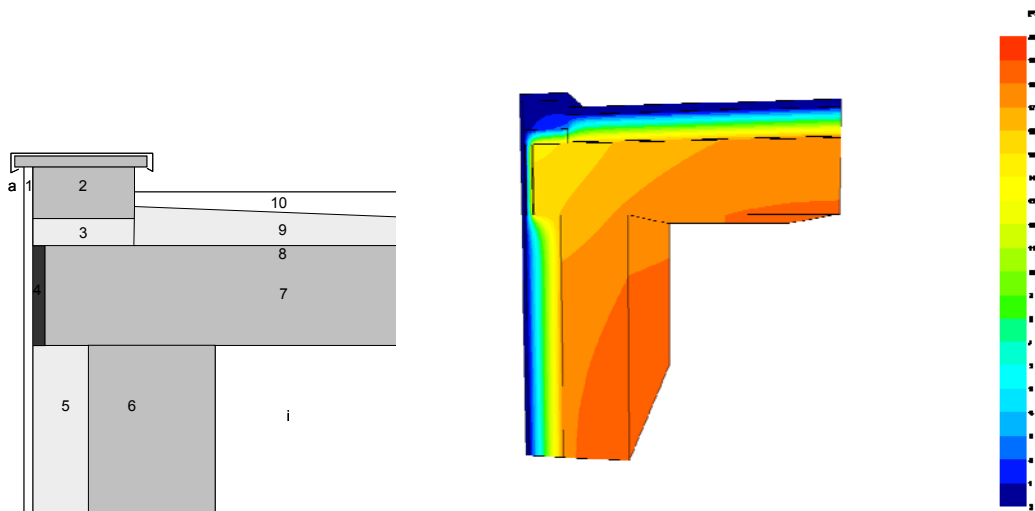




VIP - DEKLARATION UND AUSLEGUNG WÄRMEBRÜCKENKATALOG

Schlussbericht



Ausgearbeitet durch

Caroline Hoffman / Markus Erb

Dr. Eicher+Pauli AG

Gräubernstrasse 14, 4410 Liestal

caroline.hoffmann@eicher-pauli.ch

www.eicher-pauli.ch

Impressum

Datum: 11. März 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	5
2. WÄRMEBRÜCKEN-KATALOG	6
2.1 Plattenstoss VIP	6
2.1.1 Berechnungsgrundlagen	6
2.1.2 Ergebnis	7
2.2 Aussparung Schraube	8
2.2.1 Berechnungsgrundlagen	8
2.2.2 Ergebnis	9
2.3 Aussparung Regenfallrohr	12
2.3.1 Berechnungsgrundlagen	12
2.3.2 Ergebnis	13
2.4 Dämmung aussen	15
2.4.1 Berechnungsgrundlagen	15
2.4.2 Ergebnis	15
2.5 Fenstersturz, verbreiteter Zwischenleibungsanschlag aussen	16
2.5.1 Berechnungsgrundlagen	16
2.5.2 Ergebnis	17
2.6 Decke gegen unbeheizt	18
2.6.1 Berechnungsgrundlagen	18
2.6.2 Ergebnis	19
2.7 Boden Kühlraum	20
2.7.1 Berechnungsgrundlagen	20
2.8 Dachterrasse	21
2.8.1 Berechnungsgrundlagen	21
2.8.2 Ergebnis	22
2.9 Stirndämmung	23
2.9.1 Berechnungsgrundlagen	23
2.9.2 Ergebnis	24

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 0.0394 W/(m K) umhüllt.

Die Wärmeleitfähigkeit der metallisierten Folie wurde anhand des aus einer Messung³ bekannten Wärmebrückenverlustkoeffizienten über Simulationsrechnungen bestimmt.

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:

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

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.

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

H_T = Wärmeverlustkoeffizient für Transmission [W/K]

A = Fläche [m²]

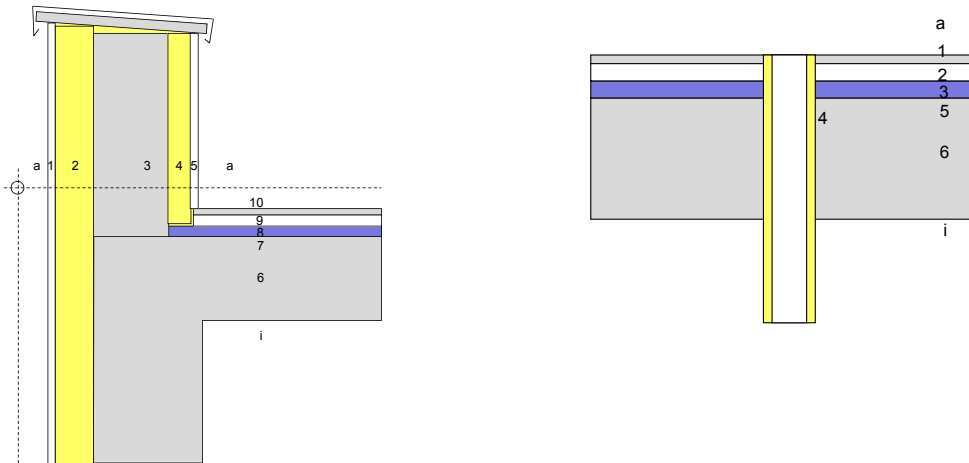
U = U-Wert Bauteil [W/(m²K)]

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

X = punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/K]

Berechnungsbeispiel

Für eine Dachterrasse mit einem Regenfallrohr und eine Aussenwand soll der Wärmeverlustkoeffizient für Transmission ausgerechnet werden. Bild 1 zeigt die aus dem nachfolgenden Katalog entnommenen Konstruktionen und die dazugehörigen Wärmebrückenanschläge.



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

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

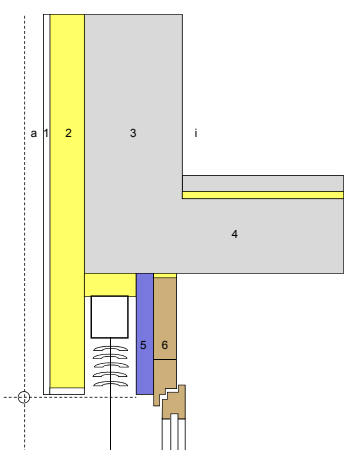
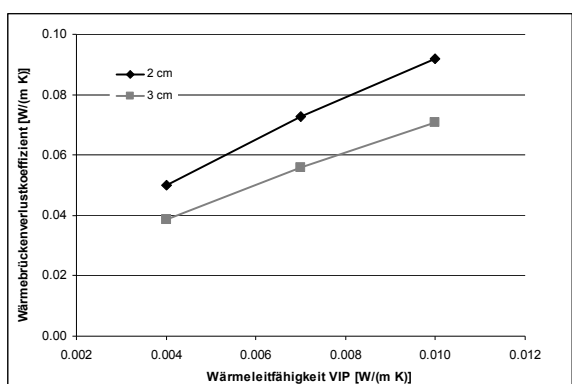
Bild 1 Konstruktionen und dazugehörige Wärmebrückenanschläge

Die Berechnung wird wie in Tabelle 2 dargestellt durchgeführt. Mit den Flächen für die Aussenwand und das Dach und den dazugehörigen U-Werten und Wärmebrückenanschlägen ergibt sich ein Wärmeverlustkoeffizient Transmission von 23.14 W/K.

	Stück	Länge	Fläche	U-Wert	Ψ -Wert	χ -Wert	Wärmeverlustkoeffizient Transmission (H_T)
	[-]	[m]	[m ²]	[W/(m ² K)]	[W/mK]	[W/K]	[W/K]
Aussenwand			50.0	0.309			15.45
Dach			30.0	0.206			6.18
Wärmebrückenanschlag linear		10.0			0.106		1.06
Wärmebrückenanschlag punktuell	1					0.448	0.45
Gesamt							23.14

Tabelle 2 Berechnung für den Wärmeverlustkoeffizienten Transmission

1.5 Darstellungsweise

	<p>Die Konstruktionen sind als Schemazeichnung dargestellt.</p> <p>Die gestrichelte Linie weist die Bezugsmasse, die der Berechnung zugrunde liegen, aus.</p>														
	<p>Die Grafiken stellen die Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Varianten innerhalb einer Konstruktion dar. Hier sind der linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizient für die Rahmenverbreiterung (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP dargestellt.</p>														
<table border="1" data-bbox="159 1366 734 1523"> <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) 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).</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.

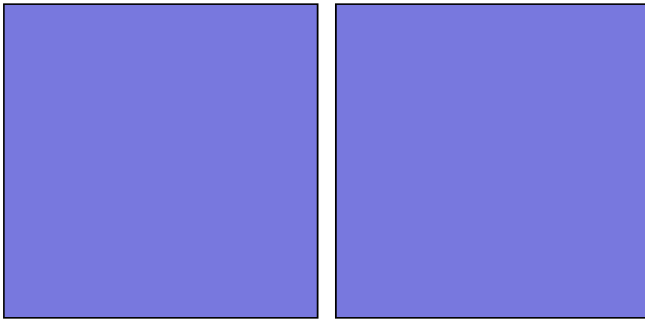


Bild 2 Prinzip-Skizze

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 3 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 4 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 5 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 6 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 7 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 4). 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.

#	Bezeichnung	Stärke [cm]	λ [W/(m K)]
a	aussen		
1	Holzfaserverplatte	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	innen		

Bild 3 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 0.03 W/(m K)

Tabelle 8 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 9 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 10 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 11 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 11) 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 12 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 13 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 12). 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 %).

Allgemein können die χ -Werte für eine bestimmte Anzahl von Dübeln pro Wandfläche addiert werden. Ist der Abstand zwischen den Dübeln allerdings kleiner als 30 cm, so beeinflussen sich die Wärmebrücken gegenseitig. In der Folge sind die realen Wärmeverluste dann höher als die berechneten.

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 4 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 0.03 W/(m K)

Tabelle 14 Übersicht über die eingesetzten und variierten Parameter

2.3.2 Ergebnis

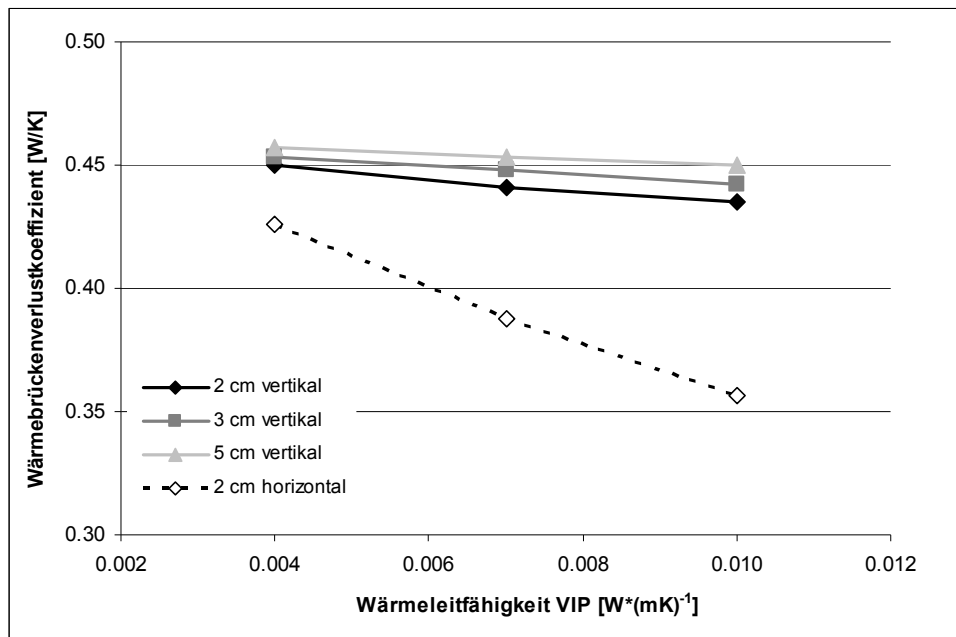


Bild 5 Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten (y-Achse) für die Aussparung Regenfallrohr in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP.

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 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 vertikalen Rohrverlauf im Raum, bzw. Schacht (siehe Bild 4).

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

Tabelle 16 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 4).

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	±	± / 0.12
4	VIP / horizontale Lattung	±	± / 0.12
5	Stahlbeton	20.0	1.80
i	innen		

Bild 6 Prinzip-Skizze (Vertikalschnitt)
Verwendete Abkürzungen: ± = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

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

Tabelle 17 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 18 χ -Werte [W/K]: Punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung einer Aussenwand in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des VIP

2.5 Fenstersturz, verbreiteter Zwischenleibungsanschlag aussen

2.5.1 Berechnungsgrundlagen

Aufbau der Konstruktion

Eine Rahmenverbreiterung wird aussenseitig mit einer Lage VIP gedämmt.

#	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	VIP	2.0	±
6	verbreiteter Rahmen	9.0	0.13
i	innen		

Bild 7 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: ± = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

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

Tabelle 19 Übersicht über die variierten Parameter

2.5.2 Ergebnis

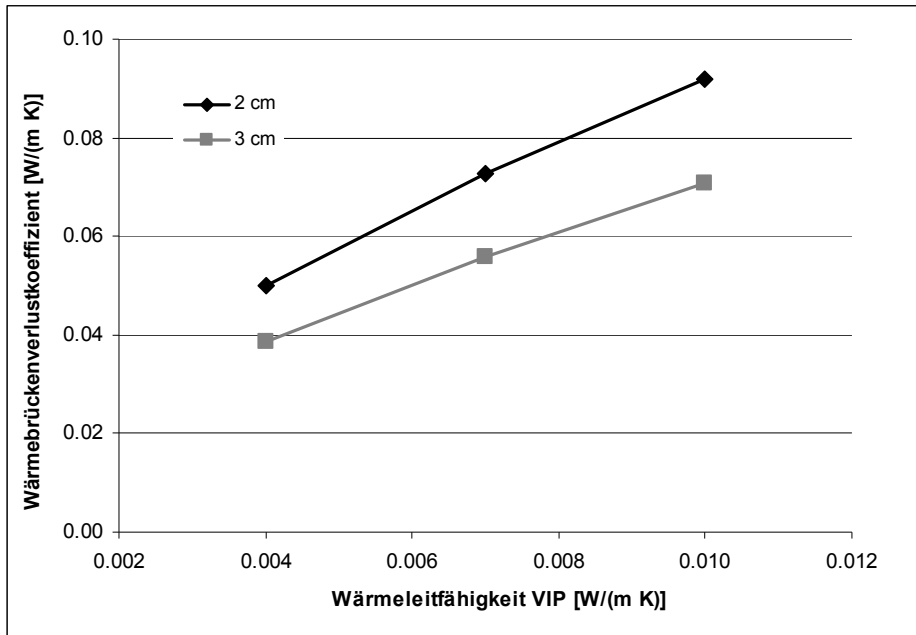


Bild 8 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Rahmenverbreiterung (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

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 20 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 9 Prinzip-Skizze

Verwendete Abkürzungen: ± = Variierter Parameter

Berechnete Varianten

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

Tabelle 21 Übersicht über die variierten Parameter

2.6.2 Ergebnis

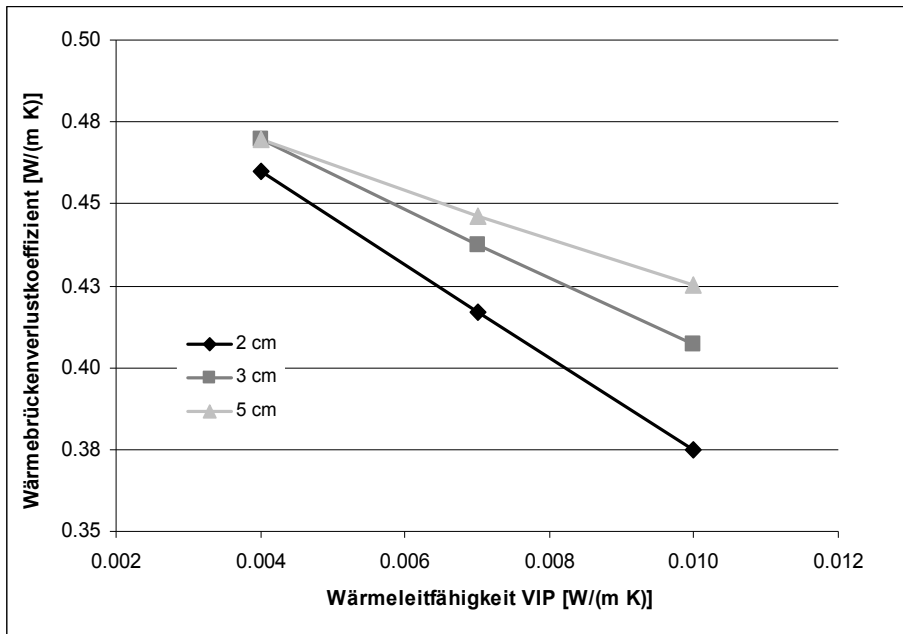


Bild 10 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Decke gegen unbeheizt (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

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

2.7 Boden Kühlraum

2.7.1 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

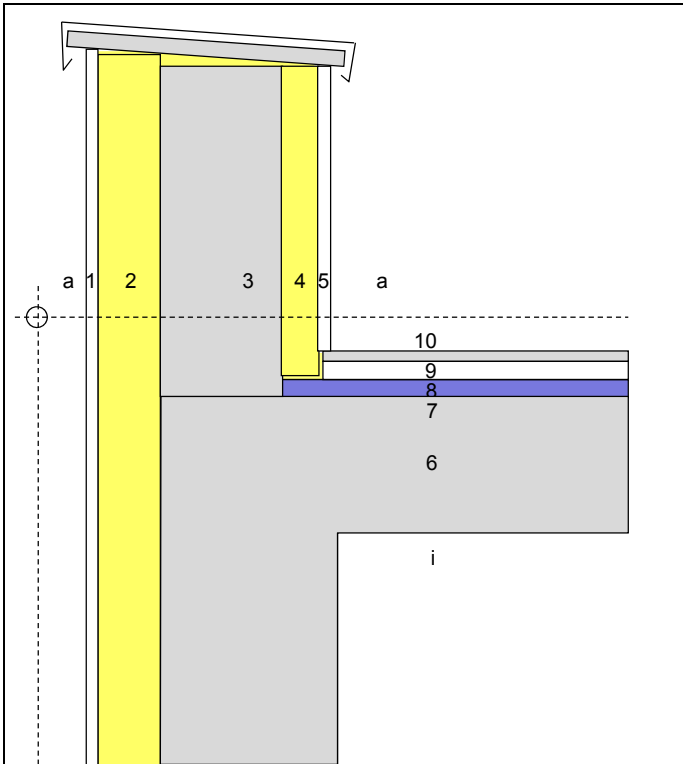
Verwendete Abkürzungen: ± = Variierter Parameter

2.8 Dachterrasse

2.8.1 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
11	Vorsatzelement	1.0	0.80
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

2.8.2 Ergebnis

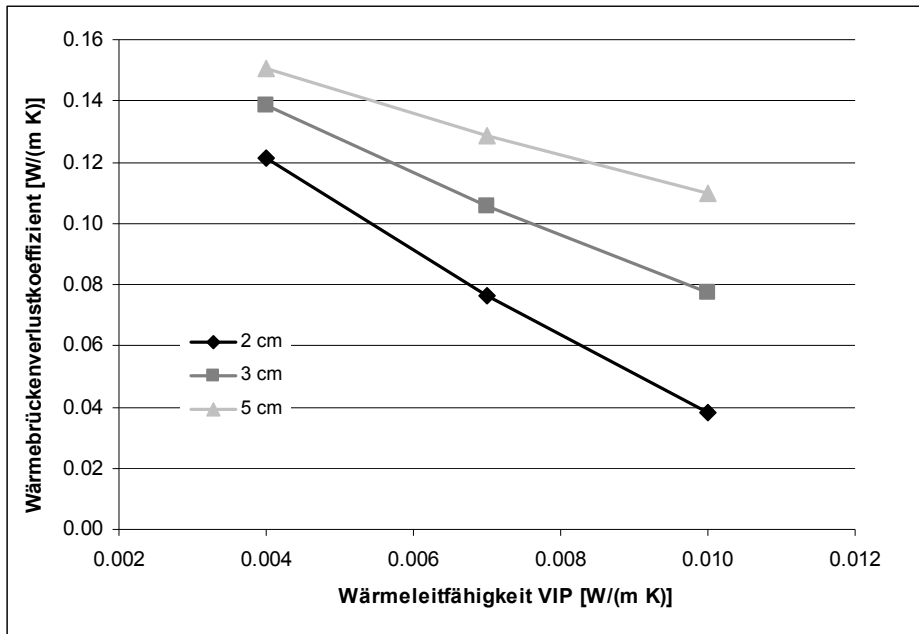


Bild 13 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Dämmung der Dachterrasse (y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (x-Achse) und der Dicke des VIP

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

2.9 Stirndämmung

2.9.1 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	Vorsatzelement	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
11	Putz	1.0	0.87
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

2.9.2 Ergebnis

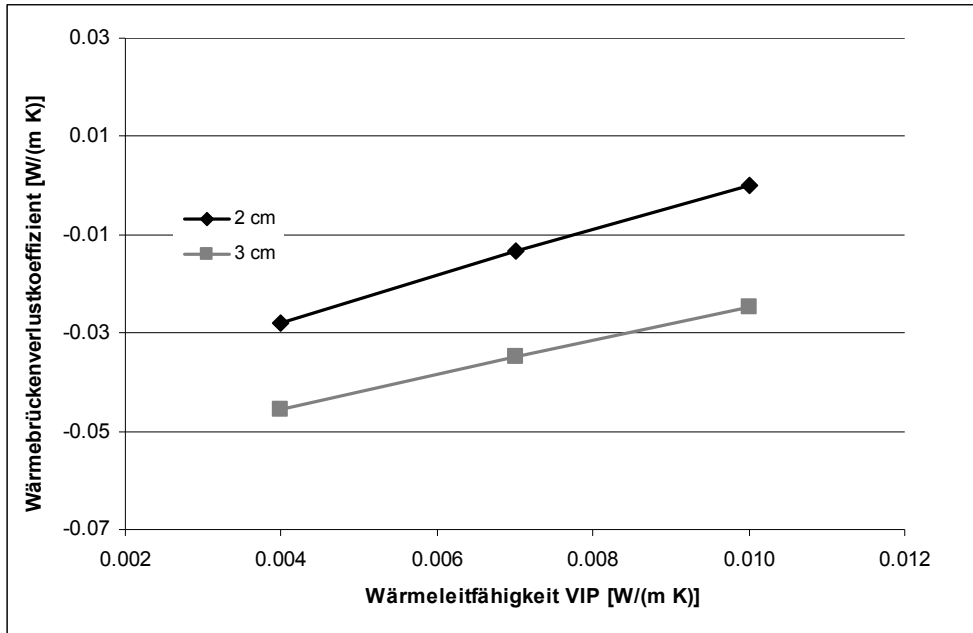


Bild 15 Linienförmige Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Stirndämmung der Decke (Y-Achse) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (X-Achse) und der Dicke des VIP

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