



Warmhalten von Kaffee

SOWAS-Gruppe k

RUB

Leiter: Yannick Raffel

Durchgeführt von: Gina Krakowczyk, Rafael Lysk, Tristan Stiller, Sarah Wilkop

Motivation:

Beinahe täglich hat man es im Alltag mit dem Abkühlverhalten von Flüssigkeiten zu tun. Insbesondere der Kaffee ist ein prominentes Beispiel. Die aufgekommene Fragestellung ist nun, wie das Abkühlen effektiv mit verschiedenen (Alltags-) Isoliermaterialien hinausgezögert werden kann.

Grundlagen:

- Wärmestromermittlung über das Stefan-Boltzmann-Gesetz, mit dem Wärmestrom \dot{Q} , der Stefan-Boltzmann-Konstante σ , den Temperaturen T , der Querschnittsfläche A und dem Emissionsgrad ϵ :

$$\dot{Q} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_0^4)$$

- Betrachtung des Wärmestroms durch ein System über die Wärmeleitfähigkeit λ mit der Länge l :

$$\lambda = \frac{\dot{Q}l}{A\Delta T} = \frac{\epsilon \sigma (T_1^4 - T_0^4)}{T_1 - T_0}$$

- Ebenfalls unter Betrachtung Newton'sche Abkühlgesetz der Abkühltemperatur T mit Abkühlkonstante k und Umgebungstemperatur a :

$$T(t) = a + (T(0) - a) e^{-kt}$$

Durchführung:

- Isoliermaterial zwischen [1] und [3] (siehe Abb. 1) im Bereich [2] einfüllen
- Messung mit und ohne Deckel zur Ermittlung der Abkühlkonstante k
- Messung der Temperatur von [1] und [3] (siehe Abb.1) durch Wärmebildkamera zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit λ

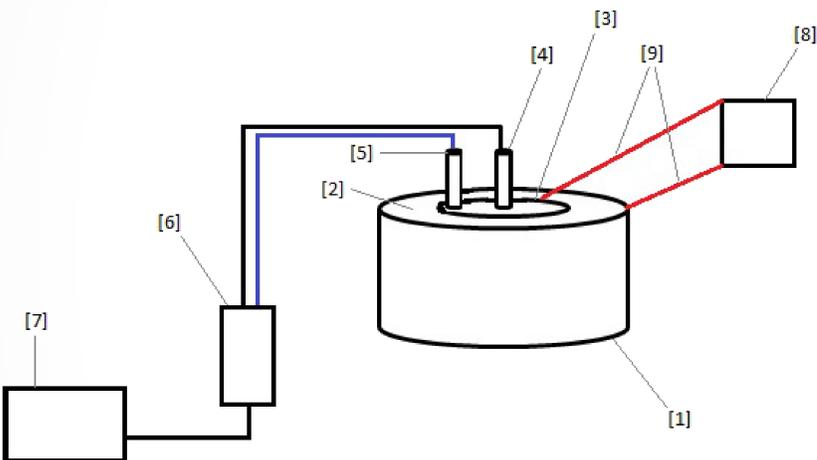


Abb. 1: [1] Schematischer Versuchsaufbau mit äußerer Dose, [2] Isoliermaterial, [3] innerer Dose, [4] Messfühler mittig, [5] Messfühler innere Dose, [6] Thermometer, [7] mit PC-Anschluss, [8] und Wärmebildkamera. [9] Hierbei ist auf ein gleichbleibenden Abstand von der Kamera und den Messpunkten zu achten

Auswertung:

Abkühlkonstanten k

	$k/10^{-4}s^{-1}$	$\Delta k/10^{-7}s^{-1}$	$k/10^{-4}s^{-1}$	$\Delta k/10^{-7}s^{-1}$	kmD/koD
Styroporkugeln	1,15674	0,17	1,47885	0,13	0,78
Holzspäne	1,22805	0,07	2,11999	0,17	0,58
Glaswolle	1,2583	0,15	2,65957	0,21	0,47
Luft	1,60927	0,08	3,09215	0,19	0,52
Alufolie (geknüllt)	2,51826	0,17	3,72162	0,15	0,68
Sand (trocken)	3,8835	0,08	6,66223	0,13	0,58
Reis	3,99936	0,1	5,59006	0,17	0,72

Tabelle 1: Vergleich der Abkühlkonstanten verschiedener Materialien, links mit Deckel, rechts ohne Deckel

- In Abbildung 3 ist ein exponentieller Abfall der Temperatur zu erkennen
- Ein Exponentialfit lässt einen Rückschluss auf die Abkühlkonstante zu
- Der Fehler von k wurde über die Fitungenauigkeit angegeben
- Temperaturbestimmung für λ über Wärmebildkamera (Abb. 2)
- Der Fehler von λ wurde über die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung bestimmt
- Die Wärmeleitfähigkeit ist am geringsten bei Sand (vergleiche Tabelle 3)
- Die Abkühlkonstante ist am geringsten bei Styroporkugeln und am höchsten bei Reis (mit Deckel) bzw. bei Sand (ohne Deckel) (vergleiche Tabelle 1)

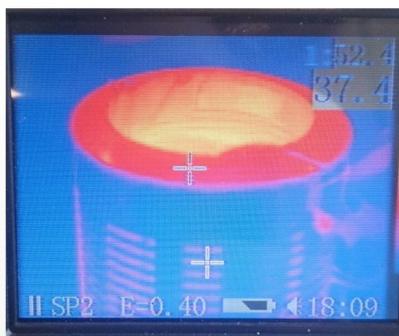


Abb. 2: Wärmebild der Dose mit geknüllter Alufolie als Isolator zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit

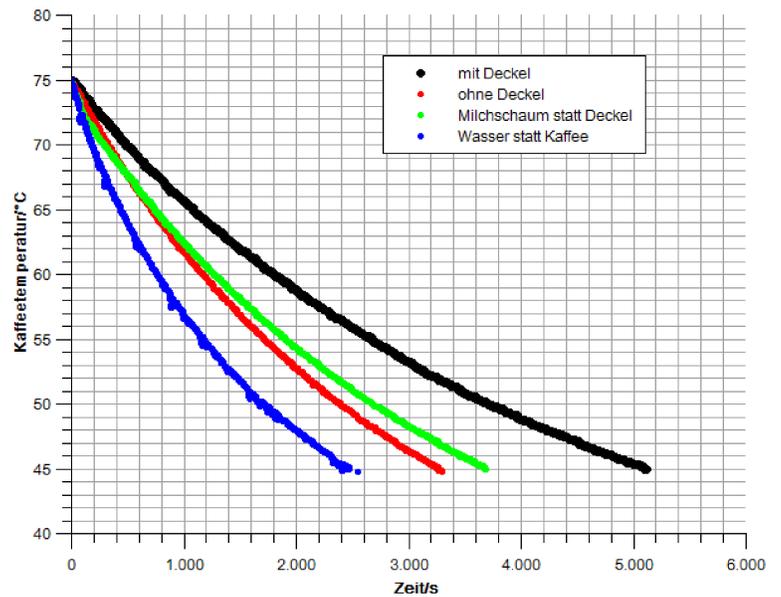


Abb.3: Graphen für Alufolie zur Bestimmung der Abkühlkonstanten über einen Exponentialfit (Fehlerbalken, ermittelt aus dem Ablesefehler 0,1°C, wurden aus Übersichtsgründen weggelassen)

Abkühlkonstanten k

	$k/10^{-4}s^{-1}$	$\Delta k/10^{-7}s^{-1}$
Wasser ohne Deckel	6,74309	0,25
mit Milchschaum	3,51989	0,09
ohne Deckel	3,72162	0,15
mit Deckel	2,51826	0,17

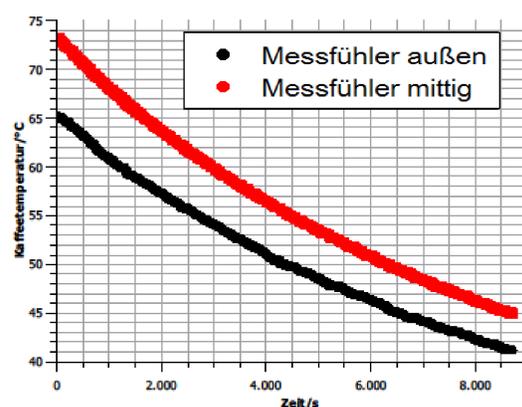
Tabelle 2: Vergleich der Abkühlkonstanten von Alufolie bei verschiedenen Messungen

Wärmeleitfähigkeit λ

	$\lambda/Wm^{-1}K^{-1}$	$\Delta\lambda/Wm^{-1}K^{-1}$
Sand	0,0371	0,0019
Reis	0,0376	0,0019
Alufolie	0,0410	0,0021

Tabelle 3: Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Materialien bei einer Kaffeetemperatur von ca. 66°C

- Bei der Messung mit Wasser stellte sich heraus, dass es deutliche Unterschiede zwischen Kaffee und Wasser gibt (Vergleiche Abb. 3 und Tabelle 2)
- Aufgrund anderer Stoffeigenschaften (Absorptionsgrad, zusätzliche Partikel)
- Bei der Messung mit Milchschaum ist zu sehen, dass sich der Kaffee erst abkühlt wie „ohne Deckel“, später wie „mit Deckel“
- Kalte Milch verhält sich ähnlich wie kalte Luft und verändert seine Form
- Milchschaum ist daher kein guter Ersatz für den Deckel



Abkühlkonstanten k

	$k/10^{-3}s^{-1}$	$\Delta k/10^{-7}s^{-1}$
Mitte	0,12583	0,15
Rand	0,1209	0,9

Tabelle 4: Abkühlkonstanten von Glaswolle mit Deckel, oben Temperaturmessung mittig, unten Temperaturmessung am Rand

Abb. 4: relevante Verschiebung zwischen Rand und Mittelmessung bei Isoliermaterial Glaswolle mit Deckel (Fehlerbalken, ermittelt aus dem Ablesefehler 0,1°C, wurden aus Übersichtsgründen weggelassen)

- Vernachlässigbarkeit des differentiellen k abhängig vom Isoliermaterial
- Bei den verwendeten Materialien ist es überall vernachlässigbar, außer bei Glaswolle(mit Deckel)

Fazit:

- Die Messungen wurden erfolgreich durchgeführt, die Wärmeleitfähigkeit und die Abkühlkonstante wurden bestimmt
- Die Vergleichsmessung von Wasser anstatt Kaffee zeigt, dass sich Kaffee anders verhält (vergleiche Abb.3 und Tabelle 3)
- Milchschaum verhielt sich erst ähnlich wie „ohne Deckel“, später wie „mit Deckel“ (vergleiche Abb.3)
- Vergleich der Abkühlkonstanten zeigt, dass Styroporkugeln von den verwendeten Materialien am besten isoliert
- Die Reihenfolge der bestimmten Wärmeleitfähigkeiten korreliert nicht mit der Reihenfolge der Abkühlkonstanten

Quellen:

- Wolfgang Demtröder: Experimentalphysik 1 (Mechanik und Wärmelehre)
- Dieter Meschede, „Gerthsen Physik“, 25. Auflage
- Prof. A. von Keudell, „Physik I, Mechanik und Wärmelehre“, Vorlesungsskript