

Phasenprüfer

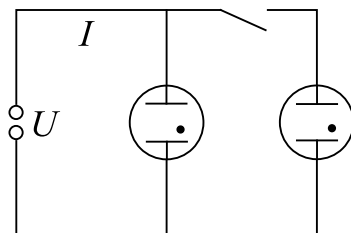
Martin Lieberherr, MNG Rämibühl, martin.lieberherr@mng.ch

1 Einleitung

Gleich am Anfang der Gleichstromlehre zeige ich den Schülerinnen und Schülern, wie elektrische Stromstärke und Spannung zusammenhängen. Wir messen mit Multimetern oder betrachten am Oszilloskop die Strom-Spannung-Charakteristiken von Glühlampen, Glimmlampen, Halbleiter-Gleichrichterioden, Leuchtdioden und beleuchteten Solarzellen. Dieses Vorgehen heisst *exploratives Experimentieren*: möglichst arm an Vorurteilen Zusammenhänge untersuchen. Die Schülerinnen und Schüler lernen so, warum Physik eine Natur- und keine Geisteswissenschaft ist. Die Klassen haben noch keine Konzepte, aus denen sie die Zusammenhänge herleiten könnten, denn keine einzige der Kennlinien ist linear. Sie müssen ein paar Fakten zur Kenntnis nehmen und lernen, damit zu arbeiten. Selbst so einfache Vermutungen wie “je grösser die Spannung, desto grösser der Strom” stellen sich für z.B. dimmbare LED-Lampen mit Vorschaltgerät als falsch heraus.

Abbildung 1: *Conceptual Physics* ?

Das mittlere Lämpchen leuchte. Es wird mit konstant $U = 90\text{ V}$ belegt. Es fliesse ein elektrischer Strom mit Stärke I . Dann wird ein zweites, identisches Lämpchen parallel zum ersten dazugeschaltet. Was passiert mit der Stromstärke? Die Antwort folgt im letzten Absatz des Artikels.



2 Experiment

Was ist ein Phasenprüfer und wozu wird er gebraucht? (Abb. 2-3)



Abbildung 2: (oben) Der Phasenprüfer ist ein Schraubenzieher mit eingebauter Glimmlampe und hohem Schutzwiderstand.

Abbildung 3: (rechts) Die Klinge des Schraubendrehers wird in eine Buchse der Steckdose gesteckt. Der Kontakt auf der anderen Seite des Phasenprüfers wird mit einem Finger über den Körper geerdet. Ist die Buchse mit einem Polleiter (“Phase”) verbunden, so fließt ein kleiner Strom durch den Phasenprüfer zur Erde. Dieser Strom lässt eine Glimmlampe im Griff des Schraubenziehers orange aufleuchten.



Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Messungen an einem solchen Schraubenzieher. Es wurden ein geregeltes

Gleichspannung-Netzgerät sowie zwei digitale Multimeter verwendet. Die Messschaltungen sind ebenfalls angegeben. Ich hatte zuerst die ungünstige Schaltung erwischt ☹ und musste die Messung wiederholen.

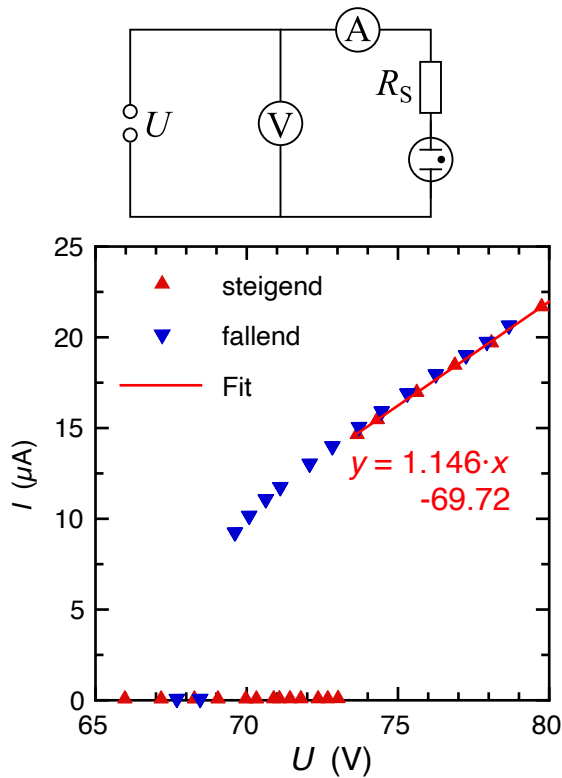


Abbildung 4: Strom-Spannung Charakteristik eines Phasenprüfers mit dazu gehörender Messschaltung. Das Voltmeter ist parallel zur regulierbaren Spannungsquelle geschaltet. Für die steigenden Werte der gezündeten Lampe wurde eine Ausgleichsgerade berechnet.

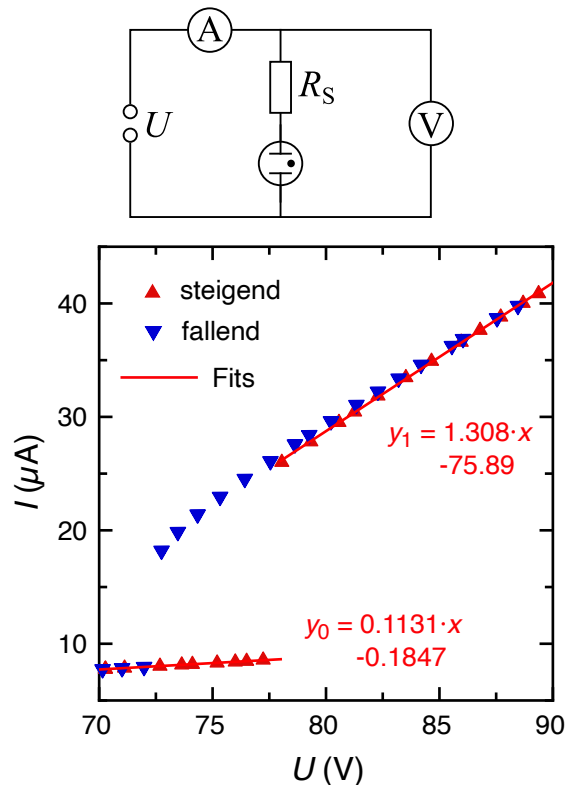


Abbildung 5: Strom-Spannung Charakteristik eines Phasenprüfers mit Messschaltung. Das Voltmeter ist parallel zum Phasenprüfer geschaltet. Für die steigenden Werte wurden zwei Ausgleichsgeraden berechnet. (22. 11. 22, Lie)

Die Messungen in Abb. 4 und 5 zeigen Hysterese, d.h. die Stromstärke hängt von der Vorgeschichte ab. Die Glimmlampe zündet bei ca. 75 V, wenn die Spannung ansteigt, und sie löscht bei ca. 70 V, wenn die Spannung sinkt. Die Stromstärke ist also keine Funktion der Spannung, denn zwischen 70 und 75 V kann der Strom zwei Werte annehmen. Die Stromstärke ist auch keine kontinuierliche Relation: Bei der Zündspannung springt der Strom plötzlich auf einen viel grösseren Wert.

Die Messung in Abb. 4 wurde offenbar korrekt erfasst. Die Steigung der Ausgleichsgeraden entspricht dem Kehrwert des Schutzwiderstands: $R_S = (1.146 \mu\text{A/V})^{-1} = 873 \text{ k}\Omega \approx 1 \text{ M}\Omega$

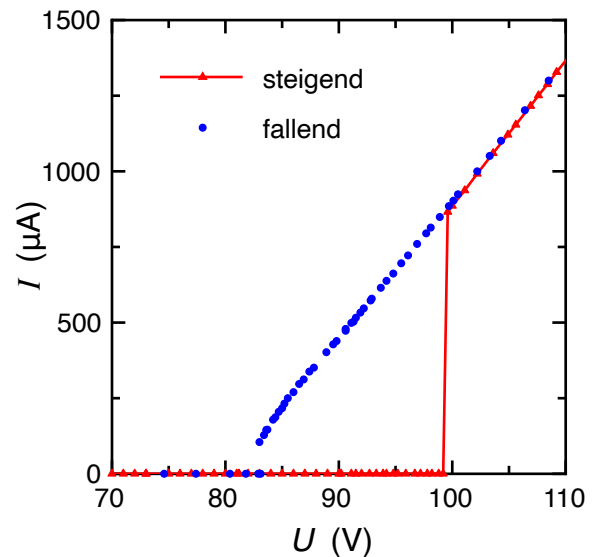
Die Schaltung in Abb. 5 ist hier ungünstig, denn das Voltmeter hat einen grossen, aber endlichen Widerstand R_V . Im ungezündeten Zustand ergibt sich ein Voltmeter-Innenwiderstand $R_V = (0.1131 \mu\text{A/V})^{-1} = 8.84 \text{ M}\Omega$. Die direkte Messung hatte $9.98 \text{ M}\Omega$ ergeben, also die gleiche Grössenordnung. Dies würde auf einen parallelen Lampenwiderstand von $78 \text{ M}\Omega$ im ungezündeten Zustand hindeuten. Im gezündeten Zustand ergibt der Fit einen differentiellen Widerstand von $(1.308 \mu\text{A/V})^{-1} = 765 \text{ k}\Omega$. Berücksichtigen wir das parallel geschaltete Voltmeter, bleibt noch ein Schutzwiderstand von $R_S = (1.308 \mu\text{A/V} - 0.1131 \mu\text{A/V})^{-1} = 837 \text{ k}\Omega$. Dies ist von ähnlicher Grösse wie der in Abb. 4 gemessene Wert. Die Rechnungen liefern lediglich Schätzwerte, denn ich habe den Unterschied zwischen absolutem und differentiellem Widerstandswert ignoriert.

3 Diskussion

Die $I(U)$ -Kennlinie eines Phasenprüfers entspricht jener einer Glimmlampe. Abbildung 6 zeigt die Charakteristik für eine alte Glimmlampe aus unserer Sammlung.

Abbildung 6: Strom-Spannung Charakteristik einer Glimmlampe

Die Glimmlampe wurde mit Gleichspannung aus einem geregelten Netzgerät belegt. Stromstärke und Spannung wurden mit digitalen Multimetern gemessen. Zwischen Zündspannung (ca. 99.5 V) und Löschspannung (ca. 83.0 V) hängt die elektrische Stromstärke davon ab, ob die Lampe bereits gezündet ist. Bei der gezündeten Glimmlampe variiert die Stromänderung proportional zur Spannungsänderung: $\Delta I \sim \Delta U$. Die Werte bei steigender Spannung sind mit einer Linie verbunden. Messwerte bei fallender Spannung sind als blaue Kreise eingezeichnet.



Jetzt können wir auch die Frage in Abbildung 1 beantworten, falls die Glimmlampen die Charakteristik von Abb. 6 haben. Die erste Glimmlampe ist gezündet und die Spannung liegt oberhalb der Löschspannung. Wird die dunkle parallel zur leuchtenden Glimmlampe geschaltet, so passiert gar nichts, denn 90 V liegt noch unterhalb der Zündspannung. Die dunkle wird nicht zünden und es wird kein Strom durch sie fließen.

Ohne Kenntnis der Lampencharakteristik ist es nicht möglich, die Frage korrekt zu beantworten.

Ich sehe immer wieder “concept questions” mit Glühlampen. Leider gehört es nicht zur wissenschaftlichen Allgemeinbildung von Physik-Studierenden, die Charakteristik einer Glühlampe gemessen zu haben. Viele wissen deshalb nicht, dass eine Glühlampe das ohmsche Gesetz verletzt. Dasselbe gilt für die Charakteristik einer LED-Lampe, die äusserlich ja ähnlich aussieht. Das eingebaute, elektronische Vorschaltgerät reagiert zusammen mit der LED hochgradig nichtlinear auf die angelegte Spannung. Es gibt keine grundlegenden Konzepte, aus denen wir das Verhalten bestimmen könnten, ausser jenem, dass Physik eine experimentelle Naturwissenschaft ist.

Abbildung 7: Ein kleiner brain teaser zum Schluss:

Gibt es ein elektrisches Element, das die Stromstärke I vermindert, wenn es parallel zum Widerstand geschaltet wird?

