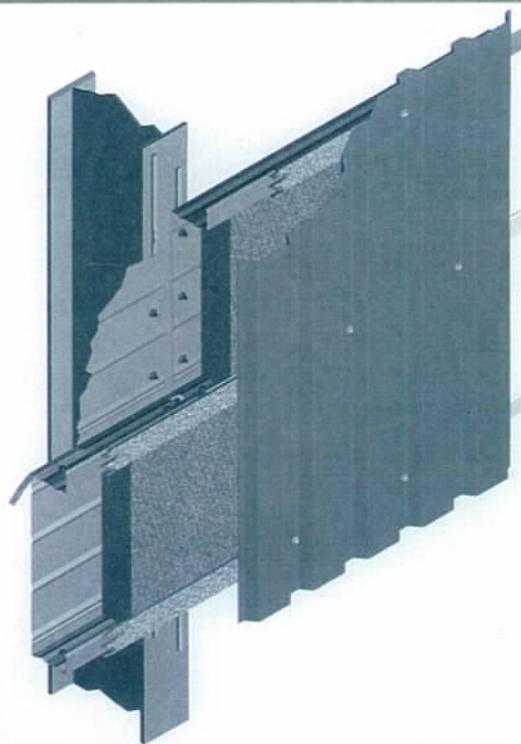


Ihr starker Partner für einen starken Baustoff

Bauphysik



Ermittlung der Wärmeverluste
an zweischaligen
Dach- und Wandaufbauten

Bauphysik

Ermittlung der Wärmeverluste an zweischaligen Dach- und Wandaufbauten

Juli 2003

Dipl.-Ing. Tobias Loose
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Helmut Saal

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine

Universität Karlsruhe (TH)

Kaiserstraße 12

D-76128 Karlsruhe

Telefon 07 21/608-22 15 · Telefax 07 21/608-40 78

Inhalt

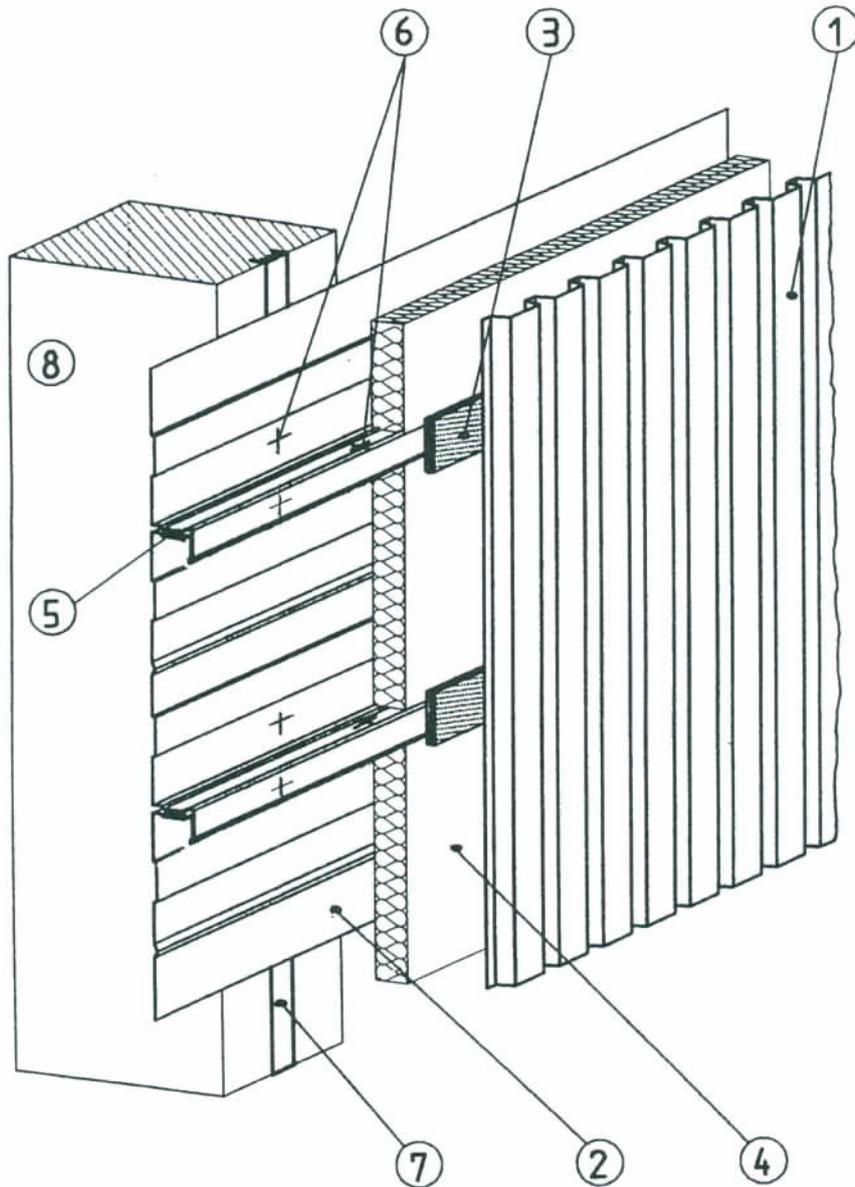
1	Einleitung	5
2	Anwendungsbereich	8
3	Wandaufbauten	9
3.1	Allgemeines	9
3.2	Grundlagen und Voraussetzungen	9
3.3	Erläuterungen zu den einzelnen Nomogrammen	10
3.4	Beispiel	10
3.5	Nomogramme	11
4	Dachaufbauten	12
4.1	Grundlagen und Voraussetzungen	12
4.2	Erläuterungen zu den einzelnen Nomogrammen	12
4.3	Beispiel	13
4.4	Nomogramme	14
5	Optimierung der Wärmedämmung von Dach- und Wandaufbauten	15
5.1	Einleitung	15
5.2	Optimierung der Wärmedurchlaßwiderstände	15
5.3	Einfluß der Variation parallel geschalteter Widerstände	16
5.4	Beispiel	17
6	Nomenklatur	19
7	Danksagung	20
8	Schrifttum	21
9	Anhang (Kopiervorlagen)	22

1 Einleitung

Im Leichtbau werden mehrschalige wärmege-
dämmte Wandkonstruktionen (Abbildung 1)
und Dachkonstruktionen (Abbildung 2) einge-
setzt. Bei diesen Konstruktionen sind
konstruktionsbedingt Wärmebrücken vorhan-
den. Nach der Energieeinsparverordnung
2002 [ENEV02] sind diese Wärmebrücken bei
der Berechnung der Wärmeverluste zu
berücksichtigen. In der Schwedischen Norm
SS 02 42 30 ist ein Verfahren geregelt, mit
dem der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient
(U_m) unter Berücksichtigung der Wärme-
brücken ermittelt werden kann. Der Wärme-
strom wird dabei in Teilwärmeströme aufge-
gliedert. Für jeden Teilwärmestrom werden die
zugehörigen Teilwiderstände ermittelt. Der Ge-
samtwärmewiderstand setzt sich aus den Teil-
widerständen zusammen. Analog zu Schalt-
kreisen elektrischer Widerstände sind bei den
Wärmedurchlaßwiderständen Parallel- und
Reihenschaltung zu beachten.

Das Verfahren nach der Schwedischen Norm
liefert annähernd exakte Werte; es ist jedoch
sehr aufwendig. Im Rahmen von Forschungs-
vorhaben [SAAL02], [LOOSE03a] wurden
Nomogramme zur näherungsweise Ermittlung
des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten
für fünf mögliche Wandkonstruktionen und zwei
mögliche Dachkonstruktionen entwickelt:

- Zweischalige wärmege-
dämmte Trapezprofil-
wand oder Kassettenwand mit einseitig an-
geordnetem Trennstreifen (Abbildung 3)
- Zweischalige wärmege-
dämmte Trapezprofil-
wand mit doppelseitig angeordnetem Trenn-
streifen (Abbildung 4)
- Zweischalige wärmege-
dämmte Trapezprofil-
wand oder Kassettenwand mit vorgehängter
Dämmschicht (Abbildung 5)
- Zweischalige wärmege-
dämmte Kassetten-
wand mit zusätzlichem Distanzprofil und
einseitig angeordnetem Trennstreifen (Ab-
bildung 6)
- Einschalige wärmege-
dämmte Trapezprofil-
wand auf massivem Untergrund (Abbildung
7) auch mit justierbaren Unterkonstruktionen
z.B. aus zweiteiligen Winkeln
- Zweischaliges wärmege-
dämmtes Dach mit
Distanzprofil und einseitig angeordnetem
Trennstreifen (Abbildung 8)
- Zweischaliges wärmege-
dämmtes Dach mit
Distanzprofil und beidseitig angeordnetem
Trennstreifen (Abbildung 9)



Legende:

- 1 – Außenschale Trapezprofil
- 2 – Innenschale Kassettenprofil
- 3 – Trennstreifen
- 4 – Dämmung
- 5 – Dichtung
- 6 – Verbindungselemente
- 7 – Stahlprofil
- 8 – Unterkonstruktion (Stütze)

Abbildung 1: Aufbau einer wärmegeämmten Kassettenwand [IFBS 308]

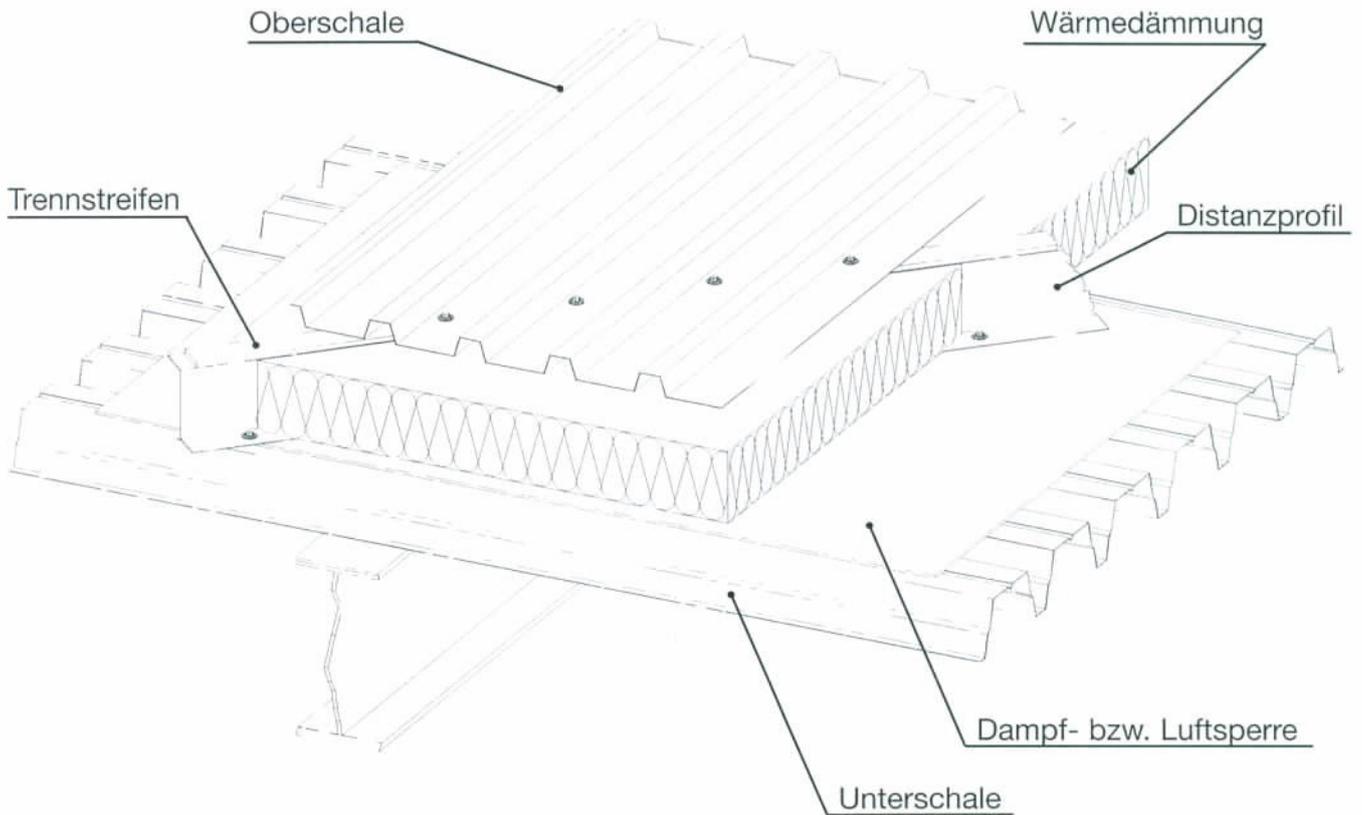


Abbildung 2: Aufbau eines zweischaligen gedämmten Trapezprofildaches

Ergänzend wurde ein Arbeitsblatt entwickelt, mit dem die Teilwiderstände der einzelnen Baugruppen bestimmt werden können, so dass mit dieser Analyse des Wärmestromes die Konstruktionen wärmedämmtechnisch optimiert werden können [LOOSE03b].

Somit hat der Anwender die Möglichkeit, ohne großen Rechenaufwand Wärmeschutznachweise auf der sicheren Seite liegend für Leichtbaukonstruktionen mit diesen Dach- und Wandaufbauten zu führen und zu optimieren.

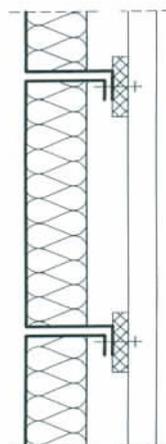


Abbildung 3

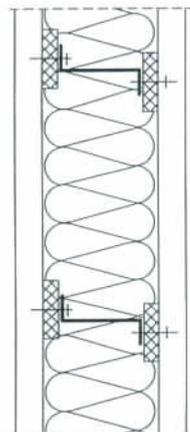


Abbildung 4

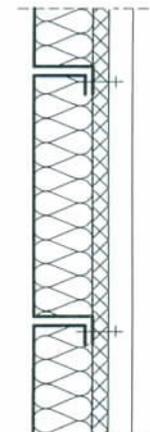


Abbildung 5

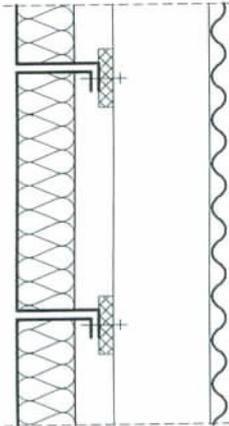


Abbildung 6

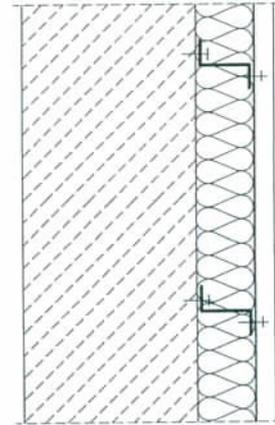


Abbildung 7

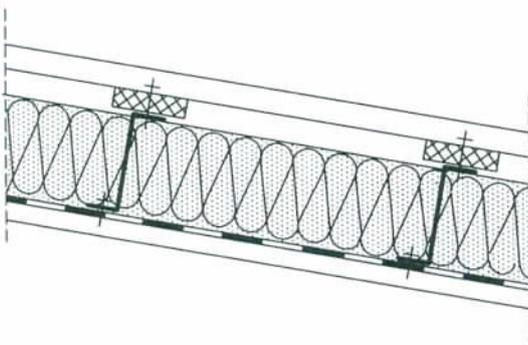


Abbildung 8

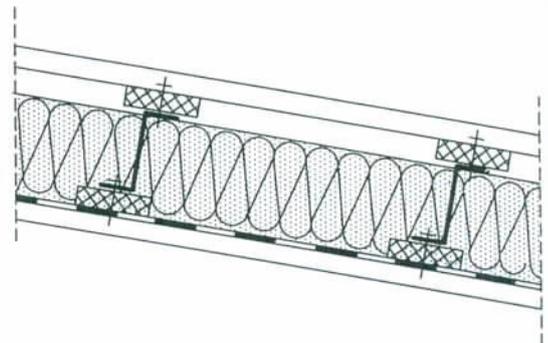


Abbildung 9

2 Anwendungsbereich

Die im folgenden vorgestellten Nomogramme sind anwendbar für Wandkonstruktionen mit folgendem Wertebereich der Abmessungen:

Blechdicke der Innenschale
0,75 - 2,00mm, Stahl

Blechdicke der Außenschale
0,50 - 2,00mm, Aluminium oder Stahl

Blechdicke des Distanzprofils
1,00 - 3,00mm, Stahl

Flanschbreite und Trennstreifenbreite
20 - 100mm

Höhe Distanzprofil und Dämmung
80 - 300mm

Trennstreifendicke
5 - 30mm

vorgehängte Dämmschicht
5 - 50mm

Wärmeleitfähigkeit Trennstreifen
0,03 - 0,15W/(mK)

Wärmeleitfähigkeit Wärmedämmung
0,025 - 0,05W/(mK)

Abstand Distanzprofil 0,4m - 2,0m

Verbindungselemente je m² 1 - 5VE/m²

Gewindedurchmesser Verbindungselemente
4 - 10mm

Dicke der massiven Wand 0,175 - 0,49m

Bei zweischaliger Kassettenwand mit zusätzlichem Distanzprofil beträgt die Baubreite der Kassette innen konstant 0,60m.

Beträgt die Blechdicke der Außen- oder Innenschale mehr als 1,25 mm so sind die U_m -Werte um 10% zu erhöhen, wenn mehr als 2,5 Verbindungselemente je Quadratmeter verwendet werden.

Aufgrund des Kühlrippeneffektes bei den stark hinterlüfteten Wandkonstruktionen muss die Dicke der Wärmedämmung so groß sein wie die Höhe des Distanzprofils.

Die Nomogramme sind anwendbar für Dachkonstruktionen mit folgendem Wertebereich der Abmessungen:

Blechdicke der Innenschale

0,75 - 2,00mm, Stahl

Blechdicke der Außenschale

0,50 - 1,25mm, Aluminium oder Stahl

Blechdicke des Distanzprofils

1,00 - 3,00mm, Stahl

Flanschbreite und Trennstreifenbreite

20 - 100mm

Höhe Distanzprofil und Dämmung

80 - 300mm

Trennstreifendicke

5 - 30mm

Wärmeleitfähigkeit Trennstreifen

0,03 - 0,17W/(mK)

Wärmeleitfähigkeit Wärmedämmung

0,025 - 0,05W/(mK)

Abstand Distanzprofil

0,4m - 3,5m

Verbindungselemente je m² 1 - 10VE/m²

Gewindedurchmesser Verbindungselemente

4 - 10mm

3 Wandaufbauten

3.1 Allgemeines

Zur Entwicklung der Nomogramme für die Wandaufbauten sind Parameterstudien durchgeführt worden, mit denen der Einfluß der Variation der Einzelparameter auf den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ermittelt und bewertet wurde [SAAL02]. Aus dieser Untersuchung ergab sich, welche Parameter konstant angenommen werden können, ohne dass hieraus ein signifikanter Fehler bei der Berechnung des Gesamtwiderstandes entsteht. Dabei hat sich gezeigt, dass zwischen der Verwendung der Werkstoffe Stahl oder Aluminium kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Wärmedurchgangskoeffizienten besteht. Die Nomogramme sind sowohl für reine Stahlkonstruktionen als auch für solche mit Aluminiumaußenschale anwendbar.

Die Nomogramme sind sowohl für Kassettenwände als auch für Trapezprofilwände gültig. Dem Distanzprofil entspricht der Kassettensteg.

3.2 Grundlagen und Voraussetzungen

Zur Berechnung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten wird die Wandfläche in gleiche Abschnitte, genannt repräsentative Flächen (A_R), unterteilt. Diese Abschnitte sind in vertikaler Richtung auf die Baubreite der Kasette oder den Abstand der Distanzprofile, in horizontaler Richtung auf den Abstand des Verbindungselementes, begrenzt. Die Flächen werden so gelegt, dass das Verbindungselement in Flächenmitte liegt. Somit ist in dieser Fläche genau ein Verbindungselement und ein Distanzprofil enthalten.

Innerhalb dieser Fläche sind drei Wärmeströme möglich:

- Innenschale - Distanzprofil - Verbindungselement - Außenschale
- Innenschale - Distanzprofil - Trennstreifen - Außenschale
- Innenschale - Wärmedämmung - Außenschale

Die Wärmeströme mit den zugehörigen Wärmedurchlaßwiderständen sind in Abbildung 10 erläutert.

R_1 : Widerstand gegen Längsleitung in der Außenschale / Innenschale

R_2 : Widerstand gegen Wärmefluß in Radialrichtung vom Verbindungselement in die Außenschale

R_3 : Widerstand gegen Wärmeleitung im Steg des Distanzprofils

R_4 : Widerstand im Verbindungselement

R_5 : Widerstand gegen den Wärmefluß vom Flansch des Distanzprofils in das Verbindungselement

R_6 : Widerstand gegen den Wärmefluß zwischen Flansch des Distanzprofils und der Außenschale ohne Berücksichtigung des Verbindungselementes

R_7 : Widerstand der Wärmedämmung

R_{si} : Widerstand des Wärmeübergangs an der Innenschale

R_{sa} : Widerstand des Wärmeübergangs an der Außenschale

Bei mehrmaligem Auftreten gleicher Widerstände kennzeichnet Index a den äußeren und Index i den inneren Widerstand; Index c steht für Wärmeleitung in einer anschließenden massiven Wand.

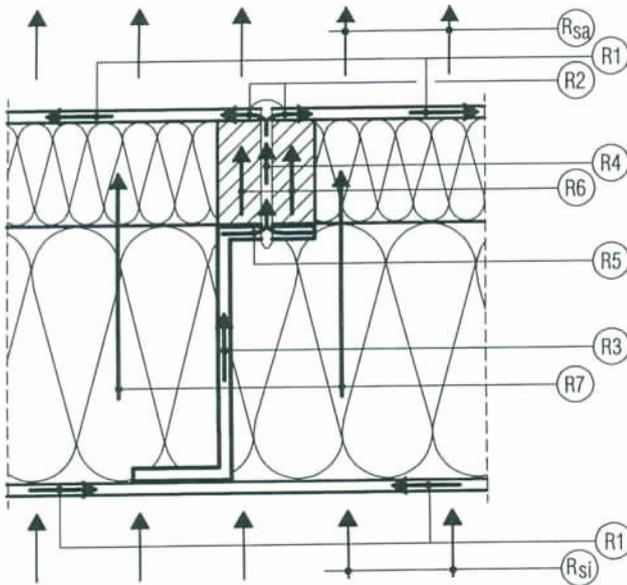


Abbildung 10: Skizze der Wärmeströme in der repräsentativen Fläche

Bei den betrachteten Konstruktionen handelt es sich nach DIN EN ISO 6946:1996-11 bei der vertikalen Luftschicht an der Außenschale um eine stark belüftete Luftschicht, da die Öffnungen zur Außenumgebung größer als $1500\text{mm}^2/\text{m}$ sind. Somit ist für die flächenbezogenen Wärmeübergangswiderstände $A_R \cdot R_{si} = A_R \cdot R_{sa} = 0,13(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ anzusetzen.

In den durchgeführten Parameterstudien hat sich gezeigt, dass Änderungen der Parameter für das Verbindungselement keinen signifikanten Einfluß auf den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten haben. Die Widerstände R_2 , R_4 und R_5 können somit bezogen auf eine durchschnittliche repräsentative Fläche von $0,40\text{m}^2$ in ausreichender Näherung zur Konstanten $A_R \cdot (R_2 + R_4 + R_5) = 31(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ zusammengefaßt werden.

Der Widerstand gegen Wärmeleitung in der Außen- und Innenschale ist verschwindend gering. Er wird daher nicht angesetzt ($R_1 = 0$). Eine Ausnahme ist bei der wärmegeprägten Trapezprofilwand auf massivem Untergrund gegeben. Hierbei ist der Widerstand gegen Wärmeleitung in der massiven Wand und der Widerstand gegen Wärmeleitung in der Außenschale nicht vernachlässigbar ($R_{1c} \neq 0$, $R_{1a} \neq 0$).

Mit den getroffenen Vereinfachungen ist es möglich, den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Konstruktion über die folgenden Parameter zu bestimmen: Geometrie und Wärmeleitfähigkeit des Trennstreifens, Abstand, Höhe und Blechdicke der Distanzprofile

sowie Wärmeleitfähigkeit und Dicke der Wärmedämmung.

3.3 Erläuterungen zu den einzelnen Nomogrammen

Die entwickelten Nomogramme enthalten jeweils vier Diagramme, in denen die maßgebenden Parameter zur Bestimmung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m der jeweiligen Konstruktion eingehen.

Im linken Viertel der Nomogramme sind die Berechnungsvorschriften für die Eingangsparameter angegeben. So geht beispielsweise nicht die tatsächliche Geometrie des Trennstreifens in die Berechnung ein, sondern ein Rechenwert ($\text{cal } b_{Tr}/d_{Tr}$), welcher die Flanschabmessung und die Komprimierbarkeit des Trennstreifens berücksichtigt [LUBI87] [LUBI89].

Die Diagramme sind gegen den Uhrzeigersinn, von Diagramm 1 bis Diagramm 4, zu durchlaufen. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient ergibt sich aus der Abszisse von Diagramm 4.

Unter den Diagrammen sind Hinweise zur Anwendung der Diagramme für die jeweilige Konstruktion und Einschränkungen für den Gültigkeitsbereich angegeben.

In den Nomogrammen sind als Verbindungsmittel nichtrostende Schrauben mit einem Gewindedurchmesser von $6,3\text{mm}$ berücksichtigt.

3.4 Beispiel

Für eine Kassettenwand soll der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt werden. Die Konstruktion hat folgende Abmessungen:

Kassette:

Baubreite $B = 600\text{mm}$

Obergurt $b_{Fl} = 38\text{mm}$ (bei unterschiedlichen Obergurtbreiten der größere Wert)

Steghöhe $h_s = 160\text{mm}$

Blechdicke $t = 0,75\text{mm}$, $\Rightarrow t_s = 2 \cdot t = 1,50\text{mm}$

Trennstreifen:

Nennbreite $b_{Tr} = 40\text{mm}$

Nenndicke $d_{Tr} = 10\text{mm}$, nicht komprimierbar

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Tr} = 0,04\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Wärmedämmung:

Dicke der Wärmedämmung $h_{Dä} = 160\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Dä} = 0,035\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Zunächst sind die Eingangswerte für die Diagramme zu bestimmen:

Die rechnerisch wirksame Breite des Trennstreifens beträgt 75% der Obergurtbreite, da der Trennstreifen breiter als der Obergurt ist. Die rechnerische Dicke des Trennstreifens ist gleich der Nenndicke, da der Trennstreifen nicht komprimierbar ist.

Diagramm 1:

cal $b_{Tr} = 0,75 \cdot b_{Fl} = 0,75 \cdot 38 = 28,5\text{mm}$
 cal $d_{Tr} = d_{Tr} = 10\text{mm}$
 cal $b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr} = 28,5 / 10 = 2,85$

Diagramm 2:

$B = 0,60\text{m}$

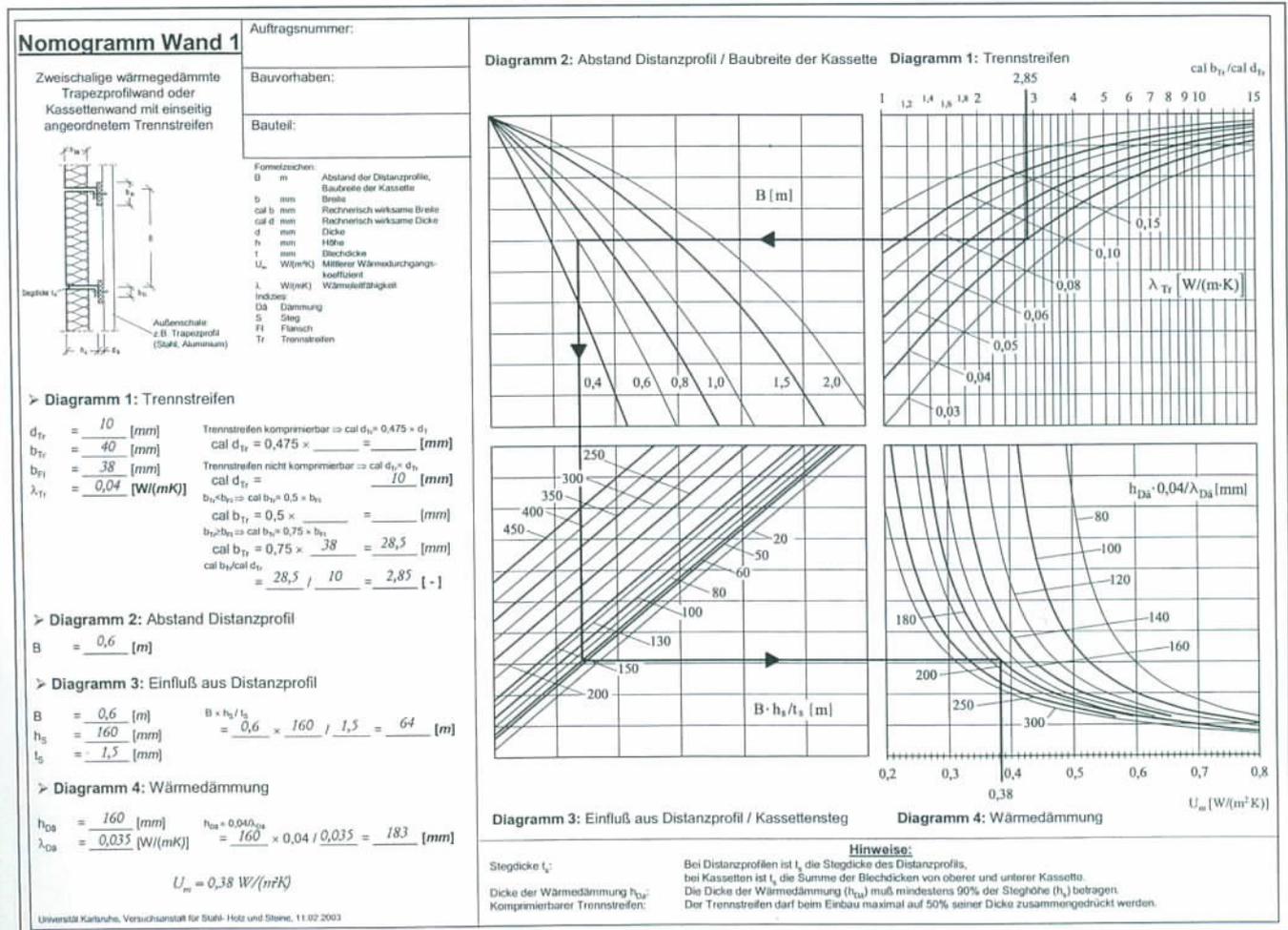
Diagramm 3:

$B \cdot h_s / t_s = 0,6\text{m} \cdot 160\text{mm} / 1,5\text{mm} = 64\text{m}$

Diagramm 4:

$h_{Dä} \cdot 0,04 / \lambda_{Dä} = 160\text{mm} \cdot 0,04 / 0,035 = 183\text{mm}$

Mit diesen Eingangswerten läßt sich der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient anhand des Nomogramms 1 wie nachfolgend skizziert bestimmen: $U_m = 0,38\text{W}(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



3.5 Nomogramme

Nomogramm Wand 1:

Zweischalige wärmegegedämmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit einseitig angeordnetem Trennstreifen

Nomogramm Wand 2: Zweischalige wärmegegedämmte Trapezprofilwand mit doppelseitig angeordnetem Trennstreifen

Nomogramm Wand 3: Zweischalige wärmegegedämmte Trapezprofil-

wand oder Kassettenwand mit vorgehängter Dämmschicht

Nomogramm Wand 4:

Zweischalige wärmegegedämmte Kassettenwand mit zusätzlichem Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen

Nomogramm Wand 5:

Einschalige wärmegegedämmte Trapezprofilwand auf massivem Untergrund

Die Nomogramme sind im Anhang abgedruckt.

4 Dachaufbauten

4.1 Grundlagen und Voraussetzungen

Dachaufbauten unterscheiden sich von Wandaufbauten durch abweichende Wärmeübergangskoeffizienten. Angesichts des Spektrums der physikalisch möglichen Werte werden die beim Nachweis der Vermeidung von Schimmelpilzbildung [DIN 4108-2:2001-03] gebräuchlichen Werte für die Wärmeübergangskoeffizienten angesetzt:

$$\alpha_i = 4\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\alpha_a = 25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Ein weiterer wichtiger Unterschied zu den Wandaufbauten besteht darin, dass mehr als 5 Verbindungselemente je m^2 vorhanden sein können. Die bei den Wandaufbauten getroffenen Annahmen $A_R R_{1i} = A_R R_{1a} = 0$ und $A_R (R_2 + R_4 + R_5) = 31(\text{mm}^2\text{K})/\text{W}$ ergeben bei einigen Dachkonstruktionen unbefriedigende Abweichungen vom exakten Wärmedurchgangskoeffizienten sowohl zur sicheren als auch zur unsicheren Seite.

Für die Dachaufbauten wurden weitere Parameterstudien durchgeführt [LOOSE03a]. Es wurde daraus ein Verfahren entwickelt, bei dem das Optimum zwischen maßgebenden und erforderlichen Parametern herausgearbeitet wurde. Die Variationsbreite der repräsentativen Fläche A_R wird dabei im Besonderen berücksichtigt. Somit läßt sich die Differenz zwischen angenähertem und exaktem Wärmedurchgangskoeffizienten verringern und die Wirtschaftlichkeit der Nomogramme steigern.

Die Parameterstudie ergab, dass folgende Parameter bei üblichen Dachkonstruktionen mit konstanten Werten angesetzt werden können. Diese Parameter entsprechen nicht der am häufigsten verwendeten Konstruktion, sondern sind so gewählt, dass mit ihnen der mögliche Wertebereich optimal abgedeckt ist:

Innenschale

Dicke	$t_i = 1,25\text{mm}$
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_i = 50\text{W}/(\text{mK})$

Außenschale

Dicke	$t_a = 0,75\text{mm}$
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_a = 160\text{W}/(\text{mK})$

Distanzprofil

Flanschbreite (nur für den Widerstand R_5 konstant, sonst variabel)	$b_{F1} = 0,60\text{mm}$
---	--------------------------

Stegdicke (nur für den Widerstand R_5 konstant, sonst variabel)	$t_S = 1,25\text{mm}$
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_S = 50\text{W}/(\text{mK})$

Verbindungselement

Radius	$r_{VE} = 3,15\text{mm}$
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{VE} = 15\text{W}/(\text{mK})$

Wärmeübergangskoeffizienten α

innen	$\alpha_i = 4\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
außen	$\alpha_a = 25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Für Konstruktionen mit diesen Parametern liefern die Nomogramme exakte Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten. Bei Konstruktionen mit anderen Abmessungen ist die Abweichung zwischen exaktem Wert und Nomogrammwert hinreichend gering.

4.2 Erläuterungen zu den einzelnen Nomogrammen

Zur Ermittlung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m müssen die Diagramme oder Gleichungen nach alphabetischer Reihenfolge bearbeitet werden. Dazu sind jedem Diagramm und jeder Gleichung Felder als kleine Hilfe zur Berechnung der benötigten Rechenwerte zugeordnet. Dies bedeutet, die Widerstände **R I** und **R II** sind mit Hilfe der Diagramme 1 und 2 zu bestimmen. Anschließend kann der Widerstand **R III** durch die Gleichung berechnet werden. Das Ergebnis ist sodann Eingangswert für das Diagramm 3. Der Ordinatenwert des Schnittpunktes mit dem entsprechenden Graphen ist zugleich der Ordinatenwert für das Diagramm 4. Der Schnittpunkt mit dem zugehörigen Graphen in dem Diagramm ergibt schließlich auf der Abszisse den Wert für den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m .

Ist kein Trennstreifen vorhanden, so ist Nomogramm Dach 1 anzuwenden. Bei der Ermittlung des Wärmedurchgangswiderstandes U_m entfallen die Diagramme 1 und 2, da die Trennstreifendicke d_{Tr} gleich Null zu setzen ist und der Widerstand **R I** Null ergibt. Somit kann der Widerstand **R III** direkt mit B [m] angenommen werden und als Eingangswert für Diagramm 4 dienen.

Werden Kassettenprofile als Innenschale verwendet, entfallen selbstverständlich die sonst vorhandenen Distanzprofile. Die Stegdicke t_S ist in diesem Fall die Summe der Blechdicken der nebeneinander liegenden Kassetten.

4.3 Beispiel

Abschließend wird an einem Beispiel die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_m unter Verwendung von Nomogramm Dach 1 erläutert. Eine Dachkonstruktion mit folgenden Parametern wird gewählt:

Länge der repräsentativen Fläche A_R $L = 0,17\text{m}$

Breite der repräsentativen Fläche A_R $B = 1,5\text{m}$

Innenschale

Dicke $t_i = 1,50\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_i = 50\text{W}/(\text{mK})$

Außenschale

Dicke $t_a = 0,75\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_a = 50\text{W}/(\text{mK})$

Distanzprofil

Stegdicke $t_S = 1,75\text{mm}$

Steghöhe $h_S = 200\text{mm}$

Flanschbreite $b_{FI} = 60\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_S = 50\text{W}/(\text{mK})$

Trennstreifen, komprimierbar

Dicke $d_{Tr} = 20\text{mm}$

Breite $b_{Tr} = 40\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Tr} = 0,06\text{W}/(\text{mK})$

Verbindungselement

Verbindungselemente pro $\text{m}^2 = 4$

Radius $r_{VE} = 3,15\text{mm}$

Rechnerische Länge des Verbindungselementes $l_{VE} = 10\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{VE} = 15\text{W}/(\text{mK})$

Wärmedämmung

Dicke $h_{Dä} = 200\text{mm}$

Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Dä} = 0,035\text{W}/(\text{mK})$

Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha = 1/R_s$

Innen $\alpha_i = 4\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

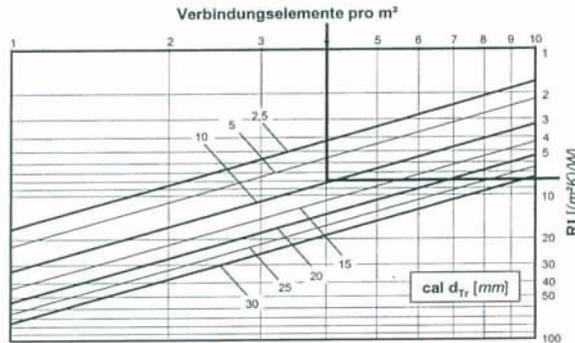
Außen $\alpha_a = 25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient, mit Hilfe von Nomogramm 1 ermittelt, beträgt:

0,26(m²K/W).

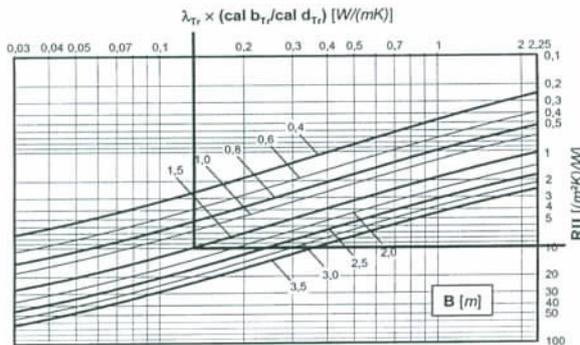
A) Diagramm 1:

$d_{Tr} = \frac{20}{4} [mm]$
 $VE/m^2 = \frac{20}{4} [-]$
 Trennstreifen komprimierbar $\Rightarrow cal d_{Tr} = 0,475 \times d_{Tr}$
 $cal d_{Tr} = 0,475 \times 20 = 9,5 [mm]$
 Trennstreifen nicht komprimierbar $\Rightarrow cal d_{Tr} = d_{Tr}$
 $cal d_{Tr} = 20 [mm]$



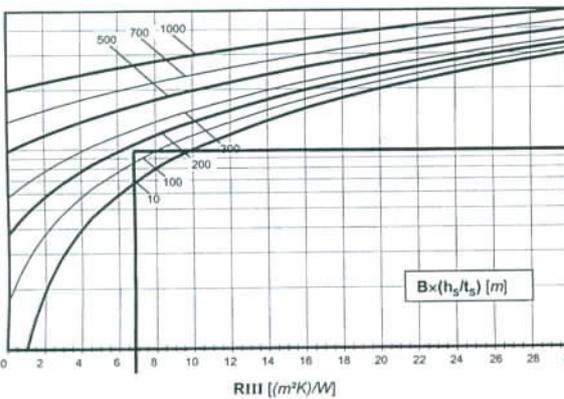
B) Diagramm 2:

$cal d_{Tr} = 9,5 [mm]$
 $b_{Tr} = 40 [mm]$
 $\lambda_{Tr} = 0,06 [W/(mK)]$
 $b_{FI} = 60 [mm]$
 $B = 1,5 [m]$
 $b_{Tr} < b_{FI} \Rightarrow cal b_{Tr} = 0,5 \times b_{Tr} = 20 [mm]$
 $cal b_{Tr} = 0,5 \times 40 = 20 [mm]$
 $b_{Tr} > b_{FI} \Rightarrow cal b_{Tr} = 0,75 \times b_{FI} = 45 [mm]$
 $cal b_{Tr} = 0,75 \times 60 = 45 [mm]$
 $\lambda_{Tr} \times (cal b_{Tr} / cal d_{Tr}) = 0,06 \times 20 / 9,5 = 0,13 [mm]$



D) Diagramm 3:

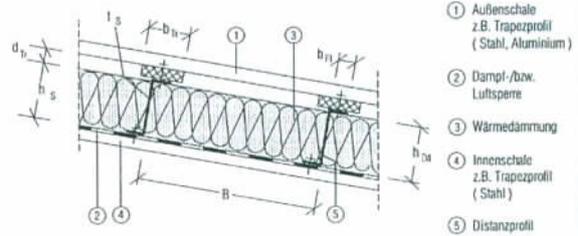
$B = 1,5 [m]$
 $h_s = 200 [mm]$
 $t_s = 1,75 [mm]$
 $B \times h_s / t_s = 1,5 \times 200 / 1,75 = 171 [m]$



Nomogramm Dach 1

Zweischaliges wärmedämmtes Dach mit Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen

Auftragsnummer: _____
 Bauvorhaben: _____
 Bauteil: _____



Hinweise:

- Zur Ermittlung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m müssen die Diagramme oder Gleichungen nach alphabetischer Reihenfolge bearbeitet werden.
- Ist kein Trennstreifen vorhanden, kann $RIII = B [m]$ angenommen werden.
- Komprimierbare Trennstreifen dürfen beim Einbau maximal auf 50% ihrer Dicke zusammengedrückt werden.
- Werden Kassettenprofile als Innenschale verwendet, entfallen die Distanzprofile. Die Stegdicke t_s ist in dem Fall die Summe der Blechdicken der nebeneinander liegenden Kasette.
- Die Dicke der Wärmedämmung h_{DA} muss mindestens 90% der Steghöhe h_s des Distanzprofils betragen.

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kasette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
l	mm	Blechdicke
U_m	$W/(m^2K)$	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	$W/(mK)$	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

DA	Dämmung
S	Steg
FI	Flansch
VE	Verbindungselement
Tr	Trennstreifen

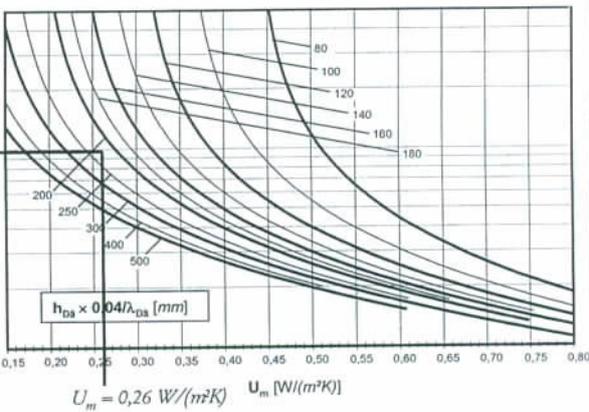
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe

C) Gleichung:

$RIII = \frac{RI \times RII}{RI + RII} + B [m] \times 1,0 [mK/W]$
 $RI = \frac{8}{10} [(m^2K)/W]$
 $RII = \frac{10}{1,5} [(m^2K)/W]$
 $B = 1,5 [m]$
 $RIII = \frac{8 \times 10}{8 + 10} + 1,5$
 $RIII = 6,7 [(m^2K)/W]$

E) Diagramm 4:

$h_{DA} = 200 [mm]$
 $\lambda_{DA} = 0,035 [W/(mK)]$
 $h_{DA} \times 0,04 / \lambda_{DA} = 200 \times 0,04 / 0,035 = 229 [mm]$



4.4 Nomogramme

Nomogramm Dach 1:

Zweischaliges wärmedämmtes Dach mit Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen.

Nomogramm Dach 2:

Zweischaliges wärmedämmtes Dach mit Distanzprofil und beidseitig angeordnetem Trennstreifen.

Die Nomogramme sind im Anhang abgedruckt.

5 Optimierung der Wärmedämmung von Dach- und Wandaufbauten

5.1 Einleitung

Aufgrund des komplexen Wärmestroms in den Wand- und Dachaufbauten ist es nicht möglich, auf den ersten Blick zu erkennen, mit welcher der folgenden Maßnahmen der Wärmeschutz am effektivsten verbessert werden kann. So wirken sich Verbesserungsmaßnahmen wie

- dickerer Trennstreifen,
- zweiter Trennstreifen,
- dickere Wärmedämmung, Wärmedämmung geringerer Wärmeleitfähigkeit,
- größerer Abstand der Distanzprofile,

je nach Konstruktion, und damit verbunden je nach bestehenden Wärmeströmen, mit unterschiedlichem Gewicht auf den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aus.

Beispielsweise ist der Einfluß des Trennstreifens auf den Wärmedurchgangskoeffizienten bei sehr großem Abstand der Distanzprofile und bei dicker Wärmedämmung nur noch gering.

Dem Anwender soll hiermit eine Entscheidungshilfe gegeben werden, mit welcher Maßnahme der Wärmeschutz einer Leichtbaukonstruktion am wirkungsvollsten optimiert werden kann. Dazu ist es notwendig, sich einen Überblick über die Wärmeströme in einer Leichtbaukonstruktion zu verschaffen und die Wärmedurchlaßwiderstände der einzelnen Bauteilgruppen zu ermitteln.

Das zur Optimierung entwickelte Arbeitsblatt [LOOSE03b] bezieht sich auf das zweisechalige wärmegeämmte Trapezprofildach mit einseitig angeordnetem Trennstreifen. Es kann für Optimierungszwecke näherungsweise auch für die anderen Konstruktionen hinzugezogen werden. Die Berechnung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten darf mit diesem Nogramm nur für die genannte Dachkonstruktion und mit hinreichender Genauigkeit auch für die zweisechalige wärmegeämmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit einseitig angeordnetem Trennstreifen erfolgen.

5.2 Optimierung der Wärmedurchlaßwiderstände

Abbildung 10 zeigt die möglichen Wärmeströme sowie die zugehörigen Teilwiderstände in den Bauteilabschnitten der nachfolgend betrachteten repräsentativen Fläche. Es bilden sich drei voneinander unabhängige Wärmeströme aus:

- Innenschale - Wärmedämmung - Außenschale
- Innenschale - Distanzprofil - Trennstreifen - Außenschale
- Innenschale - Distanzprofil - Verbindungselement - Außenschale

Diese Wärmeströme werden durch nachstehendes Widerstandsdiagramm (Abbildung 11) mit den Teilwiderständen beschrieben.

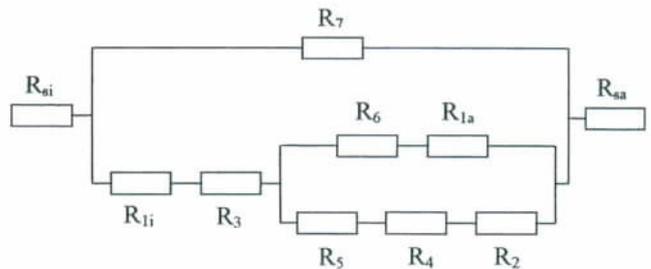


Abbildung 11: Widerstandsdiagramm

Zunächst können die Wärmeströme in zwei parallel laufende Hauptwärmeströme eingeteilt werden (Abbildung 12):

- Wärmeleitung durch die Wärmedämmung (R_7) und
- Wärmeleitung durch die Abstandshalterung (Summe R_1 bis R_6):

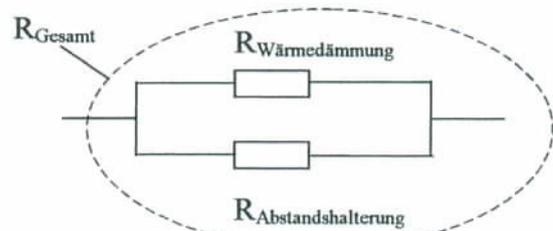


Abbildung 12: Hauptwärmeströme

Das Prinzip der Optimierung basiert auf folgendem Grundgedanken: Bei zwei parallel geschalteten unterschiedlich großen Durchflüssen kann der Gesamtdurchfluß am wirkungsvollsten verringert werden, wenn der größere Teildurchfluß reduziert wird. Beispiel: Bei einem Faß mit unterschiedlich großen Löchern wird zunächst das größte Loch abgedichtet, und man erhält eine merkbare Verringerung der Verluste.

Übertragen auf die Leichtbaukonstruktion sind die Bauteile hinsichtlich ihres Wärmedurchlaßwiderstandes optimal ausgelegt, wenn zwei parallel liegende Widerstände gleich groß sind. Nach Abbildung 12 sind dies der Wärmedurchlaßwiderstand der Abstandshalterung und der Wärmedurchlaßwiderstand der Wärmedämmung. Sind diese Wärmedurchlaßwiderstände unterschiedlich groß, so ist es am wirkungsvollsten, den kleineren der beiden Widerstände zu erhöhen. Wenn $R_{\text{Wärmedämmung}} > R_{\text{Abstandshalterung}}$ ist, so wirkt sich eine Verdoppelung des Trennstreifens oder eine Vergrößerung des Distanzprofilabstandes B erheblich mehr auf den Wärmedurchgangskoeffizienten aus als eine Verbesserung der Wärmedämmung.

Der Gesamtwiderstand ohne die Wärmeübergangskoeffizienten errechnet sich nach Gleichung (1):

$$\frac{1}{R_{\text{Gesamt}}} = \frac{1}{R_{\text{Wärmedämmung}}} + \frac{1}{R_{\text{Abstandshalterung}}} \quad (1)$$

Der Wärmedurchlaßwiderstand der Abstandshalterung setzt sich zusammen aus den in Reihe geschalteten Widerständen $R_{\text{Distanzprofil}}$ (R_{11} und R_{13}) und $R_{\text{thermische Trennung}}$ (R_{1a} , R_4 bis R_6). Da sie in Reihe geschaltet sind, werden diese Widerstände addiert:

$$R_{\text{Abstandshalterung}} = R_{\text{Distanzprofil}} + R_{\text{thermische Trennung}} \quad (2)$$

Bei zwei thermischen Trennstreifen kann vereinfachend der Widerstand $R_{\text{thermische Trennung}}$ doppelt angesetzt werden.

Im Bereich der thermischen Trennung verzweigt sich der Wärmestrom in die parallel laufenden Wärmedurchlaßwiderstände R_{Schraube} (R_2 , R_4 und R_5) und $R_{\text{Trennstreifen}}$ (R_{1a} und R_6):

$$\frac{1}{R_{\text{thermische Trennung}}} = \frac{1}{R_{\text{Schraube}}} + \frac{1}{R_{\text{Distanzprofil}}} \quad (3)$$

Abbildung 13 zeigt das Widerstandsdiagramm für die Abstandshalterung:

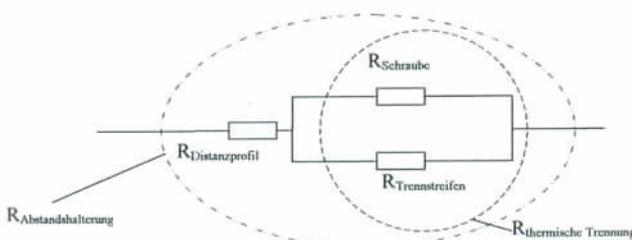


Abbildung 13: Widerstandsdiagramm Abstandshalterung

Der Widerstand R_{Schraube} ist abhängig von der Anzahl der Verbindungselemente pro m^2 und von der rechnerischen Länge der Verbindungselemente. Die Anzahl der Verbindungselemente pro m^2 ergibt sich aus den statischen Nachweisen und ist somit festgelegt. Die rechnerische Länge der Verbindungselemente ist gleich der rechnerischen Trennstreifendicke. Für die Wärmedurchlaßwiderstände R_{Schraube} und $R_{\text{Trennstreifen}}$ gilt ebenfalls, dass diese gleich groß sein sollen.

5.3 Einfluß der Variation parallel geschalteter Widerstände

Es ist nützlich, sich davon ein Bild zu machen, wie sich die relative Änderung eines von zwei parallel geschalteten Widerständen auf die Änderung des Gesamtwiderstandes auswirkt.

Für die parallel geschalteten Widerstände R_1 und R_2 gilt:

$$R = (1/R_1 + 1/R_2)^{-1} \quad (4)$$

Nach der Erhöhung von R_1 um ΔR_1 folgt für den Gesamtwiderstand:

$$R + \Delta R = (1/(R_1 + \Delta R_1) + 1/R_2)^{-1} \quad (5)$$

Mit den Abkürzungen $x = \Delta R_1/R_1$ für die relative Änderung des Widerstandes R_1 und $\beta = R_1/R_2$ für das Verhältnis der parallel geschalteten Widerstände R_1 und R_2 ergibt sich das als Effektivität η bezeichnete Verhältnis aus Änderung des Gesamtwiderstandes $\Delta R/R$ zur Änderung des Einzelwiderstandes $\Delta R_1/R_1$ wie folgt:

$$\eta = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta R_1}{R_1}} = \frac{1}{1 + \beta + x\beta} \quad (6)$$

Im nachfolgenden Diagramm ist die Effektivität η über dem Verhältnis $\beta = R_1/R_2$ aufgetragen. Der Kurvenparameter ist der Erhöhungsfaktor $x = \Delta R_1/R_1$. Bei sehr kleinem R_1/R_2 ist die Effektivität nahezu 1, bei großen R_1/R_2 wird auch durch große Steigerungen $\Delta R_1/R_1$ keine bemerkenswerte Steigerung des Gesamtwiderstandes erzielt. Die Effektivität konvergiert gegen Null. Die relative Steigerung des Gesamtwiderstandes $\Delta R/R$ ergibt sich aus $x \cdot \eta$ zu

$$\frac{\Delta R}{R} = \eta \cdot x = \frac{1}{1 + \beta + x\beta} \quad (7)$$

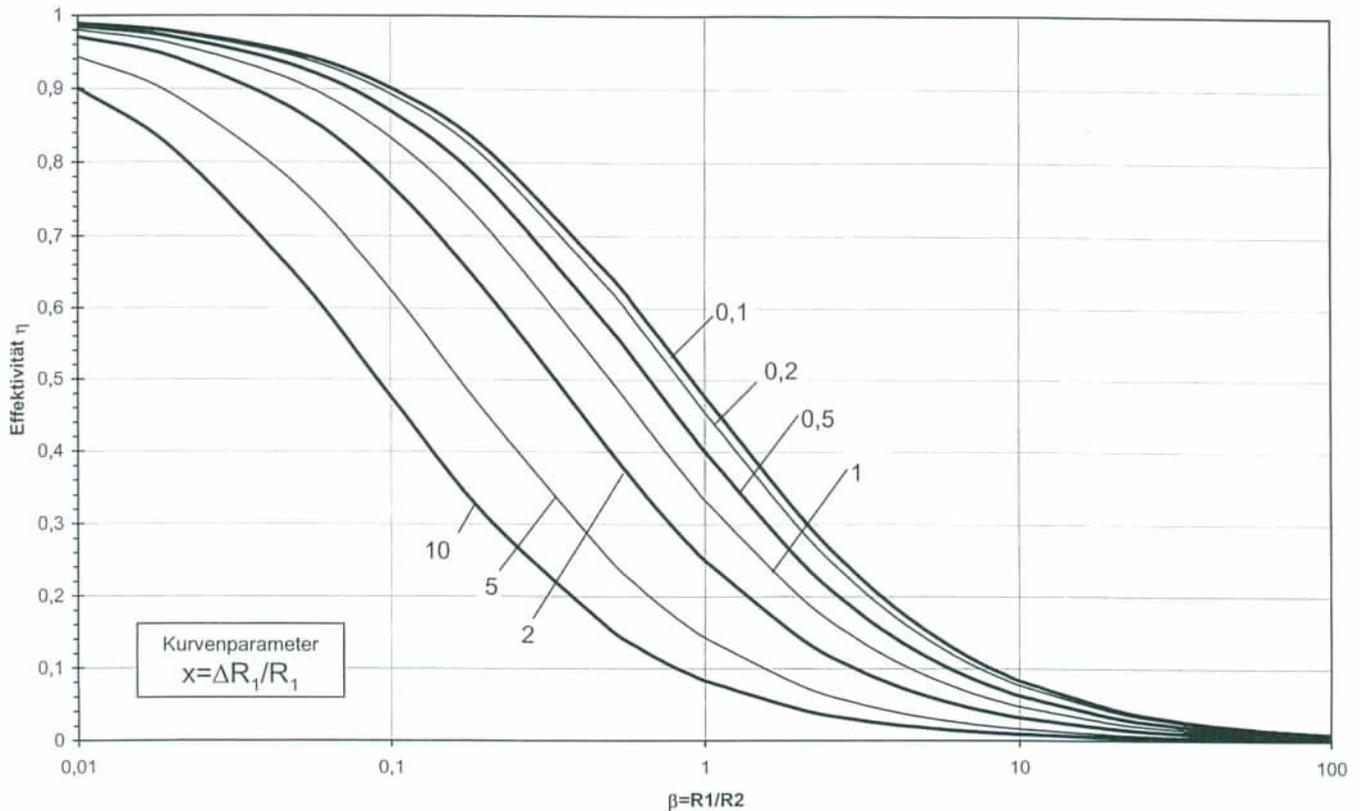


Abbildung 14: Effektivität der Widerstandserhöhung parallel geschalteter Widerstände

5.4 Beispiel

An einem Beispiel wird die Optimierung der Wärmedämmung erläutert. Es wird eine Dachkonstruktion eines zweischaligen wärmege-dämmten Daches mit Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen mit folgenden Parametern gewählt:

Abstand der Verbindungselemente $L = 0,4\text{m}$
 Abstand der Distanzprofile $B = 0,8\text{m}$

Innenschale

Dicke $t_i = 1,0\text{mm}$
 Wärmeleitfähigkeit (Stahl) $\lambda_i = 50\text{W}/(\text{mK})$

Außenschale

Dicke $t_a = 0,75\text{mm}$
 Wärmeleitfähigkeit $\lambda_a = 50\text{W}/(\text{mK})$

Distanzprofil

Stegdicke $t_S = 1,75\text{mm}$
 Steghöhe $h_S = 180\text{mm}$
 Flanschbreite $b_{FI} = 60\text{mm}$
 Wärmeleitfähigkeit $\lambda_S = 50\text{W}/(\text{mK})$

Trennstreifen, nicht komprimierbar

Dicke $d_{Tr} = 5\text{mm}$
 Breite $b_{Tr} = 60\text{mm}$
 Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Tr} = 0,06\text{W}/(\text{mK})$

Verbindungselemente, 5 VE pro m^2

Radius $r_{VE} = 3,15\text{mm}$
 Rechnerische Verbindungselementlänge $l_{VE} = 5\text{mm}$
 Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{VE} = 15\text{W}/(\text{mK})$

Wärmedämmung

Dicke $h_{Dä} = 180\text{mm}$
 Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{Dä} = 0,035\text{W}/(\text{mK})$

Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha = 1/R_s$

Innen $\alpha_i = 4\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
 Außen $\alpha_a = 25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Es werden die im Arbeitsblatt Wärmebrückenoptimierung (siehe Anhang) angegebenen Diagramme und Formeln verwendet.

Berechnung der rechnerischen Trennstreifenabmessungen:

$$\text{cal } b_{Tr} = 0,75 \cdot b_{FI} = 0,75 \cdot 60\text{mm} = 45\text{mm};$$

$$b_{Tr} > b_{FI}$$

$$\text{cal } d_{Tr} = d_{Tr} = 5,0\text{mm};$$

Trennstreifen ist nicht komprimierbar.

für 5 Verbindungselemente pro m^2 ergibt sich aus Diagramm 1:

$$R_{\text{Schraube}} = 4,2 (\text{m}^2\text{K})/\text{W}.$$

Mit $\lambda_{Tr} \cdot \text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr} = 0,06 \text{ W}/(\text{mK}) \cdot \frac{45 \text{ mm}}{5 \text{ mm}}$
 $= 0,54 \text{ W}/(\text{mK})$ und $B = 0,8 \text{ m}$ ist nach Diagramm 2:

$$R_{\text{Trennstreifen}} = 1,7 \text{ (m}^2\text{K)/W.}$$

Mit $\frac{h_S}{t_S} = \frac{180 \text{ mm}}{1,75 \text{ mm}} = 100 \text{ mm}$ und $B = 0,8 \text{ m}$

ist nach Diagramm 3:

$$R_{\text{Distanzprofil}} = 2,2 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$R_{\text{Abstandshalterung}} =$

$$R_{\text{Distanzprofil}} + \left(\frac{1}{R_{\text{Schraube}}} + \frac{1}{R_{\text{Trennstreifen}}} \right)^{-1}$$

Gl.2 + 3

$R_{\text{Abstandshalterung}} =$

$$2,2 + \left(\frac{1}{4,2} + \frac{1}{1,7} \right)^{-1} = 2,2 + 1,2 = 3,4 \text{ (m}^2\text{W)/K}$$

$$R_{\text{Wärmedämmung}} = \frac{h_{Dä}}{\lambda_{Dä}} = \frac{0,18 \text{ m}}{0,035 \text{ W}/(\text{mK})} = 5,1$$

Gl. Arbeitsblatt

$$U_m = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{R_{\text{Wärmedämmung}}} + \frac{1}{R_{\text{Abstandshalterung}}} \right)^{-1} + \frac{1}{\alpha_a} \right)^{-1}$$

Gl. Arbeitsblatt

$$U_m = \left(\frac{1}{4} + \left(\frac{1}{5,1} + \frac{1}{3,4} \right)^{-1} + \frac{1}{25} \right)^{-1} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Diese Konstruktion soll nun wärmedämmtechnisch verbessert werden. Da der Wärmedurchlaßwiderstand der Wärmedämmung größer ist als der Wärmedurchlaßwiderstand der Abstandshalterung, muß der Widerstand der Abstandshalterung vergrößert werden. Dazu gibt es drei Varianten:

- a) dickerer und schmalere Trennstreifen
- b) geringere Blechdicke der Distanzprofile
- c) größerer Distanzprofilabstand

Bei Variante a) wird der Widerstand des Verbindungselementes (R_{Schraube}) und der des Trennstreifens ($R_{\text{Trennstreifen}}$) erhöht, bei Variante b) wird der Widerstand des Distanzprofils ($R_{\text{Distanzprofil}}$) erhöht, bei c) die Widerstände Distanzprofil und Trennstreifen. Um die Effekte im einzelnen vergleichen zu können, werden die Verbesserungen der Varianten a) und b) betrachtet.

Variante a)

Gewählt: $b_{Tr} = 40 \text{ mm}$, $d_{Tr} = 20 \text{ mm}$
 $\lambda_{Tr} = 0,05 \text{ W}/(\text{mK})$, nicht komprimierbar.

Diagramm 1: $R_{\text{Schraube}} = 11 \text{ (m}^2\text{K)/W.}$

Wegen $b_{Tr} < b_{Fl}$ ist $\text{cal } b_{Tr} =$

$$0,5 \cdot b_{Fl} = 0,5 \cdot 60 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$\lambda_{Tr} \cdot \text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr} = 0,05 \text{ W}/(\text{mK}) \cdot \frac{30 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 0,15 \text{ W}/(\text{mK})$$

Diagramm 2: $R_{\text{Trennstreifen}} = 4,3 \text{ (m}^2\text{K)/W.}$

$R_{\text{Abstandshalterung}} =$

$$2,2 + \left(\frac{1}{11} + \frac{1}{4,3} \right)^{-1} = 2,2 + 3,1 = 5,3 \text{ (m}^2\text{W)/K}$$

$$U_m = \left(\frac{1}{4} + \left(\frac{1}{5,1} + \frac{1}{5,3} \right)^{-1} + \frac{1}{25} \right)^{-1} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient verringert sich um 19%.

Variante b)

Gewählt: $t_S = 1,0 \text{ mm}$, $\frac{h_S}{t_S} + \frac{180 \text{ mm}}{1,0 \text{ mm}} = 180 \text{ mm}$

Diagramm 3: $R_{\text{Distanzprofil}} = 3,5 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$R_{\text{Abstandshalterung}} =$

$$3,5 + \left(\frac{1}{4,2} + \frac{1}{1,7} \right)^{-1} = 3,5 + 1,2 = 4,7 \text{ (m}^2\text{W)/K}$$

$$U_m = \left(\frac{1}{4} + \left(\frac{1}{5,1} + \frac{1}{4,7} \right)^{-1} + \frac{1}{25} \right)^{-1} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) = 0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient verringert sich um 14%.

Welche Maßnahme realisierbar ist, hängt auch von der statischen Bemessung ab.

6 Nomenklatur

A_R	m^2	Repräsentative Fläche (= $L \times B$)	Indizes: a außen Dä Dämmung DP Distanzprofil Fl Flansch i innen m Mittelwert s Schale S Steg Tr Trennstreifen VE Verbindungselement W massive Wand
B	m	Breite der repräsentativen Fläche (Abstand der Distanzprofile)	
L	m	Länge der repräsentativen Fläche (Abstand der Verbindungselemente)	
Q	J	Wärmemenge	
R	$(m^2K)/W$	Wärmedurchlaßwiderstand (= $1/\Lambda$)	
R_s	$(m^2K)/W$	Wärmeübergangswiderstand (= $1/\alpha$)	
U_m	$W/(m^2K)$	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	
b	m	Breite	
cal b	m	Rechnerische wirksame Breite	
cal d	m	Rechnerische wirksame Dicke	
cal h	m	Rechnerische wirksame Höhe	
d	m	Dicke	
h	m	Höhe	
l_{VE}	m	Rechnerische Länge des Verbindungselementes	
n	-	Anzahl der Verbindungselemente innerhalb der repräsentativen Fläche	
q	W/m^2	Wärmestromdichte	
r	m	Radius, Ausstrahlungsradius	
s	m	Dicke	
t	m	Blechdicke	
Λ	$W/(m^2K)$	Wärmedurchlasskoeffizient	
α	$W/(m^2K)$	Wärmeübergangskoeffizient	
ϑ	$^{\circ}C$	Temperatur	
λ	$W/(mK)$	Wärmeleitfähigkeit	
σ	-	Standardabweichung	

7 Danksagung

Der vorliegende Sonderdruck faßt die Ergebnisse mehrerer Forschungsarbeiten zusammen, die auf Anregung des Arbeitskreises Wärmebrücken durchgeführt wurden. Der Arbeitskreis hat durch fruchtbare Diskussionen und Hinweise wesentlich die Richtung und das Ergebnis dieser Arbeit beeinflußt.

Für diese wertvolle Unterstützung durch kritische und praxisnahe Anregungen danken wir den Mitgliedern des Arbeitskreises, den Herren

Dipl.-Ing. Kf. Fick, Corus Bausysteme GmbH, Koblenz,

Dipl.-Ing. W. Fryn, Fischer Profil GmbH, Netphen-Deuz,

Dr.-Ing. Th. Kellner, Industrieverband für Bausysteme im Stahlleichtbau e. V., Düsseldorf, i. R.,

Dr.-Ing. A. Klinkenberg, Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Universität Karlsruhe,

Dipl.-Ing. F. Lubinski, LIB - Leichtbauingenieurbüro Brandt, Bonn,

Dipl.-Ing. W. Mader, Gesamtverband der Aluminiumindustrie e. V., Düsseldorf,

Dr.-Ing. R. Podleschny, Industrieverband für Bausysteme im Stahlleichtbau e. V., Düsseldorf,

Dipl.-Ing. A. Schmelzer, Alcan Deutschland GmbH, Göttingen und

Dipl.-Ing. M. Volz, Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Universität Karlsruhe

ganz herzlich.

Besonderer Dank an den Industrieverband für Bausysteme im Stahlleichtbau e. V., den Gesamtverband der Aluminiumindustrie e. V. und die Studiengesellschaft für Stahlanwendung e. V. für die Förderung des Forschungsvorhabens und die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse.

8 Schrifttum

- [BEUSL] Beuschlein, Jürgen: Wärmewiderstand bei zweischaligen Wandkonstruktionen, Vertieferarbeit am Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau der Universität Karlsruhe, 2000
- [ENEV02] Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energieeinsparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16. November 2001
- [GLÄSLE02] Gläsle, Mathias: Untersuchung der Wärmeverluste an zweischaligen Dachaufbauten in Leichtbauweise, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Universität Karlsruhe, 2002
- [LUBI87] Lubinski, Franz: Wärmeschutznachweis für Stahl-Kassettenwände, in: DDH Jahrgang 108 Heft 12, 1987, Seite 21-23
- [LUBI89] Lubinski, Franz: Der allgemein gültige Wärmeschutznachweis doppelschaliger Wandkonstruktionen aus Stahlblech, in: Bauphysik, Jahrgang 11, Heft 5, 1989, Seite 198-203
- [IFBS308] Stahlkassettenprofile, Verbindungen bei Stahlkassettenwänden, in: IFBS-Info 3.08, Januar 1997, Industrieverband zur Förderung des Bauens mit Stahlblech e. V., Düsseldorf
- [IFBS801] Richtlinie für die Montage von Stahlprofiltafeln für Dach-, Wand- und Deckenkonstruktionen, IFBS-Info 8.01, April 2002, Industrieverband zur Förderung des Bauens mit Stahlblech e. V., Düsseldorf
- [LOOSE03a] Loose, Tobias; Gläsle, Mathias; Saal, Helmut: Entwicklung von Berechnungshilfen zur Ermittlung der Wärmeverluste an zweischaligen Dachaufbauten in Leichtbauweise, Bericht 0211505-1 vom 14.02.2003, Versuchsanstalt für Stahl Holz und Steine, Universität Karlsruhe
- [LOOSE03b] Loose, Tobias; Saal, Helmut: Optimierung der Wärmedämmung zweischaliger Dach- und Wandaufbauten in Leichtbauweise, Bericht 0211505-2 vom 14.02.2003, Versuchsanstalt für Stahl Holz und Steine, Universität Karlsruhe
- [PETER] Peter, Wolfram: Untersuchungen zur Berechnung des Wärmewiderstandes von zweischaligen Dach- und Wandkonstruktionen in Stahlleichtbauweise, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau der Universität Karlsruhe, 1998
- [SAAL02] Saal, Helmut; Loose, Tobias: Ermittlung der Wärmeverluste an zweischaligen Wandaufbauten in Stahlleichtbauweise, Bericht 011506 vom 29.01.2002, Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau, Universität Karlsruhe
- Normen:
- DIN EN ISO 6946:1996-11
Bauteile, Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren
- DIN EN ISO 7345:1996-01
Wärmeschutz, Physikalische Größen und Definitionen
- DIN 4108-2:2001-03
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung; Anforderungen Hinweise für Planung und Ausführung Abschnitt 6.2: Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen, März 2001
- DIN V 4108-4:1998-10
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4 Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte
- SS 02 42 30: 1989-10-18
Svensk Standard, Värmeisolering - Plåtkonstruktioner med köldbryggor - Beräkning av värmemotstånd
(Wärmedämmung - Leichtbaukonstruktionen mit Wärmebrücken - Berechnung des Wärmewiderstandes)

9 Anhang

Nomogramm Wand 1:
Zweischalige wärmege­dämmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit einseitig angeordnetem Trennstreifen

Nomogramm Wand 2:
Zweischalige wärmege­dämmte Trapezprofilwand mit doppelseitig angeordnetem Trennstreifen

Nomogramm Wand 3:
Zweischalige wärmege­dämmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit vorgehängter Dämmschicht

Nomogramm Wand 4:
Zweischalige wärmege­dämmte Kassettenwand mit zusätzlichem Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen

Nomogramm Wand 5:
Einschalige wärmege­dämmte Trapezprofilwand auf massivem Untergrund

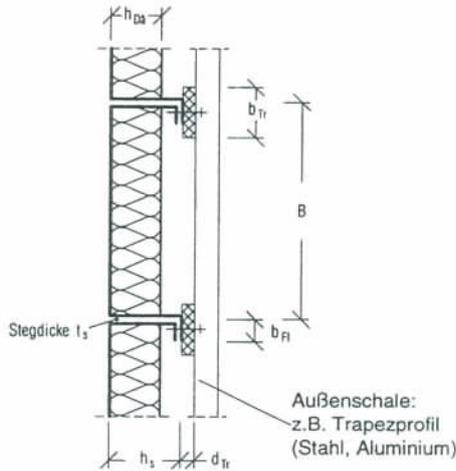
Nomogramm Dach 1:
Zweischaliges wärmege­dämmtes Dach mit Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen.

Nomogramm Dach 2:
Zweischaliges wärmege­dämmtes Dach mit Distanzprofil und beidseitig angeordnetem Trennstreifen.

Wärmebrückenoptimierung: Optimierung der Wärmedämmung am zweischaligen wärmege­dämmten Dach mit Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen.

Nomogramm Wand 1

Zweischalige wärmegeädmmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit einseitig angeordnetem Trennstreifen



Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile. Baubreite der Kasette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U_m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

D _a	Dämmung
S	Steg
Fl	Flansch
Tr	Trennstreifen

In den Diagrammen sind eingrahmt die

Kurvenparameter

angegeben.

➤ Diagramm 1: Trennstreifen

d_{Tr} = _____ [mm]

b_{Tr} = _____ [mm]

b_{Fl} = _____ [mm]

λ_{Tr} = _____ [W/(mK)]

Trennstreifen komprimierbar \Rightarrow cal $d_{Tr} = 0,475 \times d_{Tr}$

cal $d_{Tr} = 0,475 \times$ _____ = _____ [mm]

Trennstreifen nicht komprimierbar \Rightarrow cal $d_{Tr} = d_{Tr}$

cal $d_{Tr} =$ _____ [mm]

$b_{Tr} < b_{Fl} \Rightarrow$ cal $b_{Tr} = 0,5 \times b_{Fl}$

cal $b_{Tr} = 0,5 \times$ _____ = _____ [mm]

$b_{Tr} \geq b_{Fl} \Rightarrow$ cal $b_{Tr} = 0,75 \times b_{Fl}$

cal $b_{Tr} = 0,75 \times$ _____ = _____ [mm]

cal $b_{Tr}/cal d_{Tr}$

= _____ / _____ = _____ [-]

➤ Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

B = _____ [m]

➤ Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil

B = _____ [m]

h_S = _____ [mm]

t_S = _____ [mm]

$B \times h_S / t_S$

= _____ \times _____ / _____ = _____ [m]

➤ Diagramm 4: Wärmedämmung

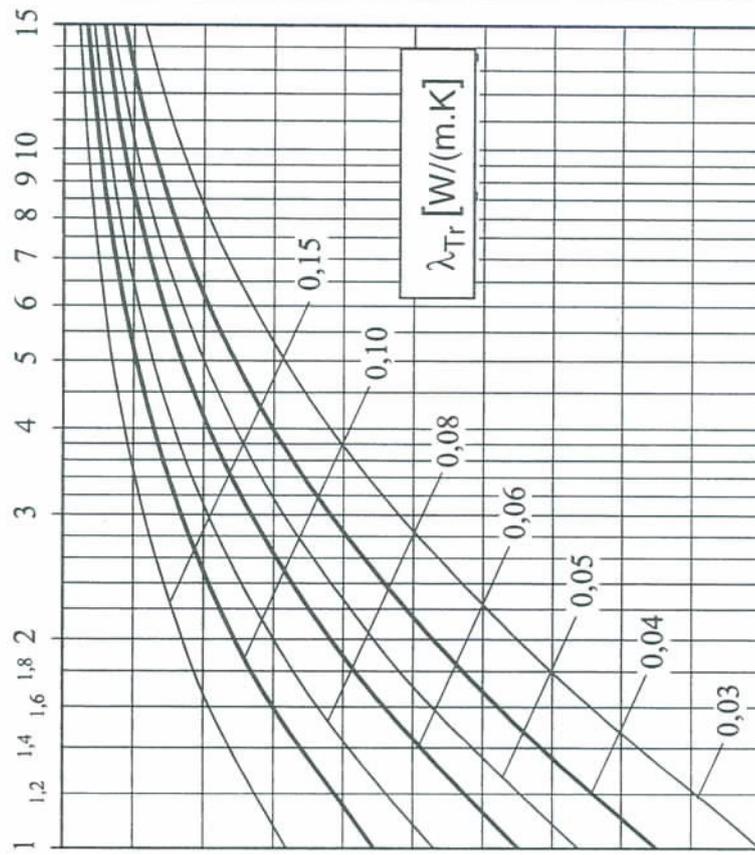
$h_{Dä}$ = _____ [mm]

$\lambda_{Dä}$ = _____ [W/(mK)]

$h_{Dä} \times 0,04 / \lambda_{Dä}$

= _____ \times 0,04 / _____ = _____ [mm]

Diagramm 2: Abstand Distanzprofil / Baubreite der Kassette **Diagramm 1:** Trennstreifen



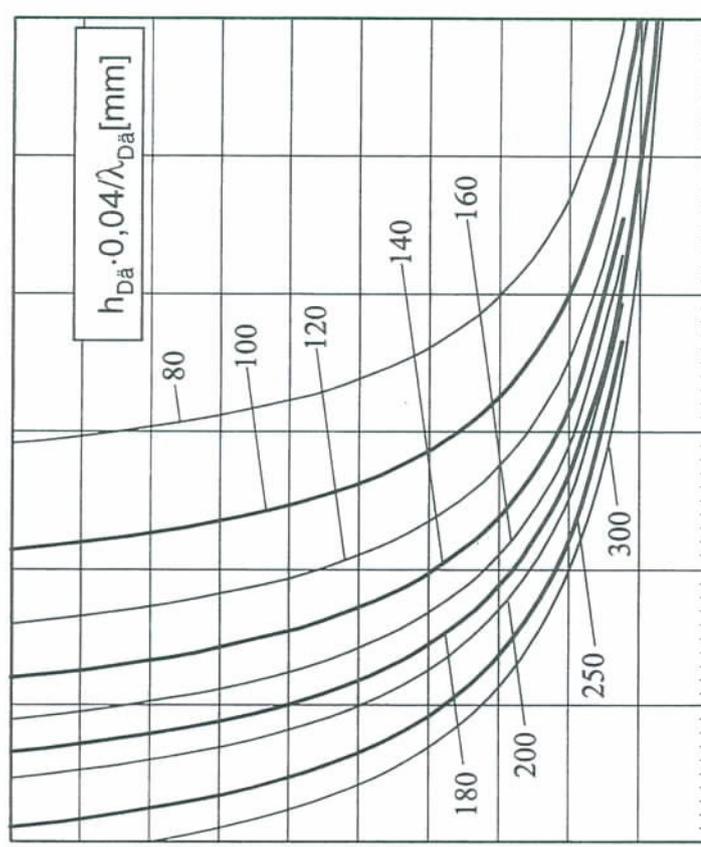
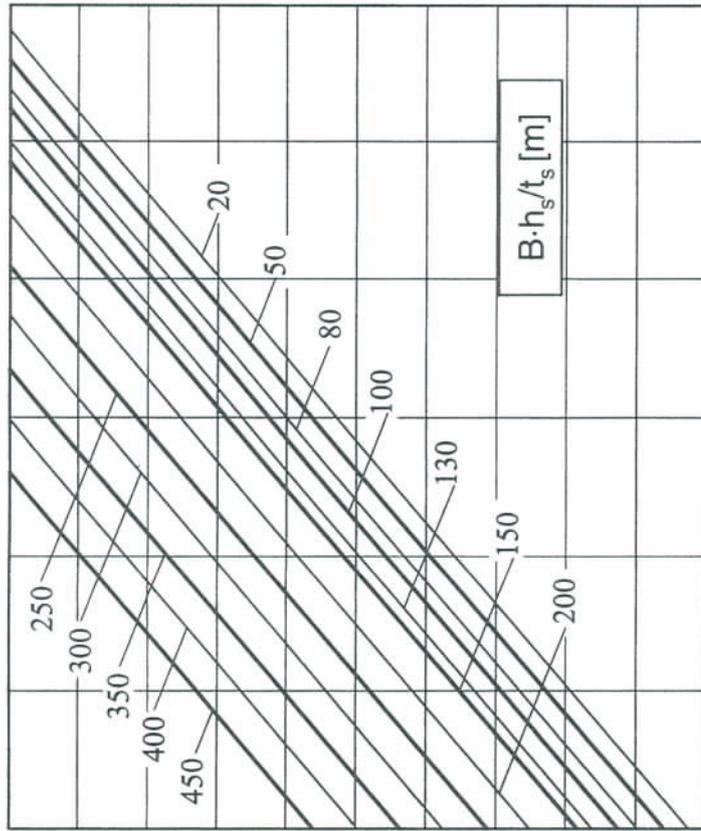


Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil / Kassettensteg

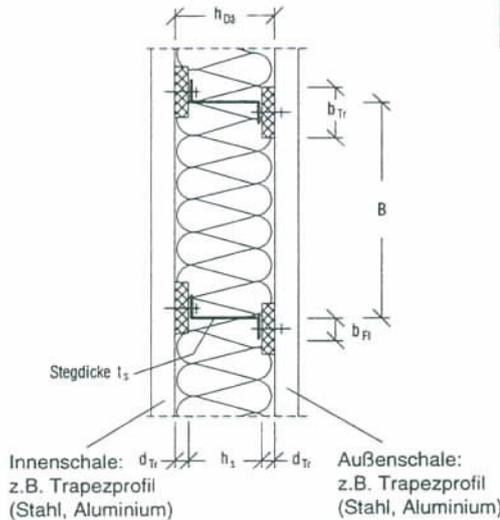
Diagramm 4: Wärmedämmung

Hinweise:

- Stegdicke t_s :
 - Dicke der Wärmedämmung $h_{Dä}$:
 - Komprimierbarer Trennstreifen:
- Bei Distanzprofilen ist t_s die Stegdicke des Distanzprofils,
 bei Kassetten ist t_s die Summe der Blechdicken von oberer und unterer Kasette.
 Die Dicke der Wärmedämmung ($h_{Dä}$) muß 100% der Steghöhe (h_s) betragen.
 Der Trennstreifen darf beim Einbau maximal auf 50% seiner Dicke zusammengedrückt werden.

Nomogramm Wand 2

Zweischalige wärmegeädmmte Trapezprofilwand mit beidseitig angeordnetem Trennstreifen



Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kassette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U_m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:
 D_ä Dämmung
 S Steg
 Fl Flansch
 Tr Trennstreifen

In den Diagrammen sind eingerahmt die

Kurvenparameter

angegeben.

➤ Diagramm 1: Trennstreifen

d_{Tr}	=	_____ [mm]	Trennstreifen komprimierbar \Rightarrow cal $d_{Tr} = 0,475 \times d_T$
b_{Tr}	=	_____ [mm]	cal $d_{Tr} = 0,475 \times$ _____ = _____ [mm]
b_{Fl}	=	_____ [mm]	Trennstreifen nicht komprimierbar \Rightarrow cal $d_{Tr} = d_{Tr}$
λ_{Tr}	=	_____ [W/(mK)]	cal $d_{Tr} =$ _____ [mm]
			$b_{Tr} < b_{Fl} \Rightarrow$ cal $b_{Tr} = 0,5 \times b_{Fl}$
			cal $b_{Tr} = 0,5 \times$ _____ = _____ [mm]
			$b_{Tr} \geq b_{Fl} \Rightarrow$ cal $b_{Tr} = 0,75 \times b_{Fl}$
			cal $b_{Tr} = 0,75 \times$ _____ = _____ [mm]
			cal $b_{Tr}/cal d_{Tr}$
			= _____ / _____ = _____ [-]

➤ Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

B = _____ [m]

➤ Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil

B	=	_____ [m]	$B \times h_s / t_s$
h_s	=	_____ [mm]	= _____ \times _____ / _____ = _____ [m]
t_s	=	_____ [mm]	

➤ Diagramm 4: Wärmedämmung

$h_{Dä}$	=	_____ [mm]	$h_{Dä} \times 0,04 / \lambda_{Dä}$
$\lambda_{Dä}$	=	_____ [W/(mK)]	= _____ \times 0,04 / _____ = _____ [mm]

Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

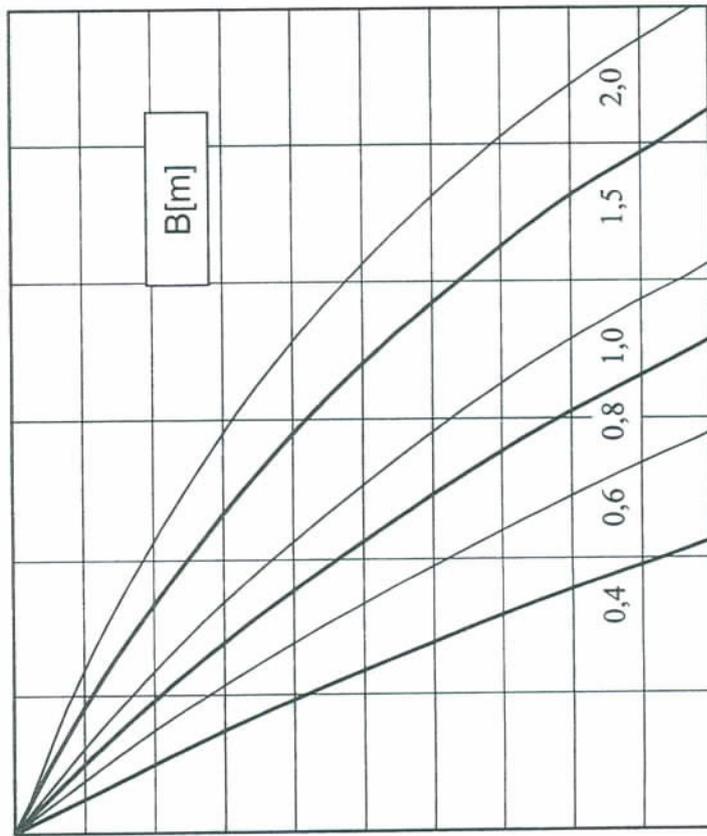
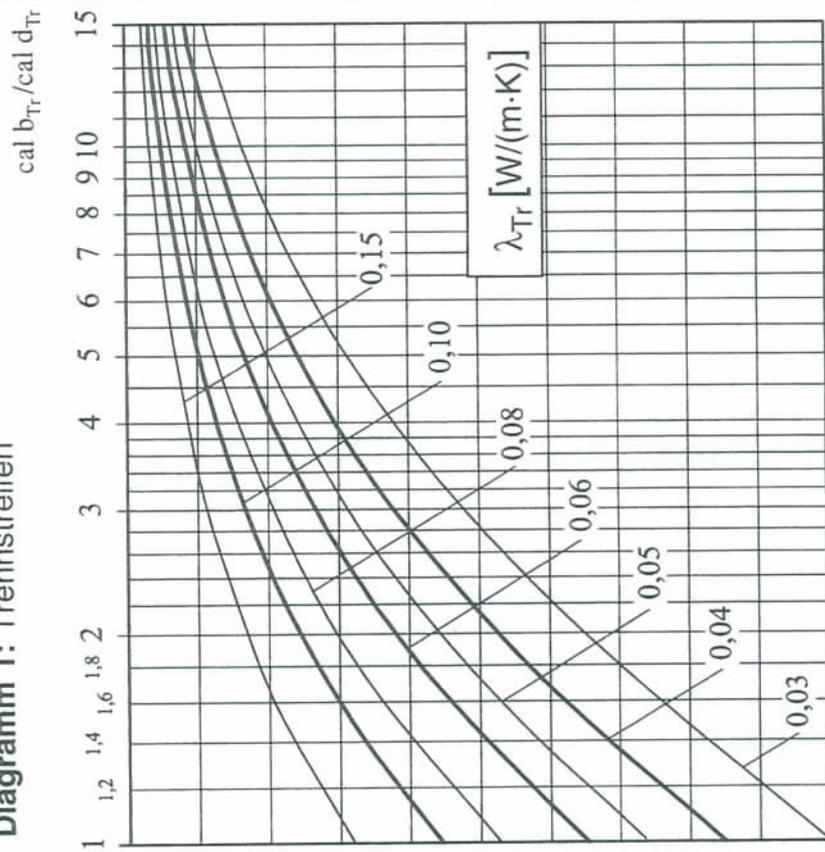


Diagramm 1: Trennstreifen



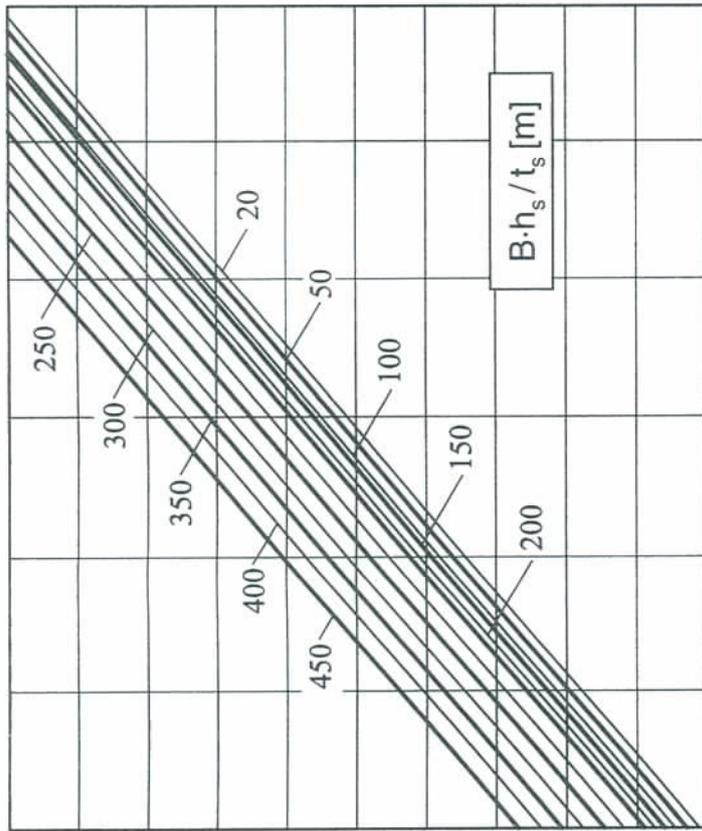


Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil

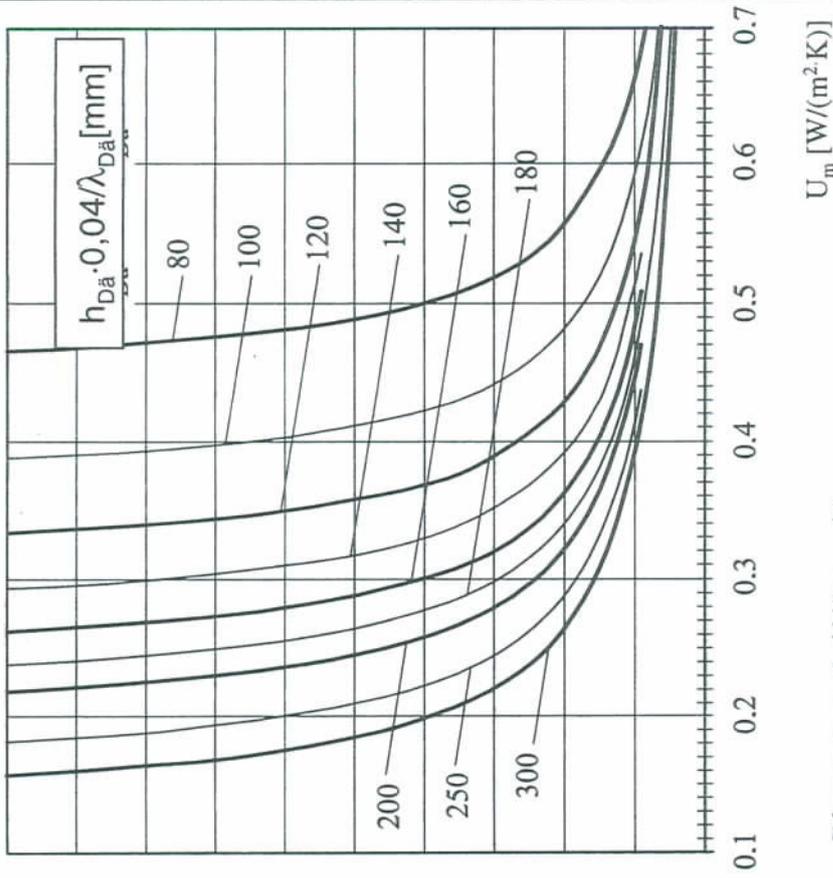


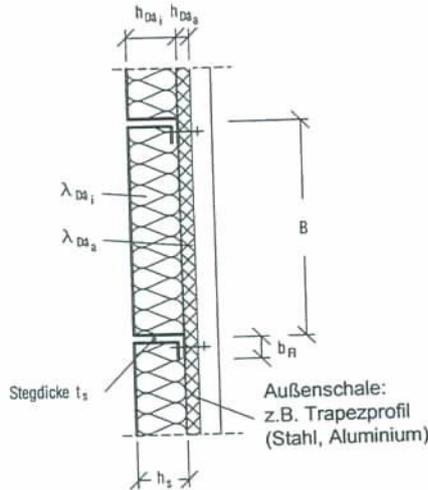
Diagramm 4: Wärmedämmung

Hinweise:

- Dicke des Trennstreifens d_{Tr} : Bei unterschiedlich dicken Trennstreifen ist für d_{Tr} die Dicke des dünneren Trennstreifens anzusetzen.
- Flanschbreite Distanzprofil b_{FI} : Bei unterschiedlichen Flanschbreiten des Distanzprofils ist für b_{FI} die Breite des breiteren Flansches anzusetzen.
- Dicke der Wärmedämmung h_{Da} : Die Dicke der Wärmedämmung (h_{Da}) muß 100% der Steghöhe (h_s) betragen.
- Komprimierbarer Trennstreifen: Der Trennstreifen darf beim Einbau auf maximal 50% seiner Dicke zusammengedrückt werden.

Nomogramm Wand 3

Zweischalige wärme gedämmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit vorgehängter Dämmschicht



Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kasette
b	mm	Breite
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U _m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

Dä	Dämmung	i	innen
S	Steg	a	außen
Fl	Flansch		
Tr	Trennstreifen		

In den Diagrammen sind eingerahmt die Kurvenparameter angegeben.

➤ Diagramm 1: Trennstreifen

$$h_{Daa} = \text{_____} [mm] \quad b_{Fl} / h_{Daa} = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [-]$$

$$b_{Fl} = \text{_____} [mm]$$

$$\lambda_{Daa} = \text{_____} [W/(mK)]$$

➤ Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

$$B = \text{_____} [m]$$

➤ Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil

$$B = \text{_____} [m] \quad B \times h_s / t_s = \text{_____} \times \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [m]$$

$$h_s = \text{_____} [mm]$$

$$t_s = \text{_____} [mm]$$

➤ Diagramm 4: Wärmedämmung

$$\text{cal } h_{Dä} = h_{Dai} \times 0,04 / \lambda_{Dai} + h_{Daa} \times 0,04 / \lambda_{Daa}$$

$$h_{Dai} = \text{_____} [mm] \quad = \text{_____} \times 0,04 / \text{_____} +$$

$$\lambda_{Dai} = \text{_____} [W/(mK)] \quad \text{_____} \times 0,04 / \text{_____} = \text{_____} [mm]$$

$$h_{Daa} = \text{_____} [mm]$$

$$\lambda_{Daa} = \text{_____} [W/(mK)]$$

Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

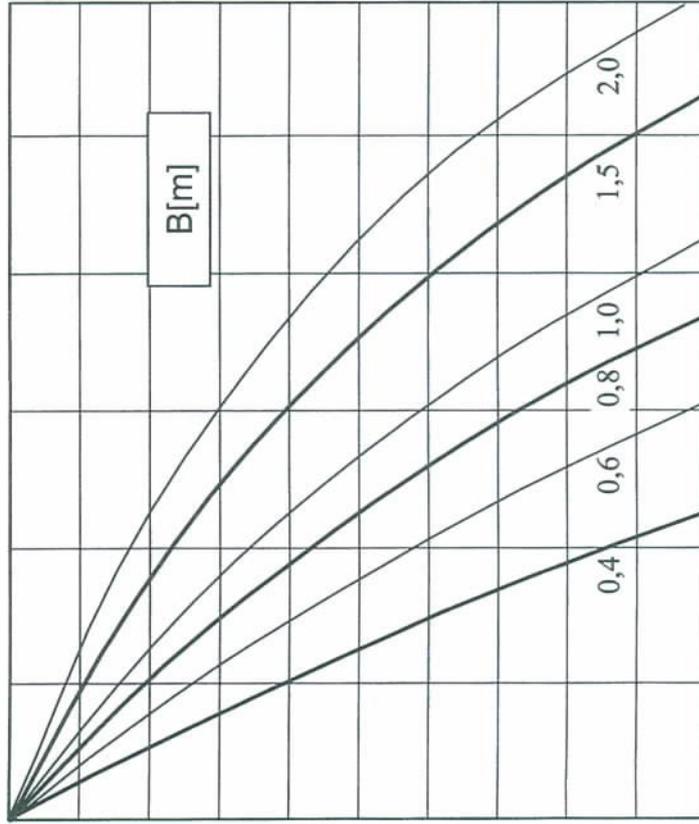
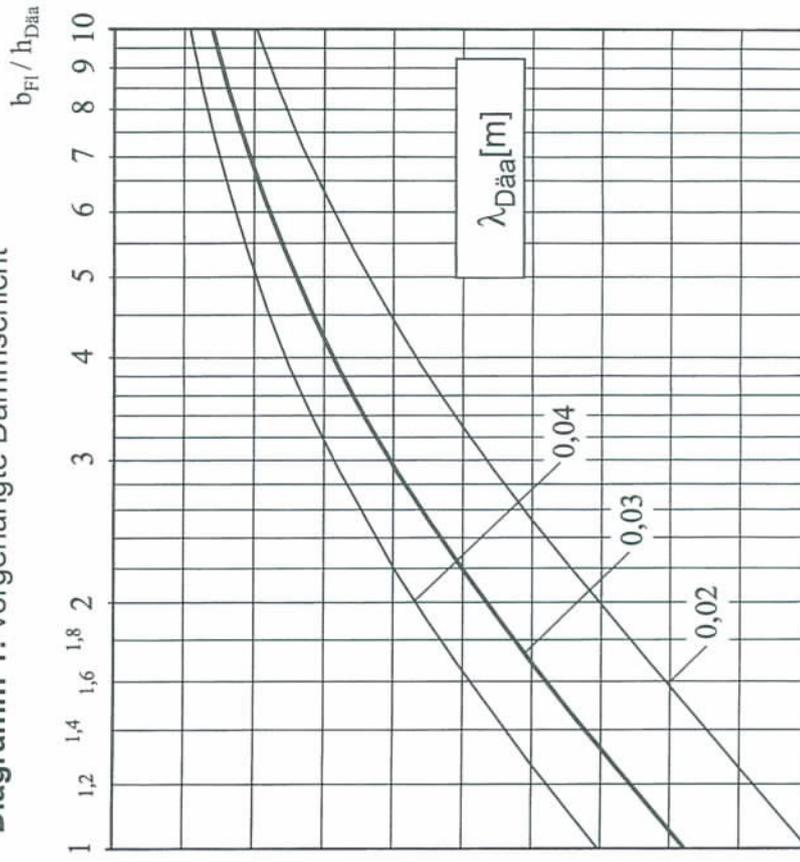


Diagramm 1: vorgehängte Dämmschicht



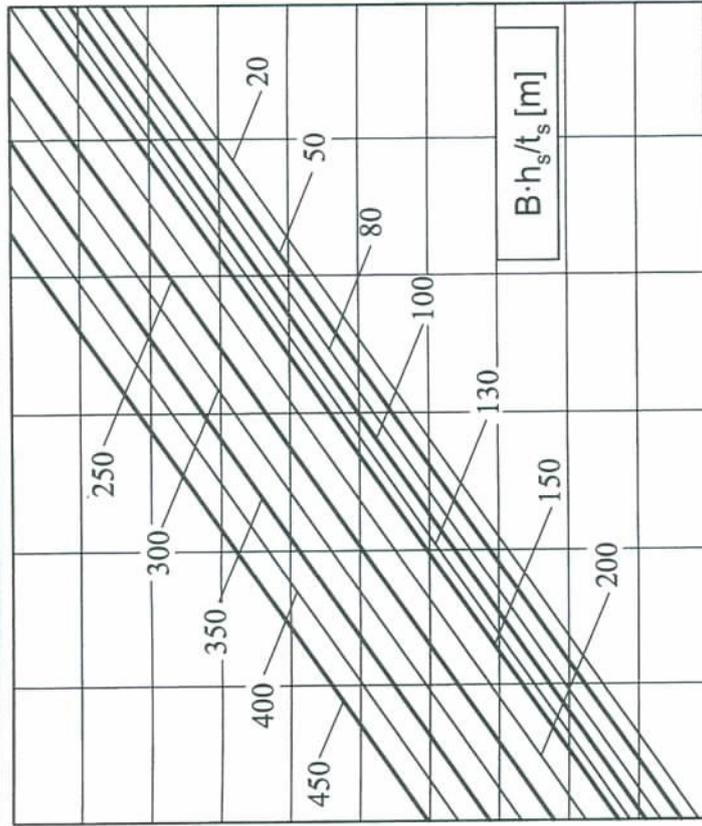


Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil / Kassettensteg

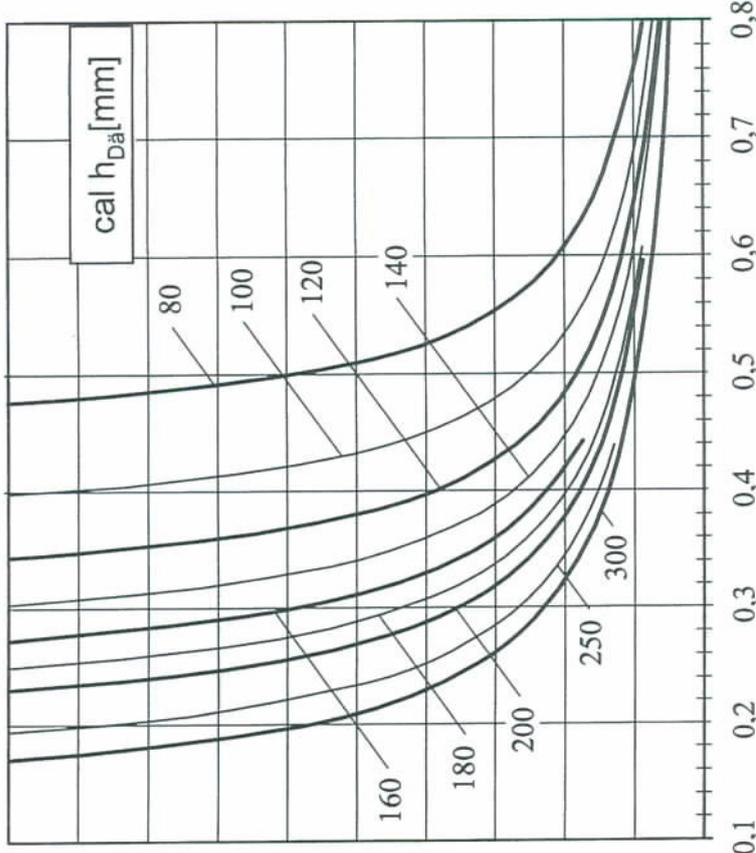


Diagramm 4: Wärmedämmung

Hinweise:

- Bei Distanzprofilen ist t_s die Stegdicke des Distanzprofils,
- bei Kassetten ist t_s die Summe der Blechdicken von oberer und unterer Kasette.
- Die Dicke der Wärmedämmung (h_{Dai}) muß 100% der Steghöhe (h_s) betragen.
- Die vorgehängte Dämmschicht darf nicht komprimiert werden.

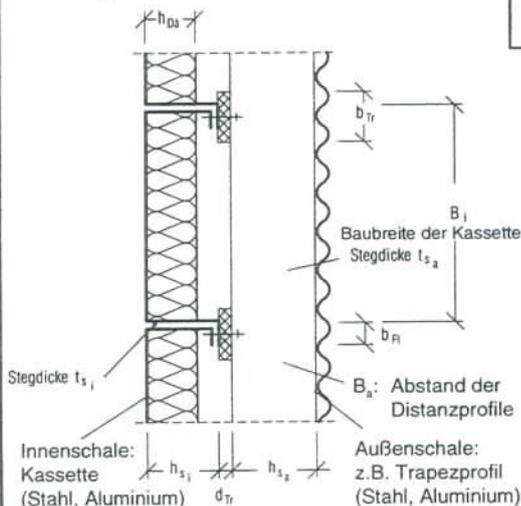
Stegdicke t_s :

Dicke der Wärmedämmung h_{Dai} :

Die vorgehängte Dämmschicht darf nicht komprimiert werden.

Nomogramm Wand 4

Zweischalige wärmedämmte Kassettenwand mit zusätzlichem Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen



Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kassette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
cal B × h / t		Rechnerischer Verhältniswert
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U _m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangs- koeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

D _a	Dämmung	i	innen
S	Steg	a	außen

Fl Flansch

Tr Trennstreifen

In den Diagrammen sind eingrahmt die

Kurvenparameter

angegeben.

➤ Diagramm 1: Trennstreifen

$d_{Tr} = \text{_____} [mm]$

$b_{Tr} = \text{_____} [mm]$

$b_{Fl} = \text{_____} [mm]$

$\lambda_{Tr} = \text{_____} [W/(mK)]$

Trennstreifen komprimierbar $\Rightarrow \text{cal } d_{Tr} = 0,475 \times d_{Tr}$
 $\text{cal } d_{Tr} = 0,475 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$

Trennstreifen nicht komprimierbar $\Rightarrow \text{cal } d_{Tr} = d_{Tr}$
 $\text{cal } d_{Tr} = \text{_____} [mm]$

$b_{Tr} < b_{Fl} \Rightarrow \text{cal } b_{Tr} = 0,5 \times b_{Fl}$
 $\text{cal } b_{Tr} = 0,5 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$

$b_{Tr} \geq b_{Fl} \Rightarrow \text{cal } b_{Tr} = 0,75 \times b_{Fl}$
 $\text{cal } b_{Tr} = 0,75 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$

$\text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr}$
 $= \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [-]$

➤ Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

$B_2 = \text{_____} [m]$

➤ Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil und Kassettensteg

$h_{S1} = \text{_____} [mm]$

$t_{S1} = \text{_____} [mm]$

$B_2 = \text{_____} [m]$

$h_{S2} = \text{_____} [mm]$

$t_{S2} = \text{_____} [mm]$

$\text{cal } B \times h_S / t_S = 0,6 \times h_{Si} / t_{Si} + B_a \times h_{Sa} / t_{Sa}$
 $= 0,6 \times \text{_____} / \text{_____} +$
 $\text{_____} \times \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [m]$

➤ Diagramm 4: Wärmedämmung

$h_{Dä} = \text{_____} [mm]$

$\lambda_{Dä} = \text{_____} [W/(mK)]$

$h_{Dä} \times 0,04 / \lambda_{Dä}$
 $= \text{_____} \times 0,04 / \text{_____} = \text{_____} [mm]$

Diagramm 2: Abstand Distanzprofil

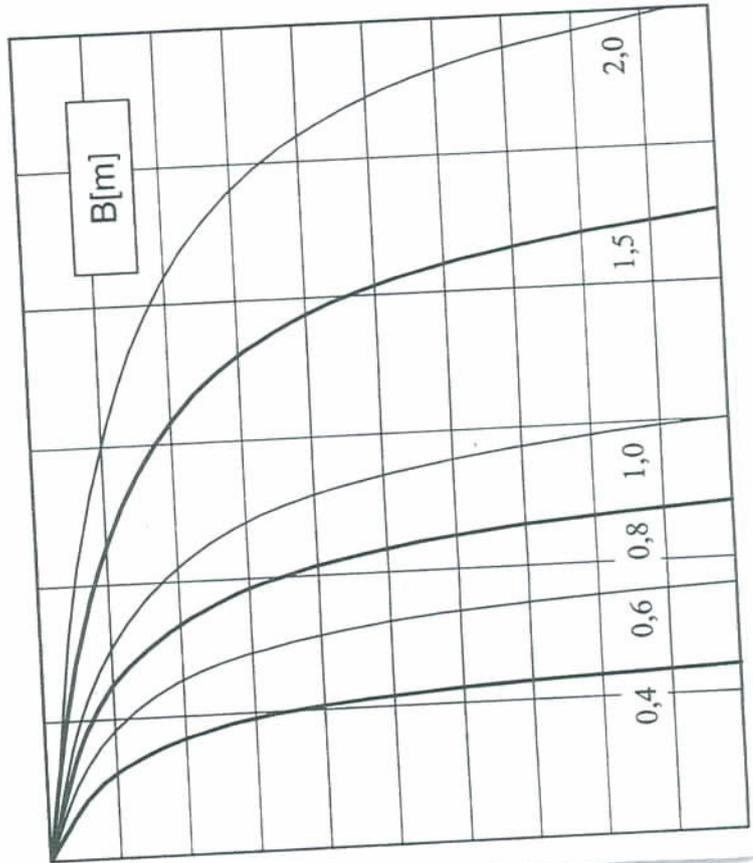
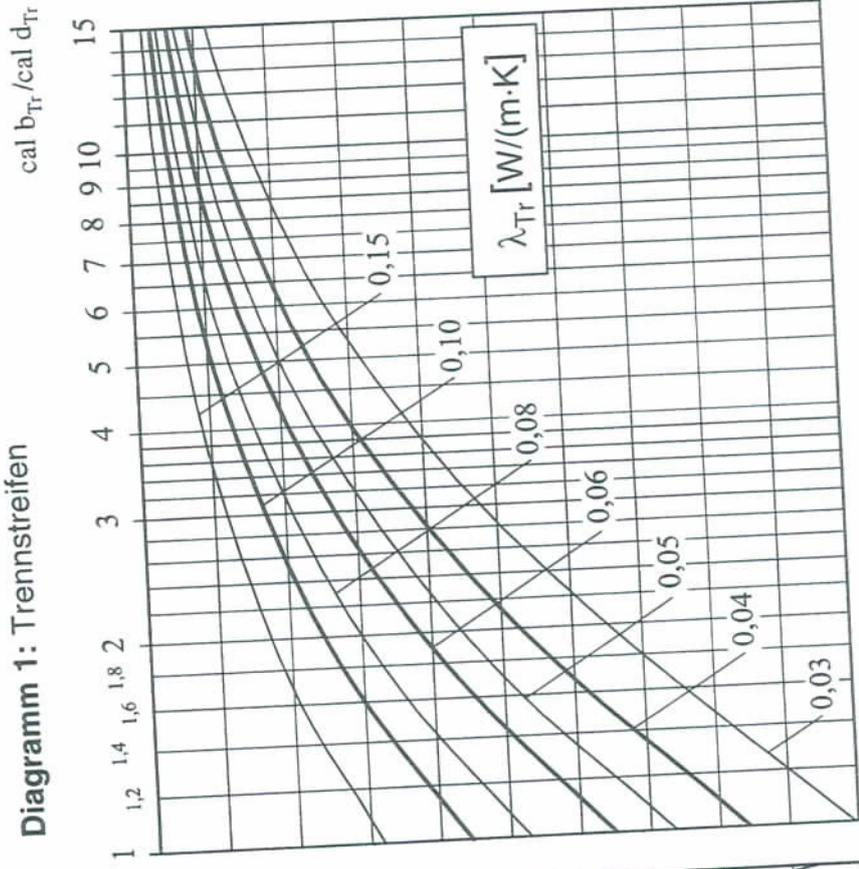


Diagramm 1: Trennstreifen



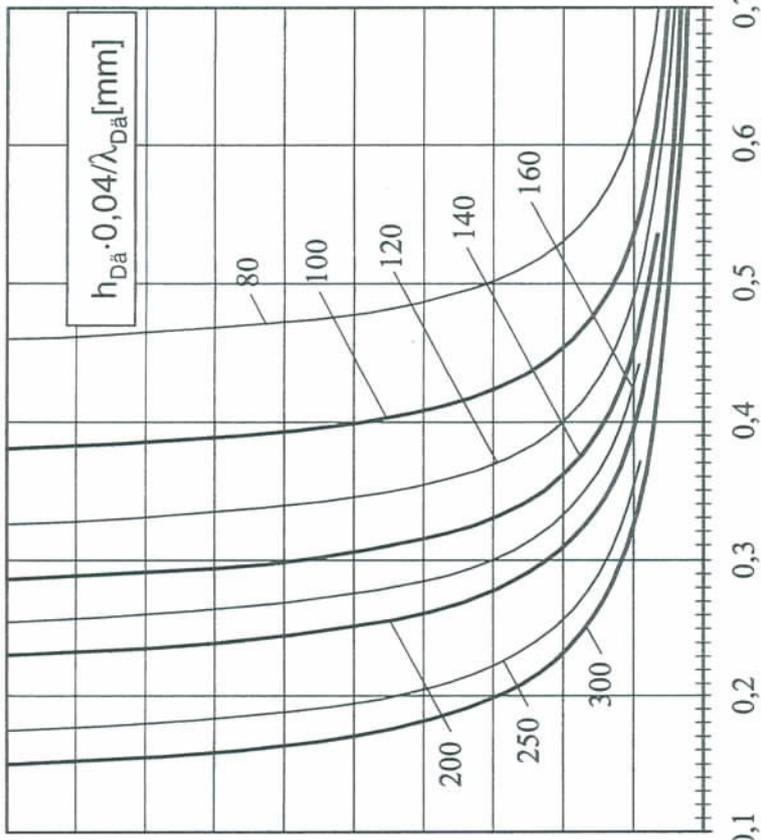
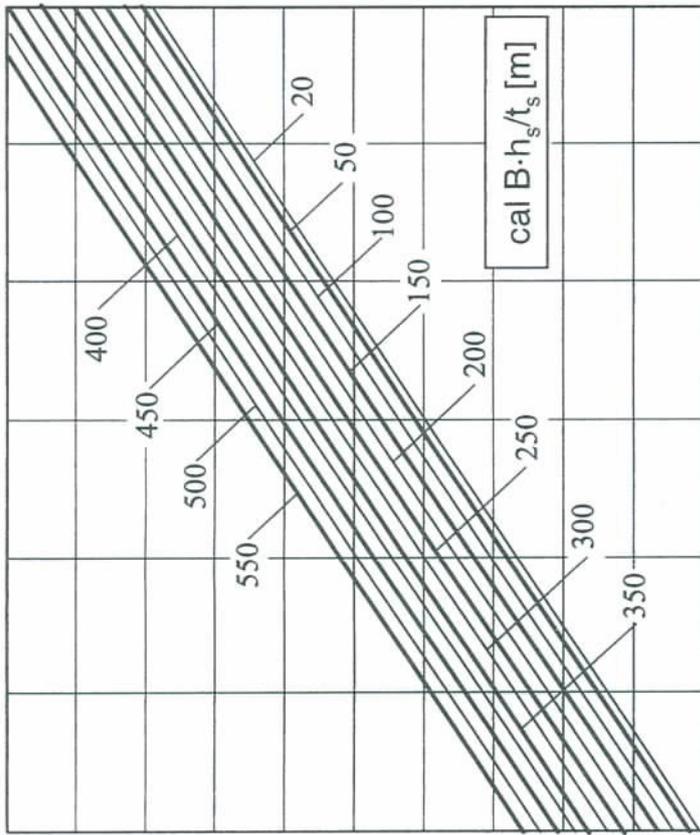


Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil / Kassettensteg

Diagramm 4: Wärmedämmung

Stegdike t_{s1} :
 Dicke der Wärmedämmung h_{Da} :
 Komprimierbarer Trennstreifen:
 Baubreite B_1 der Kasette:

Hinweise:

t_{s1} ist die Summe der Blechdicken von oberer und unterer Kasette.
 Die Dicke der Wärmedämmung (h_{Da}) muß 100% der Steghöhe (h_{s1}) betragen.
 Der Trennstreifen darf beim Einbau auf maximal auf 50% seiner Dicke zusammengedrückt werden.
 Die Baubreite B_1 der Kasette wird konstant mit 0,60 m angesetzt.

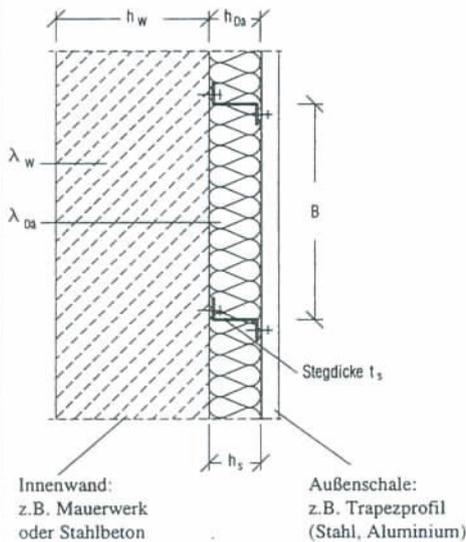
Nomogramm Wand 5

Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:

Einschalige wärmedämmte Trapezprofilwand auf massivem Untergrund



Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kassette
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U_m	$W/(m^2K)$	Mittlerer Wärmedurchgangs- koeffizient
λ	$W/(mK)$	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

Dä	Dämmung	i	innen
S	Steg	a	außen
Fl	Flansch		
Tr	Trennstreifen		
W	massive Wand		

In den Diagrammen sind eingerahmt die

Kurvenparameter

angegeben.

➤ **Diagramm 1: Innenwand**

$\lambda_w = \text{_____} [W/(mK)]$

➤ **Diagramm 2: Abstand Distanzprofil**

$B = \text{_____} [m]$

➤ **Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil**

$B = \text{_____} [m]$ $B \times h_s / t_s$
 $h_s = \text{_____} [mm]$ $= \text{_____} \times \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [m]$
 $t_s = \text{_____} [mm]$

➤ **Diagramm 4: Wärmedämmung**

$h_{Dä1} = \text{_____} [mm]$ $cal h_{Dä} = h_{Dä} \times 0,04 / \lambda_{Dä} + h_w \times 0,04 / \lambda_w$
 $\lambda_{Dä1} = \text{_____} [W/(mK)]$ $= \text{_____} \times 0,04 / \text{_____} +$
 $h_w = \text{_____} [mm]$ $\text{_____} \times 0,04 / \text{_____} = \text{_____} [mm]$
 $\lambda_w = \text{_____} [W/(mK)]$

Diagramm 1: Innenwand

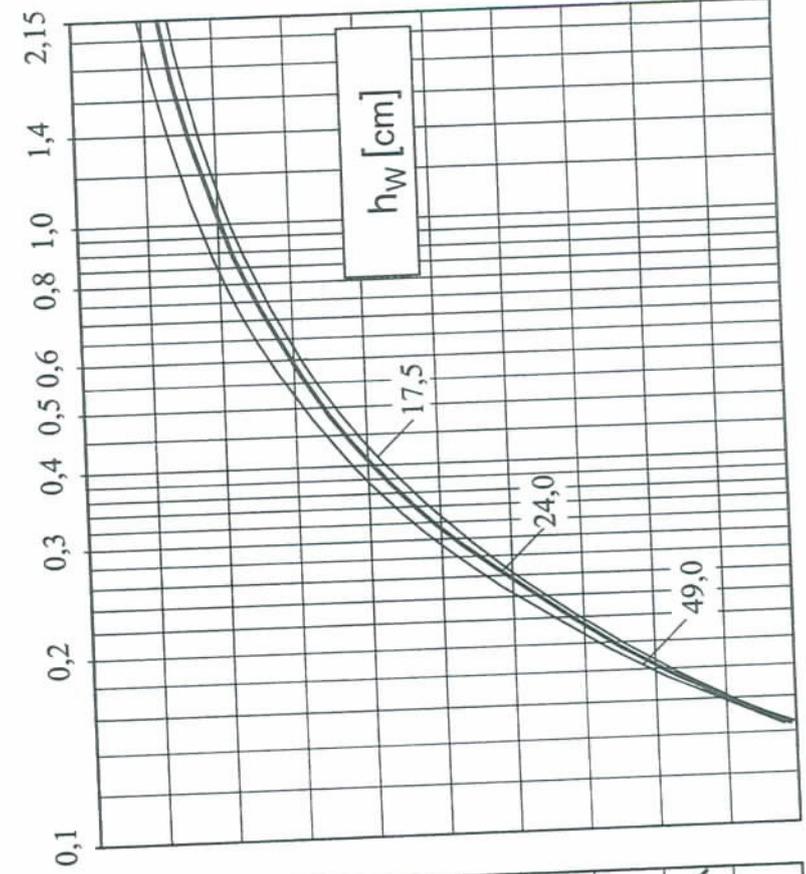
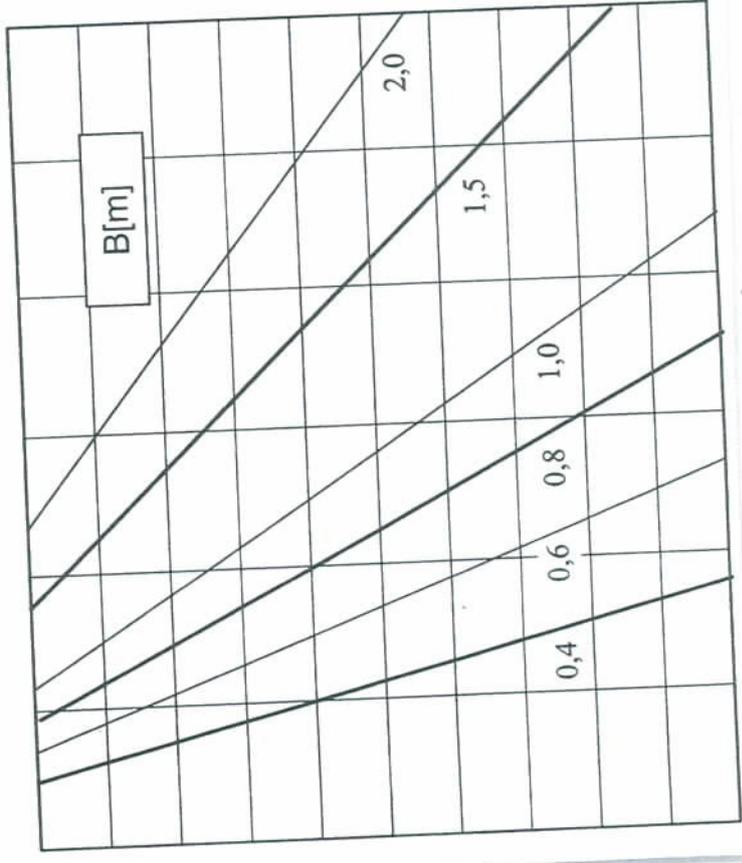


Diagramm 2: Abstand Distanzprofil



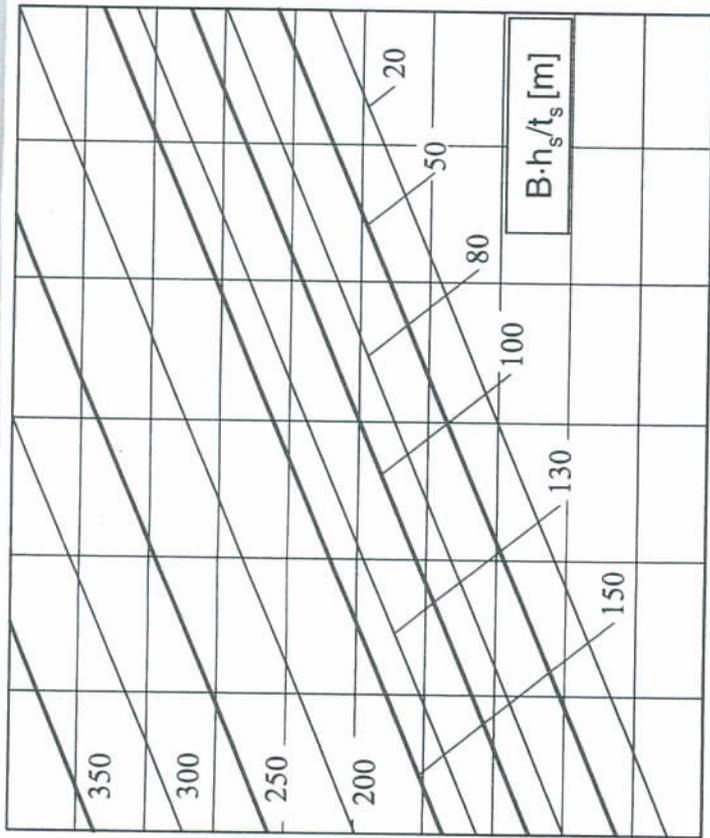


Diagramm 3: Einfluß aus Distanzprofil

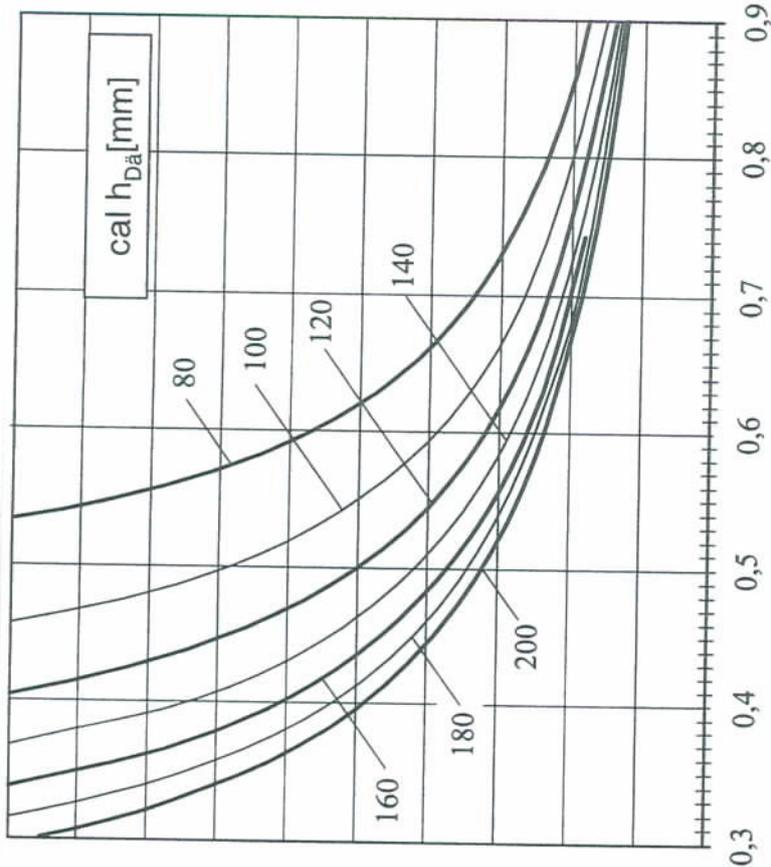


Diagramm 4: Wärmedämmung

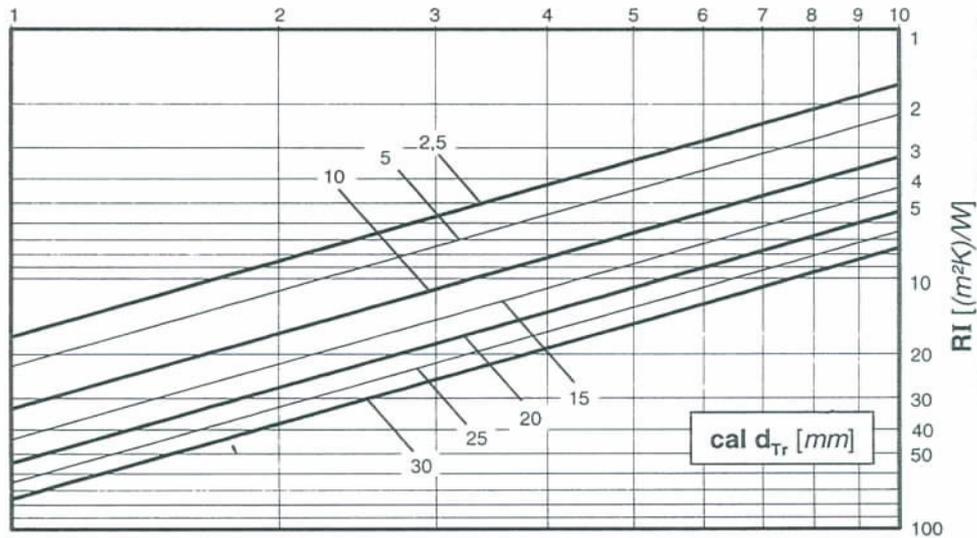
Hinweise:

Dicke der Wärmedämmung h_{Da} : Die Dicke der Wärmedämmung (h_{Da}) muß 100% der Steghöhe (h_s) betragen.

A) Diagramm 1:

$d_{Tr} = \text{_____} [mm]$ Trennstreifen komprimierbar $\Rightarrow \text{cal } d_{Tr} = 0,475 \times d_{Tr}$
 $VE/m^2 = \text{_____} [-]$ $\text{cal } d_{Tr} = 0,475 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$
VE= Verbindungselement Trennstreifen nicht komprimierbar $\Rightarrow \text{cal } d_{Tr} = d_{Tr}$
 $\text{cal } d_{Tr} = \text{_____} [mm]$

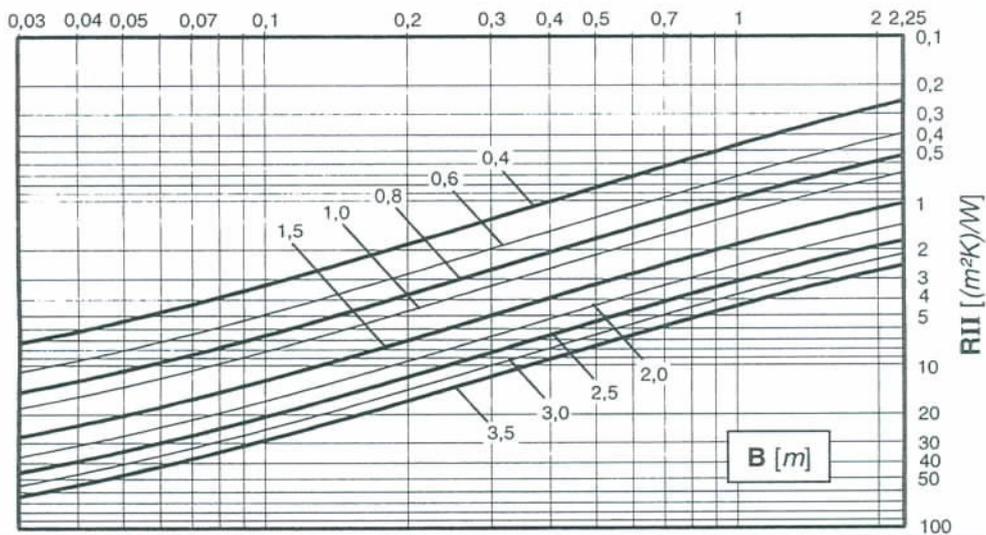
Verbindungselemente pro m²



B) Diagramm 2:

$\text{cal } d_{Tr} = \text{_____} [mm]$ $b_{Tr} < b_{FI} \Rightarrow \text{cal } b_{Tr} = 0,5 \times b_{FI}$
 $b_{Tr} = \text{_____} [mm]$ $\text{cal } b_{Tr} = 0,5 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$
 $\lambda_{Tr} = \text{_____} [W/(mK)]$ $b_{Tr} \geq b_{FI} \Rightarrow \text{cal } b_{Tr} = 0,75 \times b_{FI}$
 $b_{FI} = \text{_____} [mm]$ $\text{cal } b_{Tr} = 0,75 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$
 $B = \text{_____} [m]$ $\lambda_{Tr} \times (\text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr})$
 $= \text{_____} \times \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [mm]$

$\lambda_{Tr} \times (\text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr}) [W/(mK)]$



C) Gleichung:

$$R_{III} = \frac{R_I \times R_{II}}{R_I + R_{II}} + B[m] \times 1,0 [(mK)/W]$$

$$R_I = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$R_{II} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$B = \text{_____} [m]$$

$$R_{III} = \frac{\text{_____} \times \text{_____}}{\text{_____}} + \text{_____}$$

$$R_{III} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

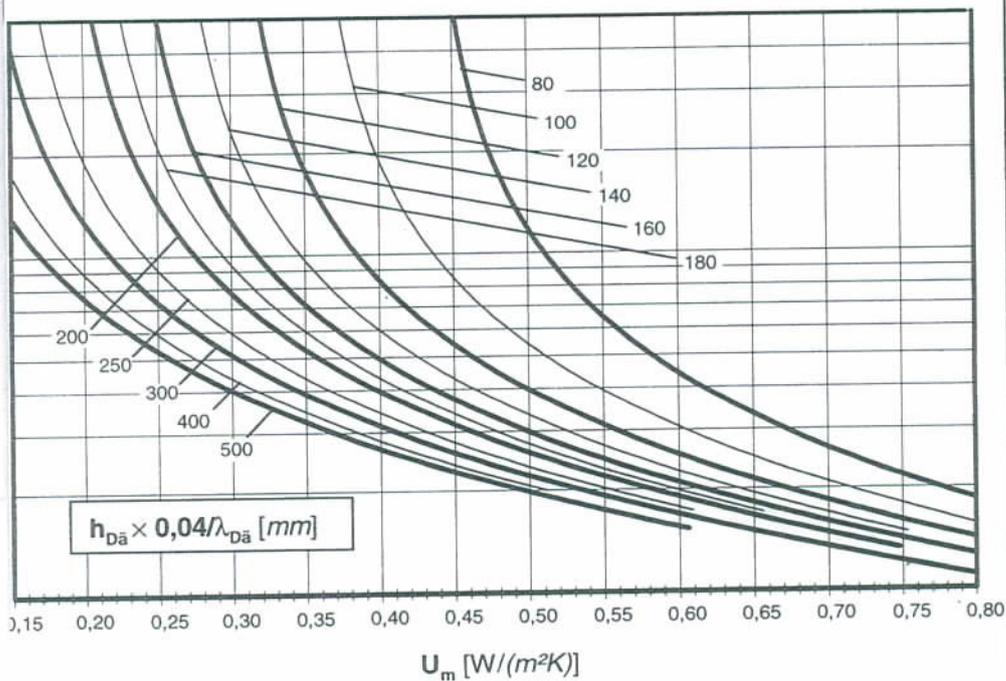
E) Diagramm 4:

$$h_{D\bar{a}} = \text{_____} [mm]$$

$$\lambda_{D\bar{a}} = \text{_____} [W/(mK)]$$

$$h_{D\bar{a}} \times 0,04 / \lambda_{D\bar{a}}$$

$$= \text{_____} \times 0,04 / \text{_____} = \text{_____} [mm]$$



D) Diagramm 3:

B = _____ [m]

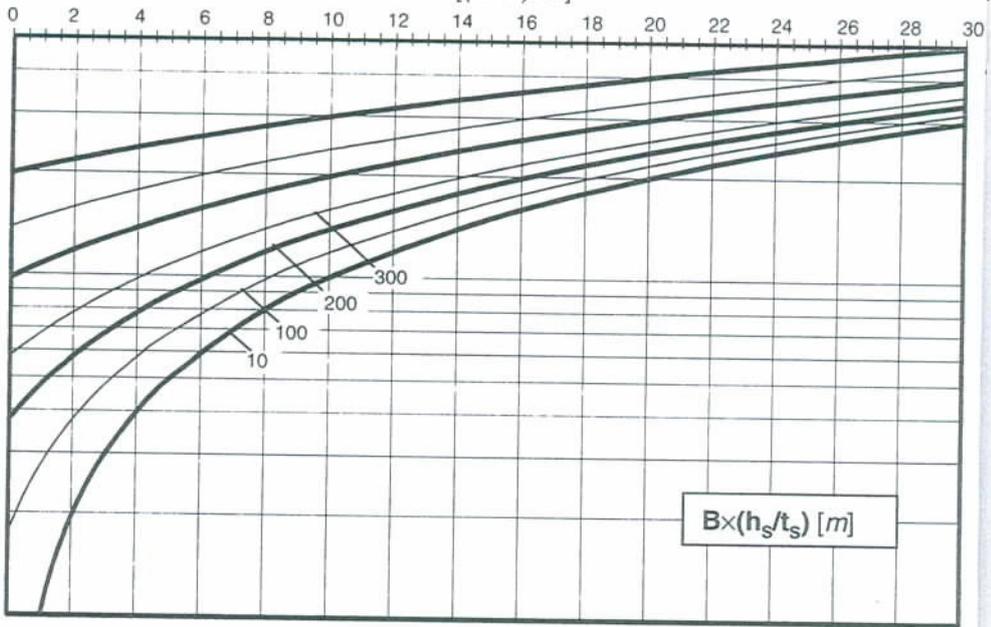
h_s = _____ [mm]

t_s = _____ [mm]

$B \times h_s / t_s$

= _____ \times _____ / _____ = _____ [m]

RIII [(m²K)/W]



VORLAGE -

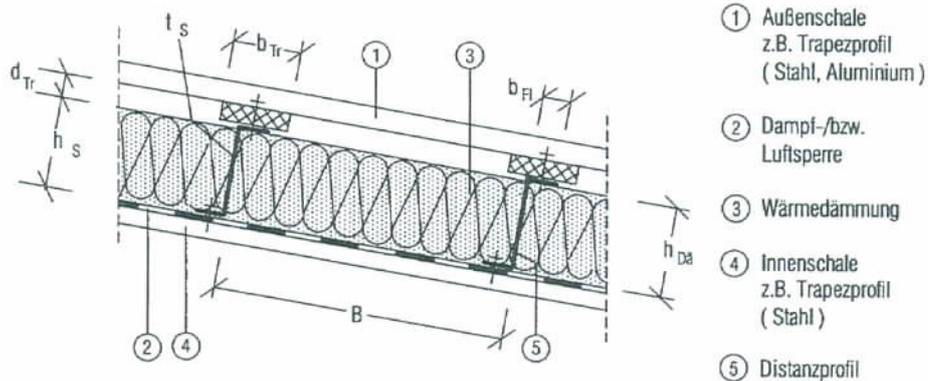
Nomogramm Dach 1

Zweischaliges wärmegeädmmtes
Dach mit Distanzprofil und einseitig
angeordnetem Trennstreifen

Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:



Hinweise:

- Zur Ermittlung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m müssen die Diagramme oder Gleichungen nach alphabetischer Reihenfolge bearbeitet werden.
- Ist kein Trennstreifen vorhanden, kann $R_{III} = B [m]$ angenommen werden.
- Komprimierbare Trennstreifen dürfen beim Einbau maximal auf 50% ihrer Dicke zusammengedrückt werden.
- Werden Kassettenprofile als Innenschale verwendet, entfallen die Distanzprofile. Die Stegdicke t_s ist in dem Fall die Summe der Blechdicken der nebeneinander liegenden Kassette.
- Die Dicke der Wärmedämmung h_{Da} muss mindestens 90% der Steghöhe h_s des Distanzprofils betragen.

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kassette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U_m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

D _a	Dämmung
S	Steg
Fl	Flansch
VE	Verbindungselement
Tr	Trennstreifen

In den Diagrammen sind
eingerahmt die

Kurvenparameter

angegeben.

A) Diagramm 1:

innen: $d_{Tr,i} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $VE_i/m^2 = \underline{\hspace{2cm}} [-]$

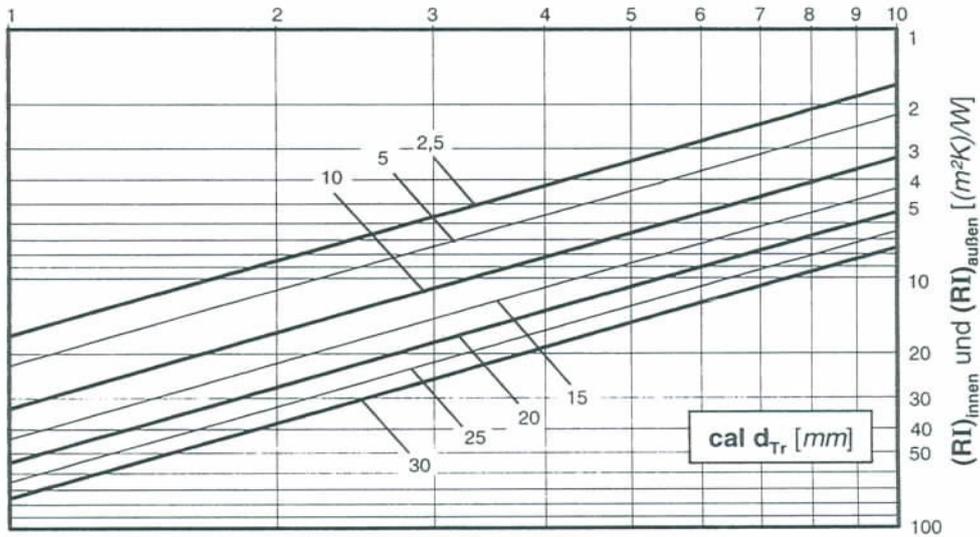
VE= Verbindungselement

außen: $d_{Tr,a} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $VE_a/m^2 = \underline{\hspace{2cm}} [-]$

Trennstreifen komprimierbar $\Rightarrow cal d_{Tr,i} = 0,475 \times d_{Tr,i}$
 $cal d_{Tr,i} = 0,475 \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 Trennstreifen nicht komprimierbar $\Rightarrow cal d_{Tr,i} = d_{Tr,i}$
 $cal d_{Tr,i} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$

Trennstreifen komprimierbar $\Rightarrow cal d_{Tr,a} = 0,475 \times d_{Tr,a}$
 $cal d_{Tr,a} = 0,475 \times \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 Trennstreifen nicht komprimierbar $\Rightarrow cal d_{Tr,a} = d_{Tr,a}$
 $cal d_{Tr,a} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$

Verbindungselemente pro m²

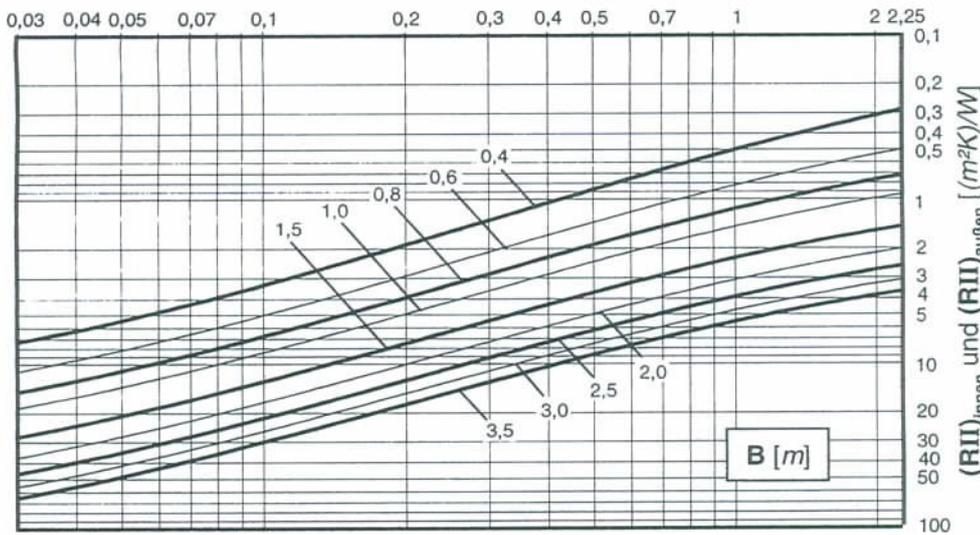


B) Diagramm 2:

innen / außen
 $cal d_{Tr} = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $b_{Tr} = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $\lambda_{Tr} = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} [W/(mK)]$
 $b_{FI} = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $B = \underline{\hspace{2cm}} [m]$

$b_{Tr} < b_{FI} \Rightarrow cal b_{Tr} = 0,5 \times b_{FI}$
 $cal b_{Tr} = 0,5 \times \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $b_{Tr} \geq b_{FI} \Rightarrow cal b_{Tr} = 0,75 \times b_{FI}$
 $cal b_{Tr} = 0,75 \times \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 $\lambda_{Tr} \times (cal b_{Tr} / cal d_{Tr})$
 innen = $\underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$
 außen = $\underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} / \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$

$\lambda_{Tr} \times (cal b_{Tr} / cal d_{Tr}) [W/(mK)]$



C) Gleichung:

$$(RI)_{\text{innen}} = \underline{\hspace{2cm}} [(m^2K)/W]$$

$$(RII)_{\text{innen}} = \underline{\hspace{2cm}} [(m^2K)/W]$$

$$(RI)_{\text{außen}} = \underline{\hspace{2cm}} [(m^2K)/W]$$

$$(RII)_{\text{außen}} = \underline{\hspace{2cm}} [(m^2K)/W]$$

$$A_R R_{III} = \left(\frac{1}{A_R RI_{\text{innen}}} + \frac{1}{A_R RII_{\text{innen}}} \right)^{-1} + \left(\frac{1}{A_R RI_{\text{außen}}} + \frac{1}{A_R RII_{\text{außen}}} \right)^{-1}$$

$$\underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} [(m^2K)/W]$$

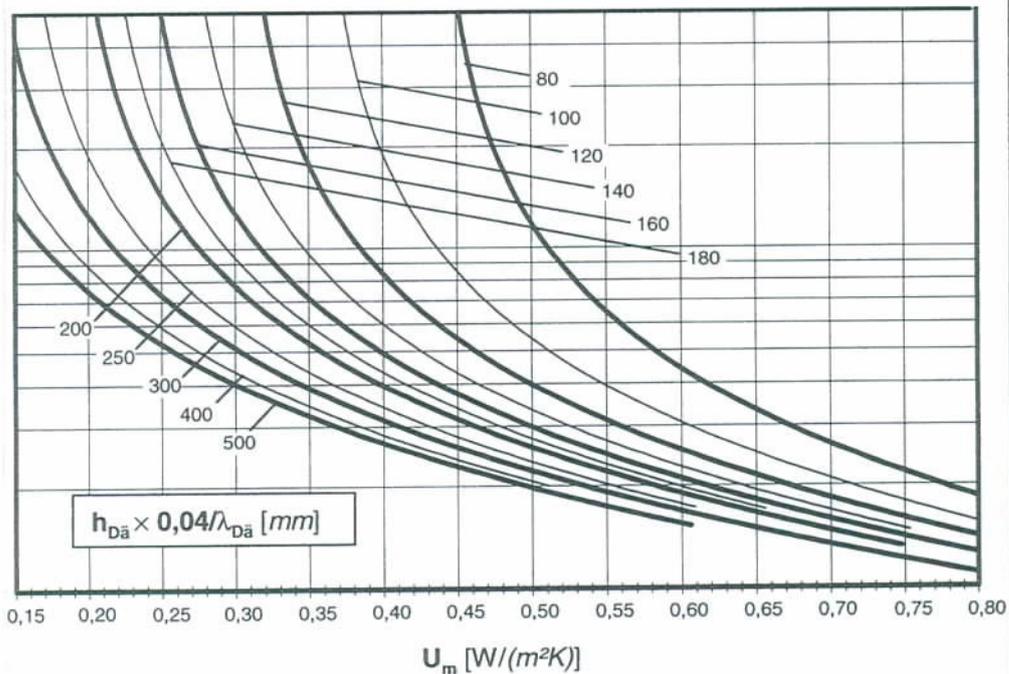
E) Diagramm 4:

$$h_{Dä} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$$

$$h_{Dä} \times 0,04 / \lambda_{Dä}$$

$$\lambda_{Dä} = \underline{\hspace{2cm}} [W/(mK)]$$

$$= \underline{\hspace{1cm}} \times 0,04 / \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{2cm}} [mm]$$



D) Diagramm 3:

B = _____ [m]

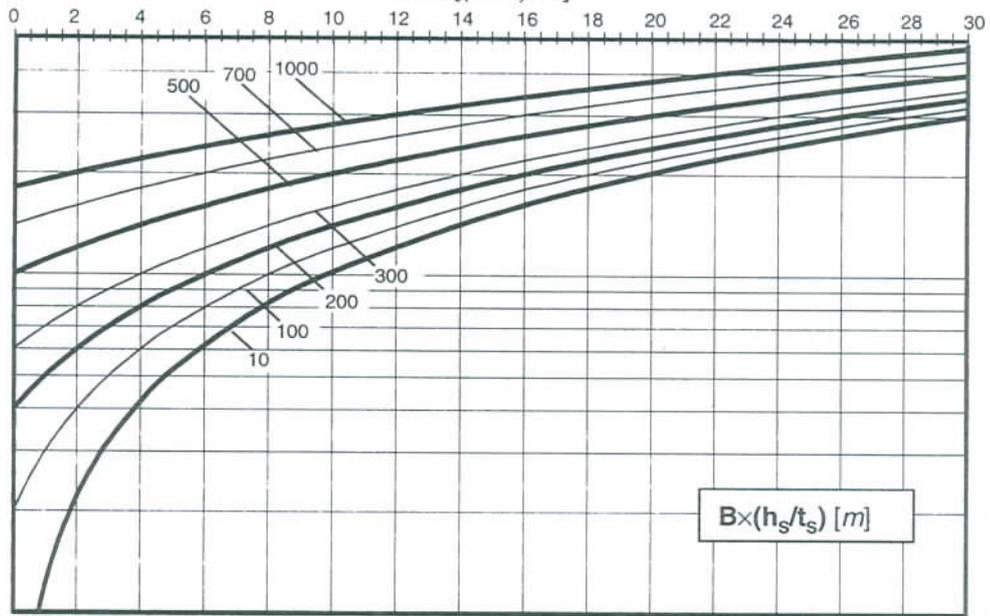
$B \times h_s / t_s$

h_s = _____ [mm]

= _____ \times _____ / _____ = _____ [m]

t_s = _____ [mm]

RIII [(m²K)/W]



ORLAGE -

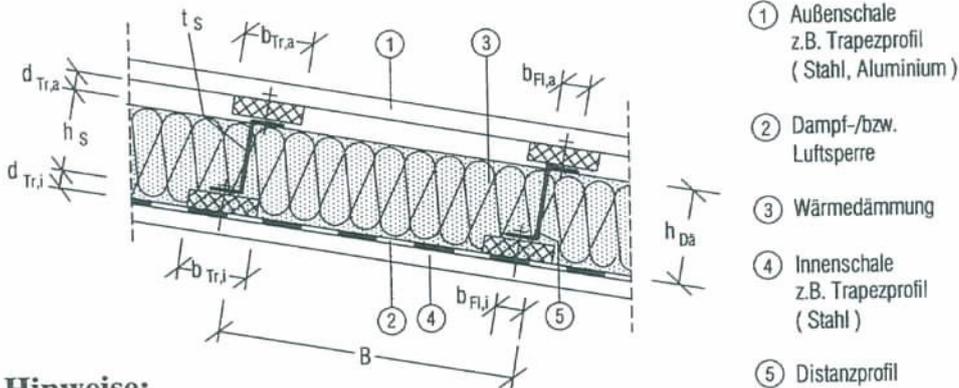
Nomogramm Dach 2

Zweischaliges wärmedämmtes
Dach mit Distanzprofil und
beidseitig angeordnetem
Trennstreifen

Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:



Hinweise:

- Zur Ermittlung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m müssen die Diagramme oder Gleichungen nach alphabetischer Reihenfolge bearbeitet werden.
- Die Diagramme 1 und 2 müssen jeweils für die Innen- und Außenseite angewendet werden.
- Nomogramm 2 ist nicht anwendbar auf Dachkonstruktionen mit nur einseitig angeordnetem bzw. keinem Trennstreifen.
- Komprimierbare Trennstreifen dürfen beim Einbau maximal auf 50% ihrer Dicke zusammengedrückt werden.
- Die Dicke der Wärmedämmung h_{Da} muss mindestens 90% der Steghöhe h_s des Distanzprofils betragen.

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kassette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U_m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

Dä	Dämmung	a	außen
S	Steg	i	innen
Fl	Flansch		
VE	Verbindungselement		
Tr	Trennstreifen		

In den Diagrammen sind
eingerahmt die

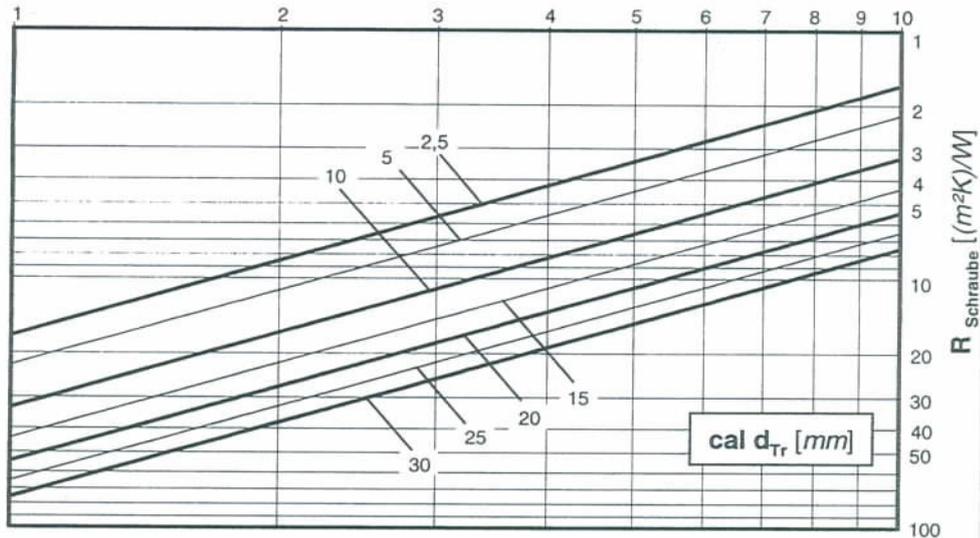
Kurvenparameter

angegeben.

A) Diagramm 1:

$d_{Tr} = \text{_____} [mm]$ Trennstreifen komprimierbar $\Rightarrow \text{cal } d_{Tr} = 0,475 \times d_{Tr}$
 $VE/m^2 = \text{_____} [-]$ $\text{cal } d_{Tr} = 0,475 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$
VE= Verbindungselement Trennstreifen nicht komprimierbar $\Rightarrow \text{cal } d_{Tr} = d_{Tr}$
 $\text{cal } d_{Tr} = \text{_____} [mm]$

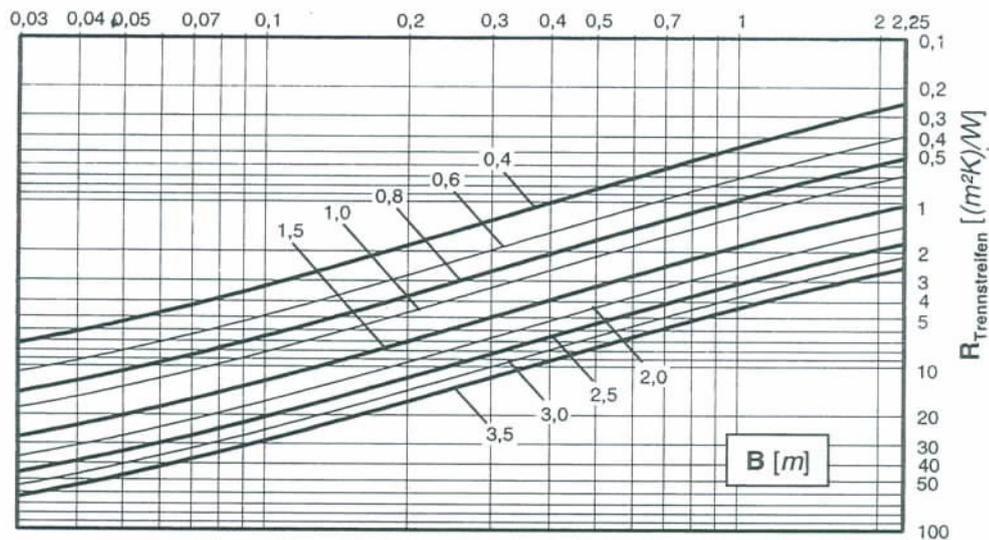
Verbindungselemente pro m²



B) Diagramm 2:

$\text{cal } d_{Tr} = \text{_____} [mm]$ $b_{Tr} < b_{FI} \Rightarrow \text{cal } b_{Tr} = 0,5 \times b_{FI}$
 $b_{Tr} = \text{_____} [mm]$ $\text{cal } b_{Tr} = 0,5 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$
 $\lambda_{Tr} = \text{_____} [W/(mK)]$ $b_{Tr} \geq b_{FI} \Rightarrow \text{cal } b_{Tr} = 0,75 \times b_{FI}$
 $b_{FI} = \text{_____} [mm]$ $\text{cal } b_{Tr} = 0,75 \times \text{_____} = \text{_____} [mm]$
 $B = \text{_____} [m]$ $\lambda_{Tr} \times (\text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr})$
 $= \text{_____} \times \text{_____} / \text{_____} = \text{_____} [mm]$

$\lambda_{Tr} \times (\text{cal } b_{Tr} / \text{cal } d_{Tr}) [W/(mK)]$



C) Diagramm 3:

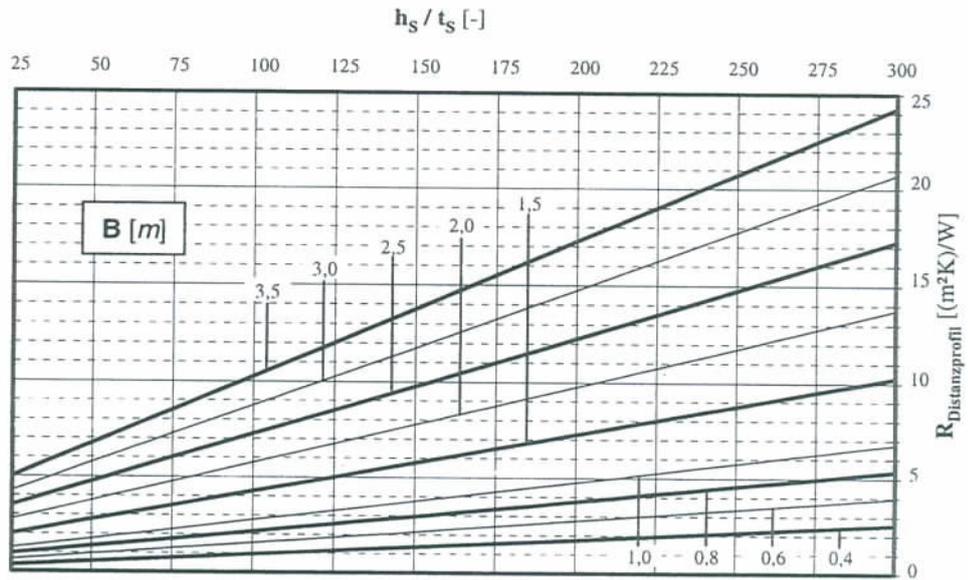
B = _____ [m]

h_s = _____ [mm]

t_s = _____ [mm]

h_s/t_s

= _____ / _____ = _____ [-]



D) Gleichung:

$$R_{\text{Schraube}} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$h_{\text{Dä}} = \text{_____} [mm]$$

$$R_{\text{Trennstreifen}} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$\lambda_{\text{Dä}} = \text{_____} [W/(mK)]$$

$$R_{\text{Distanzprofil}} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$\alpha_a = \text{_____} [W/(m^2K)]$$

$$\alpha_i = \text{_____} [W/(m^2K)]$$

$$R_{\text{Abs tan dshalterung}} = R_{\text{Dis tan zprofil}} + \left(\frac{1}{R_{\text{Schraube}}} + \frac{1}{R_{\text{Trennstreifen}}} \right)^{-1}$$

$$R_{\text{Abs tan dshalterung}} = \text{_____} + \left(\frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right)^{-1} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$R_{\text{Wärmedämmung}} = \frac{h_{\text{Dä}}}{\lambda_{\text{Dä}}} = \text{_____} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

$$U_m = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{R_{\text{Wärmedämmung}}} + \frac{1}{R_{\text{Abs tan dshalterung}}} \right)^{-1} + \frac{1}{\alpha_a} \right)^{-1}$$

$$U_m = \left(\frac{1}{\text{_____}} + \left(\frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right)^{-1} + \frac{1}{\text{_____}} \right)^{-1} = \text{_____} [(m^2K)/W]$$

ORLAGE -

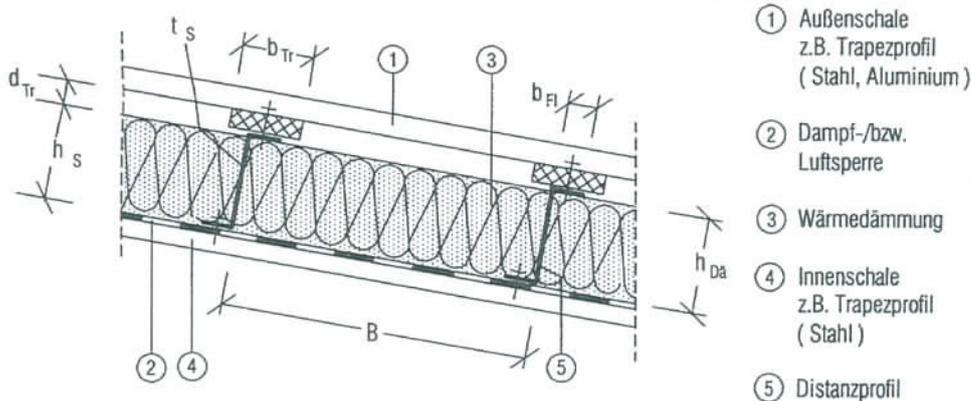
Wärmebrücken- optimierung

Optimierung der Wärmedämmung am zweischaligen wärme gedämmten Dach mit Distanzprofil und einseitig angeordnetem Trennstreifen

Auftragsnummer:

Bauvorhaben:

Bauteil:



Hinweise:

- Komprimierbare Trennstreifen dürfen beim Einbau maximal auf 50% ihrer Dicke zusammengedrückt werden.
- Werden Kassettenprofile als Innenschale verwendet, entfallen die Distanzprofile. Die Stegdicke t_s ist in dem Fall die Summe der Blechdicken der nebeneinander liegenden Kassette.
- Die Dicke der Wärmedämmung h_{Da} muss mindestens 90% der Steghöhe h_s des Distanzprofils betragen.
- Diese Nomogramm kann auch für eine zweischalige wärme gedämmte Trapezprofilwand oder Kassettenwand mit einseitig angeordnetem Trennstreifen angewendet werden.
- Näherungsweise kann der Einfluß eines zweiten Trennstreifens mit diesem Nomogramm abgeschätzt werden, wenn der Widerstand $R_{Trennstreifen}$ zweimal angesetzt wird.

Formelzeichen:

B	m	Abstand der Distanzprofile, Baubreite der Kassette
b	mm	Breite
cal b	mm	Rechnerisch wirksame Breite
cal d	mm	Rechnerisch wirksame Dicke
d	mm	Dicke
h	mm	Höhe
t	mm	Blechdicke
U_m	W/(m ² K)	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
λ	W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit

Indizes:

D _a	Dämmung	a	außen
S	Steg	i	innen
Fl	Flansch		
VE	Verbindungselement		
Tr	Trennstreifen		

In den Diagrammen sind eingerahmt die

Kurvenparameter

angegeben.