

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 2

Anregungen für Unterricht und Lehre

ISBN 3 - 7896 - 0100 - 4

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1991

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.
Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.
Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage
www.solstice.de
werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Rainer Pippig

Ein verblüffendes Experiment mit Glühlampen

Zwischenbericht über ein Phänomen, das mit einfachen schulischen Mitteln dargestellt werden kann

1. EINLEITUNG

Aus fachdidaktischer Sicht erscheint es erstrebenswert, physikalische Zusammenhänge an Objekten zu erläutern, die zum unmittelbaren Erfahrungsbereich eines Schülers gehören. Dabei zählt die Glühlampe in ihren verschiedenen Formen mit Sicherheit zu den am häufigsten eingesetzten Hilfsmitteln. Die Palette reicht vom Einsatz als Licht- und Wärmequelle bis zum Edison-Effekt; auf die U-I-Kennlinie bei der Einführung des elektrischen Widerstands wird wohl kaum ein Physiklehrer verzichten können. Bei der Vorbereitung zur Messung einer solchen Kennlinie mit Hilfe einer Wheatstone-Brücke ergab sich aber eine überraschende Beobachtung.

2. BEOBACHTUNG DES PHÄNOMENS

Zuerst wurde durch Regelung am Potentiometer der Ausschlag des Meßgeräts (Vollausschlag 1mA) genau auf Null gestellt. Die leuchtende Glühbirne (12V/15W), die an zwei längeren Experimentierkabeln angeschlossen war, wurde zufälligerweise etwas ruckartig bewegt - und das Meßgerät zeigte einen kurzen Ausschlag!

Handelte es sich um ein Kontaktproblem? Die Ausschläge kamen aber eindeutig von der Bewegung der Glühlampe, zumal eine andere Glühlampe denselben Effekt zeigte. Also mußte sich der Widerstand und damit die Temperatur des Glühfadens verändert haben. Kühlte der "Fahrtwind" die Lampen oder sorgte etwa ein unbekanntes Magnetfeld für diesen rätselhaften Ausschlag? Da aber das Meßgerät sich nicht regte, als die Glühlampe in kaltes Wasser getaucht oder ein starker Hufeisenmagnet in ihre Nähe gebracht wurde, blieb eigentlich nur eine Erklärung:

Die Kühlung kann nur im Inneren der Glühlampe bewirkt werden, d.h. bei einer Beschleunigung des Lampenkörpers muß das Füllgas durch seine Trägheit die Temperatur des Glühdrahts unmittelbar beeinflussen!

Für eine genauere Untersuchung verwendete ich anfangs einen t-x-Schreiber. Da es mir aber weniger auf die Aufzeichnung als auf schnelle und genaue Beobachtung ankam, wechselte ich auf ein Computer-Programm ("Computer-Oszilloskop", [1]), das über ein Interface die Meßdaten aufzeichnete und graphisch darstellte. Wegen des hohen Innenwiderstands von 100k Ω bleibt der Strom durch das Interface vernachlässigbar klein. Als nächster Schritt erfolgte die

Beschaffung von Lampen verschiedener Leistung und Versorgungsspannung, verschiedenen Drucks und mit verschiedenen Füllgasen (Halogene, Edelgase) sowie mit Glühdrähten und Glühwendeln.

Um nicht jedesmal einen Vergleichswiderstand gleicher Größenordnung wie der der Glühlampe suchen zu müssen, wurde einfach eine zweite Glühlampe gleicher Bauart gewählt, so daß die Nulleinstellung durch das Potentiometer bei einem Lampenwechsel schnell vorgenommen werden konnte (s. Bild 1). Die Glühlampe L wird bewegt, die Vergleichslampe V ruht.

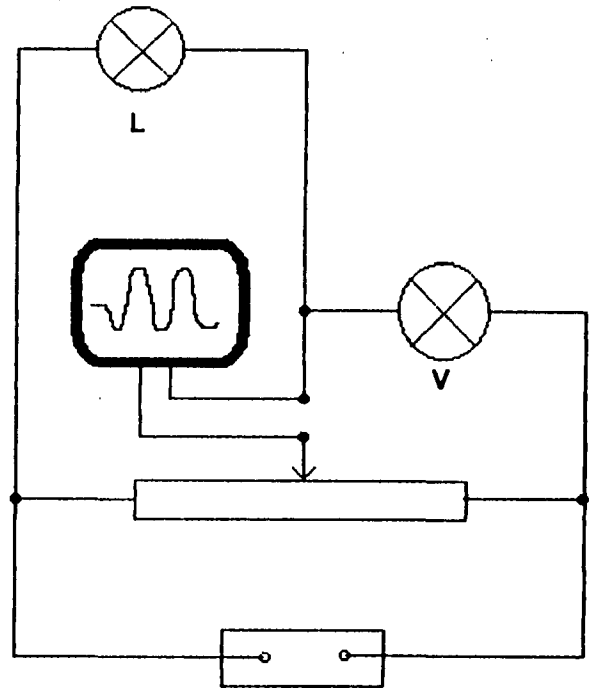


Bild 1

3. EXPERIMENTE

Um den beobachteten Effekt genauer zu untersuchen, wurden zwei Gruppen von Versuchen durchgeführt.

In der ersten Gruppe sollten die Auswirkungen der Konvektion auf die Glühwendel bei ruhender Lampe (in Abhängigkeit von den Parametern angelegte Spannung, Nennleistung, Druck und Füllmaterial) beobachtet werden, da Temperatur- und damit Widerstandsunterschiede zu erwarten waren. Die zweite Gruppe war Beobachtungen der beschleunigten Lampe gewidmet. Für diesen Zwischenbericht wurden die graphischen Darstellungen von Experimenten mit einer Kleinlampe vom Typ Osram 7528 (12V/5W) ausgewählt. Zur Demonstration genügt ein Meßgerät mit 1 mA Vollausschlag, zur Auswertung eignet sich statt des Computerprogramms auch ein t-x-Schreiber.

3.1 Ruhende Lampe

Für dieses Experiment wurde das Lampengehäuse waagrecht eingespannt und dann, beginnend mit der waagrechten Lage der Glühwendel, um 90° mehrmals um die Längsachse hin und zurück gedreht. Bild 2 zeigt die Spannung zwischen den Meßpunkten der Wheatstone-Brücke in Abhängigkeit von der Zeit. Höhere Temperatur bedeutet Ausschlag nach oben. Die Lampe braucht dabei nicht zu leuchten; eine Spannung von wenigen Volt genügt, um den gewünschten Effekt zu erzeugen.

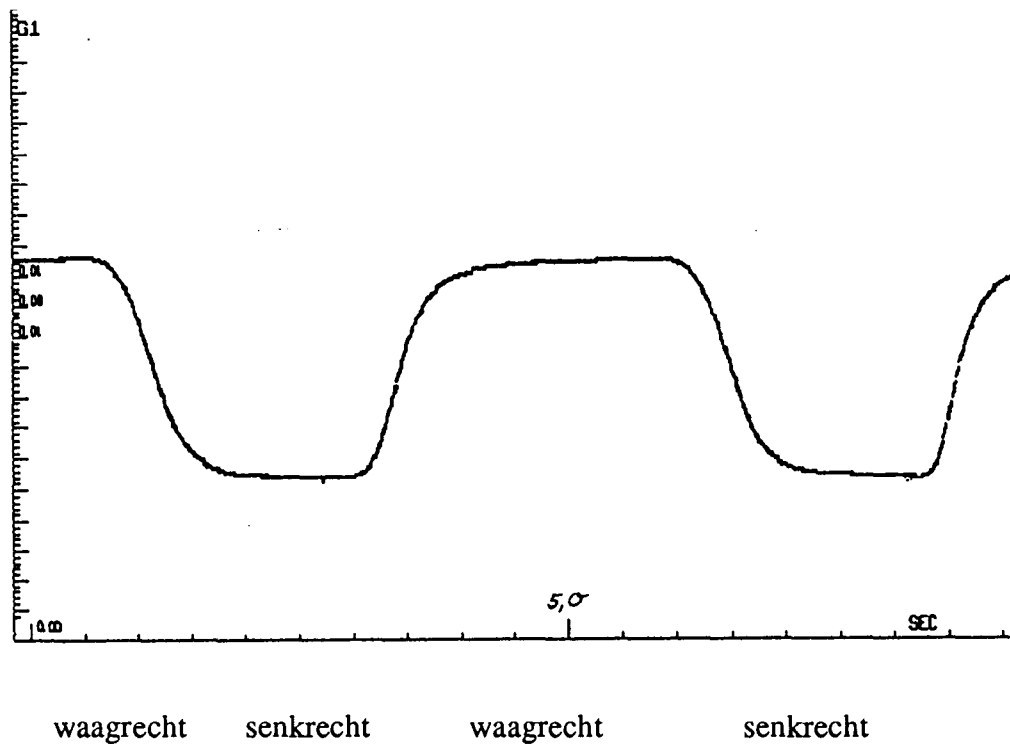


Bild 2

Das Experiment zeigt, daß die Konvektion der Füllgase (hier Ar/N₂) bei senkrecht stehender Glühwendel für eine stärkere Kühlung als in waagrecht Lage sorgt. Es ist zu erkennen, daß der jeweils stationäre Wert sich asymptotisch einstellt, wobei sich für die Ankling- bzw. Abklingzeit etwa 0,7s ergibt.

3.2 Beschleunigte Lampe

Die zu untersuchende Glühlampe wurde an einem Stangenpendel angebracht, das in waagrecht Lage gestartet wurde. Die Länge zwischen Aufhängepunkt und Glühwendel betrug 47cm. Die Lampe wurde so befestigt, daß die Glühwendel senkrecht zur Pendelrichtung ausgerichtet blieb. Ein an der Pendelstange angebrachtes Potentiometer zeichnete die Pendelbewegung auf (untere Sinuskurve im Bild 3). Die obere Kurve zeigt über die Temperaturänderung die Widerstandsänderung der Glühwendel an (Ausschlag nach oben bedeutet wie vorher höhere Temperatur).

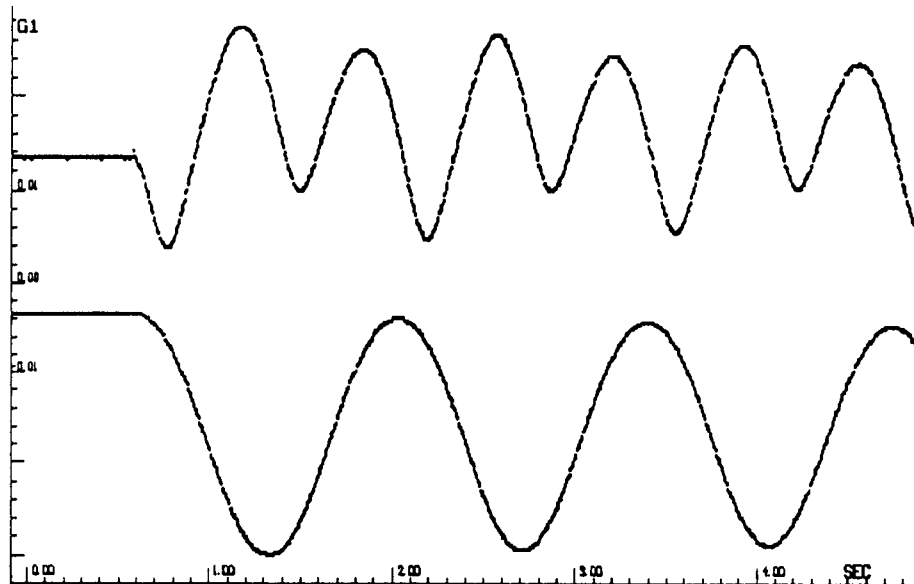


Bild 3

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Widerstandsänderung der pendelnden Glühlampe mit doppelter Frequenz im Vergleich zur Pendelfrequenz stattfindet; die dabei auftretende Phasenverschiebung entspricht der für diese Glühlampe typischen Anklingzeit. Zur Begründung muß man das Verhalten des Füllgases in Betracht ziehen:

Wenn sich das Lampengehäuse zum ersten Mal in Bewegung setzt, so bewegt sich die Glühwendel durch die noch ruhenden bzw. zurückbleibenden Füllgase; sie wird also kurz nach dem Loslassen abgekühlt (Ausschlag nach unten). Da sie dann in einen Bereich kommt, wo sich z.Z. wenig Füllgas befindet, erwärmt sie sich (Ausschlag nach oben), bis das zurückströmende Füllgas für eine neue Kühlung sorgt. Inzwischen ist das Pendel am Umkehrpunkt angekommen, die Glühwendel wird wieder gekühlt und der ganze Vorgang beginnt nach der halben Schwingungsdauer des Pendels von vorne.

Wäre die Glühlampe exakt symmetrisch gebaut, so müßten die Ausschläge nach oben und unten gleich hoch sein. Ursache für diese Abweichungen ist, daß die Glühwendel nicht ganz mittig, d.h. unter dem Aufhängepunkt, angebracht ist.

Besonders leistungsfähig zeigt sich dieses Verfahren am Beispiel von Lampen, deren Gasfüllungen nur durch Beimengungen von Spurengasen im ppm-Bereich voneinander abweichen. Laut Herstellerangabe wäre die Unterscheidung nur durch eine aufwendige Untersuchung unter Zerstörung der Lampen möglich. Das Verfahren nach 3.2 liefert jedoch signifikant andere Meßkurven und damit eine deutliche Unterscheidungsmöglichkeit.

3.3 Anwendungen als Beschleunigungsindikator

3.3.1 Geradlinige Bewegung

Als Anwendung bot sich an, dieses hochempfindliche Verfahren zur Beschleunigungsmessung auszunützen. Dazu wurde eine Kleinlampe vom Typ 7528 mit Glühdraht waagrecht auf den Gleiter einer schräg gestellten Luftkissenfahrbahn montiert. Nach einem Anklingvorgang von 0,5-0,7s nach dem Loslassen ergab sich ein Spannungsanstieg ΔU , der während des konstanten Beschleunigungsvorgangs konstant blieb (s. Bild 4). Dieses Verhalten trat auch bei anderen Beschleunigungen auf. Eine ausführliche Meßreihe zeigte eine Proportionalität im Bereich bis 1m/s^2 zwischen ΔU und der Beschleunigung a . Für die verwendete Lampe ergab sich bei einer angelegten Spannung von 10V ein Proportionalitätsfaktor $\Delta U/a = (10,2+0,4) \cdot 10^{-3} \text{Vs}^2/\text{m}$.

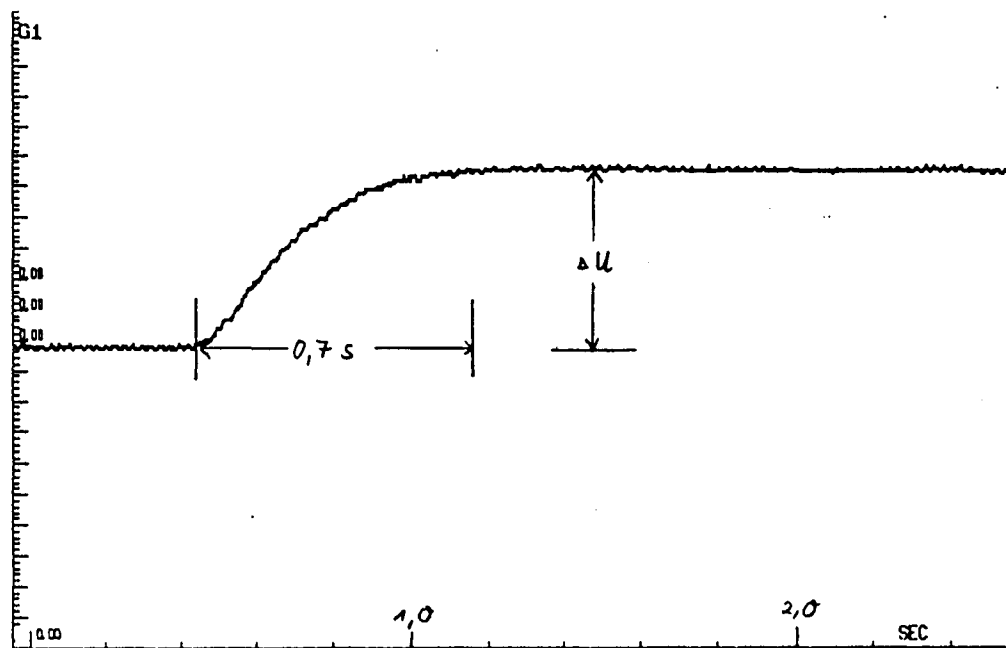


Bild 4

3.3.2 Kreisbewegung

Auch bei einer Kreisbewegung zeigte sich die Leistungsfähigkeit des Verfahrens. Dieselbe Kleinlampe wurde an verschiedenen Stellen einer rotierenden Kreisscheibe so angebracht, daß das Gewinde der Lampe zentral zum Mittelpunkt wies und der Glühfaden senkrecht stand. Eine Meßreihe zeigte die direkte Proportionalität zu v^2/r mit demselben Proportionalitätsfaktor wie oben bei 10V im Bereich bis 4m/s^2 . Aufgrund dieser Meßwerte wird angestrebt, durch Kombination von geeigneten Lampen einen Beschleunigungssensor zu entwickeln.

3.3.3 Kennlinie

Wie aus 3.3.1 und 3.3.2 hervorgeht, ist die Anzeige von ΔU im gemessenen Bereich eine praktisch lineare Funktion von $|a|$. Im Rahmen der untersuchten Beschleunigungen würde eine Kennlinie von ΔU als Funktion der Beschleunigung a für eine Glühlampe schematisch wie in Bild 5 aussehen.

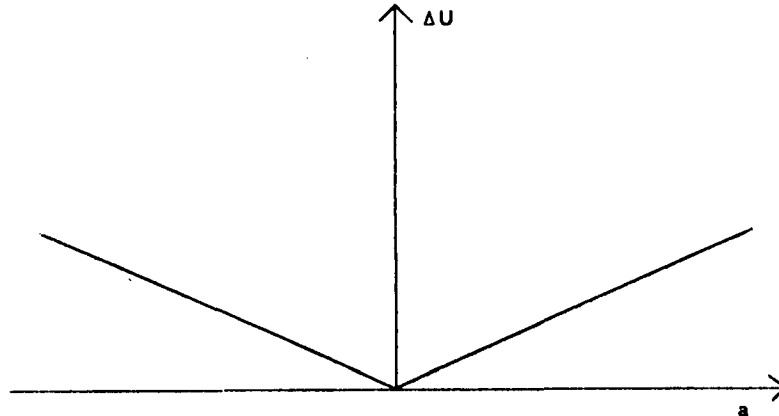


Bild 5

4. ERGEBNISSE

Mit dem beschriebenen Verfahren ist es möglich,

1. die Konvektion im geschlossenen Lampenkörper nachzuweisen
2. das unterschiedliche Konvektionsverhalten eines Füllgases (bei verschiedenen Drücken) oder anderer Füllgase zu demonstrieren
3. Aussagen über die Geometrie von Glühdraht bzw. Glühwendel zu machen
4. ohne Zerstörung der Glühlampe Aussagen über Füllgas bzw. Fülldruck zu erhalten und Unterschiede bei Spurengasen nachzuweisen
5. während einer definierten Bewegung eine IST-Kennlinie aufzunehmen und mit einer SOLL-Kennlinie zur Qualitätskontrolle zu vergleichen
6. einen Beschleunigungssensor zu entwickeln
7. einem Schüler zu zeigen, wie aus einer unerwarteten Beobachtung als typische physikalische Arbeitsweise vertiefende Fragen aufgeworfen werden können.

Die Ergebnisse dieses Zwischenberichts beruhen auf der Untersuchung von sog. Kleinlampen im 12V-Bereich. Ausführliche Experimente mit anderen Lampen (vor allem Halogen-Hochdrucklampen) sind noch geplant. Inzwischen wurde das Verfahren als Patent angemeldet (P 40 34 962.4). Ich danke Herrn Prof. Dr. Luchner für seine wertvolle Hilfe und Unterstützung, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Quelle:

- [1] M. Fröhlich: Dehnungsmeßstreifen, Zulassungsarbeit für das Lehramt an Gymnasien, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Universität München