

Zur Dauerhaftigkeit ausgewählter Vakuumdämmsysteme

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Arbeitsgruppe Baukonstruktionen und Bauphysik, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum, <http://www.ruhr-uni-bochum.de/bauko>

1 Einleitung

Die globalen Anstrengungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen sowie zur degressiven Nutzung der Primärenergieträger führen zu einer kontinuierlichen Steigerung der Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz von Gebäuden. Eingedenk des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen Dämmschichtdicke und korrespondierendem Wärmedämmvermögen sind auf höherem Dämmniveau – z.B. bei Passivhäusern - Dämmschichtdicken bis 400 mm keine Seltenheit; in einigen Ländern mit sehr niedrigen winterlichen Temperaturen, wie z.B. in Finnland, werden auch schon Dämmschichtdicken von 500 mm gefordert. Vor diesem Hintergrund ist die hocheffiziente Vakuumdämmung unstrittig als Dämmung der Zukunft zu sehen.

Wie bei jeder baulichen Innovation wird jedoch auch der Vakuumdämmung seitens der Architekten, Ingenieure und Bauherren ein gewisses Maß an Skepsis entgegen gebracht. Der Kern dieser Fragen betrifft dabei weniger die Baukonstruktion als solche, sondern zeigt vielmehr Unsicherheit bezüglich der zu erwartenden Lebensdauer und der Sensibilität gegenüber äußeren mechanisch/physikalischen Beanspruchungen. Im nachfolgenden Beitrag sollen daher für Vakuumdämmelemente mit einer Edelstahlhülle – im folgenden als VIS bezeichnete Elemente – diese Fragen beantwortet werden.

2 Systemdifferenzierungen

2.1 Systemüberblick

Zur Zeit existieren zwei unterschiedliche Typen von Vakuumdämmelementen:

- Dämmelemente mit einer Hülle aus Folie. Dieser Typ wird im Allgemeinen als VIP bezeichnet, wobei dieses Akronym für **V**acuum **I**solation **P**anel (oder auch Vakuum Isolations Paneele) steht.

- Dämmelemente mit einer Hülle aus Edelstahl. Dieser Typ wird im Allgemeinen als VIS bezeichnet, wobei dieses Akronym für **Vacuum Insulating Sandwich** steht.

Bild 2.1-1 zeigt nachfolgend eine Differenzierung dieser zwei Systeme hinsichtlich der an sie gestellten bauphysikalischen und statischen Anforderungen sowie die Zuordnung der unterschiedlichen Systeme zu den entsprechenden Referaten des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt)¹⁾.

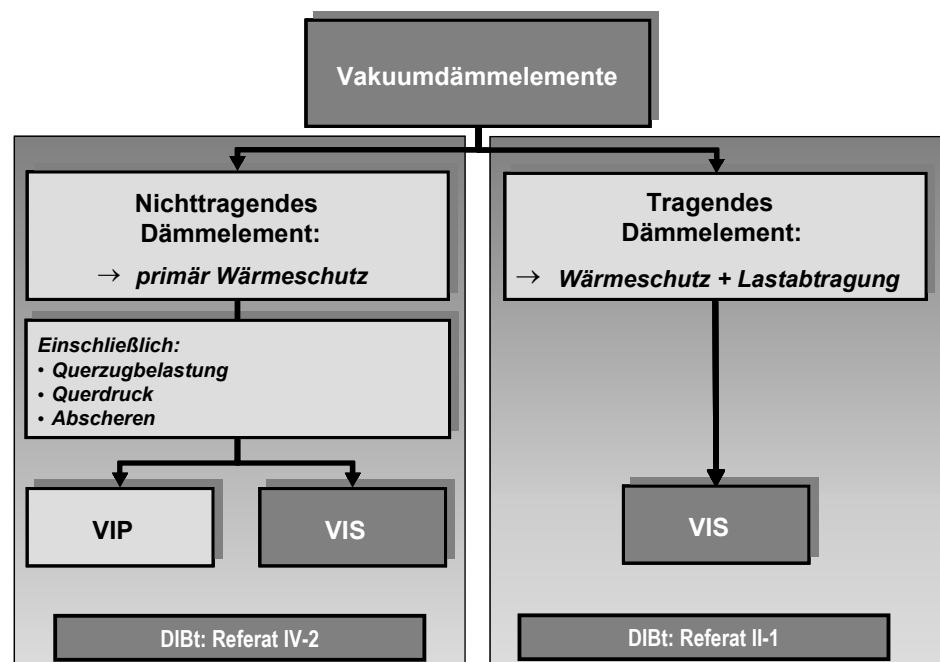


Bild 2.1-1 Differenzierung von Vakuum-Dämmelementen hinsichtlich bauphysikalischer und statischer Anforderungen und Zuordnung der unterschiedlichen Systeme zu den entsprechenden Referaten des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt)

2.2 Systembeschreibungen

2.2.1 Herstellung

Der prinzipielle Aufbau von VIS ist in Bild 2.2.1-1 skizziert: Eine gasdicht verschweißte Edelstahlhülle, bestehend aus flächigen Deckblechen und umlaufender Membran um-

¹⁾ Für Elemente vom VIS-Typ sind zur Zeit folgende Bauaufsichtliche Zulassungen in der Bearbeitung:
a) Referat IV-2 : Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für die Wärmedämmplatte "tempSAFE[®]-elements", Zulassungsverfahren IV 21-1.23.11-527 und
b) Referat II-1: Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für "tempSAFE[®]-elements", Zulassungsverfahren II 11-1.10.4-296/1

hüllt paßgenau einen Stützkern, der wahlweise aus extrudiertem Polystyrol¹⁾ (XPS) oder aus hochdispenser Kieselsäure (HDK) besteht. Die Verwendung von Glasfaser-material ist von deutlich untergeordneter Bedeutung.

Die Evakuierung der VIS erfolgt dann mittels einer Vakuumpumpe, die an den in einer der beiden Deckschalen befindlichen Evakuierungsflansch (EVF) angeschlossen wird (in großflächigen Elementen werden in der Regel mehrere EVF eingebaut). Da bei diesem Verfahren die Elementgröße der VIS primär nur durch Evakuierungsdauer so-wie Transportabilität auf öffentlichen Straßen begrenzt wird, lassen sich sehr große Elemente bis zu einer Abmessung (Länge x Breite) von 3.000 x 8.000 Millimeter her-stellen.

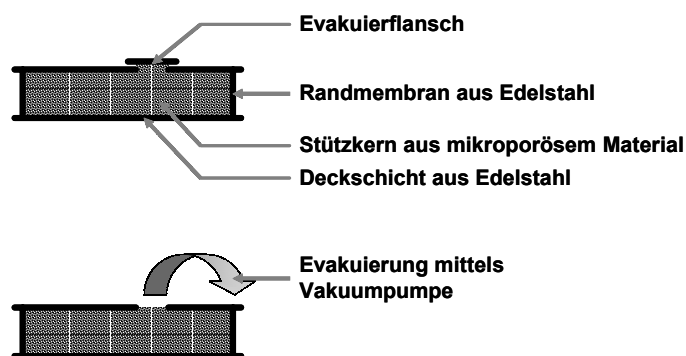
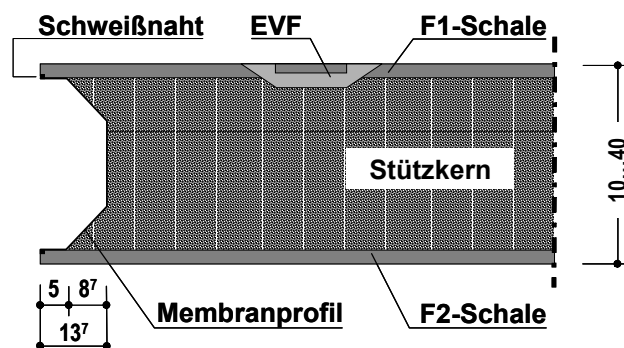


Bild 2.2.1-1 Prinzipskizzen zu Aufbau und Evakuierung eines VIS

2.2.2 Aufbau und Materialien

In Bild 2.2.2-1 ist die Skizze des Schnittes durch Randbereich und Evakuierstützen eines VIS (tempsafe[®]-element, Hersteller: ThyssenKrupp tempsafe GmbH) dargestellt, wobei alle Abmessungen in Millimetern angegeben sind.



¹⁾ Bei dem für die Vakuumtechnologie optimierten XPS handelt es sich um einen Baustoff der Baustoffklasse B3 (leicht-entflammbar) nach DIN 4102-1 [5], der mithin nach den LBO der Länder nicht eingesetzt werden dürfte. Untersuchungen an der MPA Dortmund [9] in Verbindung mit dem SVA Brand des DIBt haben für diesen Baustoff jedoch in Verbindung mit der speziellen Einbausituation in einem VIS die Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) festgelegt.

Bild 2.2.2-1 Skizze des Schnittes durch Randbereich und Evakuierstützen eines VIS (tempsafe®-element, Hersteller: ThyssenKrupp tempsafe GmbH), alle Abmessungen sind angegeben in Millimetern

Darin ist:

- F1-Schale Oberes Edelstahldeckblech
- F2-Schale Unteres Edelstahldeckblech
- EVF Evakuierflansch

Deckschalen/Deckbleche, Membranprofil und der Evakuierflansch bestehen aus schweißbarem Edelstahl (in der Regel aus 1.4301; werden jedoch ganz spezielle Anforderungen erhoben, z.B. hinsichtlich eines minimierten Ausdehnungskoeffizienten, werden auch andere Edelstähle eingesetzt) der infolge seines gleichmäßig dichten Aufbaus einen hervorragenden Permeationswiderstand aufweist (bezüglich der unterschiedlichen Werte sei hier auf [18] verwiesen). Die jeweilige Dicke t_N der einzelnen Deckschichten wird für jeden Anwendungsfall individuell bemessen, die üblichen Dicken liegen im Bereich von $t_N = 0,60$ mm bis $t_N = 4,00$ mm. Bild 2.2.2-2 zeigt in Anlehnung an die Ausführungen in [8] die Wasserdampf- und Sauerstoffpermeationsraten von Stahl und anderer in der Vakuumtechnik gebräuchlicher Hüllmaterialien.

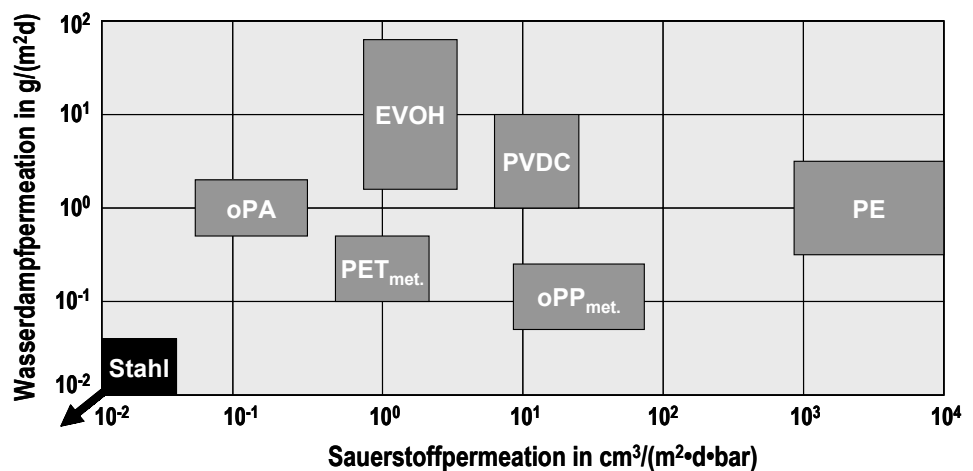


Bild 2.2.2-3 Beispiele für die Permeationsraten unterschiedlicher Hüllmaterialien in Anlehnung an [8]

Aus architektonischen Gründen lassen sich auf die Edelstahldeckbleche ggf. auch andere Materialien, wie z.B. Holz, Stein, Aluminium, Gipskarton, Wärmedämmverbundsystem mit Putzoberflächen applizieren.

2.2.3 Lastabtragung

Beschreibt man ein VIS unter statischen Gesichtspunkten, so ist es als ein System aus zwei Zuggliedern (F1- und F2-Schale) ohne Eigenbiegesteifigkeit (Dehnsteifigkeit EA, Biegesteifigkeit EI ⇒ 0) und einem schubweichen Kern (Stützkernmaterial mit der

Schubsteifigkeit $GA < \infty$), die im evakuierten Zustand durch den atmosphärischen Druck physikalisch miteinander schubfest verbunden sind. Durch die Evakuierung verändert sich das Tragverhalten der drei Einzelschichten gegenüber dem Ausgangszustand nun dahingehend, daß sie als ein System mit einer beachtlichen Eigenbiegesteifigkeit wirken, vgl. Bild 2.2.3-1.

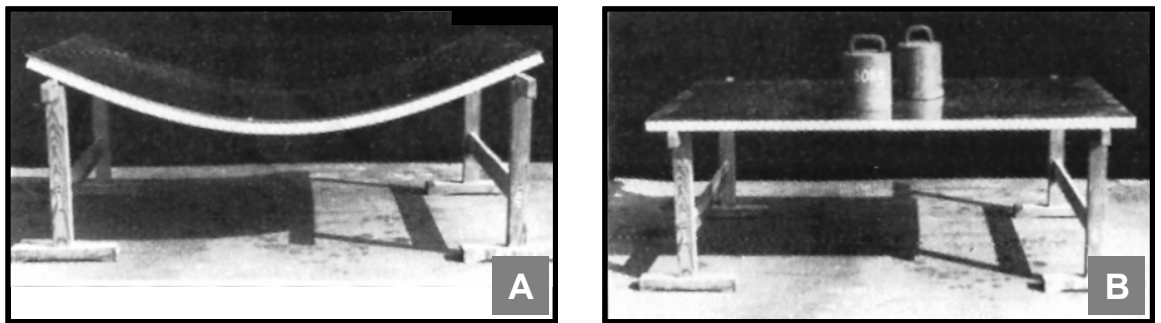


Bild 2.2.3-1 Prinzipdarstellung des Tragverhaltens von VIS bei Biegebeanspruchung im belüfteten (A) und evakuierten (B) Zustand. Abbildungen entnommen aus [7]

Elemente mit dem oben beschriebenen Aufbau werden im allgemeinen als Sandwich- oder Verbundelemente bezeichnet¹⁾. Hinsichtlich weiterführender Information in beliebiger wissenschaftlicher Tiefe sei hier z.B. auf [7] und [14] verwiesen.

3 Lebensdauer

3.1 Randbedingungen

Für die rechnerisch-experimentelle Ermittlung der Lebensdauer wird der planmäßige Einbauzustand vorausgesetzt, d.h daß die Vakuumdämmelemente entsprechend den vom Hersteller vorgegebenen Richtlinien gelagert und transportiert (vgl. hierzu z.B. [10]) sowie entsprechend den Architekten- bzw. Ingenieurvorgaben eingebaut werden. Bezüglich planmäßiger und unplanmäßiger Belastungen wird auf Abschnitt 4 dieses Beitrages verwiesen.

3.2 Quantifizierung der Dichtheit

Das Maß der Dichtheit von VIS-Elementen wird mittels einer Heliumdichtigkeitsprüfung ermittelt. Die Durchführung dieser im Nachfolgenden prinziphaft beschriebenen Prüfung erfolgt nach DIN EN 1779 [4], für vertiefende Informationen seien hier die Deut-

¹⁾ Die bekanntesten Sandwichelemente bestehen aus mehr oder minder ausgeprägt profilierten Deckschalen aus oberflächenveredeltem Feinblech (Coilcoating-Material) und einem Dämmkern aus Polyurethan (PUR). Der Verbund dieser im Endlofertigungsprozeß erstellten Elemente entsteht beim Schäumprozeß, bei dem sich PUR und Deckschalen durch chemischen Verbund schubfest miteinander verbinden.

sche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung DGZfP – FA Dichtheitsprüfung [3] und die Ausführungen von Franke in [6] genannt.

Grundsätzlich stehen nach DIN EN 1779 [4] Anhang A Tab. A1 unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Dichtheit zur Verfügung; für den vorliegenden Fall bedient man sich des „Integralen Vakuumverfahrens (A1)“ mit Helium als Prüfgas. Bild 3.2-1 zeigt skizzenhaft den für ein VIS entsprechenden Versuchsaufbau.

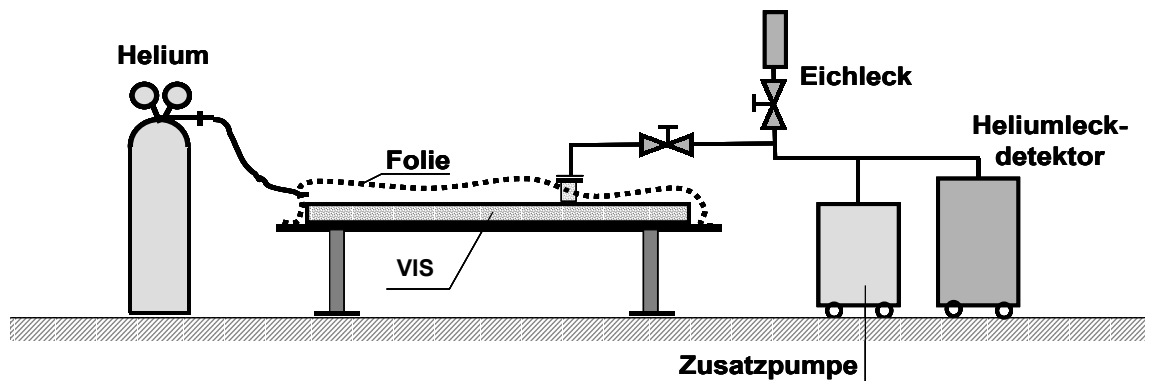


Bild 3.2-1 *Prinzipskizze des Versuchsaufbaus zur quantitativen Bestimmung der Dichtheit von VIS mittels des „Integralen Vakuumverfahrens“ mit Helium als Prüfgas nach DIN EN 1779 [4]*

Da Edelstahl als solches unter den zu erwartenden Belastungen als alterungsbeständig vorausgesetzt werden kann und seine Permeationsraten gegen Null verlaufen (vgl. Abschnitt 2.2.2), bezieht sich die Angabe der Dichtheit (Einheit $\text{mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$) somit auf die Schweißnähte.

Das Prinzip des Integralen Vakuumverfahrens läßt sich wie folgt beschreiben: Das gesamte VIS wird evakuiert und an den Detektor angeschlossen. Anschließend wird das Objekt in einen Raum gestellt, der mit dem Prüfgas (hier: Helium) gefüllt ist. Die Ermittlung der Leckraten erfolgt dann mit einem massenspektrometrischen Leckdetektor oder einem Massenspektrometer zur Restgasanalyse. Der Einsatz dieser Meßgeräte im Gegenstromprinzip ermöglicht es dann, bei einem Einlaßdruck in der Größenordnung von $p = 10^{-2}$ mbar empfindliche Dichtheitsmessungen durchzuführen. Die Anzeige des Helium-Untergrundes ist im allgemeinen kleiner als die nachzuweisende Leckagerate und im liegt im Bereich von 10^{-8} $\text{mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$.

Die Dichtheit der Verschußplatte¹⁾ im Evakuierungsflansch (EVF) wird durch einen vakuumtauglichen Viton-Dichtring erreicht. Zum Nachweis der Dichtheit dieses Elementes, das im Rahmen des Integralen Vakuumverfahrens versuchsbedingt nicht berücksichtigt werden kann, wird der gesamte EVF mit Verschußplatte vor dem Einbau in die Elementhülle in einer separaten Heliumlecktsteinrichtung geprüft. Bei dem i.d.R. zusätzlich über dem EVF liegenden Aufschweißdeckel handelt es sich um eine ergänzende Sicherheitsmaßnahme gegenüber unplanmäßigen mechani-

¹⁾ Am fertigen Element ist in der Regel jedoch nicht die Verschußplatte des EVF zu sehen sondern ein darüber liegender zusätzlicher Aufschweißdeckel

schen Beanspruchungen ohne Anforderungen an die Gasdichtheit. Ergänzend zu den zwei Heliumlecktests läßt sich jedoch auch diese Schweißnaht auf probabilistischer Basis durch Heliumlecktests in Verbindung mit anschließender Begutachtung der Schlitze hinsichtlich der Leckagerate nachweisen.

Mit einem Helium-Lecksuchgerät ist dann in dem beschriebenen Dichtheitstest nachzuweisen, daß die Gesamtleckagerate der Schweißungen gegen den Vakuumraum einen individuell definierbaren produktionstechnischen Zielwert (z.B. wird nach [11] dieser Grenzwert mit $pV = 1 \cdot 10^{-7}$ (mbar \cdot dm³) / s definiert) erreicht.

Für Prüfdruck und Prüfrichtung werden normale Testbedingungen angenommen, d.h. innen Vakuum und außen Atmosphärendruck.

3.3 Qualitätskontrolle beim Hersteller

Beim Hersteller wird im Rahmen der Qualitätssicherung für alle hergestellten Elemente die individuelle Dichtigkeit bestimmt: für die Verschlusskappen separat vor dem Einbau der EVF, für die Elementhülle nach der Evakuierung des Elementes. Auf der Basis dieser 100%-Kontrolle kann damit für jedes Element die jeweils individuelle Lebensdauer angegeben werden, vgl. dazu nachfolgenden Abschnitt 3.4.

3.4 Rechnerische Ermittlung der Lebensdauer

Als Lebensdauer wird der Zeitraum des Anstieges des Innendruckes um den Betrag zul. Δp definiert, wobei die Größenordnung dieses zul. Δp unmittelbar abhängig vom Stützkernmaterial ist. Die Lebensdauer von Vakuum-Dämmelementen hängt damit von der Dichtigkeit (ausgedrückt durch die Permeationsrate) der Elementhülle ab. Als Lebensdauer wird hier nicht – wie im Bauwesen im Allgemeinen üblich – der Zeitraum bis zum Funktionsverlust bzw. bis zum erforderlichen Austausch des Bauteils angesehen, sondern derjenige Zeitraum, in dem die Wärmeleitfähigkeit λ des VIS auf einen beliebig zu definierenden Wert λ_{grenz} ansteigt. Diesem Wert λ_{grenz} entspricht dann in Abhängigkeit des jeweiligen Stützkernmaterials ein zulässiger Druckanstieg zul. Δp .

Die rechnerische Lebensdauer t_{grenz} ergibt sich zu

$$t_{\text{grenz}} = (\text{zul. } \Delta p \cdot V) / (pV \cdot 31,536 \cdot 10^6) \quad \text{Gl. 3.4-1}$$

mit	t_{grenz}	Lebensdauer in Jahren
	zul. Δp	zulässiger Druckanstieg in mbar
	V	Volumen in dm ³
	pV	Leckagerate in (mbar \cdot dm ³) / s

Nachfolgendes Beispiel soll eine Vorstellung von der rechnerisch sich ergebenden Lebensdauer t_{grenz} eines VIS geben:

- Geschoßhohes Fassadenelement mit den Abmessungen 2750 x 2000 x 40 mm; es ergibt sich damit das Volumen zu $V = 220 \text{ dm}^3$
- Als maximal zulässige Wärmeleitzahl wird $\lambda_{\text{grenz}} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$ angenommen;
- Damit ergibt sich eine Veränderung des U-Wertes von $U_{\text{Initial}} = 0,127 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ auf $U_{\text{grenz}} = 0,170 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Der Stützkern besteht einmal aus expandiertem Polystyrol (XPS), einmal aus hochdispenser Kieselsäure (HDK)
- Mit den Graphen für XPS und HDK aus Bild 3.4-1 ergeben sich dann die zulässigen Druckerhöhungen Δp zu:
 - zul. $\Delta p_{\text{XPS}} = 1,5 \text{ mbar}$ für XPS und
 - zul. $\Delta p_{\text{HDK}} = 100 \text{ mbar}$ für HDK

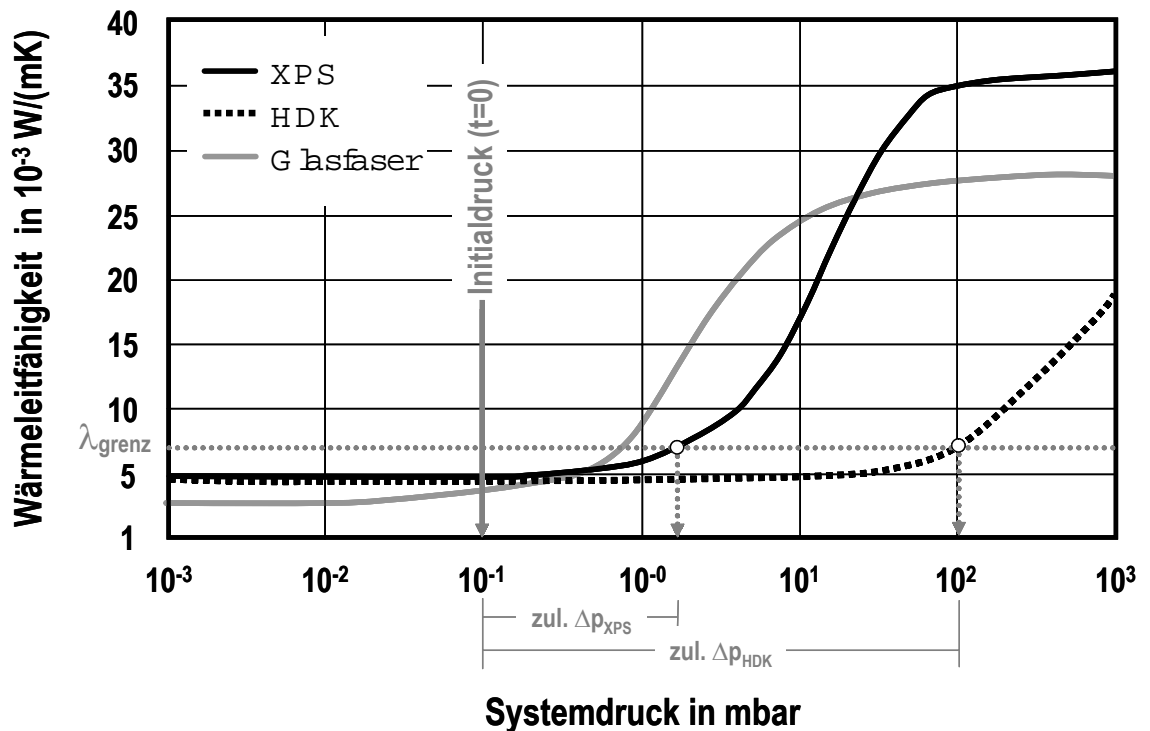


Bild 3.4-1 Darstellung der Wärmeleitfähigkeiten von XPS, HDK und Glasfaser als Funktionen des Systemdruckes mit Angabe der zulässigen Druckerhöhung $zul. \Delta p$ bei Vorgabe eines Grenzwertes der Wärmeleitfähigkeit λ_{grenz} und einem vorgegebenen Initialdruck

- Die Gesamtleckagerate der Schweißungen gegen den Vakuumraum soll den produktionstechnischen Zielwert von $pV = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$ erreicht, im Beispiel wird jedoch – um das deutliche Sicherheitspotential dieser Elemente aufzuzeigen - von einem um den Faktor 2,5 verschlechter-

ten Wert (!) ausgegangen. Damit ergibt sich hier eine Leckagerate von $pV = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$

Aus Bild 3.4-2 ergibt sich dann für das beschriebene Element mit einem Stützkern aus XPS eine Lebensdauer von $t_{\text{grenz}} = 42 \text{ Jahre}$.

Mit dem produktionstechnischen Zielwert von $pV = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$ ergibt sich sogar eine Lebensdauer von $t_{\text{grenz}} = 105 \text{ Jahre}$.

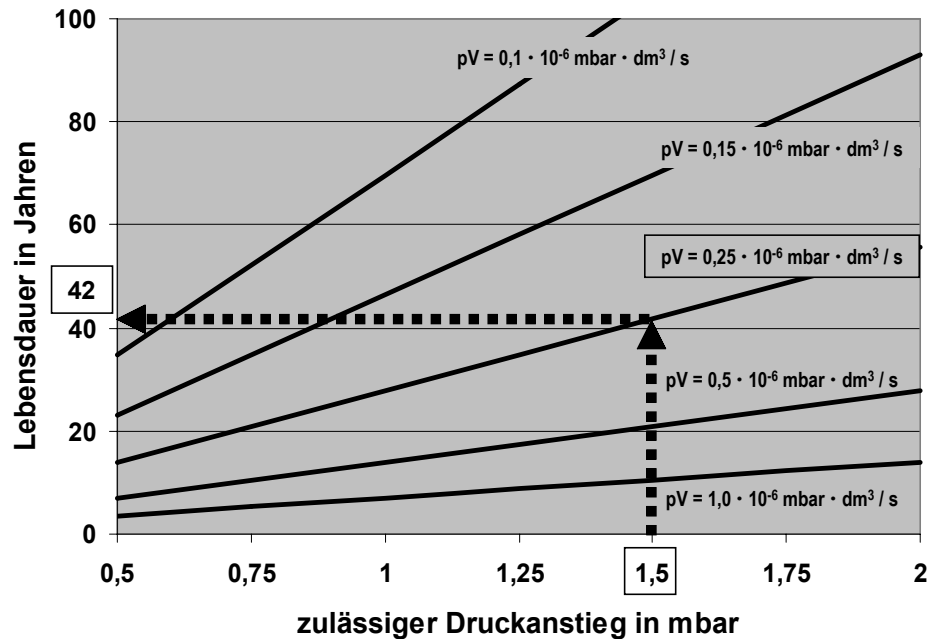


Bild 3.4-2 Ermittlung der rechnerischen Lebensdauer eines VIS-Elementes mit einem Stützkern aus mikroporösem XPS für folgende Randbedingungen:

- Übliches Fassadenelement mit den Abmessungen (Länge x Breite x Dicke) von 2750 x 2000 x 40 mm \Rightarrow Volumen 220 dm³
 - Zulässiger Druckanstieg zul. $\Delta p = 1,5 \text{ mbar}$ bei $\lambda_{\text{grenz}} = 7 \text{ mW}/(\text{mK})$ und einem Initialdruck von 0,1 mbar entsprechend Bild 3.4-1
 - In der Dichtheitsprüfung nach [4] ermittelte Leckagerate $pV = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$
- s
- Berechnet man nun die Lebensdauer für das gleiche VIS mit einem Stützkern aus hochdisperser Kieselsäure (HDK) auf der Basis einer Leckagerate von $pV = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{dm}^3/\text{s}$ und dem zulässigen Druckanstieg zul. $\Delta p_{\text{HDK}} = 100 \text{ mbar}$ aus Bild 3.4-1, so ergibt sich eine rechnerische Lebensdauer von knapp 2.800 Jahren. Die Größenordnung dieses Wert liegt für die baulichen Randbedingungen ganz offensichtlich um Zehnerpotenzen über dem Ziel, ermöglicht auf der anderen Seite dadurch aber eine deutliche Reduzierung des Aufwandes beim „Integralen Vakuumverfahren mit Helium als Prüfgas nach DIN EN 1779 [4]“: Die zulässigen Leckagera-

ten können erniedrigt und damit der im Rahmen der Qualitätssicherung anfallende Zeitaufwand (= Kosten) reduziert werden.

Tabelle 3.4-1 zeigt die sich bei einer Reduzierung der Lebensdauer auf eine für das Bauwesen realistischen Größenordnung (50 bis 100 Jahre) ergebenden zulässigen Leckageraten pV.

Zeile	Lebensdauer t_{grenz} in Jahren	Zulässige Leckagerate pV in mbar · dm ³ / s
1	50	$1,4 \cdot 10^{-5}$
2	75	$0,9 \cdot 10^{-5}$
3	100	$0,7 \cdot 10^{-5}$

Tab. 3.4-1 Zusammenstellung der sich bei einer Reduzierung der Lebensdauer auf eine für das Bauwesen realistischen Größenordnung (50 bis 100 Jahre) ergebenden zulässigen Leckageraten pV

4 Mechanische Resistenz

4.1 Planmäßige Belastungen

In der allgemeinen Fachliteratur, in der über die Anwendung von Vakuumdämmelementen im Bauwesen berichtet wird, wird sehr häufig auf die Fragilität und das Schutzbedürfnis von VIP hingewiesen, vgl. z.B. [1], [2], [13]. Diese ungünstigen Einschränkungen gelten nicht für VIS, da diese a priori für die Aufnahme externer Belastungen ausgelegt werden:

- Für die Lastfälle Transport, Lagerung und allgemeine Handhabung werden die Anforderungen in [10] ausführlich zusammengestellt. Zusammenfassend kann konstatiert werden, daß diese Anforderungen diejenigen an ein gewöhnliches Bauelement wie eine Glasscheibe nicht über- sondern im Gegenteil eher unterschreiten.
- Die Elemente werden hinsichtlich der planmäßig einzuleitenden äußeren Lasten (Aktion durch Einzellasten, Linienlasten, Flächenlasten) bemessen. Auf der Reaktionsseite stehen Deckblechdicke, Elementdicke, Stützweite, Lagerungsbedingung. Die Membran ist einer planmäßigen äußeren Belastung nicht ausgesetzt, sie wird in aller Regel durch die Baukonstruktion geschützt.
 - Gegenüber hygrothermischen Belastungen ist das VIS als solches durch seine Edelstahlhülle dauerhaft unempfindlich. Die in diesem Zusammenhang

anstehenden Fragen zur Aufnahme der thermischen Verformung, Schlagregendichtigkeit etc. sind dagegen - wie bei „VIS-losen“ Konstruktionen sonst auch üblich - durch Entwurf, Bemessung und Ausführung einer geeigneten Baukonstruktion zu beantworten.

Zahlreiche Beispiele zur konstruktiven Einbindung von VIS in die unterschiedlichen Formen einer Gebäudehülle sind beispielsweise [16] oder [17] zu entnehmen.

4.2 Unplanmäßige Belastungen

Zunächst sollte bei der Untersuchung unplanmäßiger Belastungen differenziert werden zwischen unbeabsichtigtem Fehlverhalten auf der Baustelle oder während der Nutzung eines Gebäudes und vorsätzlicher Destruktion. Die vorsätzliche Destruktion kann jedoch bei der Beurteilung eines Bauelementes oder eines anderen Gebrauchsgegenstandes hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit nicht Maßstab sein (man stelle sich vor, daß alle entsprechenden Produkte, wie z.B. auch ein Kfz, vom Markt genommen würden...).

Primär betroffen von unplanmäßigen Belastungen im oben genannten Sinn ist die Deckfläche, da die Membran in der Regel geschützt eingebaut ist. Bild 4.2-1 zeigt zu diesem Thema beispielhaft die Aufnahme unplanmäßiger Belastungen durch ein VIS infolge einer Überschreitung der zulässigen Stützenlast durch ein überladenes Schwerlastregal. Das VIS wird hier als elastisch gebettetes, unmittelbar druckbelastetes Wärmedämmelement mit der Funktion eines Kühlhausbodens eingesetzt. Deutlich zu erkennen ist die mögliche plastische Verformung eines VIS in seinem Randbereich, ohne daß sich eine Perforation der Edelstahlhülle einstellt. Der Verformungsweg beträgt rund 40% der Ausgangsdicke, die Versuche wurden durchgeführt am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum, vgl. [15]. Dort wurde dem Prüfkörper zwei Wochen nach Versuchsdurchführung ein Konstantbleiben des Innendruckes (und damit die vollständige thermische und statische Funktionsfähigkeit) attestiert!

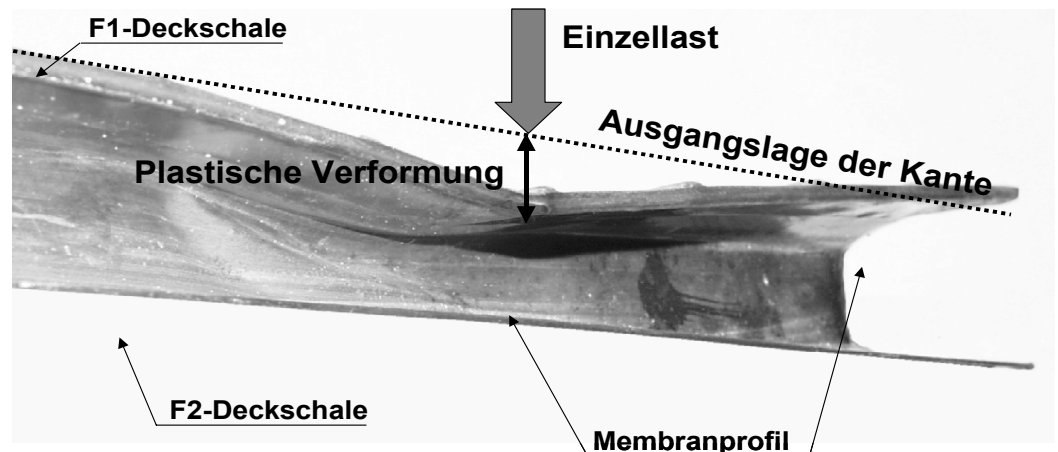


Bild 4.2-1 Darstellung der plastischen Verformung (rd. 40% der Ausgangsdicke) eines VIS in seinem Randbereich infolge einer Einzellast, ohne daß sich eine Leckage in der Edelstahlhülle einstellt, aus [13].

5 Instandsetzungsmöglichkeiten

Sollte trotz der Resistenz der VIS gegenüber mechanischen Belastungen ein Perforation der Edelstahlhülle eingetreten sein, so läßt sich der ursprüngliche Status Quo des Initialdruckes relativ einfach wiederherstellen, ausführliche Informationen siehe [12].

Deckbleche (F1- und F2-Schale)

Leckagen in den Deckblechen werden in der Regel vor Ort durch Verschweißen geschlossen. Nach Beseitigung der Leckage wird der Verschußdeckel des Evakuierflansches entfernt (mechanisch), die Vakuumpumpe wird aufgesetzt, die Schleuse geöffnet und das Vakuum gezogen. Die Schleuse wird dann wieder geschlossen und abschließend wird der Verschußdeckel aufgelegt und wieder verschweißt.

Membranprofil

Grundsätzlich sei noch einmal festgehalten, daß Leckagen in den Membranprofilen wegen des - in der Regel vorhandenen - zusätzlichen Schutzes vor mechanischen Beschädigungen im Einbauzustand sehr selten sind.

Bei Leckagen im Membranblech ist das Abdeckkleben dem Schweißen vorzuziehen. Nach der Lokalisierung wird die Leckage mit einem vakuumgeeigneten Spezialkleber (Zweikomponenten-Epoxydharzkleber) und einem zusätzlichen Blechstreifen verklebt. Die weitere Vorgehensweise gestaltet sich wie oben beschrieben.

Nach der Instandsetzung perforierter Elemente weisen diese wieder ihre charakteristischen thermischen und mechanischen Merkmale auf. Die Lebensdauer der Elemente wird nicht meßbar beeinträchtigt.

6 Zusammenfassung

Behandelt werden im vorliegenden Beitrag sogenannte VIS, das sind Vakuumdämmelemente mit einer Edelstahlhülle, die als großflächige (zur Zeit max. $A = 24 \text{ m}^2$) Elemente hergestellt werden. Sie zeichnen sich neben dem für Vakuumdämmungen signifikant guten Wärmedämmvermögen durch ihre Fähigkeit zur planmäßigen Lastabtragung aus, die sich mit Hilfe der Sandwichtheorie darstellen lässt. VIS werden für die unterschiedlichen Belastungen durch Bemessung von Deckblechdicke, Elementdicke, Stützweite, Lagerungsbedingung ausgelegt. Bemerkenswert ist ihre hohe Resistenz gegenüber mechanisch/physikalischen Belastungen. Damit erfordern VIS bei Handhabung, Transport und Einbau keineswegs den häufig beschworenen überproportionalen und anwendungsbehindernden Schutzanspruch. Die Lebensdauer von VIS lässt sich auf der Basis der 100prozentigen Qualitätskontrolle rechnerisch sehr genau ermitteln. Die Ergebnisse liegen mindestens in der im Bauwesen geforderten Größenordnung, häufig auch darüber. Darüber hinaus kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt durch erneute Evakuierung der VIS vor Ort der initiale Systemdruck wiederhergestellt werden (ggf. auch im Rahmen einer Instandsetzung nach einer unplanmäßig induzierten Leckage); VIS müssen demnach wegen Ablaufes ihrer Lebensdauer oder wegen einer Beschädigung nicht ausgewechselt werden .

7 Literaturverzeichnis

- [1] Binz, A. et al.: Vakuum-Dämmung im Baubereich, 12. Schweizerisches Status-Seminar „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“, Tagung vom 12. und 13. September 2002, ETH Zürich, Berichtsband Seiten 113 bis 122
- [2] Binz, A. et al.: Vakuum-Dämmung im Baubereich – Systeme und Applikationen, Jahresbericht 2002 des Bundesamtes für Energie BFE „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“, Seiten 1 bis 6, Muttenz/Schweiz 2002
- [3] Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung DGZfP – FA Dichtheitsprüfung, Max-Planck-Straße 5, D-12489 Berlin, <http://www.dgzfp.de>, Version 2003
- [4] DIN EN 1779 (10.99): Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung
- [5] DIN 4102-1 (05.98): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [6] Franke, Hans: Lecksuchtechnik, <http://www.lecksuchtechnik.de>, Version vom 15. August 2002
- [7] Koschade, R. (Hrsg.): Die Sandwichbauweise, Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften GmbH Ernst & Sohn, Berlin 2000
- [8] Levebre, G.: VIP packaging materials and technologie, in: High Performance Thermal Insulation Systems – Vacuum Insulated Products, Proceedings of the International Conference and Workshop, pages 37 – 46, EMPA Duebendorf, January 22th – 24th, 2002
- [9] Materialprüfungsamt NRW, Außenstelle Erwitte, Prüfbericht Nr. 23002307 von Dezember 2001 (nicht veröffentlicht)
- [10] Nowara, E., Keitzl, Ch., Willems, W.: Hinweise zur Handhabung von Vakuum-Dämmelementen der tempsafe®-Serie (Datenblatt), Emden / Oberhausen, August 2002
- [11] Nowara, E., Willems, W., Marquering, M.: Rechnerische Ermittlung der Lebensdauer von Vakuum-Dämmelemente der tempsafe®-Serie (Datenblatt), Emden / Oberhausen, August 2002
- [12] Nowara, E., Willems, W., Keitzl, Ch.: Vorgehensweise bei der Instandsetzung von Vakuum-Dämmelementen der tempsafe®-Serie (Datenblatt), Emden / Oberhausen, August 2002
- [13] Randel, P.: Superschlanke Wärmedämmung, Deutsches Ingenieurblatt Mai 2002, Seiten 16 bis 23
- [14] Stamm, K., Witte, H.: Sandwichkonstruktionen, Springer-Verlag, Wien New York, 1974
- [15] Ruhr-Universität Bochum, KIB VI – Bereich Konstruktionsteilprüfung, Prüfzeugnis Nr. A-18/2002 vom 18. April 2002 (nicht veröffentlicht)
- [16] Willems, W., Nowara, E.: Neue Wege in der Gebäudedämmung, 7. Internationale Passivhaustagung, 21. und 22. Februar 2003 in Hamburg, Berichtband Seiten 557 bis 564
- [17] Willems, W.: Vakuum – hocheffiziente Wärmedämmung der Gebäudehülle, BDB-Nachrichten, Heft 4/2002 Seiten 49 und 50, München, 2002
- [18] Wutz, M., Adam, H., Walcher, W.: Handbuch Vakuumtechnik, Vieweg Verlag, 7. erw. Auflage, 2000