

## Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen nach dem Einplatten-Verfahren

Aufzeichnung und Auswertung mit CASSY

### Versuchsziele

- Aufnahme des Temperaturverlaufes an verschiedenen Baustoffproben in Abhängigkeit von der Zeit.
- Qualitative Beobachtung des Einstellens des thermischen Gleichgewichtes.
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Baustoffproben aus der Temperaturdifferenz.

### Grundlagen

Beim Einplatten-Verfahren wird die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  einer Baustoffprobe der Dicke  $d$  und der Fläche  $A$  durch direkte Messung des Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  und des Wärmeflusses  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  ermittelt. Aus

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\vartheta$$

folgt

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{d}{A} \cdot \frac{1}{\Delta\vartheta} .$$

Für die Messung ist es wichtig, dass der Wärmefluss die Baustoffprobe homogen durchsetzt und dass keine Wärme auf anderen Wegen verloren geht. Bei der Wärmemesskammer wird dies insbesondere durch das wärmeisolierende Gehäuse realisiert.

Für den Wärmestrom durch die Baustoffprobe wird - innen die Kammer elektrisch beheizt und - außen Eis unmittelbar auf die Probe gelegt.

Im thermischen Gleichgewicht, d.h. im stationären Fall in dem die Temperatur an jeder Stelle zeitlich konstant ist, entspricht die elektrische Leistung  $P$  gerade dem Wärmefluss

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

bzw.

$$P \cdot t = W = Q$$

d.h. die hineingesteckte elektrische Arbeit  $W$  ist gleich der durch die Baustoffprobe fließenden Wärmeenergie  $Q$ .

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des Materials der Baustoffprobe ergibt sich somit zu

$$\lambda = P \cdot \frac{d}{A} \cdot \frac{1}{\Delta\vartheta} .$$



Abb. 1. Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit einer Baustoffprobe nach dem Einplatten-Verfahren.

**Geräte**

1	Wärmemesskammer.....	389 29
1	Baustoffproben zu Wärmemesskammer.....	389 30
1	Transformator 2...12 V, 120 W.....	521 25
1	Sensor-CASSY 2 .....	524 013
1	CASSY Lab 2.....	524 220
1	NiCr-Ni-Adapter S, Typ K .....	524 0673
2	Temperaturfühler NiCr-Ni, 1,5 mm, Typ K .....	529 676
1	Experimentierkabel 19 A, 50 cm, sw, Paar .....	501 451
4	Experimentierkabel 32 A, 100 cm, sw.....	501 33
	Eis	
	dünne Plastikfolie	
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Im Versuch wird die Temperatur an der Unterseite der Baustoffprobe, d.h. des Innenraumes der Kammer und der Außenseite (hier Eis) gemessen.

Das System ist nicht unmittelbar nach dem Einschalten des Plattenheizers im thermischen Gleichgewicht. Um die Temperaturdifferenz im thermischen Gleichgewicht zu erhalten wird der zeitliche Verlauf der Temperaturen über eine ausreichende Zeit (Größenordnung 1 Stunde) aufgenommen.

Die zeitliche Änderung der Innentemperatur ist proportional zu dieser Temperatur plus einer Konstanten:

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = a \cdot \vartheta + b .$$

Die Lösung dieser Gleichung für die Temperatur als Funktion der Zeit  $\vartheta(t)$  lautet:

$$\vartheta(t) = \vartheta_{TG} - \vartheta_{Diff} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

mit:

- $\vartheta_{TG}$  : Innen-Temperatur im thermischen Gleichgewicht
- $\vartheta_{Diff} = \vartheta_{TG} - \vartheta_{Anfang}$  : Temperaturdifferenz
- $\tau$  : Zeitkonstante .

Die Temperatur im thermischen Gleichgewicht an der beheizten Seite der Baustoffprobe ergibt sich durch die Anpassung der Funktion von der Form

$$f(x) = A - B \cdot \exp(-x/C)$$

an die im Versuch aufgenommenen Werte. Der durch die Anpassung erhaltene Parameter A entspricht dann genau der gesuchten Temperatur  $\vartheta_{TG}$ .

Durch das Eis wird die Außentemperatur an der oberen Seite der Baustoffprobe tief und vor allem konstant gehalten. Da es dennoch zu kleinen Temperaturschwankungen kommen kann, werden die Werte der Außentemperatur gemittelt und dann mit diesem Mittelwert  $\vartheta_{kalt}$  die Temperaturdifferenz berechnet

$$\Delta \vartheta = \vartheta_{TG} - \vartheta_{kalt}$$

Damit kann schließlich die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  berechnet werden.

**Versuchsaufbau**

**a) Leistungsmessung**

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 2 dargestellt.

Vor der eigentlichen Versuchsdurchführung muss die Leistung  $P$  des Plattenheizers ermittelt werden. Hierfür wird die Wärmemesskammer ohne Baustoffplatte kurz in Betrieb genommen.

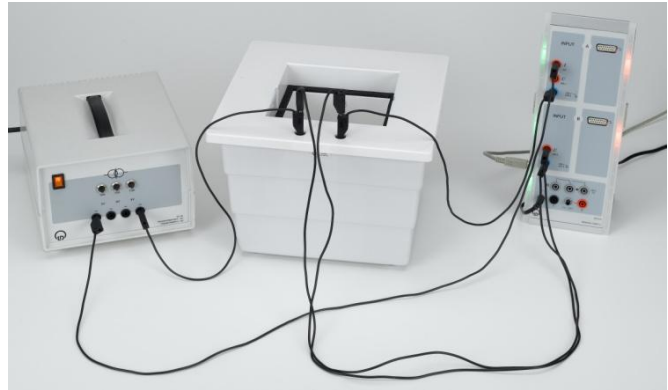


Abb. 2. Bestimmung der Leistung des Plattenheizers.

- Plattenheizer in die Wärmemesskammer einsetzen. Transformator noch nicht einschalten!
- Den Transformator und die Wärmemesskammer an das Sensor-CASSY gemäß Abb. 2 zur Spannungs- und Strommessung anschließen.

**b) Temperaturmessung**

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt.

- Plattenheizer in die Wärmemesskammer einsetzen.
- Eine Baustoffplatte zum Einbau in die Wärmemesskammer vorbereiten:
- Kontaktplättchen aus Aluminium in die dafür vorgesehenen kreisförmigen Aussparungen auf der Baustoffplatte am Ende der Nut mit Wärmeleitpaste einlegen. Dabei muss das Kontaktplättchen so gedreht sein, dass die Aussparung in der Verlängerung der Nut liegt.
- Dabei die Wärmeleitpaste lediglich auf das Kontaktplättchen auftragen.
- Eine dünne Aluminiumplatte (Dicke: 0,3 mm) mit der schwarzen Seite nach außen vorsichtig, d.h. ohne sie zu verbiegen, auf die mit Wärmeleitpaste vorbereitete Seite dieser Baustoffprobe legen und die beiden Platten zusammendrücken.
- Diese Schritte für die andere Seite wiederholen.
- Zunächst die Spitze der Temperaturfühler vorsichtig, d.h. ohne diese dabei zu verbiegen, durch die Bohrung der Gummistopfen (Durchmesser: 1,5 mm) stechen. Diese noch nicht in die Wärmemesskammer einführen!

- Die vorbereitete Baustoffprobe in die Kammeröffnung einlegen und die Temperaturfühler an der Ober- und der Unterseite einführen. Bei Bedarf die Baustoffprobe mit dem Montagehacken etwas anheben.
- Temperaturfühler mit Hilfe des NiCr-Ni-Adapter S gemäß Abb. 1 an das Sensor-CASSY anschließen.
- Den Transformator an die Anschlüsse des Plattenheizers anschließen. Transformator noch nicht einschalten!
- Dünne, aber wasserdichte Kunststoffolie (z.B. Frischehaltefolie) über der Wärmemesskammer ausbreiten. Eine Tüte mit Eisstücken auf die obere Aluminiumplatte legen. Es ist darauf zu achten, dass kein Wasser in die Kammer oder auf die Kabel gelangen kann.

*Hinweise: Die Tüte darf nicht zu klein sein. Das Eis muss einen möglichst guten Kontakt mit der Aluminiumplatte haben. Je kleiner die Eisstücke sind, desto besser legt sich das Eis auf die Baustoffprobe. Es eignet sich zusätzlich ein schwerer Gegenstand, der auf die Tüte gestellt werden kann ohne diese zu beschädigen.*

## Versuchsdurchführung

### a) Leistungsmessung

- [Einstellungen in CASSY Lab 2 laden](#).
- Wärmemesskammer entsprechend der gewählten Baustoffprobe an den Transformator anschließen.

*Hinweis: Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit der Rohacell-Platte darf die Arbeitsspannung nicht die Grenze von 6V überschreiten, da es sonst zur Überhitzung der Wärmemesskammer kommen kann!*

- Transformator einschalten und dabei kurz die Spannung  $U_{B1}$  und die Stromstärke  $I_{A1}$  auf dem Bildschirm beobachten und notieren.
- Leistung  $P$  notieren.
- Transformator wieder ausschalten!

*Hinweis: Bei dieser Messung soll der Transformator möglichst kurz eingeschaltet bleiben. Anschließend ist abzuwarten bis sich der Plattenheizer wieder auf die Raumtemperatur abgekühlt hat.*

### Sicherheitshinweis

Die Wärmemesskammer, Wandmaterialien und Baustoffproben nicht über 60 °C erhitzen!



### b) Temperaturmessung

- [Einstellungen in CASSY Lab 2 laden](#).

*Hinweis: Ggf. die Temperaturfühler bevor sie in die Messkammer gesteckt werden bei gleicher Temperatur – z.B. in einem Wasserbad – in CASSY Lab 2 korrigieren, d.h. auf gleiche Temperaturanzeige bringen.*

- Beide Temperaturen  $\vartheta_{A11}$  und  $\vartheta_{A12}$  beobachten.
- Abwarten bis sich die tiefere Temperatur nicht mehr ändert.

*Hinweis: Je nach Temperatur des Eises kann diese durchaus deutlich unter 0 °C liegen. Um diese Temperatur während der Messung möglichst konstant halten zu können, empfiehlt sich es, dass diese Temperatur zwischen -2 °C und +4 °C liegt.*

- Transformator einschalten. Die Messung noch nicht starten!
- Beide Temperaturen beobachten und abwarten bis die höhere Temperatur zu steigen beginnt.
- Messung mit  starten.
- Die Temperatur an der inneren Seite steigt, während die Außentemperatur unter dem Eis konstant bleibt. Sobald die Außentemperatur steigt (schon bei 0,5 °C Differenz) den Kontakt mit dem Eis vorsichtig nachbessern. Diese Korrektur während der Messung bei Bedarf wiederholen.
- Falls die Innentemperatur 60 °C erreicht, Transformator ausschalten und den Versuch mit kleinerer Spannung bzw. Leistung wiederholen.
- Falls sich die innere Temperatur nur noch langsam oder nicht mehr ändert (etwa bis 0,15 °C pro Minute) kann die Messung mit  gestoppt werden.
- Transformator ausschalten!

*Hinweis: Beim Abbau müssen zuerst die Temperaturfühler entfernt werden und danach die Baustoffprobe mit dem Montagehacken herausgehoben werden.*

### Messbeispiele

In den Abbildungen 3. bis 6. sind jeweils die zeitlichen Temperaturverläufe für die verschiedenen Baustoffproben dargestellt.

Aus der Kurve der Innentemperatur  $\vartheta_{A11}$  (Unterseite der Probe) wird durch eine Anpassung die Temperatur im thermischen Gleichgewicht  $\vartheta_{TG}$  bestimmt. Die durchgezogene Linie ist gerade die aus der Anpassung erhaltene Funktion.

Der Mittelwert der tieferen Außentemperatur  $\vartheta_{A12}$  (Oberseite der Probe mit Eis) ergibt die Temperatur  $\vartheta_{kalt}$ .

Daraus wird die Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta = \vartheta_{TG} - \vartheta_{kalt}$  berechnet.

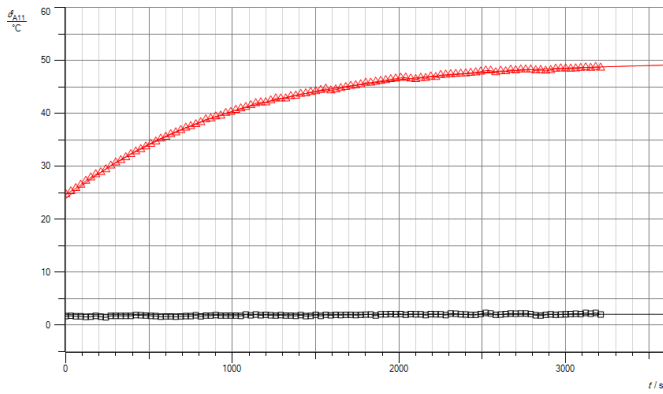


Abb. 3: Polystyrol

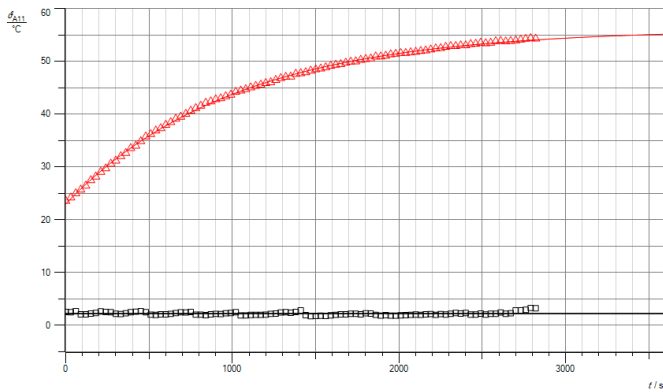


Abb. 4: Holzspan

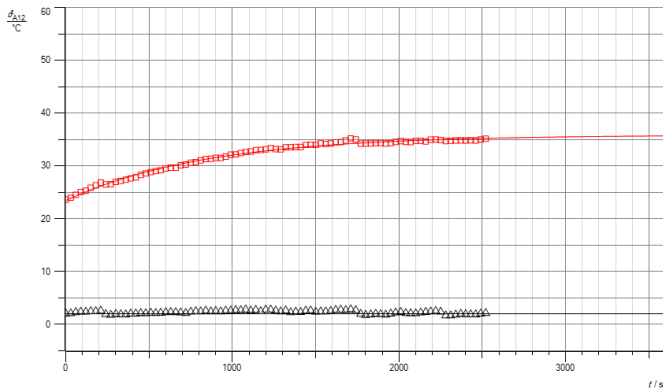


Abb. 5: Fermacell (Gips)

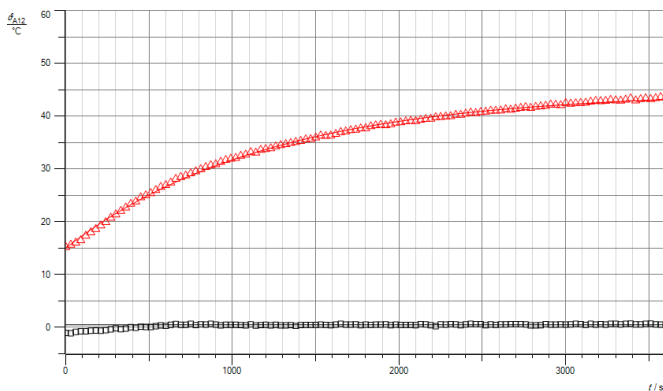


Abb. 6: Rohacell (Isolierschaum)

	Polystyrol	Holzspan	Fermacell (Gips)	Rohacell (Isolierschaum)
$\frac{A}{m^2}$	0,0225			
$\frac{d}{m}$	0,01			
$\frac{U}{V}$	12	12	12	6
$\frac{P}{W}$	21,2	21,2	21,2	5,3
$\frac{\Delta\vartheta}{K}$	48	54	34	45
$\frac{\lambda}{\frac{W}{m \cdot K}}$	0,19	0,17	0,28	0,05
$\frac{\lambda_H}{\frac{W}{m \cdot K}}$	0,16-0,18	0,07-0,17	0,23-0,28	0,02-0,05

Tab. 1: Zusammenfassung der Messergebnisse. Die Werte für  $\lambda_H$  sind Herstellerangaben.

Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit ist, desto größer wird die Temperatur im Innenraum. Dabei ist zu beachten, dass bei Rohacell (Isolationsmaterial) eine deutlich kleinere Leistung genügt, um eine ähnlich hohe Temperatur zu erreichen.

**Bemerkung**

Die berechnete Wärmeleitfähigkeit ist systematisch etwas größer als die tatsächliche. Dies ist durch die Wärmeverluste zu erklären. Bei der Rechnung wird angenommen, dass die elektrische Leistung  $P$  genau dem Wärmefluss entspricht. Für die berechnete Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  gilt

$$P = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\vartheta .$$

Da aber bei den Messungen nur der Wärmefluss  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  die Proben durchsetzt, gilt für die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \dot{Q} = \lambda_{tat} \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\vartheta .$$

Daraus ergibt sich

$$\lambda = \lambda_{tat} \cdot \frac{P}{\dot{Q}} .$$

Da der die Platte durchsetzende Wärmefluss  $\dot{Q}$  kleiner ist als die elektrische Leistung  $P$ , ist der Quotient  $\frac{P}{\dot{Q}}$  größer als eins. Die gemessene Wärmeleitfähigkeit ist demnach etwas größer als die tatsächliche.