Aufgabe B: Luftreibung bei Fallbewegungen

Lehrmaterial für die Vorlesung

Experimentalphysik I

an der Georg-August Universität Göttingen

im Wintersemester 2022/23

Lehrende: Prof. Dr. Pascal Klein, Larissa Hahn & Simon Z. Lahme

Kontakt: Simon Z. Lahme, simon.lahme@uni-goettingen.de

Version vom 04.03.2023

Dies ist eine Open Educational Ressource (OER), gestellt unter die Lizenz CC BY-SA 4.0. Die Urheber dieser OER sind Simon Z. Lahme & Pascal Klein, Arbeitsgruppe Didaktik der Physik, Georg-August-Universität Göttingen.

Diese Aufgabe ist entstanden im Projekt „Digitalgestütztes vernetztes Lernen in der Studieneingangsphase Physik“ (<https://www.uni-goettingen.de/de/657593.html>) in der Förderlinie „Innovative Lehr- und Lernkonzepte: InnovationPlus“ (Laufzeit: 04/22-12/23) des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur.

Diese Aufgabe basiert auf der OER „Paper parachute“, welche im Projekt DigiPhysLab (Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning; www.jyu.fi/digiphyslab) entstanden ist.

Aufgabe B: Luftreibung bei Fallbewegungen

1 Motivation und Überblick:

Luftreibung wird oft mit Modellen beschrieben, in denen die Reibungskraft von der Geschwindigkeit des sich bewegenden Objekts abhängig ist. Diese Geschwindigkeitsabhängigkeit wird zum Beispiel beim Fahrradfahren offensichtlich: Das Steigern der Fahrgeschwindigkeit wird umso anstrengender, je schneller man fahren möchte. Auf ähnliche Weise führt auch die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Luftreibung dazu, dass ein Fallschirmspringer eine näherungsweise konstante Geschwindigkeit erreicht.

In dieser Aufgabe werden Sie ein Experiment entwickeln, um ein einfaches Modell für die Abhängigkeit der Fallgeschwindigkeit vom Luftwiderstand zu finden. Sie werden dabei auch über die Herausforderungen und Limitationen nachdenken, die beim Designen eines solchen Experiments auftreten.

Hierzu erstellen Sie Videos fallender Objekte, in denen Sie bildweise die Position der Objekte tracken und so die Bewegung analysieren können. Das gleiche Verfahren könnte man auch zur Analyse von Trajektorien, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen (etwa beim Sport, z. B. Sprint, Hochsprung, Motorsport, ...) verwenden. Integraler Bestandteil dieser Aufgabe ist es, die Messunsicherheiten bei der Datenerhebung zu analysieren und durch geeignete Planung des Experiments zu reduzieren.

2 Ihre Aufgabenstellung:

Verwenden Sie die Kamera Ihres Smartphones und eine Videoanalysesoftware, um ein Experiment zu designen und durchzuführen, welches Ihnen die Bestimmung der Beziehung zwischen Luftwiderstand und Objektgeschwindigkeit beim freien Fall erlaubt. Am Ende sollen Sie eine Abschätzung für die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Luftwiderstands auf Basis Ihrer erhobenen Daten haben. Führen Sie diese Aufgabe für unterschiedliche Objekte durch, insbesondere bei Objekten, deren Form und Masseverteilung anfällig für Luftreibung ist (z. B. Muffin-Förmchen oder Kaffeefilter, vgl. Fallschirm).

Ihre Projektergebnisse sollen Sie auf einem wissenschaftlichen Poster darstellen und in einem Reflexionsportfolio anschließend die Projektarbeit reflektieren. Nähere Informationen hierzu folgen im Laufe der Projektarbeitszeit.

3 Diese Leitfragen können Sie bei der Aufgabenbearbeitung unterstützen:

- Wie können Sie mithilfe von Videoanalyse auf die Parameter (z. B. Beschleunigung, Geschwindigkeit, ...) eines Bewegungsvorgangs schließen und diese bestimmen?
- Wie können Sie die Größe des Luftwiderstands und dessen Messunsicherheit bestimmen?
- Inwieweit hängt der zu untersuchende Zusammenhang von der Wahl der Fallgegenstände, der Art des Abwurfes, etc. ab?
- Wie können Sie durch planvolles Vorgehen die Messunsicherheiten bei der Videoanalyse reduzieren?
- Wie können Sie entscheiden, ob ein Reibungsmodell das Verhalten der frei fallenden Gegenstände besser oder schlechter beschreibt?

4 Diese sollen Sie in dieser Aufgabe lernen:

Physikbezogene Lernziele:

- Sie können die grundlegenden Prinzipien von Fallbewegungen und dort auftretenden Reibungseffekten erläutern.
- Sie können das Reibungsverhalten in Abhängigkeit von den Eigenschaften eines Körpers beim freien Fall beschreiben.

Mathematikbezogene Lernziele:

- Sie können zur Modellierung des Systems geeignete Differentialgleichungen aufstellen.
- Sie können die auftretenden Differentialgleichungen lösen und anhand der Lösungen die zugrunde liegenden Modelle vergleichen.
- Sie können mathematische Funktionen und Gesetzmäßigkeiten zur Modellierung von Messdaten heranziehen.

Methodische Lernziele:

- Sie können eigenständig kleine Experimente planen, durchführen und auswerten.
- Sie können die Messunsicherheiten bei der Nutzung von Videoanalyse analysieren und charakterisieren.
- Sie können unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten unterschiedliche mathematische Modellierung auf ihre Eignung testen und dabei die Bedeutung von Fitfunktionen und -parametern für die Qualität der Modellierung beurteilen.

5 Das soll Ihr Poster nachher unter anderem enthalten:

- Informationen zu Design, Durchführung und Auswertung des Experiments
- Diagramme und/oder Tabellen zur Visualisierung der Daten und deren Modellierung
- Begründete Wahl für (mind.) ein Reibungsmodell, welches die Daten präzise modelliert.

6 Noch ein paar Tipps und Hinweise zur Durchführung:

- Arbeiten Sie sich mithilfe der unten angegebenen (und weiterer selbst recherchierter) Literatur in die physikalischen Hintergründe und Umsetzungsmöglichkeiten des Experiments ein. Ein guter Ausgangspunkt hierfür ist das Buchkapitel bei Kuhn und Vogt (2019).
- Nutzen Sie für die Videoaufnahmen die interne Kamera Ihres Smartphones/Tablets.
- Nutzen Sie für die Analyse der Videos z. B. die App *Tracker* oder *Viana* (ggf. können hierfür I-pads ausgeliehen werden).
- Nutzen Sie für die vertiefende Auswertung der Videoanalysedaten z. B. *Excel*, *SciDaVis* oder *Origin*. Alternativ können Sie die Datenauswertung auch mit *Python* vornehmen.
- Achten Sie beim Fallprozess (zunächst) darauf, dass die Gegenstände möglichst rotationsfrei fallen.

7 Möglichkeiten zur Vertiefung der Aufgabe:

Je nachdem, wie zügig Sie vorankommen, können Sie die Aufgabe bezüglich einem oder mehrerer der folgenden Punkte vertiefen:

- Inwieweit hängt das Reibungsverhalten auch von der Anfangsgeschwindigkeit ab, mit der Sie den Gegenstand (nach unten) abwerfen?
- Inwieweit ändert sich das Reibungsverhalten, wenn die Gegenstände während des freien Fallprozesses auch noch eine Rotationsbewegung ausführen?
- Analysieren Sie mithilfe von Videoanalyse weitere Bewegungsvorgänge auf auftretende Reibungseffekte und versuchen Sie, auch diese zu modellieren.

8 Literaturhinweise (im Campusnetz frei verfügbar):

Zum physikalischen Hintergrund:

- **Zum Einstieg:** Wagner, P., Reischl, G., & Steiner, G. (2020): Einführung in die Physik inkl. Neudefinition des Internationalen Einheitensystems (SI). 4., überarb. Auflage. Kapitel 2.1. <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.24989/9783990309896>
- **Allgemein:** Tipler, P. A., Mosca, G., Kersten, P., & Wagner, J. (2019): *Physik für Studierende der Naturwissenschaft und Technik*. 8. Auflage. Springer Spektrum. Kapitel 4.1, & 8. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-58281-7.pdf>
- **Allgemein:** Demtröder, W. (2015): *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Springer Spektrum. Kapitel 2. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-46415-1.pdf>

Zum Experiment und Experimentieren:

- **Zum Experiment:** Kuhn, J. & Vogt, P. (2019): *Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken*. Springer. Kapitel 2.2.3. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-59266-3.pdf>
- **Vertiefend zum Experiment:** Boyle, C. & Pantaleone, J. (2021): The added mass of a falling coffee filter. *European Journal of Physics*, 42, 045005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/abf179/pdf>
- **Vertiefend zum Experiment:** Vera, F & Rivera, R. (2011): A piece of paper falling faster than free fall. *European Journal of Physics*, 32, 1245. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/32/5/012/pdf>

Zur Datenauswertung und zum mathematischen Hintergrund:

- **Zum Einstieg zur Datenauswertung:** Wagner, P., Reischl, G., & Steiner, G. (2020): Einführung in die Physik inkl. Neudefinition des Internationalen Einheitensystems (SI). 4., überarb. Auflage. Kapitel 1.6. <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.24989/9783990309896>
- **Allgemein zur Datenauswertung:** Große-Knetter, J., & Schaaf, P. (2020): Das Physikalische Praktikum Band I. Handbuch 2020/2021 für Studentinnen und Studenten der Physik. Universitätsverlag Göttingen. Kapitel F, H & I. <https://www.univerlag.uni-goettingen.de/handle/3/isbn-978-3-86395-465-9>
- **Allgemein zum Umgang mit Messunsicherheiten:** Arbeitsgruppe 1 des Gemeinsamen Ausschusses für Leitfäden in der Metrologie (2009): Auswertung von Messdaten – Eine Einführung zum „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ und zu den dazugehörigen Dokumenten. Deutsche Ausgabe vom 30.03.2011. https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_8/8.4_mathematische_modellierung/8.40/JCGM_104_2009_DE_2011-03-30.pdf

9 Weitere Hilfsmaterialien (s. separate Dateien):

- Anleitung für die Nutzung von *Tracker*
- Anleitung zur Nutzung von *SciDaVis* (analog für *Origin*)

10 Empfohlener Zeitplan

Die Projektarbeit entspricht einem zeitlichen Aufwand von etwa einem Drittel der Übungszettel, d. h. einem Workload von insgesamt ca. 25h je Gruppenmitglied. Ein empfohlener Zeitplan ist:

Zeitraum	Aktivität
Woche 1-3	Aufgabendokumente ansehen, Literatur lesen/recherchieren, in theoretischen Hintergrund einarbeiten
Woche 3	Experiment planen, Vorbereitung treffen, ggf. erste Probemessungen machen
Woche 3-5	Daten aufnehmen & Schnellauswertung, ggf. neue Daten aufnehmen, etc.
Woche 4-7	Datenanalyse & -visualisierung
Woche 6-8	Poster erstellen
Woche 8	Posterpräsentation
Woche 9-10	Reflexionsportfolio erstellen

11 Wo Sie während der Projektarbeit Unterstützung bekommen:

- Saalübung: direkte Möglichkeit zum Fragenstellen, Workshops, ...
- Anonymes Fragetool: [Link]
- Per E-Mail: [Mail-Adresse]
- Sprechstundentermine: [Link]