

Zeitschrift: Schweizerische Lehrerzeitung

Herausgeber: Schweizerischer Lehrerverein

Band: 87 (1942)

Heft: 28

Anhang: Erfahrungen im naturwissenschaftlichen Unterricht : Mitteilungen der Vereinigung Schweizerischer Naturwissenschaftslehrer : Beilage zur Schweizerischen Lehrerzeitung, Juli 1942, Nummer 4 = Expériences acquises dans l'enseignement des sciences naturelles

Autor: Kopp, W.

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ERFAHRUNGEN

IM NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHT

Expériences acquises dans l'enseignement des sciences naturelles

MITTEILUNGEN DER VEREINIGUNG SCHWEIZERISCHER NATURWISSENSCHAFTSLEHRER
BEILAGE ZUR SCHWEIZERISCHEN LEHRERZEITUNG

JULI 1942

27. JAHRGANG • NUMMER 4

Eine neuartige Demonstration des schiefen Wurfes

Von W. Kopp, Kantonsschule St. Gallen.

Ungefähr seit Jahresfrist führe ich im Mittelschulunterricht die im folgenden beschriebene, neuartige Demonstration des schiefen Wurfes aus. Das Experiment zeigt bei der Einfachheit seiner Durchführung eine teilweise über die Erwartungen hinausgehende Genauigkeit, so dass es in einem weiteren Kreise von Fachkollegen Interesse finden dürfte. Um den Versuch in den richtigen Rahmen zu stellen, seien einige allgemeine Bemerkungen experimenteller und methodischer Natur vorangestellt.

I. Vorbemerkungen.

Es ist eine dem Experimentalphysiker wohlbekannte, aber von ihm nicht gerne zugestandene Tatsache, dass Versuche zur Mechanik, insbesondere zur Dynamik, gar nicht so einfach sind und meistens in ihrer Genauigkeit weit hinter der von den Gesetzen behaupteten Schärfe zurückstehen, und mancher Physiklehrer fühlt sich geborgener hinter seinen sicher anzeigenden Strom- und Spannungsmessern bei der Ableitung des Ohmschen Gesetzes, als wenn er auf irgendeine Weise den Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung experimentell darlegen soll. Selbst R. W. Pohl macht in seiner Mechanikvorlesung zur Demonstration des Fallgesetzes die resignierte Bemerkung, dass es stets eine missliche Sache sei, einen zweiten Differentialquotienten (= Beschleunigung) zu messen. Es scheint mir nun, dass eine Steigerung der Genauigkeit der Schulversuche am ehesten in der Weise erreicht werden kann, dass die Experimente nach zwei Richtungen gesondert gefördert werden, nämlich einerseits als Experimente zur Prüfung der Differentialgesetze, z. B. der Konstanz der Beschleunigung beim freien Fall oder beim Wurf, ohne Rücksicht auf die numerischen Werte, und andererseits als Experimente zur Bestimmung der Integralwerte und numerischen Konstanten, z. B. der Wurfweite oder des Wertes der Fallbeschleunigung. In diesem Sinne gehört die hier mitgeteilte Demonstration des schiefen Wurfes zur ersten Gruppe, indem sie nur die Konstanz des Beschleunigungsvektors zeigen will, während die Uebereinstimmung mit der Fallbeschleunigung einfacher am Wurfapparat von Löwy nachgewiesen wird.

In methodischer Hinsicht gehört der Versuch in den Rahmen der vektoriellen Behandlung der Mechanik. Es steht ausser Zweifel, dass eine das Richtungselement einschliessende Darstellung der mechanischen Gesetze deren Inhalt weit besser wiedergibt als die mit Koordinaten operierende. Moderne Vorlesungen und Schriften über Physik, z. B. Pohl, Joos, Westphal, Einstein und Infeld, bedienen sich vorzüglich der vektoriellen Darstellung. Im Kreise unseres Gym-

nasial-Lehrervereins (Baden 1925) hat Prof. E. Meissner in eindringlicher Weise auch für den Mittelschulunterricht die vektorielle Methode empfohlen. Sie wurde aber von verschiedener Seite als für diese Stufe zu schwierig abgelehnt. Hierzu möchte ich folgendes bemerken: Die vektorielle Mechanik ist nicht schwieriger als die Mechanik an sich, sofern ihre Gesetze überhaupt verstanden sein wollen. Darüber hinaus besitzt sie aber die wesentlichen Vorteile, dass sie dem Inhalt der Gesetze besser angepasst ist, also weniger fremdes Beiwerk enthält, dass sie viel anschaulicher, weil geometrisch darstellbar, ist und dass sie infolge davon den Formelapparat weitgehend entlastet. Schliesslich leistet sie einer auf dem Feldbegriff aufbauenden Elektrizitätslehre in formaler Hinsicht wertvolle Vorarbeit. Es sollte deshalb der vektoriellen Methode gegenüber nicht eine ablehnende Einstellung beibehalten werden, sondern im Gegenteil mit allen Mitteln versucht werden, sie auch der Mittelschulstufe anzupassen. Leider sind Versuche eines konsequenten vektoriellen Lehrganges für die Mittelschule, wenigstens in der deutschsprachigen Lehrbuchliteratur, so gut wie unbekannt, und ebenso armselig steht es mit der experimentellen Ausgestaltung hiefür.

Der hier beschriebene Versuch zum schiefen Wurf soll nun einen Beitrag zur Förderung der experimentellen Unterlagen für die vektorielle Methode leisten. Währenddem die Behandlung der vektoriellen Momentangeschwindigkeit noch verhältnismässig wenig Mühe macht, zeigen sich gewisse Schwierigkeiten in der Erfassung des Beschleunigungsvektors. Um diesen Begriff experimentell darzulegen, ist gerade der schiefe Wurf ein ausgezeichnetes Beispiel. Vektoriell gehört er zu den gleichförmig beschleunigten Bewegungen ebensogut wie der freie Fall. Aber es zeigt sich bei ihm in besonders augenfälliger Weise, wie trotz des scheinbar wechselvollen Verlaufes der Bewegung ein Element, der Beschleunigungsvektor, nach Richtung und Betrag konstant bleibt. So tritt dann auch der Zusammenhang mit der einzigen wirkenden Kraft, der Schwerkraft, klar zutage, und allen verschwommenen und irrümlichen Anschauungen über Zusammenwirken von Schwerkraft und Trägheit oder gar Schwerkraft und Wurfkraft ist jeder Zugang verwehrt. Noch mehr, man sieht an diesem Beispiel in vortrefflicher Weise, wie die Beschleunigung in wechselndem Masse eine schnelligkeitsändernde und eine richtungsändernde Komponente besitzt. Es lassen sich an diesem Beispiel geradezu die Begriffe der vektoriellen Momentangeschwindigkeit und Momentanbeschleunigung entwickeln.

II. Die Idee des Versuches.

Versuchstechnisch handelte es sich darum, die Wurfbewegung in eine Reihe kleiner, gleicher Zeitabschnitte, also kinematographisch zu zerlegen. Die Verfolgung dieses Gedankens führte mich darauf, ein Taschenlämpchen samt Batterie im verdunkelten Zimmer zu werfen und die Bewegung photographisch aufzunehmen. Da das Geschoss durch die mitgeführten Batterien eine beträchtliche Ausdehnung erhält, musste darauf gesehen werden, dass der Glühkörper

trockenelement (3) zu 1,5 Volt. In der mittleren, durch zwei Ebonitscheiben (4) gehaltenen Fassung sitzt ein Osramlämpchen 2,2 V; 0,2 A; Bestell-Nr. 3623. Der Stromweg geht einerseits durch das äussere Messingrohr, andererseits durch den Messingrahmen (5). Die Kontakte werden durch die Spannfedern (6) sichergestellt. Damit das Lämpchen im Rohr festsetze, liegen die beiden Ebonitplatten (4) in Führungsnuten der Rohrwand. Zum Oeffnen des Geschosses, z. B. zum Zwecke der Erneuerung der Batterie, trägt

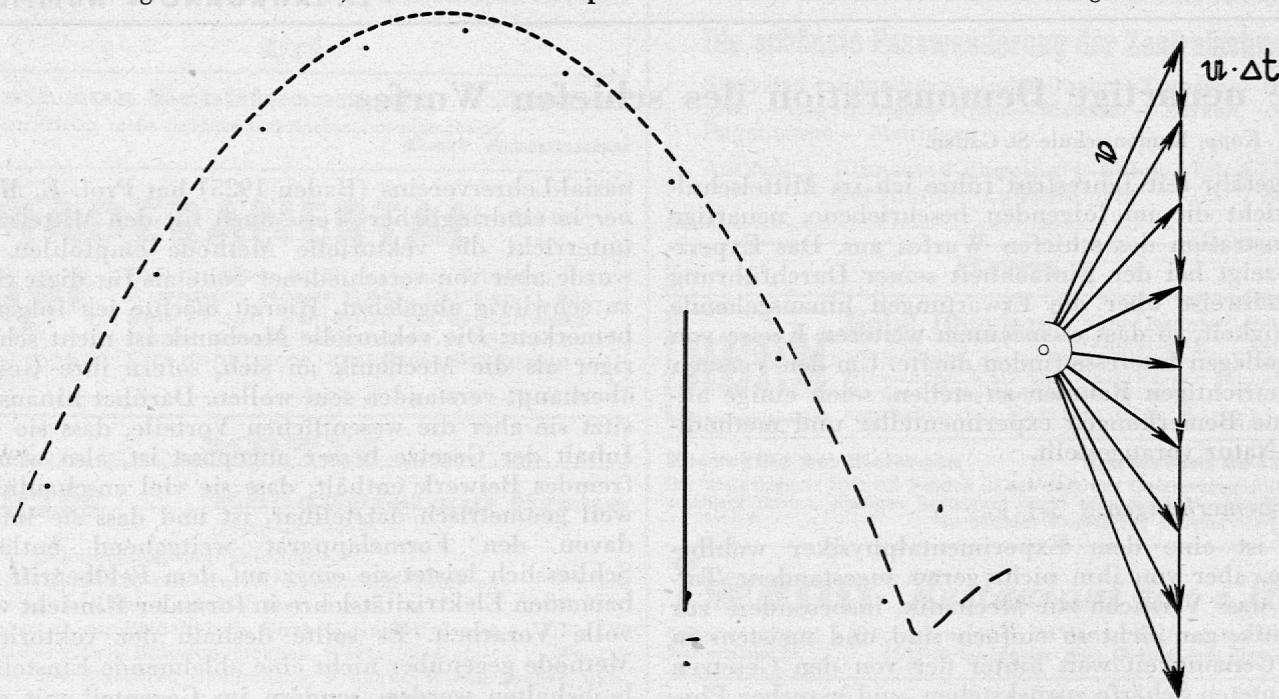


Fig. 1. Nicht retouchierte Aufnahme der Wurfbewegung und des freien Falles nebst Hodograph. Die markierten Intervalle sind im Hodograph in 10facher Vergrösserung eingetragen.

in dessen Schwerpunkt zu liegen kam. Deshalb wurde die Batterie auf zwei Trockenelemente vor und hinter dem Lämpchen verteilt. So erhielt das Geschoss die in Fig. 2 und 3 dargestellte Form. Um die beiden Teile mechanisch und elektrisch zu verbinden, mussten zwei mittlere Streifen des Zylindermantels bestehen bleiben, die den Lichtkegel teilweise verdecken. Dieser Umstand vereitelte anfänglich das Verfahren, die Wurfbewegung in gewohnter Weise durch eine vor den Photoapparat gesetzte rotierende Scheibe kinematographisch zu zerlegen, indem bei einer geringen Achsendrehung des Geschosses der Lichtkegel für einen Teil der Wurfbahn gegen den Photoapparat verdeckt wurde. Es zeigte sich aber, dass gerade durch diese zwei Verbindungstreifen ein vorzügliches und einfaches Mittel zur Zerlegung der Lichtspur geschaffen werden kann, wenn man dem Geschoss schon im Lauf einen gehörigen Drall verleiht. Dadurch wird der Lichtstrahl in regelmässiger, kurzzeitiger Weise in Richtung gegen den Photoapparat abgedeckt. Zudem erhält das Geschoss eine grössere Stabilität seiner Lage. Es führt nur noch schwache Präzessionsbewegungen aus, die für die Auswertung der Aufnahme belanglos sind.

III. Die Apparate.

Der Aufbau des Geschosses ist im einzelnen aus Fig. 2 zu ersehen. Es besteht aus einem Messingrohr (1) von 15 cm Länge, 24 mm Aussendurchmesser und 0,5 mm Wandstärke. Es wird durch zwei mit straffer Reibung eingeschobene Hülsen (2) verschlossen. Im Vorder- und Hinterteil befindet sich je ein Stab-

jede Deckelhaube (2) eine schlitzförmige Oeffnung (7), durch welche sie mittels eines Schlüssels ausgezogen werden kann. Um eine möglichst grosse Lichtstärke zu erreichen, ist das Lämpchen durch die etwas übersetzte Spannung absichtlich forciert. Damit dieser Zustand möglichst lange erhalten bleibe, lässt sich der Stromkreis bequem durch Aufsetzen einer weiteren Haube (8) öffnen, indem diese mit einem isolierten Knopf (9) durch den Schlitz der Haube (2) greift und den Kontakt des Stabelementes aufhebt. Am hinteren Ende des Geschossmantels sind zwei diametrale Warzen (10) angebracht, die in die Züge des Geschützrohres eingreifen.

Eine gewisse Sorgfalt erfordert die Zentrierung des Lämpchens im Geschoss, da sonst ungleichartige Intervalle oder eine schwach wellige Form der Bahn entstehen können. Eine durchaus befriedigende Zentrierung erhält man, wenn man das Geschoss in eine Drehbank oder ähnliche Vorrichtung einspannt und den Lichtfaden mittels einer Linse in ca. zehnfacher Vergrösserung auf einen Schirm projiziert. Man sucht dann eine solche Stellung des Lämpchens aus, bei welcher das Bild des Fadens während der Achsendrehung des Geschosses möglichst an Ort bleibt. Hierauf wird der Sockel mit etwas Wachs an der Fassung fixiert. Es ist auch vorteilhaft, den Glühkörper in der Richtung seiner Achse zu verwenden. Nicht alle Lämpchen haben einen genügend gut zentrierten Glühkörper. Es empfiehlt sich, aus einer grössern Serie geeignete Exemplare auszuwählen. Ein einmal zentriertes Lämpchen behält dann aber seine Lage für zahlreiche

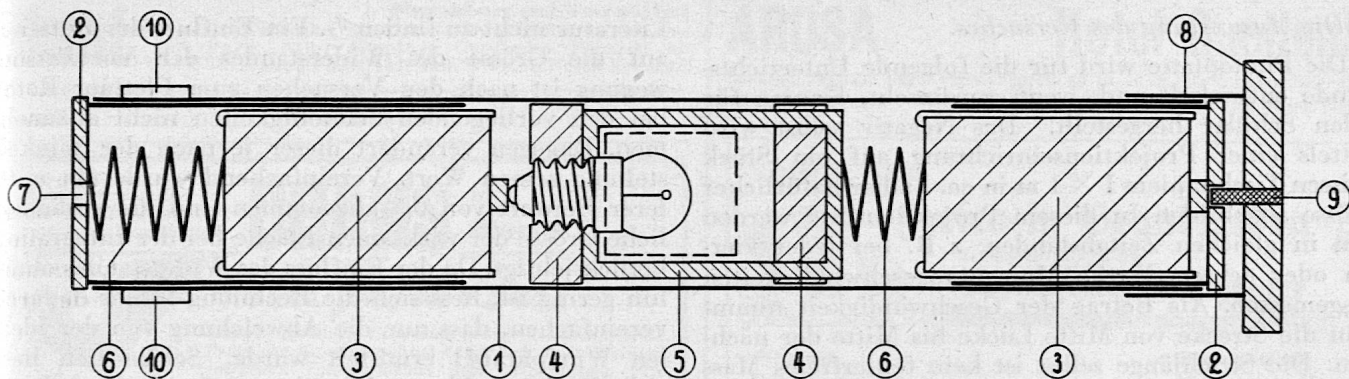


Fig. 2. Schnitt durch das Geschoss in natürlicher Grösse.

Versuche bei, besonders, wenn man das Geschoss auf ein weiches Kopfkissen auftreffen lässt.

Das Geschütz ist eine Federkanone. Das Rohr besteht aus zwei ineinandergeschobenen Mänteln von je 1,5 mm Wandstärke, deren innerer die Züge trägt. Seine Länge beträgt 26 cm, so dass es bei gespannter Feder das Geschoss ganz aufnimmt. Der Kolben mit Stange wird durch eine starke Stahlfeder gespannt. Eine Abzugsvorrichtung, wie sie Fig. 3 zeigt, ist bequem, aber nicht unbedingt erforderlich. Man könnte vermuten, dass die Konstruktion der Züge einen gewissen Aufwand werkbanktechnischer Art erfordere. Dies ist jedoch nicht der Fall. Da es beim vorliegenden Versuch nicht darauf ankommt, ein bestimmtes Ziel zu treffen, kann die Führung des Geschosses im Rohr und in den Zügen eine recht lockere sein. Man nimmt zuerst das innere Rohr für sich, zeichnet auf demselben etwa durch Anlegen eines Papierstreifens

zwei diametrale Schraubenlinien von einer Ganghöhe ungefähr gleich der Rohrlänge. Dann schneidet man zwei Schlitzstreifen entsprechend der Grösse der Warzen aus, wobei man jedoch am Anfang und Ende ein Stück ganz lässt. Das Geschoss soll in den Zügen leicht spielen. Nun fügt man das Rohr in den äusseren Mantel, lötet es am vordern Ende fest und schneidet das herausragende Ende ab, so dass der Eingang in die Züge frei wird. Das ganze Geschütz wird, wie Fig. 3 zeigt, mit Stativklammern in der gewünschten Elevation (zweckmässig ca. 60°) verklemmt und mit Schraubenzwingen am Experimentiertisch befestigt. Bei dem von mir konstruierten Geschütz ergab sich dann eine Wurfhöhe von ca. 1,2 m und eine Wurfweite von ca. 2,8 m (Tischlänge=3 m). An das andere Tischende legt man das Kopfkissen und bringt noch einige Rampen an, um ein Herunterfallen des Geschosses zu verhindern.

Der Photoapparat wird möglichst in der Mittelsenkrechten der Wurfbahnfläche im hinteren Teil des Schulzimmers aufgestellt (Distanz ca. 8 m). Im vorliegenden Fall wurde ein Zeiss-Doppelprotar 1 : 3,6, $f = 17$ cm, benützt. Die Wurfbahn lässt sich dann bequem auf einer Platte 9×12 aufnehmen und man erhält auf Agfa Isopan-F 17/10 Din eine hinreichende Schwärzung, sofern die Stabelemente noch nicht zu stark verbraucht sind. Fig. 1 zeigt die nicht retouchierte Kopie einer solchen Aufnahme.

IV. Die Ausführung des Versuches.

Nachdem die Apparatur in der oben beschriebenen Weise aufgebaut ist, besteht die Ausführung des Versuches in folgenden einfachen Handgriffen:

1. Verdunkeln des Zimmers auf künstliche Beleuchtung.
2. Einschalten des Lämpchenstromes.
3. Spannen der Geschützfeder.
4. Einführen des Geschosses in die Kanone.
5. Auslöschen der Zimmerbeleuchtung.
6. Öffnen des Photoverschlusses (durch Gehilfen).
7. Abfeuern des Geschosses.
8. Schliessen des Verschlusses (durch Gehilfen).
9. Aufnehmen des Geschosses und Unterbrechen des Lämpchenstromes.

Es ist zweckmässig, auf derselben Platte noch den freien Fall aufzunehmen, um die Vertikalrichtung festzuhalten. Hiezu ist nötig:

10. Man hält das Geschoss in die Höhe, indem man das brennende Lämpchen mit der Hand gegen den Photoapparat hin verdeckt.
11. Öffnen des Photoverschlusses (durch Gehilfen).
12. Fallenlassen des Geschosses auf das Kissen.
13. Schliessen des Verschlusses (durch Gehilfen).

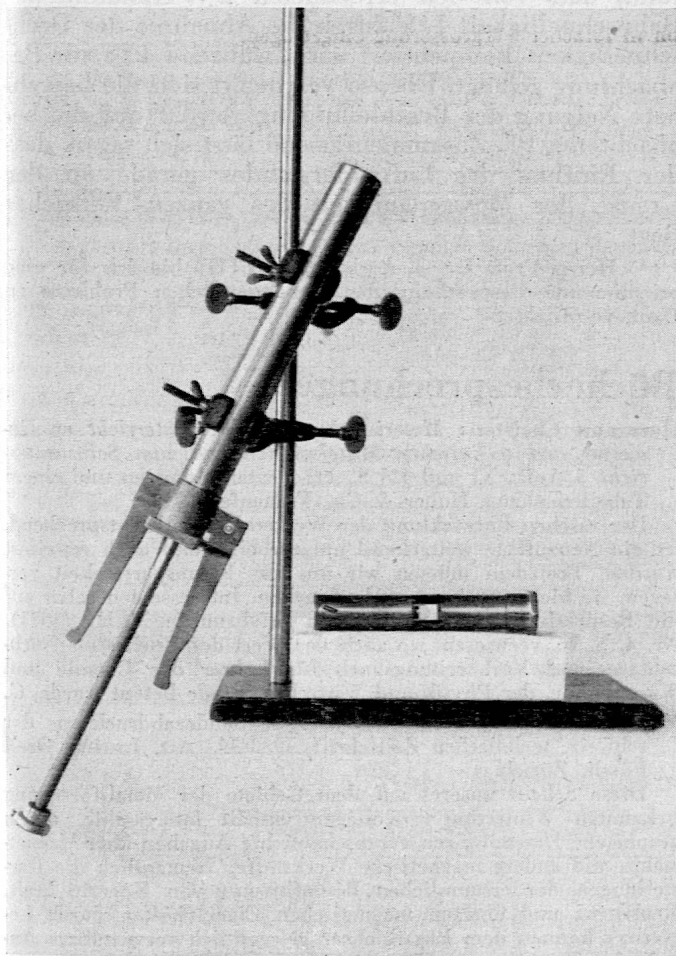


Fig. 3. Gespannte Federkanone und Geschoss.

V. Die Auswertung des Versuches.

Die Photoplatte wird für die folgende Unterrichtsstunde entwickelt und, wenn gewünscht, Kopien für jeden Schüler hergestellt. Das Negativ selbst wird mittels einer Projektionseinrichtung auf ein Stück weissen Tischpapiers 1×1 m in ca. halber natürlicher Grösse abgebildet. In diesem Projektionsbild werden nun in gleichen Zeitabständen, z. B. bei jeder vierten oder achten Marke Momentangeschwindigkeiten ausgemessen. Als Betrag der Geschwindigkeit nimmt man die Strecke von Mitte Lücke bis Mitte der nächsten. Die Strichlänge selbst ist kein fehlerfreies Mass für v , denn bei der geringeren Schnelligkeit gegen den Scheitelpunkt hin wird infolge der Lichthofwirkung die Strichlänge etwas zu gross. Die Intervallmitten sind jedoch von diesem Fehler frei. Die Strecken werden möglichst auf $\frac{1}{4}$ mm genau bestimmt. Die Richtung der Geschwindigkeitsvektoren lässt sich durch Anlegen eines Lineals von der konvexen Seite her abtasten, indem man auch benachbarte Teile der Kurve zu Hilfe nimmt. Nun lässt sich die Hodographenbewegung zeichnen (Fig. 1). — An Stelle der Hamiltonschen Bezeichnung «Hodograph» verwende ich im Unterricht den Ausdruck «Geschwindigkeitsbewegung». — Zu jeder Körperbewegung gehört dann strengläufig eine bestimmte Geschwindigkeitsbewegung. — Man trägt die Geschwindigkeitsvektoren von einem Punkt aus in 10facher Vergrösserung ab. Als Resultat müssen die Pfeilspitzen in gleichen Abständen auf einer Geraden liegen, die zur Fallgeraden parallel verläuft. Damit ist bewiesen, dass der Wurf eine nach Richtung und Betrag konstante Beschleunigung besitzt, die die Richtung der Fallbeschleunigung hat.

Erhält jeder Schüler eine Kopie in sein Heft, so kann er die Geschwindigkeitsbewegung selbst konstruieren, indem er in der Kopie die Tangenten anlegt und die aus der projizierten Figur gemessenen Beträge in geeignetem Maßstab übernimmt. Für eine direkte Messung der Beträge ist die Kopie zu klein und zu ungenau (Papierverzerrung).

VI. Die Genauigkeit des Versuches.

Die Genauigkeit ist eine über Erwarten gute. In den bis jetzt ausgemessenen 8 Versuchen betragen die mittleren Fehler der Geschwindigkeiten im Hodograph 0,6 % bis 0,9 %, die maximalen Abweichungen 1,2 % bis 2,0 %. Dies entspricht einem maximalen Fehler von ca. 0,02 mm auf der Platte und ca. 1,0 mm in Wirklichkeit. Die mittlere Abweichung der Beschleunigungsrichtung von der Fallgeraden beträgt 10 Winkelminuten und zwar im Sinne einer Abnahme der Geschwindigkeiten im absteigenden Ast von ca. 1 %, also im Sinne der Einwirkung des Luftwiderstandes.

Dies führte mich dazu, die Frage nach der Grösse des Luftwiderstandes näher zu verfolgen. Seine Wirkung ist in der Hauptsache eine doppelte, nämlich eine Veränderung der Flugbewegung als Ganzes (Bewegung des Schwerpunktes) und eine Verminderung des Dralles. Letztere täuscht eine Vergrösserung der Bahngeschwindigkeit vor. Die Berechnung des Luftwiderstandes ist nicht einfach, da es sich um einen rotierenden Zylinder mit veränderlicher Achsenstellung gegen die Luftströmung handelt. Zuverlässige Widerstandskoeffizienten sind für diesen Fall in der

Literatur nicht zu finden¹⁾. Ein Einfluss der Rotation auf die Grösse des Widerstandes der Vorwärtsbewegung ist nach den Versuchen zum Flettner Rotor bei den vorliegenden Schnelligkeiten nicht anzunehmen. Dagegen verändert dieser je nach der Winkelstellung seinen Wert. Vereinfachend wurde ein mittlerer Beiwert von 0,5 angenommen und die veränderliche Grösse der wirksamen Fläche bei der Integration berücksichtigt. Da der Einfluss des Widerstandes ohnehin gering ist, liess sich die Rechnung ferner dadurch vereinfachen, dass nur die Abweichung von der idealen Wurfparabel ermittelt wurde. Schliesslich liess sich die immerhin noch mühsame Integration durch ein Näherungsverfahren ersetzen. Als Resultat ergab sich eine Abnahme der Endschnelligkeit von 2 % und eine mittlere Neigung der Beschleunigung von 20' gegen die Fallrichtung. Die Wurfweite ist um ca. 2 cm zu kurz und der Punkt mit der gleichen Bahnneigung wie v_0 liegt um 3,7 cm höher. In Fig. 1 sind diese Masse ca. 25 mal kleiner, also kaum bemerkbar.

Ueber die Abnahme der Drehgeschwindigkeit suchte ich auf experimentelle Weise Kenntnis zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurden mehrere Wurfbewegungen durch einen vor den Photoapparat gesetzten rotierenden Sektor nochmals kinematographisch zerlegt. Als Antrieb für den Sektor diente ein $\frac{1}{4}$ -PS-Asynchronmotor, dessen Gang mittels eines Kathodenstrahl-Oszillographen gegenüber einer elektromagnetisch betriebenen Stimmgabel überwacht wurde. Man erhält für die ganze Wurfedauer (ca. 1 sec) eine Abnahme der Drehgeschwindigkeit von 1 % mit Abweichung von ± 3 ‰. Daraus ergibt sich in Uebereinstimmung der Rechnung mit dem experimentellen Befund, dass von den errechneten 2 % Abnahme der Bahnschnelligkeit 1 % durch die Abnahme der Drehgeschwindigkeit kompensiert wird, während 1 % zur Beobachtung gelangt. Ebenso verringert sich die berechnete Neigung der Beschleunigung von 20' auf die beobachteten 10'. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Einfluss des Luftwiderstandes gerade an der Grenze der Messgenauigkeit des ganzen Versuches liegt.

¹⁾ Herrn Prof. Dr. J. Ackeret (ETH) bin ich für eine orientierende Besprechung der aerodynamischen Probleme zu Dank verpflichtet.

Bücherbesprechungen

Hermann Christen: *Materiallehre für den Unterricht an Gewerbe- und technischen Mittelschulen und zum Selbstunterricht*. 3. Aufl., XI und 425 S., 111 Textabbildungen und einem Tabellenanhang. Huber & Co., Frauenfeld, 1942.

Der raschen Entwicklung der Werkstofftechnik entsprechend, ist die Neuauflage weitgehend umgearbeitet und auch erweitert worden. Trotzdem müssen wir uns aus Raumsparsamkeit versagen, sie hier eingehend zu besprechen. Interessenten seien auf die Besprechung der 2. Auflage in *Erfahrungen XVIII* (1933), Nr. 4, S. 16, verwiesen, wo auch der Wert des Buches als Nachschlage- und Vorbereitungsbuch für Lehrer der Chemie und Warenkunde, der Physik und Wirtschaftskunde betont wurde. G. M. Christen: *Magnetische Werkstoffe*. Sonderabdruck aus der schweiz. technischen Zeitschrift, 1938/39. Art. Institut Orell Füssli, Zürich.

Diese Schrift unseres auf dem Gebiete der Metallforschung bekannten Winterthurer Kollegen enthält interessante, durch graphische Darstellungen veranschaulichte Angaben über Magnetstähle und andere magnetische Werkstoffe. Namentlich die Darstellungen der erstaunlichen Beeinflussung von Koerzitivkraft, Remanenz und übrigen magnetischen Eigenschaften durch Legierung können dem Physiklehrer gelegentlich verwendbare Angaben liefern. G.