



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 2. Juni 2009

VIP – Deklaration und Auslegung

Teilprojekt Wärmebrückenkatalog

Auftraggeber:

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

Auftragnehmer:

Dr. Eicher+Pauli AG
Kasernenstrasse 21
4410 Liestal
www.eicher-pauli.ch

Autoren:

Caroline Hoffmann, Dr. Eicher+Pauli AG, caroline.hoffmann@eicher-pauli.ch
Markus Erb, Dr. Eicher+Pauli AG, markus.erb@eicher-pauli.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.	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, verbreiteter 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 Paneelen 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 Wärmedämmschicht (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 Aussenmasse der Bauteile (vergl. SIA 380/1:2007).

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient:

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

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

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

$\Phi_{\text{ungestört}}$ = 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]

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

Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

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

X = punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/K]

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

$\Phi_{\text{ungestört}}$ = 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.

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

H_T = Wärmeverlustkoeffizient für Transmission [W/K]

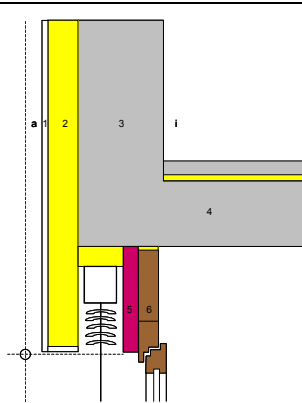
A = Fläche [m²]

U = U-Wert Bauteil [W/(m²K)]

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

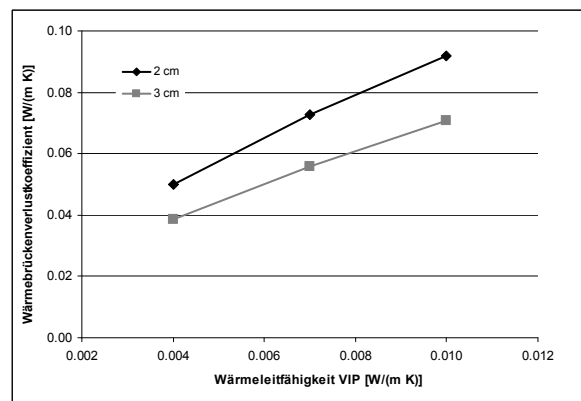
X = punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/K]

1.5 Darstellungsweise



Die Konstruktionen sind als Schema-zeichnung dargestellt.

Die gestrichelte Linie weist die Bezugsmasse, die der Berechnung zugrunde liegen, aus.



Die Grafiken stellen die Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Varianten innerhalb einer Konstruktion dar. Hier ist der linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizient für die Rahmenverbreiterung (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP dargestellt.

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

Die Tabelle weist die (im Beispiel linienförmigen) Wärmebrückenverlustkoeffizienten 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).

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.

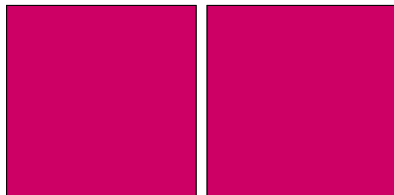


Bild 1 Prinzip-Skizze

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
0.004	0.010	0.008	-
0.006	0.009	0.012	0.018

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
0.004	0.011	0.010	-
0.006	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
0.004	0.012	0.011	-
0.006	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 Panels 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.

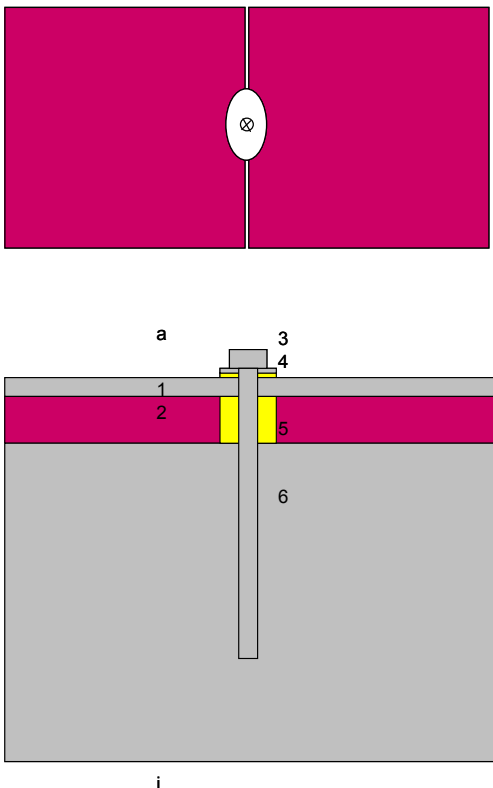
	#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
	a	aussen		
	1	Holzfaserplatte	1.0	0.14
	2	VIP	±	±
	3	Schraube	0.8	±
	4	Kunststoff als Träger (auf Unterlagsscheibe)	0.5	0.21 (0.14)
	5	Dämmschaum		0.04
	6	Holzbalken	30.0	0.12
i	i	innen		

Bild 2 **Prinzip-Skizze Aussparung Schraube**
Oben: Draufsicht
Unten: Schnitt
Verwendete Abkürzungen: ± = 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 (Ø), 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. Verankerungsgrund 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 Verankerungsgrund [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)]	Ø 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.

	#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
	a	aussen		
	1	Zementplatte	2.0	1.40
	2	Kies	3.0	0.70
	3	VIP	±	±
	4	Regenfallrohr Dämmung	0.5 3.0	0.21 0.03
	5	Bautenschutzmatte, Dampfsperre	0.4	0.17
	6	Stahlbeton	20.0	1.80
	i	innen		

Bild 3 **Konstruktion Regenfallrohr**
Oben: Draufsicht
Mitte: Schnitt mit vertikalem Rohrverlauf
Unten: Schnitt mit horizontalem Rohrverlauf in der Decke
Verwendete Abkürzungen: ± = 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

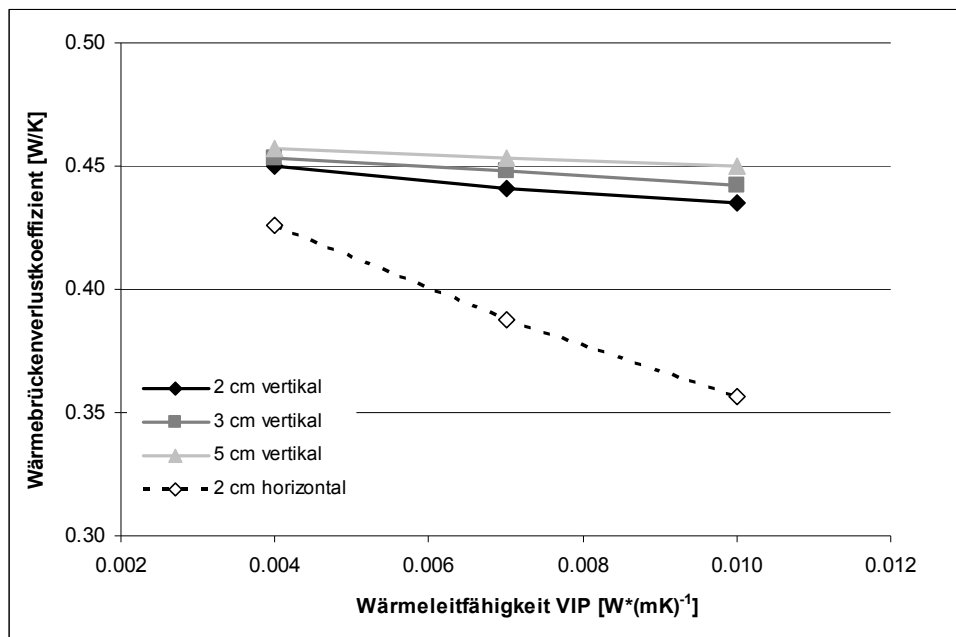


Bild 4 Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten (y-Achse) für die Aussparung Regenfallrohr in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP.

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 m^2 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 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung einer Aussenwand in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP

2.5.2 Ergebnis

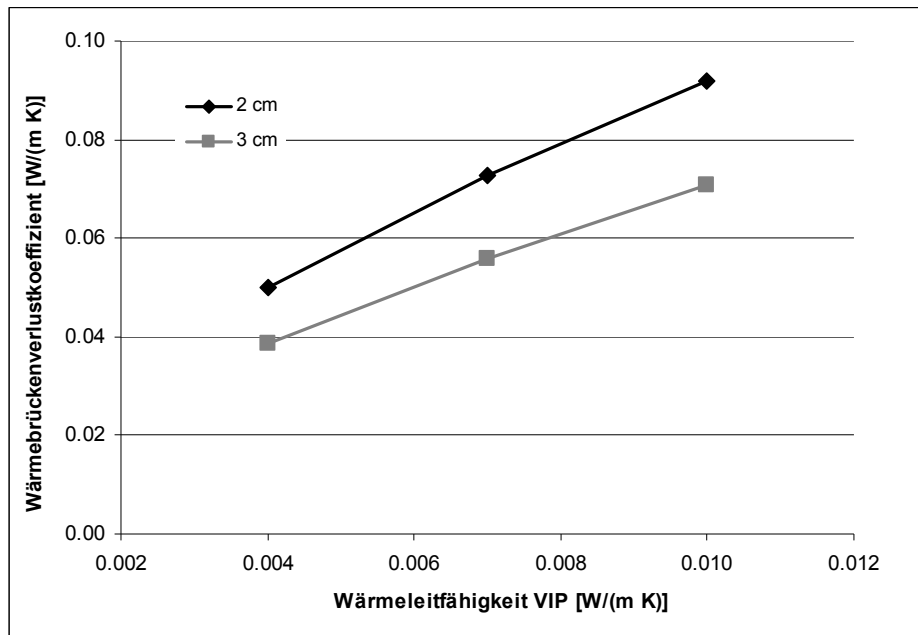


Bild 7 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Rahmenverbreiterung (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

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	±	±
7	Estrich	3.5	1.40
9	Bodenbelag	0.5	0.17
i	innen		

Bild 8 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: ± = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

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

Tabelle 20 Übersicht über die variierten Parameter

2.6.2 Ergebnis

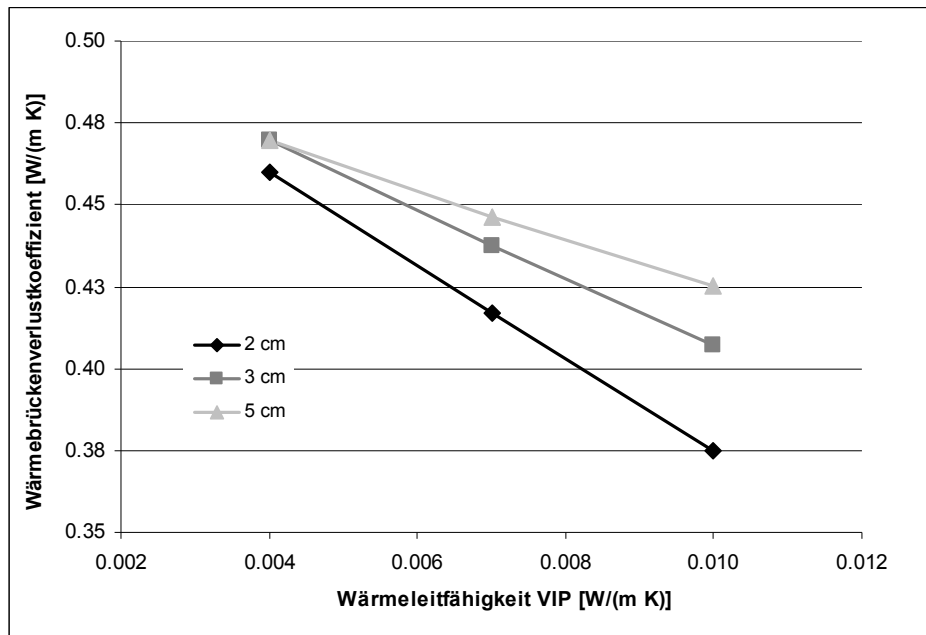


Bild 9 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Decke gegen unbeheizt (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

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	±
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: ± = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

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

Tabelle 22 Übersicht über die variierten Parameter

2.7.2 Ergebnis

Quelle der Berechnungen: EMPA

2.8 Boden Kühlraum

2.8.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Der Boden eines Kühlraumes 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.

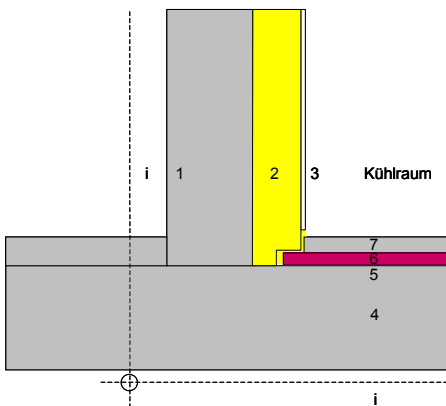
	#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
	i	innen		
	1	Stahlbeton	20.0	1.80
	2	Dämmung	10.0	0.035
	3	Blech	0.3	50.00
	4	Stahlbeton	20.0	1.80
	5	Bautenschutzmatte, Dampfsperre	0.4	0.17
	6	VIP	±	±
	7	Kunstharzfliesbelag und Trennlage	3.0	2.30

Bild 11 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: ± = 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.

	#	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	±
	9	Kies	3.0	0.70
	10	Zementplatte	2.0	1.40
	i	innen		

Bild 12 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: ± = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

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

Tabelle 23 Übersicht über die variierten Parameter

2.9.2 Ergebnis

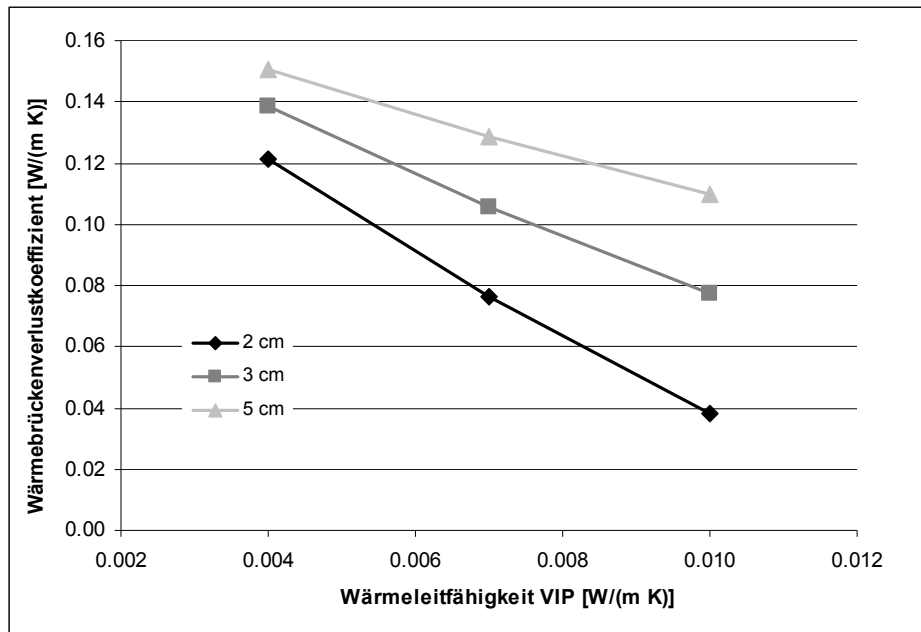


Bild 13 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung der Dachterrasse (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

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 $\sum U \cdot A$ berechnet wird, ist höher als der exakt bestimmte Wärmefluss einschliesslich der Wärmebrücken. Daher sind die ausgewiesenen ψ -Werte negativ.

	#	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	±
	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: ± = 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

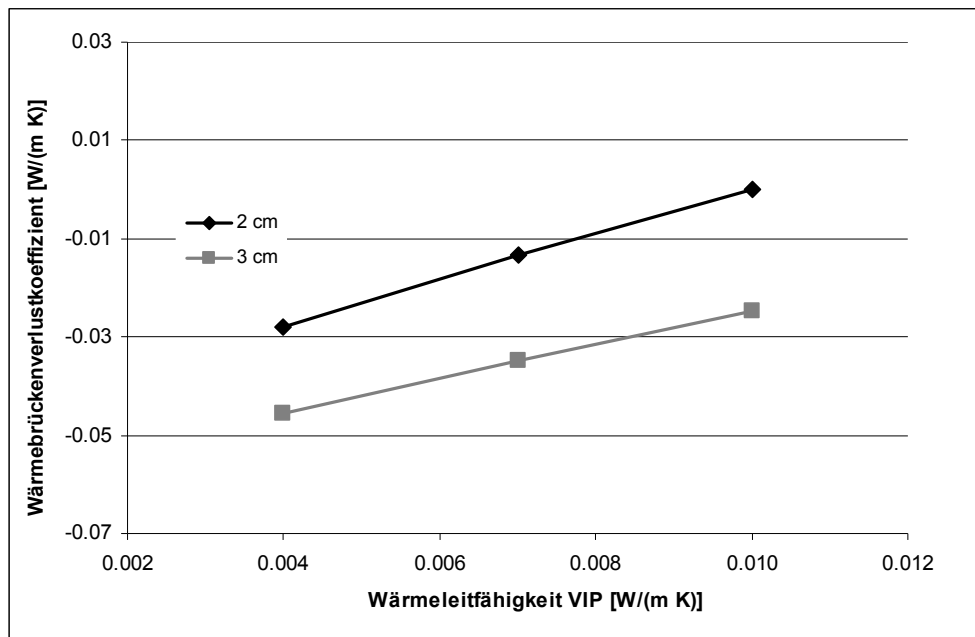


Bild 15 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Stirndämmung der Decke (Y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (X-Achse) und der Dicke des VIP

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.