

Auswerteprotokoll des Temperaturversuches

Markus Engelhardt

2005-05-24

Versuchsort: Praktikumsraum

Versuchstag: 2005-05-11

Versuchszeit: 14:30 bis 17:30 Uhr

Die Durchführung des Versuches erfolgte gemeinsam mit *Katrin Zink*

Betreuerin: Stefanie Wassermann

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Einführung	3
2	Vorbereitende Fragen	3
2.1	.....	3
2.2	.....	3
3	Vorbereitende Aufgaben	4
3.1	Fadenkorrektur	4
3.2	.....	4
3.3	.....	5
3.4	.....	6
3.5	.....	6
3.6	.....	6
4	Durchführung und Auswertung des Versuches	7
4.1	.....	7
4.2	.....	8
4.3	.....	9

1 Allgemeine Einführung

siehe Beschreibung zu Temperaturversuch!

2 Vorbereitende Fragen

2.1

a) Die Trägheitszeit ist ein Maß für die Reaktionszeit eines Temperaturmessgerätes auf Änderungen der Temperatur.

b) Definition der Trägheitszeit:

Die Trägheitszeit ist diejenige Zeitspanne, innerhalb der die Temperaturdifferenz zwischen Messfühler und Umgebungstemperatur auf das $\frac{1}{e}$ -fache der anfänglichen Differenz abfällt.

c) Die Trägheitszeit eines Temperatursensors hängt im Wesentlichen von der Art des Messgerätes (Flüssigkeitsthermometer oder Widerstandsthermometer) sowie von seiner Oberfläche und des bestehenden Materials ab.

d) Es ist wichtig die Trägheitszeit eines Sensors zu kennen, um entscheiden zu können, ob seine Einsatzfähigkeit den gewünschten Anforderungen genügt. So kann man mikroskalige Temperaturänderungen nur mit einem Thermometer geringer Trägheitszeit erfassen.

e) Die Annäherung der angezeigten an die wahre Temperatur wird durch eine negative Exponentialfunktion beschrieben (vgl. Thermometgleichung!). Die Definition der Trägheitszeit in Abhängigkeit der Eulerschen Zahl e ermöglicht somit eine leichtere Berechnung als zum Beispiel im Vergleich zur Halbwertszeit, bei der der Faktor $\ln 2$ berücksichtigt werden muss.

2.2

Im Falle der Gleichung (18) ist es erlaubt die Einheit Kelvin gegen die Einheit Grad Celsius zu kürzen, da im vorliegenden Falle das Kelvin als Einheit einer Temperaturdifferenz verwendet wird. Die Temperaturdifferenz von 1 K entspricht auch einer Temperaturdifferenz von 1 °C.

3 Vorbereitende Aufgaben

3.1 Fadenkorrektur

mittlere Fadentemperatur: $t_f = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

abgelesene Tempertaut: $t_T = 92 \text{ }^\circ\text{C}$

nicht eingetauchter Bereich des Fadens: $n = 52 \text{ }^\circ\text{C}$

Für den Fadenkorrekturwert (fkW) folgt:

$$fkW = \frac{(t_T - t_f) \cdot n}{6000 \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{(92 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot 52 \text{ }^\circ\text{C}}{6000 \text{ }^\circ\text{C}} = \underline{0,58 \text{ K}}$$

Der korrigierte Messwert lautet somit: $t_{\text{Messgut}} = 92,6 \text{ }^\circ\text{C}$

3.2

Die Energiebilanzgleichung für ein trockenenes Thermometer im stationären Gleichgewicht lautet:

$$Q + L = 0, \tag{1}$$

wobei Q die Strahlungsbilanz und L der Strom fühlbarer Wärme ist. Letzterer lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$L = -\alpha_L \cdot (\vartheta - \vartheta_L), \tag{2}$$

wobei ϑ die Temperatur des Messgerätes, ϑ_L die Temperatur des zu messenden Mediums und α_L die Wärmeübergangszahl sind.

Durch Einsetzen der Gleichung (2) in die Gleichung (1) ergibt sich:

$$Q - \alpha_L \cdot (\vartheta - \vartheta_L) = 0 \tag{3}$$

$$\frac{Q}{\alpha_L} - (\vartheta - \vartheta_L) = 0 \tag{4}$$

$$\Rightarrow \vartheta = \vartheta_L + \frac{Q}{\alpha_L} \tag{5}$$

Die Gleichung (5) entspricht der Gleichung (16) in der Versuchsbeschreibung.

Um den Fehler der Temperaturmessung möglichst gering zu halten, muss die Strahlungsbilanz möglichst klein sein, was den Strahlungsschutz zur Folge hat, und die Wärmeübergangszahl möglichst groß sein, woraus sich Forderung nach einer guten Belüftung des Sensors ableitet.

3.3

Ausgehend von der Thermometergleichung lässt sich nach kurzer Umformung die Zeit in Abhängigkeit der Trägheitszeit darstellen:

$$\begin{aligned}\vartheta(t) &= \vartheta_L + (\vartheta_0 - \vartheta_L) \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ \frac{\vartheta(t) - \vartheta_L}{\vartheta_0 - \vartheta_L} &= e^{-\frac{t}{\tau}} \\ \Rightarrow t(\tau) &= \tau \cdot \ln \frac{\vartheta_0 - \vartheta_L}{\vartheta(t) - \vartheta_L}\end{aligned}$$

Vorgegeben ist eine maximale Differenz der Thermometertemperatur von der Lufttemperatur von $|\vartheta(t) - \vartheta_L| = 0,1 \text{ K}$. Außerdem beträgt die Temperaturänderung $|\vartheta - \vartheta_L| = 12 \text{ K}$.

a) ohne Belüftung ($v = 0$):

Die Trägheitszeit ist im unbelüfteten Fall $\tau = 40 \text{ s}$.
Somit ergibt sich für die Zeit:

$$t = 40 \text{ s} \cdot \ln \frac{12 \text{ K}}{0,1 \text{ K}} = \underline{191 \text{ s}}$$

b) mit Belüftung ($v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$):

Es gilt:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \frac{C}{F \cdot \alpha_1} \\ \tau_2 &= \frac{C}{F \cdot \alpha_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot \tau_1\end{aligned}$$

$$\alpha = 5 + 4 \sqrt{v} \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 = 5 \quad \text{und} \quad \alpha_2 = 13$$

Hieraus ergibt sich für die Trägheitszeit im belüfteten Fall $\tau = \frac{5}{13} \cdot 40 \text{ s} = 15,4 \text{ s}$.
Für die Zeit erhält man in diesem Fall:

$$t = 15,4 \text{ s} \cdot \ln \frac{12 \text{ K}}{0,1 \text{ K}} = \underline{74 \text{ s}}$$

Dies ist deutlich weniger als die Hälfte der Zeit aus dem unbelüfteten Fall.

3.4

Durch Einsetzen in die Thermometergleichung erhält man:

$$\vartheta(t) = 20 \text{ }^\circ\text{C} + (2 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot e^{-\frac{10}{40} \frac{\text{s}}{\text{s}}} = \underline{6 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Somit beträgt der Fehler 4 K.

3.5

a) Zur Vermeidung von Störungen durch die Zuleitungswiderstände verwendet man bei der Temperaturmessung mit einem Pt100 - Sensor eine so genannte Vierleiterschaltung.

b) Schaltbild:

c) Bei dieser Schaltung sind die Strom- und Spannungsleitungen getrennt. Über das (hier) äußere Leiterpaar wird der Strom zu- bzw. abgeführt. Das innere Leiterpaar dient zur Messung des Spannungsabfalles, der über dem Pt100 - Sensor erfolgt.

Somit bleibt diese Schaltung von zuleitungsbedingten Widerständen unberührt.

3.6

a) Bei der in Abbildung 4 dargestellten Schaltung handelt es sich um einen Datenlogger, welcher keinen Konstantstromausgang sondern nur einen Konstantspannungsausgang besitzt. Ein mit dem Pt100 - Sensor in Reihe geschalteter Präzisionswiderstand dient zur Bestimmung der der Stromstärke.

b) Für den PT100-Widerstand ergibt sich $R_{Pt} = \frac{U_{Pt}}{U_R} \cdot R_{\text{Präzision}}$
und für die Temperatur (in °C) $T = \frac{R_{\text{Präzision}} - 100}{0,39}$

4 Durchführung und Auswertung des Versuches

4.1

Im ersten Versuch soll die Trägheitszeit τ in unbewegter Luft eines Thermometers aus einem Aßmannschen Aspirationspsychrometer bestimmt werden. Dazu wird das Thermometer an einem Stativ mit Ausleger befestigt. Der Abstand vom Thermometer zum Stativ beträgt 12 cm und der vom Thermometerkopf zur Tischplatte 13 cm. Anschließend wird das Thermometer mit Hilfe eines Heißluftfönes auf über 60°C erwärmt. Nach Abschalten des Fönes beginnt die Temperaturanzeige sich der Raumtemperatur anzugleichen. Um die Trägheitszeit des Thermometers zu bestimmen, wird ab Passieren der 60° - Marke alle 10 Sekunden die angezeigte Temperatur so lange abgelesen bis sich diese innerhalb von 3 Messungen nicht mehr ändert.

Diese Versuchsreihe wird zwecks größerer Genauigkeit des Ergebnisses drei Mal durchgeführt.

Die Messwerte, die im Messprotokoll aufgeführt sind, werden nun graphisch so veranschaulicht, dass die Steigung der Ausgleichsgeraden durch diese Werte die Trägheitszeit ergibt (siehe Anhang).

Dazu wird die Thermometergleichung nach τ aufgelöst:

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{\vartheta_0 - \vartheta_L}{\vartheta(t) - \vartheta_L}}$$

In der Graphik wird auf der y-Achse die Zeit t in Sekunden und auf der x-Achse der dimensionslose Term $\ln \frac{\vartheta_0 - \vartheta_L}{\vartheta(t) - \vartheta_L}$ aufgetragen.

Hieraus ergeben sich folgende Ergebnisse:

	Trägheitszeit τ in s	Bestimmtheitsmaß r^2
Messreihe 1	175	0,993
Messreihe 2	153	0,999
Messreihe 3	155	0,999
Durchschnitt	161	0,997

Als Mittelwert ergibt sich für die Trägheitszeit $\tau = 161 \text{ s}$ ($= 2 \text{ min}, 41 \text{ s}$).

Die relativ hohe Trägheitszeit beweist, dass ein derartiges Thermometer nicht für schnelle Messungen geeignet ist.

Mögliche Fehler bei der Temperaturmessung ergeben sich aus der Beeinflussung von Körperwärme (v.a. Atemluft), der diffusen Strahlung, aus Abstrahlung des Tisches, der Wand und sonstigen Gegenständen sowie aus Ablesefehlern, vor allem bei schnellen Temperaturänderungen zu Beginn der Messung.

Der sehr gute Korrelationskoeffizient weist hingegen auf eine große Genauigkeit des Ergebnisses hin.

4.2

Im zweiten Versuch wird nun die Trägheitszeit τ des gleichen Thermometers wie in Aufgabe 4.1 ermittelt, wobei nun das Thermometer während der Angleichungsphase in einen konstanten Luftstrom mit $v \approx 2 \frac{m}{s}$ gehalten wird.

Des Weiteren wird für den gleichen Versuchsaufbau die Trägheitszeit eines Pt100 ähnlichen Thermometers bestimmt.

Da die Angleichung an die Raumtemperatur nun schneller erfolgt, wird bei diesem Versuch alle 5 Sekunden der Temperaturwert abgelesen.

Die Auswertung der Messergebnisse wird analog zur vorhergehenden Aufgabe durchgeführt.

Assman-Thermometer:

	Trägheitszeit τ in s	Bestimmtheitsmaß r^2
Messreihe 1	58	0,980
Messreihe 2	61	0,978
Messreihe 3	63	0,963
Durchschnitt	61	0,974

Pt100 ähnliches Thermometer:

	Trägheitszeit τ in s	Bestimmtheitsmaß r^2
Messreihe 1	23,0	0,964
Messreihe 2	22,1	0,982
Messreihe 3	22,6	0,973
Durchschnitt	22,6	0,973

Durch die Ventilation verringert sich die Trägheitszeit beim Assmann-Thermometer um über 60 %. Beim Pt100 ähnlichen Thermometer beträgt die Trägheitszeit sogar nur etwa ein Drittel dieses Wertes.

Zusätzliche Fehlerquellen neben den bereits in der vorhergehenden Aufgabe genannten sind bei diesem Versuch der nicht exakt einstellbare Luftstrom, welcher räumlich sehr inhomogen und zeitlich nicht konstant ist. Zusätzlich ist die Ablesezeit hier auf Grund schnellerer Temperaturänderungen noch kürzer und somit schwieriger.

Hieraus erklären sich die niedrigeren Korrelationskoeffizienten, die aber trotz ungünstigerer Versuchsbedingungen immer noch deutlich über 0,9 liegen.

4.3

Im abschließenden Versuch wird mittels eines Gasthermometers die Laborraumtemperatur sowie der Volumenausdehnungskoeffizient γ von Luft bestimmt.

Dazu wird zunächst die Quecksilbersäulenlänge im Gasthermometer abgelesen, das sich im thermischen Gleichgewicht mit der Umgebung befindet. Diese wird zu 242,5 mm bestimmt.

Hieraus ergibt sich mit der in der Versuchsbeschreibung angegebenen Formel für die Laborraumlufttemperatur:

$$t = \frac{(p_t - p_{min}) \cdot (t_{max} - t_{min})}{p_{max} - p_{min}} + t_{min} = \frac{(242,5 \text{ mm} - 215,5 \text{ mm}) \cdot 49,5^\circ\text{C}}{388 \text{ mm} - 215,5 \text{ mm}} + 11,2^\circ\text{C} = 18,9^\circ\text{C}$$

Dieses Ergebnis liegt um $0,9^\circ$ höher als der mit dem zuvor Assmann-Psychrometer gemessene Wert. Ursache für die Abweichung könnte die Tatsache sein, dass die Temperatur mit dem Psychrometer in der Mitte des Raumes gemessen worden ist, während das Gasthermometer direkt neben einer Wand steht.

Anschließend wird das Reservoir mit Wasser befüllt und dessen Temperatur in 10° -Schritten erwärmt, wobei die Temperatur mit Hilfe eines Quecksilberthermometers kontrolliert wird. Zu jeder Reservoir-Temperatur wird die zugehörige Quecksilbersäulenlänge notiert. Daraus lässt sich nun mit der eben verwendeten Formel die Gasthermometertemperatur bestimmen.

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

$T_{\text{Hg-thermometer}}$ (in $^\circ\text{C}$)	Drucksäulenlänge (in mm)	$T_{\text{Gasthermometer}}$ (in $^\circ\text{C}$)
11,2	215,5	11,2
20,5	249	20,8
30,5	287	31,7
40,3	319	40,9
50,0	354	50,9
60,7	388	60,7

Hierbei ergeben sich mit dem Gasthermometer mit Ausnahme der beiden Fixpunkte stets leicht höhere Temperaturen als mit dem Quecksilberthermometer. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass eine gleichmäßige Erwärmung des Wasserbades trotz Umwälzpumpe nicht möglich ist, sondern sich innerhalb desselben lokale Temperaturunterschiede von bis zu 1 Kelvin einstellen. Dabei ist anzumerken, dass die Temperatur aus Sicherheitsgründen nicht in der unmittelbaren Nähe der Heizspiralen gemessen wird. Weitere Fehlerquellen bei dieser Messreihe sind die Verbindungsleitungen, welche nicht auf die Reservoir-Temperatur eingestellt sind, das nicht berücksichtigte Ausdehnungsverhalten des Glases, sowie nicht vermeidbare Ableseungenauigkeiten.

Mit der in der Versuchsbeschreibung angegebenen Formel lässt sich nun der Volumenausdehnungskoeffizient γ von Luft bestimmen.

Es gilt:

γ (Luft) =

$$\frac{p_{max} - p_{min}}{p_{min} \cdot (T_{max} - T_{min})} + \alpha \cdot \frac{p_{max}}{p_{min}} = \frac{1524 - 1294}{1294 \cdot (60,7^\circ C - 11,2^\circ C)} + \alpha \cdot \frac{1524}{1294} = 3,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Hierbei wurde jeweils der minimale bzw. maximale zur Verfügung stehende Wert für den Druck und für die Temperatur eingesetzt.

Umgebungsbedingungen während der Versuchszeit:

zu Beginn des Versuches (14:45 Uhr):

Lufttemperatur: 17,1°C

Feucht-Temperatur: 11,8°C

Taupunkt: 7,4°C

relative Luftfeuchtigkeit: 53 %

in der Mitte der Versuchszeit (16:45 Uhr):

Lufttemperatur: 18,0°C

Feucht-Temperatur: 12,6°C

Taupunkt: 8,3°C

relative Luftfeuchtigkeit: 53 %

Luftdruck: 1007 hPa

verwendete Geräte:

Die Luft- und Feuchttemperaturmessung erfolgt mit einem Assmanschen Aspirationspsychrometer,

die Luftdruckmessung erfolgt mit dem PHYWE-Manometer/Barometer,

Order No. 07136.00, Serial No. 469900012523,

der Taupunkt und die relative Luftfeuchtigkeit werden mit Hilfe der gemessenen Werten aus der Psychrometertafel abgelesen.

Die Erzeugung des Windes für Aufgabe 4.2 erfolgt mit einem 260 W - Windkanal, Institutsnummer 113, Inventarnummer 980019.