



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 21. Februar 2012

Vakuumdämmung im Baubereich

Deklaration und Auslegung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Förderagentur für Innovation, Bundesamt für Berufsbildung und Technologie BBT
Retrofit Projekt des Competence Center Energy and Mobility CCEM des ETH Bereich
ZZWancor AG, CH-8105 Regensdorf
Porextherm-Dämmstoffe GmbH, D-87437 Kempten
Schneider Systemtechnik AG, CH-8108 Dällikon
va-q-tec AG, D-97080 Würzburg
Neofas, CH-8317 Tagelswangen
Vaku-Isotherm, D- 09661 Rossau

Auftragnehmer:

Dr. Eicher+Pauli AG
Gräubernstrasse 14
CH-4410 Liestal
www.eicher-pauli.ch

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
www.empa.ch

Autoren:

Markus Erb, Dr. Eicher+Pauli AG, markus.erb@eicher-pauli.ch
Samuel Brunner, Empa, Laboratory for Building Science and Technology,
samuel.brunner@empa.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152687 / 102134

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	6
2.	Qualitätsnachweisstandard und Deklarationsraster	7
2.1.	Inhalt des Deklarationsrasters	7
2.2.	Methodik zur Bestimmung von λ_D -Werten	7
2.3.	Resultate	8
3.	Zuverlässigkeit der VIP-Qualität	10
3.1.	Ausgangslage und Ziele	10
3.2.	Vorgehen	10
3.2.1.	Überblick	10
3.2.2.	Messtechnik	10
3.3.	Ergebnisse	10
3.3.1.	Anwendungen	10
3.3.2.	Resultate	11
4.	Referenzen	12
5.	Anhang	13
5.1.	Anhang 1	13
5.2.	Anhang 2	20

Zusammenfassung

Qualitätsnachweisstandard und Deklarationsraster

Unter Federführung der Empa wurde das Dokument "Qualitätssicherung und Deklaration von Vakuumisolationspaneelen (VIP) für Bauanwendungen" erarbeitet (Anhang 1). Dieses definiert, welche Massnahmen zu treffen und welche Standards einzuhalten sind, damit ein VIP-Produkt als für den Baumarkt geeignet bezeichnet werden kann. Das Papier ist als Grundlage für die SIA Kommission 279 (Wärmedämmstoffe) gedacht. Diese kann, basierend auf dem Dokument, die Voraussetzungen und das Messprozedere für die Vergabe von λ_D -Werten für VIP festlegen. Diese werden im SIA-Merkblatt 2001 publiziert und dienen zur Auslegung von Wärmedämmungen. Teilweise wurde das Dokument auch von der Deutschen Gütegemeinschaft von VIP-Produzenten als Grundlage für deren Standards verwendet. Es sind auch erste Bestrebungen im Gange, eine ISO-Norm zu erarbeiten. Dabei werden absehbar ebenfalls Teile aus dem Dokument übernommen oder zumindest als Diskussionsbasis verwendet.

Gemäss den erarbeiteten Vorgaben wurde je ein Produkt der beteiligten Hersteller im Sinne einer Erstmessung von der Empa geprüft. Die Prüfberichte sind vertraulich und können hier deshalb nicht publiziert werden.

Detailinformationen finden sich im Kapitel 2.

Zuverlässigkeit der VIP-Qualität

Der VIP-Innendruck von Paneelen die in der Schweiz eingesetzt werden, wurde durch Feldmessungen geprüft. Dabei wurden die Paneele von zwei Herstellern zwischen Werk und Baustelle mehrmals ausgemessen. Von zwei weiteren am Projekt beteiligten Firmen konnten keine (geeigneten) Bauobjekte gefunden werden, bei denen das Ausmessen der VIP möglich war. Der Grund hierfür war, dass diese Produkte während der Projektlaufzeit kaum in der Schweiz eingesetzt wurden. Die Resultate der Messungen sind vertraulich und können hier deshalb nicht publiziert werden.

Detailinformationen finden sich im Kapitel 3.

Wärmebrückenkatalog

Durch die bei VIP geringen Dämmstärken und die metallisierte Hüllfolie können aus den normalen Wärmebrückenkatalogen keine Informationen für VIP-Konstruktionen abgeleitet werden. Aus diesem Grund wurden die Wärmebrückeneffekte für typische Konstruktionen gerechnet und in einem VIP-Wärmebrückenkatalog dokumentiert (Anhang 2).

Abstract

Quality assurance standard and declaration

The document "Quality assurance and declaration of vacuum Insulation panels (VIP) for building application" was worked out under the lead of Empa (Attachment 1). It defines the measures to be taken and the standards to be fulfilled, to achieve a VIP-product appropriate for the building market. This document is intended as a base for the Swiss Association of Engineers and Architects (Sia, commission 279: Thermal insulation products) to define mandatory rules for the definition of design values for thermal conductivity (λ_D). This document was also used by the "European association of manufacturers of thermal insulating products" to develop a RAL- Quality label. There are also activities towards establishing an ISO-Standard for VIP, and part of the above mentioned work was used for a first proposal.

Compliant with the document, a product of each VIP manufacturer was tested. The related reports are owned by the manufacturers. They are confidential and may not be published here.

Reliability of the VIP quality

Panels of two manufactures were measured at the production site, the distributors storage room and at the building site where the panels were applied. VIP of two other companies could not be measured as no (adequate) building site could be found. The reason is, that these products are hardly used in Switzerland during the projects time. The related reports are confidential.

Thermal bridge catalog

Related to the very low thermal conductivity, the thin insulation thickness and the metalized VIP envelope, the normal thermal bridge catalog can not be applied. For this reason, thermal bridge effects for typical constructions have been calculated. They are documented in a "VIP-thermal bridge catalog" (Attachment 2).

1. Einführung

Mit diesem Projekt soll der Einsatz von Vakuumisolationspaneelen (VIP) im Baubereich auf ein sichereres Fundament gestellt. Durch die Arbeiten soll ein Qualitätsstandard erarbeitet, mögliche Qualitätsprobleme in der heutigen Anwendung erkannt und eliminiert sowie ein Wärmebrückenkatalog für die VIP-Anwendung geschaffen werden.

Die Arbeiten wurden und der Federführung von der Empa und der Dr. Eicher + Pauli AG in Zusammenarbeit mit den führenden VIP-Produzenten und deren Schweizer Vertriebspartner durchgeführt.

- Qualitätsnachweisstandard und Deklarationsraster
- Deklarationsraster für VIP
- Methodik (pränormativ) zur Bestimmung von λ_D -Werten
- Bestimmen von λ_D -Werten der Produkte der beteiligten Hersteller, resp. deren CH-Vertriebspartner
- Masstoleranzen und der Dimensionsstabilität
- Überprüfung der VIP-Qualität zwischen Herstellung und Anwendung
- Wärmebrückenkatalog für VIP und VIP-basierte Konstruktionen

2. Qualitätsnachweisstandard und Deklarationsraster

2.1. Inhalt des Deklarationsrasters

Zusammen mit den involvierten Industriepartnern wurde geklärt, welche Eigenschaften von VIP und VIP-beinhaltenden Systemen einheitlich zu deklarieren sind und welche den Marktteilnehmern überlassen werden können.

Folgende Fragen wurden behandelt:

- Parameter: Welche Physikalischen Größen sollen einheitlich deklariert werden?
- Methodik: Wie sind die Größen zu bestimmen?
- Zuständigkeit: Wer bestimmt die Größen (Selbstdeklaration vs. unabhängiges Prüfinstitut)?
- Gültigkeit: In welchem Abstand müssen Größen neu bestimmt werden?

Zu deklarierende Parameter (Diskussionsbasis):

- Bezeichnung*
- Wärmeleitfähigkeit (λ_D -Wert)*
- Zusammensetzung und Dichte (Kernmaterial, Hüllmaterial)*
- Einsatzgrenzen (thermisch, hygrisch)*
- Mechanische Eigenschaften
- Abmessungen inkl. Masstoleranzen, Dimensionsstabilität*
- Wärmekapazität*
- Brandverhalten
- Diffusionswiderstandszahl
- Schallschutzeigenschaften
- Linearer Wärmebrückenzuschlag bezüglich Hüllfolie (Stossfuge)

Es wurde beschlossen, dass die mit * bezeichneten Größen im Rahmen von diesem Projekt behandelt werden (Methodik, Zuständigkeit, Prüfung von deklarierten Werten). Bei den anderen Parametern wird das weitere Vorgehen (ausserhalb des Projektes) definiert.

2.2. Methodik zur Bestimmung von λ_D -Werten

Die Messung des center-of-panel Wertes λ_{cop} erfolgte im Zweiplattengerät. Um eine Aussage über den 90% Fraktilwert λ_{90} machen zu können, wurde die Werkstatistik des center-of-panel Wertes mit denjenigen des Prüfinstituts verglichen.

Für VIP gilt der Luftspalt bei den Stößen neben der Hülle als eine deutliche Wärmebrücke, deren Einfluss bestimmt und als Zuschlag bei der Berechnung von λ_D berücksichtigt werden muss. Dazu wird die Messung im Zweiplattengerät für die zwei VIP mit einem Stoss wiederholt.

$$\Delta\lambda_{edge} = \Psi_{edge} \cdot d \cdot U/F$$

U= Umfang, d = Dicke, F = Fläche, Ψ = Linearer Wärmebrückenzuschlag

Die Alterung wird durch die Zunahme des Innendrucks und der Wasseraufnahme des Kernmaterials bestimmt. Dazu wurden während 6 Monaten der Innendruck sowie das Gewicht bei einer Lagerung in 23°C 50% r.F. gemessen, um daraus eine Extrapolation für den Lambda Wert nach 25 Jahren machen zu können. Der Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Lambda Wert wird mit Hilfe der Sorptionsisotherme und dem Einbringen von dosierten Wassermengen in das Paneel und einer nachfolgenden Messung der Wärmeleitfähigkeit bestimmt.

$$\lambda_{aged}(t) \approx \lambda_{90} + \lambda_p \cdot p_a \cdot t + \lambda_{Xw} \cdot X_{w,eq} \left(1 - \exp(-t/\tau)\right)$$

Detailinformationen zu dieser Formel sind im Anhang 1 "Qualitätssicherung und Deklaration von Vakuumisolationspaneelen (VIP) für Bauanwendungen" ersichtlich.

Aus den beiden Einflüssen ergibt sich ein totaler Wert:

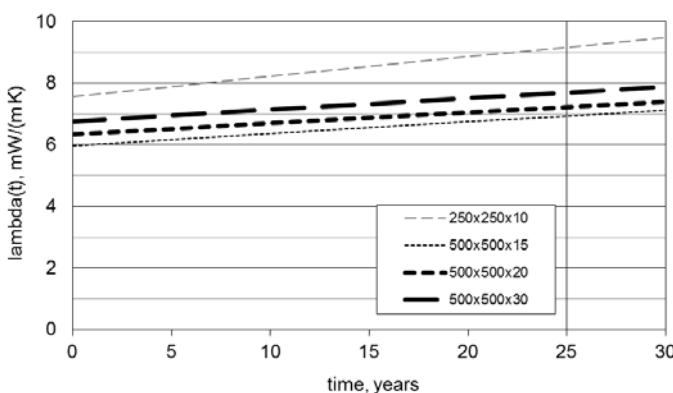
$$\lambda_{Total} \approx \lambda_{aged} + \Delta\lambda_{edge} + \Delta\lambda_{Zuverl.}$$

Die Festlegung des λ_D -Wertes ist basiert auf dem λ_{Total} -Wert und im Normalfall der aufgerundete Wert. Ein Zuschlag für die Zuverlässigkeit $\Delta\lambda_{Zuverl.}$, wie er im Antrag dieses Projektes erwähnt wurde, ist im 2011 angewendeten Verfahren nicht verwendet worden. Dies, weil die Datenlage dazu noch zuwenig konsistent ist.

2.3. Resultate

Gemäss den erarbeiteten Vorgaben wurde je ein Produkt der vier beteiligten Hersteller im Sinne einer Erstmessung (vgl. Anhang 1) von der Empa geprüft. Die Prüfberichte sind vertraulich und können hier deshalb nicht publiziert werden. Ein Folgeauftrag führte zu einer erweiterten Untersuchung, deren Resultate veröffentlicht werden konnten [IVIS2011], und dessen Hauptergebnis in Zusammenhang mit der VIP-QS hier wiedergegeben wird.

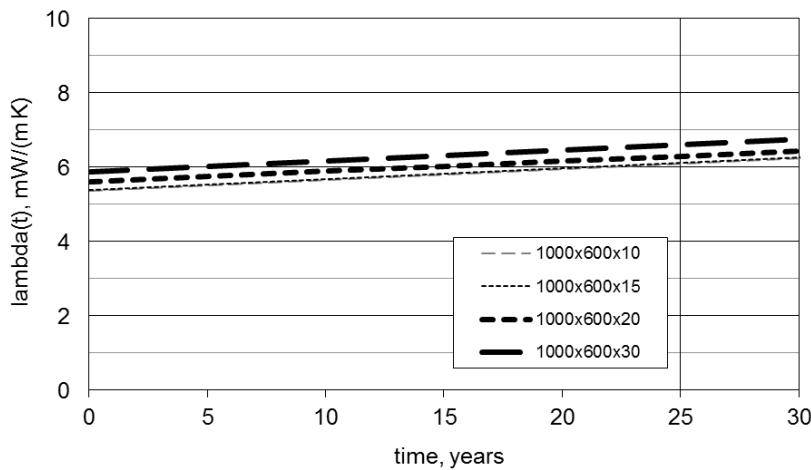
Thermal conductivity - including thermal bridge effect
3x metallised, 23°C / 50% r.F.



Figur 1: Alterungsvoraussage λ_{Total} für die verschiedenen gemessenen VIP Größen

Diese Figur 1 zeigt, dass wie erwartet kleinere VIP einen höheren Wärmebrückeneffekt und eine grössere Alterung aufweisen. Der Mittelwert des center-of-panel Messwertes im Zweiplattengerät λ_{cop} betrug 4.1 mW / m·K.

Thermal conductivity - including thermal bridge effect
3x metallise, 23°C / 50% r.F.



Figur 2: Alterungsvoraussage λ_{Total} für VIP der meistverwendeten Grösse

Für diese VIP hat die SIA Kommission 279 im Mai 2011 die λ_D -Werte 7 mW / m·K festgelegt, mit der Bemerkung, dass dies für grosse Formate (Plattenformat grösser 500 mm x 500 mm). Für die kleineren Formate, die nur zur Anpassung an die Verlegefläche dienen und deshalb seltener verwendet werden gilt $\lambda_D = 8$ mW / m·K .

3. Zuverlässigkeit der VIP-Qualität

3.1. Ausgangslage und Ziele

Bezüglich konventioneller Dämmstoffe unterscheidet sich die Situation bei Vakuumdämmungen grundsätzlich nur im Punkt eines möglichen totalen Versagens (Verlust des Vakuums) während der Gebrauchsduer. Solche Ausfallraten wurden noch nie systematisch untersucht und die fehlende Information ist ein wichtiger Faktor für das teilweise geringe Vertrauen in die Technologie.

3.2. Vorgehen

3.2.1. Überblick

Das Versagen von Vakuum-Paneele kann durch unsachgemäße Prozesse in Produktion (Komponenten, Paneele), Transport, Installation und Gebrauch (thermische, hygrische, chemische und mechanische Lasten) verursacht werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde statistisch repräsentatives Datenmaterial erhoben, welches die Ausfallraten bis und mit folgenden Prozessen beschreibt:

- Paneeleproduktion: Paneele vor Auslieferung durch die Produzenten
- Transport zum Systemanbieter: Eingangskontrolle beim Schweizer Vertriebspartner
- Transport zum Ort des Einbaus: Anlieferung auf Baustelle
- Einbau in Gebäude: Eingebaute Paneele (je eine Messung nach Einbau und ca. 1 Monat später).

Damit die Messdaten als repräsentativ betrachtet werden können, musste für jedes untersuchte Produkt eine Anzahl von ca. 120 Paneele ausgemessen werden.

Die Feldmessungen wurden mit dem System der Fa. va-Q-tec durchgeführt. Da hier ein Zugang zur Paneeleoberfläche gewährleistet sein muss, war die Messung im verbauten Zustand teilweise nicht mehr möglich. An ca. vier Paneele wurden von der Empa Referenzmessungen in der Vakuumkammer (Folienabhebeverfahren) durchgeführt.

3.2.2. Messtechnik

Die Methodik, des von der Firma va-Q-check entwickelten und produzierten Gerätes, basiert auf einer Wärmeflussmessung. Diese findet durch ein Vlies mit bekanntem Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit und Luftdruck statt. Das Vlies ist auf einer Metallscheibe fixiert, welche in das VIP eingeschweißt wird. Das Vlies wird so gewählt, dass im interessanten Messbereich (0 – 10 mbar) eine starke Zunahme der Wärmeleitfähigkeit stattfindet. Ein genauer Methodenbeschrieb existiert nicht.

3.3. Ergebnisse

3.3.1. Anwendungen

Im Projektteam wurde entschieden, dass die Feldmessungen innerhalb der Schweiz stattfinden sollen. In Zusammenarbeit mit den Schweizer Vertriebspartnern wurde versucht, für die Messungen geeignete Bauanwendungen zu finden.

Dieses Ziel wurde nur bei zwei der vier Hersteller & Vertriebspartner erreicht:

- Vakuisotherm & Neofas
- Porextherm & ZZWancor

Keine Messungen wurden durchgeführt bei:

- va-Q-tec / Schneider Systemtechnik: Der Absatz von va-Q-tec Paneele in der Schweiz ist sehr gering. Trotz intensivem Kontakt mit den involvierten Firmen und Anwendern konnte keine geeigneten Projekte gefunden werden.
- Microtherm / Swisspor: Diese Firmen sind nachträglich ins Projekt eingestiegen. Es zeigte sich, dass die Entwicklung für Bauanwendungen bei Microtherm noch nicht abgeschlossen ist. Da kein definiertes Produkt existiert, können auch keine zugehörigen Daten erhoben werden. Zusätzlich hat sich Swisspor vor kurzem entschieden, den Markteintritt mit VIP-Produkten bis auf weiteres zurückzustellen.

3.3.2. Resultate

Vor Projektbeginn wurde mit den Herstellern vereinbart, dass die Messergebnisse nur den betroffenen Firmen zugänglich gemacht werden dürfen. Die Ergebnisse wurden mit den betroffenen Firmen besprochen und wo notwendig wurden Massnahmen daraus abgeleitet.

4. Referenzen

- [1] Norm SIA 2001. Wärmedämmstoffe - Deklarierte Werte der Wärmeleitfähigkeit und weitere Angaben der Lieferanten und Hersteller – Ausgabe2005 sowie 2007.
- [2] RAL Gütezeichen RAL-GZ 960
http://www.ral-guetezeichen.de/guetezeichen-einzelanzeige.html?&g_z_id=223.
- [3] H. Simmler, S. Brunner, Vacuum insulation panels for building application, basic properties, aging mechanisms and service life, Energy and Buildings 37 (2005) 1122–1131.
- [4] Hans Simmler, Samuel Brunner, Ulrich Heinemann, Hubert Schwab, Kumar Kumaran, Phalguni Mukhopadhyaya, Daniel Quénard, Hébert Sallée, Klaus Noller, Esra Küçükpinar-Niarchos, Cornelia Stramm, Martin Tenpierik, Hans Cauberg, Markus Erb, Vacuum Insulation Panels - Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications, Annex 39 "HiPTI – High Performance Thermal Insulation" of IEA/ECBCS-Implementing Agreement, Report on Subtask A, 2005
- [5] S. Brunner, Ph. Gasser H. Simmler and K. Ghazi Wakili, Investigation of multilayered aluminium-coated polymer laminates by focused ion beam (FIB) etching, Surface & Coatings Technology 200 (2006) 5908–5914
- [6] K. Ghazi Wakili et al. / Energy and Buildings 43 (2011) 1241–1246
- [7] [IVIS 2007]
S.Brunner, H.Simmler "In situ Performance Assessment and Service Life of Vacuum Insulation Panels (VIP) in Buildings" Würzburg 2007
www.vip-bau.de/ivis/
- [8] [IVIS 2009]
S. Brunner, H. Simmler, Quality assurance and declaration of Vacuum Insulation for building application, IVIS 2009: 9th International Vacuum Insulation Symposium, 18-19 Sept. 2009, London.
www.ivisnet.org
- [9] [IVIS 2011]
S.Brunner , T. Stahl, K. Ghazi Wakili, Double layered vacuum insulation panels Proceeding of the 10th International Vacuum Insulation Symposium, 15-16.Sept. 2011 Ottawa
www.ivis2011.org
- [10] S. Brunner, P.J. Tharian, H. Simmler, K. Ghazi Wakili, Focused ion beam (FIB) etching to investigate aluminium-coated polymer laminates subjected to heat and moisture loads, Surface & Coatings Technology 202 (2008) 6054–6063

5. Anhang

5.1. Anhang 1

Qualitätssicherung und Deklaration von Vakuumisolationspaneelen (VIP) für Bauanwendungen

Dr. S. Brunner, Empa Bautechnologien

Hintergrund

Im Rahmen der Europäischen Normen EN 13162 bis 13171 *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmässig hergestellte Produkte* werden eine Erstprüfung (Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit, Brandeigenschaften durch eine unabhängige Prüfstelle) sowie eine fortlaufende Produktionskontrolle (Eigenüberwachung) durch den Hersteller gefordert. Die Normen enthalten die Messverfahren, Messhäufigkeiten und weitere Einzelheiten zu den technischen Produkteigenschaften, welche durch den Hersteller deklariert und überwacht werden müssen. Quantitative Anforderungen gibt es im Wesentlichen nur für Masstoleranzen und Dimensionsstabilität. Teilweise sind weitere Mindestwerte vorgegeben (z.B. für die Druckfestigkeit). Die deklarierte Wärmeleitfähigkeit (d.h. der Nennwert) soll allgemein über einen Zeitraum von 25 Jahren bei Raumklimabedingungen von 90 % der Produktion nicht überschritten werden. Für alterungsbehaftete Materialien sind Alterungsmethoden und/oder Zuschläge festgelegt, nach denen solche Alterungseffekte zu berücksichtigen sind. Ein gutes Beispiel ist EN 13165 für PU-Schaumkunststoffe (Schnellalterung durch 25 Wochen Wärmelastung bei 70 °C oder fixe Zuschläge in Abhängigkeit der Materialstärke).

Ausser für die Brandeigenschaften wird in den EN für Wärmedämmstoffe keine fortlaufende Fremdüberwachung der Produkte durch ein unabhängiges Prüflabor vorgesehen. Dies wird in den meisten mitteleuropäischen Ländern kritisiert, da nach der Erstprüfung die Produktqualität nicht mehr ausreichend gesichert sei.

In der Schweiz wird dies für die Wärmeleitfähigkeit durch die Vornorm SIA 279 „korrigiert“, indem der Nennwert nur dann als Bemessungswert in Energienachweisen (SIA 380/1) verwendet werden kann, wenn eine jährliche Fremdüberwachung (Stichprobenmessung) erfolgt. Ein Ausschuss der Kommission 279 kontrolliert und bestätigt die Normkonformität und die fortlaufende Überwachung der entsprechenden Produkte durch ein individuelles Nachweisblatt und die Publikation der kontrollierten Produkte im Merkblatt SIA 2001 sowie im Internet. In Deutschland wird eine umfangreichere, halbjährliche Fremdüberwachung im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vorgeschrieben. Ohne Zulassung werden die EN-Nennwerte allgemein mit 20 % beaufschlagt.

Für Vakuumisolationspaneele (VIP) mit Pulverkern aus pyrogener Kieselsäure, die für Bauanwendungen hergestellt werden, gibt es noch keine Normierungsgrundlagen. Gemäss Kommission SIA 279 soll das Vorgehen bei VIP – soweit anwendbar – möglichst analog zu anderen Wärmedämmstoff-Gruppen sein. Im Rahmen des BFE-unterstützten Projekts „VIP Deklaration und Auslegung“ werden die entsprechenden Elemente mit Herstellern und weiteren Beteiligten diskutiert und mit anderen Aktivitäten z.B. in Deutschland abgestimmt.

Diese Elemente dienen als Grundlage für die Deklaration von produkt- und anwendungsgerechten Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit und weiterer Eigenschaften sowie zur Festlegung der Anforderungen für die SIA-Bestätigung, die bisher provisorisch nach nicht im Detail festgelegten Bedingungen erfolgten. Die folgenden Abschnitte enthalten stichwortartig die Regelungen für die Elemente *Erstprüfung, Nennwert/Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit, Eigenüberwachung, Fremdüberwachung und Deklaration*.

Erstprüfung

Begriff: Die Erstprüfung ist eine einmalige, umfassende Qualitätsprüfung zur Festlegung der wesentlichen Eigenschaften (technische Spezifikation, Gesundheitsrisiken, Umweltgefährdung, Sicherheit etc.) eines Serienprodukts. Änderungen im Produktionsprozess erfordern eine erneute, allenfalls vereinfachte Erstprüfung.

Eine relevante Änderung des Produktionsprozesses liegt vor, wenn

- Materialien mit anderen Eigenschaften verwendet werden
- die Verarbeitungstechnik der Materialien so geändert wurde, dass die Produkteigenschaften nicht mehr der Erstprüfung entsprechen (z.B. veränderte Verpackungstechnik).

Jegliche Änderungen im Produktionsprozess sind der Prüfstelle schriftlich mitzuteilen. Diese entscheidet dann darüber, ob eine, allenfalls vereinfachte, Erstprüfung notwendig ist. Im Bericht der Prüfstelle wird das Produkt möglichst umfassend beschrieben. Dazu gehört auch eine allseitige photographische Dokumentation. Wichtige Eigenschaften, welche nicht in der Erstprüfung gemessen werden, sind vom Produzenten zu liefern:

- Kernmaterial: Allgemeine Materialbezeichnung mit Gewichtsanteil (+/- 2 Masse-%) für alle Komponenten, Raumgewicht und Feuchtegehalt (Masse-%) direkt nach der Verschweissung, maximaler Innendruck vor Auslieferung
- Schutzhülle Kern: Allgemeine Materialbezeichnung, Schichtdicke
- Hüllmaterial: ev. Hersteller und Produktname, Gesamtdicke und Dicke Metallisierung, Schichtfolge, ev. OTR und WVTR
- Verpackungstechnik: Anordnung Schweißnähte in x- und y-Richtung (Seitennähte oder Schlauch A/A, 2-fach A/A, A/B)
- Geometrie: Minimale und maximale Dimensionen von Länge, Breite und Dicke

Wärmeleitfähigkeit

- Durchführung: akkreditierte Prüfstelle mit entsprechender Kompetenz
- Probenahme im Werk
 - Stück Standardformat max. 600 x 600 mm² und 3 Stück 250 x 250 mm², unterer Bereich der vom Hersteller angebotenen, resp. deklarierten Dicken
 - 3 Stück mit Seitenlängen 200 bis 300 mm (rechteckig oder quadratisch), unterer Dickenbereich
 - Je 2 Stück mit Seitenlängen 400 bis 600 mm (rechteckig oder quadratisch), mittlerer und oberer Dickenbereich
 - Bereitgestellte Menge der Probekörper: von mindestens 3 verschiedenen Produktionstagen, total dreifache Anzahl der obigen Stückzahlen
 - Proben für Messung Ψ -Randverbund (vgl. Abschnitt „Nennwert / Bemessungswert“)
- Einsichtnahme Werkstatistik / Eigenüberwachung
- Messungen Wärmeleitfähigkeit:
 - Messungen Anfangswerte: 3 Dicken
 - Charakterisierung Kerneigenschaften:
 - Messung bei erhöhtem Innendruck (50 – 100 mbar), Bestimmung $\lambda_p = \Delta\lambda/\Delta p$
 - Messung bei Normaldruck (ca. 1000 mbar)
 - Messung bei erhöhtem Feuchtegehalt X_w (Masse-%), Bestimmung $\lambda_{X_w} = \Delta\lambda/\Delta X_w$
 - Messung der Feuchteaufnahme, Sorptionsisotherme $X_w (\varphi)$
 - Trocknung 105 °C, Ausgleichsfeuchten bei ca. 30, 50 und 80 % r.F.
 - Messung Innendruck an allen Probekörpern (vor Alterung)
 - Alterung im Klima 23°C, 50 % r.F., 6 Monate
 - 2 x 3 Probekörper (unterer Dickenbereich, 2 Formate)
 - Bestimmen der jährlichen Zunahme von Innendruck Δp , Feuchtegehalt X_w
 - Bestimmen der Formatabhängigkeit
 - Bestimmung / Prüfung des Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit (vgl. Nennwert)

–

Weitere Eigenschaften (vgl. Deklaration)

Erstprüfung durch den Hersteller bzw. durch eine entsprechende Prüfstelle (Brandeigenschaften, Druckfestigkeit). Mindestanforderung gemäss VKF-Brandschutzrichtlinie "Verwendung brennbarer Baustoffe", bis 8 Geschosse: Brandkennziffer BKZ = 4.1, d.h. mittelbrennbar, starke Qualmbildung zulässig. Die BKZ ist für Hülle und Kernmaterial getrennt zu bestimmen. Die Brennbarkeitsklassen B oder höher nach EN 13501-1 sind (noch) nicht CH-anerkannt (Auskunft W. Berger, VKF).

Nennwert / Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Vorgehen

- Bestimmung des Langzeitwerts: $\lambda(t) \equiv \lambda_{90/90} + \lambda_p \cdot p_a \cdot t + \lambda_{X_w} \cdot X_{w,eq} (1 - \exp(-t/\tau))$
 - $\lambda_{90/90} = 90\text{-}\%$ -Fraktilwert Werksstatistik (nicht gealtert), min. 10 Messwerte (Auszuhwerten mit 90% Vertrauensintervall)
 - $p_a = \text{jährlicher Druckanstieg durch trockene gase}$ ($p_a = p_{\text{total}} - p_{H20}$)
 - Falls $p_{H20} > 0.5 \cdot p_{\text{total}}$, ist aus Genauigkeitsgründe p_a nicht kleiner als $\sigma(p_{\text{total}}) + \sigma(p_{H20})$ zu beachten, oder vereinfacht $p_a = 0.5 \cdot p_{\text{total}}$ einzusetzen.
 - $X_{w,eq} = \text{Ausgleichsfeuchtegehalt } 23 \text{ }^{\circ}\text{C}, 50 \% \text{ r.F.}$
 - $\tau = X_{w,eq} / X_{w,a}$, Zeitkonstante Feuchteausgleich
 - $\lambda(t)$ für $t = 25$ Jahre, formatabhängig
- Messung/Berechnung Ψ -Randverbund
 - Messung: an 4 Probekörpern ca. 250 x 500 x 20 mm³
- Standardwert für Kunststofflaminate mit $\sum d_{Alu} < 0.3 \text{ } \mu\text{m}$: $\Psi_{\text{Rand}} = 0.01 \text{ W/(m K)}$
- Nennwert $\lambda_D = \lambda(25 \text{ a}) + \Psi(d) \cdot d \cdot U/A$, Aufrundung in 0.001 W/(m K)

Bemerkung

Für satt gestossene VIP-Dämmungen gilt (nach Prüfung/Bestätigung durch Kommission SIA 279): Nennwert λ_D = Bemessungswert für Energienachweise SIA 380/1. Wärmebrücken müssen gesondert berücksichtigt werden.

Eigenüberwachung Hersteller

Zu überwachende Eigenschaften

- Ausgangsstoffe Barriere, Kernmaterial, ev. weitere Eingangskontrolle (Einzelheiten werksspezifisch bzw. Regelung dt. Gütegemeinschaft)
- Länge, Breite (ohne Umschlag) täglich
- Dicke (ohne Umschlag) täglich
- Ebenheit täglich
- Rohdichte (Stützkörper) täglich
- Wärmeleitfähigkeit (nach Herstellung) täglich
- Innendruck
 - (1) Mindest-Kontrollfrequenz pro Tag:
 - 1 bei weniger als 10 Stück Tagesproduktion
 - jedes 10. Paneel bei 10-100 Stück Tagesproduktion
 - 10 bei mehr als 100 Stück Tagesproduktion
 - (2) Nach Auftreten eines Fehlers (Innendruck > 5 mbar): Fortlaufende Einzelkontrolle bis 70 Stück. Tritt kein Fehler auf kann auf die Kontrollfrequenz (1) zurückgekehrt werden. Andernfalls müssen Ursachen genau geklärt und behoben werden. Dann erfolgt erneut die fortlaufende Einzelkontrolle bis 70 Stück. Ausgenommen sind offensichtlich beschädigte VIP.
 - (3) Die Jahresstatistik muss eine Fehlerhäufigkeit < 1 % zeigen.
- Alterung
 - Lagerung von min. 1 Rückstellprobe aus der Produktion monatlich bei Raumklimabedingungen, Lagerung mindestens 12 Monate
 - Messung des Innendrucks vor/nach Lagerung
- Druckspannung bei 10 % Stauchung einmal wöchentlich

Fremdüberwachung

Durchführung: akkreditierte Prüfstelle mit entsprechender Kompetenz

Häufigkeit: 1-mal jährlich

Probenahme: durch Dritte (Prüfstelle, Überwachungsstelle oder Beauftragten)

Bei Abweichungen wird nach EN 13172 Anhang A vorgegangen. Bei Nichteinhaltung von deklarierten Eigenschaften erfolgt demnach eine Wiederholung der Fremdüberwachung innert 4 Wochen. Im Fall erneuter Nichteinhaltung wird die SIA-Bestätigung hinfällig. Vor einer erneuten Erstprüfung sind die Ursachen durch den Hersteller zu beheben bzw. die Deklaration anzupassen.

Kontrollen im Werk

Einsichtnahme Eigenüberwachung

Zu prüfende Eigenschaften (je 1 Messergebnis):

- Länge, Breite (ohne Umschlag)
- Dicke (ohne Umschlag)
- Rohdichte
- Wärmeleitfähigkeit (nach Anlieferung und mit erhöhtem Innendruck von 50 – 100 mbar)
- Innendruckzunahme: Messung an einer Rückstellprobe des Herstellers, inkl. Angabe von Produktionsdatum und Innendruck-Anfangswert des Herstellers

Kontrollen im Feld

Häufigkeit: 1-mal jährlich (ev. nur alle 2 Jahre)

Probenahme: unangemeldet im Lager des Schweizerischen Zwischenhändlers (oder auf der Baustelle)

Proben: 30 - 50 Paneele (exaktes Produkt)

Zu prüfende Eigenschaften (je 1 Messergebnis):

- Länge, Breite (ohne Umschlag)
- Dicke (ohne Umschlag)
- Innendruck

Auswertung

- Dimensionen: Abweichung zu Sollwerten
- Innendruck: Grenzwerte 10% > 5 mbar, 5% > 10 mbar, 0% > 50 mbar

Deklaration

Auf Produkt oder Etikette oder Verpackungseinheit

- Produktname oder andere Identifizierung
- Name oder Warenzeichen und Adresse des Herstellers oder seines Bevollmächtigten
- Produktionsdatum und -ort oder nachvollziehbarer Schlüssel
- Klasse des Brandverhaltens (BKZ, Hülle und Kernmaterial)
- Nennwert des Wärmedurchlasswiderstandes (inkl. Alterung, Randverlust)
- Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (inkl. Alterung, Randverlust)
- Nenndicke Paneelmitte (inkl. Barriere), falls relevant: zusätzlich Dicke am Rand
- Nennlänge und Nennbreite (inkl. Randbereich)
- Art etwaiger Deckschichten. Falls relevant: deren Wärmeleitfähigkeit, Dicke
- Technische Dokumentation (veröffentlicht oder auf Anfrage beim Hersteller):
 - Wärmekapazität (z.B. aus Literaturdaten)
 - Temperatur-/Feuchteeinsatzbereich
 - Rohdichte
 - Druckspannung bei 10 % Stauchung
 - Kriechverhalten, zulässige Dauerlast (falls Einbau in Böden)
 - Scherbelastung: Hinweis, dass bauteilspezifische Systemtests erforderlich sind
 - Toleranzen Länge, Breite, Dicke, Rechtwinkligkeit
 - Ev. Beschichtung
 - Kernmaterial: Hauptbestandteile (z.B. pyrogene Kieselsäure mit Trübungsmittel), Genaue Zusammensetzung bei Empa hinterlegt.
 - Barriere: Kunststofflaminat oder Aluminiumfolie (dann: Aluminiumschichtdicke)
 - Chemikalienbeständigkeit: z.B. pH-Bereich, Hinweis lösemittelfreie Kontaktstoffe

Anhang: Prüfmethoden

Nr.	Eigenschaft	Norm	Abmessungen Probekörper	Anzahl Probekörper	Bemerkungen
1	Wärmedurchlasswiderstand und Wärmeleitfähigkeit	EN 12667	Geräteabhängig	1 bzw. 2	-
2	Länge und Breite	EN 822	Liefermasse	1	-
3	Dicke	EN 823 (Referenzmethode)	Liefermasse	1	Messdruck 250 Pa Alternativverfahren: Handmessschieber (Auflösung 0.1 mm)
4	Rechtwinkligkeit	EN 824	Liefermasse	1	-
5	Ebenheit	EN 825	Liefermasse	1	-
6	Rohdichte	EN 1602	Liefermasse	3	-
7	Verhalten bei Druckbeanspruchung (10 % Stauchung)	EN 826	100 x 100 x d	3	Masse in mm
8	Brandverhalten	EN 13501 VKF-Richtlinie (CH)	vgl. Norm	vgl. Norm	aktuell noch BKZ (CH) erforderlich
9	Kriechverhalten unter Dauerlast	EN 1606	100 x 100 x d	3	Masse in mm
10	Verhalten bei Scherbeanspruchung	EN 12090	250 x 50 x d	3	Masse in mm
11	Innendruck	Abhebeverfahren IEA Annex 39 STA Report (2005) (Referenzmethode)	Liefermasse oder gemäss Gerätespezifikation	1	Alternativverfahren: o.k., sofern Korrelation mit Referenzmethode nachgewiesen

5.2. Anhang 2

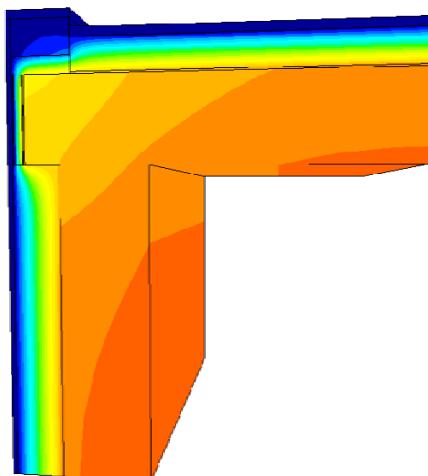
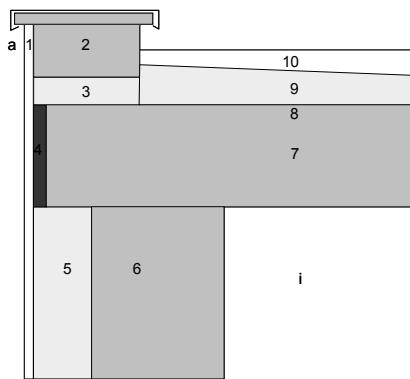


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

VIP - DEKLARATION UND AUSLEGUNG WÄRMEBRÜCKENKATALOG

Schlussbericht



Ausgearbeitet durch

Caroline Hoffman / Markus Erb, Dr. Eicher+Pauli AG
Kasernenstrasse 21, 4410 Liestal, caroline.hoffmann@eicher-pauli.ch,
www.eicher-pauli.ch

Impressum

Datum: 2. Juni 2009

Im Auftrag des Bundesamt für Energie,
Forschungsprogrammleiter Rationelle Energienutzung in Gebäuden

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Grundlage für die Berechnungen	1
1.3 Berechnung der Wärmebrückenverlustzuschläge	3
1.4 Berücksichtigung der Wärmebrücken bei der Gebäudebetrachtung	3
1.5 Darstellungsweise	4
2. WÄRMEBRÜCKEN-KATALOG	5
2.1 Plattenstoss VIP	5
2.1.1 Berechnungsgrundlagen	5
2.1.2 Ergebnis	6
2.2 Aussparung Schraube	7
2.2.1 Berechnungsgrundlagen	7
2.2.2 Ergebnis	8
2.3 Aussparung Regenfallrohr	10
2.3.1 Berechnungsgrundlagen	10
2.3.2 Ergebnis	11
2.4 Dämmung aussen	13
2.4.1 Berechnungsgrundlagen	13
2.4.2 Ergebnis	13
2.5 Fenstersturz, verbreiterter Zwischenleibungsanschlag aussen	14
2.5.1 Berechnungsgrundlagen	14
2.5.2 Ergebnis	15
2.6 Decke gegen unbeheizt	16
2.6.1 Berechnungsgrundlagen	16
2.6.2 Ergebnis	17
2.7 Innendämmung bei Sanierung	18
2.7.1 Berechnungsgrundlagen	18
2.7.2 Ergebnis	18
2.8 Boden Kühlraum	19
2.8.1 Berechnungsgrundlagen	19
2.9 Dachterrasse	20
2.9.1 Berechnungsgrundlagen	20
2.9.2 Ergebnis	21
2.10 Stirndämmung	22
2.10.1 Berechnungsgrundlagen	22
2.10.2 Ergebnis	23

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Vakuum-Isolationspaneele (VIP) finden heutzutage eine immer breitere Anwendung in der Bauwirtschaft. Im Gegensatz zu Standardkonstruktionen, bei denen die auftretenden Wärmebrücken über Wärmebrückenkataloge (z. B.¹) berücksichtigt werden können, gibt es für Konstruktionsdetails mit VIP noch keine vergleichbaren Daten. Der vorliegende Katalog für typische VIP-Konstruktionen soll hier Abhilfe schaffen.

Definition von typischen VIP-Konstruktionen

Anhand von bisher realisierten Einbausituationen von VIP und der gängigen Baupraxis² wurde von der Dr. Eicher+Pauli AG eine Vorauswahl der Konstruktionen getroffen und nach Rücksprache mit den Projektpartnern ergänzt und überarbeitet. Die vorliegende Auswahl stellt somit die heute gebräuchlichen Einbausituationen dar.

1.2 Grundlage für die Berechnungen

VIP bestehen im Wesentlichen aus einem Kernmaterial, das in einer Vakuumkammer in hoch gasdichtes Hüllmaterial - meist metallisierte Folien - eingeschweisst wird. Die Aluminiumschichten dieser Folie, die den geringen Innendruck der VIP ermöglicht, haben im Vergleich zu ihrer geringen Stärke (3 x 30 nm) eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit von 200 W/(m K). Den Aufbau der Folie in der Berechnung real zu berücksichtigen, würde durch die Integration von sehr dünnen Schichten die Berechnungszeit stark erhöhen.

Die metallisierte Folie der VIP und der Randverbund der Paneele werden in den Simulationen folgendermassen berücksichtigt: Das 2 cm starke Kernmaterial mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten wird mit einer 1 mm dicken Schicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0.04 W/(m K) umhüllt. Die Folie muss aus simulationstechnischen Gründen zehnmal dicker als real angenommen werden. Die erwähnte Wärmeleitfähigkeit von 0.04 W/(m K) wurde mit Simulationsrechnungen ermittelt, so dass der resultierende Wärmebrückenverlustkoeffizient den EMPA-Messungen³ an Paneele mit einer metallisierten Folie entspricht.

¹ Bundesamt für Energie BFE, Wärmebrückenkatalog, 2002.

² Bundesamt für Energie BFE, Wärmebrückenkatalog, 2002.

³ Ghazi Wakili, K., Bundi, R., Binder, B., Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels, Building research and information (2004), 00, S. 1-7.

	Einheit	Kalibrierung	Messung EMPA
Wärmeleitfähigkeit Kern	[mW/(m K)]	4.14	4.24
Dicke Kern	[mm]	20	20
Wärmeleitfähigkeit metallisierte Folie	[mW/(m K)]	39.40	
Dicke Folie	[mm]	1	
Wärmebrückenverlustkoeffizient	[mW/(m K)]	6.90	6.96

Tabelle 1 Eigenschaften der in den Berechnungen eingesetzten VIP-Paneele zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der metallisierten Folie.

Die Kalibrierung gilt unter bestimmten Randbedingungen:

- Paneelgrösse von 1 x 1 m
- VIP steht nicht in direktem Kontakt mit Glas oder Metall

Zum Schutz vor Beschädigungen der Folie auf der Baustelle, sollten die VIP mit einer Schutzschicht versehen sein. In den Berechnungen ist dies unterseitig eine 3 mm dicke Wärmedämmsschicht (Wärmeleitfähigkeit von 0.04 W/[m K]) und oberseitig eine 3 mm dicke Gummischrotmatte (Wärmeleitfähigkeit 0.14 W/[m K]). Der Einfluss dieser zusätzlichen Schichten auf das Berechnungsergebnis ist minimal.

Die Berechnungen wurden mit dem Programm TRISCO 11.0w durchgeführt.

1.3 Berechnung der Wärmebrückenverlustzuschläge

Allgemein werden die Wärmebrückenverlustzuschläge gemäss der nachstehenden Formeln 1 und 2 berechnet. Der gesuchte Wert ist die Differenz zwischen dem durch die Wärmebrücken gestörten und dem ungestörten Wärmestrom. Es gelten die Ausenmasse der Bauteile (vergl. SIA 380/1:2007).

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient:

$$\Psi = \frac{\Phi_{gesamt} - \Phi_{ungestört}}{\Delta T * l} = \frac{\Phi'_{gesamt} - \Phi'_{ungestört}}{\Delta T} \quad \text{Formel 1}$$

Ψ = längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m K)]

Φ_{gesamt} = Wärmestrom (Verlustleistung) durch die Kombination der beiden Bauteile [W]

$\Phi_{ungestört}$ = Summe der Wärmeströme (Verlustleistungen) durch beide Bauteile separat, ohne Wärmebrückeneffekt [W]

ΔT = Temperaturdifferenz (Aussentemperatur – Innentemperatur), [K]

l = Ausdehnung der linearen Wärmebrücke [m]

Φ'_{gesamt} = längenbezogener Wärmestrom (Verlustleistung pro Laufmeter) durch die Kombination der beiden Bauteile [W/m]

$\Phi'_{ungestört}$ = Summe der längenbezogenen Wärmeströme (Verlustleistungen pro Laufmeter) durch die beiden Bauteile separat, ohne Wärmebrückeneffekt [W/m]

Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

$$X = \frac{\Phi_{gesamt} - \Phi_{ungestört}}{\Delta T} \quad \text{Formel 2}$$

X = punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/K]

Φ_{gesamt} = gesamter Wärmestrom (Verlustleistung), [W]

$\Phi_{ungestört}$ = Wärmeströme (Verlustleistungen) ohne Wärmebrückeneffekt [W]

ΔT = Temperaturdifferenz (Aussentemperatur – Innentemperatur), [K]

1.4 Berücksichtigung der Wärmebrücken bei der Gebäudebetrachtung

Die Wärmebrückenkoeffizienten fliessen bei der Ermittlung des Wärmeverlustkoeffizienten für die Gebäudehülle mit ein. Dabei wird nach EN ISO 13789:1999 nachstehende Formel 3 verwendet. Die SIA 180:1999 und SIA 380/1:2007 referenzieren diese Norm.

$$H_T = \sum A * U + \sum \Psi * l + \sum X \quad \text{Formel 3}$$

H_T = Wärmeverlustkoeffizient für Transmission [W/K]

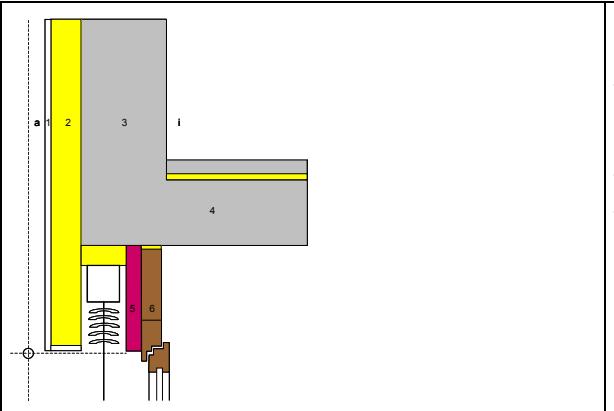
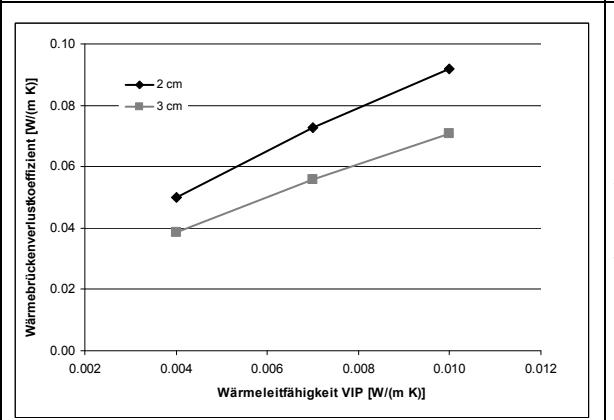
A = Fläche [m^2]

U = U-Wert Bauteil [W/(m²K)]

Ψ = längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m K)]

X = punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/K]

1.5 Darstellungsweise

	<p>Die Konstruktionen sind als Schema-zeichnung dargestellt. Die gestrichelte Linie weist die Be-zugsmasse, die der Berechnung zugrunde liegen, aus.</p>														
	<p>Die Grafiken stellen die Wärmebrücke-verlustkoeffizienten für Varianten innerhalb einer Konstruktion dar. Hier ist der linienförmige Wärmebrücke-verlustkoeffizient für die Rahmenverbreiterung (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP dargestellt.</p>														
<table border="1" data-bbox="160 1275 774 1439"> <thead> <tr> <th rowspan="2">λ VIP [W/(m K)]</th> <th colspan="2">Stärke VIP [cm]</th> </tr> <tr> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.004</td> <td>0.050</td> <td>0.039</td> </tr> <tr> <td>0.007</td> <td>0.073</td> <td>0.056</td> </tr> <tr> <td>0.010</td> <td>0.092</td> <td>0.071</td> </tr> </tbody> </table>	λ VIP [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		2	3	0.004	0.050	0.039	0.007	0.073	0.056	0.010	0.092	0.071	<p>Die Tabelle weist die (im Beispiel linienförmigen) Wärmebrücke-verlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP aus. Bei einem λ-Wert des VIP von 0.007 und einer Stärke von 3.0 cm ergibt sich ein ψ-Wert von 0.056 W/(m K).</p>
λ VIP [W/(m K)]		Stärke VIP [cm]													
	2	3													
0.004	0.050	0.039													
0.007	0.073	0.056													
0.010	0.092	0.071													

2. Wärmebrücken-Katalog

2.1 Plattenstoss VIP

2.1.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Untersucht wird hier die Stosssituation zweier VIP's mit einer Dicke von 2 cm. Variiert wird dabei zum einen die Spaltbreite und zum anderen das Füllmaterial (Luft, Wärmedämmung). Sind die Spalten mit Luft gefüllt, so wird die Konvektion gemäss EN ISO 6946 und EN ISO 10077-2 berechnet.

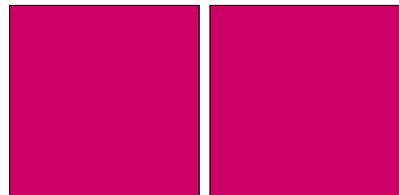


Bild 1 Prinzip-Skizze

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7, 10
Breite Fugen [cm]	0.1, 0.2, 0.3, 0.4
Füllmaterial Spalt	Luft (ruhend), Dämmstoff mit λ 0.04 W/[m K] (ab einer Breite Luftspalt von 0.4 cm)

Tabelle 2 Übersicht über die variierten Parameter

2.1.2 Ergebnis

Luft					
λ VIP [W/(m K)]	Breite Spalt [mm]				
	0	1	2	3	4
0.004	0.007	0.008	0.009	0.011	0.012

Tabelle 3 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Breite des Luftspaltes. Die Wärmeleitfähigkeit der Luft wurde entsprechend der Breite des Luftspaltes gemäss EN ISO 6946 und EN ISO 10077-2 berechnet.

Dämmung λ 0.020 W/(m K)						
λ VIP [W/(m K)]	Breite Spalt					
	10	20	40	10	20	40
0.004	0.010	0.008	-	0.010	0.008	-
0.006	0.009	0.012	0.018	0.010	0.014	0.022

Tabelle 4 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Breite des Luftspaltes [mm], der mit Dämmung (Wärmeleitfähigkeit 0.02 W/[m K]) ausgeschäumt ist.

Dämmung λ 0.025 W/(m K)						
λ VIP [W/(m K)]	Breite Spalt					
	10	20	40	10	20	40
0.004	0.011	0.010	-	0.011	0.010	-
0.006	0.010	0.014	0.022	0.010	0.014	0.022

Tabelle 5 ψ -Wert [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Breite des Luftspaltes [mm], der mit Dämmung (Wärmeleitfähigkeit 0.025 W/[m K]) ausgeschäumt ist.

Dämmung λ 0.030 W/(m K)						
λ VIP [W/(m K)]	Breite Spalt					
	10	20	40	10	20	40
0.004	0.012	0.011	-	0.012	0.011	-
0.006	0.010	0.015	0.024	0.010	0.015	0.024

Tabelle 6 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Breite des Luftspaltes [mm], der mit Dämmung (Wärmeleitfähigkeit 0.03 W/[m K]) ausgeschäumt ist.

Eine Verbreiterung des luftgefüllten Spaltes bewirkt eine lineare Erhöhung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Tabelle 3). Wird ein 4 mm breiter Spalt mit Wärmedämmung (λ 0.04 W/[m K]) ausgeschäumt, so liegt der Ψ -Wert bei 0.010 W/(m K).

Entstehen zwischen den Panelen Lücken von > 1 cm, so werden diese in der Regel mit einem anderen Dämmstoff ausgefüllt. Die Wärmeleitfähigkeit dieses Dämmstoffs beeinflusst die Ψ -Werte deutlich: Wird statt einem λ von 0.02 W/(m K) ein Material mit einem Wert von 0.03 W/(m K) verwendet, so erhöhen sich die Verluste um 16 % (bei λ 0.004 W/[m K]).

2.2 Aussparung Schraube

2.2.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Betrachtet werden hier die Wärmeverluste, die durch Aussparungen für Schrauben entstehen. Die Ausschnitte werden im Programm als quadratische Öffnungen eingegeben. Die Ausschnitte sind mit Dämmmaterial ausgeschäumt. Die Schrauben stecken 15 cm tief in einem Holzbalken.

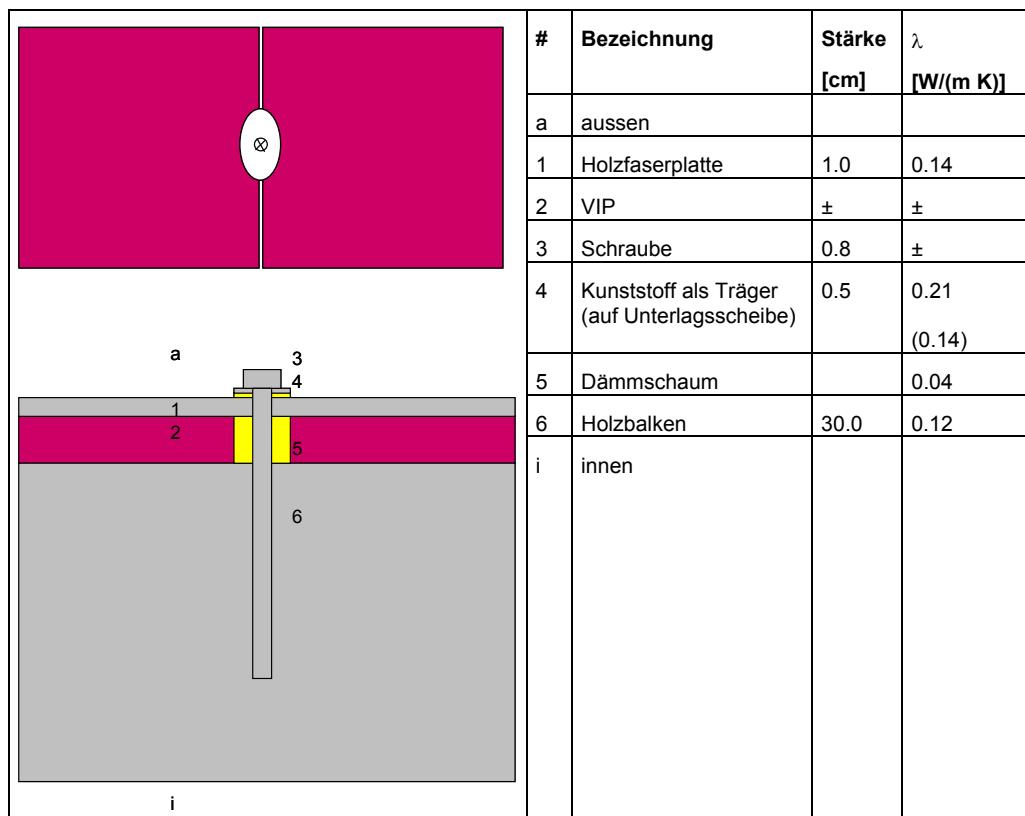


Bild 2 Prinzip-Skizze Aussparung Schraube

Oben: Draufsicht

Unten: Schnitt

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7, 10
Dicke VIP [cm]	2, 3, 5
Wärmeleitfähigkeit Schraube [W/(m K)]	15 (Chromstahl) 50 (Stahl) 150 (Aluminium)
Durchmesser und Länge Schrauben [cm]	0.8, 1.0 (\varnothing), 15.0 (Länge)
Grösse der Aussparung [cm]	10 x 5.6
Füllmaterial Aussparung	Dämmstoff mit λ 0.3 W/(m K)

Tabelle 7 Übersicht über die eingesetzten und variierten Parameter

2.2.2 Ergebnis

Chromstahlschraube Ø 8 mm			
λ VIP [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		
	2	3	5
0.004	0.008	0.008	0.007
0.007	0.006	0.006	0.006
0.010	0.004	0.005	0.005

Tabelle 8 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Aussparung Schraube (Material Chromstahl) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP. Verankерungsgrund Holz

Stahlschraube Ø 8 mm			
λ VIP [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		
	2	3	5
0.004	0.011	0.011	0.011
0.007	0.008	0.009	0.009
0.010	0.006	0.007	0.007

Tabelle 9 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Aussparung Schraube (Material Stahl) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP. Verankerungsgrund Holz

Aluminiumschraube Ø 8 mm			
λ VIP [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		
	2	3	5
0.004	0.013	0.013	0.014
0.007	0.010	0.011	0.012
0.010	0.008	0.009	0.010

Tabelle 10 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Aussparung Schraube (Material Aluminium) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP. Verankerungsgrund Holz

Vergleicht man als Schraubenmaterial Chromstahl und Stahl, so wird deutlich, dass die Verluste um 27 % steigen, wenn Stahl verwendet wird (Stärke VIP 2 cm, $\lambda = 0.004$ W/[m K]). Noch deutlicher wird der Unterschied zwischen Chromstahl und Aluminium, hier liegt der Anstieg bei 38 %.

Anmerkung: Die Aluminiumschrauben (Tabelle 10) wurden zur Veranschaulichung gerechnet, ihr Einsatz entspricht nicht der gängigen Baupraxis.

λ Schraube [W/m K]	λ Veranke- rungsgrund [W/m K]	χ -Wert [W/K]
15	0.12	0.006
15	2.30	0.017
50	0.12	0.008
50	2.30	0.028

Tabelle 11 Variantenrechnung Verankerungsgrund Holz ($\lambda = 0.12$ W/[m K]) und Stahlbeton ($\lambda = 2.3$ W/[m K]).

Weitere Berechnungsgrundlage: λ -VIP = 0.007 W/(m K), Dicke VIP = 2.0 cm, Ø Schraube: 8 mm

λ Schraube [W/(m K)]	\varnothing Schraube [mm]	χ -Wert [W/K]
15	8	0.006
15	10	0.007
50	8	0.008
50	10	0.012

Tabelle 12 Variantenrechnung Ø Schraube 8 mm und 10 mm.

Weitere Berechnungsgrundlage: λ -VIP = 0.007, Dicke VIP = 2.0 cm, Verankerung λ 0.12 W/m K, Stärke VIP 20 mm, λ VIP: 0.007 W/m K

Relevant für die Höhe des χ -Wertes ist auch der Verankerungsgrund für die Schraube (Tabelle 11). Steckt die Schraube in Stahlbeton statt Holz, so steigen die Verluste je nach Material der Schraube um zwischen 64 und 70 % an. Dies erklärt sich mit der höheren Wärmeleitfähigkeit von Beton. Die Veränderung des Durchmessers der Schraube weist beim Chromstahl nur einen Anstieg des χ -Wertes um 15 % auf, beim Stahl verdoppelt sich dieser Wert (33 %).

2.3 Aussparung Regenfallrohr

2.3.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Betrachtet werden hier die Wärmeverluste, die durch eine Aussparung für den Regenwasserablauf im Flachdach entstehen. Die Aussparung wird im Programm als quadratische Öffnung eingegeben und ist mit Dämmmaterial ausgeschäumt. Es werden zwei Varianten untersucht. Bei der ersten - gebräuchlicheren - verläuft das Regenfallrohr vertikal, es ist mit 3 cm Dämmung gedämmt (U-Wert Rohr 0.78 W/[m²K]). Bei der zweiten Konstruktion ist das Regenfallrohr in die Decke integriert.

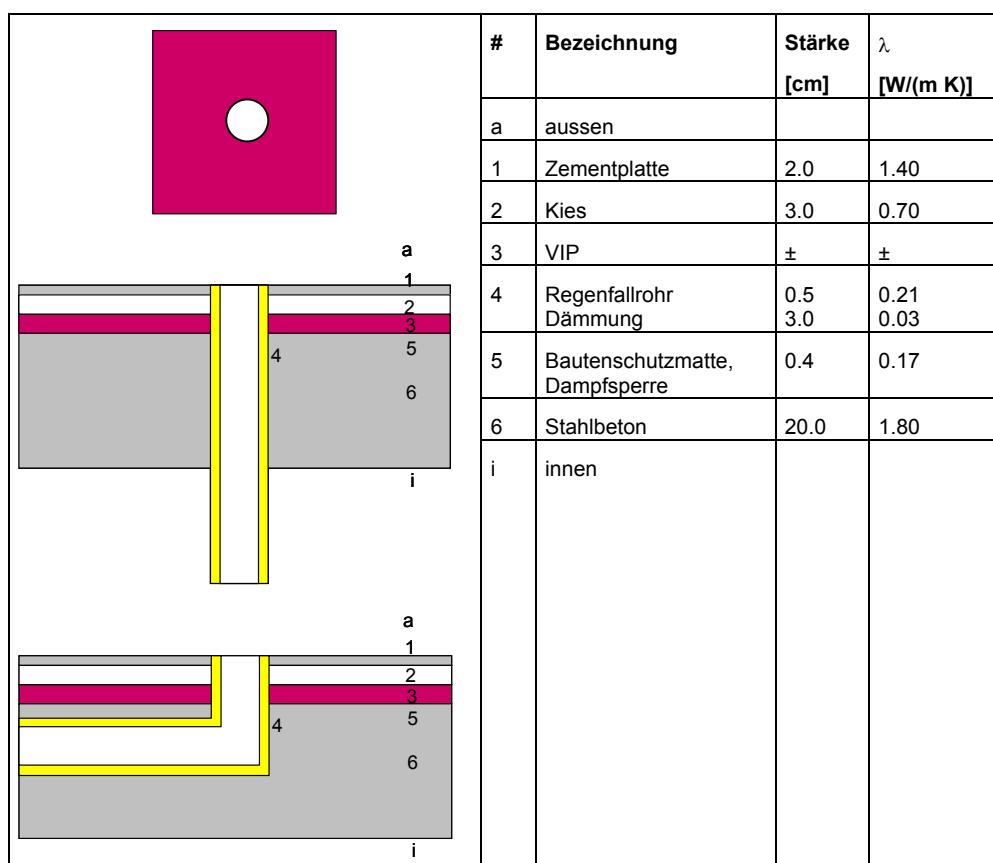


Bild 3 Konstruktion Regenfallrohr
Oben: Draufsicht
Mitte: Schnitt mit vertikalem Rohrverlauf
Unten: Schnitt mit horizontalem Rohrverlauf in der Decke
Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7, 10
Dicke VIP [cm]	2, 3, 5
Grösse der Aussparung [cm]	16 x 16
Füllmaterial Aussparung	Dämmstoff mit λ 0.3 W/(m K)

Tabelle 13 Übersicht über die eingesetzten und variierten Parameter

2.3.2 Ergebnis

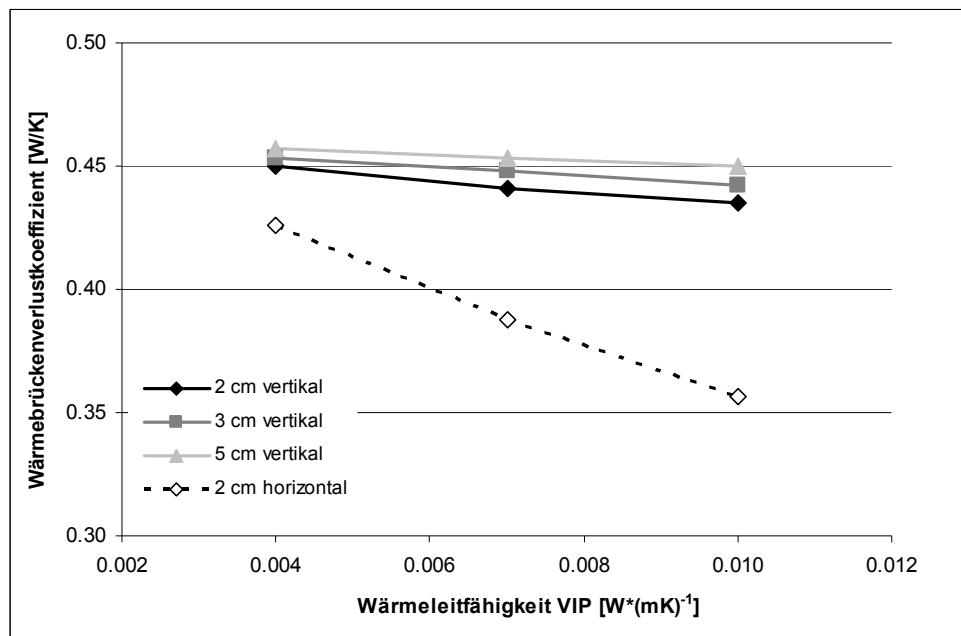


Bild 4 Punktformige Wärmebrückenverlustkoeffizienten (y-Achse) für die Aussparung Regenfallrohr in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP.
 Verwendete Abkürzungen: Vertikal: Vertikaler Verlauf des Regenfallrohrs im Raum, bzw. Schacht; horizontal: Horizontaler Verlauf des Regenfallrohrs in der Decke

Der Vergleich zwischen den entstehenden Verlusten durch eine Konstruktion mit vertikalem und horizontalem Rohrverlauf zeigt, dass die Verluste über ein gedämmtes, in einem Schacht verlaufendes Rohr höher sind.

λ VIP [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		
	2	3	5
0.004	0.450	0.453	0.457
0.007	0.441	0.448	0.453
0.010	0.435	0.442	0.450

Tabelle 14 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Aussparung Regenfallrohr in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP. Die Daten gelten für einen vertikalen Rohrverlauf im Raum, bzw. Schacht (siehe Bild 3).

λ VIP [W/(m K)]	χ -Wert [W/K]
0.004	0.426
0.007	0.388
0.010	0.356

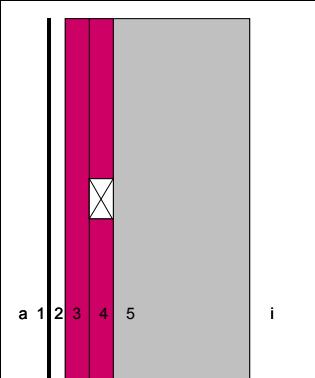
Tabelle 15 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Aussparung Regenfallrohr in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP. Die Daten gelten für einen horizontalen Rohrverlauf in der Decke (siehe Bild 3).

2.4 Dämmung aussen

2.4.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Auf einer Massivwand werden aussen zwei Schichten VIP angebracht. Die Paneele sind mit Latten (horizontal und vertikal) fixiert, aussen gibt es eine an den Latten befestigte hinterlüftete Schalung. Die Wärmebrücke entsteht im Kreuzungspunkt der Lattung. Der betrachtete Ausschnitt ist 1.0 m² gross, die Kreuzung liegt in der Mitte.



#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
a	aussen		
1	Schalung	-	
2	Luftschicht (ruhend)	3.0	
3	VIP / vertikale Lattung	\pm	$\pm / 0.12$
4	VIP / horizontale Lattung	\pm	$\pm / 0.12$
5	Stahlbeton	20.0	1.80
i	innen		

Bild 5 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7, 10
Dicke VIP [cm]	2, 3

Tabelle 16 Übersicht über die variierten Parameter

2.4.2 Ergebnis

λ VIP [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]	
	2	3
0.004	0.020	0.018
0.007	0.021	0.020
0.010	0.021	0.020

Tabelle 17 x-Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung einer Aussenwand in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP

2.5 Fenstersturz, verbreiterter Zwischenleibungsanschlag aussen

2.5.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Eine Rahmenverbreiterung wird aussenseitig mit einer Lage VIP gedämmt.

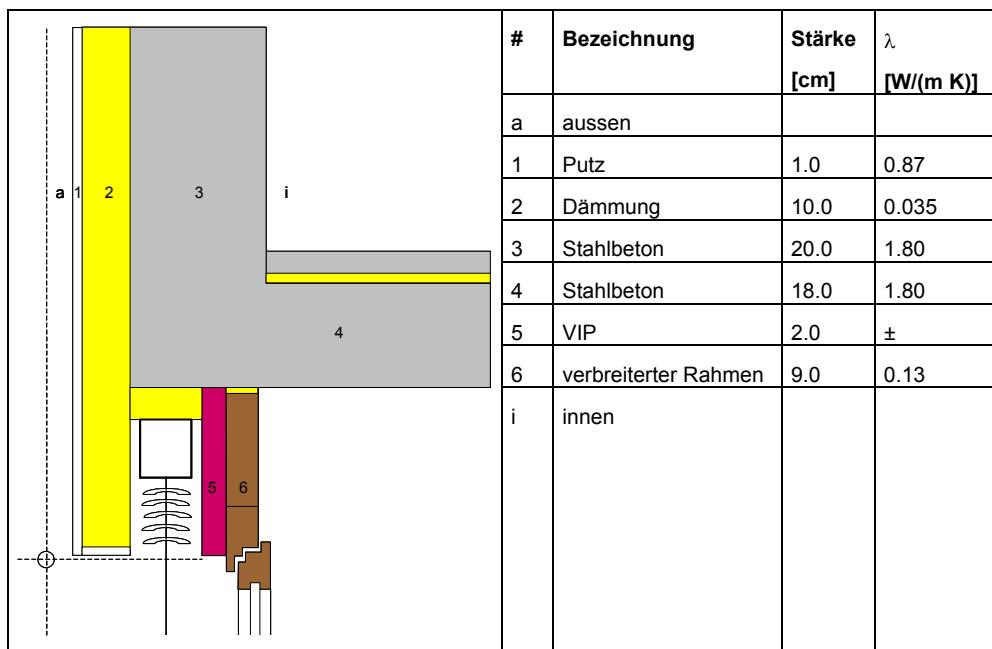


Bild 6 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7 10

Tabelle 18 Übersicht über die varierten Parameter

2.5.2 Ergebnis

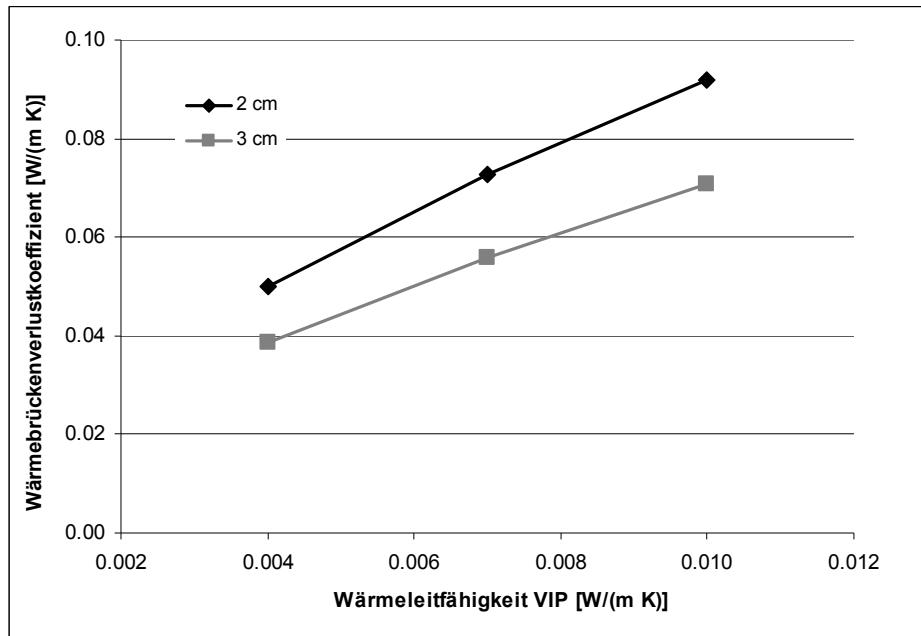


Bild 7 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Rahmenverbreiterung (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

λ_{VIP} [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]	
	2	3
0.004	0.050	0.039
0.007	0.073	0.056
0.010	0.092	0.071

Tabelle 19 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP.

2.6 Decke gegen unbeheizt

2.6.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Eine Decke gegen einen unbeheizten Raum wird nachträglich mit einer Lage VIP gedämmt. Diese Situation lässt sich auch auf eine Fußbodenheizung übertragen, die Rohre der Heizung wären dann im Estrich, Schicht 7, verlegt. Vereinfachend wird für außen und den unbeheizten Raum dieselbe Temperatur angenommen. Damit wird die angegebene Wärmebrücke etwas überschätzt.

#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
a	aussen		
1	Putz	1.0	0.87
2	Dämmung	10.0	0.035
3	Stahlbeton	20.0	1.80
4	Stahlbeton	18.0	1.80
5	Bautenschutzmatte, Dampfsperre	0.4	0.17
6	VIP	\pm	\pm
7	Estrich	3.5	1.40
9	Bodenbelag	0.5	0.17
i	innen		

Bild 8 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7 10
Dicke VIP [cm]	2, 4

Tabelle 20 Übersicht über die varierten Parameter

2.6.2 Ergebnis

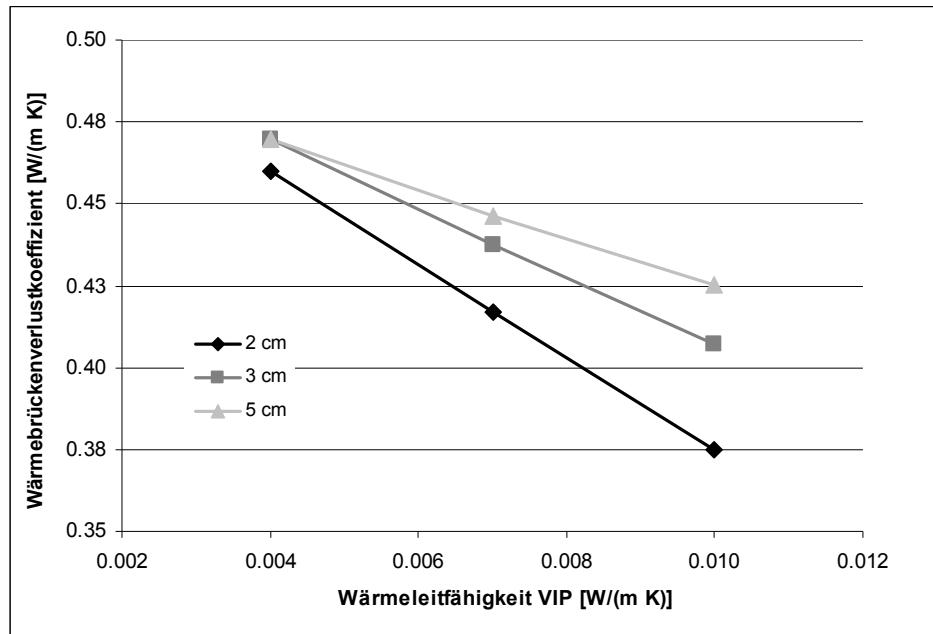


Bild 9 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Decke gegen unbeheizt (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

λ_{VIP} [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		
	2	3	5
0.004	0.460	0.470	0.470
0.007	0.417	0.437	0.446
0.010	0.375	0.407	0.425

Tabelle 21 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP.

2.7 Innendämmung bei Sanierung

2.7.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Eine Aussenwand im Bestand wird nachträglich mit einer innenliegenden Schicht VIP gedämmt. Die Deckenkonstruktion besteht aus einer Holzbalkendecke mit Schüttung. Die Holzbalken liegen im Abstand von 60 cm im Verbundmauerwerk auf.

#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
a	aussen		
1	Putz	2.0	0.87
2	Mauerwerk	42.0	1.80
3	Putz	1.5	0.70
4	VIP	3.0	\pm
5	Gipskartonplatte	0.6	0.40
6	Putz	0.5	0.70
7	Putz	5.5	0.70
8	Gipskartonplatte	2.5	0.21
9	Unterkonstruktion	2.4	
10	Luftraum	10.0	
11	Holz	2.0	0.17
12	Schüttung	10.0	0.70
13	Holz	2.0	
14	Schalldämmung	2.0	0.04
15	Estrich	4.0	1.50
16	Parkett	1.0	0.14
17	Holzbalken (Abstand 60 cm)	24.0	0.17
i	innen		

Bild 10 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7 10

Tabelle 22 Übersicht über die varierten Parameter

2.7.2 Ergebnis

Quelle der Berechnungen: EMPA

2.8 Boden Kühlraum

2.8.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Der Boden eines Kühlraums wird innenseitig mit VIP gedämmt. Die Wände des Raumes sind konventionell gedämmt.

Da es sich bei der betrachteten Problematik um die Situation von „Plattenstößen“ handelt, wird zur Berechnung auf die Ergebnisse in Kapitel 2.1 verwiesen.

#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
i	innen		
1	Stahlbeton	20.0	1.80
2	Dämmung	10.0	0.035
3	Blech	0.3	50.00
4	Stahlbeton	20.0	1.80
5	Bautenschutzmatte, Dampfsperre	0.4	0.17
6	VIP	\pm	\pm
7	Kunstharzfliesbelag und Trennlage	3.0	2.30

Bild 11 Prinzip-Skizze

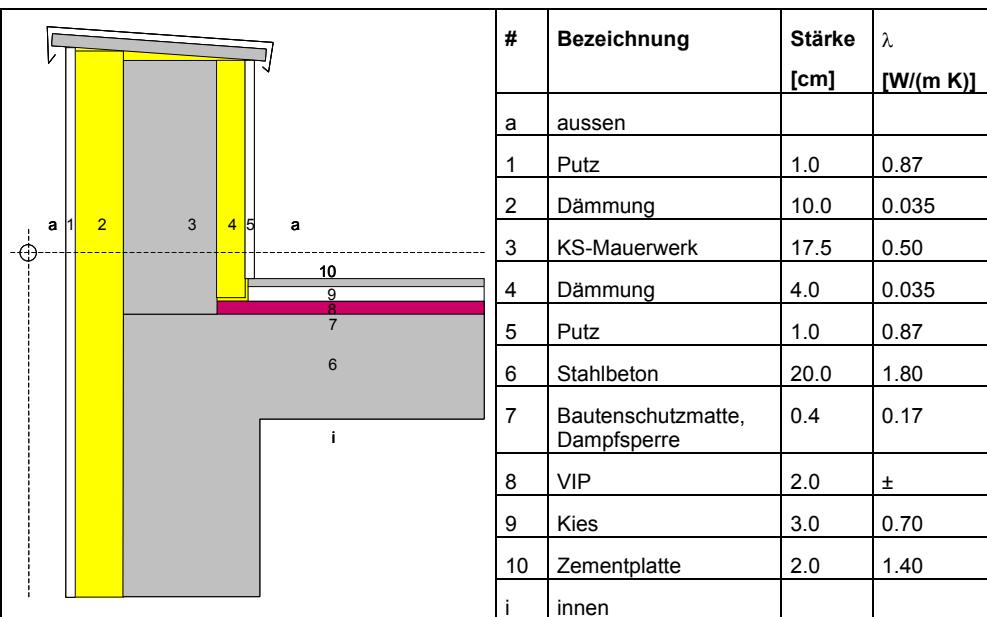
Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

2.9 Dachterrasse

2.9.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Eine Dachterrasse wird mit VIP gedämmt. Die Brüstung aus Kalksandstein ist konventionell gedämmt.



Die Prinzip-Skizze zeigt einen Querschnitt der Dachterrasse. Der Querschnitt ist in 10 Schichten unterteilt, die durch Ziffern 1 bis 10 beschriftet sind. Die Schichten sind von innen nach außen folgendermaßen angeordnet: 10 (Zementplatte), 9 (Kies), 8 (VIP), 7 (Bautenschutzmatte, Dampfsperre), 6 (Stahlbeton), 5 (Putz), 4 (Dämmung), 3 (KS-Mauerwerk), 2 (Dämmung) und 1 (Putz). Die äußere Schicht 1 ist als 'aussen' beschriftet. Ein vertikaler Schnitt a-a zeigt die gesamte Dicke der Konstruktion. Ein vertikaler Schnitt i-i zeigt die Dicke der Bautenschutzmatte und des VIP-Dämmungsschicht.

#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
a	aussen		
1	Putz	1.0	0.87
2	Dämmung	10.0	0.035
3	KS-Mauerwerk	17.5	0.50
4	Dämmung	4.0	0.035
5	Putz	1.0	0.87
6	Stahlbeton	20.0	1.80
7	Bautenschutzmatte, Dampfsperre	0.4	0.17
8	VIP	2.0	\pm
9	Kies	3.0	0.70
10	Zementplatte	2.0	1.40
i	innen		

Bild 12 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7 10

Tabelle 23 Übersicht über die varierten Parameter

2.9.2 Ergebnis

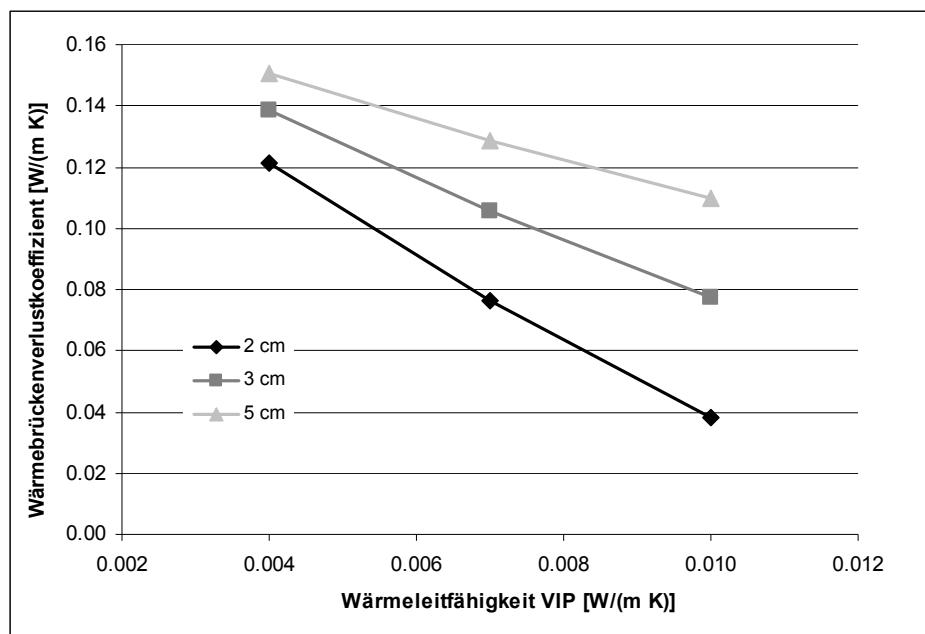


Bild 13 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung der Dachterrasse (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

λ_{VIP} [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]		
	2	3	5
0.004	0.121	0.139	0.151
0.007	0.076	0.106	0.129
0.010	0.038	0.077	0.110

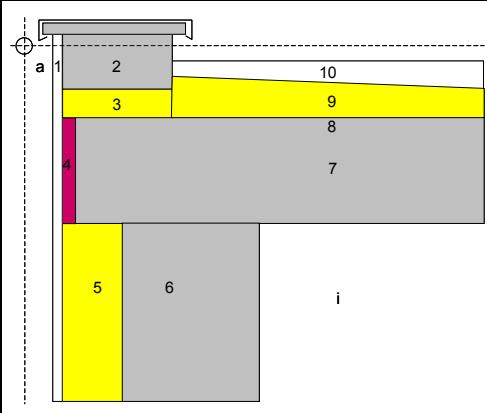
Tabelle 24 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP.

2.10 Stirndämmung

2.10.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Zur Vermeidung von Absätzen wird die Stirnseite der Deckenplatte mit VIP gedämmt. Der Regelverlust dieser Konstruktion, der über $\sum U^*A$ berechnet wird, ist höher als der exakt bestimmte Wärmefluss einschliesslich der Wärmebrücken. Daher sind die ausgewiesenen ψ -Werte negativ.



Die Prinzip-Skizze zeigt einen Querschnitt einer Deckenkonstruktion mit 10 Schichten. Die Schichten sind farblich hervorgehoben: 1. Putz (gelb), 2. Kalksandstein (grau), 3. Schaumglas (gelb), 4. VIP (rot), 5. Dämmung (gelb), 6. Stahlbeton (grau), 7. Stahlbeton (grau), 8. Bautenschutzmatte, Dampfsperre (grau), 9. Gefälledämmung (grau), 10. Kies (grau). Ein vertikaler Pfeil markiert die Achse 'i' im rechten Bereich. Die Schichten 1 bis 10 sind im Querschnitt von links nach rechts angeordnet.

#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
a	aussen		
1	Putz	1.0	0.87
2	Kalksandstein	12.5	0.50
3	Schaumglas	4.0	0.45
4	VIP	2.0	\pm
5	Dämmung	10.0	0.035
6	Stahlbeton	20.0	1.80
7	Stahlbeton	20.0	1.80
8	Bautenschutzmatte, Dampfsperre	0.4	0.17
9	Gefälledämmung	8.0	0.035
10	Kies	2.0	0.70
i	innen		

Bild 14 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: \pm = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

Parameter	Variation
Wärmeleitfähigkeit VIP [mW/(m K)]	4, 7 10

Tabelle 25 Übersicht über die variierten Parameter

2.10.2 Ergebnis

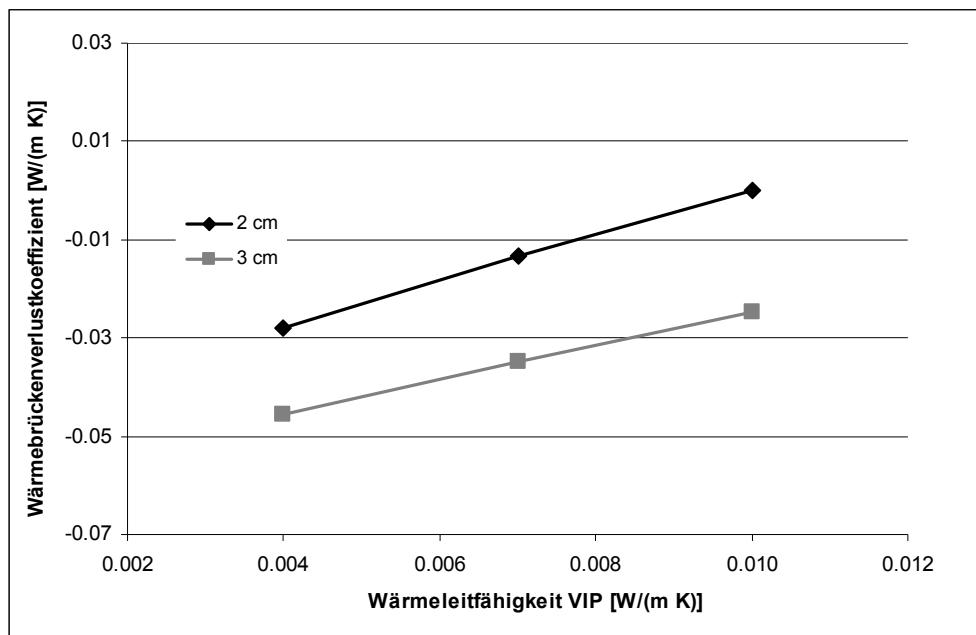


Bild 15 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Stirndämmung der Decke (Y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (X-Achse) und der Dicke des VIP

λ_{VIP} [W/(m K)]	Stärke VIP [cm]	
	2	3
0.004	-0.028	-0.046
0.007	-0.013	-0.035
0.010	0.000	-0.025

Tabelle 26 ψ -Werte [W/(m K)]: Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP.