

## Dämpfung von Temperaturschwankungen durch mehrschichtige Wände

Aufzeichnung und Auswertung mit CASSY

### Versuchsziele

- Aufnahme der Temperaturverläufe an zweischichtigen Wänden beim mehrfachen Ein- und Ausschalten einer äußeren Wärmequelle.
- Beobachtung der Amplitude und Phasenverschiebung der Temperaturverläufe an verschiedene Stellen der Wand.
- Vergleich des Temperaturanstieges im Inneren der Wärmemesskammer in Abhängigkeit vom Aufbau der Wand.

### Grundlagen

Trotz des Außentemperaturwechsels zwischen Tag und Nacht ist in Räumen eine möglichst konstante Innentemperatur erwünscht. Die tagsüber strahlende Sonne wärmt die Außenwände auf, die die Wärme nach innen leiten und sich dann über die Nacht wieder abkühlen. Diese periodischen Schwankungen der Temperatur werden hier als Temperatur"welle" bezeichnet, die mit Begriffen wie Amplitude und Periode beschrieben werden kann.

In Versuch wird untersucht, wie sich mit zweischichtigen Wänden aus Baustoffen eine solche Situation gewährleisten lässt. Der Hausinnenraum entspricht bei diesem Versuch dem Innenraum der Wärmemesskammer. Die strahlende Sonne wird durch eine auf die Wärmemesskammer gerichtete Halogenlampe dargestellt. Der Wechsel zwischen Tag und Nacht wird durch periodisches Ein- und Ausschalten der Halogenlampe simuliert.

Die Periode beträgt dabei wenige Minuten. Während der Beleuchtung (Tag) bzw. der Abkühlung (Nacht) gilt für die Außentemperatur, dass die zeitliche Temperaturänderung proportional zur Temperatur ist 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:

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

mit

$\vartheta_{\text{End}}$  : Die durch die Beleuchtung höchsterreichbare bzw. die nach dem Abkühlen sich einstellende Temperatur (Raumtemperatur)

$\vartheta_{\text{Diff}} = \vartheta_{\text{End}} - \vartheta_{\text{Anfang}}$  : Temperaturdifferenz

$\tau$  : Zeitkonstante.

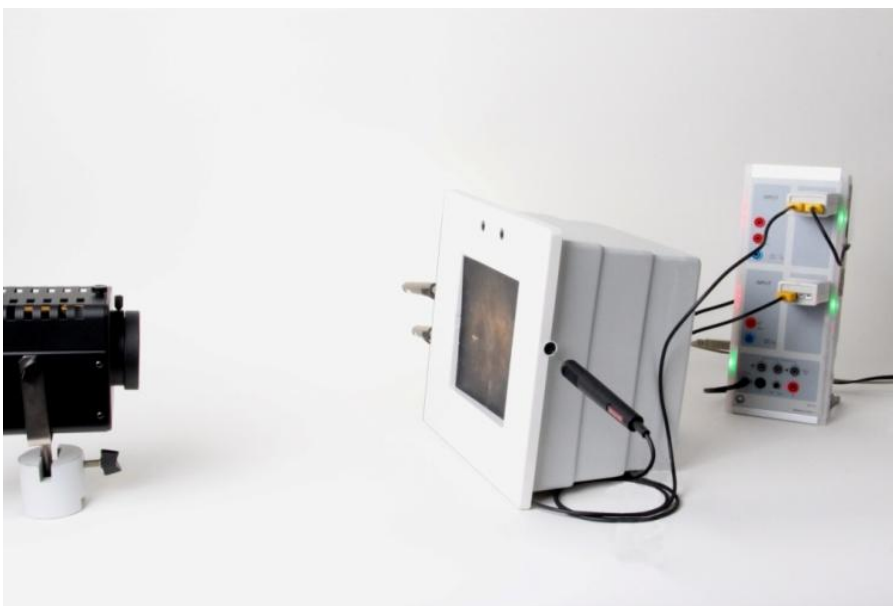


Abb. 1. Simulation des Wechsels zwischen Tag und Nacht durch periodische Beleuchtung.

**Geräte**

1	Wärmemesskammer .....	389 29
1	Baustoffproben zur Wärmemesskammer .....	389 30
1	Halogenleuchte, 12V, 50/100 W.....	450 64
1	Halogenlampe 12V/100 W, G6, 35 .....	450 63
1	Sockel.....	300 11
1	Transformator, 2...12 V, 120 W.....	521 25
2	Experimentierkabel, 32 A, 100 cm, schwarz..	501 33
1	Sensor-CASSY 2.....	524 013
1	CASSY Lab 2 .....	524 220
2	NiCr-Ni-Adapter S, Typ K .....	524 0673
3	Temperaturfühler NiCr-Ni, 1,5 mm, Typ K.....	529 676
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Dabei gilt während der Beleuchtung  $\vartheta_{\text{Diff}} > 0$  und während der Abkühlung  $\vartheta_{\text{Diff}} < 0$ . Die durch das Ein- bzw. Ausschalten der Lampe verursachte Temperatur an der Außenseite ist eine periodische Funktion der Zeit. Auch die Temperaturen zwischen den beiden Baustoffproben sowie im Innern der Wärmemesskammer verändern sich zeitabhängig. Allerdings sind diese Temperaturwellen in den Amplituden im Vergleich zur Außentemperatur stark gedämpft und phasenverschoben. In Versuch werden diese Effekte demonstriert.

**Versuchsaufbau**

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt.

- Zwei Baustoffplatten (Polystyrol- und Rohacell) zum Zusammenbau zu einem „Sandwich“ und anschließenden Einbau in die Wärmemesskammer vorbereiten:
- Ein Kontaktplättchen aus Aluminium in die dafür gesehene kreisförmige Aussparung der Polystyrolplatte am Ende der Nut mit Wärmeleitpaste einlegen. Dabei muss das Kontaktplättchen so gedreht sein, dass die Aussparung in der Verlängerung der Nut liegt.
- Die Wärmeleitpaste lediglich auf das Kontaktplättchen auftragen!
- Eine dünne schwarzlackierte Aluminiumplatte (Dicke: 0,3 mm) mit der schwarzen Seite nach außen vorsichtig, d.h. ohne sie zu verbiegen, auf die Polystyrolplatte legen.
- Diese Schritte für die andere Seite wiederholen, jedoch eine unlackierte Aluminiumplatte verwenden.  
*Hinweis: Diese unlackierte Aluminiumplatte trennt während der Versuche die beiden Baustoffproben.*
- Nun eine dünne schwarzlackierte Aluminiumplatte (Dicke: 0,3 mm) mit der schwarzen Seite nach außen vorsichtig, d.h. ohne sie zu verbiegen, auf die Rohacellplatte legen.
- 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!
- Erst die beidseitig mit Aluminium kaschierte Polystyrolplatte mit der schwarz lackierten Seite nach unten in die Wärmemesskammer einlegen. Dabei ist zu beachten, dass die Stellen zum Einführen der Temperatursensoren (die Enden der Nut) zur Seite der Wärmemesskammer mit zwei Öffnungen gedreht werden müssen.
- Die einseitig mit Aluminium kaschierte Rohacellplatte anschließend mit der schwarzen Seite nach oben auf die in der Wärmemesskammer bereits eingelegte Platte legen.

- Zu beachten ist, dass die unlackierte Aluminiumplatte zwischen den Baustoffplatten liegt und, dass die Stellen zum Einführen der Temperatursensoren (die Enden der Nut) der beiden Baustoffplatten um 180° verdreht sind.
- Die Temperaturfühler an der Ober- und der Unterseite sowie zwischen den beiden Baustoffplatten einführen. Bei Bedarf die Baustoffprobe mit dem Montagehacken etwas anheben.
- Die Temperaturfühler mit Hilfe des NiCr-Ni-Adapters gemäß Abb. 1 an das Sensor-CASSY anschließen.
- Die so vorbereitete Wärmemesskammer vorsichtig senkrecht auf den Tisch so stellen, dass die herausragenden Temperaturfühler den Tisch nicht berühren und nicht bei der Versuchsdurchführung berührt werden (siehe Abb. 1).
- Die Halogenlampe in die Halogenleuchte einführen und diese dann gemäß Abb. 1 an das Netzgerät anschließen. Den Transformator noch nicht einschalten!
- Die Öffnung der Wärmemesskammer, aus der jetzt die schwarze Aluminiumplatte zu sehen ist, soll so gedreht sein, dass die vor die Wärmemesskammer aufgestellte Halogenleuchte unmittelbar auf das Schwarze strahlen kann.



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

- Transformator für Beleuchtung einschalten. Die Messung noch nicht starten!
- Die Halogenleuchte in ca. 1 m Entfernung aufstellen und so einstellen, dass das Lichtbündel möglichst die gesamte schwarze Fläche in der Öffnung der Wärmemesskammer ausleuchtet und der Rand der Wärmemesskammer nicht bestrahlt wird. Während des Versuches die Außentemperatur  $\vartheta_{A11}$  beobachten.

*Hinweis: Die Außentemperatur  $\vartheta_{A11}$  darf 60° nicht überschreiten. Andernfalls das Netzgerät sofort ausschalten und den Abstand zwischen der Wärmemesskammer und Halogenleuchte erhöhen.*

- Die Außentemperatur  $\vartheta_{A11}$  sollte nach etwa 10 Minuten Beleuchtung zwischen 50°C und 55°C liegen und sich nur noch sehr langsam ändern (< 1°C/min).
- Transformator ausschalten und Außentemperatur wieder bis auf Raumtemperatur absinken lassen.

**Versuchsdurchführung**

- Messung mit CASSY Lab 2 mit  starten und gleichzeitig den Transformator einschalten.
- Nach 10 bis 12 Minuten den Transformator ausschalten.
- Nach der gleichen Zeit den Transformator wieder einschalten.
- Ein- und Ausschaltvorgang mehrfach wiederholen.
- Messung mit  stoppen.
- Transformator ausschalten.

*Hinweis: Beim Abbau müssen zuerst die Temperaturfühler entfernt werden. Erst danach können die Baustoffplatten mit dem Montagehacken herausgehoben werden.*

- Nun die beiden Baustoffplatten umgedreht einlegen und Versuch wiederholen.

## Beobachtungen

Bei Beleuchtung steigt die Temperatur an der Außenseite  $\vartheta_{A11}$  schnell, während sich die Temperatur  $\vartheta_{A12}$  zwischen den Baustoffplatten, sowie die Temperatur  $\vartheta_{B11}$  im Innern der Wärmemesskammer nur langsam verändert.

Nach Ausschalten sinkt die Temperatur an der Außenseite  $\vartheta_{A11}$  schnell wieder ab.

Die Außentemperatur ändert sich (periodisch) um etwa 25°C innerhalb von etwa 12 min.

Dagegen steigt die Innentemperatur auch über die gesamte Messung (etwa 50 min) nur um wenige Grad Celsius

## Messbeispiele

In Abbildungen 2 und 3 sind zwei Messbeispiele dargestellt. Es wurden eine Platte aus Rohacell (Isolierschaum) und eine aus Polystyrol verwendet. Die Polystyrolplatte hat eine deutlich größere Wärmeleitfähigkeit als die Rohacellplatte.

Die Außentemperatur  $\vartheta_{A11}$  (sägeförmige Kurve mit größter Amplitude) wurde unmittelbar an der Oberfläche gemessen und ist demnach weitestgehend unabhängig davon, welche der beiden Baustoffplatten außen liegt. Durch das periodische Ein- und Ausschalten der Lichtquelle wird eine Temperaturwelle erzeugt.

Die Wellenkurve kleinerer Amplitude ist die Temperatur  $\vartheta_{A12}$ , gemessen zwischen den beiden Baustoffplatten. Die starke Amplitudendämpfung ist in beiden Fällen deutlich sehen.

Die Dämpfung der Temperaturwelle beim Durchgang zweier Platten ist so stark, dass keine deutliche Wellenform der Innentemperatur  $\vartheta_{B11}$  zu erkennen ist (untere, annähernd lineare Kurve).

Der wichtigste Unterschied bei unterschiedlichen Abfolgen der Baustoffplatten ist das Ansteigen der Innentemperatur  $\vartheta_{B11}$  über die gesamte Messung:

Bei außenliegender Rohacellplatte steigt die Innentemperatur von etwa 29 °C auf 30 °C, also nur um 1 °C an (Abb. 2).

Bei außenliegender Polystyrolplatte steigt die Innentemperatur von 27 °C auf 30 °C, also um etwa 3 °C an (Abb. 3).

Ein weiterer Vorteil der Außendämmung bei Häusern mit Isoliermaterial (hier im Versuch Rohacell) ist die geringere thermische Belastung des tragenden Mauerwerkes (hier Polystyrol).

Zusätzlich tritt eine Phasenverschiebung (zeitliche Verzögerung im Auftreten der Maxima der Temperaturwellen an der Außenseite und zwischen den Bauplatten) auf.

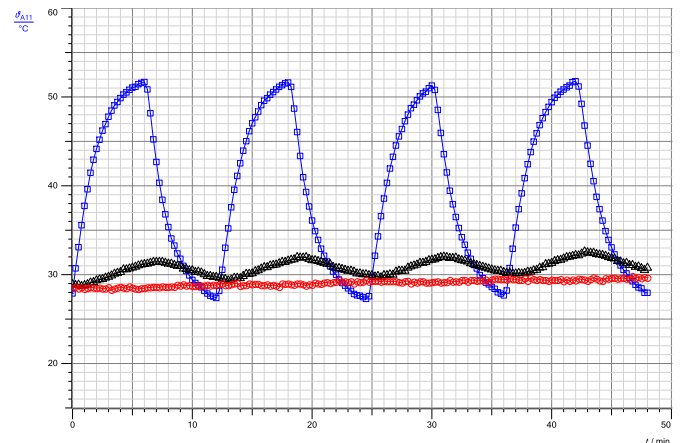


Abb. 2: Dämpfung der Temperaturwelle beim Durchdringen einer außenliegenden Rohacell-(Isolierschaum) und einer Polystyrolplatte

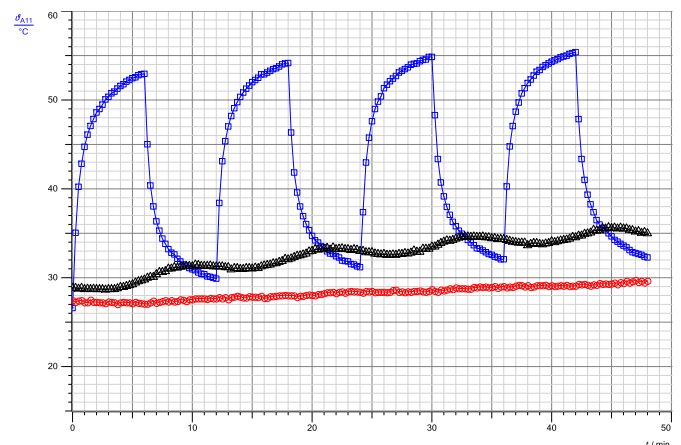


Abb. 3: Dämpfung der Temperaturwelle beim Durchdringen einer außenliegenden Polystyrol- und einer Rohacellplatte (Isolierschaum)