Zentrum für schulpraktische Lehrerausbildung Leverkusen
Seminar für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen
Brückenstr. 10-12 — 51379 Leverkusen

Unterrichtsentwurf für den 5. Unterrichtsbesuch im Fach Physik

Studienreferendar:	Dr. Daniel J. Wieczorek
Ausbildungsschule:	Freiherr-vom-Stein-Gymnasium Leverkusen
Datum:	Dienstag, 22.11.2016
Zeit:	6. Stunde (12:50-13:35 Uhr)
Lerngruppe:	EF (x Schülerinnen, y Schüler)
Unterricht seit:	24.08.2016
Raum:	
Fachseminarleiter:	
Kernseminarleiterin:	
Ausbildungsbeauftragter:	
Schulleiter:	
Fachlehrer:	

Thema der Unterrichtsreihe:	Fall- und Wurfbewegungen
Thema der heutigen Stunde:	Welcher Turmspringer ist zuerst unten? Qualitative Behandlung des waagerechten Wurfs im Schülerversuch und durch Analyse eines Stroboskopbilds.
Hausaufgabe zur heutigen Stunde:	keine
eingeführtes Physikbuch:	Dorn Bader Physik 11

Inhaltsverzeichnis

1 Aufbau des Unterrichtsvorhabens

Datum	**Thema**	**Lernziel**
10.11.2016	Der freie Fall als gleichmäßig beschleunigte Bewegung im Schülerexperiment	Charakteristika des freien Falls nennen können, ein Experiment zur quantitativen Untersuchung des freien Falls beschreiben, durchführen und auswerten können
15.11.2016	Wie hoch fliegt ein senkrecht hochgeworfener Ball? Vorhersage der t-s- und t-v-Diagramme des senkrechten Wurfs und Analyse eines Stroboskopbilds mit einer Tabellenkalkulation	ein Stroboskopbild mit einer Tabellenkalkulation analysieren können, t-s- und t-v-Diagramme für den senkrechten Wurf skizzieren können
17.11.2016	Wie hoch fliegt ein senkrecht hochgeworfener Ball II? Herleiten, einüben und anwenden der Formeln zur Steighöhe und Steigzeit (+Leistungsmitteilung im Bereich sonstige Mitarbeit)	t-s- und t-v-Gesetz des senkrechten Wurf nennen und daraus die Formeln für die Steigzeit und Steighöhe herleiten und anwenden können
22.11.2016	**Welcher Turmspringer ist zuerst unten? Qualitative Behandlung des waagerechten Wurfs im Schülerversuch und durch Analyse eines Stroboskopbilds.**	Versuch zur Vertikalbewegung beschreiben und durchführen können, den waagerechten Wurf als Überlagerung beschreiben können
24.11.2016	Welche Form hat die Bahnkurve des waagerechten Wurfs?	Horizontal- und Vertikalbewegung kinematisch beschreiben, daraus die Bahnkurve herleiten und anwenden können
29.11.2016	Warum kann der waagerechte Wurf auch wie ein freier Fall aussehen?	den Begriff Bezugssystem erläutern und zur Erklärung der Gemeinsamkeiten zwischen freiem Fall und waagerechtem Wurf anwenden können

2 Lernziele und Kompetenzen

Durch das gewählte Lernarrangement soll als Stundenziel erreicht werden, dass die Schülerinnen und Schüler[1]

- einen Versuch beschreiben und durchführen können, der demonstriert, dass die Vertikalbewegung bei Vernachlässigung des Luftwiderstands dem freien Fall entspricht,
- den waagerechten Wurf als Überlagerung einer gleichmäßig beschleunigten Vertikal- und einer geradlinig-gleichförmigen Horizontalbewegung beschreiben können.

3 Didaktisch-methodische Überlegungen

3.1 Sachanalyse

Ein Körper der Masse m erfährt durch eine Kraft $\vec{F}$, die vom Ort des Körpers, der Momentangeschwindigkeit und der Zeit abhängen kann, eine zu $\vec{F}$ parallele Momentanbeschleunigung $\vec{a}$ gemäß der Grundgleichung der Mechanik $\vec{F} = m\vec{a}$. Für den Fall eines konstanten Kraftfelds kann diese Differentialgleichung durch Integration sofort gelöst werden: Der Schwerpunkt des Körpers bewegt sich auf der Kurve $\gamma(t) = \frac{\vec{F}}{2m}t^2 + \vec{v}_0 t + p_0$, wobei p_0 der Ort zum Zeitpunkt $t = 0$ ist und $\vec{v}_0$ die Anfangsgeschwindigkeit. Die Momentangeschwindigkeit erhält man durch Ableiten: $\dot{\gamma}(t) = \frac{\vec{F}}{m}t + \vec{v}_0$. Insbesondere folgt, dass die Projektion von $\vec{v}_0$ auf das orthogonale Komplement von $\vec{F}$ konstant ist. Ein Beispiel für eine derartige Bewegung ist der schräge Wurf ohne Luftreibung im homogenen Gravitationsfeld. Zur Beschreibung in Koordinaten wählt man eine Basis, in der $\vec{F}$ antiparallel zu $\vec{e}_y$ ist: $\vec{F} = -mg\vec{e}_y$. $\vec{e}_x$ wird so gewählt, dass die Anfangsgeschwindigkeit als Linearkombination aus $\vec{e}_x$ und $\vec{e}_y$ dargestellt werden kann: $\vec{v}_0 = v_{0,x}\vec{e}_x + v_{0,y}\vec{e}_y$. Man erhält durch Einsetzen der Bahnkurve des Schwerpunkts in die Koordinatenfunktionen

$$x(\gamma(t)) = v_{0,x}t + x_0 \ , \qquad y(\gamma(t)) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0,y}t + y_0 \ .$$

Meistens schreibt man etwas nachlässig[2] $x(t) \equiv x(\gamma(t))$, $y(t) \equiv y(\gamma(t))$. Das Ergebnis dieser Basiswahl wird in der Schulphysik häufig "Überlagerungsprinzip" genannt[3]; diese Bezeichnung ist

[1] Im folgenden Text wird zur besseren Lesbarkeit nur die Formulierung "Schüler" verwendet; es sind jedoch stets sämtliche Geschlechter gemeint.

[2] Diese Einschätzung ist keineswegs sarkastisch gemeint, da auch Studenten häufig nicht erklären können, was $\dot{x}$ bedeuten soll. Natürlich kann man Koordinaten nicht nach der Zeit ableiten, sondern nur die Abbildung "Zeitpunkt $t \mapsto x$-Koordinate des Punkts auf der Bahnkurve zum Zeitpunkt t". Dass es sich bei der gewissenhaften Notation nicht um unnötigen Luxus handelt, zeigen auch zahlreiche Probleme bei Rechnungen in anderen Koordinatensystemen, der Thermodynamik oder in der Variationsrechnung, wo man sich (zu Recht) fragen kann, was es bedeuten solle, eine "Funktion nach einer Kurve abzuleiten". Dieses Problem wird in der Folgestunde ggf. akut werden, da leistungsstarke Schüler sich bei der Herleitung der Bahnkurve (ebenfalls zu Recht) fragen, was denn nun der Unterschied zwischen dem durch Einsetzen entstehenden Ausdruck $y\left(\frac{x}{v_0}\right) = -\frac{g}{2v_0^2}x^2$ und $y(x) = -\frac{g}{2v_0^2}x^2$ sei. Mit der üblichen Sichtweise aus dem Mathematikunterricht ist diese Notation jedenfalls kaum kompatibel, da die zweite Funktion nun die andere Frage "welche y-Koordinate hat ein Punkt auf der Bahnkurve, der eine vorgegebene x-Koordinate hat" beantwortet. Dies sind offenbar ganz verschiedene Funktionen, die trotzdem innerhalb eines Gedankengangs beide als $y(\cdot)$ benannt werden.

[3] Der Autor sieht allerdings semantische Probleme bei der Vorstellung, dass sich beim Wurf zwei Bewegungen "überlagern": Es gibt schließlich nur *ein* fallendes Objekt, das *genau einen* momentanen Bewegungszustand hat.

mit der Vorstellung verbunden, dass eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit einer dazu orthogonalen geradlinig-gleichförmigen Bewegung überlagert wird. Die geplante Stunde befasst sich mit dem Spezialfall $v_{0,y} = 0$, der "waagerechter Wurf" genannt wird. Die gewählte Basis wird auch im Unterricht verwendet, da andererseits das Vorzeichen des quadratischen Summanden nicht mit dem visuellen Eindruck einer nach unten geöffneten Parabel als Bahnkurve übereinstimmt.

3.2 Lernvorausetzungen

Zum Erreichen der Lernziele müssen die Schüler

- die Eigenschaften gleichförmiger Bewegung nennen können, insbesondere, dass in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurückgelegt werden,
- den freien Fall als gleichmäßig beschleunigte Bewegung beschreiben können.

Der Autor unterrichtet den Kurs seit Beginn des Schuljahres gemeinsam mit dem neuen Schulleiter im Team, wobei der Autor bislang den Unterricht zum Gewinn weiterer Praxis weitgehend selbstständig vorbereitet und durchgeführt hat. Die Kursteilnehmer zeigen größtenteils inhaltliches Interesse und in der Regel mindestens befriedigendes Engagement im Bereich der sonstigen Mitarbeit, wobei die regelmäßige *freiwillige* Beteiligung am Unterrichtsgespräch sich auf 6-8 Leistungsträger fokussiert; auf Rückfrage können aber fast alle Schüler sinnvolle Beiträge liefern und ihre Überlegungen angemessen explizieren und bearbeiten Aufgaben in Einzel- und Partnerarbeit sachgerecht. Eine Schülerin, die auch an Mathematikwettbewerben teilnimmt, markiert die Leistungsspitze des Kurses insbesondere in Bezug auf die Klarheit und Strukturiertheit ihrer Lösungen, zwei weitere Schüler sind sehr gut. Größere Teile des Kurses haben auf der anderen Seite noch Schwierigkeiten mit dem im Vergleich zur Mittelstufe höheren Grad der Mathematisierung, sodass im Rahmen der Unterrichtsreihe zu eindimensionalen Bewegungen ein erheblicher Teil der Unterrichtszeit für die Besprechung und teilweise auch die Anleitung von Rechnungen verwendet werden musste. Dies bezieht sich insbesondere auf das Lösen quadratischer Gleichungen, das Lösen von Gleichungssystemen durch Elimination einer Variable, Bruchrechnung und das Rechnen mit Einheiten. Die zu zeigende Stunde ist allerdings bis auf eine Teilaufgabe zur Binnendifferenzierung eher qualitativer Natur, sodass die oben genannten, geringfügigen Lernvoraussetzungen als erfüllt angenommen werden dürfen.

3.3 Didaktische Überlegungen

Die Behandlung des Stundenthemas ist durch die Kompetenzerwartungen "gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen [unterscheiden] und zugrunde liegende Ursachen [erklären]" (UF2) und "komplexe Bewegungs- und Gleichgewichtszustände durch Komponentenzerlegung bzw. Vektoraddition [vereinfachen]" (E1) des Kernlehrplans legitimiert [**1**]. Der schiefe Wurf stellt nach der Behandlung eindimensionaler gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter Bewegungen die erste zweidimensionale Bewegung dar, die detailliert im Unterricht behandelt wird und dient daher auch als Anknüpfungspunkt für den (vektoriellen) Geschwindigkeitsbegriff, der in der Mittelstufe lediglich qualitativ behandelt wurde.

Da bereits kleine Kinder mit Bällen spielen, gehören Fall- und Wurfbewegungen zu den ureigensten Alltagserfahrungen des Menschen; ein unmittelbarer Lebensweltbezug des Themas ist daher gegeben. Gleichwohl lässt sich hieraus nicht das Bedürfnis ableiten, die Bewegung auch mathematisch zu beschreiben, wie es im Unterricht vorgesehen ist. Aus Sicht des Autors ergibt sich die Zukunftsbedeutung daher erst in Kombination mit der noch zu behandelnden Newtonschen Mechanik, die mit Hilfe hier am Exemplum entwickelter Methoden zur Beschreibung auch mehrdimensionaler Bewegungen ermöglicht, Bewegungen aufgrund eines Kausalprinzips auch *vorherzusagen*[4]. Dies stellt die Grundlage für einen kumulativen Kompetenzaufbau in der Qualifikationsphase dar, wo die hier gewonnenen Erkenntnisse etwa bei der Behandlung der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen Feldern wieder aufgegriffen werden.

Die Stunde beginnt kontext- und problemorientiert mit der Frage, welcher Turmspringer schneller unten ankommt: Einer, der sich von der Brettkante fallen lässt, einer, der Anlauf nimmt, oder ggf. beide gleichzeitig. Da den Schülern bewusst sein dürfte, dass aus logischen Gründen nur diese drei Möglichkeiten existieren, werden sie dazu angehalten, sich begründet einer der drei Positionen zuzuordnen. Auf diese Weise können die Schüler ggf. vorhandene Fehlvorstellungen explizieren. Aufgrund der kürzeren Strecke könnte der reinen Fallbewegung die kürzere Fallzeit zugeordnet werden, denkbar ist allerdings auch, dass die nichtverschwindende Anfangsgeschwindigkeit beim Sprung mit Anlauf als Begründung für eine kürzere Fallzeit herangezogen werden könnte. Ausgehend von diesem Problem ist der Gang des Unterrichts vom Konkreten zum Abstrakten hin angelegt, wobei die in der nächsten Stunde folgende Mathematisierung wie im bisherigen Unterricht einen *vorläufigen* Endpunkt markiert, da die Zurückführung auf die Newton'sche Mechanik erst in der nächsten Reihe stattfinden wird.

Die Planung des intendierten Experiments zur Überprüfung der Hypothesen ist erschwert, da sowohl der Auslösemechanismus des Wurfgeräts als auch des Freihandexperiments aus dem bisherigen Unterricht nicht nahegelegt werden. Dennoch können Schüler hier sinnvolle Beiträge liefern – etwa indem sie vorschlagen, zwei Videoaufnahmen zu vergleichen, was sinngemäß dem später zu analysierenden Stroboskopbild entspricht – ohne dies jedoch zu forcieren.

Eine schnelle Überprüfung erfolgt durch ein Freihandexperiment: Ein Lineal wird in die Nähe einer Tischkante gelegt, daneben eine Münze. Die Hälfte des Lineals ragt über die Tischkante, und auf dieser Seite ist unter dem Lineal eine Kunststoffkarte mit Klebmasse angebracht, auf der eine zweite Münze liegt. Durch einen Schlag gegen das Lineal vollführt die Münze, die sich auf der Karte befand, eine senkreche Fallbewegung, die andere wird vom Lineal angestoßen und vollführt eine waagerechte Wurfbewegung. Üblicherweise befindet sich die erste Münze *auf* dem Lineal [**2**]; dieser Aufbau könnte Protest verursachen, da sich die Münzen zu Beginn nicht auf der gleichen Höhe befinden, und wurde daher leicht verbessert.

In der anschließenden Sicherungsphase wird der kleine Wurfapparat von Leybold als Demonstrationsversuch eingesetzt. Im Vergleich zum Freihandversuch bietet das Gerät zusätzlich

[4] Die Vorhersage der Bewegungs ist natürlich im Rahmen der Kinematik durch Angabe der Anfangsbedingungen ebenso möglich, allerdings fehlt hier die Erklärung der Ursache.

die Möglichkeit, auch einen leicht schrägen Wurf durchzuführen, um die auditive Erfahrung des gleichzeitigen Auftreffens stärker zu akzentuieren.

Um einen ersten Zugang zur mathematischen Beschreibung der Bewegung zu erhalten, analysieren die Schüler im Folgenden ein Stroboskopbild, das den Vergleich des freien Falls und des waagerechten Wurfs darstellt. Auf die detaillierte Analyse der Vertikalbewegung durch Positionsmessung wird verzichtet, da die Feststellung genügt, dass sich beide Kugeln zu jedem dargestellten Zeitpunkt auf derselben Höhe befinden. Die Horizontalbewegung kann durch Messung der Abstände der dargestellten Kugelränder analysiert werden. Hier ist es ausreichend zu bemerken, dass die Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Positionen gleich sind. Schließlich sollen alle Schüler ein geeignetes Ergebnis formulieren. Die leistungsstärkeren Kursteilnehmer sind mit diesen Aufträgen mutmaßlich deutlich schneller fertig, sodass ihnen zur Differenzierung die Möglichkeit eingeräumt wird, selbstständig eine parameterfreie Darstellung der Bahnkurve des waagerechten Wurfs herzuleiten.

In der anschließenden Sicherungsphase werden zur Unterstützung des Ergebnisses zur horizontalen Komponente der Bewegung noch einzelne Frames eines Videos eingesetzt, in dem zwei Tennisbälle auf eine Tischkante zurollen. Der vordere Ball fällt von der Kante und vollführt einen waagerechten Wurf, der hintere setzt seine gleichförmige Bewegung auf einem versetzt angestellten Tisch fort. Auf jedem Bild befinden sich beide Bälle auf der gleichen horizontalen Position.

3.4 Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen

Die Stunde folgt dem methodischen Prinzip des problemorientierten Unterrichts, dessen lernpsychologische Vorzüge von Bleichroth et al. [**3**] diskutiert werden.

Der Autor konnte auch nach längerer Suche kein geeignetes Videomaterial finden, das die Schüler direkt dazu anregen könnte, das intendierte Problem zu formulieren. Der Einstieg erfolgt daher über eine Vorführung der beiden unterschiedlichen Bewegungen des Turmspringers durch einen “Sprung” von der Pultkante und den Hinweis, dass beide Springer gleichzeitig abspringen. Die Schüler haben durch die Betonung der Gleichzeitigkeit die Chance, das Problem selbstständig zu formulieren; sofern dies nicht gelingt, gibt der Lehrer es vor. Ein kognitiver Konflikt kann in dieser Stunde nicht zum Einstieg erzeugt werden, sodass der *begründeten* Äußerung von Erwartungen eine besondere Bedeutung zukommt. Erst die Abweichung der späteren experimentellen Befunde von diesen Erwartungen weckt ggf. das Bedürfnis nach einer Erklärung.

Auch wenn das Schülerexperiment, das sich an die Hypothesenbildung anschließt, in Bezug auf das Erreichen der kognitiven Lernziele redundant ist – diese können auch mit dem im Anschluss eingesetzten Wurfapparat und dem Stroboskopbild erreicht werden – so nimmt der Autor dies in Kauf, da die Einführungsphase nur vergleichsweise wenige Möglichkeiten zur Durchführung von Schülerexperimenten bietet. Neben dem damit verbundenen psychomotorischen Ziel erhofft der Autor sich durch das hiermit verbundene Kompetenzerleben auch einen motivationalen Gewinn. Durch die Verwendung von Alltagsgegenständen bietet sich den Schülern zugleich die Möglichkeit, auch außerhalb der Schule von einem überraschenden Experiment zu berichten und dieses auch vorzuführen. Da der Autor über kein großes Geschick in der Erstellung von Computergrafiken verfügt, erhalten die Schüler für die Durchführung ein Foto des Aufbaus, das durch einen eingefügten Pfeil die Durchführung zweifelsfrei anleitet und anschließend ins Heft übernommen werden kann.

Die kinematische Analyse des waagerechten Wurfs wird durch ein Arbeitsblatt unterstützt. Die Aufgaben sind unter fachlichen Gesichtspunkten nicht sehr anspruchsvoll, fordern die Schüler jedoch zu eigenständiger Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand sowie zur Formulierung von Begründungen auf. Zugleich stellt die Analyse der horizontalen Komponente eine immanente Wiederholung der Eigenschaften einer gleichförmigen Bewegung dar. In einer anschließenden Partnerarbeitsphase können die Lösungen untereinander verglichen und diskutiert werden, bevor eine Zusammenführung und Sicherung im Plenum erfolgt.

Die in der Sachanalyse dargestellte Komponentenzerlegung der Bewegung wird durch die Teilaufgaben implizit vorgegeben, da die Schüler sie wohl ad hoc nur schwer bis gar nicht selbst entwickeln könnten. Die Analyse der Lernausgangslage legt zudem nahe, dass einige Schüler vorzeitig die Arbeit an den Basisaufgaben beenden werden. Als Maßnahme der Differenzierung soll ihnen die Möglichkeit eingeräumt werden, aufgrund der bisherigen Erkenntnisse die Bahnkurve herzuleiten und ihre Ergebnisse in der kommenden Stunde vorzustellen; hierzu wird ihnen eine Hilfekarte zur Verfügung gestellt, die auf die Rückseite der Aufgabenstellung gedruckt ist. Die Analyse könnte auch per Videoanalyse erfolgen, wogegen allerdings zwei Gründe angeführt werden können: Einerseits liest die Software nach Anklicken der Position die Koordinaten aus und erzeugt aus diesen automatisch t-x- und t-y-Diagramme. Aus Sicht des Autors besteht hier Gefahr, dass die Bedeutung der Worte Horizontal- und Vertikalbewegung nicht oder schlechter erfasst werden, als dies bei einer eigenständigen Vermessung der Horizontalkomponenten möglich wäre. Zudem entfiele die Notwendigkeit, mit der wesentlichen Eigenschaft einer gleichförmigen Bewegung, nämlich dem Zurücklegen gleicher Strecken in gleichen Zeiten, zu argumentieren; es würde genügen zu bemerken, dass das entsprechende Diagramm eine Gerade ist. Diese Begründung ist durch das gewählte Arrangement natürlich nicht ausgeschlossen, jedoch bleibt es offen für tiefergehende Begründungen. Nach diesem Argument könnte der Blick auf die Komponentenzerlegung als fundamentaler Aspekt verstellt werden. Andererseits ist die Durchführung des Schülerversuchs durch die Gestaltung des Computerraums erschwert, zudem dauert der Login recht lange und müsste parallel zum sonstigen Unterrichtsgeschehen erfolgen, sodass die Gefahr bestünde, dass einige Schüler durch die damit verbundene Ablenkung weniger fokussiert am Unterricht teilnehmen.

Die Farben des verwendeten Stroboskopbilds wurden invertiert, damit die Schüler die Möglichkeit haben, vertikale Linien zum Nachweis der identischen Vertikalbewegungen zu zeichnen. Zudem wurden Unschärfen des Originals entfernt und das Bild insgesamt etwas schmäler gemacht, damit es auf das Arbeitsblatt passt. Die Authentizität des Bilds wird durch die veränderte Horizontalkomponente der Geschwindigkeit nicht vermindert. Der Verlauf von links nach rechts entspricht wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen, da diese Bewegungsrichtung eine bessere Wahrnehmung des Vorgangs erlaubt [**4**]. Die Abbildung stammt aus dem Internet [**5**], da dem Autor die Erstellung eines besseren Stroboskopbilds mit dem Wurfgerät nicht gelungen ist. Das Bild aus dem Schülerbuch bietet Diskussionsbedarf in Bezug auf die Gleichheit der Vertikalpositionen und erscheint daher ebenfalls weniger geeignet [**6**].

Der Unterricht könnte nach der Bearbeitung der Aufgaben sinnvoll beendet werden, als HA sollen sich die Schüler dann auf die Vorstellung ihrer Lösungen zu Beginn der nächsten Stunde vorbereiten. Anderenfalls werden in der Sicherungsphase noch die Einzelbilder des in 3.3 erwähnten Videos gezeigt; ein weiteres Stroboskopbild wäre auch hier denkbar gewesen, allerdings steht dem Autor ein solches nicht zur Verfügung. Schriftliche Schülerlösungen können in dieser Phase zeitökonomisch über eine Dokumentenkamera dem Kurs präsentiert werden.

Das im Unterricht entstehende Tafelbild enthält alle wichtigen Informationen und dokumentiert zugleich die wesentlichen Schritte des Unterrichtsgangs; es orientiert sich an einem Tafelbild, das dem Fachseminar Physik von M. Gerhards zur Verfügung gestellt wurde [**7**].

4 Verlaufsplan

Phase	**Lernschritt/Unterrichtsinhalt** (Impulse, Schlüsselfragen, geplantes Lehrerverhalten, erwartetes Schülerverhalten)	**Lernorganisation** (Sozial-/Aktionsformen, Medien)
Begrüßung	L begrüßt die Klasse und stellt den Besuch vor	
Motivation	L führt die Bewegung der Turmspringer als Trockenübung vom Pult vor und betont, dass beide gleichzeitig abspringen	Demo-Exp.; Pult
Problem	L: “Habt ihr eine Idee, um welches Problem es heute geht?”	UG
	S: “Welcher Springer ist schneller unten?”	
	L notiert die Fragestellung und eine Skizze an die Tafel, L: “Es gibt natürlich drei Möglichkeiten. Anstatt einfach abzustimmen sollt ihr euch überlegen, *warum* ihr für eine bestimmte Möglichkeit seid.”	LV; Tafel
	S überlegen, nennen ihre Vorstellungen und diskutieren ggf. darüber, L notiert an der Tafel	SV/UG; Tafel
Lösung	L: “Habt ihr Ideen, wie man diese Frage untersuchen könnte?”	Impuls
	S überlegen kurz und besprechen sich, machen ggf. Vorschläge	EA/PA/UG
	L betont, dass es wichtig ist, dass beide gleichzeitig starten und man feststellen muss, ob beide gleichzeitig aufkommen; L stellt kurz den Freihandversuch vor	LV
Tun und Ausf.	S holen Material und führen den Versuch durch	S-Exp.; Lineale, Anleitung
	L beobachtet und gibt ggf. Hilfestellung	
	S bringen Material zurück	
	L erklärt das kleine Wurfgerät, macht eine Skizze und führt es vor (zur Abgrenzung auch schräg)	LV/Demo-Exp.; Tafel, Wurfgerät
	L notiert das Ergebnis an der Tafel	LV; Tafel
	L: “Nachdem wir dieses Ergebnis gefunden haben, geht es – wie immer in der Kinematik – auch darum, die Bewegung mathematisch beschreiben zu können. Neu ist hier, dass die Bewegung nicht mehr geradlinig verläuft.”	LV
	L verteilt Arbeitsblätter, S bearbeiten diese zunächst allein und vergleichen dann, bearbeiten ggf. die Zusatzaufgabe	EA/PA; AB
	L gibt beantwortet ggf. Fragen	
	mögliches Stundenende; HA: Die Ergebnisse der Arbeitsphase vortragen können	
Tun und Ausf.	S präsentieren ihre Ergebnisse und vergleichen, L unterstützt sofern notwendig	SV/UG; DK
	L fasst das Ergebnis zusammen und notiert es an der Tafel	LV; Tafel
	L zeigt Bildausschnitte zur Horizontalbewegung	LV; Beamer
	mögliches Stundenende	

5 Literatur

[1] Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen: Physik

[2] http://www.leifiphysik.de/mechanik/waagerechter-und-schraeger-wurf/versuche/unabhaengigkeitsprinzip, abgerufen am 30.10.2016

[3] W. Bleichroth et al., *Fachdidaktik Physik* (Aulis, 1999)

[4] A. Hajos, *Wahrnehmungspsychologie* (Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991), zitiert nach M. Gerhards: Unterrichtsentwurf Franck-Hertz-Versuch (private Mitteilung, November 2015)

[5] https://people.rit.edu/andpph/exhibit-11.html, abgerufen am 10.11.2016

[6] F. Bader, M. Dorn (Hrsg.), *Dorn-Bader Physik 11* (Westermann, 2009)

[7] M. Gerhards (private Mitteilung, September 2016)

6 Erklärung

Ich versichere, dass ich die Schriftliche Arbeit eigenständig verfasst, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Schriftlichen Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das Gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen. Anfang und Ende von wörtlichen Textübernahmen habe ich durch An- und Abführungszeichen, sinngemäße Übernahmen durch direkten Verweis auf die Verfasserin oder den Verfasser gekennzeichnet.

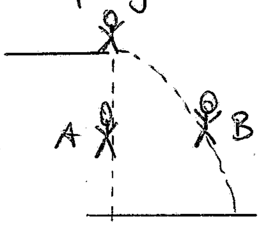
Ort, Datum　　　　　　　　Unterschrift

Anhang

- erwartetes Tafelbild
- Arbeitsblätter / -aufträge

Welcher Springer ist schneller unten?

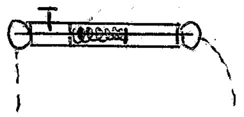
Turmspringen:



Vermutungen:

1) A, weil... ×
2) B, weil... ×
3) beide gleichzeitig, weil... ✓

Versuch: Wurfapparat

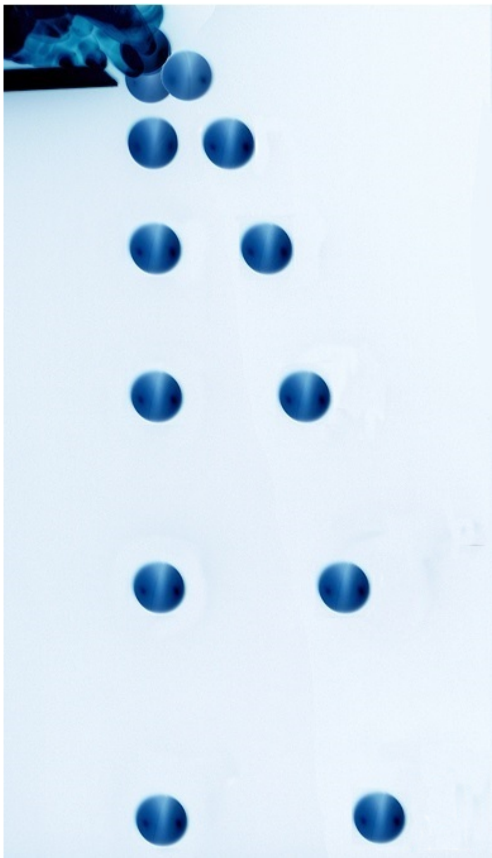


Ergebnis: Beide Kugeln kommen gleichzeitig auf dem Boden auf, 3) ist richtig!

Beim waagerechten Wurf überlagern sich zwei Bewegungen:
- eine gleichförmige Bewegung in horizontaler Richtung
- eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung in vertikaler Richtung

Wie lässt sich der waagerechte Wurf beschreiben?

In der Abbildung ist die Bewegung zweier Kugeln dargestellt, die von einer Tischkante aus zu Boden fallen. Eine Kugel rollt auf die Tischkante zu, hat somit eine Anfangsgeschwindigkeit in horizontaler Richtung und fällt entlang einer gekrümmten Bahnkurve. Die andere Kugel wird auf Höhe der Tischkante fallengelassen.
Die Abbildung entstand durch Übereinanderlegen zweier Stroboskopbilder. Zwischen aufeinanderfolgenden Positionen der Kugeln liegen jeweils 0,05s. Der Maßstab beträgt 1:5.



https://people.rit.edu/andpph/exhibit-11.html (verändert)

Arbeitsaufträge:

a) Erläutere anhand des Bilds, dass die Vertikalbewegung beim waagerechten Wurf dem freien Fall entspricht.

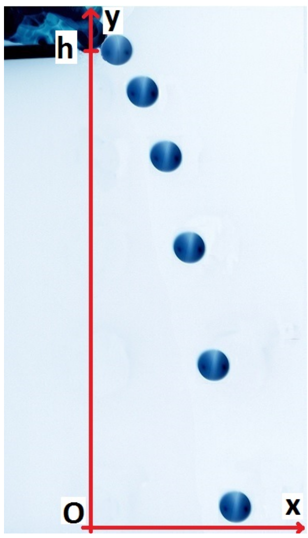
b) Untersuche, ob die Bewegung in Horizontalrichtung gleichförmig oder beschleunigt ist.

c) Fasse die Ergebnisse aus a) und b) in einem Merksatz über den waagerechten Wurf zusammen.

Für Schnelle: Stelle die Abhängigkeiten der horizontalen und vertikalen Position von der Zeit mathematisch dar: $x(t) = \dots$, $y(t) = \dots$.
Die Kugel soll von einer Höhe h über dem Boden starten, die y-Achse zeigt dabei senkrecht nach oben.
Kannst du aus $x(t)$ und $y(t)$ herleiten, welche Form die Wurfbahn hat?
(Auf der Rückseite findest du Hilfen, wenn du nicht weiterkommst.)

Hilfekarte

- Rechts siehst du ein passendes Koordinatensystem.
- $x(t)$ beschreibt die Bewegung nach rechts, $y(t)$ die Bewegung nach unten. Da sie als unabhängig erkannt wurden, kannst du entsprechende Zeit-Weg-Gesetze aufstellen.
- Die Gleichung der Bahnkurve soll t nicht mehr enthalten, sondern deutlich machen, wie die y-Koordinate von der x-Koordinate des Balls abhängt.
- Die Form der Bahnkurve kennst du aus dem Matheunterricht.



Mögliche Lösungen

a) Die Bälle befinden sich zu den gleichen Zeitpunkten auf derselben Höhe. / Beide Bälle fallen gleich schnell nach unten. / Die Bewegung senkrecht nach unten ist bei beiden Bällen gleich, weil sie sich beide immer auf derselben Höhe befinden.
Unabhängig von den Formulierungen oder zusätzlich könnten horizontale Linien in das Bild eingezeichnet werden.

b) Der Abstand zwischen den Rändern der Bälle nimmt von Zeitpunkt zu Zeitpunkt auf dem Bild um etwa 5mm zu; da die Zeitintervalle gleich sind, entspricht dies wegen $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit. Diese Aussage ist vom Maßstab unabhängig.
Schüler tabellieren die Messwerte ggf. auch (hier exemplarisch für die Messung vom linken zum linken Rand):

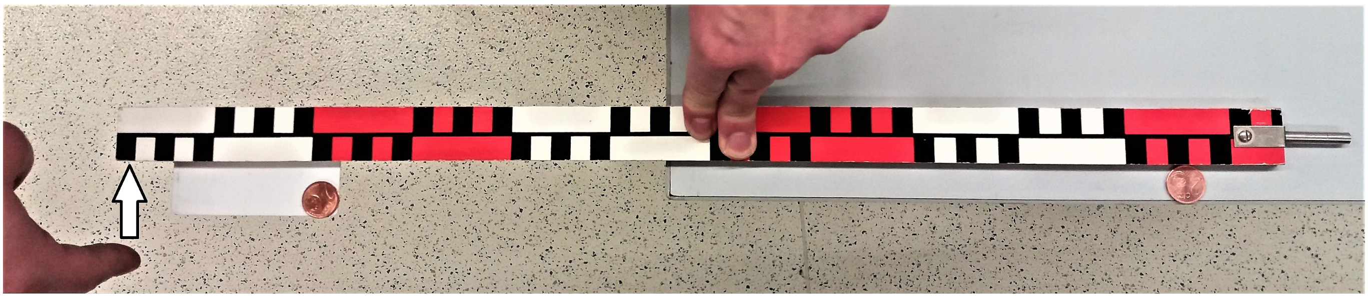
t/s	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
x/mm (Bild)	0	5	9,5	14	19	23,5	28

Die vorherige Argumentation könnte aufgrund der Tabelle erfolgen, oder es wird stattdessen ein t-x-Diagramm, ggf. mit Ausgleichsgerade, gezeichnet.
Zusätzlich könnte noch $v_0 = \frac{5 \cdot 28\mathrm{mm}}{0{,}3s} \simeq 0,47$ m/s berechnet werden.

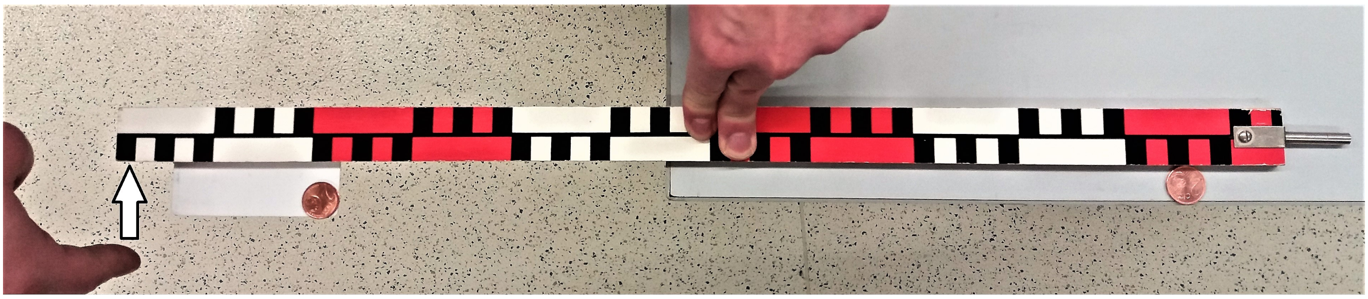
c) Beim waagerechten Wurf wird der Ball senkrecht nach unten beschleunigt, die waagerechte Bewegung bleibt immer gleich. / Der waagerechte Wurf besteht aus einem freien Fall und einer waagerechten Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit (und beim freien Fall ist diese Geschwindigkeit Null).

Zusatzaufgabe:
$x = v_0 t$, $y = -\frac{1}{2}gt^2 + h$
$t = \frac{x}{v_0} \Rightarrow y = -\frac{g}{2v_0^2}x^2 + h.$
Die Bahnkurve ist eine nach unten geöffnete Parabel, ihr Scheitelpunkt liegt am Abwurfort $(0|h)$.

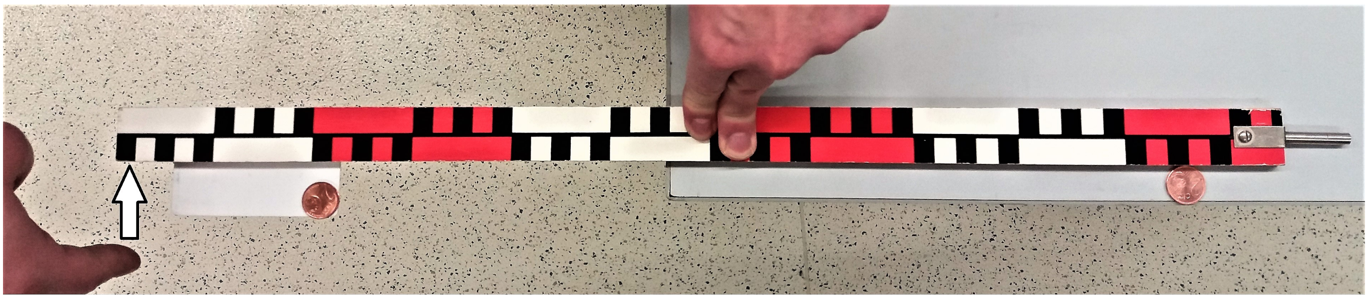
Freihandversuch zum waagerechten Wurf: Lege das Lineal wie abgebildet auf den Tisch und platziere die beiden Münzen. Unterstütze das Lineal in der Mitte mit zwei Fingern und versetze dem freien Ende einen Stoß mit dem Finger.



Freihandversuch zum waagerechten Wurf: Lege das Lineal wie abgebildet auf den Tisch und platziere die beiden Münzen. Unterstütze das Lineal in der Mitte mit zwei Fingern und versetze dem freien Ende einen Stoß mit dem Finger.



Freihandversuch zum waagerechten Wurf: Lege das Lineal wie abgebildet auf den Tisch und platziere die beiden Münzen. Unterstütze das Lineal in der Mitte mit zwei Fingern und versetze dem freien Ende einen Stoß mit dem Finger.



Freihandversuch zum waagerechten Wurf: Lege das Lineal wie abgebildet auf den Tisch und platziere die beiden Münzen. Unterstütze das Lineal in der Mitte mit zwei Fingern und versetze dem freien Ende einen Stoß mit dem Finger.