

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

Unterrichtsentwurf für den 1. Unterrichtsbesuch im Fach Physik

Studienreferendar: Dr. Daniel J. Wieczorek
Ausbildungsschule: Freiherr-vom-Stein-Gymnasium Leverkusen
Datum: Dienstag, 19.01.2016
Zeit: 5. Stunde (12:00 - 12:45 Uhr)
Lerngruppe: 8x (y Schülerinnen, z Schüler)
Hospitation seit:
Unterricht seit:
Raum:
Fachlehrer:
Fachseminarleiter:
Kernseminarleiterin:
Ausbildungsbeauftragter:
Schulleiterin:

Thema der Unterrichtsreihe: Kräfte
Thema der heutigen Stunde: Warum muss man bei einem Seil, in dessen Mitte eine 1,5l-Wasserflasche befestigt ist, für zunehmende Spreizung der Seilenden betraglich immer größere Zugkräfte aufwenden? Einführung einer graphischen Regel zur Kräfteaddition ausgehend von der graphischen Darstellung der in einem Freihandexperiment wirkenden Kräfte.
Hausaufgabe zur heutigen Stunde: keine
eingeführtes Physikbuch: Fokus Physik 7-9

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau des Unterrichtsvorhabens	3
2	Lernziele und Kompetenzen	3
3	Didaktisch-methodische Überlegungen	4
3.1	Sachanalyse	4
3.2	Lernvoraussetzungen	5
3.3	Didaktische Überlegungen	5
3.4	Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen	9
4	Verlaufsplan	11
5	Quellenverzeichnis	12
6	Erklärung	12

1 Aufbau des Unterrichtsvorhabens

Entfällt für diesen Unterrichtsbesuch.

2 Lernziele und Kompetenzen

Durch das gewählte Lernarrangement soll als Stundenziel erreicht werden, dass die Schülerinnen und Schüler¹

- *aus einer maßstabsgerechten Zeichnung zweier nicht kollinearere Kräfte und ihrer Resultierenden eine Regel zur graphischen Addition von Kräften ableiten können,*
- *ein Freihandexperiment zur Illustration der Kräfteaddition nennen können,*
- *und mit dieser Regel anhand einer Skizze beispielhaft begründen können, warum zur Kompensation der auf eine in der Mitte eines Seils hängende Masse wirkenden Gewichtskraft mit zunehmender Spreizung der Seilhälften betragsmäßig immer größere Zugkräfte erforderlich sind (Eventualziel).*

Teilziele

TZ1: das Freihandexperiment durchführen können

TZ2: beschreiben können, dass die Beträge der erforderlichen Zugkräfte mit zunehmender Spreizung des Seils wachsen

TZ3: erklären können, warum eine Haltekraft als Resultierende der Zugkräfte wirkt

TZ4: die wirkenden Kräfte maßstabsgerecht und im richtigen Winkel zeichnen können

TZ5: die Kräfteaddition durch ein Kräfteparallelogramm anwenden können (Eventualziel)

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

3 Didaktisch-methodische Überlegungen

3.1 Sachanalyse

Kräfte werden ihrer statischen Messvorschrift nach fundamental als 1-Formen modelliert, treten unter heimlicher Verwendung des euklidischen Skalarprodukts in Anwendungen jedoch zumeist als (“gebundene”) Vektoren auf. Graphisch werden sie dann der bekanntesten empirischen Interpretation des Begriffs folgend als Pfeile dargestellt, die durch Angriffspunkt, Richtung, Wirklinie und Betrag gekennzeichnet sind². Dies ist eine Abstraktion der physikalischen Alltagserfahrung: Zieht man vom Ufer aus an einem Seil, das an einem schwimmenden Boot befestigt ist, so hängt die Wirkung davon ab, wohin und wie stark man zieht und wo das Seil befestigt wurde.

Zu den definierenden Eigenschaften von Vektorpfeilen gehört es, dass zwei Pfeile zu einem dritten verknüpft werden können. Zwei Kraftpfeile werden durch Zeichnen eines Kräfte-dreiecks oder Kräfteparallelogramms addiert, wobei letzteres auch die Kommutativität dieser Verknüpfung klar herausstellt. Auch dies ist empirisch motiviert: Greifen zwei Kräfte am selben Punkt an, so üben sie dieselbe Wirkung aus wie eine Ersatzkraft, die aus dem Kräfteparallelogramm gewonnen wird.

Bindet man in einem Freihandexperiment nun eine Schnur um den Hals einer gefüllten Wasserflasche, so ist es unmöglich, die Schnur geradezuziehen: Ist die Spreizung der Schnurenden groß, so addieren sich zwei betraglich große, aber fast entgegengesetzt wirkende Zugkräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 vektoriell zur betraglich vergleichsweise kleinen Kraft $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Letztere kompensiert als Haltekraft die Gewichtskraft, die auf die Flasche wirkt. Im nicht realisierbaren Fall $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ wäre diese Kompensation mangels vertikaler Komponente nicht mehr möglich.

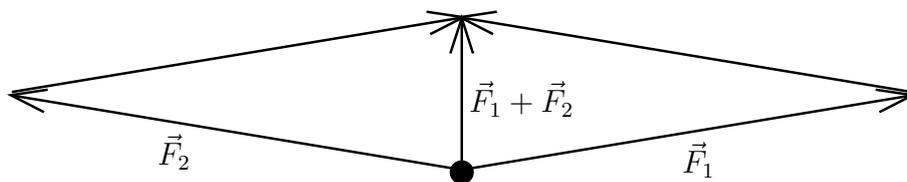


Abbildung 1: Kräfteparallelogramm

²Die Literatur bezeichnet hier nicht einheitlich: Manchmal wird unter “Richtung” auch Richtung und Wirklinie gleichzeitig verstanden, oder die Wirklinie wird als Richtung und die Richtung als Orientierung bezeichnet.

3.2 Lernvoraussetzungen

Um die Kräfteaddition verstehen und mit ihrer Hilfe das Ergebnis des Experiments erklären zu können, ist es erforderlich, dass die Schüler

- wissen, dass durch Seile Zugkräfte übertragen werden können,
- wissen, dass eine Kraft durch Angriffspunkt, Wirklinie, Richtung und Betrag gekennzeichnet ist,
- wissen, dass eine Kraft durch ihre Wirkung in Erscheinung tritt,
- Kraftpfeile maßstabsgerecht zeichnen können,
- einen Federkraftmesser zur Messung des Betrags einer Kraft verwenden können,
- den Begriff des Kräftegleichgewichts kennen.

3.3 Didaktische Überlegungen

Die graphische Kräfteaddition im Kräfteparallelogramm ist wie oben dargelegt ein wesentlicher Bestandteil der vektoriellen Natur von Kräften. Neben der Erwähnung im schulinternen Curriculum wird die Behandlung dieses Themas im Kernlehrplan Physik legitimiert durch die auf das Wechselwirkungskonzept bezogene Kompetenz “Die Schülerinnen und Schüler können mithilfe des Wechselwirkungskonzepts auch auf formalem Niveau Beobachtungen und Phänomene erklären sowie Vorgänge beschreiben und Ergebnisse vorhersagen, sodass sie Kraft und Geschwindigkeit als vektorielle Größen beschreiben” (*Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein Westfalen Physik 2014*).

Die Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung des Themas ist evident: Das Zusammenwirken von Kräften ist allgegenwärtig, vom gemeinsamen Tragen einer Last über die Statik von Brücken, Fachwerken und Möbelstücken bis zum Verständnis der Kurvenfahrt eines Fahrzeugs, bei der sich Luftreibung und die von der Straße auf das Fahrzeug wirkenden Haftreibungskraft vektoriell zur erforderlichen Zentripetalkraft addieren. Die hier gewonnenen Erkenntnisse liefern einen wesentlichen Beitrag zur physikalischen Klärung dieser Sachverhalte und tragen daher zur naturwissenschaftlichen Grundbildung der Schüler bei. Der durchgeführte Freihandversuch ist zudem ein prägnantes, körperlich deutlich erfahrbares Exemplum für die vektorielle Kräfteaddition und ermöglicht die direkte Begegnung mit einem Phänomen.

Der Einstieg in die Unterrichtsstunde erfolgt daher phänomen- und problemorientiert über ein Experiment, das während der Motivationsphase von allen Schülern durchgeführt werden soll. Möglichen Einwänden gegen die Auswahl des Versuchs

unter dem Aspekt, dass es sich um eine Demonstration der Kräftezerlegung handelt, kann wie folgt entgegengesetzt werden: Kräfteaddition und -zerlegung sind zwei Seiten derselben Medaille. Es ist zwar richtig, dass die Haltekraft in zwei Komponenten längs der Seilrichtungen zerlegt werden kann; die Frage nach dem Auffinden der Beträge dieser Kräfte stellt sich jedoch im gewählten Arrangement nicht, da diese zunächst qualitativ durch die direkte enaktive Erfahrung der Schüler gegeben sind und im späteren Verlauf quantitativ mit Hilfe eines Federkraftmessers bestimmt werden. Die Richtung ist sowohl bei der Behandlung der Addition als auch der Zerlegung vorgegeben, hier visuell durch die Richtung der Seilenden, sodass der Versuch für die Einführung der Kräfteaddition geeignet ist.

Der entscheidende Vorzug dieses Zugangs liegt in der nicht durch die vorherige Behandlung der vektoriellen Kräfteaddition entzauberten körperlichen Erfahrung, dass Kräfte, die nicht kollinear sind, nicht mehr wie reelle Zahlen behandelt werden und betraglich addiert bzw. subtrahiert werden können. Aus Schülersicht kann daher z.B. der Fall “ $100\text{N}+100\text{N}=15\text{N}$ ” auftreten. Dies stellt einen starken kognitiven Konflikt dar, der nicht durch Akkomodation zu überwinden ist, da die Schüler aus dem bisherigen Unterricht nur das Zusammenwirken kollinearere Kräfte kennen. Die Verknüpfung dieses Konflikts mit der körperlichen Erfahrung soll daher das nachhaltige Erreichen des Teil-Stundenziels “... und ein Freihandexperiment zur Illustration dieses Sachverhalts nennen” ermöglichen, das daher auch eine affektive Dimension besitzt. Ausschlaggebend für die Aufnahme dieses Aspekts war die Erfahrung des Autors mit einem Physikkurs der EF, dessen Kursmitglieder nicht nur die Regeln zur Kräfteaddition und -zerlegung nicht reproduzieren, sondern diesen zentralen Punkt der Mechanik auch mit keinerlei Alltagserfahrungen in Verbindung bringen konnten.

Um das Unterrichtsziel für möglichst alle Schüler erreichbar zu machen, ist eine genauere Formulierung der Problemfrage als sonst üblich notwendig: Statt “Warum kann man das Seil nicht geradeziehen?” oder “Warum muss man immer stärker ziehen, um das Seil ein wenig weiter zu spreizen?” soll die Kompensation der stets gleichen Gewichtskraft integriert werden. Dies dient einerseits der schriftlichen Fixierung des oben genannten kognitiven Konflikts, welcher der naiven Addition der Beträge entspricht, andererseits wird die selbstständige Entdeckung des Kräftedreiecks oder -parallelogramms gefördert. Abbildung 2 macht deutlich, dass die Verwendung der Gewichtskraft statt der sie kompensierenden Haltekraft eine erhebliche Lernschwierigkeit darstellt: Es dürfte unwahrscheinlich sein, dass die Schüler aus der linken Zeichnung eine Regel ableiten, die zur Linearkombination des Nullvektors aus \vec{F}_1 , \vec{F}_2 und \vec{F}_g führt, während die Ergänzung im rechten Teil ins Auge fällt. Außerdem stellt das linke Bild die Situation am freigeschnittenen, sich im Gleichgewicht befindenden Kontaktpunkt zwischen Seil und Flasche dar, an den die Gewichtskraft entlang ihrer Wirklinie verschoben wurde.



Abbildung 2: Vergleich der beiden Möglichkeiten, aus einer Zeichnung die Regel zur Vektoraddition abzuleiten.

Nach Einschätzung des Autors sind alle Schüler in der Lage, das Wirken der Gewichtskraft auf die Wasserflasche zu nennen und ihren Betrag anzugeben. Aufgrund der relativen Unerfahrenheit der Lerngruppe mit dem Begriff des Kräftegleichgewichts kann es jedoch notwendig sein, die Haltekraft durch das Festhalten und Fallenlassen einer Wasserflasche zu thematisieren. Dementsprechend soll die Problemfrage “Warum sind mit zunehmender Spreizung der Schnurenden Zugkräfte mit immer größerem Betrag notwendig, um dieselbe Haltekraft mit Betrag 15N aufzubringen?” lauten. Der Begriff “Spreizung” ist im Vergleich zu “auseinanderziehen” bewusst gewählt, da die für die maßstabsgerechte Zeichnung erforderliche Winkelmessung bereits implizit enthalten ist.

Im Folgenden erhalten die Schüler die Gelegenheit, sich zu ihren Vorstellungen zu äußern, die wohl im Kern durch den Satz “man zieht eben ganz stark zu den Seiten und nur ein bisschen nach oben” zu kennzeichnen sind. Diese sind qualitativ zutreffend und sollen daher in jedem Fall als wertvoll und anschlussfähig gekennzeichnet werden, wenngleich ihre vollkommene Einbettung in den Formalismus durch Zerlegung der beiden Zugkräfte in horizontale und sich kompensierende vertikale Komponenten erst in der nächsten Stunde aufgegriffen werden soll. Es ist nicht auszuschließen, dass leistungsstärkere Schüler im späteren Verlauf auch diese Erklärung finden, der dann spätestens zu Beginn der folgenden Stunde eine Bühne geboten werden kann. Der Fokus ist allerdings auf das Auffinden eines Verfahrens zu richten, das erklärt, in welcher Weise die Zugkräfte die Haltekraft erzeugen, sodass in einem Schülerdemonstrationsexperiment eine kleine Messreihe mit Kraftbeträgen und Winkeln zur Vertikalen oder Horizontalen aufgenommen werden soll. Bei großer Zeitnot kann die Stunde nach der Messung sinnvoll beendet werden, die Anfertigung einer Zeichnung und das Vermuten einer Regel wäre dann Hausaufgabe.

Die Sammlung der Schule verfügt über kein funktionierendes Paar Federkraftmesser mit einem Messbereich oberhalb von 10N. Sofern ein Federkraftmesser von den Schülern zerstört werden sollte, muss mit einer vorbereiteten Messreihe gearbei-

tet werden. Aus Gründen der Transparenz ist darauf hinzuweisen, warum die Messung nicht mit sehr großen Spreizungen durchgeführt werden kann. Aus didaktischer Sicht ist dies allerdings sogar vorteilhaft, da die Erarbeitung der Kräfteaddition deutlicher von der Erklärung des Versuchs abgegrenzt wird. Im Schülerversuch werden i.d.R. Zugkräfte mit unterschiedlichem Betrag auftreten. Dies ist sogar förderlich, da eine symmetrische Anordnung die Ableitung der Regel nicht vereinfacht und gegenüber den Schülern künstlich gerechtfertigt werden müsste³. Zusätzlich kann der Fall auftreten, dass ein Kraftbetrag $F_i < 7.5N$ auftritt, d.h. eine Zugkraft ist betraglich kleiner als im Falle des vertikalen Haltens. Sofern dies von einem Schüler kritisch bemerkt wird⁴, so stellt dies kein Problem dar, da dieser Fall auch durch die zu entdeckende Regel abgedeckt wird. Da die Formulierung “zunehmende Spreizung” in der Problemfrage sich unmittelbar auf das Freihandexperiment bezieht, bei dem die Schnurenden sehr stark auseinandergezogen wurden, ist nicht zu befürchten, dass die Schüler hierunter auch den Fall fassen, in dem ein Winkel deutlich größer ist als der andere. Hierfür spricht auch die Definition des Verbs “spreizen” (so weit als möglich [seitwärts] voneinander wegstrecken⁵).

Aus den Messwerten werden im Anschluss arbeitsteilig maßstabsgerechte Skizzen angefertigt, aus denen dann eine Regel zur Kräfteaddition vermutet werden kann⁶. Im Sinne des Einübens und Behaltens sollen als Hausaufgabe die beiden verbleibenden Messreihen zeichnerisch ausgewertet werden. Nach der Präsentation der Ergebnisse am OHP, der Sicherung der erarbeiteten Regel an der Tafel und Übernahme ins Heft ist ein sinnvoller Stundenausstieg möglich.

Sofern die Zeit ausreicht, werden die Schüler aufgefordert, selbstständig mit Hilfe einer Skizze eine Lösung für das Problems zu finden. Hier kann nur erwartet werden, dass Abbildung 1 qualitativ reproduziert und zur Erklärung herangezogen wird. “Hier ergeben zwei Kräfte mit großem Betrag (bzw. lange Pfeile) zusammen eine Kraft mit kleinem Betrag (bzw. kurzen Pfeil)” oder “Je größer die Winkel (d.h. die Spreizung), desto länger werden die Kraftpfeile (d.h. die Beträge der Zugkräfte)” wären gute Schülerantworten auf die Frage⁷. In diesem Falle kann die Hausaufgabe durch die Aufforderung erweitert werden, seiner Familie das Experiment vorzuführen und zu erklären; in der folgenden Stunde kann diese Erklärung dann vor der Klasse wiederholt werden, um einen passenden Einstieg in die Kräftezerlegung zu erhalten.

³Dieser Hinweis stammt von J. Flothow.

⁴Diese Möglichkeit zu bedenken hat C. Markert angeregt.

⁵ <http://www.duden.de/rechtschreibung/spreizen>, abgerufen am 17.01.2016

⁶Da der Operator “vermuten” nicht existiert, verwendet die Lernzielformulierung das sprachlich etwas unglückliche “ableiten”.

⁷Der zweite Vorschlag stammt von C. Markert.

3.4 Begründung der wesentlichen methodischen Entscheidungen

Die Stunde folgt dem Planungsschema des problemorientierten Unterrichts nach Roth, da dieses (fächerübergreifend) als motivierend, transparent und lernwirksam anerkannt ist (Bleichroth, 1999). Ein besonderer Fokus liegt auf der von Wagensein geforderten Begegnung mit einem Phänomen als motivierendem Einstieg, die allgemeindidaktisch der Forderung entspricht, dass guter Unterricht von besonderen Anlässen ausgehen solle (Plöger, 2008).

Die Lerngruppe kann durch Schülerdemonstrationsexperimente als Einstieg gut motiviert werden, weswegen der stärkste Schüler das Freihandexperiment zunächst vorführen soll. Um aufgrund des vorprogrammierten Scheiterns eine Bloßstellung zu vermeiden und gleichzeitig allen Schülern die mit dem Experiment verbundene körperliche Erfahrung zu vermitteln, soll der Versuch mit vorbereiteten Flaschen noch einmal selbstständig durchgeführt werden. Eine Murrephase dient der Zusammenfassung der gemachten Beobachtungen, die im Unterrichtsgespräch zusammengeführt werden.

Die Gründe für eine ggf. verlängerte Phase der Problemfindung wurden in den didaktischen Überlegungen ausgeführt. Ein vergrößertes Foto des Experiments wird an die Tafel geklebt und im Nachhinein den Schülern zum Einkleben in ihr Merkheft ausgeteilt. Auf diese Weise wird einerseits die Reaktivierung der im Versuch gemachten subjektiven Erfahrung durch den visuellen Reiz beim späteren Betrachten des Bildes unterstützt (Bauersfeld, 1983), andererseits wird keine wertvolle Unterrichtszeit durch kunstvolles Abzeichnen der Flasche vergeudet. Auf eine reduzierte ikonische Darstellung wird hier bewusst verzichtet, da diese nur noch in Form von Kraftpfeilen erfolgen könnte und daher Wesentliches vorwegnähme.

Im Mathematikunterricht wurden Vektoren noch nicht behandelt. Es kann und darf nicht erwartet werden, dass in der Phase der Lösungen über Alltagsvorstellungen hinausgehende Erklärungsversuche angebracht werden; anderenfalls wären die Lernziele zur Vektoraddition auch hinfällig. Sollte eine Messung der "Kräfte" mit den bekannten Federkraftmessern nicht vorgeschlagen werden, so muss dies vom Lehrer eingebracht werden. Insbesondere ist auf die in diesem Zusammenhang wichtige Unterscheidung von Kräften und ihren Beträgen hinzuweisen, die zugleich eine Winkelmessung erfordert.

Ein Schülermessung in Gruppen würde nicht zum Erreichung der gesetzten Ziele beitragen, sondern durch Austeilen und anschließendes Aufräumen der benötigten Experimentierkästen Zeitverzug ohne didaktischen Mehrwert verursachen. Aus motivationalen Gründen wird die Messung allerdings als Schülerdemonstrationsexperiment durchgeführt, da die Stunde aufgrund der Fixierung auf ein im Kern mathe-

matisches Thema und die bekannte Lernschwierigkeiten beim Kraftbegriff bereits relativ geschlossen und lehrerzentriert ist und so eine Auflockerung erfolgt. Fehler bei der Kraft- und Winkelmessung sowie eine drohende Zerstörung der Federkraftmesser sind somit der Kontrolle durch Klasse und Lehrer zugänglich.

Dem Grundprinzip “think-pair-share” des kooperativen Lernens entsprechend fertigen die Schüler anschließend in Einzelarbeit eine Skizze an und erarbeiten in Partnerarbeit eine Regel zur Kräfteaddition, die im Plenum präsentiert wird. Dabei werden die drei Messungen gleichmäßig auf die Klasse aufgeteilt, sodass in der Pair-Phase immer zwei verschiedene Zeichnungen zur Verfügung stehen. Die Zeichnung wird auf einem Arbeitsblatt angefertigt, das neben dem Arbeitsauftrag bereits die maßstäbliche Zeichnung der Haltekraft enthält. Zudem wird darauf hingewiesen, dass \vec{F}_1 und \vec{F}_2 im selben Punkt angreifen wie \vec{F}_h . Dies schafft für alle Schüler die Sicherheit, die Aufgabe auch bearbeiten zu können; das Thema Kraftübertragung durch Seile wurde im Unterricht nur zweimal recht kurz angesprochen, der Angriffspunkt könnte eine Lernschwierigkeit darstellen.

Einigen Schülern werden während der Arbeitsphase Folien und Folienstifte zur Verfügung gestellt, um ihre Lösung ohne Unterbrechung für alle verfügbar zu machen. Dem Lehrer kommt danach die Aufgabe zu, die Ergebnisse zusammenzufassen und in prägnanter Weise an der Tafel festzuhalten.

Die Tafel wird als primärer Informationsträger genutzt, da sie einerseits eine Vorstrukturierung des Heftinhalts durch den Lehrer ermöglicht und andererseits alle wesentlichen Stationen des Unterrichtsverlaufs für die Klasse permanent sichtbar bleiben.

Das sonst in vielen Punkten hervorragende Lehrbuch Fokus Physik wird nicht eingesetzt, da es bereits als Vorspiel zum vektoriellen Geschwindigkeitsbegriff Vektoren und die Vektoraddition sowohl ikonisch als auch symbolisch mit Hilfe einer Basisdarstellung einführt. Dass auch Kräfte sich vektoriell addieren wird im späteren Verlauf als Tatsache genannt (Backhaus, 2010).

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 bittet stärksten Schüler nach vorne, S führt das Experiment vor L fordert alle S auf, das Experiment selbst durchzuführen L bittet S, sich in einer Murmelphase über die wesentlichen Beobachtungen zu verständigen, klebt Foto des Versuchs an die Tafel	S-Demoversuch; Flasche, Schnur S-Versuch; wie zuvor PA
Problemfindung	L: Welches Problem wollen wir lösen? S nennen "höheren Kraftaufwand" bei größerer Spreizung, evtl. gleichbleibende Gewichtskraft L moderiert, erinnert ggf. durch Halten und Fallenlassen der Flasche an \vec{F}_h , ergänzt Bild um \vec{F}_h, \vec{F}_g , notiert Problemfrage	Impuls UG; Tafel
Lösung	L: Wie können wir das Phänomen genauer untersuchen und/oder erklären? Auch eure Alltagsvorstellungen dazu sind natürlich erlaubt! S nennen Alltagsvorstellungen ("gleich fest zur Seite, wenig nach oben ziehen"), evtl. Kraftmessung L moderiert, lenkt ggf. auf Messung v. Kraftbetrag und Winkeln; erneut betonen: Kraft ist mehr als ein Zahlenwert! L ergänzt Winkel im Bild	Impuls, EA-PA UG Tafel
Tun und Ausführen	L erklärt, warum keine großen Winkel gemessen werden können (Transparenz!) S führen 2-3 Messungen aus (Zeit beachten, ggf. eine Messung "aus dem letzten Jahr" vorgeben); bemerken ggf., dass ein Kraftbetrag $< 7.5N$ vorkommen kann L überwacht und notiert, gibt bei Defekt Messwerte vor	LV S-Demovers.; zus. Geodreieck, Kraftmesser Tafel
möglicher (unwahrscheinlicher) Ausstieg mit HA: maßstäbliche Zeichnung anfertigen und Regel vermuten		
Tun & Ausf.	L ordnet Messreihen zu (1-2-3 durchzählen), verteilt AB S zeichnen, erarbeiten eine Regel S stellen am OHP vor; erklären ggf., dass ein Kraftbetrag $< 7.5N$ vorkommen kann L bündelt Ergebnisse zum Merksatz	EA, PA; AB S-Vortrag; OHP LV; Tafel
möglicher Stundenausstieg mit HA: Kräfteaddition für die beiden anderen Messungen durchführen		
Einüben und Behalten	L: Fertigt mit dieser Regel jetzt eine grobe Skizze an, die eine Erklärung für die großen Zugkräfte aus eurem Versuch liefert! S skizzieren auf OHP-Folie zwei fast kollineare, entgegengesetzt wirkende Kräfte und deren Resultierende; erklären z.B. "je größer die Winkel, desto länger die Kraftpfeile" L notiert Erklärung an die Tafel HA: zus. Experiment zu Hause vorführen und erklären	Impuls, PA S-Vortrag; OHP Tafel

5 Quellenverzeichnis

Backhaus, U. et al. (2010). *Fokus Physik 7-9*. Berlin: Cornelsen.

Bauersfeld, H. (1983). *Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklernens und -lehrens*. in: Lernen und Lehren von Mathematik. Analysen zum Unterrichtshandeln II, IDM Reihe, Band 6, Köln.

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

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

Plöger, W. (2008). *Unterrichtsplanung*. Köln: Kölner Studien Verlag.

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

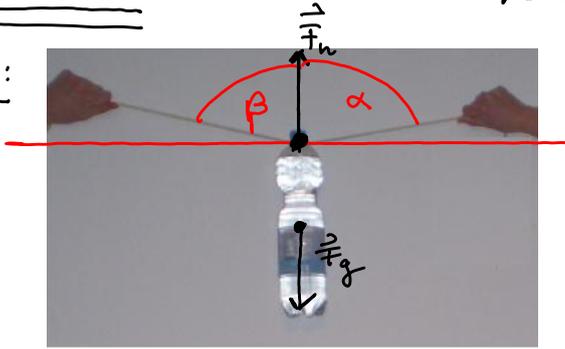
- erwartetes Tafelbild
- Arbeitsblatt

Tafelbild

Kräfteaddition

19.01.2016

Versuch:



\vec{F}_n Haltekraft
 \vec{F}_g Gewichtskraft
 } im Gleichgewicht,
 $F_n = F_g$

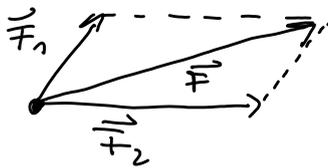
ggf. \vec{F}_1 und \vec{F}_2 mit Angriffspunkt einzeichnen!

Problem: Warum sind mit zunehmender Spreizung der schwebenden Zugkräfte mit immer größerem Betrag notwendig, um dieselbe Haltekraft mit Betrag 15N aufzubringen?

Messung:

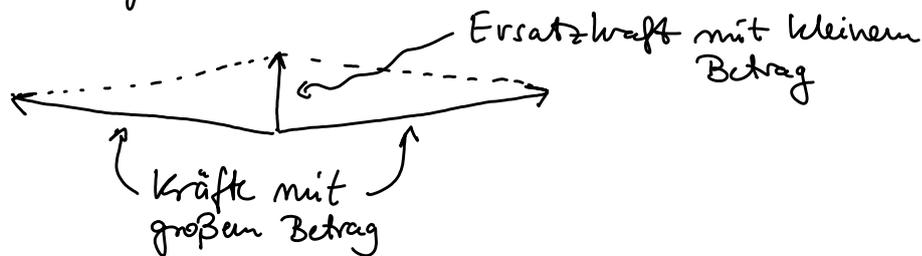
α	15°	32°	27°	45°	60°
β	25°	39°	35°	50°	65°
F_1	9,9N	10N	9,7N	11,5N	16,6N
F_2	6,0N	8,4N	7,7N	10,6N	15,9N

Ergebnis/Mohrsatz: Wirken zwei Kräfte \vec{F}_1, \vec{F}_2 auf einen Körper ein, so erhält man die Ersatzkraft \vec{F} durch ein Kräfteparallelogramm:



Man schreibt $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ (Kräfteaddition)

Erklärung des Problems: Die Zugkräfte müssen durch Kräfteaddition zur Haltekraft zusammengesetzt werden, nicht durch Addition der Beträge! Die Skizze zeigt: Je größer die Winkel (d.h. die Spreizung), desto länger werden die Pfeile der Zugkräfte.



Entdecken einer Regel zur Kräfteaddition

Im Demonstrationsexperiment haben wir für drei unterschiedliche Spreizungen der Schnürenden zwei Zugkräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 gemessen, die zusammen dieselbe Wirkung haben wie die Haltekraft \vec{F}_h . Notiere bitte die Messwerte, die dir zugewiesen wurden:

$$\alpha = \quad F_1 = \quad \beta = \quad F_2 =$$

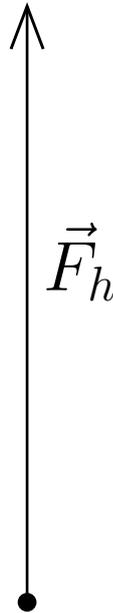
α ist der Winkel zwischen \vec{F}_h und \vec{F}_1 und β der Winkel zwischen \vec{F}_h und \vec{F}_2 .

Aufgabe 1

Einzelarbeit

Fertige eine maßstabgerechte Zeichnung der Zugkräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 an. Beide haben denselben Angriffspunkt wie die Haltekraft \vec{F}_h , die schon für dich eingezeichnet ist.

Maßstab: 1cm entspricht 2N.



Aufgabe 2

Partnerarbeit

Deine Partnerin bzw. dein Partner hat ein anderes Paar Zugkräfte gezeichnet, das aber auch dieselbe Wirkung wie \vec{F}_h hat. Findet und formuliert mit Hilfe eurer Zeichnungen gemeinsam eine Regel, die erklärt, wieso die beiden Zugkräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 dieselbe Wirkung wie \vec{F}_h haben!