

Gerhard Dersch / Werner Schneider

XY-Schreiber als direktes Hilfsmittel zur Untersuchung verschiedener Bewegungsvorgänge

Die Einsatzmöglichkeit eines XY-Schreibers bei Bewegungsuntersuchungen läßt sich erweitern, wenn man den „Federhalter“ eines Schreibers selbst als Fahrzeug ansieht. Man kann dann über die an den X- bzw. Y-Eingang gelegte Spannung das Fahrzeug zu der gewünschten ein- bzw. zweidimensionalen Bewegung veranlassen. Die Addition von Zeitmarken zu einer der beiden Spannungen gestattet, die jeweilige Weg-Zeit-Abhängigkeit zu untersuchen. — Es wird die Anwendung des Verfahrens auf die im Physikunterricht wichtigsten Bewegungen ($s \propto t$, $s \propto t^2$ und $s \propto t^3$) beschrieben und an Beispielen demonstriert.

1. Einführung

Der Einsatz eines XY-Schreibers zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen bezieht sich üblicherweise [1, 2] auf die Aufzeichnung des Weges eines Fahrzeugs unter Zwischenschaltung eines Meßgrößenwandlers, der die jeweilige Ortskoordinate des Fahrzeugs in eine dazu proportionale Spannung umwandelt, welche wiederum durch den Schreiber in einen dazu proportionalen Weg umgewandelt wird.

Den Umweg über den Meßgrößenwandler kann man umgehen, wenn man den „Federhalter“ des Schreibers selbst als Fahrzeug ansieht, was bei etwas Phantasie keine allzu großen Schwierigkeiten bereitet. Durch dieses Umdenken wird erreicht, daß der XY-Schreiber vielseitiger zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen eingesetzt werden kann.

Durch die Wahl der Zeitabhängigkeit der an den X- bzw. Y-Eingang liegenden Spannung kann man nämlich den „Federhalter“ zu jeder interessierenden ein- bzw. zweidimensionalen Bewegung veranlassen, da ja die X- bzw. Y-Auslenkung proportional zur jeweils anliegenden Spannung ist.

Addiert man zusätzlich zu einer der Spannungen konstante Zeitimpulse — ähnlich wie beim Staubfigurenverfahren [3, 4] —, so läßt sich durch die so erhaltene Registrierung das Weg-Zeit-Verhalten des Fahrzeuges „Federhalter“ demonstrieren und direkt auswerten.

Das Verfahren zeichnet sich durch folgende Punkte aus:

- a) Es lassen sich Bewegungen aufzeichnen, die sonst einer Untersuchung nur schwer zugänglich sind, wie z.B. die Aufzeichnung einer eindimensionalen Bewegung mit konstant ansteigender Beschleunigung.
- b) Die Bewegungen kann man ohne große Umbauten nacheinander aufzeichnen und direkt vergleichen.
- c) Die Weg-Zeit-Registrierungen können auf Folie geschrieben werden und sofort projiziert werden.
- d) Die Registrierung erfolgt auf normalem Papier und ist schnell wiederholbar bzw. einfach zu vervielfältigen, so daß die Auswertung von den Zuschauern selbst durchgeführt werden kann.

Von Nachteil ist, daß es bisher noch kein fertiges Gerät gibt, das Spannungen mit den jeweils gewünschten Zeitabhängigkeiten liefert. Im Folgenden wird jedoch beschrieben, wie man mit Hilfe der in einer Physiksammlung üblichen Geräte Spannungen mit einstellbarer Zeitabhängigkeit erzeugen kann, durch die die für den Physikunterricht interessierenden Bewegungen erzeugt werden können.

2. Anwendungsbeispiele

2.1. Eindimensionale Bewegungen

Die Beschreibung beschränkt sich hier auf die Untersuchung folgender Weg(Spannung)-Zeit-Abhängigkeiten: $s(U) \propto t$, $s(U) \propto t^2$ und $s(U) \propto t^3$. Die dazu jeweils erforderliche Zeitabhängigkeit der an dem X-Eingang des Schreiber liegenden „Weg“-Spannung wurde gemäß der in Abbildung 1 angegebenen Schaltung erzeugt.

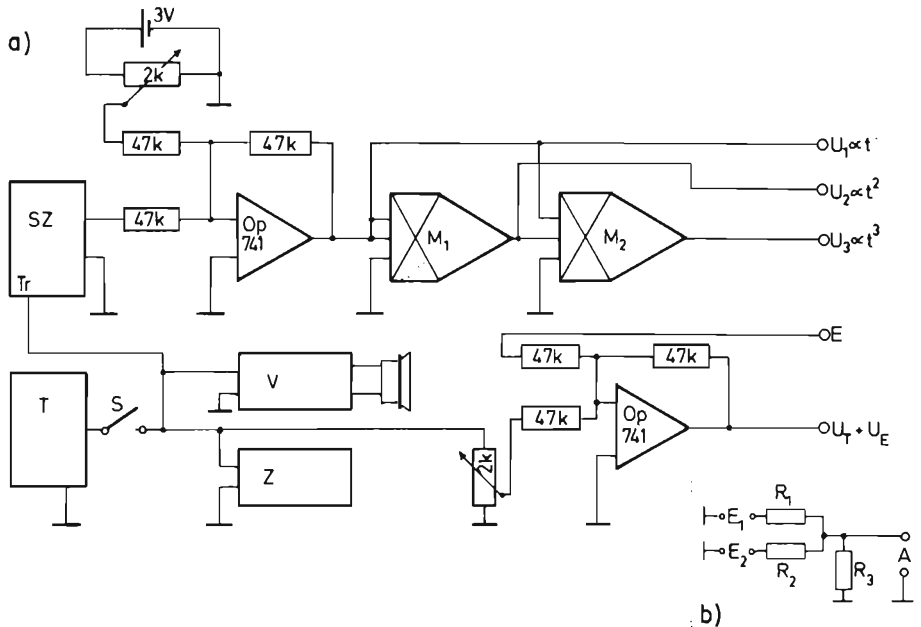


Abb. 1 Schaltung zur Erzeugung der folgenden Spannungs-Zeit-Abhängigkeiten: $U_1 \propto t$, $U_2 \propto t^2$ und $U_3 \propto t^3$ und zur Addition der Taktimpulse zu U_1 , U_2 oder U_3 . SZ: Sägezahn-generator (hier: Oszilloskop HM 412); Tr: Triggereingang; T: Verstärker mit Lautsprecher; Z: Zähler; M_1 , M_2 : Analogmultipliziererbausteine (z.B. Analogrechner Leybold oder Kröncke oder der Typ ICL 8013, der in den Genauigkeitsstufen 0,5%, 1% und 2% erhältlich ist); U_T : Taktspannung; E: Eingang der Schaltung zur Addition der Taktimpulse zu einer der Spannungen U_1 , U_2 oder U_3 im Fall von Abschnitt 2.2, in Abschnitt 2.1 liegt E an Masse; OP: Operationsverstärker (Typ 741, Versorgungsspannung = 15V); Anmerkung: Zur Addition der Kompensationsspannung und der Taktspannung wurde in a) die jeweils gezeichnete Additionsschaltung verwendet. Bei dieser Schaltung beeinflusst der Innenwiderstand der Spannungsquellen nicht wesentlich das Ausgangssignal, was bei der ebenso verwendbaren Addierschaltung nach b) nicht so gut zu erfüllen ist.

Als Ausgangsspannung dient die nach außen geführte Ablenkspannung eines Oszilloskops (z.B. HM 412), die proportional zur Zeit verläuft. Vorteilhaft ist, wenn das Oszilloskop über eine externe Triggersteuerung verfügt. Damit läßt sich über den ersten Zeitimpuls, der z.B. durch ein Tor durchgelassen wird, die Ablenkspannung und damit der Weg abrufen. Hierdurch wird erreicht, daß Weg- und Zeitnullpunkt zusammenfallen, was die Auswertung erleichtert.

$U \propto t^2$ und $U \propto t^3$ wird jeweils aus der Ausgangsspannung mit Hilfe von Analogmultiplierbausteinen z.B. des Leybold Analogrechners erzeugt (entsprechend gut geeignet sind die Multiplizierbausteine des Kröncke Analogrechners bzw. auch handelsübliche integrier-

te Schaltkreise wie z.B. der Typ ICL 8013; denkbar ist auch, daß man zwei Integrierstufen einsetzt).

Die Zeitimpulse kann man z.B. einem Funktionsgenerator mit variablem Tastverhältnis (z.B. Leybold) entnehmen. Steht ein Funktionsgenerator nicht zur Verfügung, so lassen sich aus dem „Knack“ eines Metronoms mit Hilfe eines nachgeschalteten Verstärkers und Impulsformers entsprechend gut geeignete Taktimpulse erzeugen [5]. In [5] ist auch beschrieben, wie aus der Spannung eines Sinusgenerators Taktimpulse gewonnen werden können.

In der angegebenen Schaltung werden die Taktimpulse des Taktgebers (T) über den Schalter (S) freigegeben und gelangen zum Triggereingang (Tr) des Oszilloskops (SZ) und zum Y-Eingang des Schreibers. Die in diesem Kreis in der Schaltung vorgesehene Addierschaltung kann hier (eindimensionale Bewegungen) entfallen. Sie ist erst in Abschnitt 2.2 erforderlich. Ferner ist vorgesehen, einen Verstärker (V) mit Lautsprecher und einen Zähler (Z) anzuschließen. Beide dienen der bequemeren und sichereren Zuordnung der Taktimpulse zu den geschriebenen Zeitmarken. Beide Geräte erübrigen sich bei Periodendauern im Sekundenbereich oder bei Verwendung eines Metronoms als Taktgeber. Die Empfindlichkeit des Y-Eingangs ist so einzustellen, daß die Zeitimpulse nur Ausschläge im Millimeterbereich bewirken. Damit Weg- und Zeitnullpunkt zusammenfallen, muß für $t = 0$ sichergestellt sein, daß am Eingang des Multiplizierers M_1 die anliegende Spannung auch gleich 0 ist. Hierzu ist die in Abbildung 1 angegebene Kompensationsschaltung notwendig. Die Ablenkspannung des HM 412 beträgt nämlich für $t = 0$ ca. $-1,1$ Volt.

In Abbildung 2 sind für zwei verschiedene Periodendauern T für die Taktspannung U_T (im Falle a) $T = 2$ s und im Falle b) $T = 1$ s) die gewünschten drei Weg-Zeit-Abhängigkeiten für das Fahrzeug „Federhalter“ dargestellt. Die Anstiegszeit der Ablenkspannung betrug dabei jeweils ca. 20 s. Die eingetragenen Zahlen geben die Nummer des jeweiligen Taktim-

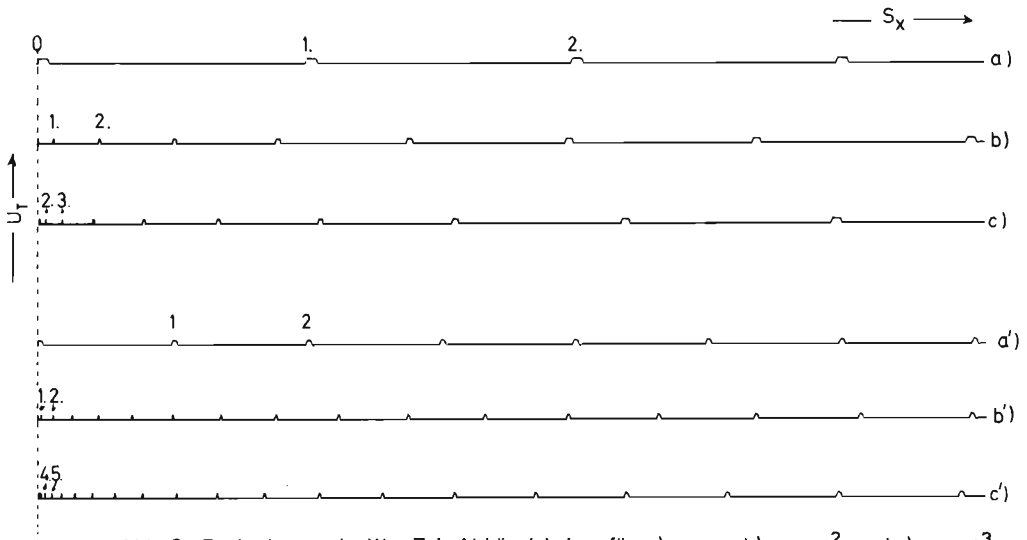


Abb. 2 Registrierung der Weg-Zeit-Abhängigkeiten für: a) $s_x \propto t$, b) $s_x \propto t^2$ und c) $s_x \propto t^3$. Im oberen Teil a)–c) betrug die Periodendauer der Taktimpulse 2 s, im unteren Teil a')–c') ca. 1 s. Der „Sägezahnanstieg“ blieb konstant. Anmerkung: Um bei den Registrierungen gleiche Anfangsbedingungen zu erhalten, darf der Schalter S in Abb. 1 nur für den Fall $U_T = 0$ geschaltet werden.

pulses an. Die Numerierung wurde hier und auch später jeweils nur für die ersten Taktimpulse angegeben.

Aus der Beobachtung der Bewegung des „Federhalters“ beim Schreiben oder aus der Umdeutung der Weg-Zeit-Markierungen läßt sich bereits das für diese Bewegungen charakteristisch unterschiedliche Anfahrverhalten erkennen. Abbildung 2 zeigt weiter, daß die Zuordnung der Zeitimpulse zum Weg für kürzere Taktintervalle vor allem für die t^3 -Abhängigkeit schwieriger wird. Die richtige Zuordnung läßt sich hier nur durch ein sorgfältiges Mitzählen und der nachträglichen Zuordnung erreichen.

Wertet man die Registrierungen in Abbildung 2 aus (Weg und Zeit werden jeweils am linken Einsatz des Taktimpulses abgelesen), so bestätigen sich innerhalb einer Genauigkeit, die hier z.T. besser als 1% ist, die jeweils eingestellten Weg-Zeit-Abhängigkeiten. Die erreichbare Genauigkeit hängt dabei wesentlich von der Genauigkeit der verwendeten Multiplizierer ab.

2.2. Zweidimensionale Bewegungen

Der XY-Schreiber eignet sich zur Demonstration des Unabhängigkeitsprinzips bei Bewegungen. Üblicherweise nutzt man dabei aus, daß man bei Hintereinanderausführung der X- und der Y-Bewegung zum selben Ziel wie bei der gleichzeitigen Ausführung der beiden

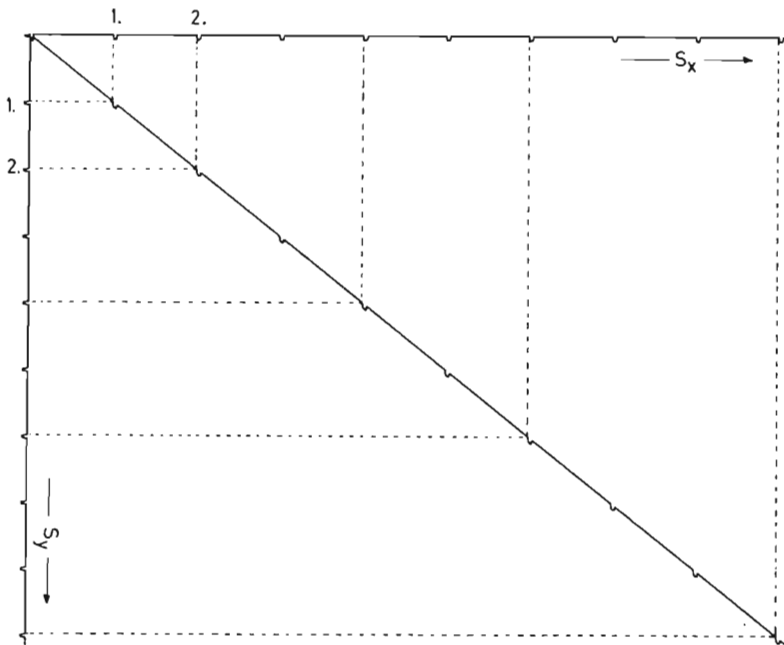


Abb. 3 Überlagerung von zwei senkrecht zueinander verlaufenden Bewegungen mit $s_x \propto t$ und $s_y \propto t$ mit Zeitmarkierungen (Taktperiode: $2s$). Im Fall der Überlagerung wurden nur zu U_x die Taktimpulse addiert. Anmerkung: Die dargestellte Registrierung konnte nur durch die Hintereinanderausführung der Teilbewegungen und der Überlagerungsbewegung erhalten werden. Dies bedingt, daß zu U_x oder U_y die Taktspannung addiert wird. Hierbei muß gewährleistet werden, daß jedesmal der Nullpunkt der Registrierung erhalten bleibt. Dies ist einfacher mit der in Abbildung 1a angegebenen Additionsschaltung unter Verwendung eines Operationsverstärkers zu erreichen.

Teilbewegungen kommt. Bei diesem Vorgehen fehlt allerdings der direkte Nachweis, daß zu jedem Zeitpunkt die Überlagerung der Teilbewegungen die Gesamtbewegung ergibt. Dieser Mangel läßt sich durch das Mitschreiben von Zeitmarken für beide Teilbewegungen und für die Gesamtbewegung beheben. Hierzu sind in Abbildung 3 bis 5 charakteristische Beispiele wiedergegeben. Abbildung 3 zeigt die Überlagerung von zwei gleichförmigen Bewegungen, die senkrecht zueinander verlaufen; d.h. $s_x \propto t$ und $s_y \propto t$ ($T=2s$). Abbildung 4 zeigt die Überlagerung einer gleichförmigen Bewegung ($s_x \propto t$) mit einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ($s_y \propto t^2$). Dieses Beispiel kann gut zur Simulation des Bewegungsablaufs für den waagrechten Wurf dienen. Beide Abbildungen zeigen das Unabhängigkeitsprinzip für einfache Bewegungsbeispiele und bereiten die Überlagerung von komplizierteren Teilbewegungen vor.

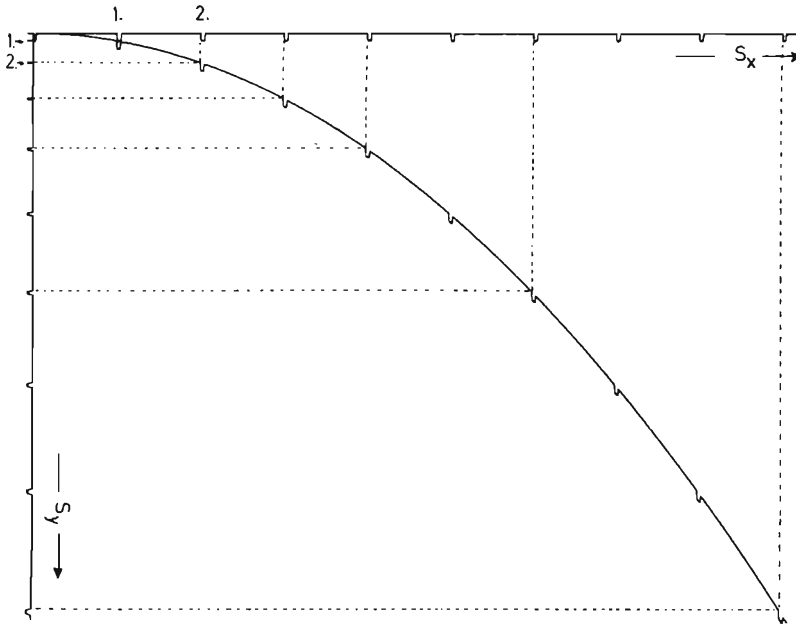


Abb. 4 Überlagerung einer gleichförmigen Bewegung $s_x \propto t$ und einer dazu senkrecht verlaufenden gleichmäßig beschleunigten Bewegung $s_y \propto t^2$, sonst wie in Abbildung 3.

In Abbildung 5 ist hierzu die Überlagerung von zwei periodisch verlaufenden Teilbewegungen ($s_x \propto \sin 2\pi ft$ und $s_y \propto \sin (2\pi ft + \varphi)$) wiedergegeben; (Daten: Taktintervall $T = 0,5s$; Frequenz $f \approx 0,05 \frac{1}{s}$).

Die Phasenverschiebung φ wurde gemäß der Schaltung in Abbildung 6 erzeugt. Der dort angegebene Weitwinkelphasenschieber [6] zeichnet sich dadurch aus, daß er einfach aufzubauen ist und daß die Amplitude der Ausgangsspannung unabhängig von φ ist. Die Phasenverschiebung läßt sich über den Wert des Widerstandes R von 0° bis 180° einstellen. Aufgrund dieser günstigen Eigenschaften ist der in Abbildung 6 angegebene Phasenschieber auch an anderen Stellen des Unterrichts vorteilhaft einzusetzen.

Die sinusförmige Wechselspannung entnehmen wir einem Sinusgenerator, der leider einen so großen Klirrfaktor zeigte, daß eine „saubere“ Ellipse nicht registriert werden konnte.

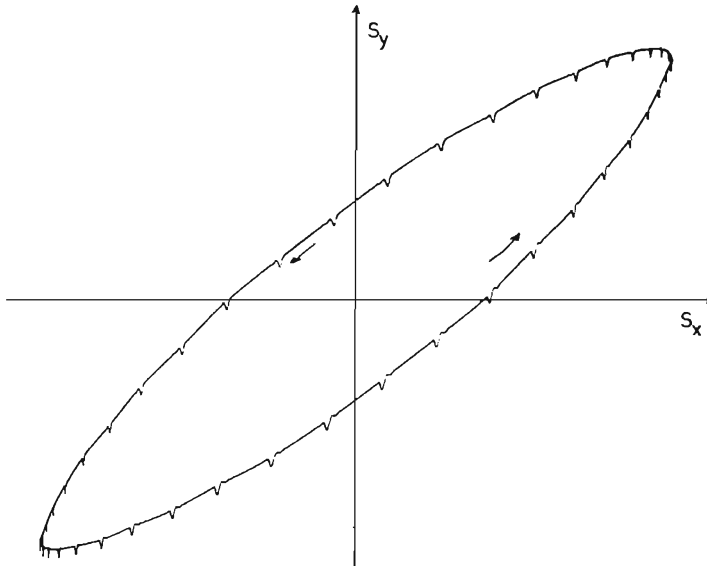


Abb. 5 Überlagerung von zwei senkrecht zueinander verlaufenden, periodischen Bewegungen: $s_x \propto \sin 2\pi ft$ und $s_y \propto \sin (2\pi ft + \varphi)$; $f \approx \frac{1}{20s}$; $T \approx 0,5s$. Die Phasenverschiebung φ wurde mit dem in Abbildung 6 angegebenen Weitwinkelphasenschieber erzeugt.

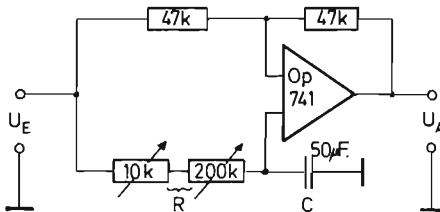


Abb. 6 Universeller Weitwinkelphasenschieber nach [6, S. 320]. Für die Phasenverschiebung φ gilt: $\varphi = -2\arctan (2\pi fRC)$. R ist zur Feinabstimmung in zwei Potentiometer mit unterschiedlichem Widerstandswert aufgeteilt. OP: Operationsverstärker, Typ: 741, Versorgungsspannung $\pm 15V$. Anmerkung: Dieser Phasenschieber zeichnet sich dadurch aus, daß das Verhältnis der Amplituden von U_A und U_E unabhängig von der Phasenverschiebung ist.

3. Zusammenfassung und Diskussion

Es wurde gezeigt, wie man mit Hilfe eines XY-Schreibers über die Zeitabhängigkeit der X- bzw. Y-Eingangsspannung und durch das Mitregistrieren von Zeitmarken die grundlegenden ein- und zweidimensionalen Bewegungen im Anfangsphysikunterricht der Sekundarstufe II direkt untersuchen kann. Dabei war wesentlich, daß man umdenkt und den Federhalter des Schreibers als Fahrzeug ansieht.

Das beschriebene Verfahren eignet sich nach unseren Erfahrungen vor allem in Klassen, in denen Schüler mit unterschiedlichen Voraussetzungen hinsichtlich der Bewegungslehre vorzufinden sind. Mit diesem Problem muß man zur Zeit bei Schülern der Jahrgangsstufe

11 in reinen Oberstufengymnasien (Zusammentreffen von Schülern aus verschiedenen Schulen) bzw. bei Schülern von Fachoberschulklassen rechnen.

Die Bewegungslehre ist bei beiden Schulformen am Anfang des Physikunterrichts vorgesehen. Mit dem beschriebenen Verfahren ist es möglich, die Bewegungslehre zu behandeln und dabei allen Schülern etwas Neues zu bieten. Es können somit in etwa gleiche äußere Ausgangsvoraussetzungen geschaffen werden. Vorteilhaft ist ferner, daß die Schüler schon früh mit dem XY-Schreiber vertraut werden, der ja an den verschiedensten Stellen [1] im Unterricht eingesetzt werden kann.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Kraft und Beschleunigung kann man auf die üblichen Fahrbahnversuche nicht verzichten. Durch die Anwendung des beschriebenen Verfahrens wird jedoch der Einsatz der Staubfiguren- bzw. Metallschriftmethode [1, 2] bereits soweit vorbereitet, daß ein nahtloser Übergang zu den Fahrbahnversuchen ermöglicht wird.

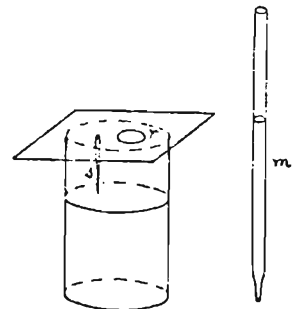
(Anschrift der Verfasser: OStR. G. Dersch, Adolf Reichwein-Schule Marburg, Weintrautstr. 33, 3550 Marburg und Prof. Dr. W.B. Schneider, Fachbereich Physik, Universität Erlangen, Glückstraße 6, 852 Erlangen)

Eingangsdatum: 2.11.1981

Literatur

- [1] Seufert, W.: xy-Schreiber und xy-Schreiber im Physikunterricht, Köln: Aulis 1979
- [2] Wegner, W.: Praxis d. Nat. (Physik) 23, (1974) S. 48–52
- [3] Handbuch der experimentellen Schulphysik Bd. 2, Köln: 1963 Aulis
- [4] Groeneveld, J.: Messungen mit Staubfiguren und Metallschriftspuren, Hildesheim: Verlagsbuchhandlung A. Lax, 1968
- [5] Schneider, W.B.: PhuD, 4 (1982) S. 338
- [6] Tietze, U., u. Ch. Schenk, Halbleiterschaltungstechnik, (S. 320), Springer Verlag, Heidelberg 1980

23. Stecke durch ein Kartenblatt, das eine runde Öffnung r hat und groß genug ist, um als Deckel eines Glases zu dienen, eine Stecknadel s und gieß in das Glas so viel Wasser, daß die Nadelspitze den Wasserspiegel berührt, d.h. bis das auf der Flüssigkeit sichtbare Spiegelbild der Spitze diese selbst berührt (Fig. 32). Senke nun ein Stück Marmor, Schwefel oder sonst einen Körper in das Wasser, heb mittels einer spitz ausgezogenen Glasröhre m , die du durch die Öffnung r einführst, so viel Wasser heraus, wie diese faßt, und laß dann einen Teil davon tropfenweise zurückfließen, bis der Wasserspiegel wiederum die Spitze berührt. Bestimme mittels eines Meßgefäßes oder durch Wägung den Raum des in der Glasröhre zurückbleibenden Wassers, der den Inhalt des Körpers angibt. Benutzt man eine Meßröhre statt der Glasröhre, so kann man daran ohne weiteres den Raum des eingetauchten Körpers ablesen. (M.C. Harancourt. Cours de Physique, daraus P B 2, 222; 1895.)



(Aus: Physikalische Freihandversuche, O. Salle Verlag, Berlin, 1905)