

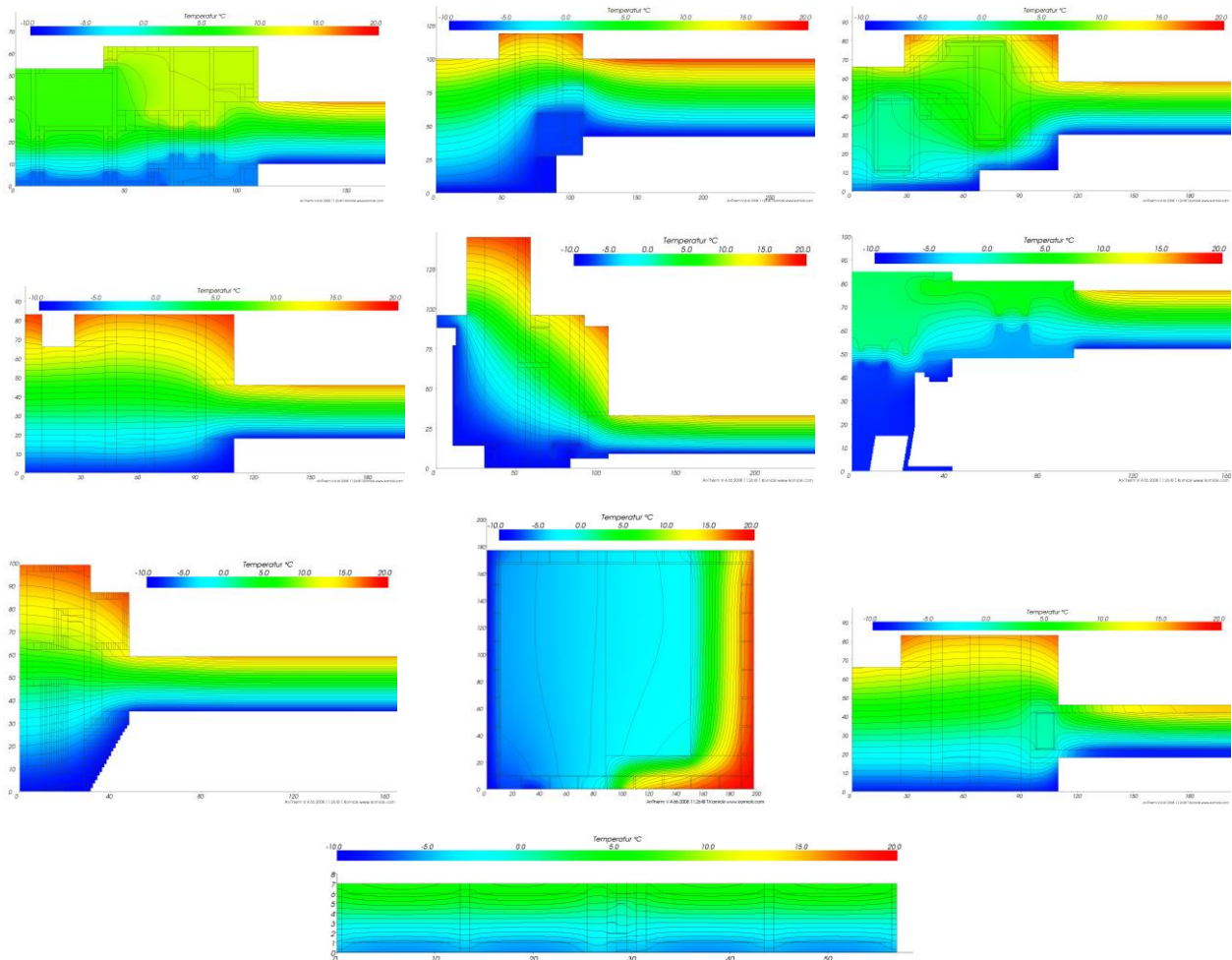
AnTherm

Programmpaket zu Analyse des Thermischen Verhaltens von
Baukonstruktionen mit Wärmebrücken

zwei- und dreidimensionales, stationäres Präzisionsverfahren
(„Klasse A – Verfahren“)

für die Berechnung des Wärmedurchgangs durch
Rahmen von Fenstern, Türen und Abschlüssen

Validierung des Programmpakets gemäß Europannorm EN ISO 10077-2:2003



Die Version 4.66 des Programmpakets AnTherm entspricht allen Anforderungen, die gemäß EN ISO 10077-2:2003 an ein Rechenprogramm zu stellen sind, und ist daher

**für die Berechnung des Wärmedurchgangs durch
Rahmen von Fenstern, Türen und Abschlüssen**

geeignet.

Anmerkung: Das Programm AnTherm ist nach EN 10211 als ein zwei- und dreidimensionales, stationäres Präzisionsverfahren der Klasse A validiert was in separaten Validierungen ebenfalls belegt wurde.

13. Dezember 2008


Tomasz Kornicki

In der EN ISO 10077-2:2003 "Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen" ist im Anhang D das Validierungsverfahren angegeben, dem ein "Wärmebrücken-Programm" genügen muss, um für die Berechnung des Wärmedurchgangs durch Rahmen als geeignet bzw. normgemäß eingestuft werden zu können.

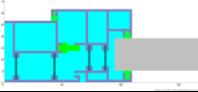
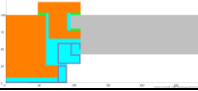
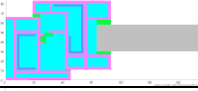
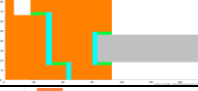
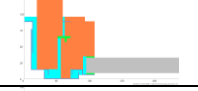
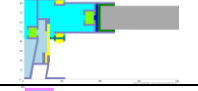
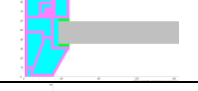
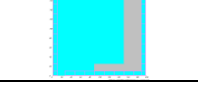
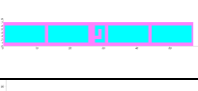
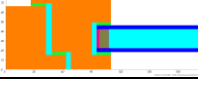
Programmpaket AnTherm genügt in der vorliegenden Version 4.66 allen in der EN ISO 10077-2:2003 genannten Anforderungen und Bewertungen und kann somit als Normverfahren für die Berechnung des Wärmedurchgangs durch Rahmen von Fenstern, Türen und Abschlüssen verwendet werden.

In der vorliegenden Version errechnet Antherm thermische Leitwerte (L^{2D} und L^{3D}) und auch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Ψ); auf den Wärmedurchgangskoeffizienten für den Rahmen (U_f) muss der Benutzer im Zuge einer Auswertung per Hand rückrechnen.

Im Folgenden werden die mit Programmpaket AnTherm errechneten Ergebnisse für die zehn in Anhang D der EN ISO 10077-2 aufgeführten Prüfreferenzfälle präsentiert und den in der EN ISO 10077-2 angeführten Ergebnissen gegenübergestellt.

Bei Bedarf kann die Detaildokumentation in Form der von Programmpaket AnTherm erstellten Berichte und Graphiken sowie des Quellcodes der AnTherm-Projektdateien im Anhang nachgelesen werden.

Zusammenfassung der Prüfergebnisse der Validierung nach EN ISO 10077-2:2003

	EN 10077	AnTherm
	Prüferferenzfall 1, Aluminiumprofil mit thermischer Trennung	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.22 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 0.32 %
	Prüferferenzfall 2, Aluminium-Holz-Profil	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.39 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 1.03 %
	Prüferferenzfall 3, PVC-Profil mit Stahlverstärkung	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.82 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 1.69 %
	Prüferferenzfall 4, Holzprofil	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.05 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 0.27 %
	Prüferferenzfall 5, Dachfensterrahmen	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 1.07 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 1.92 %
	Prüferferenzfall 6, Gleitfensterrahmen	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.90 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 1.24 %
	Prüferferenzfall 7, Festverglasung	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.21 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 0.83 %
	Prüferferenzfall 8, Rollladenkasten	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 1.22 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 0.50 %
	Prüferferenzfall 9, PVC-Rollladenpanzerglied	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.16 %
	Abweichung Rahmen U_f -Wert	< 5.0 % ≤ 0.11 %
	Prüferferenzfall 10, Holzprofil	
	Abweichung thermischer Leitwert L_f^{2D}	< 3.0 % ≤ 0.22 %
	Abweichung Ψ - Wert	< 5.0 % ≤ 2.38 %

Gesamtprüfergebnis:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im allen Prüferferenzfällen der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

Conclusio:

Das Programmpaket AnTherm entspricht allen Anforderungen, die gemäß EN ISO 10077-2:2003 an ein Rechenprogramm zu stellen sind, und ist daher für die Berechnung des Wärmedurchgang durch Rahmen von Fenstern, Türen und Abschlüssen geeignet.

Prüfreferenzfälle

Detailbeschreibung und Ergebnisvergleich

Allgemeines für alle Prüferferenzfälle

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

Die Anwendung eines Berechnungsprogrammes bei den Rahmenprofilen (die Prüferferenzfälle) soll zu Ergebnissen führen, die sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

Beispiel	L^{2D} W/(m·K)	U_r W/(m ² ·K)
Bild D.1	0,550 ± 0,007	3,22 ± 0,06
Bild D.2	0,263 ± 0,001	1,44 ± 0,03
Bild D.3	0,424 ± 0,006	2,07 ± 0,06
Bild D.4	0,346 ± 0,001	1,36 ± 0,01
Bild D.5	0,408 ± 0,007	2,08 ± 0,08
Bild D.6	0,659 ± 0,008	4,67 ± 0,09
Bild D.7	0,285 ± 0,002	1,31 ± 0,03
Bild D.8	0,181 ± 0,003	1,03 ± 0,02
Bild D.9	0,207 ± 0,001	3,64 ± 0,01
Beispiel	L^{2D} W/(m·K)	Ψ W/(m·K)
Bild D.10	0,481 ± 0,004	0,084 ± 0,004

Die angegebenen Werte sind der Mittelwert und die Standardabweichung eines Ringversuchs (Vergleichsberechnung) von neun europäischen und nordamerikanischen Instituten (Juni 2000).

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.
- Für die Berechnung des Kondensationsrisikos siehe EN ISO 10211-1.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein. Diese Größe wird im Folgenden „Leitwertbezogener Schließfehler“ genannt.

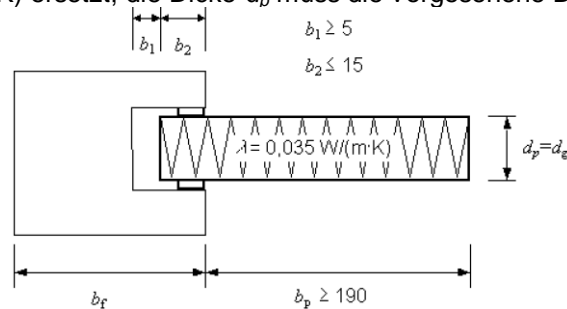
Randbedingungen:

Legende	Wärmeübergangswiderstand R_s (m ² · K)/W	Temperatur θ °C
A adiabate(r)	unendlich	—
B außenseitig	siehe Anhang B	0
C raumseitig	siehe Anhang B	20
Einstrahlzahl	Außenseitig R_{se} m ² ·K/W	Raumseitig R_{si} m ² ·K/W
normal (ebene Oberflächen)	0,04	0,13
verringerte Strahlung/Konvektion (in den Ecken oder Stoßfugen zwischen zwei Flächen, siehe Bild B.1)	0,04	0,20

Werkstoffe:

Legende	Werkstoff	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)
a	Füllung (Dämmstoff)	0,035
b	Weichholz	0,13
c	PVC	0,17
d	EPDM	0,25
e	Polyamid 6.6	0,3
f	Glas	1,0
g	Stahl	50
h	Aluminium ^a	160
i	Mohair (Polyester), Sweep	0,14
k	Polyamid	0,25
l	PU (Polyurethan-Hartschaum)	0,25
m	Polysulfid	0,40
n	Silicagel (Trockenmittel)	0,13
o	Gasfüllung	0,034

Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U_f des Rahmenprofils wird im Berechnungsmodell die Verglasung (bzw. die nicht transparente Füllung) durch eine Dämmplatte mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035 \text{ W/(m·K)}$ ersetzt; die Dicke d_p muss die vorgesehene Dicke der Verglasung d_g sein.

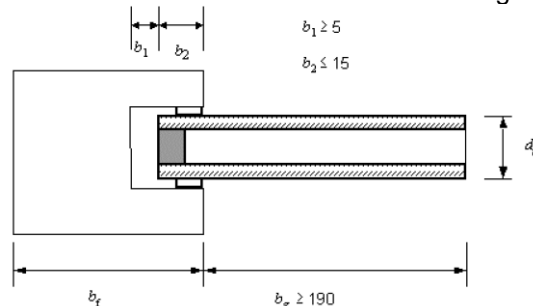


Der zweidimensionale thermische Leitwert L_f^{2D} des aus dem Rahmenprofil und Isolierpaneel bestehenden Prüfrahmens wird berechnet. Der Wärmedurchgangskoeffizient U_f des Rahmens ergibt sich nach:

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f}$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens U_f gilt also für den Fall ohne Verglasung.

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung U_g gilt für den mittleren Bereich der Verglasung und berücksichtigt nicht den Einfluss von Abstandshaltern am Rand der Verglasung.



Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ beschreibt den zusätzlichen Wärmestrom, der durch die Wechselwirkung zwischen Rahmen und Glasrand, einschließlich des Einflusses des Abstandshalters, verursacht wird:

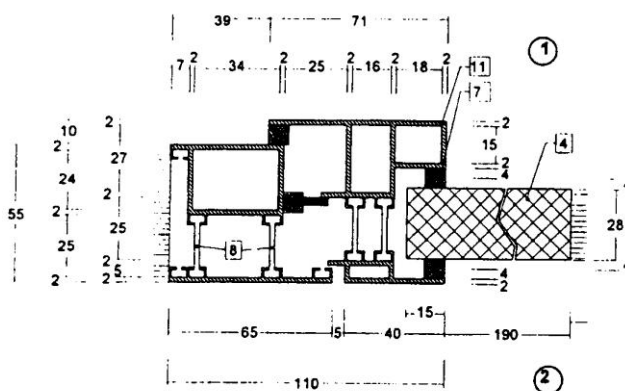
$$\Psi = L_\psi^{2D} - U_f b_f - U_g b_g$$

wobei der zweidimensionale thermische Leitwert L_ψ^{2D} des Glas-Rahmen-Verbunds berechnet wird.

Prüferferenzfall 1

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Aluminiumprofil mit thermischer Trennung und Füllung (Dämmstoff); Profilhöhe $b_f = 110\text{mm}$.



1- Raumseitig; 2 - außenseitig

Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
$0,550 \pm 0,007$	$3,22 \pm 0,06$

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

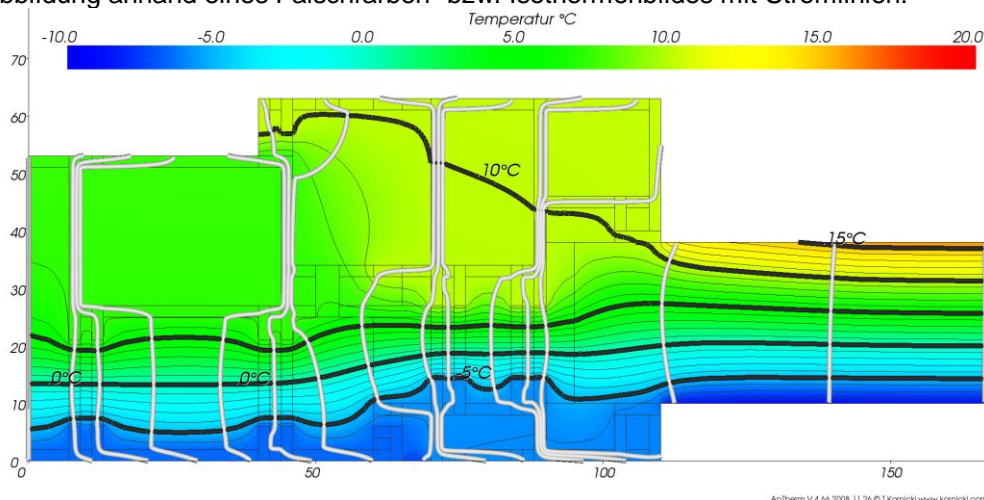
- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse des Programmpakets AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:



AnTherm V.4.66 2008.11.26 © T.Kornicki www.kornicki.com

Abb. 1 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0\text{ K}$ eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüfreferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüfreferenzfall 1	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	8640	16465	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.550	0.550893	0.551208	0.000315	0.06%
d L_p	<0.007	0.000893	0.001208		
d L_p %	<3%	0.16%	0.22%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	4.51E-14	4.75E-12		
U_p [W/m²K]		1.0309	1.0309		
b_p [mm]	190	190	190		
b_f [mm]	110	110	110		
U_f [W/m²K]	3.22	3.2275	3.2303		
d U_f	<0.060	0.0075	0.0103		
d U_f %	<5%	0.23%	0.32%		

Tab. 1 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüfreferenzfall 1 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.007 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüfreferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.06 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als der vorgegebene Grenzwert von 1% ab.

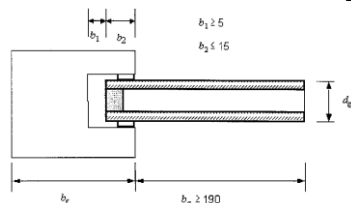
In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schließfehler weit unterhalb der in der EN ISO 10211:2007 festgesetzten Grenze von 0.0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 1 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

Zusätzliche Anmerkungen:

- Die in der derzeit gültigen EN ISO 10077-2:2003 angeführten Angaben zur Geometrie sind unzureichend – siehe das folgende Bild.



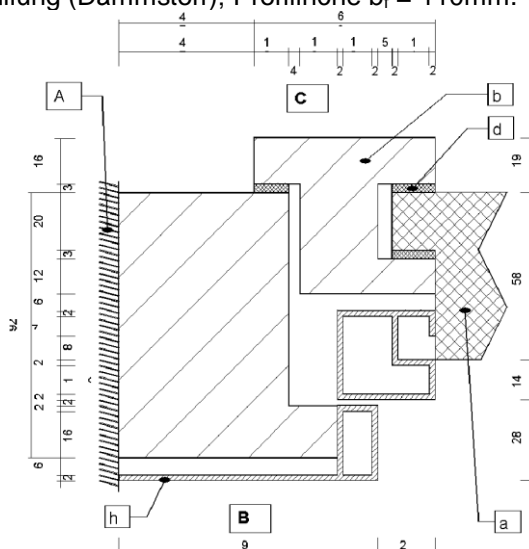
Aus diesem Grund wurden die Vorgaben bezüglich der Geometrie des Profils einer älteren Fassung dieser Norm (Entwurf prEN ISO 10077-2 vom November 1998) entnommen.

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 2

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Aluminium-Holz-Profil und Füllung (Dämmstoff); Profilhöhe $b_f = 110\text{mm}$.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
0,263 ± 0,001	1,44 ± 0,03

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein..

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

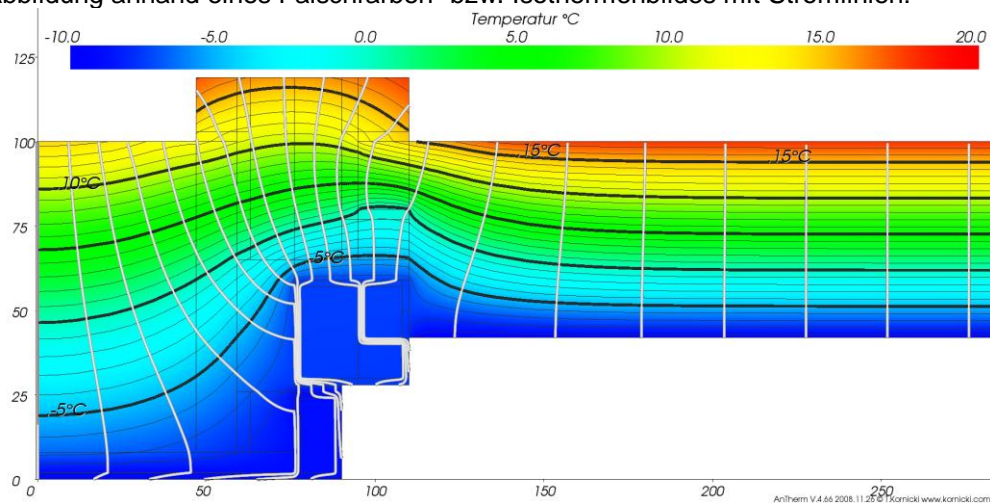


Abb. 2 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0\text{ K}$ eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüfreferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüfreferenzfall 2	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	12104	26077	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.263	0.263884	0.264033	0.000149	0.06%
d L_p	<0.001	0.000884	0.001033		
d L_p %	<3%	0.33%	0.39%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	1.25E-08	4.75E-12		
U_p [W/m²K]		0.5473	0.5473		
bp [mm]	190	190	190		
bf [mm]	110	110	110		
U_f [W/m²K]	1.44	1.4536	1.4550		
d U_f	<0.03	0.0136	0.0150		
d U_f %	<5%	0.94%	1.03%		

Tab. 2 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüfreferenzfall 2 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.001 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüfreferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.03 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schließfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 2 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

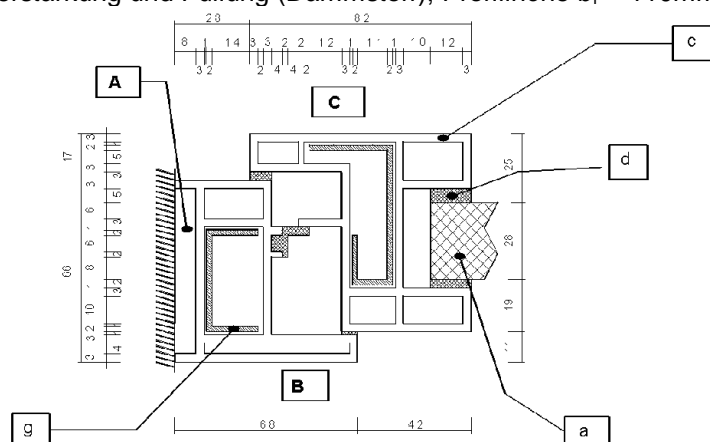
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 3

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

PVC-Profil mit Stahlverstärkung und Füllung (Dämmstoff); Profilhöhe $b_f = 110\text{mm}$.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
$0,424 \pm 0,006$	$2,07 \pm 0,06$

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

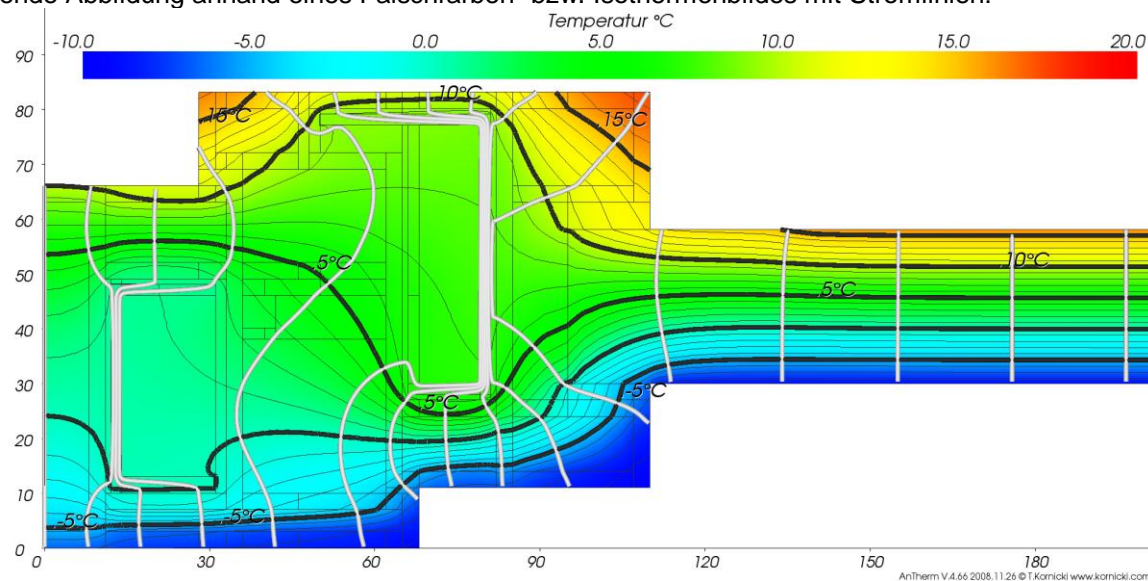


Abb. 3 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0\text{K}$ eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüferferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüferferenzfall 3	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	5764	12428	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.424	0.426995	0.427495	0.000500	0.12%
d L_p	<0.006	0.002995	0.003495		
d L_p %	<3%	0.70%	0.82%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	1.41E-12	1.14E-12		
U_p [W/m²K]		1.0309	1.0309		
bp [mm]	190	190	190		
bf [mm]	110	110	110		
U_f [W/m²K]	2.07	2.1011	2.1057		
d U_f	<0.06	0.0311	0.0357		
d U_f %	<5%	1.48%	1.69%		

Tab. 3 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüferferenzfall 3 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.006 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüferferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.06 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schließfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüferferenzfall 3 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

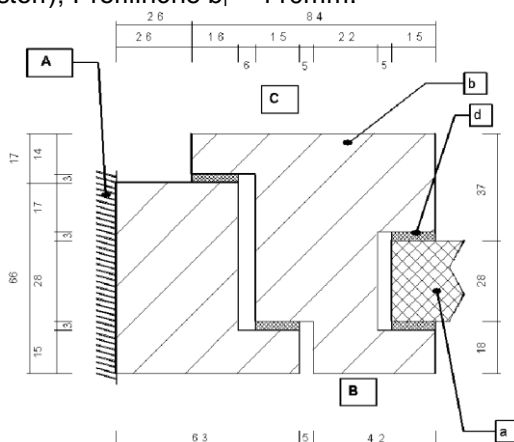
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 4

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Holzprofil und Füllung (Dämmstoff); Profilhöhe $b_f = 110\text{mm}$.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
0,346 ± 0,001	1,36 ± 0,01

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket AnTherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

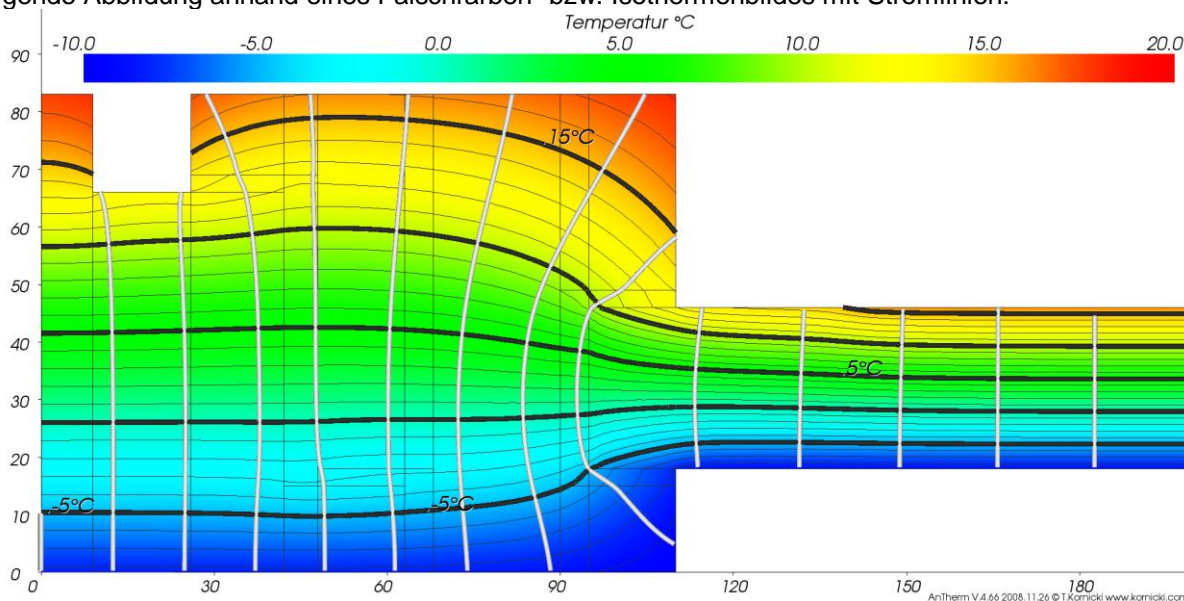


Abb. 4 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0\text{K}$ eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüfreferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüfreferenzfall 4	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	3258	6262	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.346	0.345813	0.345872	0.000059	0.02%
d L_p	<0.001	0.000187	0.000128		
d L_p %	<3%	0.05%	0.04%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	4.05E-13	1.94E-11		
U_p [W/m²K]		1.0309	1.0309		
bp [mm]	190	190	190		
bf [mm]	110	110	110		
U_f [W/m²K]	1.36	1.3631	1.3636		
d U_f	<0.010	0.0031	0.0036		
d U_f %	<5%	0.23%	0.27%		

Tab. 4 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüfreferenzfall 4 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.001 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüfreferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.01 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schließfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 4 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

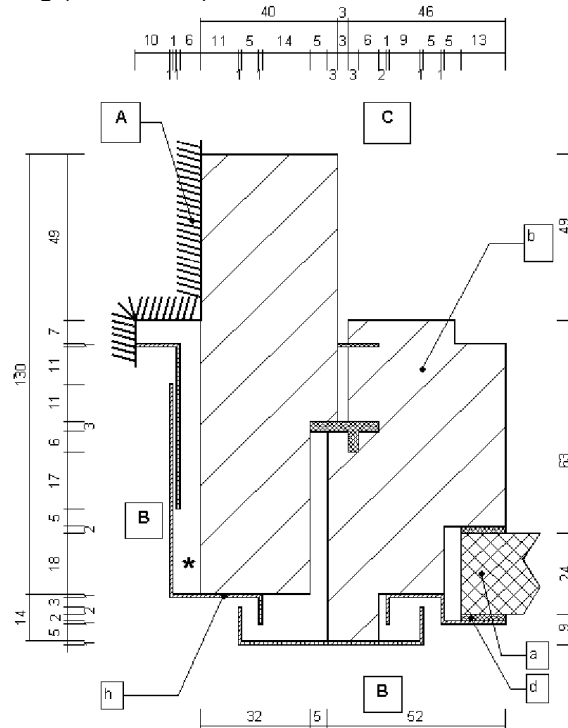
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 5

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Dachfensterrahmen und Füllung (Dämmstoff); Profillhöhe $b_f = 89$ mm.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
0,408 ± 0,007	2,08 ± 0,08

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

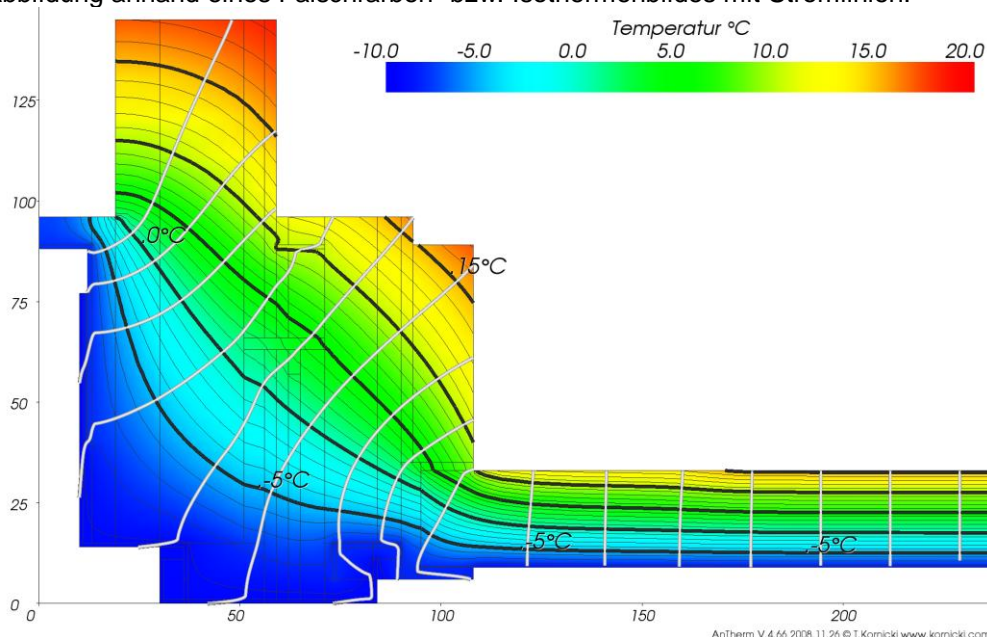


Abb. 5 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0\text{ K}$ eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüferferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüferferenzfall 5	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	3093			5440
L_p [W/mK]	0.408	0.403673	0.404031	0.000358	<1%
d L_p	<0.007	0.004327	0.003969		
d L_p %	<3%	1.07%	0.98%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211	2.83E-12	2.10E-11		
U_p [W/m ² K]		1.1686	1.1686		
bp [mm]	190	190	190		
bf [mm]	89	89	89		
U_f [W/m ² K]	2.08	2.0409	2.0449		
d U_f	<0.08	0.0391	0.0351		
d U_f %	<5%	1.92%	1.72%		

Tab. 5 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüferferenzfall 5 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3% . Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.007 W/mK .

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5% . Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüferferenzfall angegebenen Standardabweichung von $0.08\text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schliessfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüferferenzfall 5 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

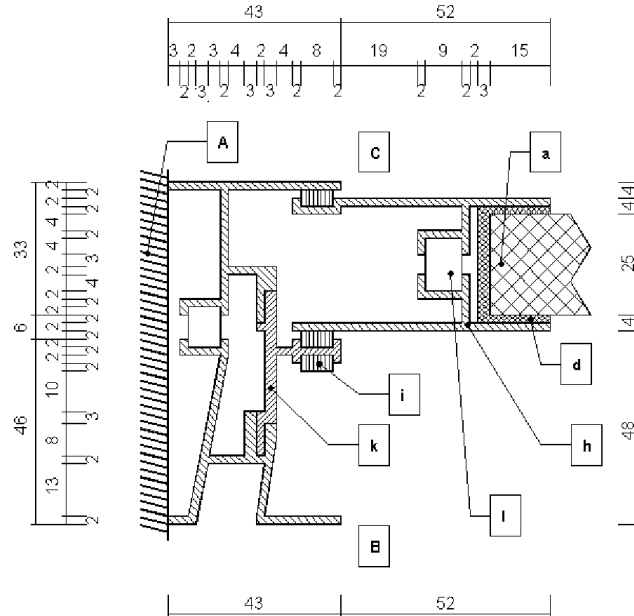
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 6

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Gleitfensterrahmen und Füllung (Dämmstoff); Profilhöhe $b_f = 95$ mm.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
0,659 ± 0,008	4,67 ± 0,09

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

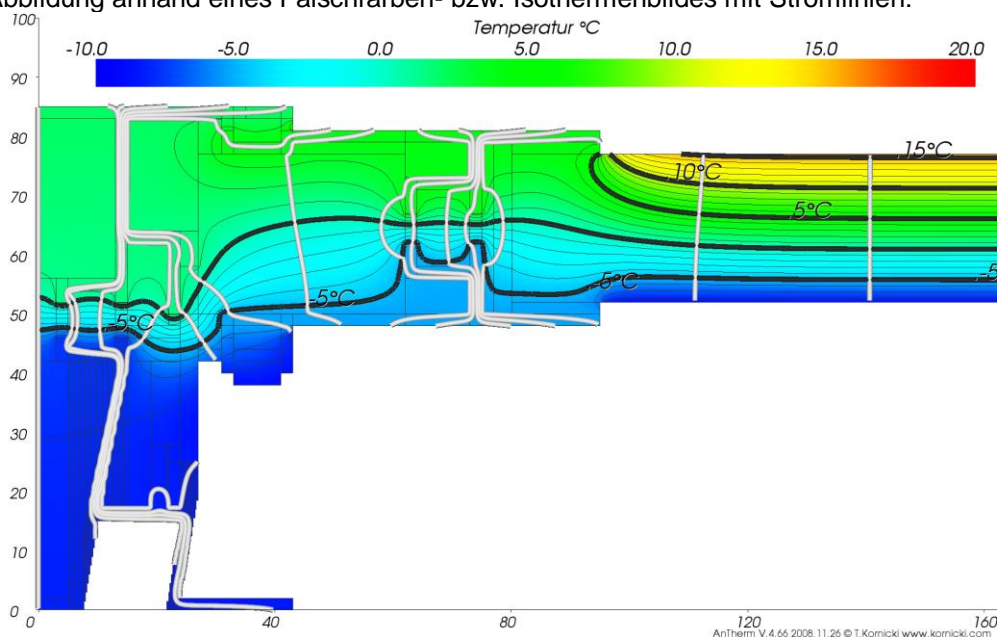


Abb. 6 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von 1,0 K eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüferferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüferferenzfall 6		Zellenzahl		dL	dL %
	EN10077-2	13755	28890	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.659	0.653091	0.653954	0.000863	0.13%
d L_p	<0.008	0.005909	0.005046		
d L_p %	<3%	0.90%	0.77%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	8.04E-13	1.99E-09		
U_p [W/m²K]		1.1309	1.1309		
bp [mm]	190	190	190		
bf [mm]	95	95	95		
U_f [W/m²K]	4.67	4.6128	4.6219		
d U_f	<0.09	0.0572	0.0481		
d U_f %	<5%	1.24%	1.04%		

Tab. 6 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüferferenzfall 6 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.008 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüferferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.09 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schliessfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 6 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

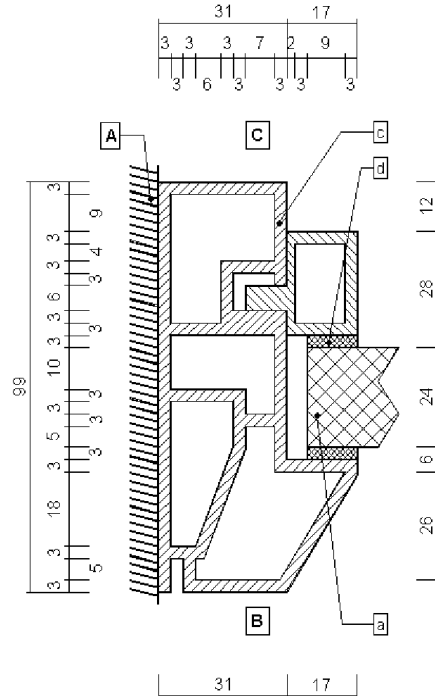
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 7

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Festverglasung und Füllung (Dämmstoff); Profillhöhe $b_f = 48$ mm.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_f
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
0,285 ± 0,002	1,31 ± 0,03

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

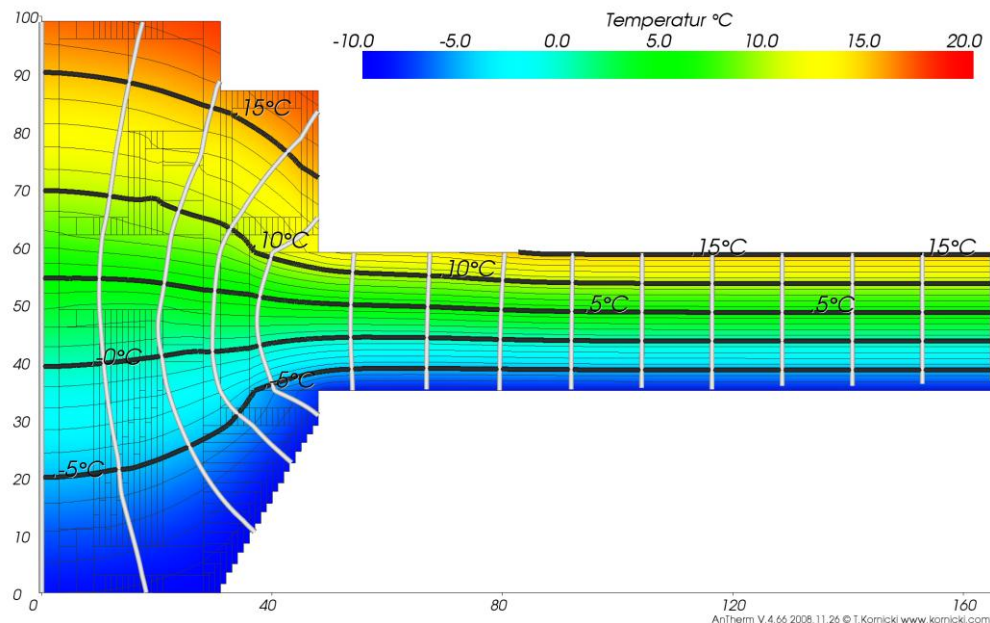


Abb. 7 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von 1,0 K eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüfreferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüfreferenzfall 7	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	8037			14675
L_p [W/mK]	0.285	0.284397	0.284476	0.000079	0.03%
d L_p	<0.002	0.000603	0.000524		
d L_p %	<3%	0.21%	0.18%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	6.56E-13	1.75E-11		
U_p [W/m²K]		1.1686	1.1686		
bp [mm]	190	190	190		
bf [mm]	48	48	48		
U_f [W/m²K]	1.31	1.2992	1.3009		
d U_f	<0.03	0.0108	0.0091		
d U_f %	<5%	0.83%	0.70%		

Tab. 7 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüfreferenzfall 7 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.002 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüfreferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüfreferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.03 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schliessfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 7 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

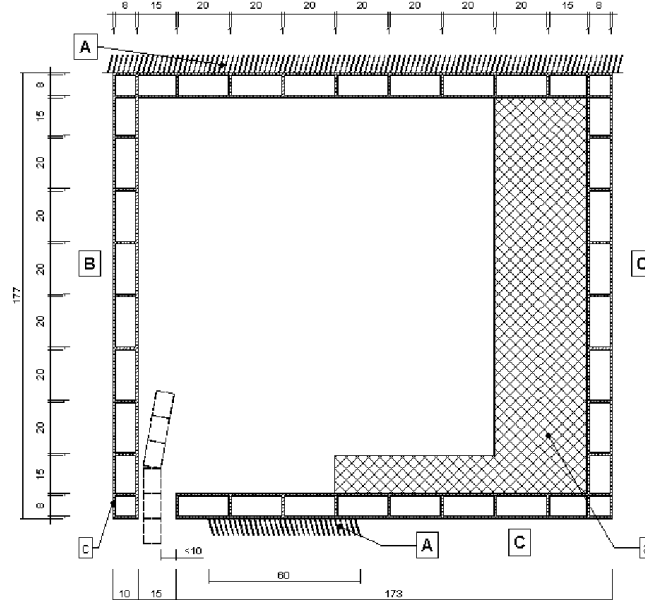
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 8

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Rollladenkasten; Profilhöhe $b_{sb} = 177$ mm.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D} W/(m·K)	U_r W/(m ² ·K)
0,181 ± 0,003	1,03 ± 0,02

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

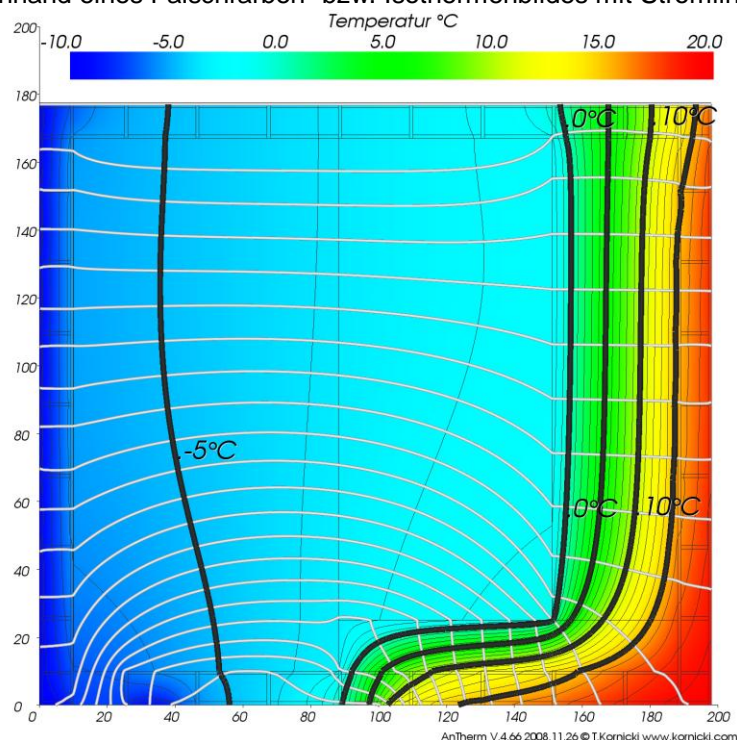


Abb. 8 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0\text{ K}$ eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüferferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüferferenzfall 8	Zellenzahl			dL	dL %
	EN10077-2	6720	14874	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.181	0.182912	0.183235	0.000323	0.18%
d L_p	<0.003	0.001912	0.002235		
d L_p %	<3%	1.05%	1.22%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211				
	<0.0001	3.51E-11	8.72E-11		
bf [mm]	177	177	177		
U_f [W/m ² K]	1.03	1.0334	1.0352		
d U_f	<0.02	0.0034	0.0052		
d U_f %	<5%	0.33%	0.50%		

Tab. 8 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüferferenzfall 8 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.003 W/mK .

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüferferenzfall angegebenen Standardabweichung von $0.02\text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schliessfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 8 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

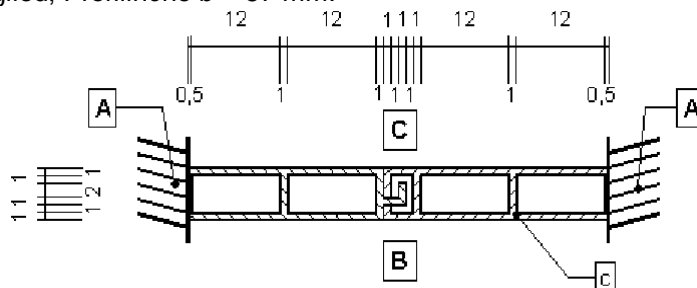
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüferferenzfall 9

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

PVC-Rollladenpanzerglied; Profilhöhe $b = 57$ mm.



Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D}	U_T
W/(m·K)	W/(m ² ·K)
0,207 ± 0,001	3,64 ± 0,01

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket AnTherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

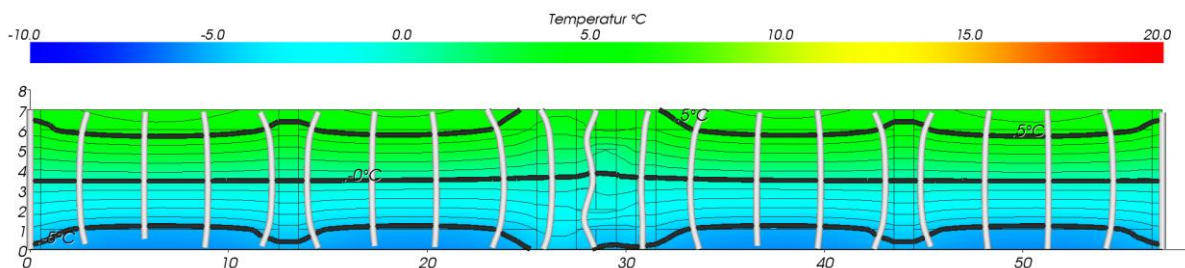


Abb. 9 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von $1,0$ K eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüferferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüferferenzfall 9	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	637	1204	EN10211	<1%
L_p [W/mK]	0.207	0.207262	0.207338	0.000076	0.04%
d L_p	<0.001	0.000262	0.000338		
d L_p %	<3%	0.13%	0.16%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	4.83E-12	4.94E-12		
bf [mm]	57	57	57		
U_f [W/m²K]	3.64	3.6362	3.6375		
d U_f	<0.0100	0.0038	0.0025		
d U_f %	<5%	0.11%	0.07%		

Tab. 9 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüferferenzfall 9 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.001 W/mK.

Die Abweichung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüferferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.01 W/m²K.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schließfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüferferenzfall 9 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

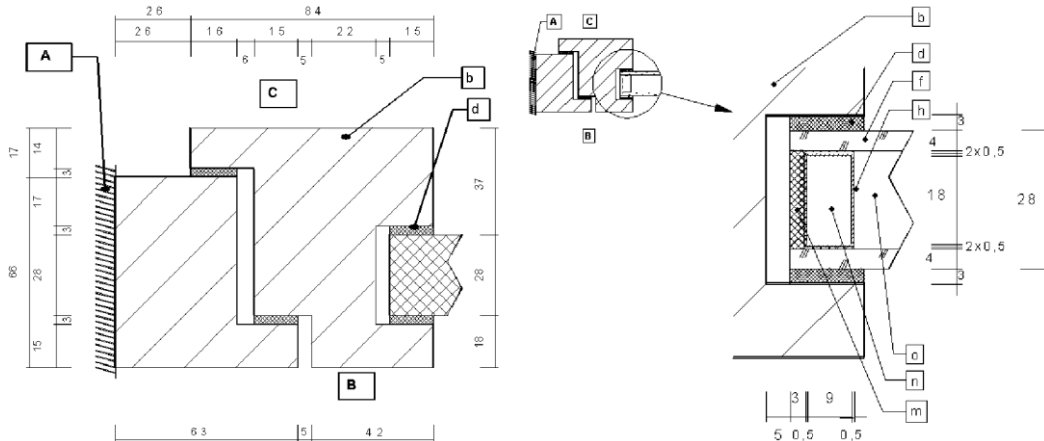
Zusätzliche Anmerkungen:

- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Prüfpreferenzfall 10

Spezifische Kriterien der EN ISO 10077-2:2007:

Beispiel für die Bestimmung des linearen Wärmedurchgangskoeffizienten eines Holzprofils (siehe Prüfpreferenzfall 4) und einer Verglasung mit $U_g = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mit einem konventionellen Glasrandsystem; Profilhöhe $b_f = 110 \text{ mm}$.



Um für die Isolierglaseinheit einen Wärmedurchgangskoeffizienten U_g von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu erzielen, wird der Raum der Isolierglaseinheit mit einem festen Stoff gefüllt (mit "o" markiert), der eine Wärmeleitfähigkeit von $0,034 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufweist.

Ergebnisse dürfen sich um nicht mehr als 3% von den vorgegebenen unterscheiden.

L^{2D} $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Ψ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
$0,481 \pm 0,004$	$0,084 \pm 0,004$

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10077-2:2003:

- Die Berechnung wird mit einem zweidimensionalen numerischen Verfahren nach EN ISO 10211 durchgeführt.

Allgemeine Kriterien der EN ISO 10211:2007:

- Die prozentuelle Abweichung der berechneten Wärmeströme aus der durchgeführten Berechnung und einer weiteren Berechnung mit doppelter Zellenanzahl muss kleiner als 1% sein.
- Die über alle Bauteiloberflächen gebildete Summe der in den Bauteil eindringenden (positiven) und aus dem Bauteil austretenden (negativen) Wärmeströme, dividiert durch den gesamten, durch den Bauteil fließenden Wärmestrom muss kleiner als 0,0001 sein.

Ergebnisse von Programmpaket AnTherm:

Die von Programmpaket Antherm rechnerisch ermittelte Temperaturverteilung und Wärmeströme zeigt folgende Abbildung anhand eines Falschfarben- bzw. Isothermenbildes mit Stromlinien:

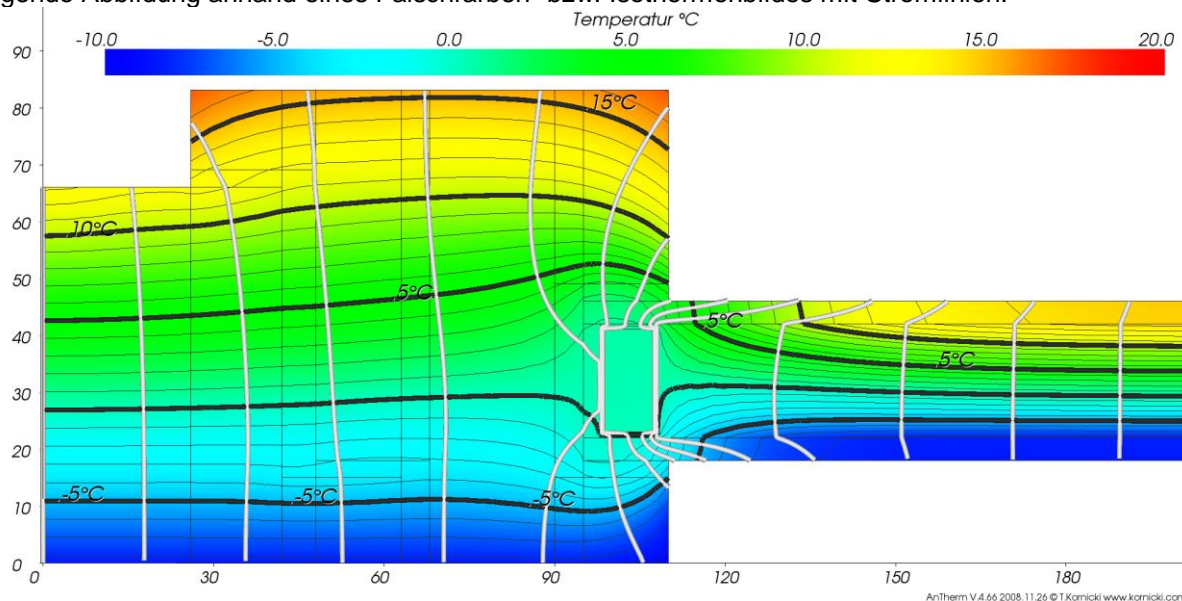


Abb. 10 Isothermenbild des berechneten Temperaturfeldes; die Isothermen sind im Intervall zwischen -10°C und 20°C im Abstand von 1,0 K eingezeichnet; Die Stromlinien sind zu jeweils 5% des Wärmestroms der einen Oberflächenkante aufgezeichnet.

In der nachfolgenden Tabelle sind neben der in dem Prüferferenzfall angegebenen Vergleichswerten des zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} und längenbezogenen Wärmdurchgangskoeffizienten Ψ die entsprechenden Ergebniswerte und deren Abweichung von der Vorgabe für mehrere Durchrechnungen mit unterschiedlich feiner Diskretisierung aufgelistet:

Prüferferenzfall 10	Zellenzahl		dL	dL %	
	EN10077-2	5211			11335
L [W/mK]	0.481	0.479938	0.480314	0.000376	0.08%
dL	<0.004	0.001062	0.000686		
dL %	<3%	0.22%	0.14%		
Leitwertbezogener Schließfehler	EN10211 <0.0001	8.87E-10	1.16E-09		
Ug [W/m²K]	1.300	1.3050	1.3050		
bg [mm]	190	190	190		
Uf [W/m²K]	1.36	1.3631	1.3636		
bf [mm]	110	110	110		
Ψ [W/mK]	0.084	0.0820	0.0824		
d Ψ	<0.0040	0.0020	0.0010		
d Ψ %	<5%	2.38%	1.99%		

siehe Fall 4

Tab. 10 Vergleich der von Programmpaket Antherm errechneten Ergebnisse mit für den Prüferferenzfall 10 in der EN ISO 10077-2:2003 angegebenen Werten. Die Information zur Fehlerabschätzung nach den allgemeinen Kriterien der EN ISO 10211:2007 (durch den Vergleich der Wärmeströme aus mehreren Durchrechnungen mit jeweils doppelter Zahl der Zellen) ist auf der rechten Seite der Tabelle ebenfalls zusammengestellt.

Die Abweichung des mit AnTherm berechneten zweidimensionalen thermischen Leitwertes L_f^{2D} von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 3%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der angegebenen Standardabweichung von 0.004 W/mK.

Die Abweichung des längenbezogenen Wärmdurchgangskoeffizienten Ψ von dem Vorgabewert liegt weit innerhalb des im Prüferferenzfall geforderten Grenzprozentsatzes von 5%. Der Wert liegt bei weitem innerhalb der im Prüferferenzfall angegebenen Standardabweichung von 0.004 W/mK.

Die Wärmeströme aus den Rechnungen mit jeweils doppelter Zellenzahl weichen voneinander deutlich weniger als 1% ab.

In allen Fällen liegt der Leitwertbezogene Schliessfehler weit unter dem in der EN ISO 10211:2007 genannten Maximalwert von 0,0001.

Conclusio:

Unter Beachtung der durch die Rundungen bedingten Unsicherheiten besteht **vollständige Übereinstimmung** zwischen den von Programm AnTherm errechneten und den im Prüfreferenzfall 10 der EN ISO 10077-2:2003 vorgegebenen Werten.

Zusätzliche Anmerkungen:

- Der Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f wurde aus dem entsprechender Berechnung im Prüfreferenzfall 4 jeweils übernommen
- Zwecks Überprüfung der Fehlerabschätzung nach EN ISO 10211:2007 12.2.5 bzw. A.2 wurden mehrere Berechnungen mit unterschiedlicher Zellenzahl durchgeführt und die Ergebnisse gegenübergestellt..

Weitere Hinweise

<http://www.kornicki.com/antherm>
<http://www.kornicki.de/antherm>
<http://www.kornicki.at/antherm>
<http://waermebruecken.kornicki.at>