

Das belastete Potentiometer –

Ein Beispiel für Abschätzungen

D. Heuer und W. Reusch

1 Einführung, Zielsetzung

Wenn das Ohmsche Gesetz behandelt wird, gehört das unbelastete Potentiometer zur standardmäßigen Anwendung. Auf die Idealisierung, die dabei für den normalen Anwendungsfall gemacht wird, wird dann meist nur kurz hingewiesen. Wie der wirkliche Spannungsverlauf bei einem linearen Potentiometer in Abhängigkeit vom Abgriff aussieht, können Schüler durch Anwendungen der Kenntnisse über Parallel- und Reihenschaltung zwar im Prinzip berechnen, aber die Interpretation der sich ergebenden Formel würde eine anspruchsvolle Aufgabe für eine Kurvendiskussion in der Mathematik sein und kann mehr physikalisch wichtige Grundvorstellungen über verzweigte Stromkreise stärken. Statt dieses deduktiven Weges bietet es sich hier an, „Kennlinien“ eines Potentiometers bei unterschiedlicher Belastung aufzunehmen, diese zu vergleichen und zu interpretieren. Um eine schnelle Übersicht zu gewinnen, kommt hier nur eine automatische Aufnahme der Grafen in Frage. Im Prinzip ist das mit einem x - y -Schreiber möglich, heute aber mit einem Rechner sehr viel einfacher ausführbar. Bei der Interpretation der Grafen zeigt sich — besonders wenn die auftretenden Teilströme mit gemessen und dargestellt werden — daß sich für typische Teilbereiche qualitative Abschätzungen anbieten, die aus Grundkenntnissen über Reihe bzw. Parallelschaltungen anschaulich begründbar sind.

2 Unterrichtsplanung, Unterrichtssituation

Neben den elektrischen Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand kennen die Schüler das *Ohmsche* Gesetz und sie besitzen Kenntnisse über Stromverzweigung, Spannungsteilung, Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen, spezifischen Widerstand und Widerstand von Drähten. Zuletzt wurde die Spannungsteilung an einem unbelasteten Potentiometer (bzw. gespannter Konstantendraht) in Abhängigkeit von der Abgriffslänge x konventionell gemessen und grafisch als $U_{ab}(x)$ dargestellt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde der Rechner in dieser Klasse also noch nicht benutzt.

3 Experimenteller Aufbau

Um die Spannung U_{ab} am Abgriff des Potentiometers mit einem Rechner zu messen und eventuell zusätzlich die Ströme durch das Potentiometer und den Belastungswiderstand R , sind mehrkanalige Spannungsmessungen nötig. Dann sind die Ströme aus Spannungsabfällen an kleinen Meßwiderständen zu berechnen. Hauptschwierigkeit ist die Lage des Abgriffs am Potentiometer vom Rechner mit messen zu lassen. Dazu ist am Griff des Schiebewiderstands ($R = 330 \Omega$ mit einem Schiebeweg von ca. 35 cm) ein Faden

befestigt. Dieser wird über ein Laufrad mit Rasterscheibe und Doppelgabellichtschranke ¹⁾ geführt und durch ein kleines Gewicht gespannt, wie es das Arbeitsblatt schematisch zeigt. Das Meßprinzip des Laufrads ist in der Serie: Effizientes Experimentieren und Analysieren durch universelle Programmierumgebung PAKMA, D. Heuer [1] beschrieben. Dort findet sich auch ein Versuchsbeispiel, wie mit der Programmierumgebung PAKMA: Physik AktivMessen, Modellieren, Analysieren eine Spannung in Abhängigkeit des Ortes unter Einsatz des Laufrades gemessen wird, nämlich die Messung der Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit des Abstandes von der Lichtquelle s. D. Heuer [2]. Da für die Potentiometermessung eine vergleichbare Meßaufgabe vorliegt, braucht das in [2] angegebene Kernprogramm nur etwas abgewandelt zu werden.

Die beiden Meßtypen u_meter und zählen werden auch hier aufgerufen, eine weitere Umrechnung der Spannung ist nicht nötig. Damit ergibt sich das Kernprogramm in Abb. 1, das hier für den Amiga angegeben wird²⁾. Der zeichnebefehl führt die Variablen auf, hier x , und U_{ab} , später zusätzlich die Ströme I_R , I_{ges} , I_{ab} , die dann im Graphik-Menü zum Bilden von Grafen zur Verfügung stehen. Mit diesen Variablen kann der Benutzer funktionale Zuordnungen bilden, die dann während des Programmlaufs als Grafen dargestellt werden. Dabei wird eine abgespeicherte Grafenzuordnung eines früheren Programmlaufs als Vorschlag angezeigt, die direkt übernommen werden kann. Für die erste Unterrichtsstunde wurde während des Versuchsablaufs $x \rightarrow U_{ab}$ dargestellt. Als Belastungswiderstand R wurde eine größere Stöpselwiderstandsanordnung benutzt und $R = 100 \Omega$ bzw. 20Ω gewählt. Damit unterscheiden sich für den Schüler Potentiometerwiderstand und Belastungswiderstand auch sofort äußerlich.

Um für die folgende Unterrichtsstunde auch die Ströme messen und darstellen zu können, wird die Schaltung gemäß Abb. 2 erweitert. An den „Meßwiderständen“ von 1Ω wird der Spannungsabfall ermittelt und daraus die Ströme I_R im Widerstand und I_{ab} im Potentiometer nach dem *Ohmschen* Gesetz bestimmt. Da der verwendete 4-Kanal-AD-Meßadapter 4 potentialfreie Eingänge hat ³⁾, ist der Abgriff der 3 zu messenden Spannungen ganz problemlos. Es ist nur auf den richtigen Anschluß der + und – Eingänge zu achten.

¹⁾ Ein Selbstbau ist in [1] beschrieben; als Lehrmittelgerät wird das Laufrad von der Firma Microsystems, Neufahrner Str. 21, 8046 Garching mit einer Auflösung von 0,9 mm angeboten. Dort sind auch die anderen PAKMA-Meßadapter erhältlich.

²⁾ Im Unterricht wurden die Versuche mit dem PAKMA am C 64 durchgeführt. Das wiedergegebene Programm und die Ausdrücke beziehen sich auf das Amiga-PAKMA (Information dazu vom Autor D. Heuer). Inzwischen läßt sich der Versuch auch mit dem PC-PAKMA ausführen, das demnächst verfügbar ist. Für alle drei Rechner unterscheiden sich die Programmtexte fast nicht. Die erforderlichen Meßadapter, hier der 4 Kanal-AD-Umsetzer und der Vor-Rückwärts-Zähladapter können für alle drei Rechnertypen in gleicher Form benutzt werden.

³⁾ Der separate Masseingang des 4-Kanal-AD-Meßadapters muß nur mit einem Punkt der Potentiometerschaltung verbunden sein.

Da jetzt 3 Spannungen gemessen werden sollen, ist im obigen Programm mes durch mes_wp(3) zu ersetzen und die Meßwerte dann mit

$$U_{ab} = \text{mes_wp} \quad (1)$$

$$U_{mp} = \text{mes_wp} \quad (2)$$

$$U_{mr} = \text{mes_wp} \quad (3)$$

aufzurufen. Dann sind U_{mp} und U_{mr} in die Ströme $I_{ab} = U_{mp}/r_m$ und $I_r = U_{mr}/r$ umzurechnen und $I_{ges} = I_{ab} + I_r$ zu bilden. Im zeichne-Befehl werden dann zusätzlich die Größe I_{ab} , I_r und I_{ges} übergeben. Je nach den zu diskutierenden Grafen werden dann die im Grafik-Menü eine oder mehrere der Zuordnungen $x \rightarrow I_r$, $x \rightarrow I_{ab}$, $x \rightarrow I_{ges}$ ausgewählt, evt. auch in Verbindung mit $x \rightarrow U_{ab}$

```

0040 PROC kern
0060 dt:=0.2; mt:=45; t:=0; s:=0
0070 l_einh:=0.0009
0090 INPUT AT 5,5: "Feld-Nr(1-2):": abl
0100 grafik("a")
0110
0120 zaehlen
0130 vorb(abl)
0140 vor_rueck
0150 s_folg("i",dt)
0170
0180 u_meter
0190 vorb(4*abl-3);mitt(50);uni_p
0200 auto_bereich
0210
0230 REPEAT
0235 t:=t+dt
0240 zaehlen
0250 mes
0260 dx:=mes_wp*l_einh
0270 x:=x+dx
0280
0290 u_meter
0300 mes
0310 uab=mes_w
0340
0370 zeichne("x,uab")
0410 UNTIL t>mt OR key$<>""
0420 ENDPROC kern
    
```

Abb. 1: Kernprogramm, mit dem die Spannung U_{ab} am Abgriff in Abhängigkeit der Lage x des Abgriffs gemessen und dargestellt wird, s. Abb. 3

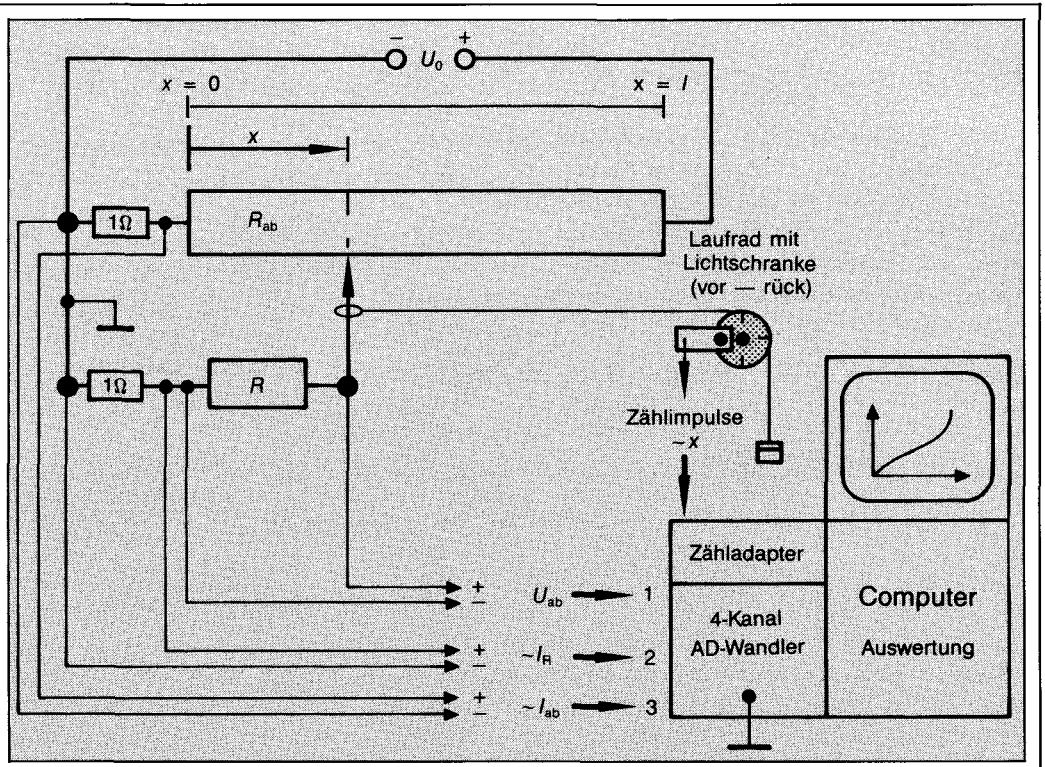
4 Durchführung

Am Beginn der zweistündigen Unterrichtssequenz wurde zur Motivation folgender einfache Versuch durchgeführt. Zur Einstellung der Helligkeit eines Glühbirchens wurde dieses an eine Potentiometerschaltung angeschlossen. Entgegen der Erwartung der Schüler, begründet durch die Ergebnisse beim unbelasteten Potentiometer, zeigte sich die aufgebaute Schaltung (Glühbirchen 4 V, 0,2 A; Potentiometerwiderstand 330 Ω ; Spannungsquelle 4 V) in ihrer Funktion völlig unzulänglich und erfüllte fast nur die Funktion eines Schalters. Als Ergebnis dieses Versuchs wurde festgestellt, daß der belastete Spannungsteiler „anders“ reagiert. Als Konsequenz des Ergebnisses wurde im Unterrichtsgespräch ein Plan für die nötige Untersuchung des belasteten Spannungsteilers erstellt. Bei festem Belastungswiderstand ist das Verhalten der Teilspannung $U_{ab}(x)$ in Abhängigkeit von der Positionierung des Abgriffs beim Potentiometer neu zu untersuchen. Weiterhin sind diese Untersuchungen für verschiedene Lastwiderstände durchzuführen, um den Einfluß des Lastwiderstandes auf das „Steuerverhalten“ des Potentiometers zu erkennen.

Aus der Vielzahl der dazu nötigen Einzelmessungen ergab sich eine Begründung für die Verwendung eines automatisierten Meßsystems, das den Schülern nun detailliert vorgestellt wurde. Dabei wurde auch die computergerechte Umsetzung der Größen Ort und Spannung angesprochen. Als Test für die Funktionsfähigkeit des verwendeten Meßsystems diente die Aufnahme des bekannten Grafen $U_{ab}(x)$ bei unbelastetem Potentiometer.

Davon ausgehend sollten die Schüler ihre Erwartungen zum Verlauf des Grafen bei Belastung des Potentiometers formulieren (Anfangs- und Endwert wie beim unbelasteten Potentiometer, irgendwie gekrümmte Form, Lage unterhalb der vorliegenden Geraden des unbelasteten Potentiometers). Anschließend wurde der Verlauf von $U_{ab}(x)$ mit einem Lastwiderstand von $R = 100 \Omega$ aufgenommen und zusammen

Abb. 2: Schaltung zur Messung der Ströme in Abhängigkeit der Lage x des Abgriffs.

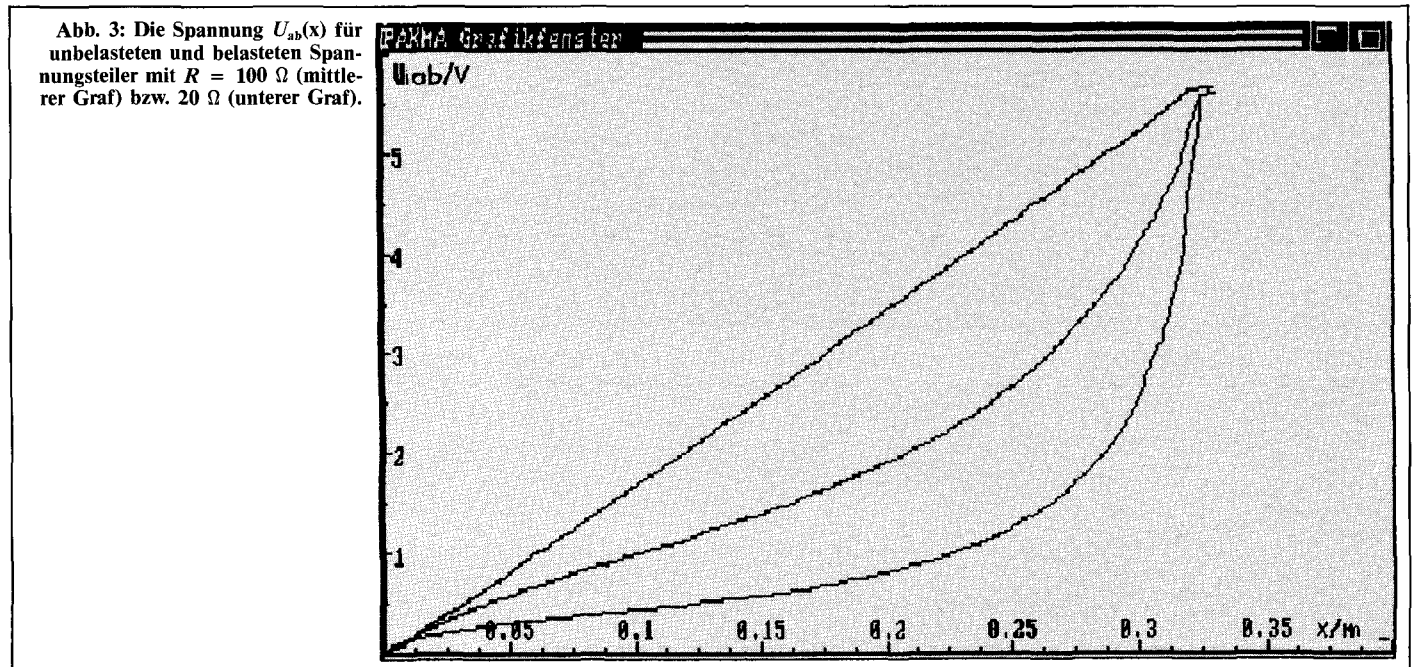


mit der Geraden des unbelasteten Potentiometers grafisch dargestellt (s. Abb. 3).

Im folgenden sollten Gesamtverlauf wie auch Einzelheiten der Meßkurve von den Schülern physikalisch plausibel gemacht werden. Aussagen waren: Anfangs- und Endpunkt sind unabhängig vom Lastwiderstand. Ansonsten verringert der zum Potentiometerparallel geschaltete Belastungswiderstand R den Gesamtwiderstand dieses Abschnitts, folglich ist auch die zugehörige Teilspannung kleiner als im unbelasteten Fall und damit ergibt sich eine Kurve, die unterhalb der Geraden des unbelasteten Potentiometers verläuft. Besonders bemerkenswert war die Aussage über den Anstieg der Kurve am Anfang: Für genügend

In der zweiten Stunde der Unterrichtssequenz sollten die Aussagen über die Ströme im Lastwiderstand (I_R), im Teilwiderstand des Potentiometers (I_{ab}) und im Gesamtkreis (I_{ges}) getroffen werden. Vorhersagen und Abschätzungen über den Verlauf der Stromkurven lieferten folgende Überlegungen und Aussagen der Schüler: Der Strom durch den Lastwiderstand R ist proportional zur Spannung $U_{ab}(x)$ an diesem, damit muß $I_{ab}(x)$ entsprechend $U_{ab}(x)$ verlaufen.

Der Strom $I_{ab}(x)$ durch den Teilwiderstand $R_{ab}(x)$ ist für $x = 0$ und $x = 1$ unabhängig vom Lastwiderstand R und nur durch die Betriebsspannung U_0 und den Gesamtpotentiometerwiderstand bestimmt und entspricht dem unbelasteten Fall. Weiterhin ist wegen der Parallelschaltung von R zu R_{ab}



kleine x (abhängig vom Lastwiderstand R) ist der Lastwiderstand R groß gegenüber dem Teilwiderstand R_{ab} des Potentiometers, so daß dieses anfänglich wie ein unbelastetes Potentiometer reagiert, d. h. die Kurve steigt am Anfang wie die Gerade des unbelasteten Potentiometers (s. Abb. 4).

Anschließend wurde der Verlauf der Kurve für $R = 20 \Omega$ vorhergesagt. Dabei machten die Schüler folgende typische Kontinuitätsaussagen: Die Kurve liegt unterhalb der „100 Ω -Kurve“, sie verläuft länger „an“ der x -Achse und steigt dann steiler in den Endpunkt. Die folgende Messung und gleichzeitige Darstellung in der bestehenden Grafik bestätigte die Aussagen der Schüler zu ihrer Zufriedenheit und veranlaßte sie zu folgerichtigen Vermutungen über den Kurvenverlauf bei immer kleiner werdendem Lastwiderstand (bis hin zum Kurzschluß). Den Abschluß der ersten Stunde dieser Unterrichtssequenz bildete die Schülerfrage nach dem Wert des minimalen Lastwiderstands, bei dem die Abweichung vom unbelasteten Fall nur geringfügig ist. Dadurch initiiert stellte der Lehrer folgende Hausaufgabe: Bei welchem Lastwiderstand R hat $U_{ab}(x)$ bei Mittelstellung des Potentiometers 10 % Abweichung gegenüber dem unbelasteten Fall? (Vorgabe wie im Experiment: $R_{\text{Potentiometer}} = 330 \Omega$)

Die vorgenannte Aufgabe wurde in einer Übungsstunde ausführlich besprochen. Dabei bereitete besonders der Berechnungsschritt vom bestimmten Gesamtwiderstand der Parallelschaltung aus R_{ab} und R hin zum gesuchten Lastwiderstand R erhebliche Probleme.

die Teilspannung $U_{ab}(x)$ bei Belastung immer kleiner als ohne Last (vgl. 1. Stunde), somit muß auch $I_{ab}(x)$ bei allen Zwischenstellungen des Potentiometerabgriffs kleiner als ohne Belastung sein. Die zugehörige Stromkurve fällt zunächst und steigt dann wieder auf den Anfangswert.

Schließlich erhält man den Gesamtstrom als Summe der Teilströme $I_{ges} = I_{ab} + I_R$. Nach entsprechender Vorhersage (Reihenfolge wie oben angegeben) wurde jeweils die zugehörige Stromkurve gemessen und grafisch dargestellt. Die Strommessungen wurden im Unterricht nur für einen festen Lastwiderstand ($R = 100 \Omega$) durchgeführt.

5 Unterrichtserfahrungen

Die Verwendung des computerunterstützten Meßsystems mit direkter Umsetzung der Werte in grafische Darstellungen ermöglichte überhaupt die ausführliche Behandlung dieser Thematik in der Sekundarstufe I (10. Klasse). In Ermangelung der mathematischen Möglichkeiten muß hierbei die Plausibilitätsbetrachtung und Abschätzung im Vordergrund stehen. Dabei zeigten sich die Schüler der 10. Klasse wesentlich offener und unvoreingenommener diesem Vorgehen gegenüber als Oberstufenschüler eines Physikleistungskurses, die mit der gleichen Thematik konfrontiert wurden und die sich fast ausschließlich auf die rein mathematische Behandlung der Fragestellung beschränkten.

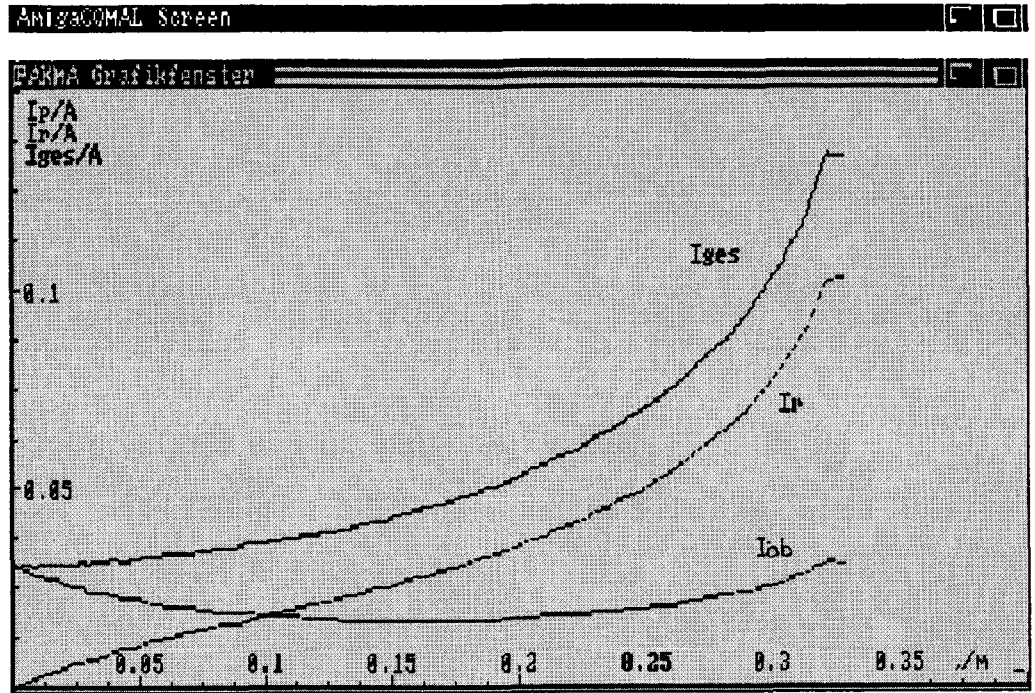
Abb. 4: Darstellung der Ströme am Spannungsteiler in Abhängigkeit von der Lage x des Abgriffs:

I_r : Strom durch den äußeren Belastungswiderstand R .

I_{ab} : Strom durch den Teilwiderstand R_{ab} des Spannungsteilers.

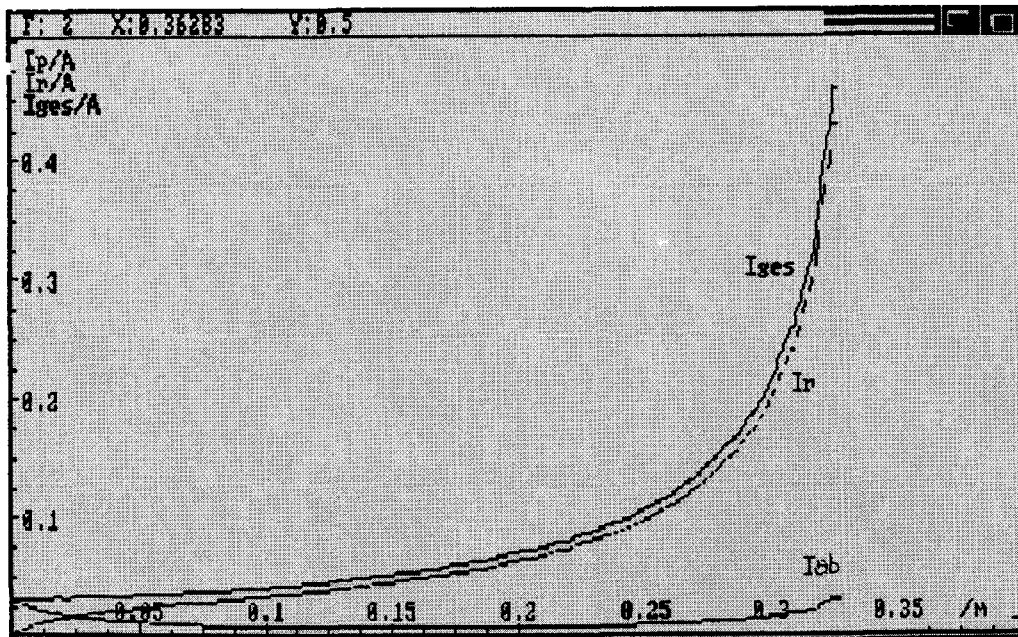
I_{ges} : Gesamtstrom, der durch den „oberen“ Teil des Spannungsteilers fließt. ($= I_r + I_{ab}$)

a) äußerer Belastungswiderstand $R = 100 \Omega$ (oberes Diagramm)



b) äußerer Belastungswiderstand $R = 20 \Omega$ (unteres Diagramm)

ANIGACOMM Screen



6 Zusammenfassung

Mehrfache Meßreihen, die bei konventioneller und punktwieser Aufnahme den zeitlichen Rahmen einer Unterrichtsstunde sprengen würden, können mit einem computerunterstützten Meßsystem sehr zeitsparend aufgenommen und direkt in eine grafische Darstellung umgesetzt werden. Das Meßsystem wird von den Schülern angenommen (Testlauf zur Reproduktion eines bereits bekannten Ergebnisses) und als Mittel zur Behandlung erweiterter Fragestellungen gesehen.

Zum Arbeitsblatt

Als Eintrag für die Aufgabe wurde gemeinsam mit den Schülern formuliert: Für verschiedene Werte des Lastwiderstands R wird die Abhängigkeit $U_{ab}(x)$ gemessen und direkt mit Hilfe des Computers grafisch dargestellt.

Literatur:

- [1] D. Heuer: Serie: Effizientes Experimentieren und Analysieren durch universelle Programmumgebung PAKMA, Teil 1 PdN-Ph. 38, Heft 7, S. 37ff. 1989 bis Teil 5 PdN-Ph. 39, Heft 3, S. 35ff. 1990.
- [2] D. Heuer: Serie: PAKMA, Teil 5 PdN-Ph. 39, Heft 3, 1990 S. 35ff.

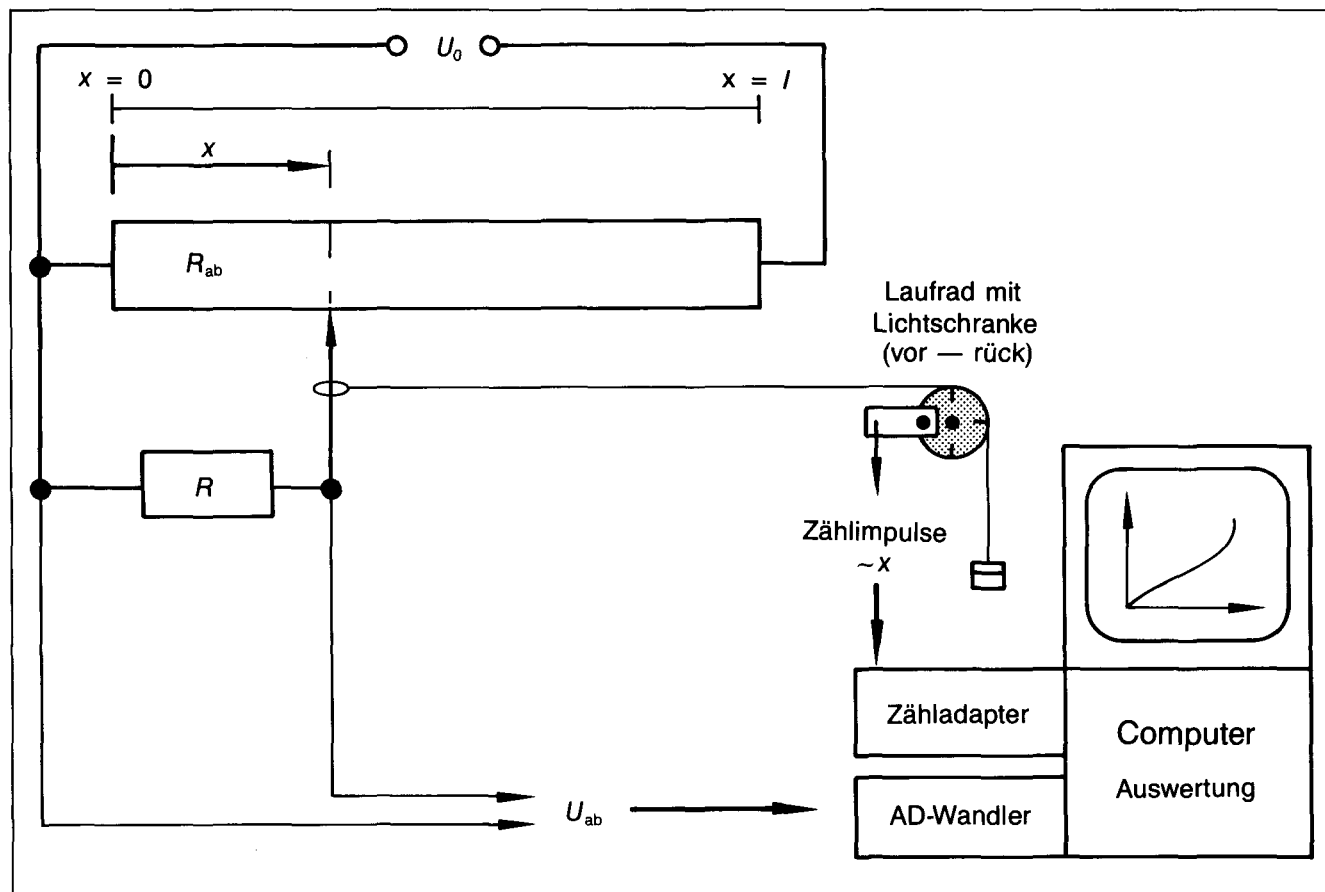
Anschrift der Verfasser:

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

MATERIALIEN

Arbeitsblatt: Belasteter Spannungsteiler (Potentiometer)

Versuchsaufbau:



Aufgabe:

Ergebnisse

