

Studie

zur Untersuchung und Überprüfung der wärmeschutztechnischen Kennwerte von verschiedenen Holzträgern für Außenwände und Dächer

Auftraggeber : Ministerium für Umwelt und Forsten
 Kaiser-Friedrich-Straße 1
 55116 Mainz

Auftragnehmer : Universität Kaiserslautern
 Fachgebiet Bauphysik/ TGA
 Prof. Dr. H. Heinrich
 Erwin-Schrödinger-Straße
 67663 Kaiserslautern

0 Inhaltsverzeichnis

	Seite
0 Inhaltsverzeichnis	2
1 Zielsetzung der Studie und Vorgehensweise	3
2 Literaturrecherche / Marktanalyse	4
2.1 Trägersysteme	5
2.1.1 TrusJoist	5
2.1.2 Finnforest Deutschland GmbH	6
2.1.3 Glunz AG	7
2.1.4 Kaufmann-Holz AG	9
3 Auswahl der untersuchten Materialien	10
4 Messungen der Wärmeleitfähigkeit im Zweiplattengerät	11
4.1 Norm-Messverfahren nach DIN 52 612	11
4.2 Durchgeführte Messungen	12
4.2.1 Messungen des I-Träger-Steges	13
4.2.2 Messungen des Vollholzträgers	15
5 Berechnungen mit FD-Methode	16
5.1 I-Träger-Berechnung – DIN 4108-4 (vor 2002)	18
5.2 I-Träger-Berechnung – DIN EN 12524	20
5.3 Vollholz-Träger-Berechnung – DIN 4108-4 und DIN EN 12524	22
5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse	24
6 Messungen in der Klimakammer	25
7 Zusammenfassung	30

1 Zielsetzung der Studie und Vorgehensweise

Fast jedes Haus besitzt Außenbauteile in Holz. Bei der Massivbauweise ist dies im allgemeinen die Dachkonstruktion, bei Leichtbauweise die Außenwände und das Dach, teilweise auch der untere Gebäudeabschluss. An alle Außenbauteile werden hohe Ansprüche bezüglich des Wärmedurchgangs gestellt. Dabei bilden in der Gesamtkonstruktion die Holzanteile meist den Schwachpunkt als Wärmebrücke. Deshalb werden seit Beginn der Entwicklung von Niedrigenergie- und vor allem auch Passivhäusern Alternativen zu Vollholzquerschnitten untersucht, diskutiert und in unterschiedlichsten Varianten mit Erfolg realisiert

Eine Möglichkeit besteht darin, anstelle von Vollhölzern sogenannte Holz-Stegträger einzusetzen. Diese sind industriell hergestellte Träger aus zusammengesetzten Querschnitten unter Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen. Der Aufbau dieser Holz-Stegträger in Form von I-Profilen besteht aus Gurten in Holz- oder Holzwerkstoffen und eingeleimten Stegen i. d. R. aus Holzwerkstoffplatten. Ein Vorteil dieser Träger besteht laut Herstellerangaben in dem verringerten Querschnitt gegenüber den Vollholzträgern. Dieser Vorteil tritt effektiv jedoch nur bei gleichem wärmetechnischen Verhalten der Stege und der Vollholzträger auf. Als extremes Beispiel können hier Träger mit Metallsteg genannt werden, deren Querschnitt zwar sehr gering ist, die Wärmeleitfähigkeit des Metalls jedoch ein mehrfaches der von Holz beträgt.

Zur Übersicht über den Stand der Technik und Anwendung zusammengesetzter konstruktiver Baustoffe wird die aktuelle Literatur zum Thema gesichtet und der Markt für die Produkte unter besonderer Berücksichtigung der I-Träger analysiert. Darauf aufbauend werden Trägertypen und -materialien ausgewählt und deren unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten im Vergleich zu Vollholz im Zweiplattengerät normgerecht jeweils senkrecht und parallel zur Faser ermittelt. Mit den Ergebnissen dieser Versuche werden die Wärmeströme der Träger mit einer Finite-Differenzen-Methode berechnet, um die theoretischen Unterschiede zwischen den einzelnen Baumaterialien herauszuarbeiten.

Im nächsten Schritt werden komplette Wandkonstruktionen aus den ausgewählten Trägern erstellt und in Klimakammern eingebaut, d.h. die Wände werden jeweils zwischen zwei Räume mit unterschiedlichem Klima eingesetzt. Hier wird eine winterliche Situation simuliert (Innen- und Außenklima) und die Temperaturen an verschiedenen Stellen der Wände (an der Oberfläche und im Wandinnern) gemessen.

Die Wärmeverteilung auf den Wandoberflächen wird mittels Thermographie dargestellt. Dies erlaubt, das wärmetechnische Verhalten der verschiedenen Holzträger in ihren Wechselwirkungen mit anderen Baustoffen zu erfassen.

Schließlich werden die wärmeschutztechnischen Kennwerte der verschiedenen Holzträger für Außenwände und Gebäudedächer im Vergleich zu Vollholz zusammengefasst und beurteilt.

Die Untersuchung soll zeigen, ob die Wärmebrückenwirkung mit solchen I-Trägern tatsächlich viel geringer als mit Vollholzträgern ist. Dies ist wichtig vor dem Hintergrund, dass durch Einsatz solcher Träger die Nachfrage für einheimisches Vollholz aus Sägewerken zurückgeht. Sollte sich durch die Untersuchung herausstellen, dass die Energieverluste über die Bauteile nur gering verbessert wird, so könnte durch geringere Kosten das Vollholz wiederum einen Marktvorteil erringen.

2 Literaturrecherche / Marktanalyse

Der Einsatz von Holz-Stegträgern in hochwärmegeämmten Konstruktionen bedeutet, dass die durch den Träger im Bauteil entstehende Wärmebrücke korrekt bei der Wärmedurchgangsberechnung berücksichtigt werden muss.

Während beim üblichen Einsatz von Holzwerkstoffen als Beplankung auf flächigen Bauteilen der Wärmestrom die Plattenebene hauptsächlich senkrecht durchfließt, fließt der Wärmestrom durch den Steg eines Trägers in Plattenebene. Dabei ist zu beachten, dass Holz und Holzwerkstoffe sich wärmetechnisch anisotrop verhalten. Dass der Wärmefluss bei Holz axial deutlich größer ist als senkrecht zur Faserrichtung steht seit langem in den Fachbüchern.

Hauser hatte schon 1992 in seinem Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau empfohlen, bei Holzwerkstoffplatten den bekannten λ_R -Wert von 0,13 W/mK nur bei Wärmestromrichtung senkrecht zur Plattenebene zu verwenden. In Plattenebene sollte hingegen mit $\lambda = 0,29$ W/mK gerechnet werden.

In den unterschiedlichen Fassungen von DIN 4108-4, die seit 1991 erschienen sind (z.B. DIN V 4108-4:1998-10 in Fußnote 17), wurde festgelegt, dass die wärmetechnische Anisotropie von Holz und Holzwerkstoffen durch Multiplikation der „normalen“ λ_R –Werte mit dem Faktor 2,2 für die Wärmeleitung in Faserrichtung, bzw. in Plattenebene berücksichtigt werden sollte. Mit der Neufassung der DIN V 4108-4:2002-02 ist dieser Faktor aber praktisch aufgehoben, denn diese

verweist bei Holz- und Holzwerkstoffen auf DIN EN 12524:2000. In dieser Norm findet sich jedoch lediglich jeweils ein einziger Bemessungswert für die Holz-Baustoffe - eine Richtungsabhängigkeit des Wärmestroms wird nicht berücksichtigt.

2.1 Trägersysteme

Auf dem Markt sind mehrere Anbieter von Holz-Stegträgern vorhanden, wobei unter Berücksichtigung von tatsächlicher Verfügbarkeit und bauaufsichtlicher Zulassung nur wenige Produkte häufig zum Einsatz kommen.

2.1.1 TrusJoist

Hersteller:

TrusJoist

Behring Str. 10

82152 Planegg

Tel. 089 / 85 50 96

www.trusjoist.com

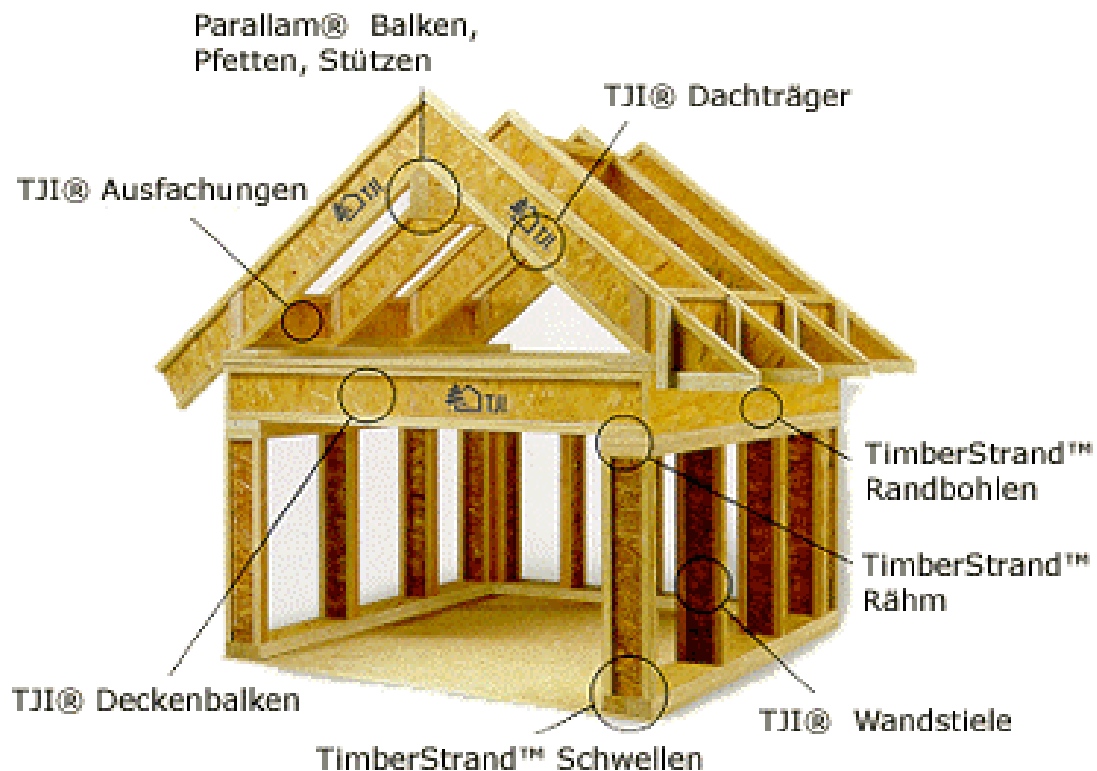


Abb. 1: Frame-Works-Bausystem von TrusJoist

Gurte: Microllam-Furnierschichtholz 45 x 38 mm, 58 x 38 mm, 89 x 38 mm

Steg: OSB-Platten 9,5 mm und 11 mm

Trägerbezeichnung	Gurtabmessung bx h [mm]	Stegbreite [mm]	Trägerhöhen [mm]
TJI Pro 250	45 x 38	9,5	200, 241, 302, 356, 406, (bis 600 mm auf Anfrage)
TJI Pro 350	58 x 38	9,5	
TJI Pro 550	89 x 38	11,0	

2.1.2 Finnforest Deutschland GmbH

Hersteller:

Finnforest Deutschland GmbH

Louis-Krages-Straße 30

28237 Bremen

Tel. 0421 / 6911-0

www.finnforest.de



Abb. 2: Doppel-T-Profil Finnjoist (FJI) von Finnforest

Gurte: Kerto-Furnierschichtholz 45 x 39 mm, 58 x 39 mm, 89 x 39 mm

Steg: OSB-Platten 10 mm

Zulassungsnummer Z-9.1-533

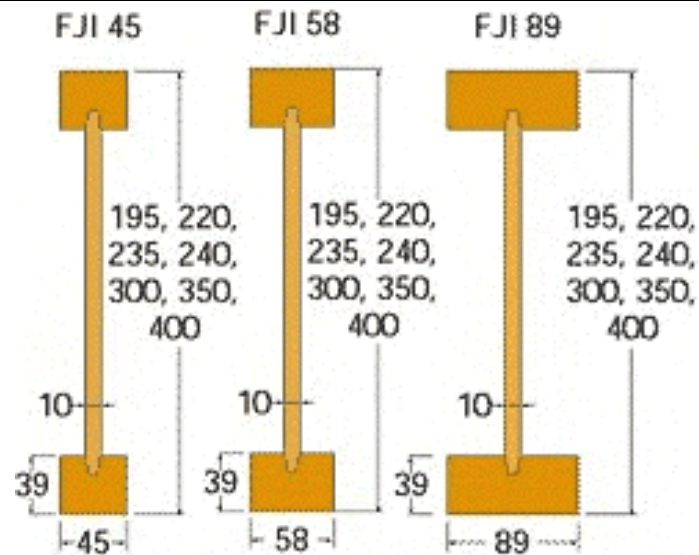


Abb. 3: Lieferbare Trägerabmessungen ; Maximale Länge 14,00 m

2.1.3 Glunz AG

Hersteller:

Glunz AG

Postfach 13 55, 49703 Meppen

Grecostraße 1, 49716 Meppen

Tel. 0 59 31 / 40 50

www.glunz.de



Abb. 4: Agepan-Trägersystem Fa. Glunz-AG

Maximale Länge für alle Träger 12,00 m

AGEPAN-Standard-Träger AM

Gurtmaterial: Nadelholz S 10

Stegmaterial: harte Holzfaserplatte MASONITE HFH 100; Z-9.1-123

Bezeichnung	Trägerlänge in m	Trägerhöhe in mm ¹⁾	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm ¹⁾
AM 240	7,5 / 9,9 / 12,0	240	8	60 x 47
AM 300	7,5 / 9,9 / 12,0	300	8	60 x 47
AM 400	7,5 / 9,9 / 12,0	400	8	60 x 47
1) Trägerhöhe und Gurtmaß können zwecks Verbesserung der Eigenschaften Veränderungen unterliegen.				

Tab. 1

Bezeichnung	Trägerlänge in m	Trägerhöhe in mm ¹⁾	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm ¹⁾
AM 240	7,5 / 9,9 / 12,0	240	8	60 x 47
AM 300	7,5 / 9,9 / 12,0	300	8	60 x 47
AM 400	7,5 / 9,9 / 12,0	400	8	60 x 47
1) Trägerhöhe und Gurtmaß können zwecks Verbesserung der Eigenschaften Veränderungen unterliegen.				

Tab. 2

AGEPAN-MASONITE-Träger AM* für höhere Belastungen

Gurtmaterial: Nadelholz S 10

Stegmaterial: harte Holzfaserplatte MASONITE HFH 100; Z-9.1-123

Bezeichnung	Trägerlänge in m	Trägerhöhe in mm ¹⁾	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm ¹⁾
AM* 240	9,9 / 12,0	240	8	70 x 47
AM* 300	12,0	300	8	70 x 47
AM* 400	12,0	400	8	70 x 47
1) Trägerhöhe und Gurtmaß können zwecks Verbesserung der Eigenschaften Veränderungen unterliegen.				

Tab. 3

AGEPAN-Triply-Träger AT

Gurtmaterial: Nadelholz S 10

Stegmaterial: AGEPAN Triply OSB/4 nach EN 300 und Z-9.1-326; Z-9.1-123

Bezeichnung	Trägerlänge in m	Trägerhöhe in mm ¹⁾	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm ¹⁾
AT 200	7,4 / 12,0	200	12	70 x 47
AT 240	7,4 / 12,0	240	12	70 x 47
1) Trägerhöhe und Gurtmaß können zwecks Verbesserung der Eigenschaften Veränderungen unterliegen.				

Tab. 4

AGEPAN-Triply-Stern-Träger AT*

Gurtmaterial: Nadelholz S 10/MS 13

Stegmaterial: AGEPAN Triply OSB/4 nach EN 300 und Z-9.1-326; Z-9.1-123

Bezeichnung	Trägerlänge in m	Trägerhöhe in mm ¹⁾	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm ¹⁾
AT* 240 / 15	7,40 / 12,00	240	15	90 x 60
AT* 280 / 15	7,40 / 12,00	280	15	90 x 60
AT* 320 / 15	7,40 / 12,00	320	15	90 x 60
1) Trägerhöhe und Gurtmaß können zwecks Verbesserung der Eigenschaften Veränderungen unterliegen.				

Tab. 5

AGEPAN Standard Stiel AS

Gurtmaterial: Nadelholz S 10

Stegmaterial: harte Holzfaserplatte MASONITE HFH 100; Z-9.1-140

Bezeichnung	Trägerlänge in m	Trägerhöhe in mm ¹⁾	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm ¹⁾
AS 200	5,5	200	8	60 x 47
AS 240	5,5	240	8	60 x 47
AS 300	5,5	300	8	60 x 47

1) Trägerhöhe und Gurtmaß können zwecks Verbesserung der Eigenschaften Veränderungen unterliegen.

Tab. 6

AGEPAN Standard Schwelle AMS

Gurtmaterial: Nadelholz S 10

Stegmaterial: harte Holzfaserplatte MASONITE HFH 100

Bezeichnung	Schwellenlänge in m	Schwellentiefe in mm	Stegdicke in mm	Gurtmaß in mm
AMS 200	7,5	200	8	45 x 70
AMS 240	7,5	240	8	45 x 70
AMS 300	7,5	300	8	45 x 70

Tab. 7

2.1.4 Kaufmann-Holz AG

Hersteller:

Kaufmann Holz AG

Vorderreuthe 57

A - 6870 Reuthe

Tel. +43 (5574) 804-0

www.kaufmann-holz.at



Abb. 5: KIT-Trägersystem von Kaufmann

160, 200, 240, 300, und 360 mm Höhe

Gurte: Vollholz

Steg: Hartfaserplatte

3 Auswahl der untersuchten Materialien

Aufgrund der Marktanalyse ist zu erkennen, dass I-Träger mit Holz-Grobspanplatten als Stegmaterial (siehe Abb. 6) als Marktführer anzusehen sind. Aus diesem Grund wurden die weiterführenden Untersuchungen mit einem solchen Material durchgeführt.



Abb. 6: I-Träger (TrusJoist)

Als Vergleichsmaterial wurde ein typischerweise eingesetzter Vollholzträger aus Fichte (siehe Abb. 7) gewählt.



Abb. 7: Vollholz - Fichte

Es soll für diese Materialien das Wärmeleitvermögen in die unterschiedlichen Richtungen untersucht werden. Dies wird im folgenden Kapitel noch näher erläutert.

4 Messungen der Wärmeleitfähigkeit im Zweiplattengerät

Zur Bestimmung der Wärmedämmeigenschaften von Bau- oder Konstruktionsteilen ist es notwendig die Wärmeleitfähigkeiten der eingesetzten Stoffe zu kennen. Die Wärmeleitfähigkeit bestimmt in einem homogenen Temperaturfeld die Größe des Wärmestroms in Richtung des Temperaturgefälles. Um ein einheitliches Messverfahren zu erhalten, ist in DIN 52 612 das Prüfverfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Stoffen oder des Wärmedurchlasswiderstandes geschichteter Materialien mit dem sogenannten Zweiplattengerät festgelegt.

4.1 Norm-Messverfahren nach DIN 52 612

Das Zweiplattengerät ist geeignet für die Prüfung ebener plattenförmiger Proben wie Dämm-Materialien, Verbundstoffe usw. .

Die Wärmeleitfähigkeit gibt eine Aussage über die Dämmeigenschaft eines Stoffes. Sie kann nur für homogene und annähernd homogene Stoffe angegeben werden. Das Zweiplattengerät ist deshalb nicht geeignet für inhomogene Proben, wie z.B. Mauerwerk.

Die Anwendung des Prüfverfahrens ist im allgemeinen auf Stoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit kleiner als $2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ beschränkt.

Beim Prüfverfahren mit dem Zweiplattengerät wird die mittlere Wärmeleitfähigkeit oder der mittlere Wärmedurchlasswiderstand von zwei gleichen plattenförmigen Proben ermittelt, die symmetrisch zu beiden Seiten einer beheizten quadratischen Platte (Heizplatte) angeordnet sind. An den gegenüberliegenden äußeren Oberflächen der Proben wird die Wärme durch Kühlplatten abgeführt. Zur thermischen Abschirmung ist die Heizplatte von einem Heizring umgeben, dessen Heizung so geregelt ist, dass die seitlichen Wärmeverluste der Heizplatte klein gehalten werden. Um Störungen der Temperaturverhältnisse im Gerät durch Umgebungseinflüsse zu verhindern, wird das Gerät in „ein Gehäuse aus Wärmedämmstoffen“ eingepackt. (vgl. Abb. 8 und Abb. 9)

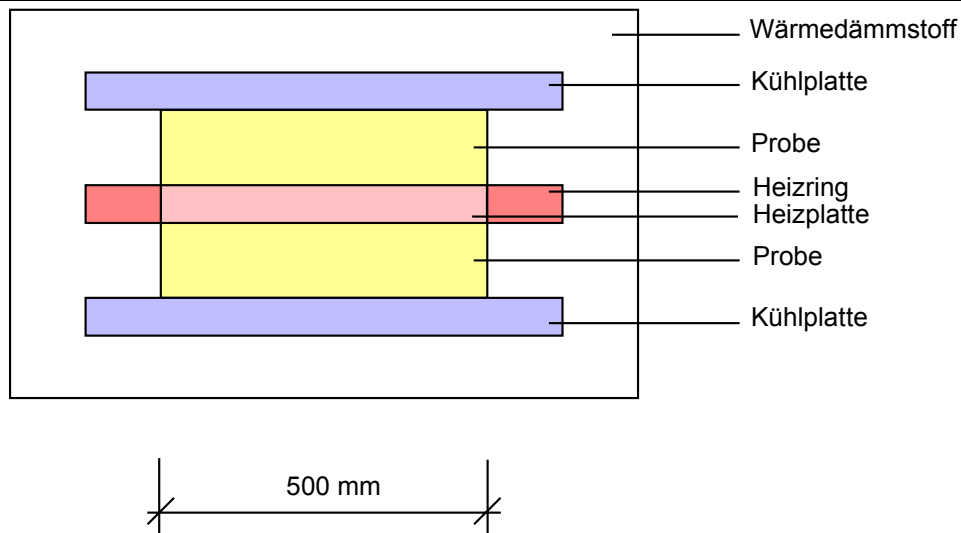


Abb. 8: schematischer Aufbau eines Zweiplattengerätes



Abb. 9: Photo des Zweiplattengerätes

4.2 Durchgeführte Messungen

Nach DIN 52 612 wurden mehrere Messungen mit den einzelnen Komponenten des I-Träger und dem Vollholzträger durchgeführt, welche nachfolgend genauer beschrieben werden.

Die Baustoffe wurden im Labor längere Zeit gelagert und in diesem Zustand gemessen, um die reale Einbausituation zu simulieren, da sich im Material eine Ausgleichsfeuchte unter Raumbedingungen eingestellt hat.

4.2.1 Messungen des I-Träger-Steges

Die Messungen des I-Träger-Steges wurden in verschiedenen, zueinander orthogonalen Richtungen durchgeführt (siehe Abb. 10). Mit dieser Messung soll überprüft werden, ob das Material in den unterschiedlichen Richtungen auch unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten aufweist.

Nach den bis Februar 2002 gültigen Fassungen von DIN 4108-4 (Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte) war für Holz und Holzwerkstoffe in der Fußnote 17 der Tabelle 1 angegeben: (z.B. DIN V 4108-4(1998))

„¹⁷⁾ Die angegebenen Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_R gelten für Holz quer zur Faser, für Holzwerkstoffe senkrecht zur Plattenebene. Für Holz in Faserrichtung sowie für Holzwerkstoffe in Plattenebene ist näherungsweise der 2,2-fache Wert einzusetzen, wenn kein genauer Nachweis erfolgt.“

In DIN V 4108-4 (Februar 2002) werden für einige Stoffe keine Werte mehr angegeben, sondern auf DIN EN 12524 verwiesen, so auch für Holz- und Holzwerkstoffe. In dieser wird nicht unterschieden nach Faserrichtung oder Richtung zur Plattenebene.

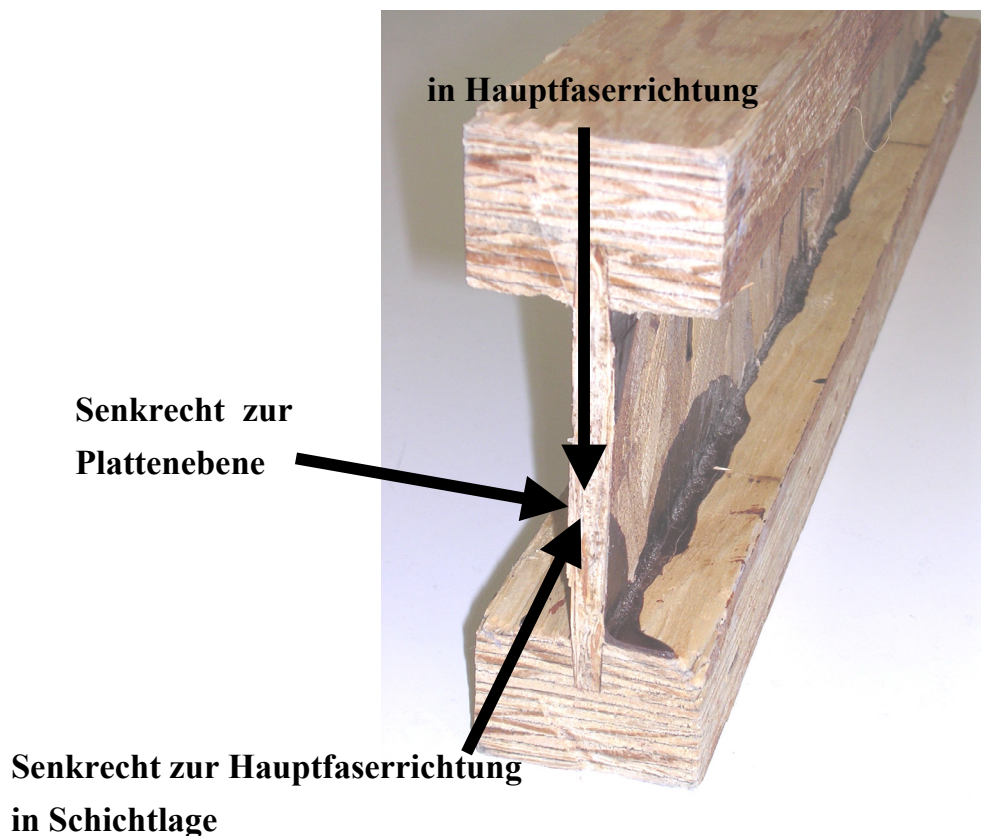


Abb. 10: I-Träger mit Darstellung der Messrichtungen für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit

Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Plattenebene und in Plattenebene wurde aus größeren Tafeln Proben hergestellt, welche im Zweiplattengerät vermessen werden konnten.

Die Ergebnisse der Messungen zum I-Träger sind in Tab. 8 zusammengestellt. Die einzelnen Messprotokolle sind diesem Bericht im Anhang beigelegt.

	Bezeichnung der Probe	Wärmeleitfähigkeit λ_{10} nach DIN 52612	Gemittelte Wärmeleitfähigkeit
		W/(m·K)	W/(m·K)
I-Steg	I-Steg in Hauptfaserrichtung	0,243	0,249
		0,247	
		0,249	
		0,256	
	I-Steg senkrecht zur Hauptfaserrichtung in Schichtlage	0,242	0,246
		0,249	
	I-Steg senkrecht zur Plattenebene	0,113	0,115
		0,118	
		0,116	
		0,111	
I-Gurt	I-Gurt Furnierschichtholz	0,104	0,105
		0,104	
		0,108	

Tab. 8: Messwerte der Wärmeleitfähigkeit des I-Träger-Steges

Es ergibt sich im Mittel ein Faktor von 2,17 ($\approx 2,2$) zwischen der Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Plattenebene und der Wärmeleitfähigkeit in Plattenebene.

Für die weiteren Berechnungen mit dem FD-Programm HEAT (siehe Kapitel 5) wird für die einzelnen Trägerbestandteile der gemittelte Wert der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten richtungsabhängig verwendet.

4.2.2 Messungen des Vollholzträgers

Die Messungen der Wärmeleitfähigkeit des Vollholzträgers wurden in verschiedenen Richtungen zu den Jahresringen durchgeführt (siehe Abb. 11). Es handelt sich hier immer um Messungen mit Wärmestrom senkrecht zur Faserrichtung, da dies für die Wärmeleitung im hier zu untersuchenden Anwendungsfall relevant ist.

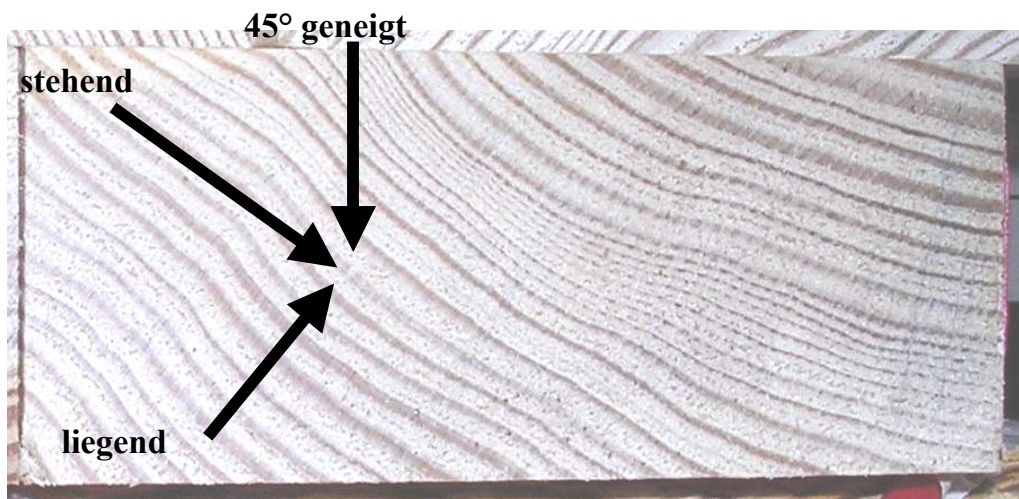


Abb. 11: Vollholzträger mit Darstellung der Messrichtungen für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit

Aufgrund der Einbausituation im Zweiplattengerät wurden diese wie folgt benannt:

- | | |
|---|--------------------------------|
| - Wärmeleitung senkrecht zu den Jahresringen: | mit liegenden Jahresringen |
| - Wärmeleitung parallel zu den Jahresringen: | mit stehenden Jahresringen |
| - Wärmeleitung unter 45° zu den Jahresringen: | mit 45° geneigten Jahresringen |

Die Ergebnisse der Messungen zum Vollholzträger aus Fichte senkrecht zur Faser, sind in Tab. 9 zusammengestellt. Die einzelnen Messprotokolle sind diesem Bericht im Anhang beigelegt.

Bezeichnung der Vollholz-Probe	Wärmeleitfähigkeit λ_{10} nach DIN 52612
	W/(m·K)
mit liegenden Jahresringen	0,094
mit stehenden Jahresringen	0,100
mit 45° geneigten Jahresringen	0,099

Tab. 9: Wärmeleitfähigkeiten des Vollholzträgers

Daraus ergibt sich ein Mittelwert des Vollholzträgers für die weiteren Berechnungen von:

$$\lambda_{10} = 0,0977 \text{ W/(m·K)}$$

5 Berechnungen mit FD-Methode

Im folgenden Kapitel werden die zwei Träger-Typen (I-Träger und Vollholz) miteinander verglichen. Der Vergleich erfolgt in einem „System“, nämlich eine idealisierte Wand- bzw. Dachkonstruktion. Der Vergleich erfolgt in zwei unterschiedlichen Dicken durch Temperatur- und Wärmestromberechnungen mit dem Finite-Differenzen-Programm HEAT.

Hierzu wurden zum einen die gemittelten Messwerte der Wärmeleitfähigkeit verwendet sowie in weiteren Berechnungen die in DIN 4108-4 (vor 2002) und in DIN EN 12524 angegebenen Werte.

Als Randbedingungen für die FD-Berechnungen wurde eine Innentemperatur von 20°C und eine Außentemperatur von -5°C angenommen, sowie normgemäß ein innerer Wärmeübergangswiderstand von $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ und ein äußerer Wärmeübergangswiderstand von $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{ K)/W}$.

In der folgenden Tab. 10 sind die in den HEAT-Berechnungen eingesetzten Werte für die Wärmeleitfähigkeit dargestellt.

Es wird unterschieden in die Wärmeleitfähigkeit in x- und y-Richtung, wobei die x-Richtung die Richtung des Wärmestroms kennzeichnet.

Material	Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN 4108 (vor 2002)		Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN EN 12524		Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN 52612 gemessen (λ_{10})	
	W/(m·K)		W/(m·K)		W/(m·K)	
	x	y	x	y	x	y
I-Stegplatte	0,286	0,13	0,13	0,13	0,249	0,115
Furnierschichtholz/ Microllam	0,13	0,13	0,13	0,13	0,105	0,105
Vollholz (Fichte)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,0976	0,0976

Tab. 10: Werte für Wärmebrückenberechnung mit HEAT

Bei den Materialien Spanplatte und Wärmedämmung wurden in allen Berechnungen die Werte aus DIN EN 12524 verwendet:

Spanplatte: $\lambda_{\text{Spanplatte}} = 0,14 \text{ W/(m·K)}$

Wärmedämmung: $\lambda_{\text{Wärmedämmung}} = 0,04 \text{ W/(m·K)}$

Damit ist der einzige konstruktive Unterschied im vorgegebenen Wand- bzw. Dachbauteil, der zu einem veränderten Wärmestrom führt, lediglich durch die unterschiedlichen Träger gegeben.

5.1 I-Träger-Berechnung – DIN 4108-4 (vor 2002)

Abb. 12 zeigt den konstruktiven Aufbau des „Systems“ im FD-Modell.

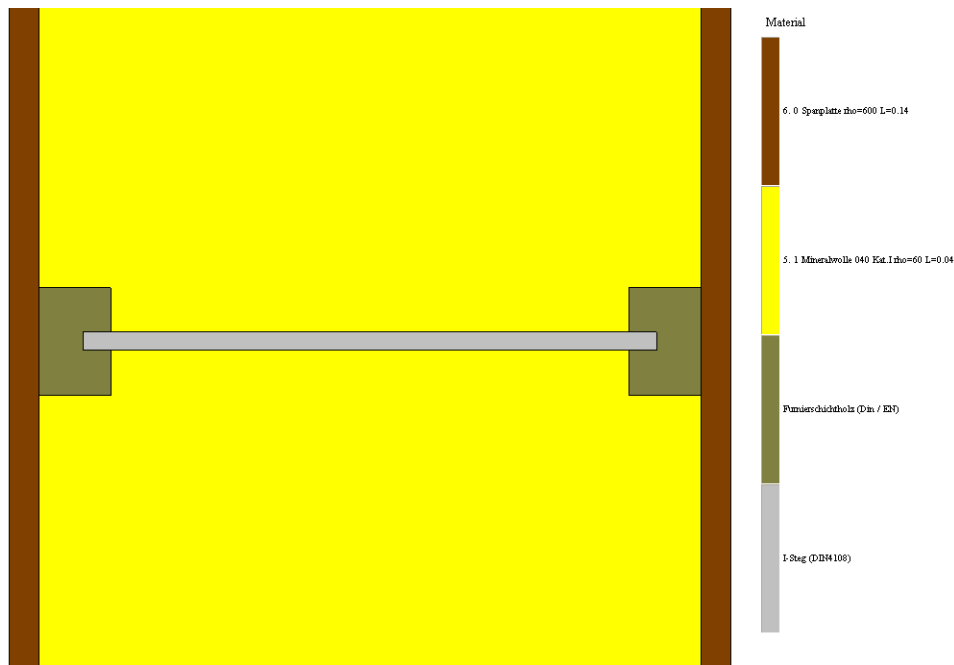


Abb. 12: I-Träger in HEAT – Materialien (DIN 4108-4)

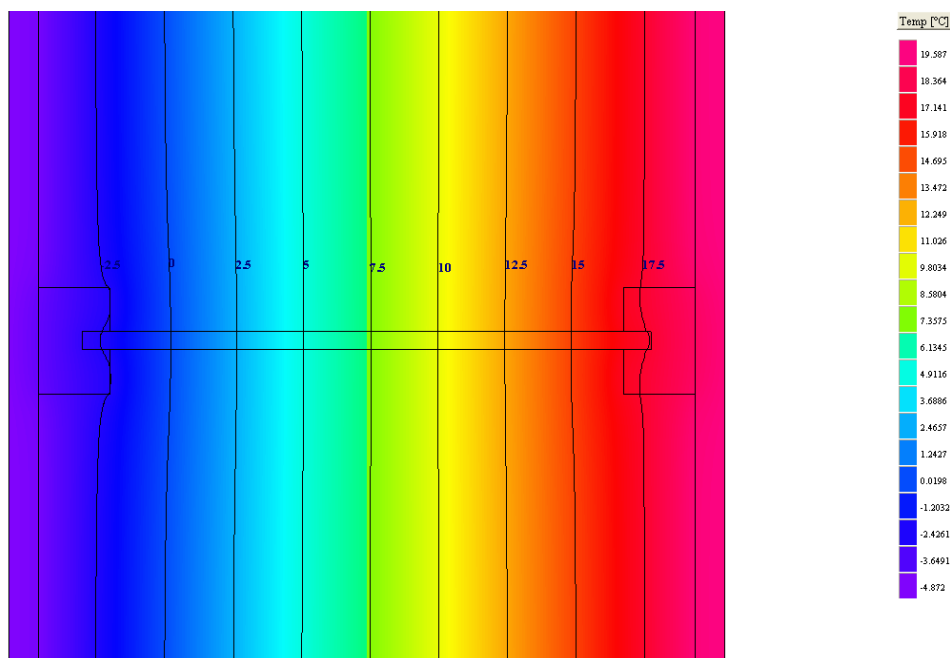


Abb. 13: I-Träger in HEAT – Isothermen (DIN 4108-4)

In Abb. 13 ist erkennbar, dass sich im Bereich des Trägers durch dessen Wärmebrückenwirkung eine Unregelmäßigkeit im Temperaturprofil darstellt. Der erhöhte Wärmestrom durch den Träger wird in Abb. 14 gezeigt.

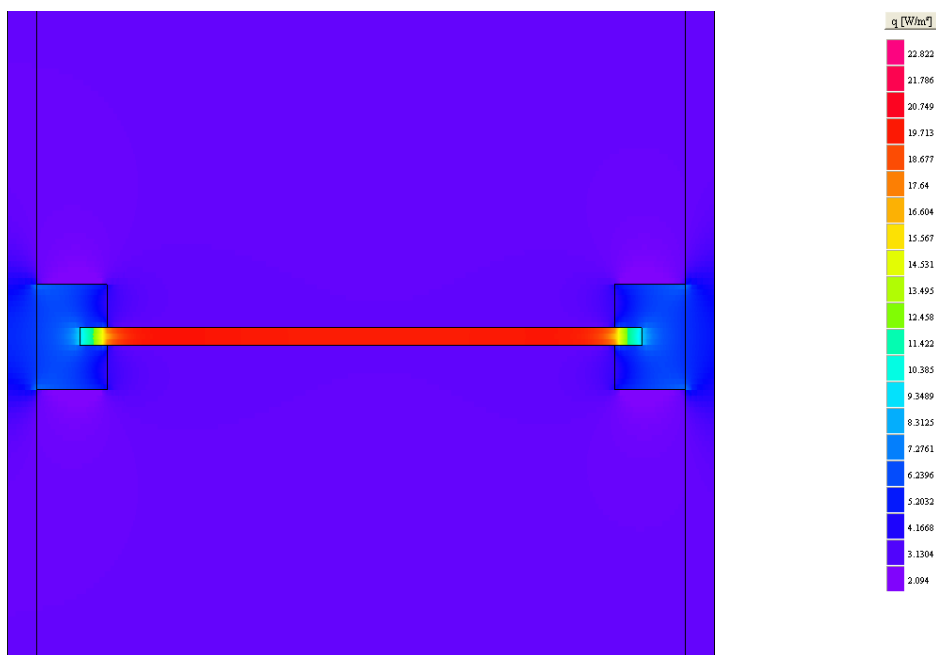


Abb. 14: I-Träger in HEAT – Wärmestromdichte (DIN 4108-4)

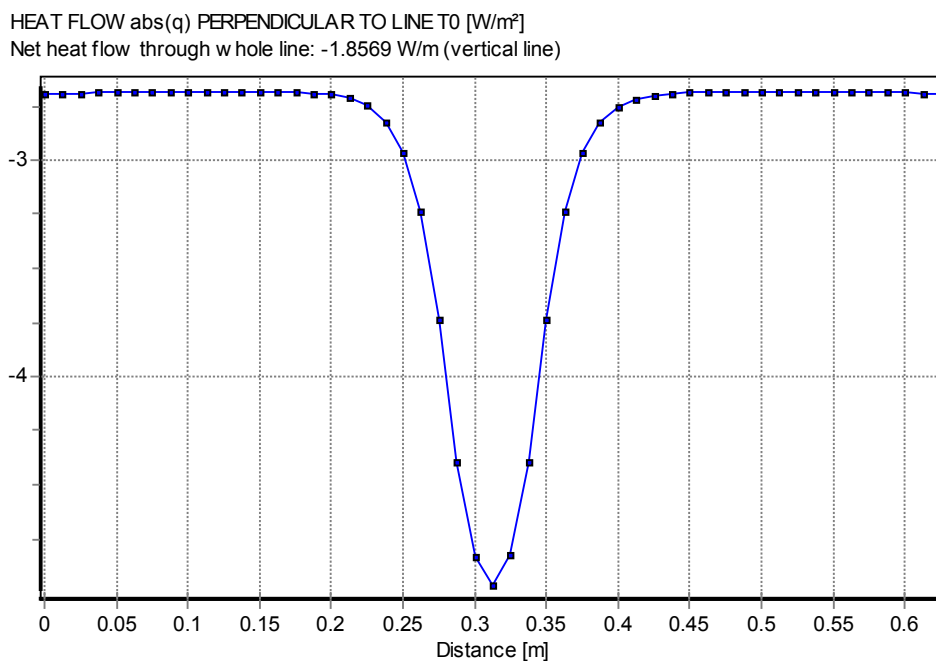


Abb. 15: I-Träger in HEAT – Wärmestromverlauf entlang der Oberfläche (DIN 4108-4)

Der Wärmestromverlauf auf der Oberfläche des Systems zeigt in Abb. 15, dass der Wärmestrom in einem Bereich zu beiden Seiten des Trägers durch diesen beeinflusst wird. Dies ist durch zweidimensionale Wärmetransportmechanismen bedingt.

5.2 I-Träger-Berechnung – DIN EN 12524

Das FD-System entspricht dem aus Kap. 5.1. Es wird hier lediglich mit anderen Wärmeleitfähigkeiten gerechnet.

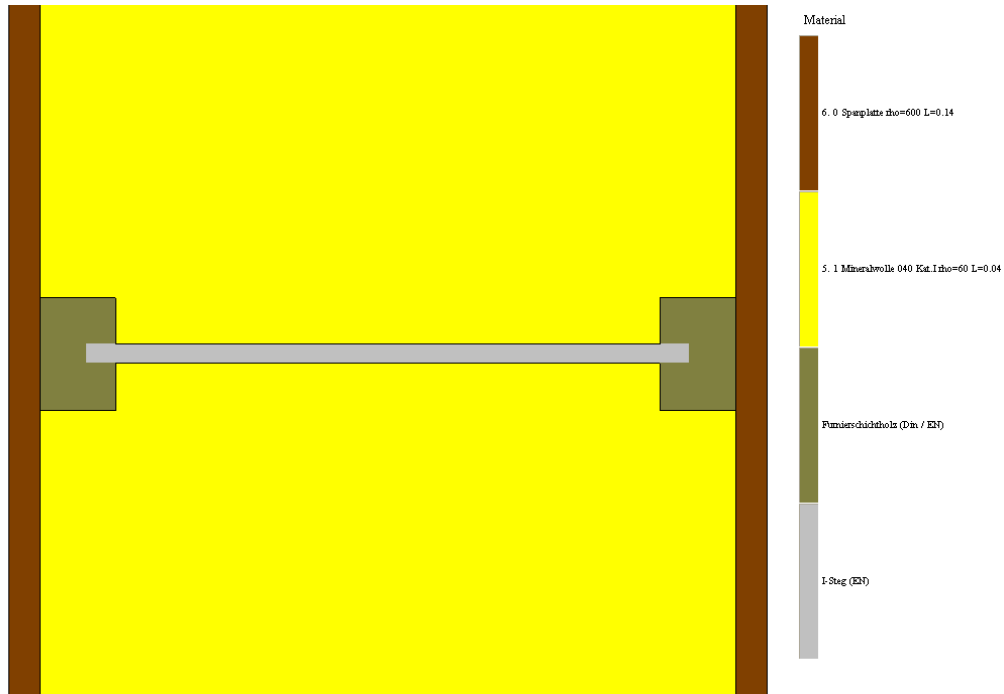


Abb. 16: I-Träger in HEAT – Materialien (DIN EN 12524)

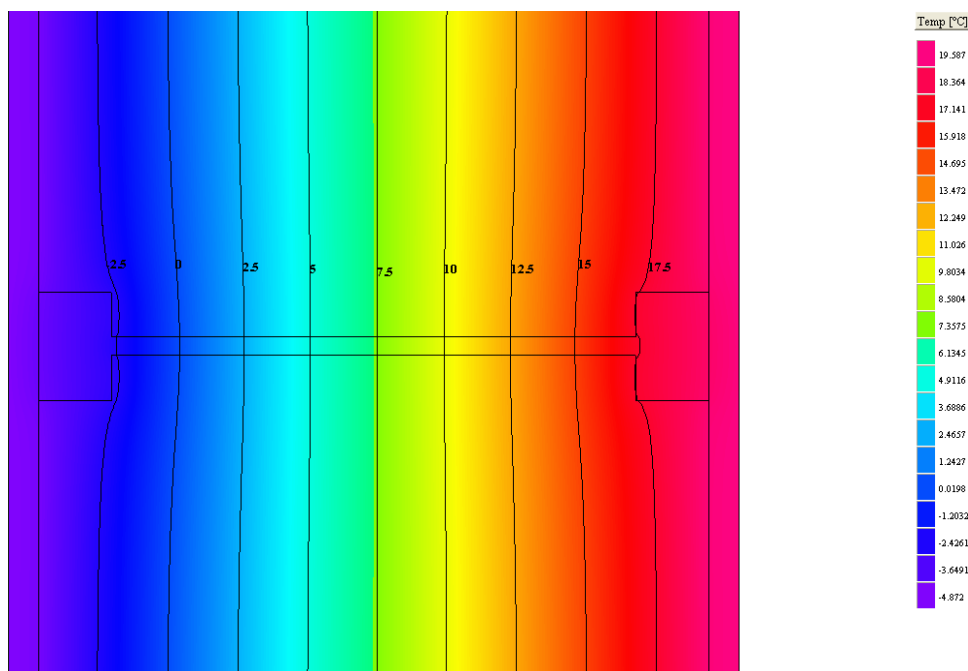


Abb. 17: I-Träger in HEAT – Isothermen (DIN EN 12524)

Im Temperaturprofil tritt hier der Steg nicht so deutlich hervor, da seine Wärmeleitfähigkeit in Wärmestromrichtung der des Gurtes entspricht.

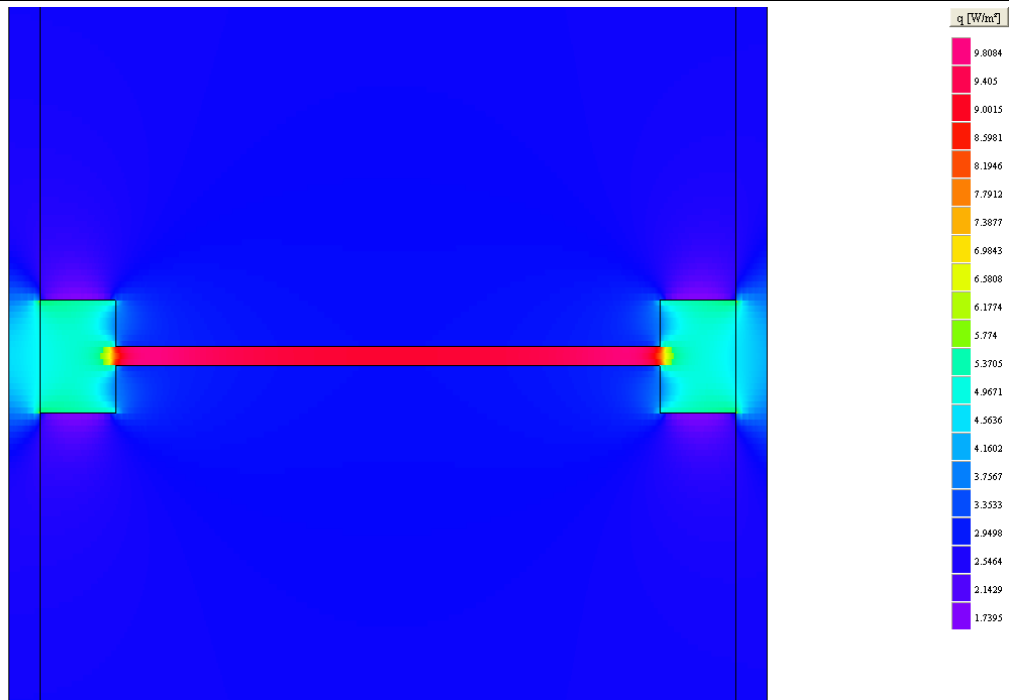


Abb. 18: I-Träger in HEAT – Wärmestromdichte (DIN EN 12524)

Auch hier zeigt sich im Bereich des Steges der höchste Wärmestrom (Abb. 18). Allerdings liegt dieser geringer als in den Berechnungen in Kap. 5.1. Man erkennt dies auch am Wärmestromverlauf an der Oberfläche (Abb. 19). Der Unterschied zwischen gestörtem und ungestörtem Bereich ist geringer als nach der Berechnung mit Wärmeleitfähigkeiten nach DIN 4108-4 (vor 2002).

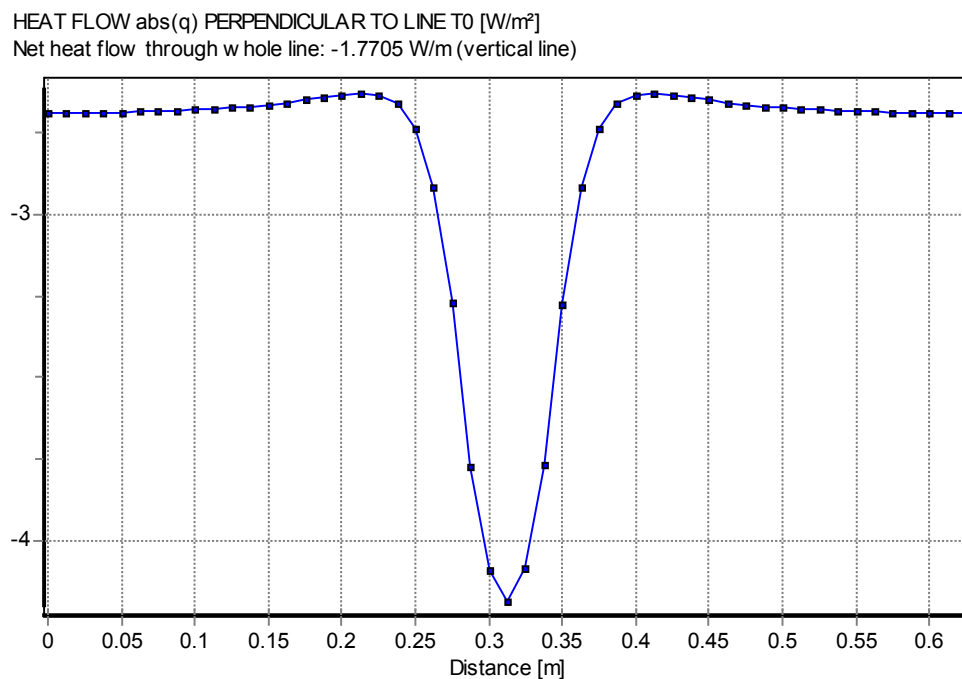


Abb. 19: I-Träger in HEAT – Wärmestromverlauf entlang der Oberfläche (DIN EN 12524)

5.3 Vollholz-Träger-Berechnung – DIN 4108-4 und DIN EN 12524

Abb. 20 zeigt das FD-System für den Vollholzträger.



Abb. 20: Vollholz-Träger in HEAT – Materialien (DIN 4108-4 / DIN EN 12524)

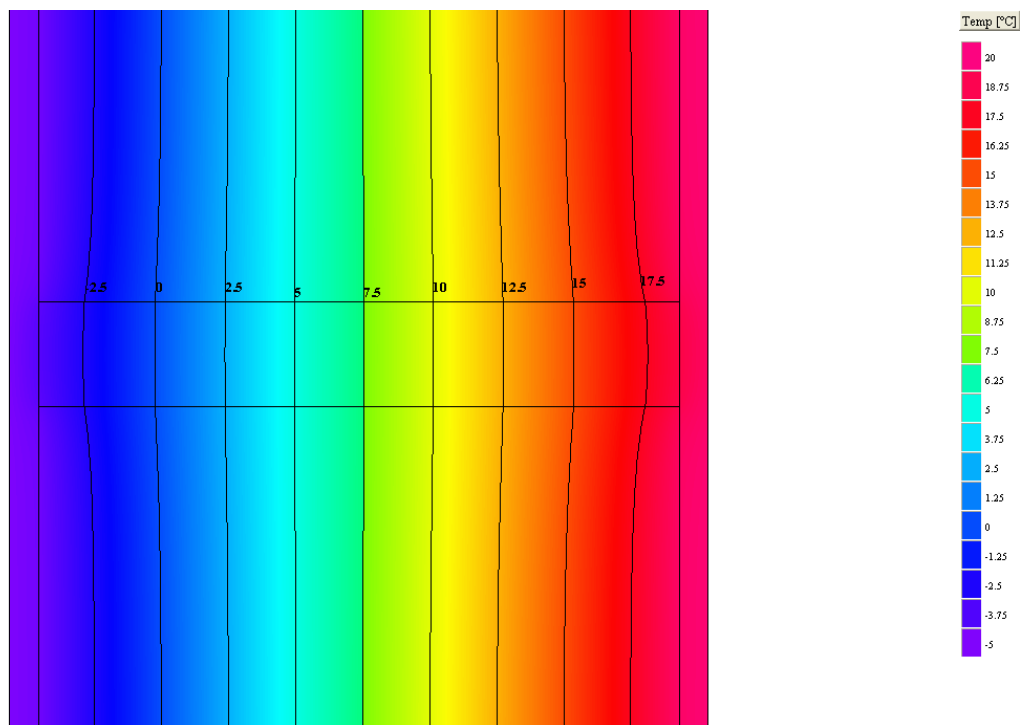


Abb. 21: Vollholz-Träger in HEAT – Isothermen (DIN 4108-4 / DIN EN 12524)

Man erkennt in Abb. 21 dass im gesamten Trägerbereich und über diesen noch hinaus eine Verschiebung der Isothermen auftritt.

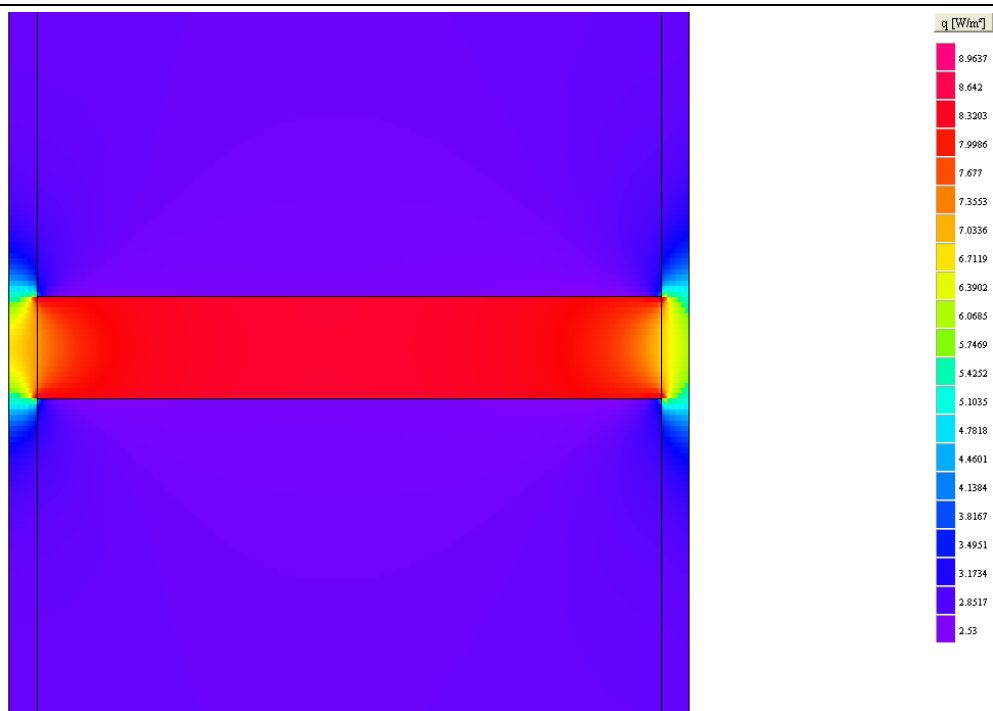


Abb. 22: Vollholz -Träger in HEAT – Wärmestromdichte (DIN 4108-4 / DIN EN 12524)

In Abb. 22 ist der erhöhte Wärmestrom durch den gesamten Träger zu erkennen, was sich auch an der Oberfläche über einen breiten Bereich bemerkbar macht. (vgl. Abb. 23)

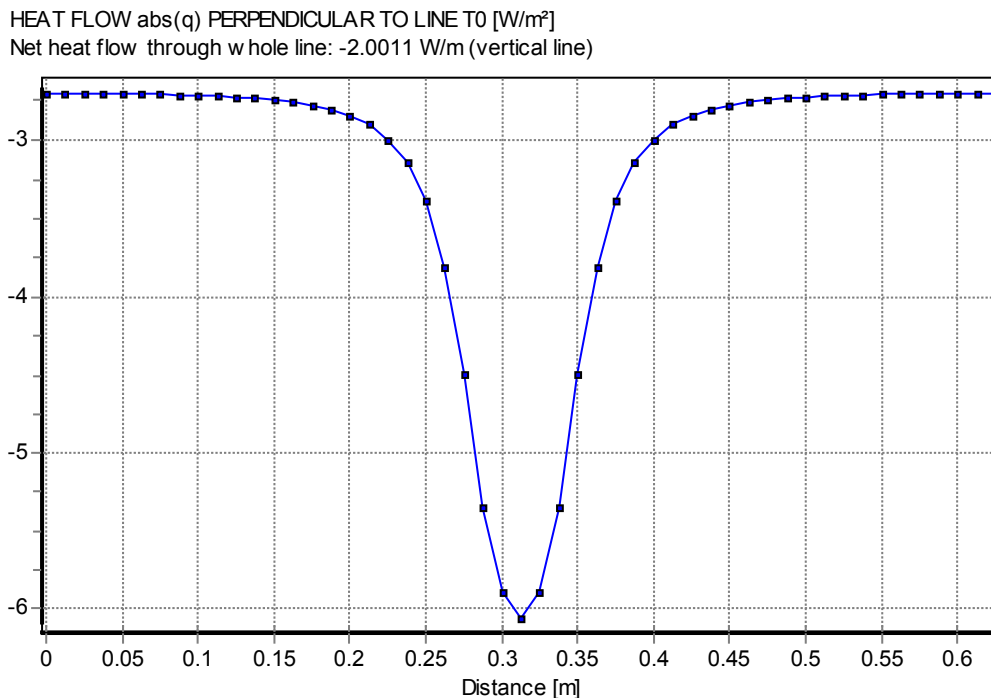


Abb. 23: Vollholz -Träger in HEAT – Wärmestromverlauf entlang der Oberfläche (DIN 4108-4 / DIN EN 12524)

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Hier werden die in den FD-Berechnungen ermittelten Wärmeströme zusammengefasst dargestellt und miteinander verglichen. Wärmestromdichte an der Oberfläche für die unterschiedlichen Trägertypen mit den unterschiedlichen Ansätzen für die Wärmeleitfähigkeit zeigt Tab. 11.

Träger	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmestromdichte in W/m ²
I-Träger (356)	DIN 4108-4	2,97
	DIN EN 12542	2,83
	Messung	2,92
Vollholzträger	DIN 4108-4 / DIN EN 12542	3,19
	Messung	3,02

Tab. 11: Wärmestromdichte an der Oberfläche für die unterschiedlichen Berechnungen

Daraus ergeben sich folgende prozentuale Verbesserungen des I-Träger gegenüber dem Vollholzträger:

Grundlagen für Berechnung	Verbesserung gegenüber Vollholzträger in %
Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN 4108-4	6,90
Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN EN 12542	11,29
Wärmeleitfähigkeit λ aus Messungen	3,31

Tab. 12 Prozentuale Verbesserung I-Träger - Vollholzträger

Träger	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmestromdichte in W/m ²
I-Träger (241)	DIN 4108-4	4,31
	DIN EN 12542	4,13
	Messung	4,24
Vollholzträger	DIN 4108-4 / DIN EN 12542	4,59
	Messung	4,35

Tab. 13 Wärmestromdichte an der Oberfläche für die unterschiedlichen Berechnungen

Daraus ergeben sich folgende prozentuale Verbesserungen des I-Träger gegenüber dem Vollholzträger:

Grundlagen für Berechnung	Verbesserung gegenüber Vollholzträger in %
Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN 4108-4	6,10
Wärmeleitfähigkeit λ nach DIN EN 12542	10,02
Wärmeleitfähigkeit λ aus Messungen	2,53

Tab. 14 Prozentuale Verbesserung I-Träger - Vollholzträger

6 Messungen in der Klimakammer

Zusätzlich zu den Simulationsberechnungen wurden auch Messungen in der Klimakammer durchgeführt.

Hierzu wurde zwischen die zwei Räume der Klimakammer eine Wand aufgebaut, die als Tragkonstruktion auf der einen Seite einen Vollholzträger aus Fichte und auf der anderen Seite einen I-Träger hatte (siehe Abb. 24 und Abb. 25). In den beiden Klimaräumen wurden als Temperaturen festgelegt:

Raum 1: 20 °C

Raum 2: -10 °C

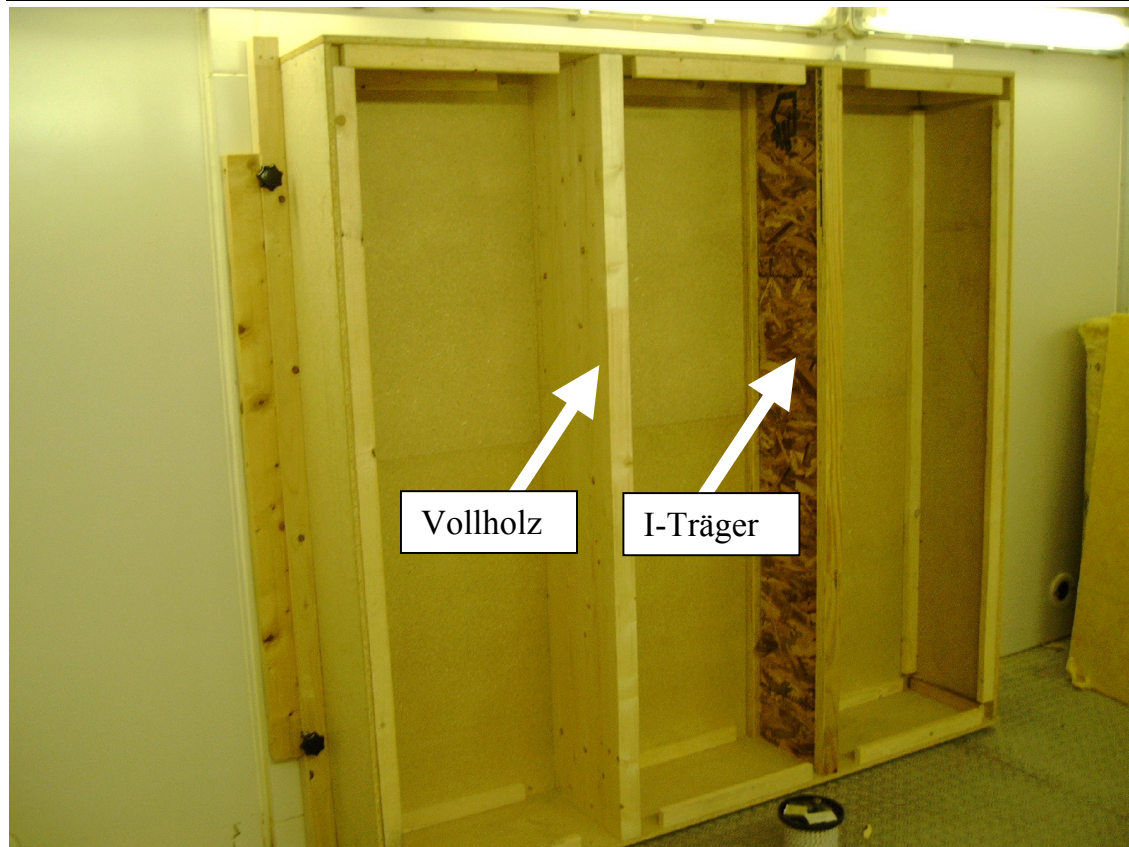


Abb. 24: Photo von offener Testwand ohne Dämmung in der Klimakammer

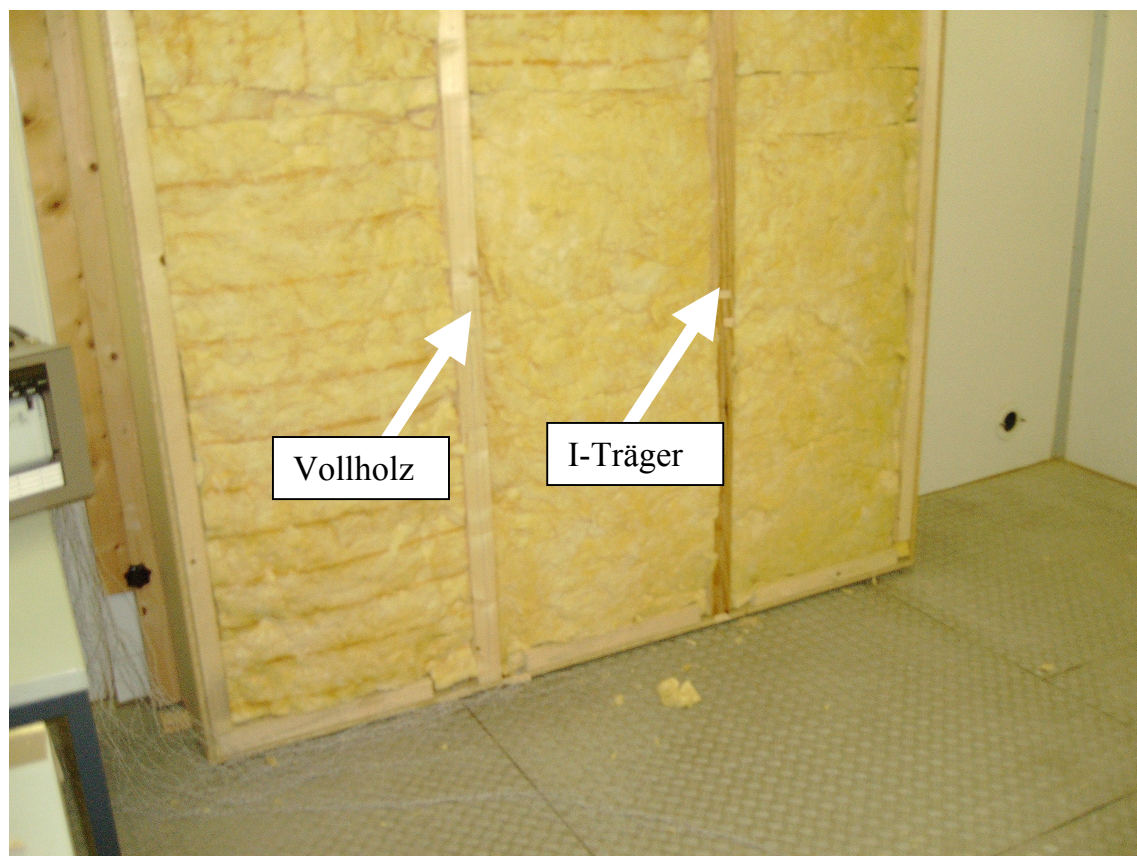


Abb. 25: Photo von offener Testwand mit Dämmung in der Klimakammer

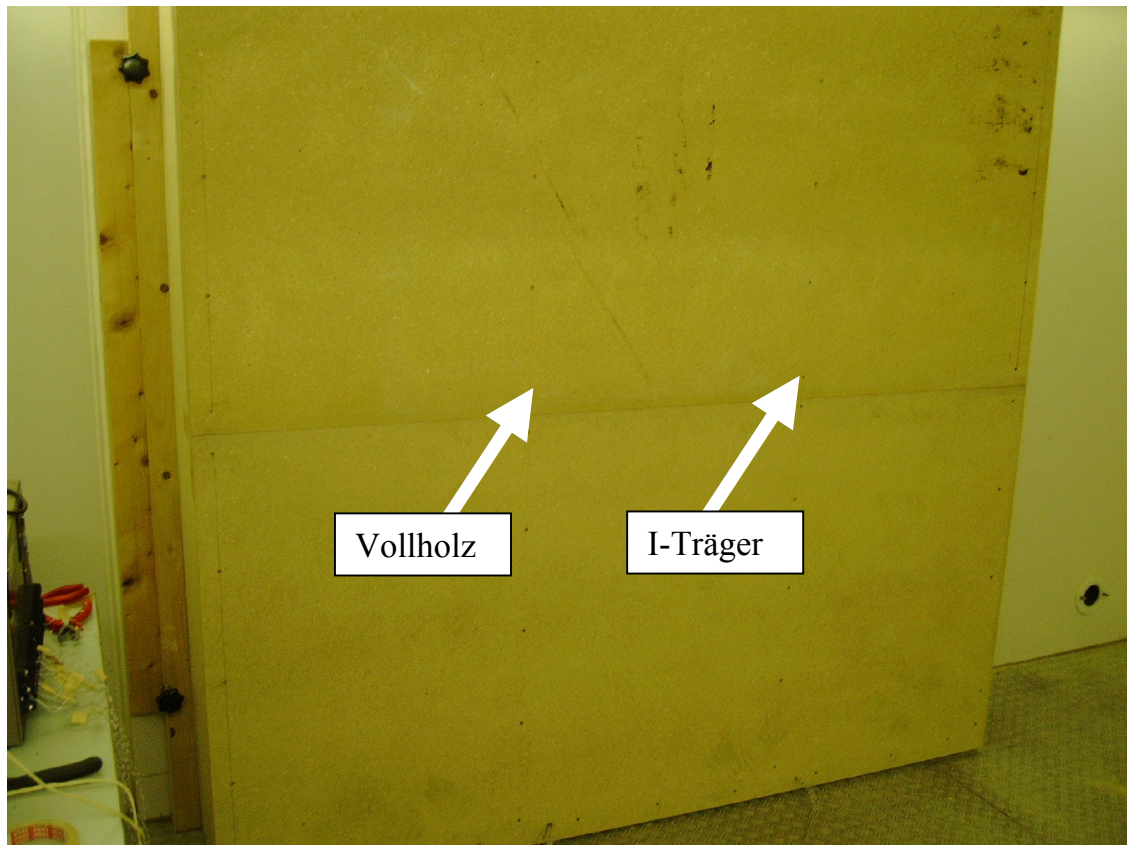


Abb. 26: Photo von geschlossener Testwand mit Dämmung in der Klimakammer

Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur wurden Wärmebildaufnahmen der Testwand erstellt, die in den folgenden Abbildungen dargestellt werden. Aus solchen Messungen können nur qualitative Aussagen getroffen werden, da die Oberflächenrandbedingungen eine sehr starke Rolle spielen. Für quantitative Aussagen müsste der Wärmeübergangswiderstand exakt bekannt sein, eine Größe, die messtechnisch nicht erfasst werden kann.

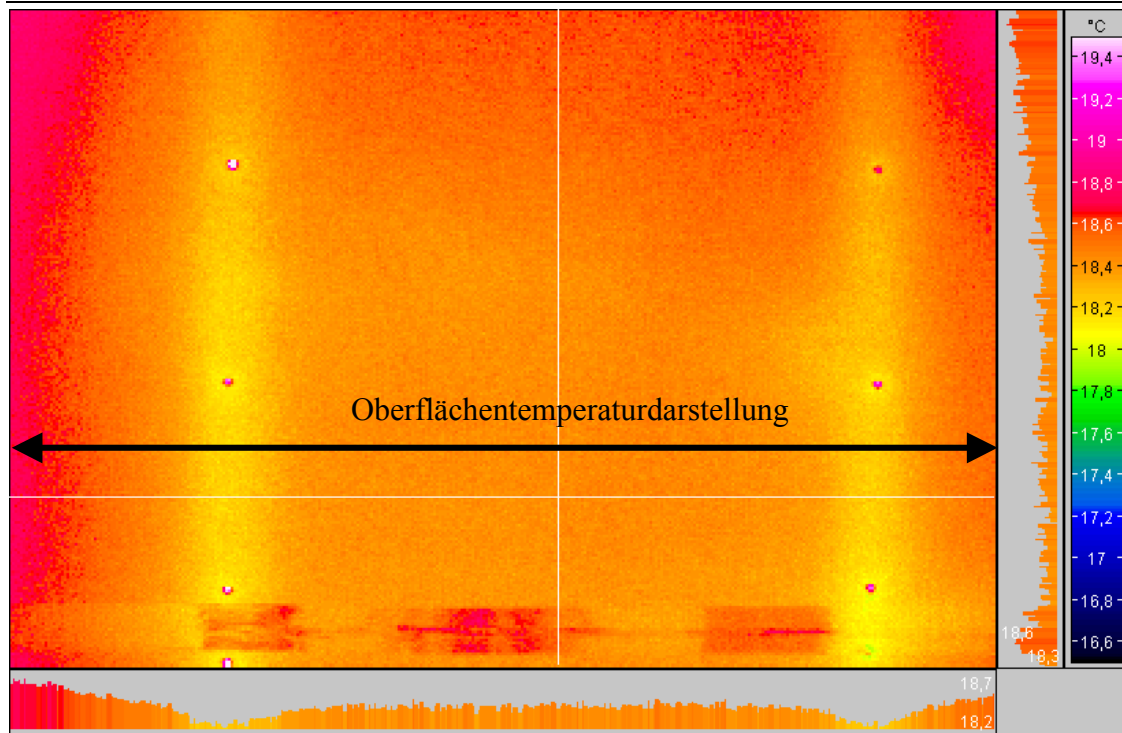


Abb. 27: Thermogramm der Testwand im oberen Bereich

Die Temperaturverteilung entlang der Oberfläche im oberen Bereich der Testwand ist (siehe Markierung in Abb. 27) in der folgenden Grafik abgebildet (Abb. 28)

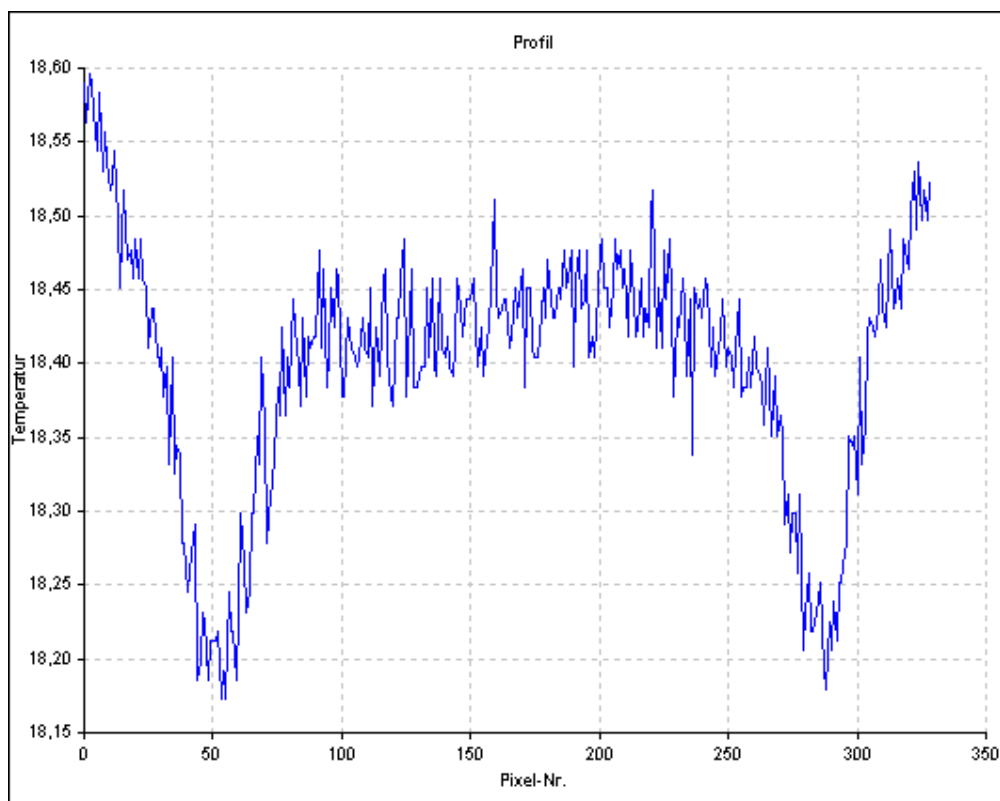


Abb. 28: Profil der Temperaturverteilung an der Oberfläche der Testwand im oberen Bereich

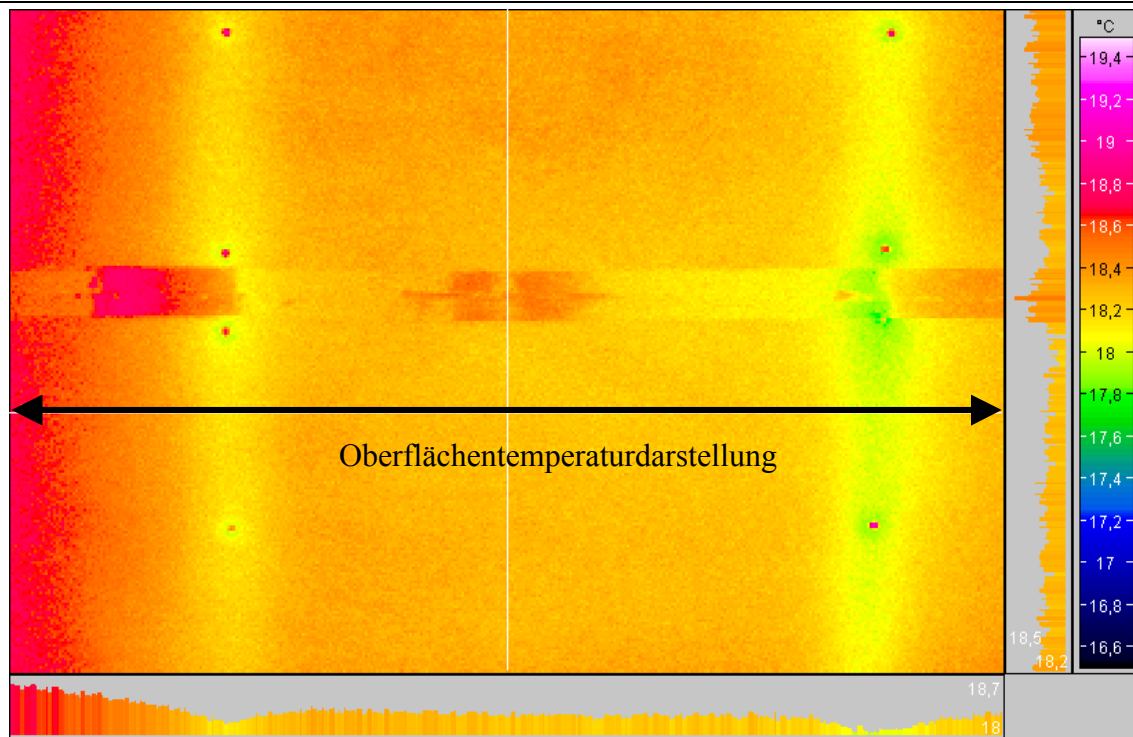


Abb. 29: Thermogramm der Testwand im unteren Bereich

Die Temperaturverteilung entlang der Oberfläche im unteren Bereich der Testwand ist (siehe Markierung in Abb. 29) in der folgenden Grafik abgebildet (Abb. 30)

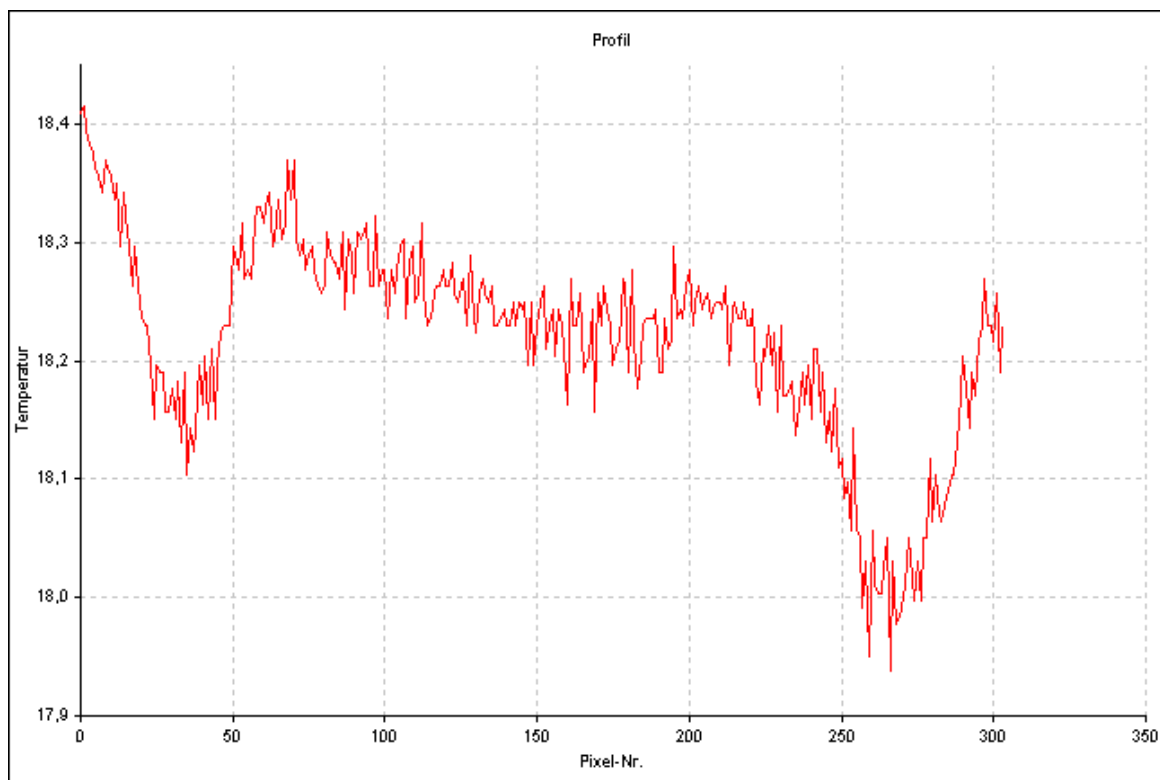


Abb. 30: Profil der Temperaturverteilung an der Oberfläche der Testwand im unteren Bereich

In den gezeigten Darstellungen wird der Einfluss der Träger auf die Oberflächentemperatur ersichtlich. Es ist deutlich, dass dieser Einfluss über den Trägerrand hinweg reicht, wie die auch die Simulationen zeigten. In Abb. 28 scheint es, dass der etwas größere Einfluss des Vollholzträgers gegenüber dem I-Träger zu erkennen ist. Abb. 30 macht jedoch deutlich, dass auch andere Effekte (z.B. Raumgeometrie und damit verbundene Oberflächenrandbedingungen) in der Messung einen so großen Einfluss haben, dass eine quantitative Auswertung nicht möglich ist.

7 Zusammenfassung

Nach der alten DIN 4108-4 (vor 2002) wird bei Holz in Faserrichtung die Wärmeleitfähigkeit mit dem Faktor 2,2 gegenüber dem Wärmetransport senkrecht zur Faserebene angesetzt. Entsprechend wird bei Holzwerkstoffplatten in Plattenebene die Wärmeleitfähigkeit mit dem Faktor 2,2 angenommen. Vergleicht man den Wärmestrom durch Vollholzträger mit I-Trägern und setzt dabei die Wärmeleitfähigkeiten nach DIN 4108-4 (vor 2002) ein, so zeigt der I-Träger gegenüber dem Vollholzträger einen um 6,9 % geringeren Wärmestrom für den Träger 356 (356 mm Trägerhöhe) bzw. 6,1% für Träger 241 (241 mm Trägerhöhe).

Nach DIN EN 12542 wird dieser Faktor 2,2 für die Wärmeleitfähigkeit in Plattenebene und in Faserrichtung nicht mehr angesetzt, d.h. es wird für den Wärmestrom unabhängig von dessen Richtung immer der gleiche Wert angenommen. Damit ergeben sich dann Verbesserungen der I-Träger gegenüber dem Vollholzträger von 11,29% (Träger 356) bzw. 10,02% (Träger 241).

Die Messungen der Wärmeleitfähigkeit im Zweiplattengerät für Vollholz in die unterschiedlichen Richtungen ergaben, dass bei Vollholz die Wärmeleitfähigkeit in Faserrichtung größer ist als senkrecht dazu. Ebenso ist bei den untersuchten Holzwerkstoffplatten die Wärmeleitfähigkeit in Plattenebene höher als senkrecht zur Plattenebene. Die Forderung der alten DIN 4108-4 (vor 2002) bei Holz in Faserrichtung und bei Holzwerkstoffplatten in Plattenebene die Wärmeleitfähigkeit mit dem Faktor 2,2 anzusetzen erscheint nach diesen Messungen realistisch.

Die prozentuale Verbesserungen des I-Träger gegenüber dem Vollholzträger beträgt mit rechnerischem Ansatz der Wärmeleitfähigkeiten aus den durchgeführten Messungen 3,31% für den Träger 356 und 2,53% für Träger 241.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen somit, dass der Unterschied in der Wärmebrückenwirkung der beiden Trägerarten (Vollholz und I-Träger) wesentlich geringer ist, als nach DIN EN 12542 zu erwarten wäre. Nach den Untersuchungen und Messungen ist es sinnvoll für Wärmebrücken-Berechnungen, den in der alten DIN 4108-4 noch verwendeten Faktor 2,2 für die Wärmeleitung von Holz und Holzwerkstoffen in Faserrichtung bzw. Plattenebene zu berücksichtigen, da dieser realitätsnahe Ergebnisse liefert.

Die Energie, die durch den Einsatz von I-Trägern im Vergleich zu Vollholzträgern eingespart wird ist sehr gering. Sie kann wahrscheinlich durch die geringeren Kosten des Vollholzes ausgeglichen werden.

Kaiserslautern, 21.06.2004

Prof. Dr. H. Heinrich

Dr.-Ing. K.-H. Dahlem

Dipl.-Ing. N. Weyand

Anhang