

Protokoll zum Versuch: OHM's Weg zum Widerstand

Heino Hildebrandt, Lars Hoegen, Arne Winterboer

14. Januar 2005

1 Einleitung

Das nach GEORG SIMON OHM benannte Gesetz zum elektrischen Widerstand $R = \frac{U}{I}$ wird in der Schule meist über die Untersuchung der durch Messung ermittelten Größen Spannung und Stromstärke für verschiedenartige Leiter hergeleitet. Es ist eine der zentralen Formulierungen der Elektrotechnik.

OHM selber hat dieses Gesetz nicht in dieser Art formuliert. Zu seiner Zeit war Elektrizität als physikalisches Phänomen noch relativ unerforscht: ALLESSANDRO VOLTA hatte zu Beginn des 19. Jahrhunderts mit seiner Volta'schen Säule die erste nicht auf statischer Elektrizität beruhende Stromquelle „erfunden“ und damit eine Diskussion über die Natur dieser neuen Erscheinung ausgelöst.

Für einige Phänomene, die an der Volta'schen Säule zu beobachten waren, gab es um 1825 noch keine befriedigende Erklärung. So war bei Reihenschaltung mehrerer Säulen eine stärkere physiologische Wirkung zu spüren als bei Parallelschaltung derselben. Auch Leucht- bzw. Glüheffekte, die sich bei Reihenschaltung verstärkten, bei Parallelschaltung jedoch nicht, oder chemische Wirkungen konnten nicht ausreichend erklärt werden.¹ Aus heutiger Sicht lassen sich diese hinreichend mit dem elektrischen Widerstand begründen. OHM lieferte, durch die von CHARLES AUGUSTIN COULOMB an statischer Elektrizität durchgeführten Untersuchungen motiviert, im Jahr 1825 eine theoretische Begründung [2] für diese Phänomene. Ein Jahr später veröffentlicht er dann eine weiterführende Arbeit [3], auf der das Ohmsche Gesetz in seiner heute bekannten Form basiert.

OHM untersuchte dabei aus heutiger Sicht die Frage, ob ein Leiter oberhalb einer Grenzlänge keinen Strom mehr leitet. Er machte sich als Messprinzip die magnetische Kraftwirkung eines stromdurchflossenen Leiters zunutze und untersuchte, wie sich diese ändert, wenn man in einen Stromkreis Drähte verschiedener Längen (und damit aus heutiger Sicht verschiedener Widerstände) in einen Stromkreis einschaltet. Er vermutete einen logarithmischen Zusammenhang zwischen Leiterlänge x und Kraftverlust v mit einer experimentell bestimmten Konstante m dar:

$$v = m \log(1 + x) \tag{1}$$

In diesem Versuch wollen wir anhand des Originalversuchs die Messungen und Herleitungen OHM's nachvollziehen.

¹vgl. [1, Abschnitt I.B]

2 Theorie und Versuchsaufbau

In Anwendung des Prinzips der Drehwaage, wie sie schon von COULOMB oder CAVENDISH zur Untersuchung der statischen Elektrizität bzw. der Gravitationswechselwirkung verwendet wurde, konstruierte OHM einen Aufbau, wie er in Abbildung 1 dargestellt ist.

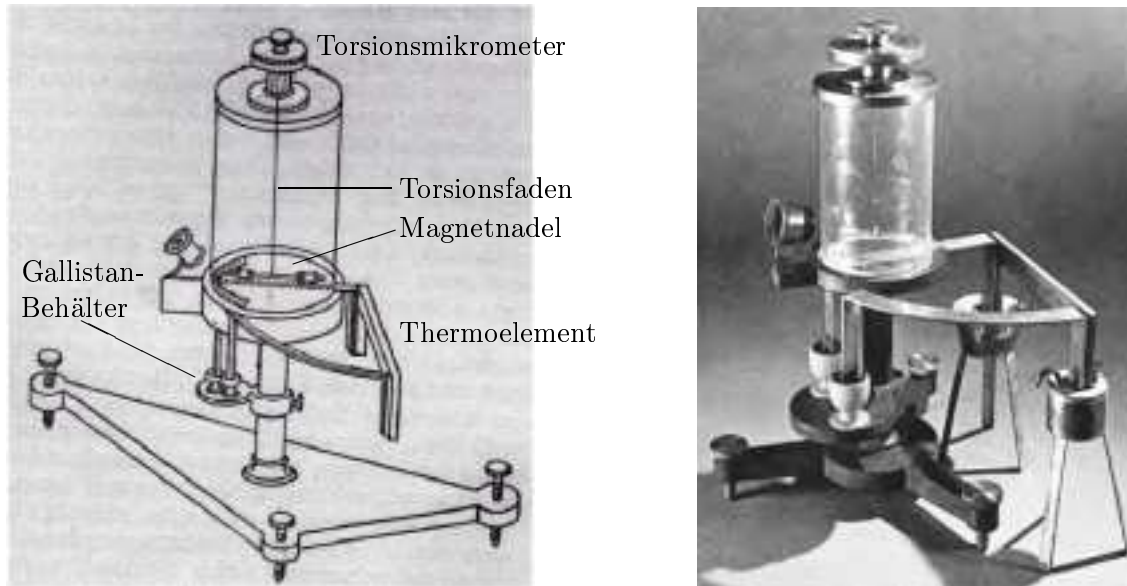


Abbildung 1: Die OHM'sche Drehwaage

2.1 Ein Thermoelement als Stromquelle

Als Stromquelle dient ein Thermoelement. THOMAS JOHANN SEEBECK hatte im Jahr von OHM's erster Arbeit einen Effekt festgestellt, der als Thermoelektrizität oder Seebeckeffekt bekannt ist. Bringt man zwei verschiedene metallische Leiter in Kontakt und erwärmt die Kontaktstelle, so entsteht zwischen den Leitern eine Spannung (Thermospannung), bei geschlossenem Stromkreis fließt ein Strom (Thermostrom). Spannung und Stromstärke sind von dabei von der Temperatur abhängig.

Diesen Effekt nutzt das Thermoelement aus: An die beiden Enden einer Π -förmigen Wismutbrücke sind Kupferleiter derart angelegt, dass eine möglichst große Kontaktfläche entsteht. Ein Ende der Brücke befindet sich in einem Behälter, in dem Eis schmilzt; das andere Ende befindet sich in einem Behälter, in dem permanent Wasser mittels eines Ethanolbrenners verdampft wird. Da bei den Phasenübergängen von Wasser große Energiemengen in die Änderung der Enthalpie fließen, bleibt die Temperatur von schmelzendem Eis und siedendem Wasser weitgehend konstant. Die zugeführte Wärmeenergie wird in Schmelzwärme bzw. Verdampfungswärme umgesetzt. Die Thermospannung ist direkt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen den Enden der Wismutbrücke, somit haben wir mit dem Thermoelement eine Spannungsquelle, die reproduzierbar konstante Spannungen erzeugt.

Im von uns verwendeten Aufbau waren die Enden der Wismutbrücke in zwei Gefäße eingebettet, in die Eis bzw. kochendes Wasser eingefüllt werden konnte, ohne dass die Enden Kontakt zum Wasser hatten, denn dieses hätte infolge seiner Leitfähigkeit die Thermospan-

nung verringert. Um einen guten Wärmetransport zu gewährleisten, wurde zwischen Gefäßinnenwand und den Enden der Brücke eine Schicht Bleikügelchen eingebracht. Damit diese das Thermoelement nicht verändern, sind sie durch einen elektrisch nicht leitenden Lack von Wismut und Kupfer getrennt.

OHM verwendete diese zu seiner Zeit neue Methode, da er festgestellt hatte, dass bei einem Trogapparat, einer bauartlichen Abwandlung der Volta'sche Säule, ein „Wogen der Kraft“ festzustellen war.² Gemeint war damit wohl, dass die Spannung, die ein Trogapparat liefert, vom Widerstand der angeschlossenen Komponenten beeinflusst wird. Damit kann der Trogapparat nicht als reproduzierbare Spannungsquelle dienen. Er untersuchte das Thermoelement mittels der Drehwaage (siehe 2.3) sehr genau auf derartige Schwankungen und fand darin die für ihn ideale Spannungsquelle.

2.2 Der geschlossene Stromkreis

Am Kupferblech der auf Schmelztemperatur gehaltenen Kontaktstelle ist ein Kupferdraht angebracht, dessen Magnetfeld das Messprinzip der Drehwaage darstellt. Das andere Ende des Kupferdrahtes ist wiederum mit einem Kupferblech verbunden. Das Kupferblech der auf Siedetemperatur gehaltenen Kontaktstelle ist als Bogen geformt und führt zum Kupferblech an der dem Thermoelement abgewandten Seite der Drehwaage.

Zwischen die beiden so hergestellten Anschlüsse des thermoelektrischen Stromkreises werden die zu vermessenden Drähte eingeschaltet. Um einen guten Kontakt zwischen den Anschlüssen und den Messdrähten zu gewährleisten, tauchen diese in zwei Gefäße, die im Originalversuch mit Quecksilber gefüllt waren. Da dieses toxisch wirkt, wurde es bei unserem Versuch durch Gallistan, einer nach gegenwärtigem Kenntnisstand biologisch unbedenklichen metallischen Legierung aus Gallium, Indium und Zinn, ersetzt. Quecksilber und Gallistan sind bei Raumtemperatur flüssig und umschließen die Leiterenden somit ideal. Da beides metallische Leiter sind, ist ein zudem ein sehr gutes Leitungsverhalten zu erwarten.

2.3 Die Drehwaage

Um nun ein Maß für den Kraftverlust zu haben, den die verschiedenen langen und dicken Drähte provozieren, kombinierte OHM die von COULOMB sehr gut theoretisch beschriebene Rückstellkraft, die ein Faden beim Verdrillen der drehenden Kraft entgegensetzt, mit den von OERSTEDT 1820 entdeckten magnetischen Wirkungen fließender Ströme.

Eine Magnetnadel hängt frei schwebend an einem ca. 15 cm langen Messingdraht über einer Winkelskala. Das obere Ende des Drahtes ist in einem Torsionsmikrometer befestigt, das es erlaubt, mittels einer in einhundert Teile unterteilten Skala den Faden um ein bestimmbares Maß zu tordieren. Die Nadel pendelt sich bei noch nicht geschlossenem Stromkreis unter dem Einfluss des Erdmagnetfelds in Nord-Süd-Richtung ein. Der gesamte Aufbau wird vor Versuchsbeginn so ausgerichtet, dass die derart eingependelte Nadel genau parallel über dem Kupferdraht der Drehwaage steht. Dabei ist zu beachten, dass der Faden nicht tordiert ist, denn sonst wäre die Magnetnadel durch die Torsionskraft fehlerhaft ausgelenkt.

Die Position der Nadel auf der Winkelskala und die Position der Messmarkierung auf dem Torsionsmikrometer werden als Nullpunkte für die spätere Messung definiert. Um die Position der Nadel genau bestimmen zu können, ist ein Vergrößerungsglas an der Waage angebracht.

²Er griff damit eine Anmerkung von POGGENDORFF auf seine erste Arbeit [2] auf, wie er in seiner zweiten Arbeit [3] darstellt.

Schließt man des Stromkreises durch Eintauchen eines zu messenden Drahtstücks in die Gallistan-Behälter, so fließt durch den Messdraht der Drehwaage ein Strom, der ein Magnetfeld induziert. Dieses lenkt die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage aus. Da die magnetische Kraftwirkung der Stromstärke direkt proportional ist ($H = \frac{I}{2\pi r}$, H magnetische Feldstärke, I Stromstärke im Leiter, r senkrechter Abstand des Bezugspunktes zum Leiter), hat man mit Messung dieser Kraft ein Maß für die Stromstärke.

Die Messung der Kraft erfolgt durch Aufbringen einer Gegenkraft durch Torsion des Messingfadens. Dieser wird solange tordiert, bis die Magnetnadel wieder in die Nulllage zurückkehrt. COULOMB hatte schon nachgewiesen, dass sich die durch die Torsion ergebende Kraft innerhalb eines bestimmten Winkelbereich, in unserem Fall einige 100° Verdrillung, linear proportional zum Verdrillungswinkel ist. Diese Kraft steht bei Nulllage der Magnetnadel mit der vom Strom induzierten magnetischen Kraft im Gleichgewicht. Der Verdrillungswinkel ergibt daher das in diesem Versuch verwendete halb-quantitative Vergleichsmaß für die verschiedenen Stromstärken.³

Dadurch, dass die Magnetnadel immer wieder in die Nulllage zurückgebracht wird, sind die Effekt des Erdmagnetfelds vernachlässigbar. Hätte man einen magnetfeldfreien Raum, so könnte auch die Auslenkung der Magnetnadel direkt als Messgröße herangezogen werden. Da aber das Erdmagnetfeld die Nadel immer wieder um einen kleinen Betrag in Richtung Nulllage zurück zwingt, erhält man im nicht feldfreien Raum auf diese Art und Weise eine Fehlweisung, die Messwerte wären systematisch zu klein. In der Nulllage hat das Erdmagnetfeld keine Kraftwirkung mehr auf die Nadel.

Abschließend bleibt nur noch zu erwähnen, dass die Nadel und der Torsionsdraht in einem Glaszylinder hängen, um Störeinflüsse durch Luftzug zu unterbinden.

3 Versuchsdurchführung

Nach der oben beschriebenen sorgfältigen Ausrichtung des Aufbaus entsprechend dem Erdmagnetfeld haben wir das Thermoelement mit Eis und kochendem Wasser befüllt, den mit Ethanol gefüllten Brenner unter dem Wasserbehälter platziert und vor Messbeginn einige Minuten gewartet, damit sich in der Wismutbrücke ein ausreichend großer thermischer Gradient einstellen konnte.

Unterdessen bestimmten wir den Durchmesser der als Widerstand eingeschalteten Drähte mit einer Mikrometerschraube (Genauigkeit $\pm 0,002$ mm) und deren Länge mit einem Lineal. Da der Draht bei der Längenmessung nicht ganz gerade gebogen war, setzen wir dafür eine große Messunsicherheit von ± 5 mm an. Wie wir nach dem Versuch feststellten, wäre eine Wägung der Drähte aufgrund der geringeren Messungenauigkeit geeigneter gewesen, um dann über die Geometrie und die bekannte Dichte von Kupfer auf die Länge zu schließen. Für Durchmesser und Längen bestimmten wir folgende Werte:

- Durchmesser 1,0 mm
Längen: 4780, 3330 und 2330 mm
- Durchmesser 1,3 mm
Längen: 5170, 3480, 2440 und 1550 mm

³Der Aufbau könnte auch für voll quantitative Messungen verwendet werden, wenn man eine Proportionalitätskonstante einführt, die die Abhängigkeit der Magnetfeldstärke von der Stromstärke und die durch die Torsion aufgebrachte Gegenkraft beinhaltet.

- Durchmesser 2,0 mm
Längen: 4380, 3160, 2190 und 1320 mm

Nach Verstreichen der Aufheizzeit wurde jede Messung wie folgt durchgeführt: Die Drähte wurden nacheinander – beginnend mit dem kleinsten Durchmesser und der jeweils größten Länge – in die Gallistanbehälter eingetaucht. Da Gallistan gegen Luft eine sehr große Oberflächenspannung besitzt, bildet sich dort eine Haut aus, die sich beim Eintauchen um den Kontakt legen und den elektrischen Kontakt beeinträchtigen könnte. Um diesen Fehler zu minimieren, wurde diese Haut vor dem Eintauchen mit einem Stück Draht aufgebrochen, so dass eine frische Oberfläche entsteht.

Die Magnetnadel zeigte daraufhin einen Ausschlag gegen den Uhrzeigersinn (vom Torsionsmikrometer aus gesehen). Dieser nahm mit abnehmender Drahtlänge und wachsendem Drahtdurchmesser zu.

Nach dem Ausschlagen der Magnetnadel brachten wir mit dem Torsionsmikrometer eine gegensinnig orientierte Torsion auf und führten die Nadel damit zurück in die Nulllage. Die dann am Mikrometer abgelesenen Werte für den Torsionswinkel sind in den von Hand geführten Messwerttabellen des Versuches durchgeführt (siehe Anlage).

Wir wiederholten den Versuch insgesamt drei Mal. Die Werte für den Torsionswinkel mit zugehörigem Mittelwert sind in Tabelle 1 verzeichnet. Dabei ist zu beachten, dass das an der Drehwaage angebrachte Torsionsmikrometer eine Unterteilung in 100 Teile hatte. Um von diesen Werten auf den tatsächlichen Torsionswinkel in Grad zu kommen, wurden die Werte mit dem Faktor 3,6 multipliziert.

Durchmesser / mm	Länge / mm	Torsionswinkel			Mittelwert
		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
1,0	4780	43,2°	43,2°	39,6°	42,0°
	3330	54,0°	54,0°	48,6°	52,2°
	2330	63,0°	63,0°	57,6°	61,2°
1,3	5170	57,6°	53,1°	54,0°	54,9°
	3480	68,4°	62,1°	63,0°	64,5°
	2440	77,4°	70,2°	70,2°	72,6°
	1550	81,0°	77,4°	77,4°	78,6°
2,0	4340	75,6°	71,1°	72,0°	72,9°
	3160	82,8°	76,5°	77,4°	78,9°
	2190	84,6°	80,1°	81,0°	81,9°
	1320	93,6°	83,7°	82,8°	86,7°

Tabelle 1: Messwerte des Torsionswinkels an der OHM'schen Drehwaage

4 Versuchsauswertung

Mit Hilfe der Programms ORIGIN wurden die in den Abbildungen 2, 3 und 4 dargestellten Messwertdiagramme erzeugt. Da OHM einen logarithmischen Zusammenhang vermutete, haben wir für die Ordinate logarithmisch unterteilt; man erkennt die dadurch entstehende Linearität der Messkurven.

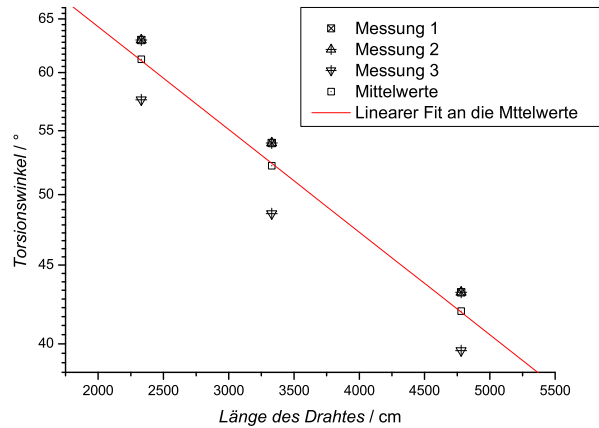


Abbildung 2: Diagramm der Messwerte für den Draht mit 1,0 mm Durchmesser

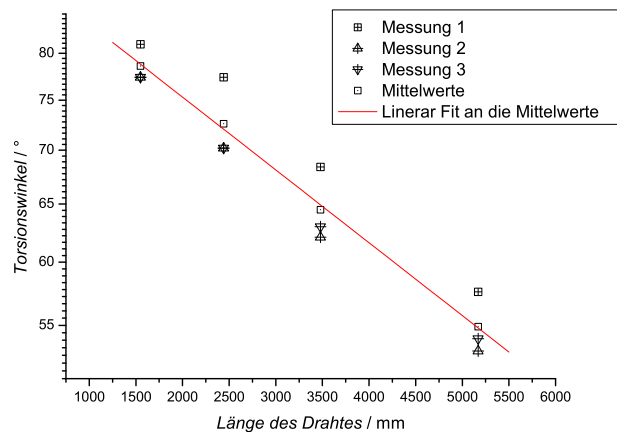


Abbildung 3: Diagramm der Messwerte für den Draht mit 1,3 mm Durchmesser

Die eingezeichnete Ausgleichsgerade wurde mithilfe der Funktion *Linearer Fit an die Messwerte* erstellt. Das Programm ermittelte für alle drei Geraden einen Korrelationskoeffizienten von 0,99, d.h. die Messwerte liegen nahezu ideal linear.

OHM's Beschreibungen deuten darauf hin, dass er sich bewusst war, dass die Drehwaage selbst schon einen elektrischen Innenwiderstand aufwies. Er untersuchte dazu die von ihm als „reducierte Länge“ bezeichnete hypothetische Situation eines zu messenden Leiters der Länge 0 cm. Heutzutage würde man von einer Kurzschlussmessung sprechen. Da der elektrische Widerstand der Drehwaage konstant ist, ist zu erwarten, dass die zu dieser Länge gehörenden abgelesenen Werte (Achsenabschnitt der linearen Regression) bei allen drei Versuchen gleich sind.

Für die eingezeichneten Regressionsgeraden ermittelte ORIGIN als Achsenabschnitt die Torsionswinkel $\phi_{1,0 \text{ mm}} = 77,86^\circ$, $\phi_{1,3 \text{ mm}} = 86,42^\circ$ und $\phi_{2,0 \text{ mm}} = 93,38^\circ$. Die Schwankungen deuten auf systematische Fehler hin. Als mögliche Ursachen kommen Korrosion der

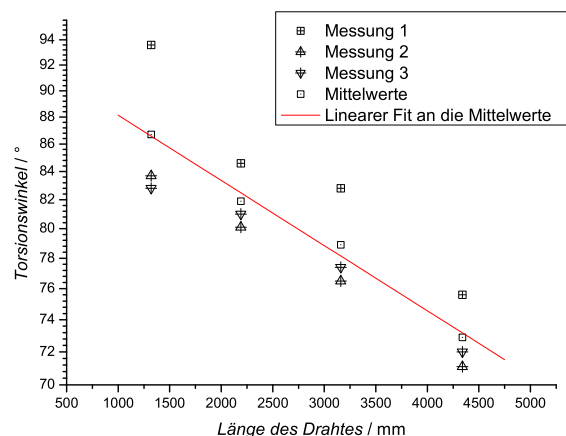


Abbildung 4: Diagramm der Messwerte für den Draht mit 2,0 mm Durchmesser

Kontaktstellen der gemessenen Kupferdrähte oder die oben beschriebenen Oberflächenspannungseffekte beim Gallistan in Frage. Auch die große Unsicherheit bei der Bestimmung der Messdrahtlänge beeinflusst die Regression.

Insgesamt lässt sich aber feststellen, dass der von uns verwendete Nachbau die von OHM beschriebenen Messungen und Ergebnisse sehr gut nachbildet. Da wir nicht genau wissen, welche Qualität von Kupferdraht (Schwankungen des Durchmessers, Reinheitsgrad) er für seine Versuche verwendete, können wir allerdings seine Messungen nicht reproduzieren, um seine Ergebnisse genau zu überprüfen.

5 Didaktische Überlegungen

Die Eigenschaften des elektrischen Stromkreises werden in der Schule in Klasse 8 untersucht. Ein klassischer Verlauf, der sich auch in vielen (Schul-)Lehrbüchern wiederfindet⁴, ist dabei die Untersuchung der Wirkungen elektrischer Ströme. Zur Erklärung wird häufig die Analogie eines Wasserkreislaufs herangezogen.

Ausgehend von Überlegungen zur Durchflussmenge wird dann zunächst die Stromstärke definiert. Sie kann z.B. mit Hilfe der Menge an Knallgas festgelegt werden, die pro Zeiteinheit in einer Zelle erzeugt wird. Doppelte Stromstärke erzeugt dabei in gleicher Zeit die doppelte Gasmenge. Später wird dies zur Definition des Produktes aus Ladungsmenge und Zeit erweitert und die Einheit Ampere wird eingeführt.

Danach wird die elektrische Spannung über die Betrachtung von Arbeitsvorgängen zur Ladungstrennung eingeführt. Spannung wird dabei mit getrennten Ladungen assoziiert. Eine Definition erfolgt dann als Quotient aus Arbeit und Ladungsmenge, als Einheit wird Volt eingeführt.

Auf dieser Grundlage wird dann untersucht, welchen Widerstand Leiter dem Stromfluss entgegensetzen. Auch hier ist die Analogie zum Wasserkreislauf sehr deutlich. Ein klassischer Versuch zum Einstieg ist die Untersuchung der Stromstärken, die eine festgelegte Spannung in

⁴Der hier skizzierte Verlauf basiert auf dem Lehrbuch von Kuhn [4], ist aber auch bei Dorn/Bader [5] oder Metzler [6] in ähnlicher Weise zu finden.

gleichartigen Drähten verschiedener Materialien erzeugt. Dabei wird die Proportionalität des Widerstandes zum Inversen der Stromstärke festgestellt. Der Versuch wird nur derart variiert, dass die Stromstärke konstant gehalten und die Spannung verändert wird. Ergebnis ist die Proportionalität zwischen Spannung und Widerstand. Aus der Kombination der Erkenntnisse ergibt sich das OHM'sche Gesetz mit zugehöriger Einheit.

Die OHM'sche Drehwaage ist auf den ersten Blick in diesem Kontext scheinbar nicht einzubinden. Die physikalischen Grundlagen des Thermoelement und die mathematischen Grundlagen des untersuchten logarithmischen Zusammenhangs sind Stoff der Sekundarstufe II. Vergleicht man aber das Messprinzip der Drehwaage mit einem Drehspulinstrument, so werden deutliche Parallelen sichtbar. Beide Instrumente beruhen auf einem Kräftegleichgewicht zwischen magnetisch induzierter Kraft und von Feder bzw. Torsionsfaden aufgebrachter Gegenkraft. Bei beiden Instrumenten ist der Ausschlag proportional zur Stromstärke.

Das Drehspulinstrument wird als Messgerät für die Stromstärke eingeführt. Die Betrachtung der Funktionsweise erfolgt dabei zunächst rein phänomenologisch: Der fließende Strom erzeugt ein Magnetfeld, welches die Nadel auslenkt. Dieser Auslenkung wirkt die Kraft einer Spiralfeder entgegen. Um den linearen Zusammenhang zwischen Ausschlag und Stromstärke nachzuweisen, wird das Instrument zunächst als Black Box behandelt und mit dem o.g. Prinzip der elektrolytischen Wasserspaltung als Messmethode verglichen. Man misst den Ausschlag des Drehspulinstruments auf einer neutralen Skala, der bei der Erzeugung einer bestimmten Menge Knallgas pro Zeiteinheit entsteht. Nun verdoppelt man die erzeugte Menge bei gleicher Zeit und stellt fest, dass sich der Ausschlag auf dem Messinstrument ebenfalls verdoppelt.

Ähnliche Untersuchungen sind auch mit einer Drehwaage denkbar, wobei die Randbedingungen wegen des verwendeten Dauermagneten etwas schwieriger handhabbar sind. Die Drehwaage ist somit ein Instrument für die Messung der Stromstärke. Mit ihr lassen sich die oben beschriebenen Messungen an Drähten aus verschiedenen Materialien ebenfalls durchführen. Das Thermoelement kann dabei als konstante Spannungsquelle im ersten Versuchsteil verwendet werden, allerdings für die Schülerinnen und Schüler plausible Erklärung des Wirkungsprinzips.⁵ Der zweite Versuchsteil ist prinzipiell ebenfalls mit dem Thermoelement durchführbar, wenn man zwischen Drehwaage und Thermoelement extern einen Widerstand einschaltet, um die Spannung an der Drehwaage zu variieren. Dies wäre allerdings eine Art Tautologie, denn genau diese Wirkung von Widerständen möchte man ja nachweisen. Eine andere Möglichkeit wäre daher die Verwendung einer externen regelbaren Spannungsquelle.

Der Aufbau der OHM'schen Drehwaage lässt sich mit vergleichsweise einfachen Mitteln, die in jeder Physiksammlung zu finden sein dürften, modellhaft nachbauen. Somit kann sie im Unterricht als Alternative zum Drehspulinstrument Verwendung finden. Ein Nachbau des historischen Versuches kann zudem bei der Universität Oldenburg entliehen werden.

5.1 Überlegungen zu einem interdisziplinären Projekt Philosophie – Geschichte – Physik – Arbeitslehre

Untersuchungen an der OHM'schen Drehwaage bieten sich für ein interdisziplinäres Projekt zwischen Philosophie, Geschichte und Physik an; ggf. kann auch noch die Arbeitslehre mit eingebunden werden. Ausgehend von der auch hier zugrunde liegenden Frage, wie OHM eigentlich zu seinem Gesetz kam, sollen dabei die historischen Aspekte der Physik beleuchtet werden.

⁵ Es sei denn, man vermittelt den Schülerinnen und Schülern den Seebeckeffekt zunächst als Naturphänomen, welches sich die Spannungsquelle zu Nutze macht.

Einstieg kann ein kurzer Abriss über die Forschung am Phänomen Elektrizität zwischen 1600 und 1800 sein. Anhand ausgewählter Quellen kann dabei verdeutlicht werden, dass in dieser nur statische Elektrizität untersucht wurde. Das Lernziel dieser Einheit soll sein, bei den Schülerinnen und Schülern ein Bewusstsein dafür zu wecken, welche Probleme bei der Erklärung neuer Phänomene auftauchen können, wenn man (noch) kein tragfähiges Modell hat. Insbesondere der Zwiespalt bei der Frage nach der Natur der Elektrizität ist dabei Gegenstand möglicher wissenschaftstheoretischer Betrachtungen, die in den Bereich der Philosophie fallen.

Weitergehend können im Physikunterricht die Untersuchungen von COULOMB behandelt werden, die OHM nachhaltig beeinflusst haben. Sei können als Begründung für den von OHM gewählten Ansatz betrachtet werden, vgl. [1, Abschnitt II.B]. Das Messprinzip der Torsionswaage kann hierbei ebenfalls betrachtet werden. Lernziel ist hier das Verständnis für deduktive Vorgehensweisen. Die sonst in schulphysikalischen Zusammenhängen übliche Vorgehensweise ist eher induktiv.

Begleitend zu diesen Vorüberlegungen kann im Geschichtsunterricht ein Überblick über den gesicherten Erkenntnisstand der Forschung zu Beginn der 1820er Jahre erstellt werden. Dabei kann ein Hauptaugenmerk auf dem Vergleich der damals verwendeten Sprechweisen und Bezeichnungen mit den aus heutiger Sicht präziseren Formulierungen liegen. Somit wird den Schülerinnen und Schülern vermittelt, dass historische Texte mit einer Übersetzungsmatrix zu entschlüsseln sind.

Abschluss der Einheit soll dann die Durchführung und Auswertung der OHM'schen Versuche in historischer Manier sein. Vielleicht kann am Ende sogar ein selbst verfasster Artikel stehen, der in seinerzeit üblicher Sprache die Ergebnisse zusammenfasst.

Als Anknüpfungspunkt zur Arbeitslehre steht ein Nachbau der OHM'schen Drehwaage offen. Ob dieser nur modellhaft oder historisch präzise sein soll, ist dabei egal. Sicherlich lassen sich die handwerklichen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler durch eine Motivation, wie sie von einem funktionierenden Nachbau ausgeht, sehr gut schulen. Dafür ist sicherlich ein fundiertes Quellenstudium nötig, das wiederum auch im Fach Geschichte angesiedelt werden kann.

Als Zielgruppe eines solchen Projektes sehen wir Schülerinnen und Schüler der zweiten Hälfte des zehnten Jahrgangs oder höher an, dann in dieser Phase der schulischen Laufbahn sind die mathematischen Grundlagen zum Verständnis des OHM'schen Versuches in seiner historischen Dimension gelegt. Auch fordert die philosophische Auseinandersetzung ein hohes Abstraktionsvermögen, welches bei Schülerinnen und Schülern der Oberstufe im allgemeinen ausgeprägter ist.

Literatur

- [1] Dr. Peter Heering et. al. *Zur Genese des Ohmschen Gesetzes*. In: Reader zum Demonstrationspraktikum für alle Lehrämter. Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, Fakultät 5, Fachbereich Physik (Eigenverlag). Oldenburg. 2004. Seiten 223 – 247.
- [2] Georg Simon Ohm. *Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle Contact-Elektricität leiten*. unter anderem veröffentlicht in: Schweigger (Hrsg.). *Journal für Chemie und Physik*, Band 44. 1825. Seiten 110-118.

- [3] Georg Simon Ohm. *Bestimmung eines Gesetzes, nach dem Metalle Contactelektricität leiten, nebst einem Entwurfe zu einer Theorie des Voltaischen Apparates und des Schweigger'schen Multiplikators.*
unter anderem veröffentlicht in: Schweigger (Hrsg.). *Journal für Chemie und Physik*, Band 46. 1826. Seiten 137-166.
- [4] Prof. Dr. Wilfried Kuhn (Hrsg.). *Physik Band 1*. Westermann Schulbuchverlag. Braunschweig. 1992.
- [5] Friedrich Dorn, Franz Bader (Hrsg.). *Physik*. Schroedel, Hannover. 1982.
- [6] Joachim Grehn, Joachim Krause (Hrsg.) *Metzler-Physik Gesamtband*. Schroedel, Hannover. 1992.

Bildquellennachweis

- Abbildung 1, links Abbildung aus *Zur Genese des Ohmschen Gesetzes*, vgl. [1]
Die Abbildung wurde in einer Nachbearbeitung retuschiert.
- Abbildung 1, rechts http://www.a1-electronics.net/General_Interest/Inventions/George_Ohm_July.shtml