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

Unterrichtsentwurf für den 2. Unterrichtsbesuch im Fach Physik

Studienreferendar:	Dr. Daniel J. Wieczorek
Ausbildungsschule:	Freiherr-vom-Stein-Gymnasium Leverkusen
Datum:	Montag, 11.04.2016
Zeit:	3. Stunde (10:05 - 10:50 Uhr)
Lerngruppe:	EF (x Schülerinnen, y Schüler)
Hospitation seit:	05.11.2015
Unterricht seit:	30.11.2015

Thema der Unterrichtsreihe:	Kinematik und Dynamik der gleichförmigen Kreisbewegung
Thema der heutigen Stunde:	Wovon hängt der Betrag der Zentripetalkraft ab? Aufstellen der Hypothese $\|F_z\| \propto \frac{mr}{T^2}$ auf Grundlage eines qualitativen Schülerversuchs sowie quantitative Demonstration im Lehrerversuch.
Hausaufgabe zur heutigen Stunde:	Notwendigkeit der Zentripetalkraft zur Erklärung der Kreisbewegung wiederholen (S.97 unten)
eingeführtes Physikbuch:	Dorn Bader Physik 11

Inhaltsverzeichnis

1 Aufbau des Unterrichtsvorhabens

Datum	**Thema**	**Lernziel**
04.04.2016	Einführung und Festigung der kinematischen Größen zur Beschreibung von Kreisbewegungen anhand von Demoversuchen und Aufgaben	Definition von und Zusammenhänge zwischen r, T, f, v und ω nennen und anhand von Beispielen gleichförmiger Kreisbewegungen erläutern können; ein Experiment nennen können, dass die Richtung von $\vec{v}$ demonstriert
07.04.2016	Wieso braucht man bei konstanter Bahngeschwindigkeit eine Zentripetalkraft?	Erläutern können, warum die Kreisbewegung eine beschleunigte Bewegung ist
11.04.2016	**heutige Stunde**	
14.04.2016	Kreisbewegungen im Verkehr – Woher kommt die Zentripetalkraft in nicht überhöhten Kurven? Vom Gummistopfen auf einer rotierenden Scheibe zu einer Bedingung für das Herausschleudern aus der Kurve	Erläutern können, dass die Zentripetalkraft durch Reibung zwischen Reifen und Straße zustandekommt, Kräfteverhältnisse inkl. Luftreibung korrekt skizzieren können
18.04.2016	Physik auf dem Volksfest – Aufgabengesteuerte Diskussion von Kettenkarussell und Loopingbahn	Funktionsweise des Fliehkraftreglers erklären können, Bedingungen für das Durchfahren des Loopings durch Betrachtung von Kraft und Energie herleiten können
21.04.2016	Eine Frage des Standpunkts: Die Zentrifugalkraft. Textbasierte Erarbeitung.	Zentrifugalkraft als Scheinkraft erklären können, die nur in beschleunigten Bezugssystemen vorkommt

2 Lernziele und Kompetenzen

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

- *aus dem Anwachsen des Betrags der Zentripetalkraft F_z mit m und r und der Abnahme mit T durch Einheitenbetrachtung die Vermutung $\|F_z\| \propto \frac{mr}{T^2}$ ableiten können,*

- *einen Versuch beschreiben und skizzieren können, der die Beziehungen $\|F_z\| \propto m$, $\|F_z\| \propto \frac{1}{T^2}$ und $\|F_z\| \propto r$ quantitativ demonstriert,*

- *den Versuch auswerten können (Optionalziel[2])*

3 Didaktisch-methodische Überlegungen

3.1 Sachanalyse

Wir betrachten eine Punktmasse m, die sich auf einer Kreisbahn γ im Abstand r zum Drehzentrum p_0 im euklidischen Punktraum $\mathbb{E}^3$ mit Winkelgeschwindigkeit ω bewegt. Durch Einführen einer Orthonormalbasis $\{e_x, e_y, e_z\}$ derart, dass die Bahn in der xy-Ebene verläuft, lässt sich die Bahnkurve schreiben als

$$\gamma : \mathbb{R} \to \mathbb{E}^3;\ t \mapsto p_0 + r(\cos(\omega t)e_x + \sin(\omega t)e_y)\ .$$

Zweimaliges Ableiten nach der Zeit ergibt die Beschleunigung

$$a(t) = \ddot{\gamma}(t) = -r\omega^2(\cos(\omega t)e_x + \sin(\omega t)e_y)\ .$$

Gemäß dem zweiten Newtonschen Axiom ist daher zum Aufrechterhalten einer solchen Bewegung zu jeder Zeit t eine momentan zum Zentrum p_0 gerichtete Kraft mit Betrag $\|F_z\| = m\omega^2 r$ erforderlich, die man Zentripetalkraft nennt.

Handelt es sich nicht um eine Punktmasse, sondern um einen starren Körper $U \subset \mathbb{E}^3$, der um einen Punkt p_0 rotiert, so berechnet man in einem Kontinuumsmodell die notwendige Zentripetalkraft als Integral über eine Kraftdichte. Hierzu ersetzt man die Masse m durch die Massendichte ρ und erhält

$$F_z = \omega^2 \int_U (p - p_0)\rho\ .$$

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

[2]Der Unterrichtsbesuch findet in der ersten Hälfte einer Doppelstunde statt, sodass dieses Ziel ggf. erst nach der Pause erreicht wird.

Das Integral entspricht bis auf den Faktor $\frac{1}{m}$ dem Verbindungsvektor von p_0 zum Schwerpunkt des starren Körpers. Der Zusammenhang $\|F_z\| = m\omega^2 r$ kann also auch im realistischen Fall verwendet werden; r ist hierbei der Abstand des Schwerpunkts zum Drehzentrum.

Eine sehr genaue experimentelle Demonstration erfolgt üblicherweise mit dem Radialkraftgerät nach Schürholz: Auf der Drehachse befindet sich ein Spiegel, der zum einem an einem Torsionsdraht und zum anderen an einem Massestück, das sich in einer festgelegten Entfernung von der Drehachse befindet, befestigt ist. In Rotation wird der Spiegel durch die Gegenkraft zur Zentripetalkraft, die das Massestück auf die Kreisbahn zwingt, gekippt. Dies kann durch einen Lichtzeiger nachgewiesen werden, wobei der Auslenkungswinkel proportional zur wirkenden Kraft ist. Die Torsionskraftmessung ist allerdings ein gravierender didaktischer Nachteil, da dieses Verfahren den Schülern nicht bekannt ist und man einen beträchtlichen Anteil der Unterrichtsstunde damit zubringen müsste, es anhand eines Modells[3] zu erläutern. Dies würde von den Zielen ablenken und zugleich keinen Mehrwert erzeugen, da die Torsionswaage zur Bestimmung der Gravitationskonstante im internen Curriculum nicht mehr erwähnt wird.

Stattdessen wird auf einen vom Autor selbst angefertigter Nachbau des Zentralkraftgeräts des Anbieters PHYWE zurückgegriffen. Ein mittels Drahtbügel gesicherter Experimentierwagen kann sich innerhalb zweier Nuten auf einer hölzernen Schiene bewegen und ist über einen Faden mit einem Kraftmesser verbunden, der sich auf der Drehachse befindet. Ein seitlich eingeschlagener Nagel dient dabei der Unterbrechung einer Lichtschranke, sodass die Umlaufzeit T gemessen werden kann.

Für die Messung mit konstanter Masse bei konstantem Abstand zur Drehachse wird der Wagen im Ruhezustand an die gewünschte Stelle gezogen. Aufgrund des verbindenden Fadens entspricht dieser Abstand einer eindeutig bestimmten Kraft, die durch Veränderung der Höhe des Kraftmessers variiert werden kann. Dies hat den Vorteil, dass der Kraftmesser sich bei höheren Drehfrequenzen wesentlich leichter ablesen lässt als der Abstand zur Drechachse. Die Drehfrequenz wird nun solange variiert, bis die voreingestellte Kraft angezeigt wird.

Wählt man eine niedrige Drehfrequenz, so lässt sich Kraftmesser nicht nur während der Rotation problemlos nach oben ziehen bzw. nach unten drücken, sondern auch das Ablesen des Abstands zur Drechachse ist am bewegten Gerät möglich. Hierbei sollte eine möglichst große Wagenmasse verwendet werden, um den Auslenkungsbereich des Kraftmessers möglichst auszureizen.

Letztlich wird die Proportionalität $\|F_z\| \propto m$ am besten demonstriert, indem man zunächst durch Dimensionsanalyse diese Hypothese ableitet. Ausgehend von

[3] Beispielsweise mit einem Laserpointer und einer Spiegelfliese, an die stabile Gummibänder sowie ein Stab zur Auslenkung geklebt wurden.

einer vorherigen Messung bei geringer Kraft werden dann beim selben Abstand Masse und Kraftanzeige um denselben Faktor erhöht. Es zeigt sich, dass im Rahmen der Messgenauigkeit dieselbe Umlaufzeit eingestellt werden muss.

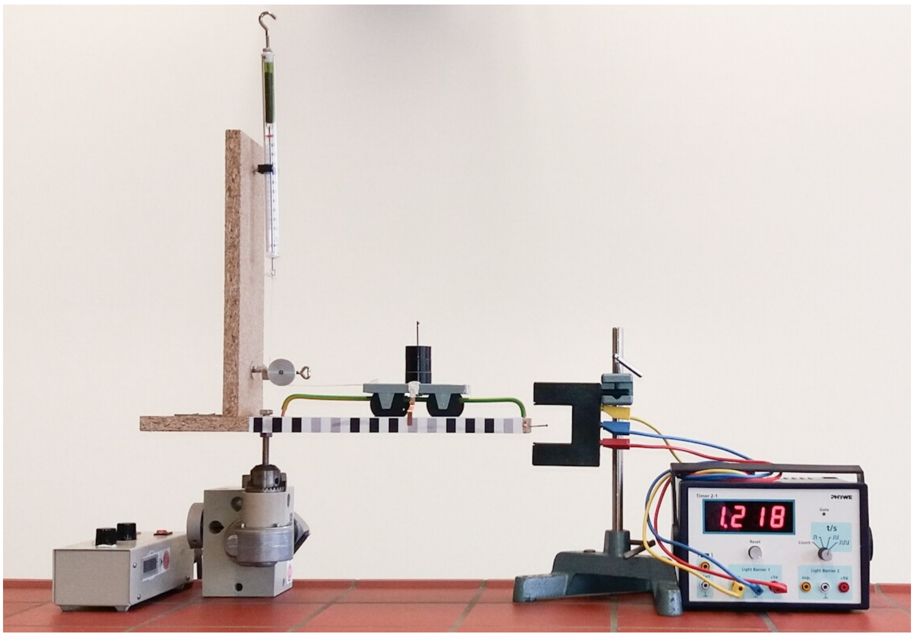


Abbildung 1: Zentralkraftgerät

3.2 Lernvorausetzungen

Um die Lernziele im Verlauf der Unterrichtsstunde erreichen zu können, ist es erforderlich, dass die Schüler

- r, v, T, ω und f als Größen zur Beschreibung gleichmäßiger Kreisbewegungen sowie die Zusammenhänge zwischen diesen erläutern können,
- die Grundgleichung der Mechanik und die Bedeutung der vorkommenden Größen erläutern und mit ihrer Hilfe die Einheit Newton durch Basiseinheiten ausdrücken können,
- erläutern können, dass eine gleichmäßige Kreisbewegung trotz konstantem Betrag der Bahngeschwindigkeit eine beschleunigte Bewegung ist und daher zum Aufrechterhalten eine Kraft erforderlich ist,
- ein Verfahren zur Auswertung von Messwerten anwenden können.

Das physikalische Interesse und Leistungsniveau der Kursteilnehmer streut nach Einschätzung des Autors stark, was mutmaßlich daran liegt, dass der Kurs teilweise nur mündlich belegt wurde. Einige Schüler sind zudem auch im Hinblick auf Klausuren eher auf "mechanische" Rechenaufgaben mit Hilfe der Formelsammlung fixiert, wobei die den Rechenwegen zugrundeliegende Argumentation stark in den Hintergrund zu treten scheint; diese Schwierigkeit trat in der Klausur allerdings noch deutlicher bei qualitativen Argumentationen zutage. Es bestehen Schwierigkeiten bei Äquivalenzumformungen, dem Rechnen mit Einheiten und dem Formelverständnis. Es fällt beispielsweise vielen schwer, zügig eine Antwort auf die Frage zu finden, wie sich die kinetische Energie bei Verdopplung der Geschwindigkeit oder der Masse verhält. Vor diesem Hintergrund ist die Übersetzung der Erkenntnis, dass $\|F_z\|$ mit wachsendem r und m wächst und mit wachsendem T abnimmt, in die Formeln $\|F_z\| \propto \frac{mr}{T}$ oder $\|F_z\| \propto \frac{mr}{T^2}$ sowie die Entscheidung für letztere durch eine Dimensionsanalyse für den Kurs nicht selbstverständlich und wurde in die Lernzielformulierung aufgenommen.

Aufgrund der freiwilligen Teilnahme an einer Klosterfahrt konnten 7 Schüler nicht an der einführenden Doppelstunde teilnehmen, sodass sie erst eine Stunde lang mit dem Thema Kreisbewegung in Kontakt gekommen sind.

3.3 Didaktische Überlegungen

Die Abhängigkeit des Betrags der Zentripetalkraft von der Masse und von zwei kinematischen Größen der Kreisbewegung ist für eine dynamische Erklärung der Bewegung unverzichtbar. Die Behandlung des Themas wird unmittelbar durch den Kernlehrplan und das schulinterne Curriculum legitimiert (*Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein Westfalen Physik* 2014).

Aufgrund der alltäglichen Konfrontation mit Kreisbewegungen, beispielsweise bei Kurvenfahrten im Straßenverkehr oder auf Fahrgeschäften wie einem Kettenkarussell, sowie im Hinblick auf die Behandlung der Planetenbewegung und der Bahn geladener Teilchen im Magnetfeld im kommenden Physikunterricht ist das Thema für die Schüler gegenwarts- wie zukunftsbedeutsam.

Die Phase der Hypothesenbildung wird durch einen Schülerversuch unterstützt, der sich an (Kramer, 2011) anlehnt. Zur Minimierung der Verletzungsgefahr[4] wurden die dort vorgeschlagenen Gummistopfen durch Tennisbälle ersetzt, die an ca. 1m langen Schnüren befestigt wurden. Die Hälfte der Bälle wurde aufgeschnitten, mit getrockneten Erbsen befüllt und mit Cyanacrylat wieder verklebt, um Versuche mit unterschiedlicher Masse zu ermöglichen. Neben dem motivierenden Charakter des Freihandversuchs stellt die vorläufige Konzentration auf qualitative Aspekte, die sich in je-desto-Formulierungen niederschlagen, eine Implementation des didaktischen Prinzips "vom Konkreten zum Abstrakten" dar (Bleichroth, 1999). Gleich-

[4]Bei voller Ausnutzung der Schnurlänge lassen sich Drehfrequenzen von maximal 2Hz realisieren, sodass die auftretende Geschwindigkeiten von weniger als 40km/h im Vergleich zum Sportunterricht vernachlässigbar sind. Es treten Kräfte mit Beträgen unter 20N auf, die die Schnur problemlos aushält. Zur Vermeidung von Abschürfungen durch die Schnur werden Arbeitshandschuhe verteilt.

zeitig findet eine didaktische Reduktion statt: Weder die Ausdehnung des Balls noch die auf ihn wirkende Gewichtskraft und die damit verbundene periodische Änderung der notwendigen Zugkraft am Faden werden vom Lehrer (zunächst) thematisiert. An dieser Stelle kommt es möglicherweise zu einem Einwand eines Schülers, der bereits im Zusammenhang mit dem Pendel die Frage gestellt hat, wie sich dieses bei Schwerelosigkeit verhalte. Für diesen Fall wurde mit dem Fachlehrer abgesprochen, dass dieses Problem in der zweiten Hälfte der Doppelstunde aufgegriffen wird. Dieser Einwand ist allerdings im Vergleich zum Zugewinn an Verständnis, das der Versuch vermittelt, marginal: Die Richtung der Zentripetalkraft stellt auch aufgrund des alltäglichen Gebrauchs des Begriffs Zentri*fugal*kraft eine erhebliche Lernschwierigkeit für Schüler dar und persistiert als Fehlkonzept mitunter auch bei Fachleuten (Warren, 1979), sodass nicht davon auszugehen ist, dass alle Kursteilnehmer nach der vorhergehenden Einzelstunde das physikalische Konzept verinnerlicht haben. Der Versuch stellt noch einmal taktil erfahrbar heraus, dass ständig über die Schnur am Ball gezogen werden muss, und verknüpft somit im Sinne des kumulativen Lernens Begriffe und Erfahrungen.

Sofern im Schülerversuch unkontrollierte Parametervariationen durchgeführt werden, können diese auch im Hinblick auf den anstehenden Demonstrationsversuch thematisiert werden. Die qualitativen Erkenntnisse werden anschließend in die hypothetische Proportionalität $\|\vec{F}_z\| \propto \frac{mr}{T^2}$ übersetzt. Die Analyse der Lernausgangslage legt nahe, dass viele Schüler noch Schwierigkeiten mit dem Formelverständnis haben, dem an dieser Stelle Raum gegeben werden soll. Nach dieser Vorarbeit verfügen die Schüler über ein grundlegendes, in eigener Erfahrung fußendes Verständnis der Formel, die im nachfolgenden Versuch durch eine Messung bestätigt wird.

3.4 Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen

Die Stunde folgt dem methodischen Prinzip des problemorientierten Unterrichts nach Roth, dessen lernpsychologische Vorzüge in (Bleichroth, 1999) diskutiert werden.

Als Hausaufgabe sollte mit Hilfe des Buches wiederholt werden, warum zum Aufrechterhalten einer Kreisbewegung eine Zentripetalkraft notwendig ist. Die Stunde beginnt einer kurzen kooperativen Phase, in der dieser Zusammenhang in Erinnerung gerufen wird. Es ist damit zu rechnen, dass trotz der Lektüre und des vorangegangegen Unterrichts für einige Schüler weiterhin ein kognitiver Konflikt in Bezug auf die Richtung der Zentripetalkraft besteht, der durch diesen Einstieg wieder präsent wird. Eine Dreiergruppe, die aufgrund der Klosterfahrt die Einstiegsstunde versäumt hat, trifft häufig verspätet ein und versucht dabei, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Der Lehrer setzt sich zu Beginn zu ihnen und arbeitet in der Pair-Phase mit ihnen, um einerseits eine Unterrichtsstörung zu vermeiden und andererseits für die notwendige inhaltliche Sicherheit für den folgenden Unterricht zu sorgen.

Die Problemfrage für diese Stunde wird aus Transparenzgründen vom Lehrer gestellt. Dem Autor ist weder aus eigenen Überlegungen noch aus der fachdidaktischen Literatur ein Einstieg bekannt, der die Schüler zwingend auf die Frage nach der gesuchten Abhängigkeit bringt, sodass auf diese Weise eine für die Schüler demotivierende Suche nach erwünschten Stichworten vermieden wird.

Aufgrund der (mutmaßlich) fehlenden Vorerfahrung der Schüler ist eine zielgerichtete Hypothesenbildung zur Problemfrage erschwert. Diese Phase wird daher durch ein Schülerexperiment unterstützt, das in Kleingruppen durchgeführt wird. Hieraus ergibt sich auch die Chance, Fehlvorstellungen zur Zentripetalkraft und damit den genannten kognitiven Konflikt en passent abzubauen. Aufgrund der geringen Zahl der Parameter – zur Variation der Masse muss ein anderer Ball verwendet werden – wird zugunsten des Autonomieerlebens auf die Planung des Experiments im Plenum verzichtet. Die Bankgruppen des Kurses sind hinreichend leistungsheterogen, sodass jede Gruppe das Experiment erfolgreich abschließen können sollte. Im besten Fall wird hierdurch ein Beitrag zur Verbesserung der intrinsischen Motivation geleistet (*PIKO-Brief 2: Affektive Aspekte und Lernen von Physik*). Sofern es dennoch zu Schwierigkeiten kommt (z.B. unkontrollierte Variation von r und ω gleichzeitig), können diese im Sinne einer positiven Fehlerkultur im Unterrichtsgespräch thematisiert werden (*PIKO-Brief 4: Merkmale "guten" Physikunterrichts*).

Der Messversuch wird als Lehrerdemonstrationsexperiment durchgeführt, da das Gerät nur einmal vorhanden ist und zudem seine Verwendung größeres experimentelles Geschick erfordert. Die Schüler konnten realistischerweise an der Planung des Geräts nicht beteiligt werden, da es im Muckenfußschen Sinne medialen Charakter hat: Es ist gerade so konstruiert, dass es die *Demonstration* des idealgestaltlichen Zusammenhangs $\|F_z\| = m\omega^2 r$ erlaubt und nicht dazu dient, diesen aus möglichst objektiv beobachteten experimentellen Tatsachen erst zu gewinnen (Muckenfuß, 2006); eine derartige Sichtweise wäre wissenschaftstheoretisch auch nicht haltbar und stünde letztlich dem Erwerb naturwissenschaftlicher Grundbildung entgegen (Chalmers, 2007). Neben der Erläuterung des experimentellen Ablaufs kann dieser Aspekt sinnvollerweise nur in einem Lehrervortrag thematisiert werden; zugleich mahnt diese Bemerkung auch an, die Zeit, die der Autor in den Bau des Geräts investiert hat, nicht als Maßstab für das zeitliche Gewicht der Vorführung im Unterricht zu verwenden. Daher wird auf die Durchführung langer Messreihen verzichtet und teilweise auf im Voraus erhobene Messwerte zurückgegriffen.

Je nach Zeitbedarf der vorherigen Phasen kann die Auswertung und die Kondensation der Ergebnisse in einen Merksatz vor oder nach der Pause erfolgen.

Zentraler Informationsträger der Stunde ist die Tafel, auf der der problemorientierte Gang des Unterrichts stets sichtbar festgehalten wird und so den Weg in die Schülerhefte findet. Die Gestaltung des Tafelbilds ist an Übungsmaterial aus dem Fachseminar Physik am ZfsL Leverkusen angelehnt[5]. Ein vorstrukturiertes Arbeitsblatt würde den Ablauf vorwegnehmen und verhindern, dass die Schüler den Aufbau selbstständig zeichnen können. Lediglich der Arbeitsauftrag für den Schülerversuch wird schriftlich verteilt und enthält einen Kasten für "je-desto-Vermutungen", der die Schüler in der kurzen Einzelarbeitsphase zum Anfertigen von Notizen anhält (Brüning, 2015). Das Lehrwerk leitet die Formel für den Betrag der Zentripetalkraft lediglich her und kann daher keinen Beitrag zum Erreichen der Lernziele leisten; diese theoretische Behandlung würde angesichts der Lernausgangslage auch große Teile des Kurses überfordern.

[5] M. Gerhards, private Mitteilung, Dezember 2015

4 Verlaufsplan

Phase	**Lernschritt/Unterrichtsinhalt** (Impulse, Schlüsselfragen, geplantes Lehrerverhalten, erwartetes Schülerverhalten)	**Lernorganisation** (Sozial-/Aktionsformen, Medien)
Begrüßung	L begrüßt den Kurs und stellt den Besuch vor	
Wdh.	L initiiert eine kurze Wiederholungsphase zur Zentripetalkraft, arbeitet zur Unterbindung von Störungen bei einer Dreiergruppe mit	EA, PA
	S erläutern die Notwendigkeit der Zentripetalkraft nach kurzer Bedenkzeit und Diskussion mit dem Partner	SV
	(S nennen ggf. auch schon das Problem)	
Motivation / Problem	L benennt und motiviert das Problem der Stunde	LV
	L notiert "Wovon hängt der Betrag der Zentripetalkraft ab?"	Tafel
Lösung	L: "In einem Vorversuch soll diese Frage zunächst qualitativ untersucht werden. Lest dazu bitte den Arbeitsauftrag."	LV
	S lesen, L bittet dann um Erklärung des Auftrags	EA,SV; Arbeitsauftrag
	S planen und führen das Experiment durch, L bereitet Tafelbild vor (Vorversuch, Ergebnis, Vermutung) und beobachtet Versuchsablauf	EA,GA, S-Exp.; Tennisbälle an Schnüren, Uhr
	S nennen "je-desto"-Ergebnis	UG; Tafel
	L notiert "je größer m, r, desto größer $\Vert\vec{F_z}\Vert$, je größer T, desto kleiner $\Vert\vec{F_z}\Vert$"	
	(ggf. werden f, ω, v genannt)	
	(L thematisiert ggf. Fehler bei der Parametervariation)	
	S nennen und diskutieren ihre Formeln	
	L notiert vermutete Formel, ggf. konkurrierende Versionen	
	L weist ggf. auf Probleme mit der Einheit $\frac{kg \cdot m}{s^2}$ hin	
	(falls m im Nenner landet, Schnur ohne Ball "schleudern")	
Tun & Ausführen	L bittet Schüler nach vorne und erklärt den Versuchsaufbau	LV; L-Demoexp.
	wichtig: das Gerät dient der Demonstration der Formel r Abstand zum Schwerpunkt wie hält man r konstant $\Vert F_z\Vert \propto m$ wird direkt getestet wie verändert man **nur** r (**m=200g!**)	
	L skizziert den Aufbau, S zeichnen ab	LV; Tafel
	L führt Messungen exemplarisch vor, ergänzt einige "alte" Messwerte	LV; L-Demoexp.
	L notiert Arbeitsauftrag zur Auswertung	LV; Tafel
	mögliche Pause	
Tun &Ausf.	S fertigen eine Auswertung an	EA-PA; Heft
	L gibt bei Nachfrage Hilfestellung, verteilt an einige S OHP-Folien zur schnellen Präsentation	
	S präsentieren ihre Graphen oder Rechnungen	SV; OHP
	mögliche Pause	
	L weist darauf hin, dass eine theoretische Herleitung möglich ist und diese bei Interesse auf S.98 nachgelesen werden kann	LV; Tafel
	L notiert Merksatz zur Zentripetalkraft	
	mögliche Pause	

5 Quellenverzeichnis

Bleichroth, W. et al. (1999). *Fachdidaktik Physik*. Köln: Aulis.

Brüning L. und Saum, T. (2015). *Erfolgreich unterrichten durch Kooperatives Lernen 1*. Essen: Neue Deutsche Schule.

Chalmers, A.F. (2007). *Wege der Wissenschaft. Eine Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Berlin: Springer.

Duit R. und Wodzinski, C.T. *PIKO-Brief 4: Merkmale "guten" Physikunterrichts*. http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe03 abgerufen am 20.09.2015.

Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein Westfalen Physik (2014). Düsseldorf.

Kramer, M. (2011). *Physik als Abenteuer*. Freising: Aulis.

Muckenfuß, H. (2006). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen.

Rabe, T. *PIKO-Brief 2: Affektive Aspekte und Lernen von Physik*. http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf, abgerufen am 20.09.2015.

Warren, J.W. (1979). *Understanding Forces*. London: John Murray.

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
- Arbeitsauftrag
- schülerorientierte Formulierung

Wovon hängt der Betrag der Zentripetalkraft ab?

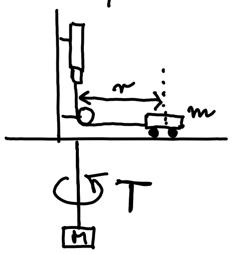
11.04.2016

Freihandversuch: leere und befüllte Tennisbälle werden an einer Schnur geschleudert

Beobachtung: je größer r, m, desto größer $|\vec{F}_z|$
je größer T, desto kleiner $|\vec{F}_z|$

Vermutung: $|\vec{F}_z| \propto \frac{m r}{T^2}$ (weil $1N = 1\frac{kg\,m}{s^2}$)

Versuchsaufbau:



Messergebnisse: $r = 0{,}150m$ $m = 0{,}05kg$
(Kraftanzeige wird eingestellt, T gemessen)

F/N	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
T/s	0,858	0,708	0,621	0,545	0,496

$r = 0{,}150m$
(Kraftanzeige und m werden vervielfacht, T gemessen)

F/N	0,40	0,80	1,20	1,60
m/kg	0,05	0,10	0,15	0,20
T/s	0,858	0,848	0,863	0,851

$T = 1{,}84s$ $m = 0{,}20kg$

F/N	0,30	0,38	0,44	0,54	0,61
r/m	0,130	0,165	0,190	0,230	0,260

Aufgabe: Zeige rechnerisch oder graphisch, dass die Messdaten zu unserer Vermutung passen!

Man kann herleiten, dass der Betrag der Zentripetalkraft $m\omega^2 r = (2\pi)^2 \frac{mr}{T^2}$ beträgt (S. 98).
Der Vorfaktor $(2\pi)^2$ passt zu unseren Messwerten.

Damit ein Körper der Masse m sich gleichförmig auf einer Kreisbahn mit Radius r und Winkelgeschwindigkeit ω bewegt, ist eine stets zum Zentrum gerichtete Zentripetalkraft $\vec{F}_z$ mit Betrag $|\vec{F}_z| = m\omega^2 r$ erforderlich.

Kopiervorlage für den Arbeitsauftrag

Jede Bankgruppe erhält zwei Tennisbälle, die an einer Schnur geschleudert werden können. Bälle mit einem schwarzen Punkt sind mit Erbsen gefüllt und daher schwerer. Zur Vermeidung von Schürfwunden gibt es bei Bedarf Handschuhe.

Es soll in einem Freihandexperiment *qualitativ* untersucht werden, wovon $\|\vec{F}_z\|$, der Betrag der Zentripetalkraft, abhängt. Gehe/geht dazu wie folgt vor:

1. **Einzelarbeit (max. 2 min):** Notiere “Je-desto-Vermutungen” für $\|\vec{F}_z\|$. Beachte, dass nicht alle 5 Größen zur Beschreibung von Kreisbewegungen (T, f, ω, r, v) vorkommen müssen, da nur je 2 unabhängig sind.

2. **Gruppenarbeit (max. 8 min):** Vergleicht eure Hypothesen. Einigt euch, wie das Experiment ablaufen soll und führt es im Flur vor dem Raum durch – **achtet auf genügend Sicherheitsabstand und zielt nicht auf die Glastüren!** Zeitmessungen dürfen (falls nötig) mit dem Smartphone erfolgen, die unterschiedlich schweren Bälle dürfen mit anderen Gruppen getauscht werden. Übersetzt eure Beobachtungen dann in eine vermutete Formel:

$$|\vec{F}_z| \propto \rule{3cm}{0.4pt} \quad (\propto \text{ bedeutet “ist proportional zu”})$$

Jede Bankgruppe erhält zwei Tennisbälle, die an einer Schnur geschleudert werden können. Bälle mit einem schwarzen Punkt sind mit Erbsen gefüllt und daher schwerer. Zur Vermeidung von Schürfwunden gibt es bei Bedarf Handschuhe.

Es soll in einem Freihandexperiment *qualitativ* untersucht werden, wovon $\|\vec{F}_z\|$, der Betrag der Zentripetalkraft, abhängt. Gehe/geht dazu wie folgt vor:

1. **Einzelarbeit (max. 2 min):** Notiere “Je-desto-Vermutungen” für $\|\vec{F}_z\|$. Beachte, dass nicht alle 5 Größen zur Beschreibung von Kreisbewegungen (T, f, ω, r, v) vorkommen müssen, da nur je 2 unabhängig sind.

2. **Gruppenarbeit (max. 8 min):** Vergleicht eure Hypothesen. Einigt euch, wie das Experiment ablaufen soll und führt es im Flur vor dem Raum durch – **achtet auf genügend Sicherheitsabstand und zielt nicht auf die Glastüren!** Zeitmessungen dürfen (falls nötig) mit dem Smartphone erfolgen, die unterschiedlich schweren Bälle dürfen mit anderen Gruppen getauscht werden. Übersetzt eure Beobachtungen dann in eine vermutete Formel:

$$|\vec{F}_z| \propto \rule{3cm}{0.4pt} \quad (\propto \text{ bedeutet “ist proportional zu”})$$

Jede Bankgruppe erhält zwei Tennisbälle, die an einer Schnur geschleudert werden können. Bälle mit einem schwarzen Punkt sind mit Erbsen gefüllt und daher schwerer. Zur Vermeidung von Schürfwunden gibt es bei Bedarf Handschuhe.

Es soll in einem Freihandexperiment *qualitativ* untersucht werden, wovon $\|\vec{F}_z\|$, der Betrag der Zentripetalkraft, abhängt. Gehe/geht dazu wie folgt vor:

1. **Einzelarbeit (max. 2 min):** Notiere “Je-desto-Vermutungen” für $\|\vec{F}_z\|$. Beachte, dass nicht alle 5 Größen zur Beschreibung von Kreisbewegungen (T, f, ω, r, v) vorkommen müssen, da nur je 2 unabhängig sind.

2. **Gruppenarbeit (max. 8 min):** Vergleicht eure Hypothesen. Einigt euch, wie das Experiment ablaufen soll und führt es im Flur vor dem Raum durch – **achtet auf genügend Sicherheitsabstand und zielt nicht auf die Glastüren!** Zeitmessungen dürfen (falls nötig) mit dem Smartphone erfolgen, die unterschiedlich schweren Bälle dürfen mit anderen Gruppen getauscht werden. Übersetzt eure Beobachtungen dann in eine vermutete Formel:

$$|\vec{F}_z| \propto \rule{3cm}{0.4pt} \quad (\propto \text{ bedeutet “ist proportional zu”})$$