheidung für eine zweilagige, versetzte Anwendung der Vakuum-Dämmsysteme die Basis für die weiteren Ausführungen.

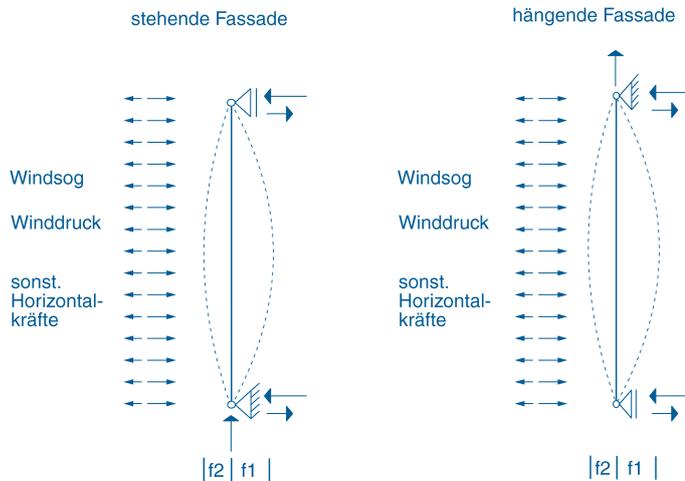
Durch eine um 50% versetzte Anordnung quadratischer Vakuum-Dämmsysteme ergeben sich mögliche, regelmässige, punktförmige Verbindungsstellen, die in mindestens zweierlei Hinsicht genutzt werden können, nämlich einerseits zur Fixierung und Lagesicherung der Vakuum-Dämmsysteme untereinander und andererseits zu deren Befestigung an einer Tragstruktur.

Dabei könnte weiterhin eine Rolle spielen, ob die in einer Lage nebeneinander befindlichen Vakuum-Dämmsysteme untereinander verbunden sind und somit eine kontinuierliche Lage bilden, zum Beispiel durch eine Zusammenlegung der Randverbundzonen, eventuell aber auch durch ein weiteres («drittes») Element.

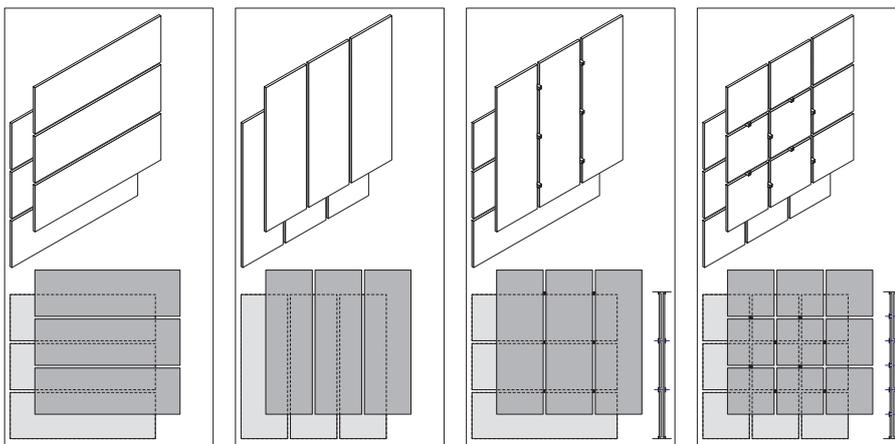
Hierfür gibt es zwar bisher keine Beispiele, dies ist aber als zukünftige Möglichkeit prinzipiell vorstellbar.

Wenn die Vakuum-Dämmsysteme direkt Aussenbedingungen ausgesetzt werden können und die Fugenausbildung zwischen den Paneelen gelöst ist, benötigt man in einem ersten Ansatz nur eine

\* Jan Cremers, Dr.-Ing. Architekt  
Technische Universität München  
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie  
Prof. Thomas Herzog  
D-München



2

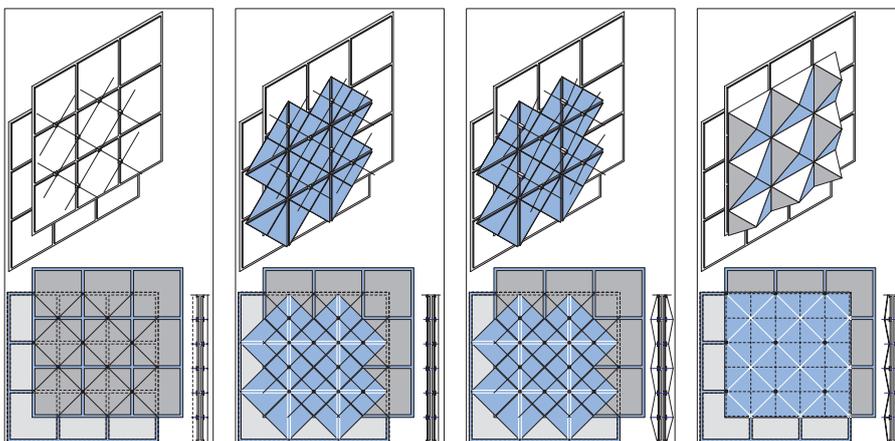


a

b

c

d



e

f

g

h

3

Tragstruktur, die die einzelnen Befestigungspunkte in ihrer Lage fixiert.

Dies könnte neben linearen oder flächigen Tragwerken eine Seilnetz-Konstruktion leisten, die entweder ein- oder beidseitig angeordnet ist. Eine solche Variante ist hier als Fall 1 aufgeführt (Abb. 4).

Ist die Aussenseite des Vakuum-Dämmsystems den anliegenden Aussen- und/oder Innenbedingungen nicht gewachsen, könnte zwischen der Dämmlage und dem Tragwerk ein- oder beidseitig eine weitere dafür geeignete Schutzschicht vorgesehen werden, wie dies beispielhaft im Fall 2 dargestellt ist (3 in Abb. 5).

Dieser Fall zeigt ausserdem, wie durch eine beidseitig angeordnete Seilhinterspannung sowohl die Tragwirkung optimiert als auch auf jeden zweiten Durchstosspunkt verzichtet werden könnte, wenn die Übertragung der Druckkräfte über die Vakuum-Dämmsysteme direkt erfolgte. Im Fall 3 (Abb. 6) wird dieser Gedanke fortgesetzt, wobei die Seilhinterspannung beidseitig durch eine Membrankonstruktion ersetzt wird, wodurch unter Umständen auf die für den Fall 2 eingefügten Schutzschichten verzichtet werden könnte. Die geschilderte Abfolge der Lösungsvarianten und ihrer Prinzipien ist in Abb. 3 visualisiert.

### Weitere Aspekte

Alle Varianten sind skizzenartig für Paneelgrößen von ca. 50 cm x 50 cm dargestellt. Diese Vorschläge können insofern nur abstrakt und ihrem Prinzip nach erläutert werden, als nahezu alle weiteren Randbedingungen nicht konkret bekannt und berücksichtigt sind. Dies sind zum Beispiel

- die Gesamtabmessungen,
- zu erwartende Aussenbedingungen (z. B. Winddruck und -sog),
- bauliche Randbedingungen, v.a. seitliche An- und Abschlüsse etc.

Die vorgestellten Prinzipien sind daher weitgehend schematisch dargestellt.

Realiter werden die möglichen Abmessungen und die konstruktive Ausbildung der einzelnen Bestandteile aber von einer Reihe an Faktoren bestimmt, zu denen insbesondere die Beschaffenheit der Vakuum-Dämmsysteme, ihre Eigenschaften (zulässige Verformungen, Druckfestigkeiten pro Fläche, Widerstandsfähigkeit gegenüber Aussenbedingungen u.v.m.), aber auch die aufzunehmenden Kräfte zählen.

Des Weiteren setzen alle dargestellten Beispiele auf eine mehr oder weniger grosse zulässige Durchbiegung der Systeme, die in den Anschlüssen

sen und in den Vakuum-Dämmsystemen aufgenommen werden muss. Diese Größe steht in direkter Abhängigkeit zum Mass der Vorspannung der Seilnetz- bzw. Membrankonstruktion.

Alle angeführten Vorschläge sind mit opaken, transluzenten oder gar transparenten Vakuum-Dämmsystemen vorstellbar, wobei aus Sicht des Verfassers vor allem die beiden letzteren, also die lichtdurchlässigen, von Interesse sind, da nur sie die optische Wahrnehmung der konstruktiven Struktur ermöglichen können. Solche Vakuum-Dämmsysteme sind allerdings derzeit noch nicht verfügbar, aber Gegenstand laufender Forschungsvorhaben.

Obwohl auf jede lineare Durchdringung verzichtet wurde, stellen die verbleibenden punktuellen Verbindungen signifikante Wärmebrücken dar, die entsprechend sorgfältig zu behandeln sind. Vorteilhaft wäre die Verwendung von relativ schlecht wärmeleitendem Material im Bereich der eigentlichen Verbindung der Dämmlagen. Zum Beispiel könnten hier faserverstärkte Kunststoffe zum Einsatz kommen.

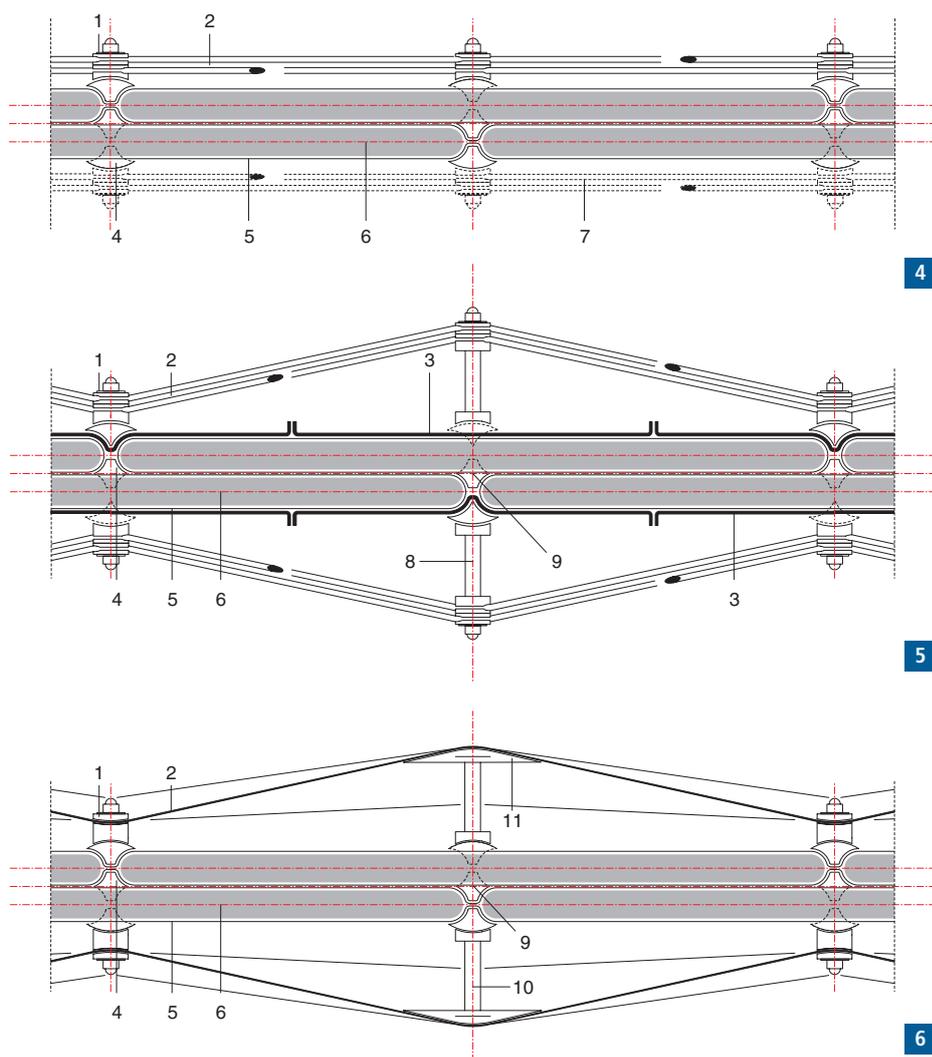
Die hier vorgestellten, aus den speziellen Eigenschaften von (weichen) Vakuum-Dämmsystemen entwickelten Wandsysteme befinden sich hinsichtlich des Verhältnisses Wandstärke zu Wärmedämmleistung in der Nähe des derzeit technischen Optimums. Die resultierenden U-Werte werden nahezu ausschliesslich von den verwendeten Dämmsystemstärken bestimmt.

Sie sind daneben abhängig von den Randschlüssen, die ebenso wie die Art der statischen Integration von den individuellen Bedingungen der jeweiligen Bauaufgabe abhängen.

**Variante 1**

Eine aus versetzten VIP gebildete, zweilagige Schicht ist ein- oder beidseitig an eine Seilnetzkonstruktion angehängt. Je nach Ausführung nehmen die Seile mindestens die Horizontallasten, in der Variante mit beidseitigen Seilnetzen möglicherweise auch die Vertikallasten auf. Abb. 4 zeigt einen schematischen Horizontalschnitt (M 1:5).

In dem hier gezeigten Beispiel bildet die Aussenhülle des Vakuum-Dämmsystems gleichzeitig die äussere und innere Abschluss-Schicht des Wandaufbaus. Sie muss daher in der Lage sein, die sich daraus ergebenden Anforderungen (Witterungsschutz und Bestehen gegenüber mechanischen Anforderungen u.v.m.) zu erfüllen. Konventionelle VIP sind dazu bisher nicht in der Lage. Für die Zukunft wären allerdings durchaus Modifikationen der bisher eingesetzten Verbundmaterialien vorstellbar, die einen solchen Einsatz ermöglichen.



- ① Knoten
- ② Verspannungsebene / Membran
- ③ Wandhaut / Formteil
- ④ Dämmendes Formteil
- ⑤ VIP-Hülle
- ⑥ VIP-Kernmaterial
- ⑦ Alternative Verspannungsebene
- ⑧ Druckstange
- ⑨ Ggf. obsoleter Durchdringung
- ⑩ Druckbelasteter Knoten
- ⑪ Ausgerundete Hochpunktunterstützung

Prinzipbedingt ergeben sich bei diesem Tragwerkstyp in Abhängigkeit der Gesamtabmessungen sehr hohe Vorspannkräfte in den Seilen.<sup>1</sup>

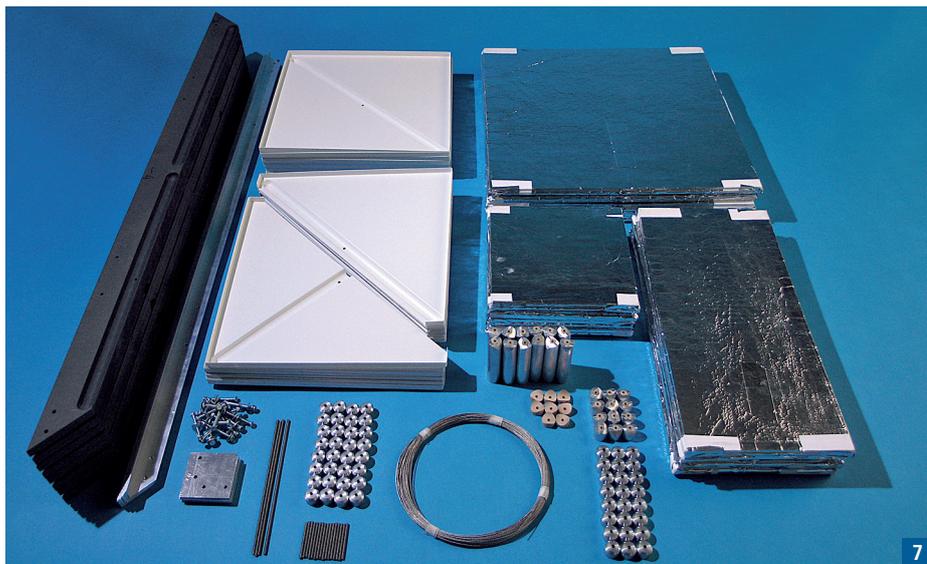
**Variante 2**

Diese Variante unterscheidet sich von Beispiel 1 durch eine beidseitig eingefügte Schicht aus Formteilen, die den geometrischen Vorgaben der Dämmplattenanordnung folgen. Diese sind quadratisch, aber im Verhältnis zu den Vakuum-Dämmsystemen um 45° gedreht und durch eine Sicke im Bereich der dahinterliegenden Übergangsstelle der Dämmplatten in eine Richtung stabilisiert. Dabei sind nebeneinander liegende Elemente immer um 90° gedreht angeordnet. Die Aussenränder und damit auch Elementstösse befinden sich durchlaufend in einer 45°-Nei-

gung, was eine den Wasserablauf und damit die Dichtigkeit begünstigende Situation darstellt. Die Formteile wären beispielsweise durch einen Tiefziehvorgang aus Blech herstellbar, wobei auch Kunststoff wie Polyester zum Einsatz kommen könnte.

Durch eine Unter- bzw. Überspannung werden die erforderlichen Vorspannkräfte in den Seilen erheblich reduziert und die Knoten eindeutig hinsichtlich Zug- und Druckbelastung differenziert. Abb. 5 zeigt einen schematischen Horizontalschnitt (M 1:5), Abb. 1 eine dreidimensionale Detail-Ansicht dieser Variante.

Eine Besonderheit dieses Aufbaus ergibt sich aus der hohen Druckfestigkeit der VIP, die es – vor allem in Zusammenhang mit der druckverteilenden Wirkung der äusseren Formelemente (3) – unter Umständen erlaubt, im Bereich des druckbelaste-



ten Knotens auf eine Durchdringung der Dämmebene zu verzichten, wodurch die punktförmigen Wärmebrücken auf die Hälfte reduziert werden können.

Da sich keine erhöhten Dampfdichtigkeits-Anforderungen an die äusseren Formelemente ergeben, könnten diese aus konventionellen, transparenten oder transluzenten Kunststoffen hergestellt werden, zum Beispiel aus Polycarbonat (PC) oder Polymethylmethacrylat (PMMA).

Aufgrund von der äusserst geringen Wärmeleitfähigkeit des Vakuum-Dämmsystems kommt es zu einer besonders starken Erwärmung der Aussenschicht durch Solarstrahlung. Hierdurch darf es nicht zu einem Versagen bzw. zu einer Zerstörung des Materials der Aussenschicht und der Hülle des Vakuum-Dämmsystems kommen. Eine helle Farbgebung und ein hohes Reflexionsvermögen der Oberfläche der Aussenschicht wird daher von Vorteil sein. Unter Umständen muss zusätzlich eine thermische Trennlage (z.B. ein Glasfaservlies) eingelegt werden.

Ausserdem müssen die Auswirkungen der Wärmeausdehnung für die Ausbildung der Fügungen (v.a. der Aussenformteile) berücksichtigt werden. Dabei gilt es, eine hierdurch bedingte asymmetrische Verformung («Bauchung») der Gesamtkonstruktion zu verhindern. Die aussen und innen angeordneten Teile der Seilnetzkonstruktion unterliegen sehr unterschiedlichen Temperaturschwankungen. Der Unterschied zwischen beiden Seiten führt zu ungleichmässigen thermischen Längenänderungen in den Seilen und damit zu uneinheitlichen Vorspannkräften. Der Kräfte-«Kurzschluss» im Bereich der zugbelasteten Durchdringungen führt jedoch dazu, dass sich diese nur in den dazwischen liegenden Feldern durch sehr geringe Verformungen bemerkbar machen.

Die mit der vorgeschlagenen Konstruktion um-

setzbaren Aussenmasse werden durch die erforderlichen Vorspannkräfte begrenzt, die von einem Primär-Tragwerk aufgenommen werden müssen.

Das gleichmässige Einbringen der Vorspannkräfte in die Seilnetzkonstruktion kann in Abhängigkeit vom geplanten Stich und den Aussenmassen auf verschiedene Weise erfolgen. Zielführend scheint dem Verfasser hierzu, den Stich der Seilnetzkonstruktion in einem letzten Schritt durch eine geeignete Ausbildung der Konstruktion im Bereich der Durchdringungen zu erhöhen, zum Beispiel durch Verlängerung der Druckstäbe (und/oder durch Verkürzung der Zugstäbe).

### Variante 3

Die Stabilisierung dieser Variante (Horizontalschnitt M 1:5 in Abb. 6) erfolgt nicht durch eine Seilnetzkonstruktion, sondern durch eine beidseitig angebrachte «aufgebuckelte Membran».<sup>2</sup> Hauptziel während der Umsetzung des hier gezeigten Vorschlags müsste der Einsatz einer nicht zugeschnittenen Membran sein. Der anzusetzende Stich ergäbe sich dann aus den Materialeigenschaften.

Dies setzt ein weiches, aber sehr festes Membranmaterial voraus – nach derzeitigem Stand der Technik zum Beispiel ein PTFE-beschichtetes PTFE-Gewebe.

Wesentlicher baugeschichtlicher Bezugspunkt für diese Variante sind die frühen, sogenannten Buckelzelte und «Flächen mit Hoch- und Tiefpunkten» von Frei Otto.<sup>3</sup>

Folgendes ist für die konstruktive Ausbildung der Hoch- und Tiefpunkte zu beachten:

- Die Unterstützung der Hochpunkte muss ausreichend grossflächig «ausgerundet» sein.
- Der zugbelastete Tiefpunkt erfordert im Be-

reich des Klemmtellers und der Membrandurchdringung in der Regel eine Materialverstärkung, vor allem um auch die zusätzlichen Zugkräfte aus auf die Fassade wirkenden Windlasten aufnehmen zu können.

Sind die linearen Verbindungsstellen der VIP perforiert und die jeweils zwischen Membran und VIP befindlichen, luftgefüllten Bereiche mit dem Aussen- bzw. Innenraum verbunden, so dass ein Luftaustausch stattfinden kann, ist eine anhaltende Kondensatbildung auf der Membran weitgehend ausgeschlossen.

Aus Sicht des Verfassers wäre eine transluzente oder transparente Ausführung insbesondere dieser Variante sehr interessant, da die geometrisch und stofflich unterschiedlichen Schichten dieses Aufbaus einen komplexen gestalterischen Ausdruck erwarten lassen.

### Variante 2 – Modellumsetzung

Die beschriebene Variante 2 wurde im Hinblick auf später geplante U-Wert-Messungen in einem Ausschnitt von ca. 1 m x 1 m im Technischen Zentrum (TZ) der TU-München als Modell umgesetzt. Dabei wurden Dämmpaneele (VIP) von ca. 50 cm x 50 cm in einer Stärke von 15 mm zugrunde gelegt, die die Firma Porextherm (Kempten) freundlicherweise zur Verfügung stellte.

Abb. 7 zeigt alle zum Bau des Modells hergestellten Teile. Aus den Abb. 8 und 9, die den Modellaufbau zeigen, werden die grundlegenden geometrischen Überlegungen deutlich, die sich aus den um 50% versetzten VIP-Lagen ergeben.

Der Sickenverlauf der Aussenformteile zeichnet das Fugenbild der dahinter liegenden VIP deutlich nach (Abb. 11 und 12). Abb. 10 zeigt das fertige Modell in der Schrägansicht.

### Resumée und Ausblick

Die vorgestellten Wandsysteme lassen hervorragende U-Werte erwarten, beispielsweise

- ca. 0,20–0,25 W/(m<sup>2</sup>K) für einen Aufbau mit zweimal 15 mm VIP,
- ca. 0,10–0,12 W/(m<sup>2</sup>K) für einen Aufbau mit zweimal 30 mm VIP.

Gleichzeitig handelt es sich um sehr schlanke Konstruktionen, deren Charakter eher haut- als wandartig anmutet.

Sollte der zweilagige VIP-Einsatz einer ökonomisch erfolgreichen Umsetzung im Wege stehen, ist es auch denkbar, eine Lage durch konventionelle Dämmstoffe (z.B. Dämmschaumplatten) zu ersetzen, da eine wesentliche Funktion der zwei-

ten Lage die Vermeidung bzw. Reduzierung von linearen Wärmebrücken darstellt.

Im Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten der dargestellten Varianten sind folgende weitere Merkmale von Bedeutung:

- Innerhalb der Wandsysteme ist eine Integration von Öffnungen durch den 50%igen Versatz nicht möglich, ohne den Rapport zu stören.
- Die Ausbildung der Randanschlüsse ist aufwändig.
- Die erforderlichen Vorspannkräfte bedingen eine entsprechende primäre Tragstruktur.
- Ein horizontaler Einsatz der Systeme als Dachfläche ist nicht ohne Modifikationen möglich (besonders wegen Wasserablauf und möglicher Schneelasten).

Daraus ergibt sich eine besondere Eignung der Wandsysteme für

- einen Einsatz grosser, ungestörter Flächen,
- Gebäude mit Anforderungen an hohe Innentemperaturen,
- Gebäude, die aus anderen Gründen über eine geeignete, primäre Tragstruktur verfügen,
- Gebäude mit ausreichender innerer Wärmespeichermasse.

Solche Bedingungen können beispielsweise bei Industriehallen mit besonderen Anforderungen an die Fertigungsumgebung, grossen Schwimmhallen, Atelierräumen oder Museen gegeben sein.

*Der Autor ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog. Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen eines abgeschlossenen Promotionsvorhabens.*

### Anmerkungen

1. Beispielsweise betragen die Vorspannkräfte im Falle der Seilnetzkonstruktion des Kempinski-Hotels am Flughafen München (1994, Architektur: Murphy/Jahn, Chicago) hohe 85 kN (horizontal) [DBZ 10/95, S. 8792].

2. Dieser Begriff stammt von Frei Otto, vergl.: Roland, Conrad: Frei Otto – Spannweiten. Ideen und Versuche zum Leichtbau (1965), S. 66. Diese Art der Flächenstabilisierung fand v.a. bei den frühen Buckelzelten Anwendung, zum Beispiel für die Interbau Berlin 1957.

3. vergl.: Roland, Conrad: Frei Otto – Spannweiten. Ideen und Versuche zum Leichtbau (1965), S. 62–63, 72.

