

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

H. Lamprecht, J. Miericke

Der "Affenschuß" - Ein überraschendes Experiment zum waagrechten Wurf

1 Einleitung

Das im folgenden beschriebene Experiment, der Affenschuß, ist uns aus einer Physikvorlesung für Anfänger von Prof. Dr. Max Scheer an der Universität Würzburg [1] bekannt. Es ist z.B. auch als Beispiel zum schiefen Wurf im Buch von J. Orear [2, S. 46] erwähnt. Dort wird das Problem so geschildert: *Ein Affe lasse sich genau in dem Moment vom Baum fallen, in dem eine Kugel auf ihn abgefeuert wird. Unter welchem Winkel muß das Gewehr abgeschossen werden, damit die Kugel den Affen im freien Fall trifft?* In der Vorlesung wurde dieses Problem experimentell gelöst, indem ein Plüsch-Affe mit einer Druckluftkanone abgeschossen wurde. Dazu waren folgende Schritte notwendig: Die Kanone wurde mit Hilfe eines Lasers genau auf den Affen ausgerichtet, der an einem Elektromagneten von der Decke hing. Sobald die Stahlkugel aus der Kanone austrat, wurde mittels einer Lichtschranke der Elektromagnet ausgeschaltet, so daß der Affe frei fiel, bis er schließlich doch von der Kugel getroffen wurde.

Dieses Experiment ist so überraschend und beeindruckend, daß es auch in der Schule durchgeführt werden sollte. Allerdings ist der technische Aufwand dieses Vorlesungsexperimentes für die Schule zu groß. Im folgenden wird gezeigt, wie man es im Physikunterricht dennoch mit schulüblichen Mitteln nachvollziehen kann. Hierbei beschränkten wir uns auf den waagrechten Abschluß (waagrechtlicher Wurf [3]), wie in Abb. 1 gezeigt ist. Geschossen wird in unserer Anordnung mit einem Blasrohr. Der Affe hängt an einer Schnur, die beim Abschluß durch die Kugel gelöst wird. Näheres zum Aufbau ist im Abschnitt 3 zu finden.

2 Fachdidaktische Überlegungen

2.1 Der waagrechte Wurf

“Im Physikunterricht der Oberstufe werden die in der Mittelstufe vorwiegend phänomenologisch und qualitativ behandelten Stoffgebiete wieder aufgegriffen und unter verstärkter Einbeziehung der Mathematik quantitativ erfaßt” [3].

In der 11. Jahrgangsstufe steht daher z.B. in der Mechanik beim Thema “geradlinige Bewegungen” die mathematische Beschreibung bereits bekannter Bewegungsvorgänge im Vordergrund. Verblüffende und motivierende Experimente sind selten anzutreffen, so daß der Affenschuß eine wertvolle Bereicherung für den Unterricht darstellt.

Die Behandlung des waagrechten Wurfs setzt die Kenntnis der in einer Dimension ablaufenden Bewegungen voraus (gleichförmige und beschleunigte Bewegung zusammen mit dem freien Fall).



Abb. 1: Foto der Versuchsanordnung

2.2 Lernziele

Folgende Lernziele können mit dem Thema erreicht werden:

- Interesse für Physik wecken durch die Beobachtung eines verblüffenden Vorganges
- Anregung zu konkreten physikalischen Fragen
- Förderung der Fähigkeit, ein physikalisches Problem zu mathematisieren
- Erkennen der Vorteile von Videoaufnahmen
- Kenntnis der Bewegungsgleichungen für den waagrechten Wurf
- Ermittlung der Bahnkurve beim waagrechten Wurf
- Überblick über die Abhängigkeit der Bahnkurve von der Anfangsgeschwindigkeit
- Einsicht in die Unabhängigkeit von Bewegungen

2.3 Methodische Überlegungen

Da der Affenschuß zu schnell abläuft, um mit den Augen verfolgt werden zu können, werden zur Analyse der Bewegung Videoaufnahmen verwendet, so daß die Bewegung der Kugel und die des fallenden Affen bei der Vorführung in kleine, aufeinander folgende Zeitabschnitte zerlegt werden kann (Einzelbildschaltung). Die Einführung dieser Technik bereitet keine zusätzlichen Schwierigkeiten, da sie Schülern aus Fernsehsendungen (z.B. Sportübertragungen) vertraut ist.

Auf eine direkte Aufzeichnung und Auswertung des in der Schulstunde durchgeführten Versuches wird verzichtet, da eine für die quantitative Auswertung geeignete Aufnahme nur bei entsprechender Beleuchtung und sorgfältiger Auswahl der Versuchsparameter zu erhalten ist. Da z.B. die Austrittsgeschwindigkeit der Kugel nicht reproduzierbar einstellbar ist, wurde das Experiment mehrmals unter unterschiedlichen Bedingungen aufgenommen, so daß eine für die Auswertung durch die Schüler geeignete Aufnahme ausgewählt werden konnte.

3 Versuchsaufbau

3.1 Benötigtes Material:

- Papprohr ca. 30 cm lang, Durchmesser ca. 10mm
- Holzkugel (Durchmesser passend zu dem des Rohrs)
- Stecknadel und Faden
- Kombizange
- Draht, Nägel zur Befestigung des Blasrohres.
- Klappleiter
- Kartenständer
- Schraubzwinge
- Stativmaterial (1 Tischklemme, 2 Muffen, 1 lange und 2 kurze Stangen)
- Plüsch-Affe

3.2 Versuchsaufbau

Das Kernstück des Experimentes bildet das Blasrohr mit dem Auslösemechanismus. Das Rohr wird auf einem Brett so fixiert, daß das eine Ende (1) mit der Brettkante abschließt und das andere (2) übersteht, damit man frei blasen kann. Unterhalb des Rohrendes (1) wird eine Stecknadel in das Brett gesteckt, die dann soweit gekürzt wird, daß sie noch etwa 2 mm herausschaut und die Fadenschlinge gerade noch aufnehmen kann. Je knapper die Schlinge gehalten wird, desto leichter erfolgt die Auslösung durch die herausgeblasene Kugel und umso weniger wird die Bahn der Kugel durch den Faden beeinflusst.

Mit dem in jeder Physiksammlung vorhandenen Stativmaterial läßt sich ein geeigneter Aufbau zusammenstellen. Wir verwendeten zusätzlich noch einen Kartenständer und eine Leiter. Der Gesamtaufbau ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. Die notwendige Justierung der Anordnung wird durch eine Verschiebung bzw. einer Höhenverstellung des Kartenständers erreicht. Es ist besonders bei großen Schußweiten wichtig, die Mitte des Affen genau anzupeilen, da sonst die Kugel am Affen seitlich vorbeifliegen kann. Aus diesem Grund wurde auch im Unterricht ein relativ großer Affe (Länge ca. 40cm, Breite ca. 10cm) verwendet, um auch bei einer Entfernung von 4m noch sicher zu treffen. Je größer die Entfernung ist, desto eindrucksvoller wirkt der Treffer auf den Beobachter.

Wird der Affe nur an einem Faden aufgehängt, so muß man damit rechnen, daß er sich zu drehen beginnt. Dies läßt sich vermeiden, wenn der Affe an zwei

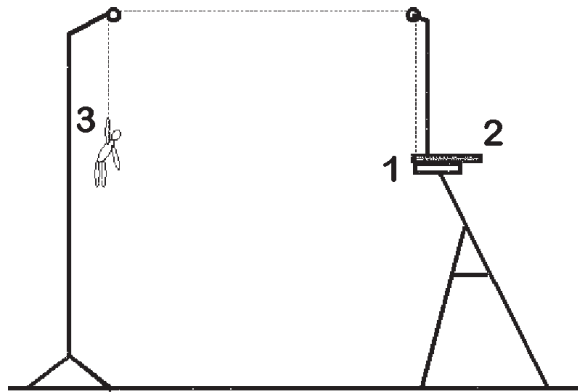


Abb. 2 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Fäden (bifilar) aufgehängt wird; den Faden führt man dann doppelt zur Stecknadelspitze.

Um eine auswertbare Videoaufnahme zu erhalten, wurden folgende Ergänzungen des Aufbaus vorgenommen:

- Abstand Affe - Blasrohr etwa 1,5m
- kleinerer Affe
- Hintergrund: Bettlaken,
- Koordinatensystem: senkrecht hängende Schnüre, die im Abstand von 20 cm an das Bettlaken geheftet und am Ende mit Gewichtstücken beschwert waren.

Beim Aufbau für die Videoaufnahme muß besonders darauf geachtet werden, daß das Blasrohr waagrecht justiert wird, damit die Bedingungen für den waagrecht Wurf erfüllt sind.

4 Unterrichtsablauf

In diesem Abschnitt wird der Ablauf einer erprobten Unterrichtsstunde zum Thema "waagrecht Wurf" unter Einbeziehung des Affenschusses dargestellt.

4.1 Einstieg

Zu Beginn der Stunde wird den Schülern kurz die Geschichte der Affen von Gibraltar vorgestellt (nach Paul Gallico [4]):

Scruffy, aus der Familie der schwanzlosen Berberaffen, lebt mit seiner Herde auf den Felsen von Gibraltar. Eine alte Überlieferung besagt, daß England Gibraltar verlieren wird, sobald der letzte Berberaffe verschwunden ist, also muß die Royal Army nach Kriegsausbruch alles tun, um sie am Leben zu halten. Die Herde steht unter der Obhut der königlichen Armee des Stützpunktes, aber sie schrumpft zusammen, bis Scruffy, der Leitaffe, fast nichts mehr zu leiten hat.

Die spanische Armee setzte nun alles daran, auch noch den letzten Affen zu erschließen, um die Moral der englischen Bevölkerung zu erschüttern und die Insel zurückzugewinnen.

Der letzte noch lebende Affe soll also mit Hilfe eines Blasrohres erlegt werden. Hier setzt die Diskussion mit den Schülern ein. Wie soll sich der Affe verhalten, sobald er sieht, daß mit dem Blasrohr auf ihn gezielt wird? Die erste Reaktion der Schüler ist, daß sie sich mit dem Affen solidarisieren und Vorschläge machen, wie er sich verhalten solle, um zu überleben. Sehr schnell werden die Alternativen "Sitzenbleiben" oder "Fallenlassen" genannt. Die Mehrheit der Schüler entscheidet sich für "Fallenlassen".

Damit ist das Thema der Stunde "Der Affenschuß" gefunden. Das Thema wird notiert und der gewählte Versuchsaufbau erklärt. Vor dem Start des Experiments werden die Schüler darauf hingewiesen, vor allem auf den Affen zu achten.

4.2 Problemstellung

Obwohl der Schuß sehr schnell erfolgt, erkennen die Schüler deutlich, daß der Affe getroffen wird. Die Schüler äußern nun ihre Beobachtungen und Vermutungen zur Flugbahn der Kugel. Die Schüleräußerungen werden auf einer vorbereiteten Folie gesammelt. Es wird die vermutete Bahnkurve eingezeichnet. Hieraus entwickelt sich die Frage, wie diese Bahn mathematisch beschrieben werden kann?

Die Schüler sind bereits damit vertraut, daß zur Beschreibung von Bewegungsabläufen zuerst ein Bezugssystem festzulegen ist. Das geeignete Koordinatensystem wird auf der Folie eingezeichnet und erneut wird die Frage gestellt, wie die Bewegung von Affe und Kugel im gewählten Koordinatensystem beschrieben werden kann. Um den Schülern zu helfen, wird der Bewegungsvorgang mit den vorbereiteten Zeitlupenaufnahmen im Detail vorgeführt und ausgewertet.

4.3 Videoanalyse

Zur Analyse der Videoaufnahme empfiehlt es sich, eine Aufnahme mehrmals in Zeitlupe und in Einzelbildern hintereinander auf ein Band zu kopieren, damit das zeitaufwendige Zurückspulen entfällt. Die Zeit wird durch die Folge der Einzelbilder festgelegt.

Abb. 3 zeigt vier Momentaufnahmen der Videosequenz, die direkt vom Fernsehgerät abfotografiert wurden. Die Bilder wurden für diese Darstellung am Computer nachbearbeitet, damit die wesentlichen Details (Kugel und Affe) in der Abbildung besser sichtbar sind. Die Wirkung der im Unterricht gezeigten Videosequenzen können die Fotos jedoch bei weitem nicht erreichen. Man erkennt, daß sich Affe und Kugel zu jedem abgebildeten Zeitpunkt auf gleicher Höhe befinden. In horizontaler Richtung benötigt die Kugel von Linie zu Linie jeweils die gleiche Zeit (drei Einzelbilder), sie legt also in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurück. Diese Beobachtung, die sich erst in den Zeitlupenbildern offenbart, werden auf der Folie festgehalten.

4.4 Mathematische Analyse

Anhand der aus den Videobildern folgenden Informationen können die Schüler folgern, daß in horizontaler Richtung die Kugel eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit durchführt und in vertikaler Richtung der Affe sowie die Kugel dem freien Fall unterliegen. Die Bewegungsgleichungen für die x- und y-Richtung sind bereits bekannt und werden auf dem Arbeitsblatt eingetragen.

Aus beiden Bewegungsgleichungen wird durch Elimination der Zeit die Bahnkurve der Kugel bestimmt:

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2$$

Anhand der Funktionsgleichung können die Schüler erkennen, daß sich die Kugel auf einer parabelförmigen Bahnkurve bewegt.

4.5 Ergebnisse und Vertiefung

Wie hängt die Form der Parabel von der Anfangsgeschwindigkeit v_0 ab? Wo wird der Affe getroffen, wenn die Anfangsgeschwindigkeit höher bzw. niedriger ist? Was geschieht, wenn die Kugel sehr langsam austritt?

Diese Fragen werden mit den Schülern diskutiert und die Ergebnisse mit weiteren Videobeispielen und einer Folie mit den Bahnkurven für verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten bestätigt.

Die Schüler fassen die Ergebnisse zusammen:

Der waagrechte Wurf setzt sich aus zwei unabhängigen Bewegungen zusammen. Der freie Fall der Kugel wird durch die Bewegung in horizontaler Richtung nicht beeinflußt.

Der Affe wird also immer von der Kugel getroffen, vorausgesetzt, das Blasrohr ist richtig justiert.

Die Ergebnisse werden nun bei einigen Aufgaben angewendet.

1. Beim Affenschuß beträgt die Entfernung zwischen Affe und Blasrohr 6m. Der Affe hängt in 2m Höhe.
 - a) Wie groß ist die Anfangsgeschwindigkeit v_0 der Kugel in horizontaler Richtung, wenn der Affe 1,5m über dem Boden getroffen wird?
 - b) Wie groß muß die Anfangsgeschwindigkeit v_0 mindestens sein, damit der Affe vor dem Auftreffen auf dem Boden getroffen wird?
2. Die maximale Austrittsgeschwindigkeit der Kugel beträgt 30 m/s. Ab welcher Entfernung wird der Affe, bei einer Höhe von 3m, nicht mehr getroffen?
3. Im neuen Freibad soll sich die Absprungkante des 10m-Turms genau über dem Beckenrand befinden. Wie lang muß das Sprungbecken aus Sicherheitsgründen mindestens sein, wenn man davon ausgeht, daß ein Mensch maximal die Geschwindigkeit 10 m/s erreichen kann ?

Am Stundenende wird der Affenschuß noch einmal live durch einen Schüler durchgeführt. So wird verdeutlicht, daß beim Experiment zu Beginn der Stunde nicht “getrickst” worden war. Außerdem wird die anfangs von den Schülern geäußerte Meinung zur Überlebensstrategie des Affen noch einmal aufgegriffen und diskutiert, wieso sie die falsche Strategie für den Affen gewählt hatten. Interessant ist auch den Realitätsbezug herzustellen, indem man z.B. die Mündungsgeschwindigkeit eines Gewehres angibt und abschätzen läßt, ob der Affe eigentlich genügend Zeit hat, diese Strategieüberlegungen durchzuführen.

5 Literatur

- [1] Vorlesung WS 87 “Einführung in die Experimentalphysik I” Prof. Max Scheer, Universität Würzburg
- [2] J. Orear, Physik, Hanser Verlag, München 1982
- [3] Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, Sondernummer 9, Lehrplan für das bayerische Gymnasium, Fachlehrplan Physik, 1991 (S. 1284 ff)
- [4] Paul Gallico, “Die Affen von Gibraltar”, *rororo* 1994

Abb. 3: Videoaufzeichnung des Affenschusses. Die gezeigten Bilder sind nach dem Ablauf von 6, 12, 18, und 21 Einzelbildern erhalten.

