

Einführung der Kennlinie von elektrischen Leitern in der Sekundarstufe I

W. Reusch und D. Heuer

1 Einführung

Wenn Eigenschaften elektrischer Leiter in Experimenten im Physikunterricht der Sek. I aufgezeigt werden, z. B. die Proportionalität von Spannung U und Stromstärke I in einem Konstantendraht, so nehmen Schüler durch die beiden Meßinstrumente, die U und I anzeigen, zuerst ein zeitliches Verhalten, also $U(t)$ und $I(t)$, wahr. Dieser Eindruck steht noch mehr im Vordergrund, wenn das zeitliche Verhalten der Anzeigen für U und I ganz unterschiedlich verläuft, wenn z. B. der obige Draht durch eine Glühbirne ersetzt wird. Dann nimmt bei zunehmendem U der Strom I anfänglich schnell zu und später fast gar nicht, während sich dann fast nur noch U ändert. Wertetabellen und handgezeichnete Grafen von $U(I)$ waren bisher der methodisch gängige Weg, die charakteristische Eigenart eines Leiters aufzuzeigen. Nur sehr gelegentlich konnten auch die sehr teuren x-y-Schreiber dafür eingesetzt werden.

Mit zunehmendem Einsatz von Rechnern zum Messen, Darstellen und eventuell auch Analysieren von Versuchsabläufen, werden zu den angebotenen Interfaces auch Schreiberprogramme bzw. Schreiberfunktionen in einem integrierten Softwarepaket angeboten. Solche Programme erlauben dann eine $U(t)$ - und $I(t)$ -Darstellung zu wählen oder eine $U(I)$ - bzw. $I(U)$ -Darstellung. Für einen Übergang von zeitabhängigen Grafen zur Kennliniendarstellung scheint aber eine gleichzeitige Wiedergabe beider Darstellungen für das Verstehen hilfreich. Dann können die Veränderungen in einer Darstellung mit Auswirkungen auf die andere Darstellung simultan während des Versuchsablaufs verglichen werden. Zusätzlich zu diesem methodischen Aspekt gibt es noch einen sachlichen Grund für die gleichzeitige Darstellung von $U(t)$, $I(t)$ und $I(U)$. Bei Kennlinien, die von der Zeit abhängen — der spezifische Widerstand hängt ja im allgemeinen von der Temperatur und damit von der Vorgeschichte ab — ist für eine angemessene Deutung einer aufgenommenen Kennlinie sogar unerlässlich, zu wissen wie U und I zeitlich verlaufen sind. Die im folgenden beschriebene Unterrichtssequenz zeigt, daß beide Gründe, $U(t)$, $I(t)$ und $I(U)$ gemeinsam darzustellen, um sie zu Deutungen heranziehen zu können, durchaus ineinander greifen können.

2 Unterrichtsplanung, Unterrichtssituation

Die vorgestellte Unterrichtseinheit wurde als Doppelstunde für die Physikübung (Schülerversuche) einer 10. Klasse konzipiert. Die Übung findet im 14-tägigen Turnus jeweils mit der halben Klasse statt. Die Übungsgruppe bestand aus 12

Schülerinnen und Schülern, die in Dreiergruppen an 4 Versuchsanordnungen arbeiten.

Neben den Grundkenntnissen zu den elektrischen Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand besaßen die Schüler zu diesem Zeitpunkt bereits Erfahrungen in der punktwweisen, konventionellen Erfassung von Kennlinien (*Ohmscher Widerstand*, *Vakuumdiode*) durch Einzelmessungen.

3 Experimenteller Aufbau

Soll mit dem Rechner die Kennlinie eines Meßobjekts erfaßt werden, so sind zusätzlich zum Interface und zum Programm die gleichen Geräte erforderlich wie bei einer Punkt für Punkt Aufnahme per Hand, nur die Anzeigeneinstrumente für Spannung und Strom erübrigen sich (siehe die Schemadarstellung im Schülerarbeitsblatt). Für den Versuch wurde ein freier Aufbau gewählt, in dem fast ausschließlich übliche Lehrmittel eingesetzt wurden. Es standen typische Meßdrahtanordnungen auf einem Brett mit Anschlußbuchsen zur Verfügung (Drahtlänge jeweils ca. 70 cm). Für den 2. Versuchsteil wurde ein ähnlich langer Eisendraht ($\varnothing = 2\text{ mm}$) auf einen Bleistift aufgewickelt und dann als Luftspule in einen Halter mit Anschlußklemmen eingeklemmt. Um die Stromstärke I in der Drahtanordnung zu bestimmen, wurde an einem Meßwiderstand $R_M = 1\ \Omega$ der Spannungsabfall U_M über das Rechnerinterface erfaßt und der Strom I im Rechnerprogramm als U_M/R_M berechnet. Als Spannungsquelle wurden einstellbare Netzgeräte benutzt (0–8 V), die gut geglättete Ausgangsspannung lieferten.¹⁾ Zum Erfassen der Meßwerte und Darstellung der gewünschten Grafen, wurde das PAKMA [1] eingesetzt. Die beiden Spannungen U und U_M wurden mit dem 4-Kanal-Adapter gemessen. Das erforderliche Kernprogramm war sehr einfach (s. Abb. 1). Nach den Festlegungen zu den Meßvorgaben besteht die Meß- und Wiedergabe-Schleife nur aus dem Meßaufruf, den Meßwertzuweisungen und den punkt-Befehlen zum Zeichnen. Diese stellen mit den beiden ersten Befehlen die Zeitabhängigkeit $U(t)$ und $I(t)$ dar und dem dritten Befehl die Kennlinie $I(U)$.

4 Durchführung

Am Beginn der Unterrichtssequenz, die ca. 25 Minuten dauert, stand ein Unterrichtsgespräch zur kurzen Wiederholung

¹⁾ Eine stabilisierte Spannung ist hier nicht nötig. Zur Not können auch einfache, einstellbare Niederspannungs-Netzgeräte mit Gleichrichter verwendet werden, wenn am Ausgang ein sehr großer Elektrolytkondensator von mindestens 10 mF parallel geschaltet wird.

der elektrischen Größen Spannung, Strom und Widerstand und ihrer konventionellen Messung. Anschließend wurde vom Lehrer das Computermeßsystem vorgestellt, wobei insbesondere die Möglichkeit zur gleichzeitigen Messung mehrerer Gleichspannungen mit dem 4-Kanal-AD-Wandler aufgezeigt wurde.

```

0060 PROC kern
0070 dt:=.25; mt:=60
0080 t:=0; r_mes:=1
0090 INPUT AT 5,5: "Ablage(1;2):"; abl
0100 grafik("d")
0110
0120 u_meter
0130 vorb(abl*2-1)
0140 uni_p: mitt(10)
0150 m_bereich(8,1)
0160 m_bereich(2,2)
0170 s_folg("i",dt)
0180
0190 REPEAT
0200 t:=t+dt
0210 mes_p(2)
0220 u:=mes_wp(1)
0230 i:=mes_wp(2)/r_mes
0240
0250 punkt(1,t,u)
0260 punkt(2,t,i)
0270 punkt(3,u,i)
0280
0290 UNTIL t>mt
0300
0310 ENDPROC kern

```

Abb. 1: Kernprogramm des PAKMA mit dem die Meßkurven aufgenommen wurden (hier Abb.3)

Ausgehend von der konventionellen Meßmethode (Stromkreis mit Spannungsquelle, Meßobjekt, Strom- und Spannungsmeßgerät) sowie von der Möglichkeit des Computersystems, mehrere Spannungen zu messen, wurde die Konzeption der im Schülerversuch benötigten Schaltung erarbeitet (siehe Arbeitsblatt). Dabei wurde auch die nötige Umsetzung der zu untersuchenden Größe Stromstärke mit Hilfe des „kleinen (damit der eigentliche Stromkreis möglichst wenig verändert wird) und konstanten“ Meßwiderstandes in eine zur Stromstärke direkt proportionale Spannung von den Schülern selbst gefunden. Gedankliche Stationen dazu waren: Notwendigkeit der Umsetzung der Stromstärke in eine dazu proportionale Spannung; Kenntnis dieses Zusammenhangs beim ohmschen Widerstand; Reihenschaltung des „Meßwiderstands“ in den zu untersuchenden Stromkreis; Wahl eines möglichst geringen Widerstandswertes zur Minimierung des Einflusses auf die vorgegebene Schaltung. Daran anschließend wurde die gesamte Schaltung von allen Schülern gemeinsam an einem Demonstrationsaufbau erstellt.

Zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit diente die Aufnahme der bekannten $I(U)$ -Kennlinie eines Konstantendrahtes, wobei das obige Computerprogramm als Fertigprogramm benutzt wurde. Weiterhin wurde die Lage der Kennlinie eines doppelt so langen Drahtes (Reihenschaltung von zwei gleichen Drähten) vorhergesagt und dann experimentell überprüft (Abb. 2).

Zum Abschluß der gemeinsamen Besprechung wurde noch das Programm zur gleichzeitigen Aufzeichnung von $U(t)$, $I(t)$ und $I(U)$ vorgeführt. Am Beispiel des Konstantendrahtes ($R = \text{const.}$) erkannten die Schüler die „Proportionalität der $U(t)$ - und $I(t)$ -Kurven“ und folgerten diesen Zusammenhang für alle Leiter mit einer Ursprungsgerade als $I(U)$ -Kennlinie.

5 Schülerversuche an aufgebauten Versuchsanordnungen

Im 2. Teil der Doppelstunde arbeiteten jeweils drei Schüler in einer Gruppe ca. 50 Minuten an einer bereits aufgebauten Versuchsanordnung, die der Demo-Anordnung entsprach.

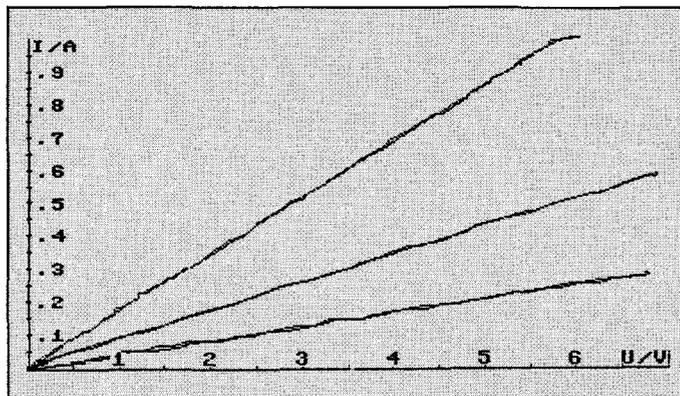


Abb. 2: Kennlinien für Konstantendrahtanordnungen a) mittlerer Graf: 1 Draht; b) unterer Graf: 2 gleiche Drähte in Reihenschaltung; c) oberer Graf: 2 gleiche Drähte in Parallelschaltung

Als Einstieg — hier arbeiteten die Schüler zum ersten Mal eigenständig mit dem Rechner in einer Physik-Übung — wurde der Versuch mit dem Konstantendraht von den Schülern wiederholt. Es wurden sehr unterschiedliche Zeitverläufe von $U(t)$ erprobt — von einmaligem langsamen Anstieg und zurück zu $U = 0$ bis zu wilden Wechsellern. Fazit: Die $I(U)$ -Kennlinie charakterisiert das zu messende Objekt. Als Erweiterung bot sich die Parallelschaltung zweier gleicher Drähte an (s. Abb. 2 oberer Graph). Die Vorhersage fiel den Schülern nicht so leicht wie bei der Reihenschaltung. Für ein eigenes, gezieltes Fragen — Wie verläuft die neue $I(U)$ -Kennlinie? Vergleich der Ströme bei einer festen Spannung: Einzeldraht, dann zwei gleiche Drähte parallel; Verallgemeinerung für andere Spannungen — mußten noch deutliche Anstöße gegeben werden. Typisch war, daß stärker versucht wurde, mit den unanschaulicheren Widerständen zu argumentieren, als direkt mit Strömen und Spannungen. Die sich anschließende Fragestellung: $I(U)$ -Kennlinie eines Eisendrahtes schien für die Schüler anfänglich nichts anderes als eine Wiederholungsaufgabe zu sein. Der unterschiedliche Versuchsausgang bei den verschiedenen Gruppen überraschte sie: Es ergaben sich gekrümmte aber auch fast gerade Kennlinien. Erst der Vergleich der $I(U)$ -Kennlinien mit den $U(t)$ und $I(t)$ Grafen ließ den Grund deutlich werden: Die Kennlinienform hing offensichtlich davon ab, wie schnell die Spannung $U(t)$ verändert wurde: Bei schnellem Wechsel trat fast keine Krümmung bei $I(U)$ auf. Hier erinnerten sich die Schüler an die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands. Jede Schülergruppe nahm dann zum Vergleich noch einmal die Kennlinie bei langsamer Veränderung oder schnellen Änderungen auf. In einer Gruppe konnte der Schüler am Spannungsdrehknopf bei der langsamen Änderung nicht umhin, noch einmal eine schnelle Spannungsänderung einzuschieben, was von den Kameraden sehr moniert wurde, war doch nun die schon gekrümmte Kennlinie durch diesen Ausrutscher verunziert (siehe Abb. 3). Dies war dann aber gerade Anlaß, gemeinsam das zusätzliche Geradenstück („Tangente“) an der Kennlinie zu deuten.

Mit geringen Anstößen ergab sich die neue Aufgabe, die Kennlinie bei etwa konstanter Drahttemperatur (Wasserbad) aufzunehmen. Jetzt wurde mit dem ersten Programm aus dem Demonstrationsteil der $I(U)$ -Kennlinie sowohl für den gekühlten wie den ungekühlten Eisendraht nacheinander in ein Diagramm aufgenommen (siehe Abb. 4).

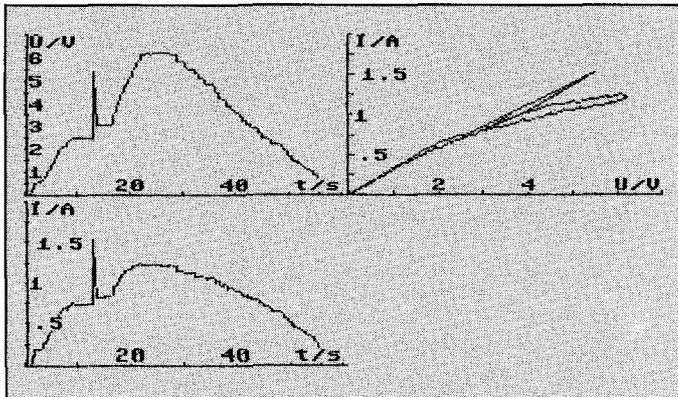


Abb. 3: Meßkurven für einen freihängenden Eisendraht. Wie in Abschnitt 5 beschrieben, wurde kurzzeitig eine höhere Spannung angelegt. Es ergab sich eine Tangente an die sonst gekrümmte Kennlinie.

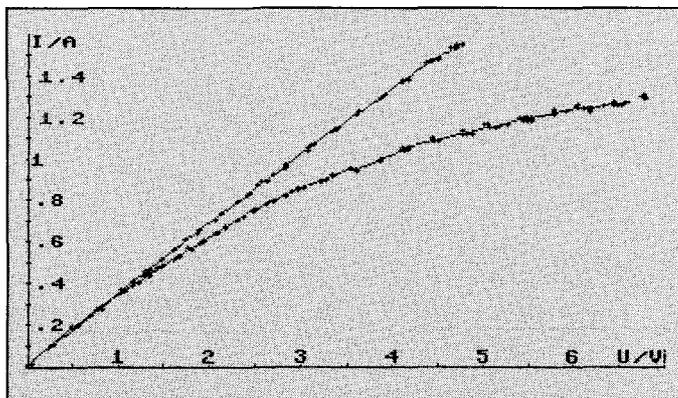


Abb. 4: Kennlinie des Eisendrahtes a) freihängend in Luft; b) gekühlt im Wasserbad (gerade Kennlinie)

6 Unterrichtserfahrungen

Die Verwendung des computerunterstützten Meßsystems mit direkter Umsetzung der Werte in grafische Darstellungen eröffnet eine Reihe neuer Betrachtungsweisen und Experimentiermöglichkeiten, die von den Schülern auch ausgiebig genutzt wurden. Im einzelnen sind dies: Leichte und schnelle Wiederholbarkeit der „Meßreihe“ (evtl. auch bei einer einzelnen Versuchsgruppe) bei falschem Vorgehen. Sinnvolle Variation der Versuchsbedingungen und Aufnahme mehrerer Kennlinien in relativ kurzer Zeit. In diesem Fall wurde die Temperaturabhängigkeit der Kennlinien untersucht, wobei die Darstellungen des zeitlichen Verlaufs von Spannung bzw. Strom Rückschlüsse auf die Temperaturänderung des Drahtes ermöglichten. Die mit diesem System meßbaren „schnellen“ Spannungsänderungen führen zu Kennlinien-Teilen ohne Temperaturänderung, also Tangenten an die Kurve bei langsamen Durchfahren (Erwärmung des Drahtes) der Kennlinie.

Für den Lehrer bedeutet die direkte grafische Darstellung die Möglichkeit, viel schneller einen Überblick über das Vorgehen und sinnvolle Arbeiten der einzelnen Schülergruppen

zu gewinnen als bei der Punkt für Punkt Aufnahme einer Meßkurve. Dadurch stand wesentlich mehr Zeit für individuelle Gespräche mit den einzelnen Gruppen zur Verfügung.

7 Zusammenfassung

Schülerversuche mit Rechnern sind in der vorgestellten Form durchführbar, wobei eine möglichst geringe Aufbauzeit für die Rechneranordnungen zu fordern ist. Dazu sind feste oder zumindest fahrbare, fertige Rechneranordnungen für einen alltäglichen Unterrichtseinsatz unerlässlich. Schüler haben mit dem Umgang des eingesetzten Systems (PAKMA), dessen Benutzerführung am Bildschirm grafisch symbolisiert wird und vom Schüler durch wenige Tastendrucke zu steuern ist, keine Probleme. Die erweiterten Meß- und Experimentiermöglichkeiten eröffnen neue, individuelle Lernchancen für den einzelnen Schüler, nämlich mehr eigene Erfahrungen zu machen und mehr eigene Lösungsversuche zu erproben.

Der Überblick des Lehrers über die Versuchsergebnisse der Schülergruppen, die sich am Bildschirm dokumentieren, erlaubt dem Lehrer die Schüleraktivitäten schneller als sonst angemessen einzuschätzen, so daß wesentlich mehr Zeit für individuelle Gespräche zur Verfügung steht.

Zum Arbeitsblatt: Der Text für die Aufgabe, die vom Schüler einzutragen ist, könnte etwa lauten: Der Zusammenhang zwischen Spannung U und Stromstärke I an einem Eisendraht ist zu messen. a) frei aufgehängt; b) im Wasserbad eingetaucht

Literatur

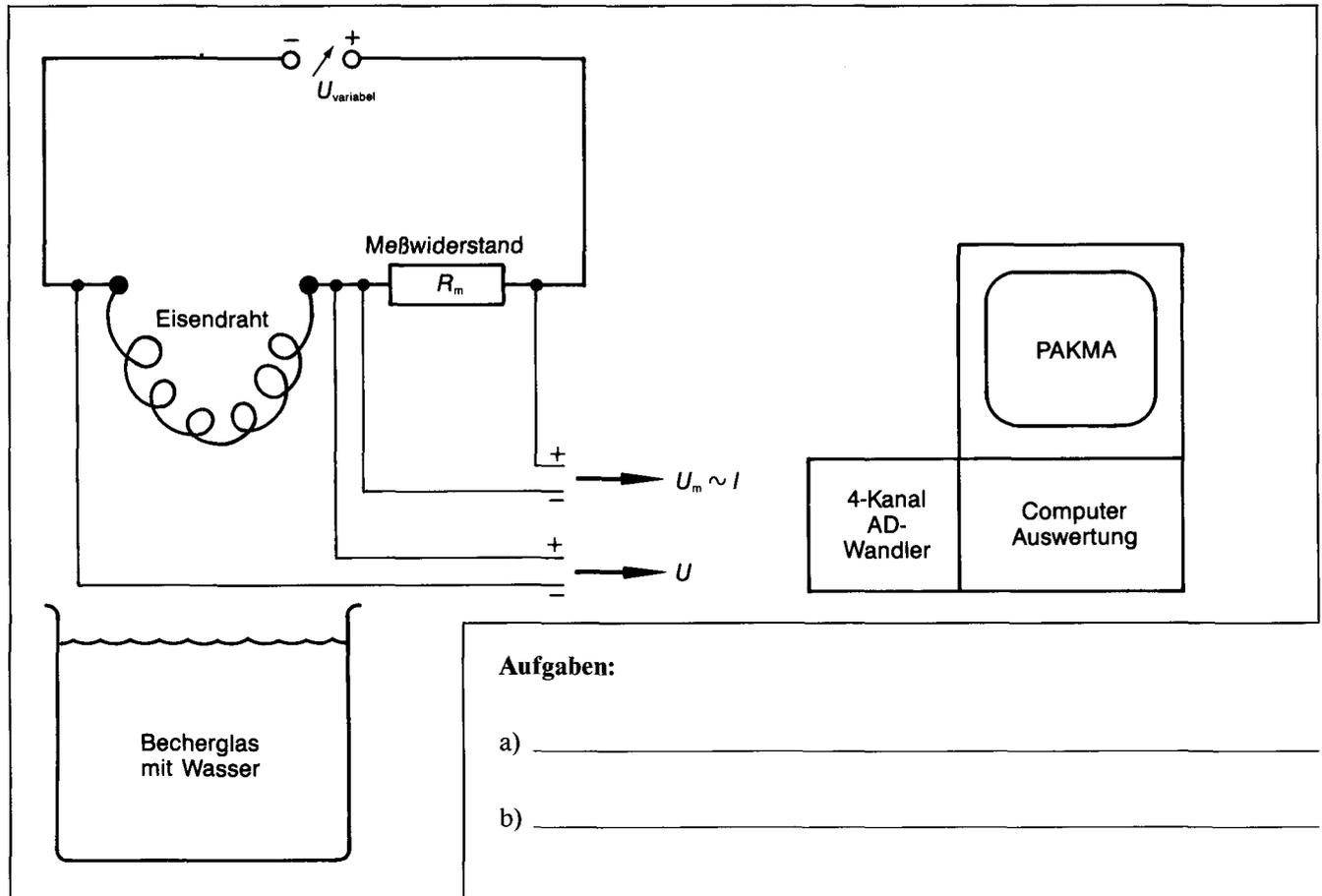
[1] D. Heuer: Serie: Effizientes Experimentieren und Analysieren durch universelle Programmumgebung PAKMA Teil 1. PdN-Ph. 38, Heft 7, Jg. 1989 bis Teil 5 PdN-Ph. 39, Heft 3, Jg. 1990

Anschrift der Verfasser:

Wolfgang Reusch und Prof. Dr. Dieter Heuer, Physikalisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 8700 Würzburg

Arbeitsblatt: Schülerversuche „Kennlinien eines Eisendrahtes“

Versuchsaufbau:



Hinweis: Die Stromstärke I ist proportional zur Spannung U_m am Meßwiderstand!

Ergebnisse:

