

Beispiellösung für eine Didaktikklausur

(Autor: Dr. Thomas Wilhelm)

Staatsexamen Physik (Unterrichtsfach) / Fachdidaktik

(Einzelprüfungsnummer 44018/44019/44021/34010)

Prüfungstermin Herbst 2003, Thema Nr. 1

Trägheit

Teilaufgabe 1:

Bei der Behandlung der Themen lineare und kreisförmige Bewegungen müssen Sie mit Alltagsvorstellungen (Präkonzepten) der Schüler rechnen, die nicht im Einklang sind mit den physikalischen Konzepten zur Trägheit.

Erläutern Sie drei unterschiedliche Alltagsvorstellungen von Schülern im Zusammenhang mit Bewegungen!

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 1:

Allgemein:

Die Schülervorstellungen können zwar von Schüler zu Schüler variieren, sie weisen aber gemeinsame Grundzüge auf, die es ermöglichen, verallgemeinerbare Aussagen zu machen, obwohl es Vorstellungen individueller Schüler sind. Die physikalischen Begriffe sind in den Schülervorstellungen wie in der Umgangssprache Sammelbegriffe, die vielfältige Bedeutungen haben können. Die konkret gemeinte Bedeutung eines Begriffs ergibt sich häufig erst an dem jeweiligen Kontext, in dem das Wort benutzt wird.

1. Geschwindigkeit:

Was schnell und langsam bedeutet, ist schon elfjährigen Schülern intuitiv klar. Im Alltag wird Geschwindigkeit (englisch: velocity) aber auf eine positive skalare Größe (Betragsgröße) reduziert, die man mit Schnelligkeit oder Tempo (englisch: speed) bezeichnen könnte. So liegt normalerweise für Schüler bei der gleichförmigen Kreisbewegung eine konstante Geschwindigkeit (statt konstante Schnelligkeit) und folglich keine Beschleunigung vor.

Daneben treten weitere Probleme mit der Richtung auf. Im Gegensatz zur Physik haben im Alltagsverständnis zwei Körper dann die gleiche Richtung, wenn sie auf das gleiche Ziel zulaufen. Bei Kreisbewegungen liegt im Alltagsverständnis immer die gleiche Richtung vor, nämlich „immer im Kreis herum“, und Schüler zeichnen entsprechend überall den Richtungspfeil kreisförmig gebogen ein.

2. Beschleunigung:

Im Alltagsgebrauch meint „Beschleunigung“ das „Schnellerwerden“, also die Zunahme der Schnelligkeit, d.h. des Geschwindigkeitsbetrags. Anders als in der Physik versteht man darunter aber keinen Quotientenbegriff. Der Zeitraum, in dem das Schnellerwerden stattfindet, wird gelegentlich zusätzlich angegeben. Beschleunigung ist demnach keine auf den zeitlichen Verlauf des

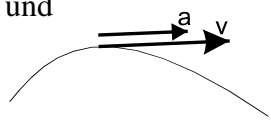
Vorgangs bezogene Größe, sondern eine Bilanzgröße, die aus dem Vergleich von Anfangs- und Endzustand ermittelt wird. Daher ist verständlich, dass mit einer großen Beschleunigung eher das Erreichen großer Endgeschwindigkeiten assoziiert wird als eine starke zeitliche Änderung, die auch bei kleinen Differenzen kleiner Absolutbeträge auftreten kann. Wegen dieses Differenzcharakters, den die Beschleunigung für die Schüler hat, kann sich die Beschleunigung eines Körpers für manche Schüler nur auf ein Zeitintervall beziehen und es ist für sie auch nicht möglich, einem Zeitpunkt eine Beschleunigung zuzuordnen, was insbesondere bei Umkehrpunkten (tiefster Punkt beim Trampolinspringen, höchster Punkt beim senkrechten Wurf) auftritt.

Als zweite Ableitung des Ortes nach der Zeit - als Veränderung der Veränderung des Ortes mit der Zeit - ist die Beschleunigung jedoch der Erfahrung nicht so leicht zugänglich wie Ort oder

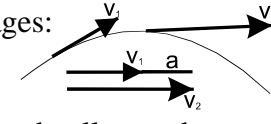
Geschwindigkeit und ihre quantitative Erfassung ist sehr viel schwieriger. So wird der Begriff Beschleunigung von den Schülern in seiner Komplexität oft reduziert (siehe Abb.). Am Drastischsten ist die Reduktion auf Geschwindigkeit. Dies entspricht dem Alltagsgebrauch, bei dem man unter einer beschleunigten Bewegung „nur“ eine schnelle Bewegung versteht, wie es beispielsweise bei dem Begriff der „beschleunigten Bearbeitung eines Aktenstückes“ deutlich wird. Bei qualitativen Aufgaben zur Beschleunigung antworten Schüler dann so, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt worden. Solche Schüler haben nur eine undifferenzierte Sicht von Bewegung und unterscheiden nicht zwischen verschiedenen Bewegungsformen und nicht zwischen den verschiedenen Bewegungsgrößen (Geschwindigkeit/Beschleunigung).

Von mehr Verständnis zeugt die Reduktion der vektoriellen Beschleunigung auf eine skalare Größe, nämlich die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages (als absolute Größe $\Delta|\vec{v}|$ oder als auf ein Zeitintervall Δt bezogene Größe $\Delta|\vec{v}|/\Delta t$). Wird Beschleunigung so verstanden, bereiten nach dem entsprechenden Unterricht auch negative Beschleunigungen meistens kaum Probleme. „Beschleunigen“ heißt demnach „schnellerwerden“, auch als „positive Beschleunigung“ be-

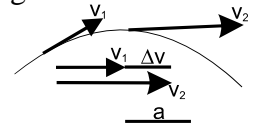
⊗ Kein prinzipieller Unterschied zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit $\vec{a} \sim \vec{v}$, nur verschiedene Formeln



⊗ Beschleunigung ist Änderung des Geschwindigkeitsbetrages:
 $a = \Delta|\vec{v}|$ ist eine Zahl
 (positive) Beschleunigung = schnellerwerden
 negative Beschleunigung = langsamerwerden



⊗ Beschleunigung ist Änderung des Geschwindigkeitsbetrages pro Zeit:
 $a = \Delta|\vec{v}|/\Delta t$ ist eine Zahl
 (positive) Beschleunigung = schnellerwerden
 negative Beschleunigung = langsamerwerden



⊗ Beschleunigung ist eine vektorielle Größe: $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$ hat eine Richtung.

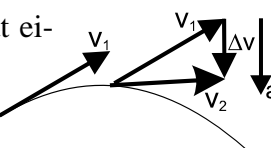


Abb.: Überblick über Schülervorstellungen zur Beschleunigung

zeichnet; „negative Beschleunigung“ bedeutet dann „langsamerwerden“, „verzögern“, „bremsen“. Wird nun Beschleunigung als eine solche skalare Größe betrachtet, die die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages (pro Zeiteinheit) angibt und deren Vorzeichen die Zu- bzw. Abnahme des Geschwindigkeitsbetrages anzeigt, führt dies zunächst kaum zu Problemen, da sich ein Körper in der Schule meist in positive Richtung bewegt. Erst bei Bewegungen in negative Richtung - wie sie bei Bewegungen mit Richtungswechsel auftreten - führt diese Vorstellung zu entgegengesetzten Ergebnissen als das physikalische Konzept, bei dem die vektorielle Beschleunigung der Quotient aus der Änderung des Geschwindigkeitsvektors durch zugehöriges Zeitintervall ist (Beispiel: In negative Richtung schneller werden ist eine negative Beschleunigung). Besonders schwierig wird es dann bei der zweidimensionalen Bewegung, da eine Kreisbewegung mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag dann keine Beschleunigung ergibt und eine Zentripetalbeschleunigung nicht verstehbar ist. Entsprechend wird bei einer Kurvenfahrt mit veränderlicher Geschwindigkeit von den Schülern nur die tangentielle Komponente der Beschleunigung angegeben.

3. Kraft:

„Kraft“ ist dabei nur ein sprachliches Zeichen für den Clusterbegriff Energie/Kraft/Schwung/Wucht/Stärke/Gewalt usw.; es sind verschiedene Namen, die den gleichen Clusterbegriff beschreiben. Konkrete Fehlvorstellungen:

a) *Sich bewegende Körper haben Kraft:*

Häufig wurde und wird bei Schülern die Vorstellung gefunden, dass ein sich in Bewegung befindender Körper eine Kraft besitzt, die man auch Wucht, Schwung oder innere Kraft nennen könnte. Man spürt diese Kraft, wenn man z.B. von einem sich bewegenden Körper getroffen wird, wie einem Fußball oder einem Auto. Man erkennt diese Kraft einmal in seiner Eigenbewegung (Durchsetzung gegen Bewegungswiderstände) und zum anderen in der Beeinflussung anderer Körper beim Stoß. Beim Stoß wird aber nur die Kraft sichtbar, die der Körper schon davor in sich hatte. Diese Kraft ist eine Eigenschaft des bewegten Körpers und abhängig von der Masse und der Geschwindigkeit des Körpers. Er hat die Kraft beim In-Bewegung-Setzen erhalten und kann sie bei Gelegenheit abgeben. Man spricht hier von der Kraft (bzw. Energie) *in* der Bewegung. Man könnte diesen Kraftbegriff annähernd mit dem physikalischen Begriff „Energie“ oder auch „Impuls“ beschreiben. Diese Kraft ist nach Schülervorstellungen proportional zur Gesamtwirkung bei einem Stoß, die z.B. an der Verformung eines Körpers zu sehen ist. Dabei spielt die Zeit der Einwirkung keine Rolle, sondern nur das Ergebnis. So hängt die Größe der Kraft z.B. auch von der erreichten Endgeschwindigkeit eines Beschleunigungsvorgangs ab, aber nicht vom Beschleunigungsvorgang selbst. Diese Kraft kann beim Stoß auch von einem Körper auf einen anderen übertragen werden („Kraftübertragung“). Man kann also sagen, dass hier eine Vermischung mit den Begriffen „Energie“ oder „Impuls“ vorliegt und Erfahrungen mit Kraftstößen eine Rolle spielen.

b) *Für eine konstante Geschwindigkeit ist eine konstante Antriebskraft nötig:*

Ebenso weit verbreitet ist die Vorstellung, dass für eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit der Einfluss einer von außen wirkenden, konstanten Kraft in Bewegungsrichtung nötig ist, die man mit Triebkraft, Bewegungskraft oder Antriebskraft bezeichnen könnte. Man spricht hier

von der Kraft (bzw. Energie) *zum* Bewegen. Diese wirkende Kraft ist proportional zu der Geschwindigkeit des Körpers und eine Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit kommt von einer Zu- oder Abnahme der Kraft. Ist jedoch kein externer Beweger vorhanden, bewegt der Körper sich zwar noch weiter durch die innere Kraft, die er von der vorher wirkenden äußeren Kraft gespeichert hat, wird aber immer langsamer und kommt zum Stillstand, weil er die gespeicherte Antriebskraft verbraucht. Diese Vorstellung hängt sehr eng mit der erstgenannten Vorstellung „Sich bewegendes Körper haben Kraft“ zusammen. Ohne Antriebskräfte befindet sich ein Körper also in Ruhe oder kommt zur Ruhe. Diese Vorstellungen entsprechen unseren Erfahrungen in einer Welt, in der es stets Reibung gibt, und ohne Antrieb jede Bewegung zur Ruhe kommt. Wirken mehrere Kräfte auf einen Körper gleichzeitig ein, bewegt er sich je nach Vorstellung in Richtung der resultierenden oder in Richtung der stärksten Kraft.

c) Aktive Körper üben Kräfte aus, passive Körper leisten Widerstand:

Allgemein findet man bei Schülern die Tendenz, die Körper, die bei einem Vorgang beteiligt sind, in *aktive und passive Körper* einzuteilen. Nur den aktiven Körpern wird die Fähigkeit zugesprochen, eine Kraft auszuüben, während ein passiver Körper keine Kraft ausüben kann, sondern lediglich aktive Kräfte oder Bewegungen hemmen kann. In einer engeren Vorstellung zählen nur belebte Körper als aktive, in einer weiteren Vorstellung auch solche, die sich in Bewegung befinden oder sich wie eine Feder in einem Spannungszustand befinden. Schließlich gehören auch magnetische Körper oder eventuell bei Fallvorgängen schwere Körper durch ihre Gewichtseigenschaft dazu. Passive Körper sind dagegen solche, die sich nicht bewegen und sich in entspannten, stabilen Lagen befinden. Eng damit verbunden sind *Vorstellungen von Absichten und Zielen*. Aktive Kräfte dienen in Schülervorstellungen einem bestimmten Ziel, d.h. sie können mit einem bestimmten Ziel auf sich oder auf andere Körper einwirken. Passive Widerstände sind ohne Absicht nur Hemmnisse. Demnach sind Reibungskräfte immer nur Widerstände gegen Bewegungen, aber keine wirklichen Kräfte.

Beispielsweise wurden Schüler mit der Aussage konfrontiert, dass es beim Anfahren eines Autos die Straße ist, die die beschleunigende Kraft ausübt, was von den Schülern entschieden als völlig absurd abgelehnt wurde: Die Straße, die einfach nur so daliege (passiv, absichtslos), könne doch keine Kraft ausüben und kein Auto beschleunigen (aktiv, zielgerichtet). Ebenso gilt für die Schüler, dass ein Sprinter sich selbst durch seine eigene Kraft vom Startblock abstoßen kann, während der Startblock keine Kraft ausübt, sondern als Widerstand ein Wegrutschen des Fußes verhindert. Ein Tisch übt auf ein auf ihm liegendes Buch keine Kraft aus. Er verhindert lediglich als Hemmnis, dass das Buch auf den Boden fällt.

Bei diesen Aussagen merkt man schon, dass das *3. newtonsche Axiom überhaupt nicht verstanden* wird. Die Formulierungen „*actio gleich reactio*“ bzw. „Kraft gleich Gegenkraft“ verleiten allerdings auch zu der beschriebenen Einteilung in eine aktive Ursache und in eine passive Wirkung. In der newtonschen Sichtweise sind jedoch beides völlig gleichberechtigte Kräfte. Das *3. Axiom* wird von den Schülern meistens so verstanden, dass beide Kräfte am gleichen Körper angreifen. Die 'Gegenkraft' wird von einem Körper als passiver Widerstand gegen eine von außen einwirkende Kraft mobilisiert. Wirkt also auf einen ruhenden Körper eine äußere Kraft ein, bewirkt seine Gegenkraft, dass er sich nicht oder nur allmählich in Bewegung setzen lässt.

Teilaufgabe 2:

Begründen Sie, weshalb im Physikunterricht das Eingehen auf Alltagsvorstellungen von Schülern zu physikalischen Sachverhalten wichtig ist!

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 2:

Dass im Physikunterricht das Eingehen auf Alltagsvorstellungen von Schülern zu physikalischen Sachverhalten wichtig ist, ist eine alte Erkenntnis. Diesterweg sagte schon: „Ohne die Kenntnis des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich“. Piaget sieht Lernen, den Prozess des Erwerbs neuen Wissens und neuer Fähigkeiten, als subtiles Wechselspiel von Assimilation und Akkommodation. Durch die Assimilation versucht der Lernende, die außenweltlichen Ereignisse, die neuen Erfahrungen, seinen bereits vorhandenen kognitiven Strukturen anzugleichen. Gelingt die Assimilation nicht, müssen die vorhandenen Schemata modifiziert, oder es muss ein völlig neues Schema entwickelt werden (Akkommodation). Das Vorwissen muss also berücksichtigt werden. Unzählige neue Lernstudien zeigen, dass fachspezifisches Vorwissen der wichtigste Faktor ist, der Lernen und Problemlösen bestimmt. Lernen ist nur auf Basis des vorhandenen Wissens möglich.

Da also die vorhandenen Schülervorstellungen für das Lernen neuer physikalischer Konzepte von so grundlegender Bedeutung sind, ist es sinnvoll, diese Vorstellungen im Unterricht auch zu thematisieren und den physikalischen Vorstellungen gegenüberzustellen. Geschieht dies nicht, besteht die Gefahr, dass neue Information so selektiert und transformiert wird, dass sie in die vorhandene kognitive Struktur eingepasst werden bzw. diese erweitern, ohne sie im Kern zu verändern. Von den Schülern so missverstandene - d.h. auf dem Hintergrund ihrer Vorstellungen interpretierte -, an sich zutreffende Informationen des Lehrers führen bei den Schülern damit zu Vorstellungen, die der Lehrer nicht beabsichtigt hatte. Das Problem ist, dass die Sinnesdaten, die ein Adressat empfängt, keine ihnen innewohnende Bedeutung haben, sondern diese erst vom Adressaten aufgrund seiner Vorstellungen bekommen. So ergibt sich folgendes Problem: Der Lehrer sagt etwas, das im Rahmen seiner physikalischen Vorstellungen eine bestimmte Bedeutung hat. Der Schüler interpretiert das Gesagte aufgrund seines andersartigen Vorverständnisses (er hat ja noch nicht die physikalische Vorstellung) jedoch anders, also aus Sicht des Lehrers falsch. Umgekehrt hat die Antwort des Schülers im Rahmen seiner vorunterrichtlichen Vorstellungen eine bestimmte Bedeutung. Der Lehrer interpretiert das aufgrund seiner anderen Vorstellungen (er kennt evtl. nur die physikalische Vorstellung) jedoch auch anders als vom Schüler gemeint und bestätigt ihm z.B. fälschlicherweise die Richtigkeit der Aussage. So redet man aneinander vorbei und missversteht sich („hermeneutischer Zirkel“). Auf diese Weise macht der Unterricht nach Nachtigall aus den ursprünglichen Präkonzepten häufig Misskonzepte. Damit ist nach Nachtigall in erster Linie gemeint, dass zwar noch präkonzeptionell gedacht wird, aber das wohldefinierte physikalische Vokabular zur Erklärung benutzt wird.

Wenn der Physikunterricht nicht auf die vorhandenen Schülervorstellungen eingeht, führt das insgesamt zum Entstehen gewisser Wissensstrukturen, die mit dem Begriff „Wissenskompartimentalisierung“ bezeichnet werden. Gemeint ist, dass das Wissen über einen bestimmten Bereich aus verschiedenen, separat gehaltenen und nicht miteinander verknüpften Teilen zusammengesetzt ist. Wird auf vorhandene Alltagsvorstellungen nicht eingegangen, ist es möglich, dass

dann korrekte und inkorrekte Konzepte unberührt nebeneinander stehen bleiben. Das größte Problem bei dieser Art von Wissenskompartimentalisierung ist, dass in Situationen, in denen Wissen angewendet werden soll, die Schüler oft auf ihre alten Fehlkonzepte vertrauen, anstatt auf das neu erworbene, adäquatere wissenschaftliche Wissen. Im Gespräch mit Schülern ist häufig auch ein Hin- und Herspringen zwischen den zwei Theorien festzustellen. Schließlich gibt es noch die Kompartimentalisierung von Symbolsystemen und Dingen der wirklichen Welt, d.h. es fehlt der Transfer zwischen diesen beiden. Die Gesetze der Physik werden im Prinzip wie die Spielregeln eines erfundenen Spiels aufgefasst, die überhaupt nichts mit den Entitäten und Prozessen der wirklichen Welt zu tun haben. Daraus folgt, dass einerseits Alltagsvorstellungen in der Schule nicht zum Lösen arithmetischer Probleme verwendet werden - sondern bedeutungslose Formelmanipulationen ohne Verständnis der Relevanz für das tägliche Leben durchgeführt werden -, und auf der anderen Seite die Schulkenntnisse nicht zum Erklären der alltäglichen Geschehnisse benutzt werden.

Man kann davon ausgehen, dass es nach einem Lernprozess immer ein komplexes Nebeneinander verschiedener Vorstellungen (alter und neu erworbener) gibt. Die Frage ist, ob es ein unberührtes und unbewusstes oder ein bewusstes, reflektiertes Nebeneinander ist.

Teilaufgabe 3:

Skizzieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema "Trägheitssatz" (1. Newtonsches Axiom)! Gehen Sie hierbei besonders auf Lernvoraussetzungen, Feinziele und Experimente ein! Formulieren Sie schülergemäß wichtige Ergebnisse der Unterrichtseinheit!

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 3:

Den Begriff „Trägheitssatz“ möchte ich nicht verwenden, da er sehr missverständlich ist. Trägheit meint hier etwas anderes als in der Alltagssprache. Wenn ich träge bin, will ich mich nicht bewegen, sondern zur Ruhe kommen. Ein träger Körper bleibt aber in Bewegung, solange keine Kraft auf ihn wirkt.

Lernvoraussetzungen:

Die drei Newtonschen Axiome sind keine Axiome im mathematischen Sinn, sondern stellen ein verwobenes Geflecht von Ideen dar. Aus dem zweiten Axiom lässt sich aus unserer heutigen Sicht das erste Axiom ableiten, so dass man nach dem Sinn des ersten Axioms fragen kann. Für Newton (nicht für uns) sagt das zweite Axiom, dass für eine Impulsänderung die Wirkung einer Kraft hinreichend ist (die Folge einer Kraftwirkung ist Impulsänderung), während das erste Axiom feststellt, dass sie auch notwendig ist (von Impulsänderung kann man auf Kraft schließen), d.h. der Impuls nicht von selbst abnehmen kann. Heute wird es häufig aufgrund unseres heutigen Wissens über Raum und Zeit und aufgrund einer Auffassung vom zweiten Axiom als Definition so gesehen, dass das erste Axiom für uns nur die Aufgabe hat, ein Inertialsystem zu finden, in dem dann das zweite Axiom gilt; das erste Axiom ist also heute eine Umschreibung der Definition der Inertialsysteme. Da Bezugssysteme aber in der Schule kaum explizit behandelt und insbesondere Inertialsysteme nicht behandelt werden, macht es keinen Sinn erst das erste Axiom zu unterrichten. Deshalb wird es nach dem zweiten newtonschen Gesetz behandelt.

Aus dieser Überlegung ergeben sich folgende Lernvoraussetzungen: Das zweite newtonsche Gesetz, auch Grundgleichung der Mechanik genannt, wurde bereits behandelt. D.h. die Begriffe Kraft (als Ursache für die Veränderung einer Bewegung), Masse und Beschleunigung (als Maß für die Änderung der Geschwindigkeit) sind bereits eingeführt.

Unterrichtsskizze mit Feinzielen:

Phase	Feinziel	Unterrichtsverlauf
1	Die Schüler sollen erkennen, dass konstante Geschwindigkeit ein Spezialfall des zweiten newtonschen Gesetzes ist.	Im Unterrichtsgespräch wird aus dem zweiten newtonschen Gesetz erarbeitet, dass keine Kräfte eine konstante Geschwindigkeit bedeuten.
2	Die Schüler sollen in Beispielen erkennen, dass ein Körper seine Geschwindigkeit $\neq 0$ beibehält, wenn auf ihn keine Kraft wirkt.	In mehreren Experimenten sehen die Schüler Beispiele dafür, dass sich ein Körper weiterbewegt, weil die auftretende Kraft nicht auf ihn wirkt. Vergleiche zu Alltagssituationen werden gezogen.
3	Die Schüler sollen in Beispielen erkennen, dass ein Körper in Ruhe bleibt, wenn auf ihn keine Kraft wirkt.	In zwei Experimenten sehen die Schüler Beispiele dafür, dass ein Körper in Ruhe bleibt, weil die auftretende Kraft nicht auf ihn wirkt. Vergleiche zu Alltagssituationen werden gezogen.
4	Die Schüler sollen eine erste Formulierung des ersten newtonschen Gesetzes verstehen.	Eine erste Formulierung des ersten newtonschen Gesetzes (Beharrungsprinzip) wird vorgestellt und diskutiert.
5	Die Schüler sollen in Beispielen erkennen, dass ein Körper seine Richtung beibehält, wenn auf ihn keine Kraft wirkt.	In zwei Experimenten sehen die Schüler Beispiele dafür, dass ein Körper seine Richtung beibehält, weil die auftretende Kraft nicht auf ihn wirkt. Vergleiche zu Alltagssituationen werden gezogen.
6	Die Schüler sollen erkennen, dass bei Alltagssituationen, in denen trotz Antriebskraft eine konstante Geschwindigkeit besteht, ein Kräftegleichgewicht durch eine Reibungskraft herrscht. Und die Schüler sollen eine verbesserte Formulierung des ersten newtonschen Gesetzes verstehen	Im Unterrichtsgespräch wird ausgehend vom Fahrradfahren, bei dem für eine konstante Geschwindigkeit eine Antriebskraft nötig ist, erarbeitet, dass die Luftreibung eine Kraft ist und sich beide Kräfte kompensieren. Eine verbesserte Formulierung des ersten newtonschen Gesetzes wird vorgestellt und diskutiert.
7	Die Schüler sollen auf die Hausaufgabe vorbereitet werden.	Die Schüler bekommen die Frage, wie man eine Münze, die auf einem Blatt über einem Gefäß liegt, ins Gefäß bekommt, ohne die Münze anzufassen.

Experimente:

Zu Phase 2:

a) kleiner Wagen auf fahrenden Wagen:

Auf einen großen Wagen, der hinter einem Sichtschutz aus Pappkarton steht, steht ein kleiner Wagen, der über den Sichtschutz sichtbar ist. Beide Wagen werden gemeinsam beschleunigt, dann losgelassen, so dass sie zusammen über einen längeren Versuchstisch fahren. Am Ende des Tisches fährt der große Wagen gegen einen Bremsklotz, was durch einen lauten Knall zu hören, aber nicht zu sehen ist. Der kleinere, sichtbare Wagen fährt dagegen unverändert auf dem großen Wagen weiter. Anschließend wird der Versuch ohne den Sichtschutz wiederholt. Die Schüler sollen u.a. beschreiben, wie sie (als objektive ruhende Beobachter) die Bewegung des kleinen Wagens beim Knall wahrnehmen und wie ihn ein Plastikmännchen wahrnimmt, dass sich auf dem großen Wagen befindet (als subjektiver mitbewegter Beobachter).

b) rohes Ei in bewegter Schachtel bzw. in Eierkarton:

In einer rechteckigen Pappschachtel liegt ein rohes Ei. Die Schachtel mit dem Ei wird schnell gegen eine horizontal fest eingespannte Stativstange geschoben, so dass die Schachtel abrupt abgebremst wird. Das Ei fliegt dabei aus Schachtel heraus in einen Bogen auf den Boden und zerschellt dort. Genauso ergeht es einem Autofahrer, der nicht angeschnallt gegen einen Baum fährt, sich weiterbewegt und dann durch die Windschutzscheibe fliegt. Den Schülern ist klar, dass man sich deshalb anschnallen muss. Zur Veranschaulichung dessen wird das rohe Ei in eine Eierschachtel gesetzt und erneut gegen die horizontal fest eingespannte Stativstange geschoben. Nun fliegt es nicht nach vorne, evtl. aber nach hinten aus der Schachtel heraus, was man mit einer fehlenden Kopfstütze vergleichen kann. Videos von Crashversuchen mit Dummy visualisieren das Gesagte zusätzlich.

c) Holz auf fahrenden Wagen

Ein schmaler Holzklötz steht mit der kleinsten Fläche auf einem Wagen. Der Wagen mit dem Holzstück wird vorsichtig beschleunigt, dann losgelassen, so dass sie zusammen über einen längeren Versuchstisch fahren. Am Ende des Tisches fährt der Wagen gegen einen Bremsklotz, so dass der Holzklötz umfällt. Das erinnert an Situationen, wie z.B.: die Straßenbahn hält an und stehende Fahrgäste fallen um oder eine Person am Ende eines Laufbandes am Flughafen kommt ins Stolpern.

Zu Phase 3:

a) Holz auf anfahrenden Wagen

Ein schmaler Holzklötz steht mit der kleinsten Fläche auf einem Wagen. Der Wagen wird von Hand stark beschleunigt, so dass der Holzklötz umfällt. Das Holzstück wird also auf der Unterseite vom Wagen beschleunigt, während die Oberseite zunächst in Ruhe bleibt. Das erinnert an die Situation, dass die Straßenbahn anfährt und stehende Fahrgäste umfallen.

b) kleiner Wagen auf fahrenden Wagen

Auf einen großen Wagen steht ein kleiner Wagen. Der große Wagen wird von Hand schnell hin- und herbewegt. Der kleine Wagen bleibt aber aus Sicht des ruhenden Beobachters an seinem Platz.

Zu Phase 5:

a) Gummistopfen an reißender Schnur:

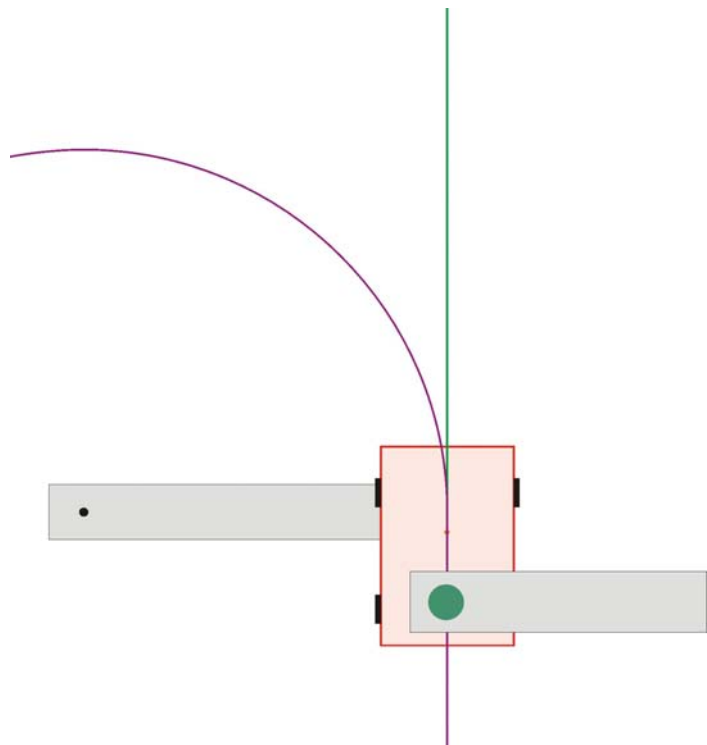
Man lässt einen Gummistopfen in der Hand an einer Schnur kreisen und dann los. Oder man lässt ihn an einer dünnen Schnur durch einen Motor kreisen und hält eine Rasierklinge hinein. Damit die Schüler sehen, dass der Gummistopfen tangential wegfliegt, ist eine Videoaufnahme ideal, die man nochmals verlangsamt ablaufen lassen kann.

Eine schöne Veranschaulichung eines vergleichbaren Alltagsvorgangs, aber kein Experiment ist das Folgende: Auf eine Folie wird ein großer Viertelkreis gezeichnet und ein Loch mit Mittelpunkt gemacht. Auf einem anderen Folienstück wird ein LKW von oben gezeichnet und die Folie so mit einer Spreizklammer für Großbriefe im Kreismittelpunkt befestigt, so dass

sich der LKW auf dem Viertelkreis bewegt. Auf einem weiteren Folienstück wird eine Ladung gezeichnet.

Nun kann man auf dem OHP mit der einen Hand den LKW auf der kreisförmigen Straße fahren lassen, während man mit der anderen Hand die nicht befestigte Ladung auf dem LKW geradeaus fahren lassen kann.

Den Schülern ist klar, dass der Fahrer denkt, dass plötzlich eine Kraft nach rechts auf seine Ladung da ist, obwohl die Last sich geradeaus bewegte, weil eben keine Kraft zur Richtungsänderung da war. Entsprechend „fliegt“ ein Auto aus der Kurve, wenn sie vereist ist.



Ergebnisformulierung:

Die erste Ergebnisformulierung lautet:

Das erste Newtonsche Gesetz (erste Formulierung):

Jeder Körper behält seine Geschwindigkeit (Betrag=Schnelligkeit und Bewegungsrichtung) bei, wenn er nicht durch äußere Kräfte gezwungen wird, seine Geschwindigkeit zu ändern.

D.h. wenn ein Körper Betrag oder Richtung seiner Geschwindigkeit ändert, so wird dies durch äußere Kräfte verursacht.

Die verbesserte Ergebnisformulierung lautet:

Das erste Newtonsche Gesetz (bessere Formulierung):

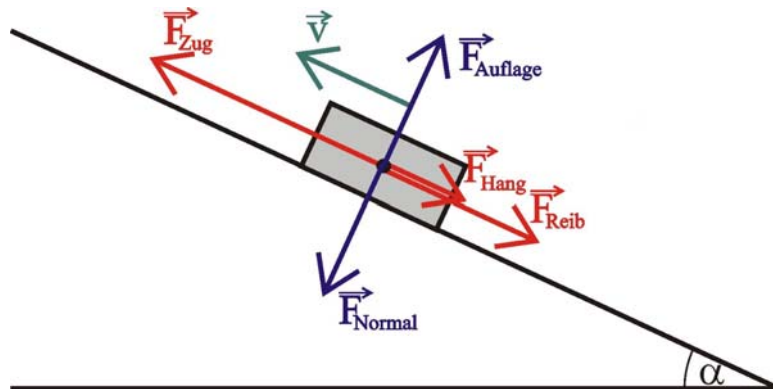
Jeder Körper behält den Betrag seiner Geschwindigkeit und seine Bewegungsrichtung bei, solange die Summe aller auf ihn wirkenden Kräfte Null ist, d.h. solange sich alle auf ihn wirkenden Kräfte gegenseitig aufheben.

Teilaufgabe 4 (Zusatzaufgabe für Didaktiken einer Fächergruppe der Hauptschule):

- Geben Sie zeichnerisch die Kräfte an, die auf einen Körper wirken, der sich mit konstanter Geschwindigkeit einen Hang hinauf bewegt!
- Ein Skifahrer ($m = 70 \text{ kg}$) wird von einem Schlepplift gleichförmig einen Skihang der Neigung 30 Grad hinaufgezogen. Welche Kraft übt der Bügel auf den Skifahrer aus? (Hinweise: Gleitreibungskoeffizient Ski - Schnee = $0,1$. Es wird angenommen, dass die durch den Schleppliftbügel ausgeübte Kraft parallel zum Hang wirkt.)

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 4:

- Außer der Zugkraft wirken auf den Körper noch eine Auflagekraft durch den Hang (Zwangskraft), die Gewichtskraft und evtl. eine Roll- oder Gleitreibungskraft sowie eine Luftreibungskraft. Die Gewichtskraft kann man zerlegen in eine Hangabtriebskraft und eine Normalkraft. Da der Körper eine konstante Geschwindigkeit hat, heben sich alle Kräfte auf (Kompensation). Die Auflagekraft ist betragsmäßig gleich der Normalkraft und die Zugkraft ist gleich der Summe aus Hangabtriebskraft und Reibungskräften:



- Zunächst gilt: $m \cdot \vec{a} = \vec{F}_{\text{Gewicht}} + \vec{F}_{\text{Auflage}} + \vec{F}_{\text{Reib}} + \vec{F}_{\text{Zug}}$. Da sich Normalkraft und Auflagekraft kompensieren, gilt: $m \cdot \vec{a} = \vec{F}_{\text{Hang}} + \vec{F}_{\text{Reib}} + \vec{F}_{\text{Zug}}$. Dies ist eine eindimensionale Bewegung in Hangrichtung (das Koordinatensystem sei nach oben gerichtet), so dass wir auch schreiben können: $m \cdot a = F_{\text{Hang}} + F_{\text{Reib}} + F_{\text{Zug}}$, wobei F für eine Komponente steht, also auch negativ sein kann (Hätte man sich dafür entschieden, dass F nur den Betrag angibt, hätte es hier nun heißen müssen: $m \cdot a = -F_{\text{Hang}} - F_{\text{Reib}} + F_{\text{Zug}}$).

Da $\vec{a} = 0$, folgt: $0 = F_{\text{Hang}} + F_{\text{Reib}} + F_{\text{Zug}}$ und $F_{\text{Zug}} = -F_{\text{Hang}} - F_{\text{Reib}}$. Mit $F_{\text{Hang}} = -m \cdot g \cdot \sin \alpha$ und $F_{\text{Reib}} = -\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$ folgt: $F_{\text{Zug}} = m \cdot g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha = 411 \text{ N}$