

Betreuer: Vincent Freudenreich

Durchgeführt von: Hans-Georg Babin, Malte Chlosta, Jonathan Heil, Karolin Hymon

Motivation

Ausgehend von der Vermutung, dass bei der Abkühlung einer heißen Tasse Wasser die latente Wärme der dominierende Faktor ist, wurden in diesem Projekt alltagsnahe Methoden zur Abkühlung von Flüssigkeiten am Beispiel von Tee untersucht. Dazu wurden verschiedene alltägliche Methoden angewandt und weiterentwickelt. Die Ergebnisse wurden qualitativ ausgewertet und den Einflussgrößen quantitativ zugeordnet.

Physikalische Grundlagen

Die Abkühlung von Flüssigkeiten folgt vier Phänomenen:

Wärmeleitung beschreibt den Wärmefluss durch Temperaturunterschied, welcher durch Stöße stattfindet. Die abgegebene Leistung wird durch das Fouriersche Gesetz (3) beschrieben mit der Wärmeleitfähigkeit α .

Bei der **Wärmestrahlung** wird durch elektromagnetische Strahlung Energie abgeführt. Die abgegebene Leistung lässt sich durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz (1), mit dem Emissionskoeffizienten ϵ berechnen.

Latente Wärme ist die Wärmemenge, die dem Stoff während der Änderung des Aggregatzustandes entzogen wird. Die abgegebene Wärmemenge (2) ist proportional zur Massenänderung, mit der Verdampfungsenthalpie c_L .

Konvektion beschreibt den Wärmetransport durch Vermischung von Stoffen, was hier vernachlässigt werden kann.

Einordnung der drei Phänomene

Die **Gesamtwärmemenge** wird über (4) mit der spezifischen Wärmekapazität von Wasser c_w berechnet. (Genauer $c_w(T)$, dies wird im Fehler berücksichtigt.)

Die durch **latente Wärme** verlorengegangene Wärmemenge wird über (2) abgeschätzt. Die Wassermassendifferenz zwischen Start- und Endwert ist bekannt. Da c_L temperaturabhängig ist wird hier ein gemittelter Wert genommen, die Abweichung wird im Fehler berücksichtigt.

Zusätzlich besteht ein Wärmeverlust durch **Strahlung**, dieser wird über das Stefan-Boltzmann Gesetz (1) abgeschätzt. Der Temperaturverlauf wird dem Newton-Fit (5) genähert.

Konvektion und **Wärmeleitung** sind sehr schwierig abzuschätzen, da Gasturbolenzen der Luft, konkrete Wärmeübertragung an Styropor, etc. sehr komplex sind und ohne weiteres nicht analytisch beschrieben werden können. Der übrige Wärmeverlust durch diese Effekte muss aufgrund der Energieerhaltung erfolgen. Der tatsächliche Wärmeverlust wird durch Integration berechnet.

Durchführung

Mit Thermometern wurde digital der Temperaturverlauf von kochendem Tee/Wasser aufgezeichnet. Die Messungen starteten bei 80°C und liefen 25 Minuten. Zusätzlich wurden die Massen am Start- und Endpunkt gemessen. Dieser Ablauf wurde für verschiedenste Isolierungsarten der Tasse durchgeführt.

$$(1) \dot{Q} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2) Q = \Delta m \cdot c_L \quad (3) \dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{d}$$

$$(4) Q = (T(t_1) \cdot m(t_1) - T(t_2) \cdot m(t_2)) \cdot c_W$$

Diagramm 1: Übersicht der wichtigsten Abkühlmethoden

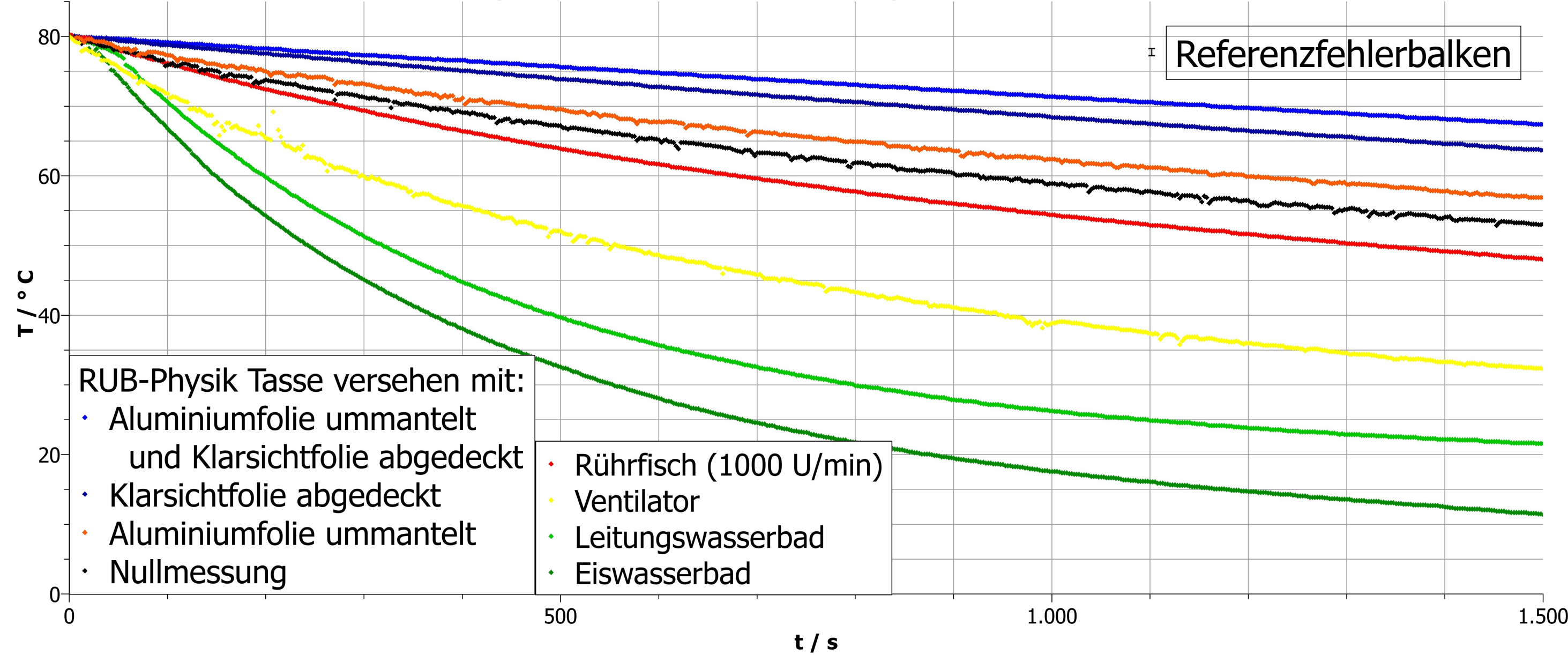
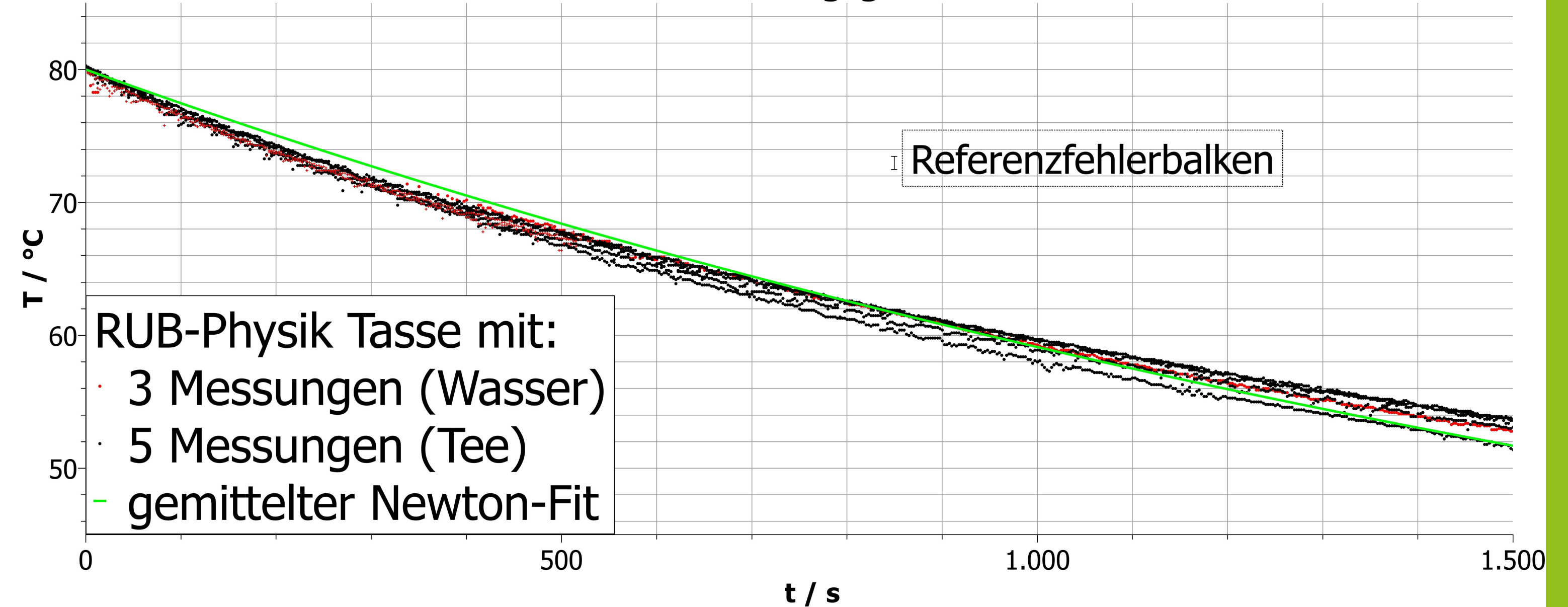


Diagramm 2: Vergleich des Abkühlverhaltens von Wasser und Tee mit Newton'schem Abkühlungsgesetz



Auswertung

Zum objektiven Vergleich des Abkühlverhaltens wurde sich des Newton-Fits bedient: $T(t) = T_a + (T_0 - T_a) \exp(-kt)$ (5), wobei k die Abkühlkonstante beschreibt (vgl. Tabelle). Analog zu den Grundlagen wurden die Einflussgrößen (latente Wärme, Strahlung, Leitung) bestimmt (exemplarisch für Nullmessung im Tortendiagramm dargestellt). Der Vergleich verschiedener Plots bestätigt diese Verteilung. Bei der Strahlungsabschätzung wurde die Umgebung als mit Raumtemperatur strahlender Schwarzkörper angenommen. Dies führt zu einer Abschätzung der unteren Grenze der abgestrahlten Energie.

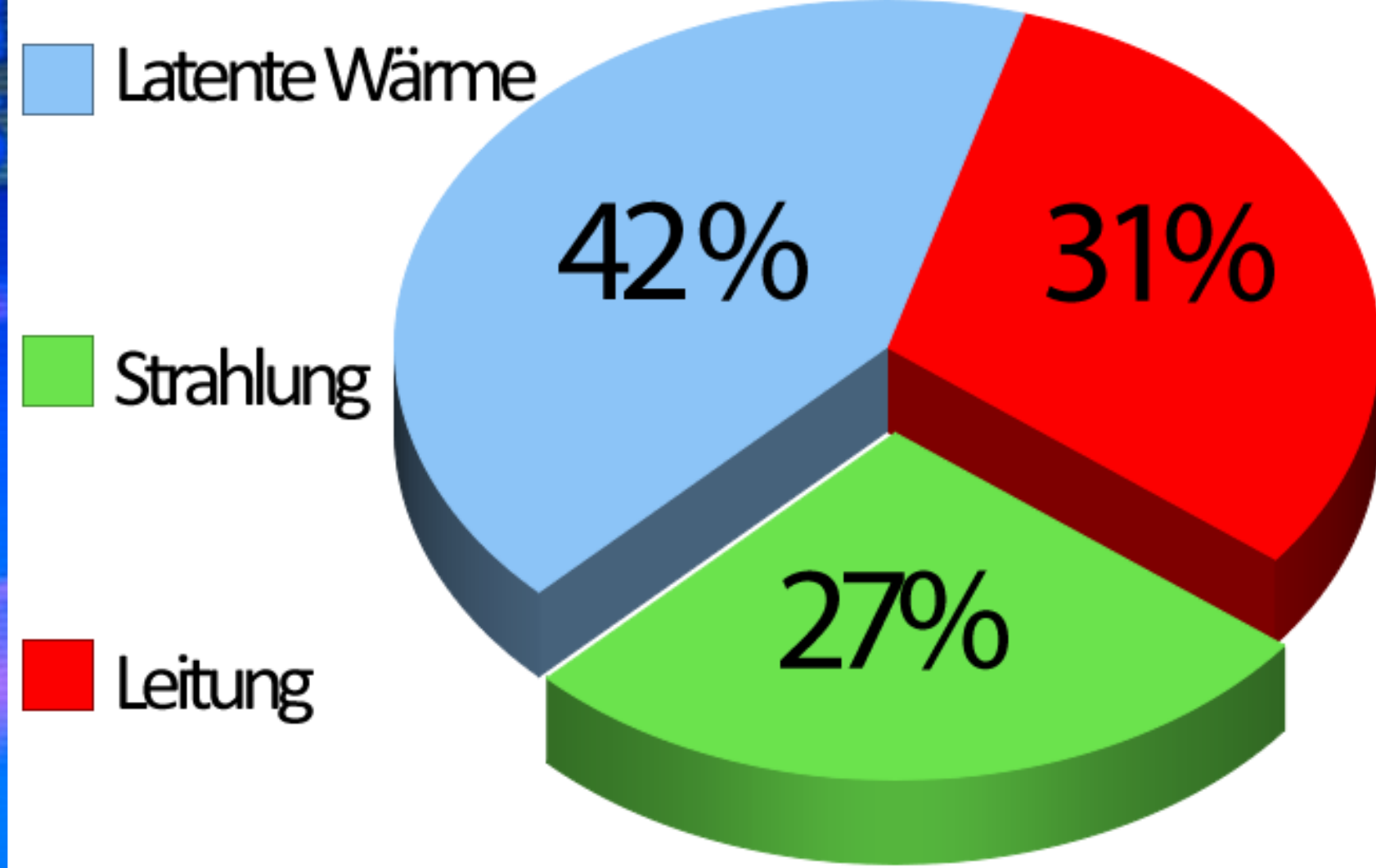


Diagramm 3: Verteilung der Einflussgrößen bei Nullmessung

Abbildung 1: Wärmebild von Alumantel Tasse (links) und Nullmessung (rechts)

Fazit

- Die Latente Wärme ist, anders als vorher angenommen, nicht der alleinig dominierende Faktor des Abkühlprozesses. Dabei ist die Isolation der latenten Wärme allerdings deutlich einfacher als die Abschirmung der anderen Abkühlprozesse.
 - Die abgestrahlte Leistung ist über den Newton-Fit näherungsweise bestimmbar. Um alle Einflüsse genauer zu berücksichtigen, müsste das Projekt auf einen längeren Zeitraum erweitert werden.
- ⇒ Folgend sind die Zuordnungen der einzelnen Modifikationen bezüglich ihrer Abkühlmechanik aufgeführt:
- Der Tee kann effektiv mit einer Aluminiumummantelung mit Abdeckung (Pfropfen/Klarsichtfolie) oder (etwas schlechter) in einem Pappbecher mit Plastikdeckel (Abschirmung latenter Wärme) isoliert werden (Vgl. Cafeteria Becher).

Versuch	$\Delta T/K$	$k/(1/s)^*$	Q_{ges}/J	Anteil latente Wärme	Anteil Strahlung	Anteil Leitung
Alufolienmantel + Klarsichtdeckel	12,7±0,1	1,621±0,001	14000±1000	0	0,30±0,08	0,70±0,08
Klarsichtfoliendeckel	16,3±0,1	2,144±0,002	17000±1000	0	0,85±0,10	0,15±0,10
Becher in Eiswasser	68,6±0,1	(33,4±0,5)	73000±1000	0,03±0,02	0,04±0,01	0,93±0,02
Becher in Leitungswasser	58,4±0,1	22,5±0,1	64000±1000	0,07±0,03	0,07±0,01	0,86±0,03
Löffel im Tee	27,2±0,1	4,35±0,06	40000±1000	0,40±0,05	0,30±0,02	0,30±0,05
Pappbecher mit Deckel	19,4±0,1	2,65±0,01	19000±1000	0,08±0,05	0,74±0,08	0,18±0,09
Pappbecher ohne Deckel	29,8±0,1	5,07±0,02	41000±1000	0,44±0,03	0,28±0,03	0,28±0,04
Ventilator kühlt mit 12V	48,4±0,1	12,98±0,03	67000±1000 (Erhöhte Verdunstung)	0,45±0,03	0,10±0,01	0,45±0,03
Alufolienmantel ohne Deckel	23,1±0,1	3,66±0,01	32000±1000	0,44±0,06	0,10±0,03	0,46±0,07
gemittelte Nullmessung	27,2±0,1	4,453±0,005	39000±1000	0,42±0,03	0,31±0,03	0,27±0,04

Tabelle 1: Übersicht der Ergebnisse mit Fehler

- Die Benutzung eines Ventilators (Simulation des Pustens), Umrühren und das Ändern der Umgebung (Wasserbad) beschleunigen den Abkühlvorgang.
 - Leichtes Umrühren, die Benutzung eines Löffels oder eines Glases statt einer Tasse lassen den Vorgang weitgehend unbeeinflusst.
- ⇒ Das Projekt liefert einen recht guten Überblick über verschiedene, alltagsnahe Abkühlmethoden: primitive Veränderungen der Tasse (Plastikdeckel/Pusten) liefern effektive Ergebnisse.

Quellen

- Prof. Dr. Achim von Keudell: Skript Experimentalphysik 1
- Wolfgang Demtröder: Experimentalphysik 1 (Mechanik und Wärme) www.omega.com
- <http://www.infrared-thermography.com> www.spektrum.de
- <https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/>