



Fraunhofer Institut
Bauphysik

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle
für Prüfung, Überwachung und
Zertifizierung
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile
und Bauarten
Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Institutsleitung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

Prüfbericht P10-087/2005

Untersuchung von Hanf-Dämmstoff – Messung der spezifischen Wärmekapazität, Berechnung der Phasenverschiebung

Auftraggeber:

Hock Vertriebs GmbH & Co. KG
Industriestraße 2
86720 Nördlingen

Stuttgart,
22. Juni 2005

1 Aufgabenstellung

Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wurde vom Antragsteller beauftragt experimentell die spezifische Wärmekapazität c_p von Hanf-Dämmstoff „Thermo-Hanf“ zu ermitteln. Mit dem Ergebnis sollen die Phasenverschiebung beim sommerlichen Wärmeschutz am Querschnitt eines Steildachs und die raumklimatischen Auswirkungen am vereinbarten Muster-Haus bestimmt werden.

2 Vorgehensweise

Die Berechnung der Auswirkungen von „Thermo-Hanf“ auf den sommerlichen Wärmeschutz erfolgt in 2 Stufen:

- A) Messung der spezifischen Wärmekapazität von „Thermo-Hanf“.
- B) Berechnung der Phasenverschiebung ϕ und des Temperatur-Amplitudenverhältnisses TAV des Steildachs für folgende Bedingungen
 - der Rohdichte 30 kg/m^3 ,
 - des verwendeten Wärmedämmstoffs „Thermo-Hanf“,
 - der Dämmschichtdicke von 18 cm
 - der Wärmeleitfähigkeitsgruppen WLG 040,mit Hilfe eines Bauphysik-Programms [1].

3 Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität c_p von „Thermo-Hanf“

In DIN V 4108: 1998-10 [4] ist die spezifische Wärmekapazität c_p von Hanf nicht explizit festgelegt. Da Hanf sowohl den pflanzlichen Fasern ($c_p = 1300 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$) wie auch den Holzwolle-Produkten ($c_p = 2100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$) zugeordnet werden kann, stehen zwei Werte mit großer Diskrepanz zur Auswahl. Der tatsächliche c_p -Wert von Hanf soll experimentell mit der Differenzthermoanalyse bestimmt werden.

3.1 Geprüftes Material

Dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurde am 07. Februar 2005 ein Wärmedämmstoff aus Hanf „Thermo-Hanf“ durch den Lieferanten Napro GmbH, Stutensee mit einer ermittelten Dichte von 33 kg/m^3 zugesandt. Nach Angaben des Auftraggebers handelte es sich hierbei um die WLG 040.

3.2 Probenvorbereitung

Eine Teilprobe wurde bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C im Umluftofen getrocknet. Die Probekörper wurden anschließend durch Pressen und Ausstanzen hergestellt.

3.3 Differenzthermoanalyse (DTA)

Nach DIN 51005: 1983-11 [5] versteht man unter Differenzthermoanalyse eine „thermoanalytische Methode, bei der ein thermischer Effekt einer Probe im Vergleich zu einer Referenzsubstanz gemessen wird.“ Mit dieser Methode können unter anderem kalorische Größen wie spezifische Wärme c_p ermittelt werden.

Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität erfolgte mit dem DSC 404 der Firma Netzsch. Die Einwaage der „Thermo-Hanf“ Probe betrug ca. 15 mg bis 25 mg. Die Versuchsbedingungen waren:

Starttemperatur	-40 °C
Heizrate	10 K/min
Endtemperatur	70 °C
Atmosphäre	Helium 100 ml/min.

Für die Berechnung der spezifischen Wärmekapazität wurden Werte dreier verschiedener Messkurven ermittelt:

- Basislinie
- Standard
- Probe.

Als Grundlage für die Berechnung der c_p -Werte bei unterschiedlichen Temperaturen diente die folgende Gleichung:

$$c_{p,T}(Pr) = \frac{m_{STA}}{m_{Pr}} \times \frac{DSC_{Pr}(T) - DSC_{BAS}(T)}{DSC_{STA}(T) - DSC_{BAS}(T)} \times c_{p,T}(STA).$$

Die einzelnen Abkürzungen werden in Tabelle 1 erläutert.

4 Berechnung der Phasenverschiebung und der raumklimatischen Wirkung

4.1 Datenbasis

Als Konstruktionsaufbau des Steildaches wird die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Zeichnung (siehe Bild 2) verwendet.

4.2 Berechnung der Phasenverschiebung und des Temperatur-Amplitudenverhältnisses am Steildachquerschnitt

Die Phasenverschiebung und das TAV werden nach dem Matrizen-Multiplikationsverfahren nach Heindl ermittelt. Die Ausgabe der Phasenverschiebung erfolgt getrennt für den Gefach- und

Sparrenbereich. Auf Grund gleich bleibenden Aufbaus im Sparrenbereich ist dort mit keiner Änderung der Phasenverschiebung zu rechnen. Deshalb wird im folgenden nur noch der Gefachbereich betrachtet.

Zur Modellierung wird ein nicht belüfteter Dachaufbau mit Zwischensparrendämmung herangezogen. Dämmstoff und Sparren haben stets dieselbe Höhe. Die Dämm- und Sparrenebene wird nach innen durch 1 Lage Gipskartonplatten auf Traglattung und nach außen von Betondachpfannen auf Tragkonstruktion und Unterspannbahn begrenzt. Die Sparrenbreite beträgt 8 cm und der Achsabstand 85 cm.

Bild 2 zeigt exemplarisch den Aufbau mit „Thermo-Hanf“, WLГ 040 bei einer Dämmschichtdicke von 18 cm. Die zur Modellbildung erforderlichen wärmeschutztechnischen Kennwerte sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

5 Ergebnisse der Untersuchung

5.1 Spezifische Wärmekapazität von „Thermo-Hanf“

Die spezifische Wärmekapazität c_p ist temperatur- und feuchteabhängig. Für die „Thermo-Hanf“-Probe mit einer Feuchte von ca. 5 Masse-% wurde für die Temperatur von 23 °C die spezifische Wärme $c_p = 1400 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ als Mittelwert ermittelt. Für die getrocknete „Thermo-Hanf“-Probe beträgt die mittlere spezifische Wärme $c_p = 1320 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. In den Tabellen 2 und 3 sind ausgewählte Messwerte der spezifischen Wärme sowohl für die „feuchte“ (Tabelle 2) als auch für die „trockene“ Probe (Tabelle 3) für den Temperaturbereich von 0 °C bis 40 °C zusammengefasst. Der Verlauf der spezifischen Wärme in Abhängigkeit von der Temperatur ist in den Bildern 3 („feuchte“ Probe) und 4 („trockene“ Probe) graphisch dargestellt. Die Bestimmung der spezifischen Wärme von feuchten Proben mittels der DSC wird durch die auftretende Verdampfungsenthalpie des Wassers, die mit einer Änderung der spezifischen Wärme gekoppelt ist, behindert. Deswegen wurde die spezifische Wärme einer „Thermo-Hanf“-Probe mit einer Feuchte von 10 Masse-% rechnerisch bestimmt. Für die Berechnung wurden die gemessene mittlere spezifische Wärme der trockenen „Thermo-Hanf“-Probe mit $c_p = 1320 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ und der Literaturwert für die spezifische Wärme von Wasser $c_p = 4182 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ verwendet. Als Ergebnis resultiert eine spezifische Wärme von $c_p = 1600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

5.2 Phasenverschiebung und Temperatur-Amplitudenverhältnis am Steildach

Als Phasenverschiebung für den Gefachbereich ergibt sich ein Wert von 9,0 Stunden und ein TAV von 0,14. Das TAV beschreibt das Verhältnis der inneren Temperaturamplitude zur Äußerer. Es ist umgekehrt proportional zur Phasenverschiebung, d. h. je geringer das TAV desto günstiger der Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz.

6 Literatur

- [1] KERN Ingenieurkonzepte (Hrsg.): DÄMMWERK 4.0 Programmdokumentation. Meckesheim (1999).
- [2] DIN EN ISO 6946: Bauteile. Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient. Berechnungsverfahren. Ausgabe November 1996, Beuth-Verlag, Berlin.

- [3] Palmiter L., Wheeling T.: SUNCODE – A Program Users Manual, Ecotope Group, Seattle WA (1981).
- [4] DIN V 4108, Teil 4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte. Ausgabe Oktober 1998, Beuth-Verlag, Berlin.
- [5] DIN 51005: Thermische Analyse (TA). Begriffe. Ausgabe November 1983, Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] DIN EN 12524: Baustoffe und -produkte. Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften. Tabellierte Bemessungswerte. Ausgabe Juli 2000, Beuth-Verlag, Berlin.

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den geprüften Gegenstand.

Dieser Prüfbericht besteht aus 5 Seiten Text, 4 Tabellen und 4 Bildern.

Stuttgart, den 22. Juni 2005/JL

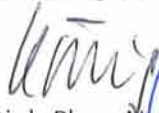
Bearbeiter


Dipl.-Inform. K. Tanaka

Bearbeiter

Dipl.-Ing. (FH) C. Schwitalla

Abteilungsleiter


Dipl.-Phys. N. König

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.



Tabelle 1: Erläuterung der Kurzzeichen

Kurzzeichen	Erläuterung	SI-Einheit
$c_{p,T}(\text{Pr})$	Spezifische Wärme der Probe bei der Temperatur T	$\frac{\text{J}}{\text{g} \times \text{K}}$
$c_{p,T}(\text{STA})$	Spezifische Wärme des Standards bei der Temperatur T	$\frac{\text{J}}{\text{g} \times \text{K}}$
m_{STA}	Einwaage des Standards	mg
m_{Pr}	Einwaage der Probe	mg
DSC_{Pr}	DSC-Signalwert bei Temperatur T aus Probenkurve	μV
DSC_{STA}	DSC-Signalwert bei Temperatur T aus Standardkurve	μV
DSC_{BAS}	DSC Signalwert bei Temperatur T aus der Basislinie	μV



[Handwritten signature]

Tabelle 2: Messwerte der spezifischen Wärmekapazität von Dämmstoff „Thermo-Hanf“ mit ca. 5 % Feuchte gepresst, ermittelt im Prüfgerät DSC 404 (Netzsch) am 28. Februar 2005.

Temperatur °C	spezifische Wärmekapazität Cp		
	J/(kg·K)		
	1. Messung	2. Messung	3. Messung
0	1045	997	1124
5	1122	1063	1179
10	1196	1232	1244
15	1268	1207	1317
20	1346	1297	1391
23	1400	1363	1435
25	1438	1412	1464
30	1551	1554	1547
35	1689	1726	1652
40	1851	1917	1782



Tabelle 3: Messwerte der spezifischen Wärmekapazität von Dämmstoff „Thermo-Hanf“ trocken gepresst, ermittelt im Prüfgerät DSC 404 (Netzsch) am 25. Februar 2005.

Temperatur °C	spezifische Wärmekapazität C_p J/(kg·K)	
	1. Messung	2. Messung
0	1140	1042
5	1179	1106
10	1218	1163
15	1263	1216
20	1307	1272
23	1338	1310
25	1363	1337
30	1430	1412
35	1506	1505
40	1603	1620



Handwritten signature

Tabelle 4: Stoffdaten die für die Berechnung der Phasenverschiebung, des TAV und zur Beschreibung des Dachaufbaus bei der Gebäudesimulation verwendet wurden. Werte nach [6].

Die spezifische Wärmekapazität für „Thermo-Hanf“ wurde durch Messung bestimmt, Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit nach Angaben des Auftraggebers.

Baustoff / Schichtaufbau	Dicke	Rohdichte	Wärme- leitfähigkeit	spez. Wärme- kapazität
	[cm]	[kg/m ³]	[W/mK]	[J/kgK]
Gipskartonplatte	1,3	900	0,25	1000
Thermo-Hanf 040	18	30	0,04	1600
Pavatex Isolair 050	3,5	240	0,05	2100
Sparren	18	500	0,13	1600



Handwritten signature/initials

Aufbau Zwischensparrendämmung von außen nach innen:

Dachdeckung

Lattung 30 mm

Konterlattung 30 mm

Parutex Isolair 35 mm

Thermo Hanf zwischen Sparren 180 mm

Dampfbremse $S_d = 2,3 \text{ m}$

Lattung 24 mm

Gipskarton oder Fermocell 13 mm

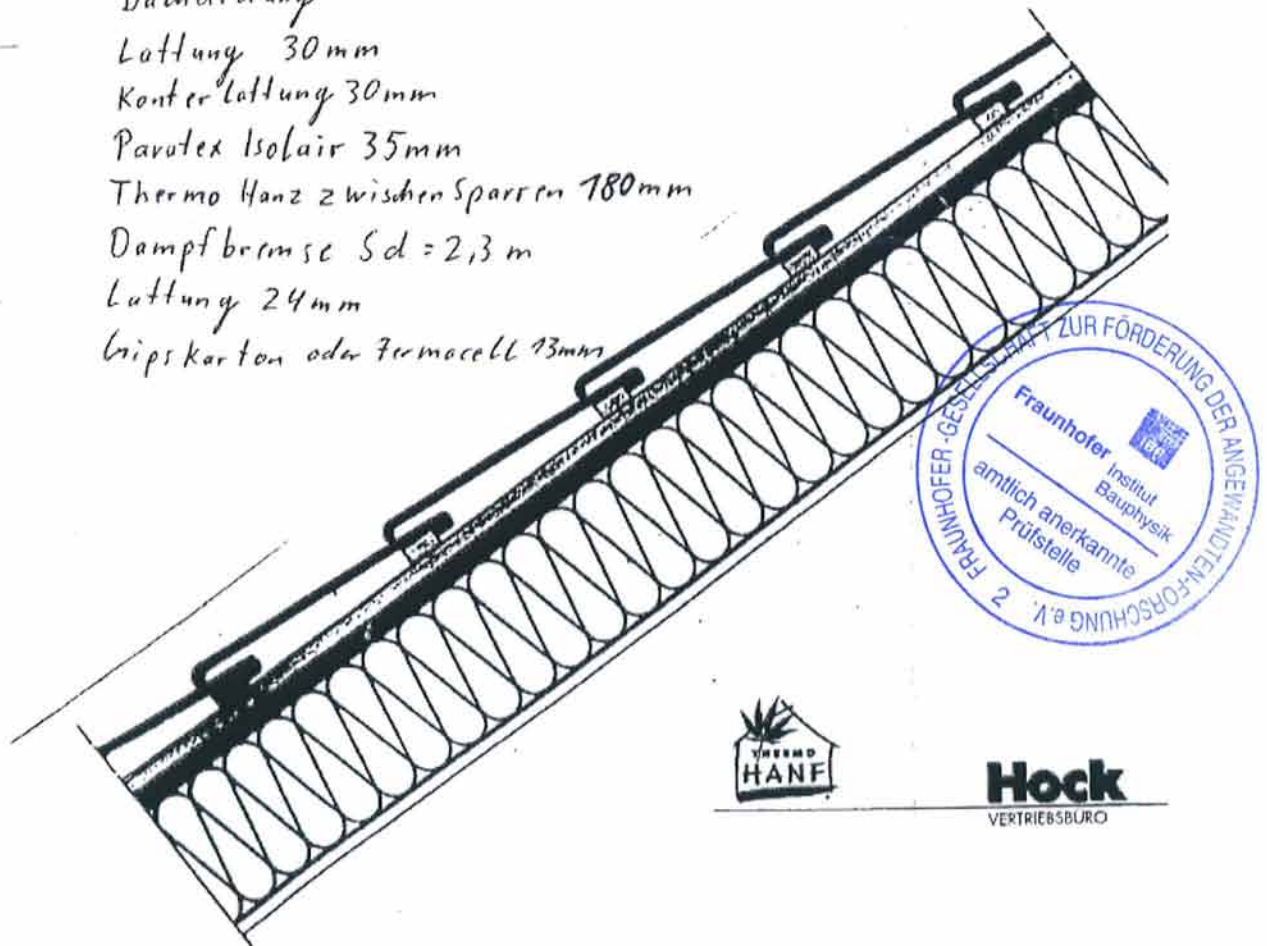


Bild 1: Vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Zeichnung mit dem von ihm vorgeschlagenen Aufbau eines mit „Thermo-Hanf“ gedämmten Daches zur Bestimmung des für die Berechnungen verwendeten Querschnittes (siehe Bild 2).

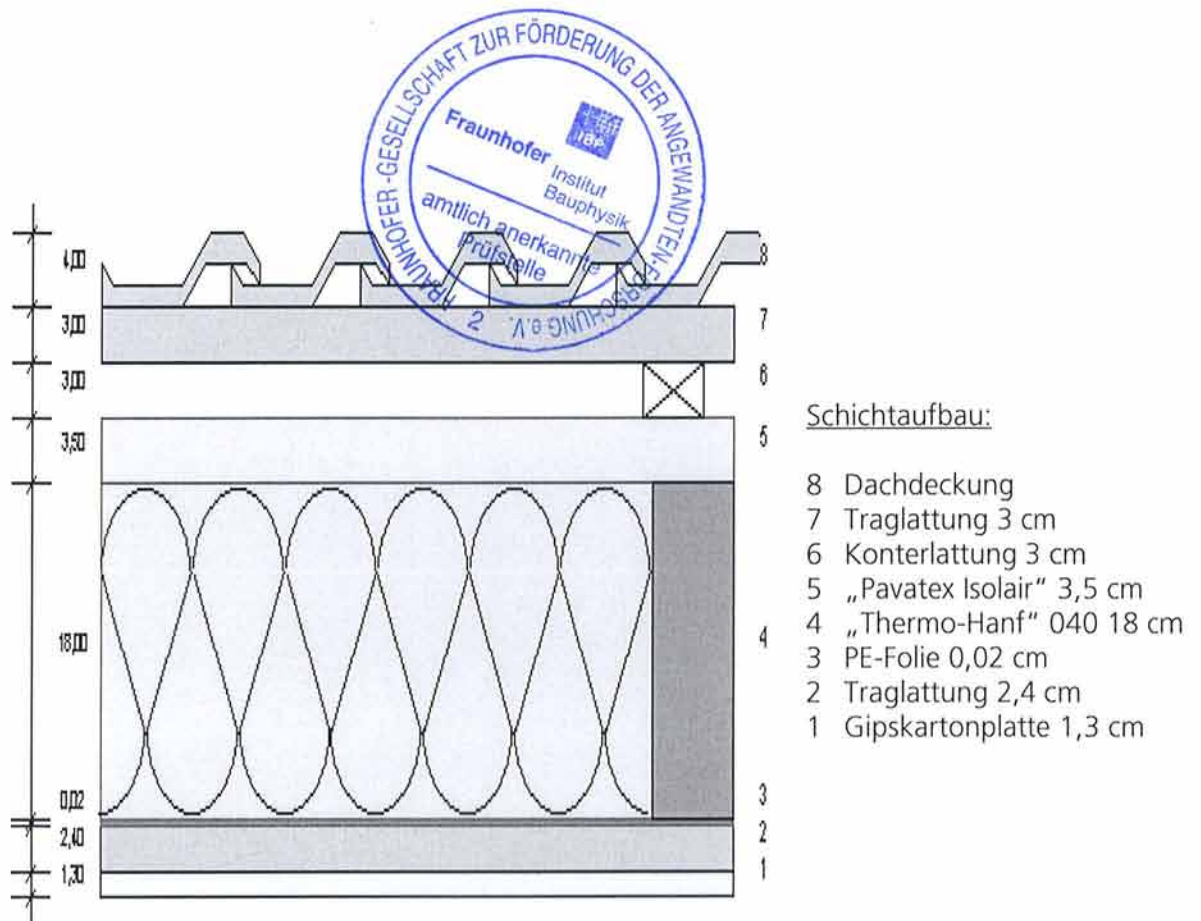


Bild 2: Exemplarische Darstellung des konstruktiven Aufbaus des Steildaches mit „Thermo-Hanf“ bei einer Dämmschichtdicke von 18 cm und WLG 040. Grafik aus [1].

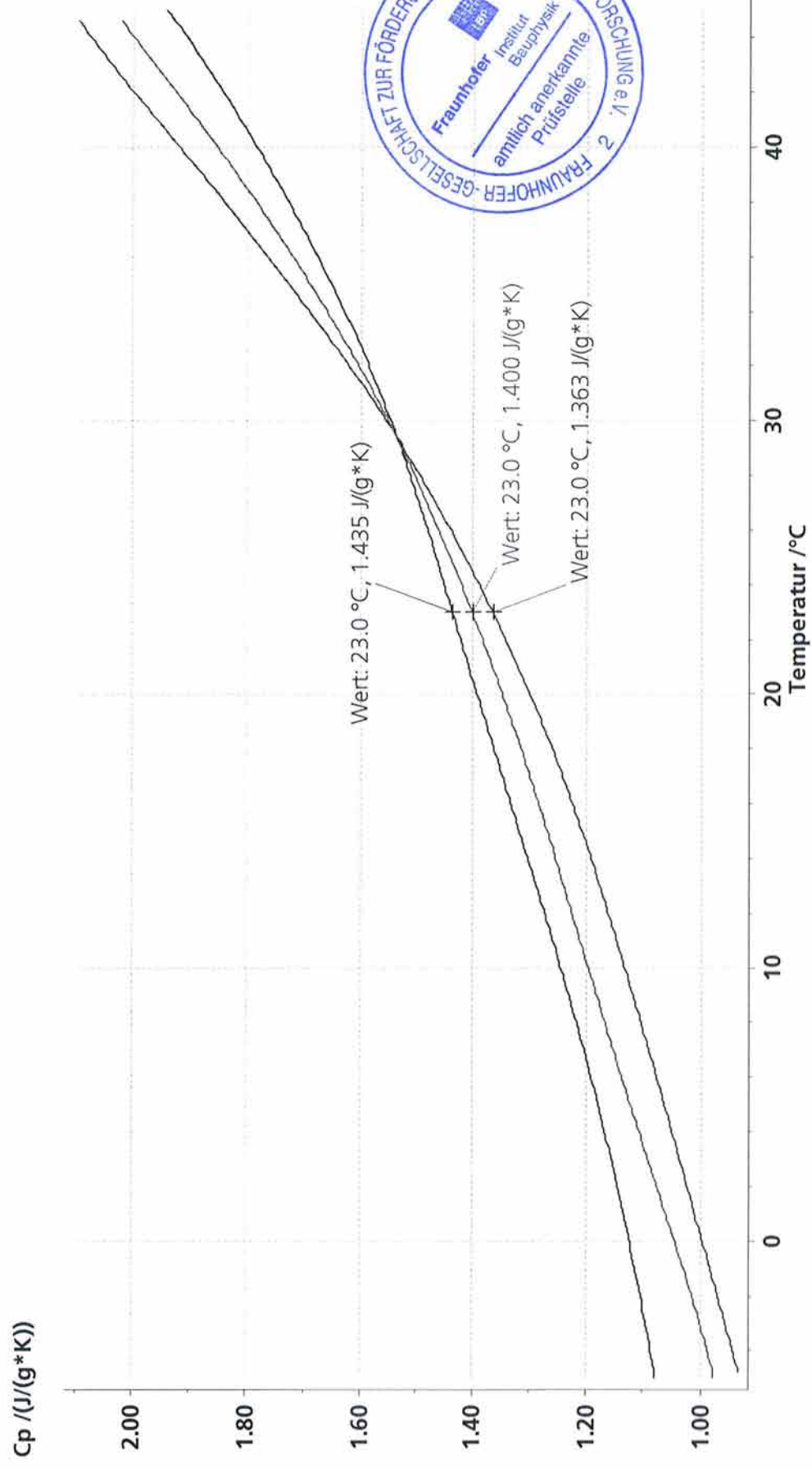


Bild 3: Verlauf der spezifischen Wärme von „Thermo-Hanf“ (5 % Feuchte) in dem Temperaturbereich von -5°C bis 45°C .

C_p / (J/(g*K))

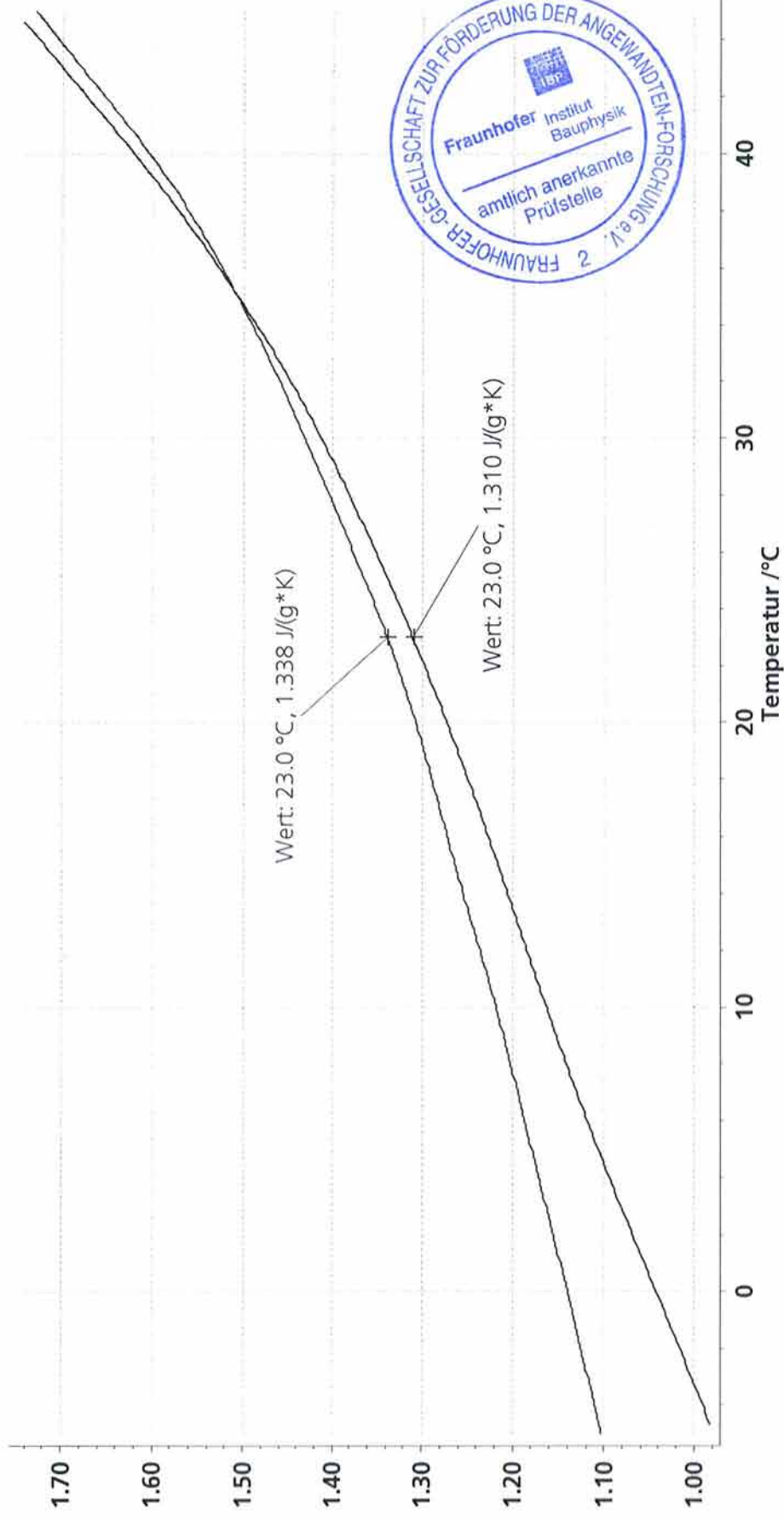


Bild 4: Verlauf der spezifischen Wärme von „Thermo-Hanf“ (trocken) in dem Temperaturbereich von -5 °C bis 45 °C.