

Dieses Dokument wurde im Rahmen des Erasmus+ -Projekts
"Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning"
(DigiPhysLab) erstellt. Mehr Infos: www.jyu.fi/digiphyslab

Smartphone-Thermometer?

Version für Lehrende

6.2.2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung-
Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Smartphone-Thermometer? – Lehrenden-Version

Überblick über das Experiment

- Thema: Thermodynamik, Temperatur, Grenzen von Experimenten.
- Zielgruppe: Studierende der Physik und Physik auf Lehramt. Geeignet für verschiedene Studienphasen mit unterschiedlicher Offenheit des Experiments.
- Zeitrahmen: Die Aufgabe kann auf zwei Arten durchgeführt werden: als Projekt zu Hause, das sich beispielsweise über eine Woche erstreckt, oder als Aufgabe in der Universität. Wenn die Aufgabe in der Universität erledigt wird, sollten mindestens zwei Stunden für die Planung, Messung und Analyse reserviert werden.
- Einzeln, zu zweit oder in kleinen Gruppen.

Diese experimentelle Aufgabe beschäftigt die Studierenden mit einer eher unkonventionellen Sichtweise. Das Ziel, die Temperatur mit einem Smartphone zu messen, ist ehrlich gesagt zum Scheitern verurteilt. Dies ist jedoch ein Beispiel dafür, wie man eine experimentelle Lösung für ein authentisches Problem findet, und es ist nicht immer einfach, die Grenzen einer experimentellen Idee zu erkennen, bevor man sie ausprobiert. Viele der Methoden, mit denen sich die Temperatur mit Smartphone-Sensoren messen lässt, erscheinen auf den ersten Blick sinnvoll, fallen aber bei genauerer Betrachtung zumindest teilweise auseinander.

Es ist daher wichtig, diese Aufgabe nicht mit der Erwartung anzugehen, präzise oder sogar zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Dies wurde auch im Studierendendokument explizit angegeben. Das Wichtigste bei dieser Aufgabe ist es, die Grenzen und die größten Unsicherheitsquellen im Versuchsaufbau zu erkennen. Die Studierenden entwerfen die Experimente selbstständig, so dass sie die Gründe für die experimentellen Entscheidungen kennen. Da die Einschränkungen des Experiments bei dieser Aufgabe in der Regel klar erkennbar sind, bietet es eine gute Gelegenheit, das Identifizieren und Diskutieren von einschränkenden Faktoren in einem Experiment zu üben.

Benötigte Ausrüstung

Smartphones (mit einer Mess-App, z.B. phyphox oder Physics Toolbox Suite). Die Studierenden können jede andere Ausrüstung verwenden, die sie wünschen, mit Ausnahme der Verwendung externer Temperatursensoren.

Wenn die Aufgabe in der Universität erledigt wird, muss den Studierenden möglicherweise eine Reihe verfügbarer Geräte zur Verfügung gestellt werden. Um mehrere Möglichkeiten zur Durchführung der Aufgabe zu ermöglichen, sollten etwas Eis, Wasser und verschließbare Behälter sowie einige Rohre oder Reagenzgläser unterschiedlicher Länge, Flaschen und Maßbänder bereitgestellt werden.

Die Mess-App

Bei dieser Aufgabe müssen die Studierenden typischerweise Druck (Barometer), Zeit (Stoppuhr, akustische Stoppuhr) oder Schallfrequenz (Mikrofon) messen. Daten von Smartphone-Sensoren können über kostenlose mobile Apps wie phyphox oder Physics Toolbox Suite abgerufen werden.

Diese Apps sind intuitiv und einfach zu bedienen. Alle Werkzeuge, die in einem Smartphone verfügbar sind, können verwendet werden.

Beispielierzählung mit Kommentaren und Vorschlägen

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Aufgabe auszuführen. Die beiden Richtungen, die die Studierenden wählen können, sind entweder den Druck in einem verschlossenen Behälter zu messen und die Beziehung zur Temperatur zu finden (Gasthermometer), oder die Schallgeschwindigkeit zu messen (es gibt viele Möglichkeiten, dies zu tun) und dies mit der Temperatur in Beziehung zu setzen.

Gasthermometer

Sicherheitshinweis: In der unten beschriebenen Methode wird das Telefon einer niedrigen Temperatur ausgesetzt. Wenn die Versiegelung des Behälters nicht ausreichend ist, kann das Telefon nass werden. Das Experimentieren sollte mit Sorgfalt und auf eigene Verantwortung erfolgen.

Die Herstellung eines Gasthermometers erfordert, dass das Telefon ein Barometer hat. iPhones haben normalerweise Barometer, aber Android-Handys scheint es oft zu fehlen. Man braucht auch einen verschließbaren Behälter, wie ein Glasgefäß, der ein konstantes Volumen enthält. Um das Instrument zu kalibrieren, kann man das Telefon-Glas-System in Eiswasser tauchen, um den Druck p_0 bei der Temperatur $T_0 = 273.15 \text{ K}$ zu finden (warum die Luft? siehe Einschränkungen unten). Dann kann man den Druck p bei der gewünschten Temperatur T messen und das ideale Gasgesetz verwenden, um die Temperatur zu finden:

$$T = \frac{p}{p_0} T_0 .$$

Eine wesentliche Einschränkung bei dieser Methode ist die vom Smartphone erzeugte Wärme. Es ist unmöglich zu sagen, wie viel Wärme das Smartphone produziert, aber die Temperatur im Glas erreicht nicht 0°C , wenn es in Eiswasser getaucht wird. Diese nicht quantifizierbare Unsicherheit erschwert es, die Zuverlässigkeit des Ergebnisses zu bewerten.

Temperatur über Schallgeschwindigkeit

Es ist erwähnenswert und mit den Studierenden zu diskutieren, dass die Idee, die Temperatur über die Schallgeschwindigkeit zu messen, tatsächlich einige ernsthafte Anwendungen hat. Siehe hier z.B. akustische Thermometrie <https://www.nist.gov/programs-projects/acoustic-thermometry> und Ozean-Akustiktomographie https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_acoustic_tomography. Es gibt Bestrebungen, diese Idee auch in einer Smartphone-App <https://doi.org/10.1145/3384419.3430714> zu nutzen.

Mit einem Smartphone als experimentelles Tool gibt es zumindest ein paar Möglichkeiten, die Schallgeschwindigkeit zu messen. Eine Möglichkeit besteht darin grundlegende, eine Flugzeitmessung mit normalen Smartphone-Stoppuhren oder der akustischen Stoppuhr in der App phyphox durchzuführen. Hier ist die Variabilität zwischen den Messungen typischerweise enorm, und Studierenden, die diese Methode wählen, müssen die Einschränkung bewerten, die die Genauigkeit der Stoppuhr auf die Genauigkeit der erhaltenen Temperatur setzt. Es ist geradezu unmöglich, mit dieser Methode eine genaue Messung zu erhalten, so dass man versucht sein könnte, fragwürdige Praktiken wie Rosinenpicken aus den Daten oder andere bequeme Datenverarbeitungstricks anzuwenden, um "das richtige Ergebnis" zu erhalten.

Eine verfeinerte Methode besteht vielleicht darin, eine Art Resonanzphänomen zu verwenden, um die Schallgeschwindigkeit zu erhalten. Man kann Frequenzen von stehenden Wellen messen, die sich in einer halboffenen Röhre bilden

$$f = \frac{c_{\text{Luft}}}{4L},$$

wobei c_{Luft} die Schallgeschwindigkeit in der Luft und L die Länge der Luftsäule in der Röhre ist. Man kann auch eine Flasche verwenden, die als Helmholtz-Resonator modelliert werden kann, und die beim Blasen auf die Flasche erhaltenen Frequenzen werden dann mit der Schallgeschwindigkeit in Beziehung gesetzt als

$$f_H = \frac{c_{\text{Luft}}}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL_{\text{Hals}}}},$$

wobei A die Querschnittsfläche der Öffnung des Flaschenhalses, L_{Hals} die Länge des Flaschenhalses und V das Luftvolumen im Flaschenhohlraum (ohne Luft im Hals) ist.

Um die Messungen zu verfeinern, muss (oder möchte) man möglicherweise einen effektiven Wert für die Länge des Rohrs oder des Flaschenhalses heranziehen, so dass

$$L_{(\text{Hals})}^{\text{eff}} = L_{(\text{Hals})} + ar,$$

wobei a ein dimensionsloser Parameter ist und r der Radius des Rohres (hier Flaschenhals) ist. Geeignete Werte von a finden sich aus der Literatur für eine halboffene Röhre und einen Helmholtz-Resonator.

Einschränkungen dieser Methode sind die Messunsicherheiten der Abmessungen des Rohres oder der Flasche und der Modellierungsfehler, der sich aus den Idealisierungen ergibt, die bei der Modellierung der Ausrüstung als schmales Rohr oder idealer Helmholtz-Resonator vorgenommen wurden.

Bewertung

Wir haben vorgeschlagen, diese Aufgabe durch ein Gespräch mit der Kursleitung zu bewerten. Die Diskussion wird von folgenden Fragen geleitet:

- Wie sah Ihr Versuchsaufbau aus, insbesondere wenn Sie Änderungen an Ihrem ursprünglichen Plan vorgenommen haben?
- Wie haben Sie aus Ihren Messdaten die Umgebungstemperatur gewonnen?
- Wie genau und präzise konnten Sie die Temperatur bestimmen?
- Welche Entscheidungen mussten Sie treffen, die nicht optimal waren? Wie wirkt sich das auf Ihre Ergebnisse aus?
- Welche Mängel können Sie in Ihrem Experiment und bei der Temperaturbestimmung mit Smartphone-Sensoren im Allgemeinen feststellen? Was wäre erforderlich, um sie zu beheben?

Aufgrund der unkonventionellen Sichtweise der Aufgabe haben wir das Gefühl, dass ein Gespräch die natürliche Art ist, die Aufgabe zu bewerten. Das experimentelle Ziel ist praktisch unerreichbar, und höchstwahrscheinlich werden verschiedene Gruppen unterschiedliche Entscheidungen über das Experiment treffen, und es ist sinnvoll, diese Entscheidungen persönlich erklären und diskutieren zu können. Die Definition des Erfolgs bei dieser Aufgabe ist nicht die Genauigkeit und Präzision der

Ergebnisse, sondern die Identifizierung und Diskussion der Grenzen und Unsicherheiten, die in der gewählten experimentellen Methode vorhanden sind.

Mögliche Änderungen

- Man könnte die Idee dieser Aufgabe als schnelle Vorlesungsdemonstration verwenden, indem man die Schallgeschwindigkeit (ungefähr) misst und die Raumtemperatur (schlecht) bestimmt. Gruppendiskussionen über die Grenzen des Experiments und wie es verbessert werden kann.
- Diese Aufgabe kann auch für das gymnasial-Niveau geeignet sein, wenn den Schülern und Schülerinnen eine Reihe verfügbarer Geräte zur Verfügung gestellt werden und einige Hinweise und Anweisungen leicht verfügbar sind.
- Die Studierenden können gebeten werden, eine detailliertere Vorhersage über die Präzision und Genauigkeit ihres Experiments zu treffen, bevor sie Messungen durchführen, und sie können später darüber nachdenken, ob ihre Vorhersage korrekt war oder ob während des Experimentierens Verbesserungen an der Methode vorgenommen wurden.