Ein Unterrichtskonzept zur Mechanik in Jahrgangsstufe 7 – zweidimensional und multimedial

Schriftliche Hausarbeit für die erste Staatsprüfung
für das Lehramt am Gymnasium

vorgelegt von
Florian Schüller
Juni 2007

Julius-Maximilian-Universität Würzburg
Fakultät für Physik und Astronomie
Lehrstuhl für Didaktik der Physik
Betreuer: Dr. Thomas Wilhelm

Das Lehren soll so sein, dass das Dargebotene als wertvolles Geschenk und nicht als saure Pflicht empfunden wird.
(Albert Einstein)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Schülervorstellungen zur Mechanik 4
2.1 Über die Bedeutung von Schülervorstellungen im Allgemeinen 4
2.2 Schülervorstellungen zur Mechanik 5
2.2.1 Zu den Begriffen „Ort“ und „Weglänge“ 5
2.2.2 Zum Begriff „Richtung“ 6
2.2.3 Zum Begriff „Geschwindigkeit“ 6
2.2.4 Zum Begriff „Beschleunigung 8
2.2.5 Zum Begriff „Masse“ 9
2.2.6 Zum Begriff „Kraft“ 10

3 Das Fach Natur und Technik am bayerischen Gymnasium 12
3.1 Allgemeines zum Fach Natur und Technik 12
3.2 Der Schwerpunkt Physik in der 7. Jahrgangsstufe 13
3.3 Einordnung des Unterrichtskonzepts in den bayrischen Lehrplan 15

4 Erläuterungen zu den verwendeten Medien 18
4.1 Klassische Medien 19
4.1.1 Motivierende Spielsachen 19
a) Spiel zur Bewegungsbeschreibung 19
b) Ferngesteuertes Auto 20
c) Elektrische Eisenbahn 20
d) Kugelbahn 21
e) Luftkissenpuck 22
4.1.2 Weitere Experimente 22
a) Die „Blackbox“ 22
b) Der Kugelstoß-Versuch 23
c) Das Segelfahrzeug – Rolle der Einwirkungsdauer 23
d) Volleybälle – Rolle der Masse 24
e) Schleuderball 25
4.1.3 Verschiebbare Papppfeile an der Tafel 25
4.2 Neue Medien 26
4.2.1 Das Softwaresystem PAKMA 26
a) Videoanalyse 26
b) Simulationen 29
c) Die Maus als Bewegungssensor 32
4.2.2 Die dynamische Geometriesoftware DynaGeo 33
4.2.3 Motivierende Videos 33
4.3 Schülerübung mit Stoßbrettern 33
4.4 Concept Maps 35

5 Das Unterrichtskonzept zur Mechanik in der 7. Jahrgangsstufe 37
5.1 Allgemeines über das Unterrichtskonzept 37
5.2 Darstellung der einzelnen Stunden 40

5.2.1 Stunde 1 – Einführung in die Mechanik, Beschreibung von Bewegungen ... 40
5.2.2 Stunde 2 – Die physikalische Geschwindigkeit ... 46
5.2.3 Stunde 3 – Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit 51
5.2.4 Stunde 4 – Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung ... 57
5.2.5 Stunde 5 – Die Beschleunigung als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit 65
5.2.6 Stunde 6 – Ursache von Bewegungsänderungen ... 72
5.2.7 Stunde 7 – Kurvenfahrten ... 80
5.2.8 Stunde 8 – Die Kraft, Hinführung zur Newtonschen Bewegungsgleichung ... 90
5.2.9 Stunde 9 – Die Newtonsche Bewegungsgleichung ... 98
5.2.10 Stunde 10 – Vertiefungs- und Übungsstunde zur Newtonschen Bewegungsgleichung ... 106

6 Kurzevaluation des Unterrichtskonzepts ... 111
6.1 Bemerkungen zur Klassensituation und den äußeren Umständen ... 111
6.2 Fragestellung der Untersuchung und Umsetzung im Fragebogen ... 111
6.3 Ergebnisse der Untersuchung ... 113
6.4 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen ... 121

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkung ... 132

8 Literaturverzeichnis ... 134

9 Anhang ... 136
9.1 Das Schülerheft ... 135
9.2 Die Arbeitsblätter ... 150
9.3 Die Arbeitsblätter für die Schülerübungen ... 165
9.4 Die Computersimulationen ... 172
9.5 Verwendete Videoprojekte ... 178
9.6 Sonstige Unterrichtsmaterialien ... 182
9.7 Der Fragebogen ... 187

Danksagung ... 197

Selbstständigkeitserklärung ... 198

1 Einleitung

Die Mechanik ist ein Teilgebiet der Physik, dessen Inhalte dem Leben der Schüler relativ nahe stehen und bei dem die Möglichkeit besteht einen guten Bezug zum Alltag herzustellen. Jeder Mensch sammelt von frühester Kindheit an Erfahrungen mit mechanischen Zusammenhängen und gerade Heranwachsende sind leicht für Schlagworte wie Tempo, Beschleunigung, „aus der Kurve fliegen“, Motorrad Fahren oder Crashtests zu begeistern. Durch Anschaulichkeit und Schülernähe sowie abwechslungsreiche Beispiele aus dem Alltagsleben kann man gerade auch jüngeren Schülern wichtige Einsichten vermitteln und die Relevanz dieser Inhalte verdeutlichen.

Obwohl es den Schülern häufig zunächst Schwierigkeiten macht, *„die Welt in einer „Newtonschen Gestalt“ zu sehen*“[1], ist die Einschätzung, die Mechanik sei wenig motivierend und zu schwierig für die Unterstufe, bei Umsetzung der oben genannten Grundsätze, Anschaulichkeit, Schülernähe und Alltagsrelevanz, nicht haltbar.

Im Gegenteil, durch eine Einführung in die Mechanik über die aus Schülersicht interessantere Dynamik (und nicht wie früher üblich über den Spezialfall der Statik) und alltagsnahe Beispiele sind die Inhalte eher besonders motivierend und ein qualitatives Grundverständnis für Mechanik kann gar nicht früh genug erarbeitet werden, um der Entstehung von Fehlvorstellungen möglichst zeitig entgegen zu wirken.

In diesem Sinne werden die kinematischen Grundgrößen und die Newtonschen Gesetze im Zuge des neuen bayerischen Gymnasiallehrplans bereits in der siebten Jahrgangstufe im Fach „Natur und Technik“ eingeführt. Die geringere mathematische Vorbildung und das noch nicht voll entwickelte Abstraktionsvermögen der Kinder dieser Jahrgangstufe verlangen jedoch ein grundsätzlich anderes Vorgehen als vormals in höheren Jahrgangsstufen. So legt schon die im Fachprofil dargestellte Grundkonzeption des Faches Natur und Technik[2] größeren Wert auf Anwendungsorientiertheit, ein eher phänomenologisch-experimentelles Vorgehen und Schüleraktivität. Der Unterricht soll stärker an der Anschauung und den Alltagserfahrungen der Schüler orientiert sein, ihr Interesse an der Physik wecken und eher qualitative Grundeinsichten erzeugen, als ein theoretisch-mathematisches Kalkül zu erarbeiten.

Verschiedene Studien[3] und Unterrichtserfahrungen haben zudem gezeigt, dass eine Einführung in die Mechanik sinnvoller Weise zweidimensional erfolgen sollte. Zum einen legt dies der angestrebte Grundsatz der Alltagsrelevanz und Anwendungsorientiertheit nahe. Denn beschränkt man sich von Beginn an auf den im täglichen Leben höchst seltenen Spezialfall eindimensionaler Bewegungen, widerspricht das nicht nur diesen Zielen, sondern lässt die Mechanik und die Physik allgemein in Schüleraugen wieder als eine Gedankenwelt voller Spezialfälle erscheinen, die mit dem täglichen Leben wenig zu tun hat und praktisch kaum von

---

[1] **JUNG, W. (1980)**: *Mechanik für die Sekundarstufe I*, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt, Berlin, München, S. 21

[2] Vgl. **Fachprofil Natur und Technik** auf http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26388

[3] Vgl. **WODZINSKI, R.; WIESNER, H. (1994)**: *Einführung in die Mechanik über die Dynamik. Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 164
und **WODZINSKI, R. (1996)**: *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*, Lit Verlag, Münster, S. 55 - 56

Nutzen ist. Ein weiteres wichtiges Argument für eine zweidimensionale Mechanik ist die Chance dadurch frühzeitig Fehlvorstellungen umzudeuten und unterrichtsbedingte Lernbarrieren zum Vektorverständnis gar nicht erst entstehen zu lassen.

Der Vektorcharakter der kinematischen und dynamischen Größen ist ganz entscheidend zum wirklichen Verständnis der Newtonschen Mechanik. Vielen Schülern und selbst Studienanfängern bereiten die Tatsache, dass Geschwindigkeit und Beschleunigung vektorielle Größen sind und die sich daraus ergebenden Konsequenzen besondere Probleme. So hat WILHELM[4] in einer Untersuchung zum Vektorverständnis von Studienanfängern der Physik herausgefunden, dass hier selbst bei physikalisch besonders interessierten Abiturienten, erhebliche Mängel vorliegen. Gerade bei den Größen der Kinematik und Dynamik fand er große Defizite und kommt zu dem Fazit, dass das Konzept des herkömmlichen Physikunterrichts, die Kinematik und Dynamik an eindimensionalen Bewegungen einzuführen und später auf mehrere Dimensionen zu erweitern, als gescheitert anzusehen ist. Er fordert deshalb in Übereinstimmung mit anderen Didaktikern, schon im Einführungsunterricht mit zweidimensionalen Bewegungen zu beginnen und von Beginn an mehr Wert auf den Richtungscharakter physikalischer Größen zu legen. Des Weiteren kommt er zu dem Eindruck, *„dass die Erstsemester sehr auf rechnerische Lösungen fixiert sind und graphische Lösungen ablehnen*“, da ihnen zum Teil eine Anschauung von Vektoren fehle.[5]

Genau diese beiden Probleme sollen von dem entwickelten Unterrichtskonzept angegangen werden. Auch WODZINSKI ist der Meinung, dass die Schwierigkeiten mit dem Vektorcharakter größtenteils durch den eindimensionalen Physikunterricht bedingt sind und schreibt, *„Ursache dieser Schwierigkeiten ist zum Teil, dass im Unterricht das physikalische Verständnis von Richtungen zu wenig thematisiert wird und das zu wenige Beispiele behandelt werden, bei denen die Richtung tatsächlich eine Rolle spielt.*“[6] WIESNER kommt in seinen Untersuchungen zudem zu dem Ergebnis, dass *„die zweidimensionale Vorgehensweise den Schülerinnen und Schülern keineswegs größere Schwierigkeiten als die eindimensionale bereitet.*“[7]

Zusammenfassend kann man sagen, dass es didaktisch nicht sinnvoll ist die Mehrdimensionalität und den Richtungscharakter unnötigerweise vorschnell über Bord zu werfen, um dann später mühsam und meist vergeblich zu versuchen sie zurückzuholen. Zudem eignet sich gerade ein zweidimensionaler Kurs, bei dem viel mit anschaulichen Pfeilen gearbeitet werden kann, gut, um wie gefordert das Maß an Theorie und Mathematik zurückzuschrauben und ein qualitatives und anschauliches Verständnis der Mechanik aufzubauen. Aus diesen Gründen wurde ein entsprechendes Unterrichtskonzept zur Einführung in die Mechanik in der siebten Jahrgangstufe entworfen, das diese Erkenntnisse umsetzten sollte.

Beeinflusst von den Konzepten und Erfolgen von JUNG, WIESNER, WODZINSKI und WILHELM sollte das Konzept die entsprechenden Grundgrößen der Mechanik von Beginn an als Vektorgrößen oder „Pfeilgrößen“ einführen und den Richtungscharakter sowie dessen Bedeutung

---

[4, 5] **WILHELM, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin

[6] **WODZINSKI, R. (1996)**: Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht, Lit Verlag, Münster, S. 56

[7] **WODZINSKI, R.; WIESNER, H. (1994)**: *Einführung in die Mechanik über die Dynamik Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 164

verankern. Bei der Umsetzung wurde großen Wert auf die geforderten Grundsätze Schülernähe, Alltagsrelevanz und Anschaulichkeit gelegt. Dazu wurde zum einen versucht viele verschiedene Medien entsprechend ihrer Stärken einzusetzen. Dabei wurden neben traditionellen Medien nicht nur verschiedenste motivierende Spielsachen eingesetzt, sondern ein besonderes Augenmerk der Arbeit lag auch darauf, das Konzept medial neu zu gestalten und die großen Möglichkeiten der modernen Medien, wie Videoanalyse und Computersimulationen zu nutzen. Hierbei wurden vor allem die positiven Erfahrungen und Ideen von WILHELM[8] berücksichtigt. Zum anderen wurde versucht die Experimente, Aufgaben und Übungen möglichst interessant und alltagsnah zu entwerfen. Ziel war es, dass sich die Schüler für die Mechanik begeistern und sie als bedeutsam für ihr tägliches Leben einstufen.
Die moderne Lehr-Lernforschung hat die große Bedeutung der Eigenaktivität der Schüler für den Lernprozess vielfach unterstrichen. In diesem Sinne wurde auch versucht den Anteil der Schüleraktivität möglichst hoch zu halten und die Schüler sollten zudem in zwei Schülerübungen die Möglichkeit haben, selbst praktische Erfahrungen zu sammeln. Wie oben gefordert, wurde der Schwerpunkt nicht auf theoretisches Wissen und physikalisches Rechnen gelegt, sondern es sollte vor allem ein anschauliches, aber in seinen Grenzen korrektes Grundverständnis aufgebaut werden. Wenn die Newtonsche Mechanik in späteren Jahrgangsstufen nochmals thematisiert wird, soll darauf produktiv aufgebaut werden können und die dann theoretischere Vorgehensweise soll durch das verinnerlichte Grundverständnis auf eine solide Basis zurückgreifen können.
Dieses Konzept, die damit gemachten praktischen Erfahrungen und die Ergebnisse eines im Anschluss durchgeführten Tests sollen im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt werden. Zunächst werden die wichtigsten Alltagsvorstellungen zur Mechanik und ihre Bedeutung für den Unterricht kurz erörtert (Kapitel 2). Hernach soll kurz auf das Fach Natur und Technik und seine Intention im Allgemeinen, eingegangen werden (Kapitel 3). Im vierten Kapitel werden die verwendeten Methoden und Medien vorgestellt. Im Anschluss daran soll das entworfene Unterrichtskonzept und die einzelnen Stunden ausführlich vorgestellt werden (Kapitel 5), bevor dann im letzten Kapitel die durchgeführte Evaluation und deren Ergebnisse dargestellt werden (Kapitel 6). Abschließend sind im Anhang viele der entwickelten Unterrichtsmaterialien zusammengestellt.

[8] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, 2005, ISBN 3-8325-1046-X

2 Schülervorstellungen zur Mechanik

„Alltagsvorstellungen bestimmen das Lernen, weil man das Neue nur durch die Brille des bereits Bekannten „sehen" kann." (Reinders Duit)[1]

2.1 Über die Bedeutung von Schülervorstellungen im Allgemeinen

Auch wenn die Schüler am bayrischen Gymnasium erst in der 7. Jahrgangsstufe ihren ersten Fachunterricht in der Physik erhalten, haben sie bereits vorher vielfältige Alltagserfahrungen zu den im Unterricht behandelten Begriffen und Phänomenen entwickelt. Die Schüler werden im Alltag nicht nur sprachlich mit den Begriffen der Physik konfrontiert, sondern machen auch sinnliche Erfahrungen mit den zu untersuchenden Phänomenen. Diese Eindrücke müssen im Gehirn ergänzt und geordnet werden und dabei bilden sich unter Berücksichtigung der Rückmeldungen aus der Umwelt Alltagsvorstellungen, die sich im täglichen Leben als hilfreich und angemessen erweisen.

Die meisten dieser Vorstellungen stimmen jedoch nicht mit den wissenschaftlichen, physikalischen Denkweisen überein und führen dadurch zu Lernschwierigkeiten. Aus Sicht der modernen Lerntheorien bedeutet Lernen jedoch keinen einfachen Wissenstransfer vom Lehrenden zum Lernenden sondern *„lernen bedeutet, Wissen auf der Basis der Vorhandenen Vorstellungen aktiv aufzubauen"*[2]. Wenn das Wissen jedoch vom Lernenden selbst konstruiert werden muss, ist es für den Lehrer essentiell, das Vorwissen der Schüler zu kennen und daran anzuknüpfen, denn die neuen Konstruktionen hängen stark davon ab, welche Vorstellungen bereits vorhanden sind. Salopp ausgedrückt müssen die Schüler „dort abgeholt werden, wo sie sich befinden". Obwohl ADOLPH DIESTERWEG bereits 1834 in seinem „Wegweiser für deutsche Lehrer" feststellte, dass *„ohne die Kenntnis des Standpunktes des Schülers, […] keine ordentliche Belehrung desselben möglich"*[3] ist, dauerte es bis in die Siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts, bis sich das Forschungsgebiet „Schülervorstellungen" international etabliert hatte. Seit diesem Zeitpunkt hat sich auf diesem Gebiet enorm viel getan und es wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt und Ergebnisse veröffentlicht.[4]

Nachfolgend sollen ausgewählte Ergebnisse dieser Untersuchungen, die für das Themengebiet des entwickelten Unterrichtskonzepts relevant sind, dargestellt werden. Nun genügt es natürlich nicht die Schülervorstellungen und ihre Differenzen zu den wissenschaftlichen Vorstellungen zu kennen, es gilt auch einen Weg zu finden, um die Schüler zu den wissenschaftlichen Sichtweisen zu geleiten. DUIT[5] nennt dazu zwei unterschiedliche Vorgehensweisen: kontinuierliche und diskontinuierliche Lernwege. Bei der kontinuierlichen Methode versucht der Lehrer an Erfahrungen der Schüler anzuknüpfen und dabei richtige Vorstellungen Schritt für Schritt auszubauen sowie Fehlvorstellungen möglichst bruchlos umzudeuten. Bei der diskontinuierlichen Vorgehensweise konfrontiert man die Schüler bewusst mit der Unzulänglichkeit

---

[1, 2] Vgl. **KIRCHER, E.; SCHNEIDER, W. (2002):** *Physikdidaktik in der Praxis*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 1

[3] **DIESTERWEG, F. (1835)**: *Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer*, Essen

[4] Auf der Homepage des IPN (http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html) findet man eine Bibliographie mit Literaturhinweisen zu diesem Thema.

[5] **KIRCHER, E.; SCHNEIDER, W. (2002):** *Physikdidaktik in der Praxis*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 12 - 15

ihrer Fehlvorstellung und versucht sie durch kognitive Konflikte von der wissenschaftlichen Sichtweise zu überzeugen. WIESNER[6] schlägt vor die Schülervorstellungen nicht explizit oder zumindest erst nach Präsentation der wissenschaftlichen Sichtweise anzusprechen und hält den bruchlosen Übergang für vorteilhafter. Hierbei ist es allerdings weder möglich noch sinnvoll die Alltagsvorstellungen vollständig aus dem Kopf der Schüler zu verbannen, denn diese Vorstellungen haben im täglichen Leben durchaus ihre Berechtigung, unter anderem bei der Kommunikation mit „Nicht-Physikern". Es geht also nicht nur darum die vorhandenen Denkweisen zur physikalischen Sichtweise weiterzuentwickeln, sondern darüber hinaus ein bewusstes Nebeneinander der beiden Denkstrukturen zu erreichen. Den Schülern sollen die Stärken und Schwächen der beiden Sichtweisen bewusst werden und sie sollen in der Lage sein je nach Kontext zu entscheiden, welche angemessen ist. Dazu ist es wichtig diesen Unterschied im Unterricht aufzuzeigen (evtl. erst nach Darstellung des physikalischen Konzepts) und den Schülern bewusst zu machen, dass sie je nach Umgebung entscheiden müssen, welche Begriffe und Strukturen angemessen sind.

2.2 Schülervorstellungen zur Mechanik

Da die Mechanik sich mit Phänomenen und Begriffen beschäftigt, mit denen die Schüler im Alltag in der Regel häufiger in Kontakt treten als mit denen anderer physikalischer Teilgebiete, gibt es gerade zu diesem Teilgebiet besonders viele Schülervorstellungen. Auch die wissenschaftlichen Untersuchungen zu Alltagstheorien legten meist großen Wert auf dieses Gebiet, sodass die Schülervorstellungen zur Mechanik besonders gut erforscht sind.[7] Meine kurze Zusammenfassung einiger dieser Ergebnisse stützt sich im Wesentlichen auf die Abhandlungen von WILHELM[8], WIESNER[9] und WODZINSKI[10] zu diesem Thema und beschränkt sich dabei auf Begriffe und Phänomene, die im entwickelten Unterrichtskonzept auch mit den Schülern erarbeitet werden sollen, ist also auf die Kinematik und Teile der Dynamik begrenzt.

2.2.1 Zu den Begriffen „Ort" und „Weglänge"

In der newtonschen Mechanik bezeichnet der Ort einen bestimmten Punkt im Bezugssystem, den man mit einem Ortsvektor beschreiben kann. Der zurückgelegte Weg steht dagegen für die Länge der Bahnkurve einer Bewegung. Im herkömmlichen „eindimensionalen" Unterricht wird häufig nicht klar zwischen den beiden Begriffen unterschieden und für viele Schüler „verwischen" die Bedeutungen. Dadurch entstehen Lernbarrieren im Hinblick auf die Verallgemeinerung zur dreidimensionalen newtonschen Mechanik. Deshalb soll bei der zweidimen-

---

[6, 9] **WIESNER, H. (1994)**: *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Forschungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 4, S. 122 – 127

[7] Vgl. u.a. **SCHECKER, H. (1985):** *Das Schülerverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*, Bremen

[8] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 5 - 29

[9] **WIESNER, H. (1994)**: *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Forschungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 4, S. 122 – 127

[10] **WODZINSKI, R. (1996)**: *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*, Lit Verlag, Münster

sionalen Einführung der Bewegungsgrößen in diesem Konzept darauf geachtet werden, sauber zwischen dem momentanen Ort und dem zurückgelegten Weg zu differenzieren.

2.2.2 Zum Begriff „Richtung“

Im Alltag gibt es unterschiedliche Vorstellungen dazu, was es bedeutet, sich „in die gleiche Richtung“ zu bewegen. Bewegen sich zwei Körper auf das gleiche Ziel zu (Du fährst nach München, ich fahre nach München, also fahren wir beide in die gleiche Richtung, nämlich Richtung München) spricht man umgangssprachlich häufig von einer Bewegung in die gleiche Richtung, unabhängig davon, von wo aus sich die Körper diesem Ziel nähern. Andererseits ist es im Alltag aber auch üblich von gleicher Bewegungsrichtung im Sinne von Bewegung in die gleiche Himmelsrichtung zu sprechen, was der physikalischen Bedeutung der Bewegungsrichtung im Zweidimensionalen sehr nahe kommt. In der Physik beschreibt man Größen, bei denen es auf die Richtung ankommt (gerichtete Größen) durch Vektoren. Zwei Körper bewegen sich physikalisch gesehen genau dann in die gleiche Richtung, wenn ihre Geschwindigkeitsvektoren parallel zueinander sind.

Bei Kreisbewegungen kann es zu einem weiteren Problem kommen. Im Alltag spricht man dabei manchmal von einer unveränderten Richtung, nämlich „immer im Kreis herum“ und unterscheidet lediglich zwischen „links herum“ und „rechts herum“. Nach der physikalischen Vorstellung ändert sich die Bewegungsrichtung (und damit auch die Geschwindigkeit) jedoch dauernd. Ursache der Alltagsvorstellung ist eine ganzheitliche Sichtweise der Bewegung, bei der der Bewegungsablauf als Ganzes und nicht wie in der Physik üblich die momentane Bewegung betrachtet wird. Was man in der Physik unter der Richtung einer Bewegung versteht, kann man den Schülern durch einen Pfeil veranschaulichen, der oben auf dem Körper befestigt und somit immer in „Fahrtrichtung“ ausgerichtet ist.

Bei den Schülern können im Zusammenhang mit „Richtungen“ also zunächst unterschiedliche Vorstellungen vorhanden sein. Es ist wichtig diese anfangs zu vereinheitlichen, indem klargemacht wird, was man im Unterricht unter einer Bewegung in die gleiche Richtung versteht und warum diese Konvention zweckmäßig ist.

2.2.3 Zum Begriff „Geschwindigkeit“

In der Physik ist die Geschwindigkeit allgemein als Ableitung des Ortes nach der Zeit $\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{x}(t)}{\Delta t} = \frac{d\,\vec{x}(t)}{dt} = \dot{\vec{x}}(t)$ definiert und damit eine gerichtete Größe. Als mittlere Geschwindigkeit oder Durchschnittsgeschwindigkeit bezeichnet man den Quotienten aus dem Ortsänderungsvektor $\Delta \vec{x}$ und der dazu benötigten Zeit Δt, $\vec{v}_{mittel} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$. Die Geschwindigkeit hat als Vektor sowohl einen Betrag, als auch eine Richtung. Der Geschwindigkeitsbetrag $\left|\vec{v}\right|$ ist dagegen ein Skalar und wird auch mit Tempo oder Schnelligkeit bezeichnet.

Im Gegensatz zum Englischen, in dem es mit „velocity“ und „speed“ auch im Alltag zwei unterschiedliche Bezeichnungen für die Geschwindigkeit und ihren Betrag gibt, unterscheidet die deutsche Sprache hier nicht sauber und man spricht umgangssprachlich meist einfach von

„Geschwindigkeit“. Im Alltag wird Geschwindigkeit also vornehmlich als eine positive skalare Größe verstanden, der Richtungscharakter wird nicht beachtet. Die Schüler haben diese Vorstellung schon früh verinnerlicht und der Mathematikunterricht festigt sie in den Klassen 5 und 6 zusätzlich noch mit der Definition $v = \frac{s}{t}$. Dadurch kommt es zwangsläufig zu Missverständnissen und Lernbarrieren, wenn im Unterricht die physikalische Geschwindigkeit als Größe eingeführt werden soll, die gleichzeitig Tempo und Bewegungsrichtung beschreibt. Man kommt zunächst in Erklärungsnot, denn der Sinn dieses Umlernens zeigt sich erst etwas später in der Dynamik, in der Bewegungsänderungen nun einfacher und einheitlicher beschrieben werden können. Statt von Bewegungsänderungen als Richtungsänderungen oder Tempoänderungen oder beidem zu sprechen, kann man einheitlich von Geschwindigkeitsänderungen reden. Dies manifestiert sich dann in dem Gesetz, „ein Körper ändert genau dann seine Geschwindigkeit, wenn eine Kraft auf ihn wirkt“. Interpretieren die Schüler in diesem Gesetz nun die Geschwindigkeit umgangssprachlich, kommt es fast unvermeidlich zu Fehlvorstellungen wie der, dass auf einer Kreisbahn mit konstantem Tempo keine Kraft wirken muss. Denn hier unterscheiden sich umgangssprachliche und physikalische Bedeutung fatal, erstere bleibt zeitlich konstant, letztere ändert sich permanent. Auch durch Einführung der physikalischen Geschwindigkeit bleibt die tief verwurzelte, alte Bedeutung erhalten. WILHELM schreibt zu diesem Problem: *„Die Schüler meinen aus dem Alltagsgebrauch bereits zu wissen, was Geschwindigkeit ist und im Unterricht nur die entsprechenden Formeln dazu lernen zu müssen. So wird auch die Richtung nur der „eigentlichen“ Geschwindigkeit, die für die Schüler die Schnelligkeit ist, hinzugefügt, ohne dass Schnelligkeit und Richtung zu einer neuen Größe zu verschmelzen.*“[11] Um diese „Verschmelzung“ bestmöglich zu erreichen, halte ich es zunächst für sinnvoll, im Unterricht den Geschwindigkeitsbetrag von Anfang an konsequent mit Tempo oder Schnelligkeit zu bezeichnen und die Schüler entsprechend zu korrigieren.

Die Geschwindigkeit selbst soll weniger mit dem Formelzeichen $\vec{v}$, als vielmehr bildlich mit einem Pfeil assoziiert werden, der seine Länge und seine Richtung ändern kann. Ziel ist es, beim Begriff der Geschwindigkeit eines Körpers in den Köpfen der Schüler das Bild eines Pfeils zu erzeugen, der oben auf dem Körper angebracht ist und stets in Bewegungsrichtung zeigt, sowie je nach Tempo seine Länge ändert. Die Aufgabe bestand nun darin, Medien und Unterrichtsmaterialien zu entwickeln, die helfen, diese bildliche Vorstellung zu erzeugen und zu veranschaulichen (vgl. 4. Medien und Unterrichtsmethoden). Erst wenn diese Anschauung von den Schülern etwas verinnerlicht ist, sollte auf die Unterschiede zum Alltagsgebrauch hingewiesen werden.

Weiterhin differenzieren viele Schüler nicht ausreichend zwischen den Intervallgrößen Weglänge s und Zeitdauer Δt einerseits und den Punktgrößen Ort $\vec{x}$ und Zeitpunkt t andererseits. Hierfür ist ebenfalls die vereinfachte Darstellung im Mathematikunterricht $v = \frac{s}{t}$ ver-

[11] **WILHELM, T. (2005)***: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung,* Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 14

antwortlich, die nur schwer zu relativieren ist. Auch in diesem Fall muss von Anfang an sorgfältig auf die korrekte Sprech- und Schreibweise geachtet werden und der Unterschied, sowie der Vorteil der physikalischen Darstellung in entsprechenden Beispielen mit Anfangsgeschwindigkeit und Anfangsort verdeutlicht werden. Die Schüler sollten von Beginn an auf die Bedeutung des Zeichens Δ als „Differenz Ende – Anfang“ hingewiesen werden.

2.2.4 Zum Begriff „Beschleunigung“

Als Folge der ganzheitlichen Betrachtungsweise von Bewegungen wird im Alltag meist kaum auf Änderungen der Bewegung eingegangen. Die physikalische Beschreibung von Bewegungsänderungen ist den Schülern also intuitiv viel weniger vertraut als die Beschreibung von Bewegungen generell.[12] In der Physik beschreibt man Bewegungsänderungen durch die Beschleunigung, die allgemein als Ableitung des Geschwindigkeitsvektors nach der Zeit und somit als zweite Ableitung des Ortsvektors nach der Zeit definiert ist, $\vec{a}(t) = \frac{d\,\vec{\mathrm{v}}(t)}{dt} = \ddot{\vec{x}}(t)$.

Die Tatsache, dass die Beschleunigung wie die Geschwindigkeit eine vektorielle Größe mit Betrag und Richtung ist, spielt in der Newtonschen Mechanik eine wichtige Rolle. Die korrekte Interpretation der Beschleunigung ist für die Schüler jedoch noch schwerer zu erfassen als die der physikalischen Geschwindigkeit, da sie als Quotientenbegriff und zweite Ableitung, also Veränderung einer Veränderung, der Erfahrung nicht so leicht zugänglich ist.[13]

Kurz gesagt, die Beschleunigung ist ein komplexer, schwerer Begriff. Deshalb wird er von Schülern und im Alltag oft auf einfachere Vorstellungen reduziert. Im Alltag meint Beschleunigung meist einfach „Tempo zulegen“. Wie schon bei der Geschwindigkeit wird also wieder der Richtungscharakter der Größe vernachlässigt. Diese Bedeutung ist in der Vorstellung der Schüler schon vor dem ersten Physikunterricht tief verankert und es widerstrebt ihnen zunächst sehr, auch eine Reduktion des Tempos oder eine Richtungsänderung als Beschleunigung zu bezeichnen. Meist wird dabei aber nicht nur der Richtungscharakter der Beschleunigung vernachlässigt, sondern auch die Tatsache, dass sie als Quotientenbegriff auch den zeitlichen Verlauf der Änderung berücksichtigt. Für die Schüler hat sie oft eher den Charakter einer Differenz von Anfangs- und Endgeschwindigkeit. Dies hat SCHECKER wie folgt ausgedrückt: *„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 es 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.*“[14] Hierbei ist Beschleunigung also einfach die Änderung des Geschwindigkeitsbetrags.

Um die beiden großen Probleme beim Verständnis der Beschleunigung zu vermindern, kann es deshalb didaktisch sinnvoll sein Vektor- und Quotienteneigenschaften zunächst zu trennen

---

[12] **WODZINSKI, R. (1996)**: *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*, Lit Verlag, Münster S. 41

[13] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 15

[14] **SCHECKER, H. (1985)**: *Das Schülerverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*, Bremen

und so die Komplexität des Begriffs zu reduzieren. In diesem Sinne bietet es sich an, entsprechend der oben genannten Schülervorstellung die zeitliche Änderung zunächst außen vor zu lassen und eine Differenzgröße einzuführen, die den Unterschied zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit misst. Dabei wird aber die Richtungsabhängigkeit explizit betont und die Geschwindigkeitsänderung $\vec{v}_{Ende} - \vec{v}_{Anfang}$ durch einen „Zusatzgeschwindigkeitspfeil“ $\Delta\vec{v}$ beschrieben: $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{Ende} - \vec{v}_{Anfang}$. Diese Hilfsgröße soll also genauso wie die Geschwindigkeit bildlich mit einem Pfeil assoziiert werden, der umso länger ist, je mehr sich die Geschwindigkeit ändert und dessen Richtung anzeigt, in welche Richtung diese Änderung erfolgt. Damit wird die große Bedeutung der Richtung offensichtlich, denn je nach Lage kann die Zusatzgeschwindigkeit den Geschwindigkeitspfeil verlängern, verkürzen oder drehen. Erst wenn die Richtungsabhängigkeit dieser Hilfsgröße verstanden ist, führt man die Beschleunigung als Pfeilgröße ein, die nicht nur misst, wie viel sich die Geschwindigkeit verändert hat, sondern zusätzlich noch wie schnell diese Änderung erfolgt ist.
Die Hoffnung ist also die Schwierigkeiten des Beschleunigungsbegriffs zu reduzieren, indem man ihn über einen Zwischenschritt „behutsamer“ einführt. Dadurch, dass zunächst die Richtungseigenschaften betont werden und dann erst der zeitliche Verlauf betrachtet wird, soll ein tieferes und umfassenderes Verständnis der Beschleunigung erreicht werden. Wieder wird erst nach einer gewissen Vertrautheit mit der physikalischen Vorstellung über die Unterschiede zur Alltagsbedeutung gesprochen. Diese Vorgehensweise wird im beschriebenen Unterrichtskonzept angewandt.

2.2.5 Zum Begriff „Masse“

In der Alltagswelt werden die Begriffe „Masse“ und „Gewicht“ meist vollkommen synonym gebraucht (z.B. Idealgewicht in Kilogramm). Deshalb besteht auch für Schüler im Anfangsunterricht kein Unterschied. In der Physik bezeichnen die beiden Größen jedoch etwas anderes: Die Masse ist als „schwere Masse“ zum einen die Ursache der Gravitation und als „träge Masse“ zum anderen der Proportionalitätsfaktor zwischen Kraft und Beschleunigung, wobei die Gleichheit der beiden Eigenschaften experimentell gut abgesichert ist. In der klassischen Mechanik ist die Masse zudem eine Erhaltungsgröße, ändert sich also weder zeitlich noch räumlich. Das Gewicht, oder besser die Gewichtskraft, ist die nach unten gerichtete Anziehungskraft durch die Gravitation. Sie ergibt sich aus dem Gravitationsgesetz $\vec{F}_G = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$ und kann für geringe Abstandsänderungen näherungsweise als Produkt aus Masse und Schwerebeschleunigung $\vec{g}$ geschrieben werden und ist somit im Allgemeinen nicht konstant, sondern verändert sich räumlich. Zum Beispiel ist die Masse eine Körpers auf dem Mond die Gleiche wie auf der Erde während seine Gewichtskraft aufgrund der geringeren Mondmasse auf circa ein Sechstel abnimmt. Da sich der Betrag der Schwerebeschleunigung auf der Erdoberfläche nur wenig verändert, ist das Verhältnis zwischen Gewichtskraft und Masse im täglichen Leben ungefähr konstant. Daher kommt auch der synonyme Gebrauch der beiden Begriffe.

Im Unterricht soll der Unterschied zwischen Masse und Gewicht zunächst nicht explizit erwähnt werden, sondern das intuitive Verständnis, des aus dem Alltag bekannten Schweremaßes mit der Einheit Kilogramm, angesprochen werden. Erst wenn die Newtonsche Bewegungsgleichung eingeführt wurde und die Erdanziehungskraft sowie die Masse als ihre Ursache beim Überblick über die Kraftarten besprochen wird, sollte auf den Unterschied eingegangen werden. Um die Schüler nicht zu verwirren, sollte auch die Äquivalenz von schwerer und träger Masse in der 7. Klasse nicht thematisiert werden, intuitiv ist den Schülern jedoch schon vor dem Unterricht klar, „je schwerer ein Körper ist, desto schwerer ist es auch ihn zu bewegen".

2.2.6 Zum Begriff „Kraft"

Im Alltag wird der Begriff Kraft sehr vielfältig, häufig in ganz unterschiedlichen Zusammenhängen und mit stark variierenden Bedeutungen verwendet. Dies führt zwangsweise zu Schwierigkeiten, wenn der physikalische Kraftbegriff eingeführt wird. Im Alltag meint Kraft im Zusammenhang mit „Kraft haben", meist die Fähigkeit etwas zu bewirken. Sie ist daher eher eine Eigenschaft des Körpers und keine Wechselwirkungsgröße. Über die vielfältigen Bedeutungen, die der Sammelbegriff Kraft für Schüler im Physikunterricht haben kann schreibt WILHELM: „ *„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. […] Es ist nicht so, dass der Schüler das eine Wort „Kraft" für verschiedene Begriffe verwendet, die er inhaltlich trennen kann, oder dass er nur die Begriffe wie Vokabeln verwechselt; vielmehr sieht er keinen Unterschied zwischen diesen Begriffen."*[15]

Die Schülervorstellungen zum Kraftbegriff sind sehr komplex und oftmals sind unterschiedliche Vorstellungen verschmolzen. Es gibt in der didaktischen Literatur viele Zusammenstellungen dieser Vorstellungen, hier soll nur auf einige eingegangen werden.[16]

- Schüler haben die Tendenz gewissen Körpern aktive und passive Rollen und eine bestimmte Absicht zuzuordnen. Dadurch neigen Schüler auch dazu „aktive" äußere Kräfte von „passiven" Widerständen zu unterscheiden, die in ihren Augen keine „richtigen" Kräfte sind. *„Wechselwirkungspartner, denen nach Alltagsverständnis keine Aktivität zugeschrieben wird, können auch keine Kräfte ausüben. Wird ein Ball an der Wand reflektiert, dann übt für die meisten Befragten die Wand keine Kraft aus."*[17]
- Viele Schüler haben die Vorstellung, dass ein bewegter Körper Kraft hat und zwar umso mehr, je schneller er sich bewegt. Diese Kraft zeigt sich bei einem Zusammenstoß und kann dadurch auf einen anderen Körper übertragen werden. Diese Kraftvorstellung ähnelt eher den physikalischen Begriffen Impuls und Energie und kann eventuell sinnvoll umgedeutet werden.

---

[15] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 17-18

[16] siehe zum Beispiel **SCHECKER, H. (1985):** *Das Schülerverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*, Bremen

[17] **WIESNER, H. (1994)**: *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Forschungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 4, S. 123

Damit eng verknüpft ist die Vorstellung, dass auf einen Körper, der sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, eine „Antriebs“-Kraft in Bewegungsrichtung wirken müsse. Diese Antriebskraft muss Bewegungswiderstände und Trägheitskräfte überwinden. Wirkt keine aktive Kraft in Bewegungsrichtung mehr, wird die gespeicherte Antriebskraft durch die Bewegungswiderstände aufgebraucht und der Körper kommt zur Ruhe. Daraus folgt auch die Vorstellung, dass ein Körper, auf den keine resultierende Kraft wirkt sich auch nicht oder zumindest nicht mehr lange bewegt. Unsere Erfahrungen in einer Welt in der stets Reibungskräfte wirken, führen zu der Ansicht, dass das „Zur-Ruhe-Kommen“ eine natürliche Eigenschaft von Körpern ist. Diese Denkweise zu überwinden, ist ein entscheidender, schwerer Schritt auf dem Weg zur Newtonschen Mechanik, in der gleichförmige Bewegung und Ruhe nur vom Bezugssystem abhängen und deshalb nicht fundamental verschieden sind.

- Für das entworfene Unterrichtskonzept ist zudem die Vorstellung bedeutsam, dass ein Körper sich, unabhängig vom vorausgehenden Bewegungszustand, durch eine Kraftwirkung augenblicklich in Richtung der angreifenden Kraft bewegt. Bei einem senkrechten Kraftstoß gegen eine vorbei rollende Kugel vermuten viele Schüler, dass sich die Kugel nach dem Stoß genau in Stoßrichtung bewegen wird. Die unabhängige Überlagerung von Anfangs- und Zusatzbewegung überrascht sie. Um diese Vorstellung nicht zu verstärken, ist es wichtig, in Experimenten und Aufgaben nicht nur ruhende, sondern auch Körper mit einer Anfangsbewegung zu behandeln.

  Im Gegensatz zur Alltagsverwendung ist die physikalische Bedeutung von Kraft eindeutig durch die Newtonschen Axiome definiert. Eine Kraft beschreibt demnach Betrag und Richtung einer Einwirkung eines Körpers auf einen anderen, die dessen Bewegungszustand (Geschwindigkeit) verändert, indem sie ihn, je nach Masse unterschiedlich stark, in Kraftrichtung beschleunigt. In der Physik beschreibt die Kraft somit die Wechselwirkung selbst, und nicht wie im Alltag die Fähigkeit einzuwirken. Die Kraft ist eine vektorielle Größe und hat somit einen Betrag und eine Richtung, die durch einen Kraftpfeil veranschaulicht werden können. Bei ausgedehnten Körpern spielen zudem der Angriffspunkt oder die Wirkungslinie der Kraft für die Auswirkungen eine Rolle. Wirken mehrere Kräfte auf einen ausgedehnten Körper, so können sie den Körper auch verformen.

  Im vorgestellten Unterrichtskonzept soll die Kraft von Beginn an dynamisch, also im Sinne der Newtonschen Mechanik eingeführt werden. Von Anfang an wird sie als eine Einwirkung betrachtet, die den Bewegungszustand eines Körpers verändert. Dabei sollen sich die Schüler eine Kraft als eine rasche Folge von Stößen veranschaulichen und in einer Schülerübung praktische Erfahrungen zu dieser Vorstellung sammeln, um so Fehlvorstellungen wie die oben genannten zu verringern.

  Wieder sollten die Unterschiede zur Umgangssprache erst thematisiert werden, wenn die Schüler eine gewisse Vertrautheit mit dem physikalischen Kraftbegriff erlangt haben.

3 Das Fach „Natur und Technik“ am bayerischen Gymnasium[1]

In Bayern wurde das Fach „Natur und Technik“ im Rahmen der Verkürzung der gymnasialen Schulzeit um ein Jahr zum Schuljahr 2004/2005 zunächst in den Jahrgangsstufen 5, 6 eingeführt und wenig später auf die 7. Jahrgangsstufe erweitert, um die naturwissenschaftliche Bildung in der Unterstufe zu stärken. Dabei sollte unter anderem die Begeisterung für naturwissenschaftliche Fragestellungen und ihre Anwendungen in der Technik gefördert werden. Darüber hinaus sollten die Naturwissenschaften durch Herausstellen ihrer vielen Gemeinsamkeiten verknüpft und das Denken in „Fachschubladen“ verringert werden.

3.1 Allgemeines zum Fach Natur und Technik

Die drei Jahrgangsstufen sind aus Modulen mit unterschiedlichen fachlichen Schwerpunkten aufgebaut, die jedoch durch den Lehrplan inhaltlich miteinander vernetzt werden. In der 5. Jahrgangsstufe sollen die Schüler im Modul „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ vornehmlich handlungsorientiert an die naturwissenschaftliche Arbeitsweise herangeführt werden. Es soll von der „kindlichen Neugier und der Fähigkeit zu staunen“[2] ausgegangen werden und eine Brücke vom Heimat- und Sachkundeunterricht der Grundschule zu den naturwissenschaftlichen Fächern des Gymnasiums geschlagen werden. Die Eigenaktivität und das praktische Arbeiten der Schüler sollen dabei im Mittelpunkt stehen, und sie sollen selbst in die „Rolle des Forschers und Erfinders“[3] schlüpfen. Durch „Untersuchen, Messen, Ordnen, Experimentieren, Dokumentieren, Entdecken und Forschen, Präsentieren und Arbeiten im Team“ sollen die Schüler Themenbereiche wie Licht, Luft oder Wasser ganzheitlich erforschen. Für die Physik werden dabei nicht nur wichtige Grundkenntnisse im Messen und Experimentieren vorbereitet, sondern auch erste Grundkenntnisse in den zentralen Konzepten „Energiekonzept“ und „Teilchenkonzept“ erworben.

Das zweite Modul in der 5. Jahrgangsstufe ist der Schwerpunkt Biologie. Dabei lernen die Schüler vor allem den eigenen, menschlichen Körper besser kennen, erfahren aber auch etwas über Körperbau und Lebensweise anderer Säugetiere. Wieder sollen möglichst viele Themen experimentell erarbeitet werden, um die im ersten Modul erworbenen naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen anzuwenden und zu vertiefen.

Die 6. Jahrgangsstufe besteht aus den Modulen Biologie und Informatik. Das Fach soll weiterhin großen Wert auf Experimente und Eigenaktivität der Schüler legen. Im Schwerpunkt Biologie weiten die Schüler ihr Wissen auf andere Wirbeltiere und auf Blütenpflanzen aus. Bei den Themen „Ernährung“ und „Photosynthese“ sollen sie auch einen ersten Einblick in die Denk- und Arbeitsweisen der Chemie erhalten und somit beide Fächer verknüpft werden.

Im Schwerpunkt Informatik erhalten die Schüler einen ersten Einblick in die immer wichtiger werdende Welt des Computers und der elektronischen Datenverarbeitung. Es geht vor allem darum, die unterschiedlichen Vorkenntnisse der Schüler auf eine gemeinsame Basis zu bringen und verschiedene Möglichkeiten kennen zu lernen wie man Informationen sinnvoll dar-

---

[1] Der folgende Text stützt sich vor allem auf die Lehrpläne des bayrischen Gymnasiums für das G8 auf der Homepage des ISB http://www.isb-gym8-lehrplan.de/ und auf die Kontaktbriefe des ISB zum Fach Natur und Technik auf http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=0&QNav=12&TNav=0&INav=0&Fach=17

[2] Fachprofil „Natur und Technik“ auf http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26388

[3] Jahrgangstufenplan 5, Natur und Technik auf http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26334

stellen kann. Diese Informationen sollen inhaltlich eng mit den anderen Schwerpunkten verknüpft werden. Die Zusammenarbeit der Schwerpunkte gipfelt schließlich in einem gemeinsamen Projekt, bei dem Erkenntnisse aus der Biologie, mit dem Wissen aus der Informatik multimedial aufbereitet und präsentiert werden sollen.
In der 7. Jahrgangsstufe tritt nun neben der Fortsetzung des Moduls Informatik auch erstmals der Schwerpunkt Physik in das Bewusstsein der Schüler. Im Schwerpunkt Physik sollen die Vorkenntnisse und Erfahrungen zum naturwissenschaftlichen Arbeiten und zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess aufgegriffen und speziell die physikalischen Grundbegriffe und Denkweisen genauer erarbeitet werden. Wo immer es möglich ist, soll bei der Behandlung der drei großen Themenbereiche „Optik“, „Elektrischer Strom“ und „Kräfte in der Natur und in der Technik“ die Verbindung zu den anderen Naturwissenschaften aufgezeigt werden. Dabei soll das Interesse und die Neugier der Schüler durch Schülerexperimente gefördert und vornehmlich phänomenologisch vorgegangen werden. Mathematische Methoden sollen nur „behutsam“[4] verwendet werden.
Im Schwerpunkt Informatik lernen die Schüler die Möglichkeiten des Internets kennen und bekommen einen ersten Eindruck davon, wie man mit Algorithmen Abläufe beschreiben kann. Wieder soll ein gemeinsames Projekt die beiden Schwerpunkte verknüpfen.

3.2 Der Schwerpunkt „Physik“ in der 7. Jahrgangsstufe

Der Schwerpunkt „Physik“ wurde erstmals im Schuljahr 2005/2006 im Rahmen von Natur und Technik unterrichtet. Es war dabei eine neue Erfahrung physikalische Lerninhalte bereits in der Unterstufe zu unterrichten. Die Schüler der 7. Jahrgangsstufe verfügen über deutlich geringere mathematische Vorkenntnisse und ein geringeres Abstraktionsvermögen, als die Schüler, mit denen dieselben Inhalte nach dem vorhergehenden bayrischen Gymnasiallehrplan (von 1992) erarbeitet werden mussten. Deshalb ist es unmöglich, die Konzepte aus den vormaligen Jahrgangsstufen mit kleinen Änderungen zu übernehmen, sondern es muss didaktisch und methodisch völlig anders vorgegangen werden. Dies wird noch deutlicher, wenn man die im Vergleich zum Fach Physik viel stärker anwendungsorientierte, phänomenologisch-experimentelle Grundkonzeption des Faches Natur und Technik berücksichtigt.
Der Physikunterricht im Fach Natur und Technik sollte sich somit stärker an der Anschauung, anschaulichen Modellen und konkreten Phänomenen orientieren und weniger theoretisch sein. Um das Interesse der Schüler für naturwissenschaftliche Fragestellungen zu erhalten und zu vertiefen, sollten die Inhalte möglichst gut mit ihren Alltagserfahrungen verknüpft werden. Verbale Beschreibungen und qualitatives Verständnis ersetzten oder ergänzen zumindest das mathematische Kalkül und zwar sowohl im Unterricht als auch bei Leistungserhebungen[5].
Die Intention des Faches verlangt auch, dass die Schüler möglichst oft die Möglichkeit erhalten sich aktiv mit den physikalischen Fragestellungen auseinanderzusetzen um Kenntnisse zu erwerben oder zu vertiefen. Im Sinne des reformpädagogischen Ansatzes einer handlungsorientierten und ganzheitlichen Pädagogik sollen die Schüler die Physik also nicht nur mit Kopf,

[4] Jahrgangsstufenplan 7, Natur und Technik auf http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26436
[5] Kontaktbrief des Staatsinstituts für Schulqualität und Bildungsforschung München, Juli 2004 auf http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=0&QNav=12&TNav=1&INav=0&Pub=408

sondern auch „mit Herz und Hand“[6] erfahren. Trotzdem sollen ebenfalls die zunehmenden Fähigkeiten der Schüler zum abstrahierenden Denken behutsam gefördert werden und dabei auch komplexere Zusammenhänge erarbeitet werden.
Es ist also nicht mehr möglich, den Physikunterricht als mathematische Übungsstunde zum Umstellen von Termen zu missbrauchen, vielmehr soll der Unterricht durch Schülerzentriertheit, Anwendungsorientierung und Anschaulichkeit die Faszination am Fach Physik wecken.
Für den Schwerpunkt „Physik“ sind im Lehrplan zwei Wochenstunden vorgesehen, für den Schwerpunkt Informatik eine. Es ist jedoch prinzipiell auch eine flexiblere Aufteilung der Unterrichtszeit mit zeitweise drei Stunden Physik und dafür später zwei oder drei Stunden Informatik möglich. Durch Aufzeigen der vielen Verbindungen der Physik zu den anderen Naturwissenschaften Chemie, Biologie und Erdkunde, sollen sich die Schüler der wichtigen Rolle der Physik innerhalb der Naturwissenschaften bewusst werden. Neben den bereits bekannten Arbeitsweisen beim Experimentieren sollen die Schüler nun die physikalischen Gesetzmäßigkeiten genauer verstehen und sich dabei zunehmend der physikalischen Denkweisen und Fachbegriffe bedienen. Dabei sollen die Schüler auch behutsam in das „physikalische Rechnen“ und dessen Besonderheiten im Umgang mit Einheiten und Genauigkeiten eingeführt werden. Zudem sollen sie auch erste Erfahrungen im zweckmäßigen Umgang mit dem Taschenrechner sammeln.
Üblicherweise beginnt der Physikunterricht mit dem Teilgebiet der Optik, wofür im Lehrplan circa 16 Unterrichtsstunden vorgesehen sind. Es sollen dabei zunächst bekannte Phänomene aus der Erfahrungswelt der Schüler aufgegriffen und bei deren Beschreibung die Nützlichkeit des physikalischen Modells „Lichtstrahl“ aufgezeigt werden. Mit diesem Modell wird anschließend die Bildentstehung bei einfachen optischen Instrumenten erklärt. Vor allem die Behandlung der Funktionsweise des menschlichen Auges und dessen Sehhilfen ermöglicht es, die Verbindung zur Biologie aufzuzeigen.
Folgt man der Reihenfolge im Lehrplan, so wird anschließend der Themenbereich „Elektrischer Strom“ behandelt, für den circa 18 Unterrichtsstunden vorgesehen sind. Hier lernen die Schüler ein erstes, einfaches Atommodell kennen und entwickeln damit eine leicht verständliche Vorstellung der elektrischen Leitung. Außerdem lernen die Schüler die verschiedenen Bestandteile des elektrischen Stromkreises und die physikalischen Größen Stromstärke, Spannung und Widerstand kennen. Die Bedeutung der Elektrizitätslehre für Anwendungen in Haushalt und Technik soll ebenso aufgezeigt werden, wie die Verbindungen zur Chemie, beispielsweise anhand von Elektrolyse und Batterie.
Im Lehrplan ist als letztes Themengebiet „Kräfte in der Natur und in der Technik“ vorgesehen. Mit circa 22 Schulstunden nimmt es im Schwerpunkt Physik eine bedeutende Rolle ein. Die Schüler sollen zunächst anhand von einfachen Bewegungen die grundlegenden kinematischen Größen Zeit, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung kennen lernen und dabei „einfache Berechnungen entsprechend ihrem mathematischen Leistungsvermögen“ durchführen. Anschließend wird die Kraft ganz im Sinne Newtons „als Ursache von Bewegungsänderungen“ eingeführt und nicht mehr über den Spezialfall der Statik, wie in früheren Lehrplänen üblich. Im weiteren Verlauf sollen die Newtonsche Bewegungsgleichung, der Trägheitssatz

[6] frei nach Johann Heinrich Pestalozzi

und das Wechselwirkungsgesetz behandelt werden. Als Anwendung aus Alltag und Technik soll hier in jedem Fall der Straßenverkehr und die Verkehrssicherheit besprochen werden. Weiterhin soll ein Überblick über verschiedene Kraftarten und deren Ursache gegeben werden, um einen ersten Einblick in die Vielfalt der Naturkräfte zu ermöglichen. Die Schüler sollen zudem die Darstellung der Kraft als Kraftpfeil und die damit verbundene Kräfteaddition und Kräftezerlegung kennen lernen. Unter dem Schlagwort „Kraft und Verformung“ wird zudem das Diagramm als weitere physikalische Darstellungsmöglichkeit vorgestellt und die Schüler sollen anhand des „Hookschen“ Gesetzes erfahren, wie man ein physikalisches Gesetz formuliert.

3.3 Einordnung des Unterrichtskonzeptes in den bayrischen Gymnasial-Lehrplan

Das Unterrichtskonzept „Zweidimensionale Einführung in die Mechanik in der 7. Jahrgangstufe“ sollte konform zum bayrischen Lehrplan entworfen werden, um so die Möglichkeit zu haben, es praktisch zu erproben und anschließend ansatzweise zu evaluieren. Deshalb musste auf die Vorgaben des oben dargestellten Lehrplans Rücksicht genommen werden. Der neue bayrische Lehrplan eröffnet jedoch explizit die Möglichkeit die Reihenfolge zu ändern, persönliche Schwerpunkte zu setzen und an entsprechender Stelle je nach Interesse von Schülern und Lehrer tiefer vorzudringen, sofern das Grundwissen abgedeckt ist. Um das im Rahmen dieser schriftlichen Hausarbeit ausgewählte Themengebiet praktisch testen zu können, wurde in der entsprechenden Klasse die Reihenfolge der drei großen Themengebiete umgestellt. So kam die Einführung in die Mechanik zum Thema „Kräfte in der Natur und in der Technik“ direkt nach der Optik, das Thema „Elektrischer Strom“ wurde nach hinten verschoben. Durch die vollkommene Unabhängigkeit der drei Themengebiete stellte dies keinerlei Einschränkung oder Nachteil für die Schüler dar.

Im Lehrplan findet sich keinerlei Hinweis, der den Unterricht auf eindimensionale Bewegungen beschränken und eine vektorielle Betrachtung der Größen ausschließen würde. Es ist lediglich von „der Betrachtung einfacher Bewegungen“ die Rede. Eine einfache Bewegung muss aber nicht zwingend eindimensional sein und wie WIESNER herausgefunden hat, empfinden viele Schüler zweidimensionale Bewegungen aus dem Alltag a priori nicht für schwerer als Bewegungen, die auf eine Richtung eingeschränkt sind[7]. Das Unterrichtskonzept sah eine Einführung in die Mechanik über die Dynamik vor. Die Statik sollte wenn überhaupt nur als Spezialfall am Ende behandelt werden. Im Gegensatz zu älteren Lehrplänen ermöglicht der aktuelle Lehrplan für die 7. Jahrgangstufe diese Vorgehensweise nicht nur, sondern fordert sie explizit.

Das im Rahmen meiner schriftlichen Hausarbeit entwickelte Unterrichtskonzept „Einführung in die Mechanik der Jahrgangsstufe 7 – zweidimensional und multimedial“ beschränkt sich dabei aus zeitlichen Gründen auf die Lehrplanvorgaben „Grundgrößen der Kinematik“, „Kraft als Ursache von Bewegungsänderungen, Kraftpfeile“ und „Kraft als Produkt von Masse und Beschleunigung, Newton als abgeleitete Maßeinheit“. Es würde sich jedoch ohne Probleme anbieten, es auch auf die Themengebiete „Kräftegleichgewicht“ und „Trägheitssatz“ als Spe-

[7] **WODZINSKI, R.; WIESNER, H. (1994)**: *Einführung in die Mechanik über die Dynamik. Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 164

zialfall der Newtonschen Bewegungsgleichung sowie das „Wechselwirkungsgesetz“ auszudehnen. Die nach Ansicht mancher Physikdidaktiker[8] für Schüler dieser Alterstufe nur schwer verständliche Größe „Beschleunigung“ wird im Lehrplan explizit als Grundwissen ausgewiesen und konnte somit nicht vollkommen durch die einfacher zugängliche Hilfsgröße der „Zusatzgeschwindigkeit“ ersetzt werden. Des Weiteren werden während der Unterrichtssequenz wichtige Kenntnisse und Fähigkeiten zu anderen Lehrplaninhalten vorbereitet. So üben sich die Schüler bei der zweidimensionalen Behandlung der Geschwindigkeit im Umgang mit Pfeilen und lernen sowohl die Addition als auch die Zerlegung von Geschwindigkeitspfeilen kennen. Dieses Wissen und die Vertrautheit im Umgang mit Pfeilen ermöglicht es, bei der Behandlung der Kräfteaddition und Kräftezerlegung etwas zügiger vorzugehen. Auch wird im beschriebenen Konzept von Beginn an häufig auf Anwendungen im Straßenverkehr eingegangen, was der entsprechenden Forderung im Lehrplan, dies bei der Behandlung des Trägheitssatzes zu tun, zuvorkommt. Auch der Trägheitssatz selbst und das Wechselwirkungsgesetz werden durch das verwendete Konzept der Stöße implizit vorbereitet und sollten direkt im Anschluss explizit thematisiert werden. Formulierungen aus dem Unterricht, wie „ohne Einwirkung ändert sich die Geschwindigkeit eines Körpers nicht“ oder „die Kugel stößt gegen die Wand und die Wand stößt gleichzeitig gegen die Kugel“ verdeutlichen dies. Auch machten die Schüler während der Unterrichtssequenz ihre ersten Erfahrungen mit dem physikalischen Rechnen, bei dem wiederum wichtige Grundlagen gelegt wurden.

Das Unterrichtskonzept sollte die oben genannten Themengebiete zunächst im Zeitraum von 8 Unterrichtsstunden erarbeiten. Es stellte sich jedoch bereits während der praktischen Erprobung heraus, dass es nicht möglich war, die erhofften Einsichten und Erkenntnisse in dieser Zeit befriedigend zu erreichen. Deshalb wurde das Konzept auf 10 Schulstunden erweitert. Dieser Zeitaufwand erscheint durchaus gerechtfertigt in Anbetracht dessen, dass die „Zeitvorgabe“ von 22 Stunden für die gesamte Mechanik im neuen Lehrplan eher als Vorschlag, denn als Obergrenze zu verstehen ist und durch persönliche Schwerpunktsetzung variiert werden darf, dass nebenbei weitere Inhalte implizit oder explizit vorbereitet werden und dass die Mechanik im Alltagsleben der Schüler eine sehr große Rolle spielt.

Die Inhalte des Unterrichtskonzepts zur Kinematik und zur Dynamik Newtons werden in höheren Klassen weiter vertieft. So wird in der 9. Jahrgangsstufe das Thema „Kinematik und Dynamik geradliniger Bewegungen“ behandelt, wobei mehr Wert auf die Interpretation von Graphen und physikalische Rechnungen gelegt wird. Dabei soll an die qualitativen Grundvorstellungen aus der 7. Klasse angeknüpft werden. Berücksichtigt man die positiven Erfahrungen des hier dargestellten Unterrichtskonzeptes bei der Behandlung von gerichteten Größen, erscheint es jedoch als nicht sinnvoll, sich dabei ausschließlich auf geradlinige Bewegungen zu beschränken und den Richtungscharakter völlig zu vernachlässigen. Es bestünde die Chance, produktiv an die Grundvorstellungen anzuknüpfen, diese weiter auszubauen und die geradlinige Bewegung dabei als wichtigen, mathematisch einfach zu handhabenden Spezial-

[8] In den als Quelle dienenden Mechanik-Konzepten für die Mittelstufe von W. JUNG, H. WIESNER und R. WODZINSKI wird jeweils auf eine Einführung der Beschleunigung verzichtet und nur mit der Zusatzgeschwindigkeit gearbeitet. Vgl. u.a. **WODZINSKI, R. (1996)**: *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*, Lit Verlag, Münster oder **WODZINSKI, R.; WIESNER, H. (1994)***: Einführung in die Mechanik über die Dynamik. Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 164 - 169

fall darzustellen. Indem man sich nur auf geradlinige Bewegungen beschränkt, besteht die Gefahr die wertvollen Grundlagen zu überdecken und damit endgültig in Vergessenheit geraten zu lassen.

In der 10. Jahrgangsstufe wird die Newtonsche Mechanik abermals unter dem Überbegriff „Physikalische Weltbilder“ behandelt. Hier wird explizit die Behandlung von zweidimensionalen Bewegungen vorgeschrieben und das hier dargestellte Unterrichtskonzept eignet sich sehr gut, um in diesem Zusammenhang daran anzuknüpfen und die Grundvorstellungen adäquat zur physikalischen Sichtweise auszubauen.

4 Erläuterungen zu den verwendeten Medien

Unter dem Begriff Medium versteht man eine Vielzahl von Hilfsmitteln für den Unterricht, die helfen sollen, Informationen an die Schüler zu übermitteln. Wie schon der Titel der Arbeit vermuten lässt und auch in der Einleitung bereits kurz erwähnt wurde, sollte ein Schwerpunkt des Unterrichtskonzeptes auf dem vielfältigen Einsatz unterschiedlichster Medien liegen. Die Konzepte von JUNG und WIESNER verzichten auf den Einsatz der so genannten „neuen" Medien wie Computer und Video, auch weil diese zu jener Zeit noch lange nicht die Möglichkeiten von heute boten. Sie konzentrieren sich eher auf greifbare und anschauliche Medien, die der Alltagswelt der Schüler möglichst nahe sind. Eine wichtige Rolle spielt dabei die praktische Erfahrung mit Stößen.

WILHELM legte in seinem Konzept hingegen einen Schwerpunkt auf den vielfältigen Einsatz des Computers. Dieser diente nicht nur als Messgerät bei computergestützten Experimenten, sondern vor allem auch zur besseren Visualisierung der physikalischen Größen und ihrer Änderung mit dynamisch ikonischen Repräsentationen. Darunter versteht er *„bildhafte Darstellungen physikalischer Größen, die sich entsprechend der Größe dynamisch verändern*."[1] Die simultane Veranschaulichung von Richtung und Betrag vektorieller Größen und vor allem ihrer zeitlichen Veränderung zeigte sich als didaktisch sehr fruchtbar. Die Schüler bekommen eine konkrete Vorstellung dieser abstrakten Größen und ihrer Beziehung zueinander und durch diesen Zwischenschritt wird der Übergang zu abstrakteren Darstellungsformen wie zum Beispiel Graphen erleichtert. Gerade das im Vergleich zur 11. Klasse deutlich geringere Abstraktionsvermögen der Schüler der 7. Klasse scheint für die Verwendung dieser neuen Darstellungsform zu sprechen.

Deshalb solle in dieser Arbeit versucht werden die Vorteile beider Arten von Medien zu verbinden. Zum einen sollen die Experimente möglichst greifbar, motivierend und aus der Erfahrungswelt der Schüler sein. Die Versuche sind fast ausschließlich qualitativer Art und sollen vor allem der Motivation und Veranschaulichung physikalischer Inhalte dienen und diese nicht quantitativ überprüfen. Deshalb wird auch weitgehend auf komplizierte physikalische Messgeräte verzichtet und die Experimente verwenden fast ausschließlich anschauliche und motivierende Materialien aus dem Alltag, wie Spielsachen, Sportgeräte, Kugeln und Schienen. Der Eindruck, die erarbeiteten Inhalte gelten nur für eine idealisierte Labor- und Modellwelt und hätten mit dem täglichen Leben wenig zu tun, sollte unbedingt vermieden werden. Das vorrangige Ziel, Interesse zu wecken, zu motivieren und zu veranschaulichen scheint dem Alter der Schüler angemessen und könnte salopp unter dem Motto „Spielzeug statt Luftkissenbahn" zusammengefasst werden. Zum anderen sollen aber auch die von WILHELM aufgezeigten Möglichkeiten der neuen Medien sinnvoll genutzt werden, um eine anschauliche Vorstellung der Richtungsgrößen aufzubauen und ihre zeitliche Veränderung dynamisch erfahrbar zu machen. Im Folgenden sollen nun die verwendeten Medien und zwar sowohl die „klassischen", als auch die „neuen", kurz dargestellt werden.

---

[1] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung,* Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. ?

4.1 Klassische Medien

4.1.1 Motivierende Spielsachen

Wie bereits erläutert wurden vor allem zur Beginn der Unterrichtssequenz für die veranschaulichenden Versuche gezielt Spielsachen eingesetzt. Sie sollten die Schüler motivieren und durch eine Verbindung zu angenehmen Alltagsgegenständen das Interesse an der Mechanik wecken.

a) Spiel zur Bewegungsbeschreibung – „Blindes Fangen spielen in Zeitlupe“

Die Mechanik ist die Lehre der Bewegung von Körpern unter der Einwirkung von Kräften. Bei der Einführung der kinematischen Grundgrößen im ersten Teil der Unterrichtssequenz, sollte das übergeordnete Ziel die Beschreibung von Bewegungen sein. Um die Schüler für diese Fragestellung zu motivieren und ihnen ein Gefühl für diese Problematik zu vermitteln, wurde zu Beginn ein kleines psychomotorisches Spiel durchgeführt. KIRCHER nennt verschiedene Gründe für Spiele im Physikunterricht[2]. Neben den sozialen Zielen ging es in diesem Fall aber vor allem darum eine Grunderfahrung mit dem Phänomen „Beschreibung von Bewegungen“ aufzubauen. Die Schüler sollten ein Gefühl dafür bekommen, worauf es bei der Beschreibung von Bewegungen ankommt und welche Größen dazu nötig sind. Dazu wurde das Spiel „Blindes Fangen spielen in Zeitlupe“ erdacht.

Abbildung 1: "Blindes Fangenspiel in Zeitlupe", eigene Aufnahme

Eine Gruppe besteht jeweils aus vier Spielern, nämlich einem Gejagten, einem Fänger und zwei Assistenten des Fängers. Um den Schülern die bei der Beschreibung einer Bewegung zu lösenden Probleme bewusst zu machen, wurden dem Fänger die Augen verbunden. Er konnte somit nicht sehen, wo sich sein Ziel befand und wie es sich bewegte. Diese Informationen mussten dem Fänger von den Assistenten verbal beschrieben werden. Um dem Fänger die Aufgabe nicht zu schwer zu machen - denn durch die verzögerte Information durch die Assistenten und die erst darauf folgende Reaktion, kann er nicht schnell auf Bewegungsänderungen reagieren - durfte sich der Gejagte nur langsam, also sozusagen „in Zeitlupe“ bewegen. Die Assistenten beobachten also Bewegung und Position von Jäger und Gejagtem und geben Impulse wie „schneller“, „mehr rechts“, „mehr links“ und so weiter.

Im Nachhinein ist zu sagen, dass das Spiel die beiden Ziele, Motivation und Grunderfahrung mit Bewegungsbeschreibung, zur Zufriedenheit erfüllte. Zum einen bereitete den Schülern das Spiel große Freude und sie zeigten beträchtliches Engagement. Zum anderen machten sie aber auch die gewünschten Grunderfahrungen. Vor allem die Bedeutung der Richtung für die Be-

[2] **KIRCHER, E.; GIRWIDZ, R; HÄUßLER, P. (2001):** *Physikdidaktik – Eine Einführung*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

wegungsbeschreibung wurde ihnen anschaulich klar. Denn ein Fänger kann noch so schnell sein, wenn er in die falsche Richtung läuft, wird er sein Ziel niemals erreichen. So nannten die Schüler in der auf das Spiel folgenden Besprechung auf die Frage, welche Größen zur Beschreibung einer Bewegung wichtig seien, nach der „Geschwindigkeit“ (alltäglich im Sinne von Tempo) als zweites die Richtung. Diese Vorstellung von der großen Bedeutung der Richtung wurde durch das Spiel entfacht und konnte im weitern Verlauf produktiv ausgebaut werden.

b) Ferngesteuertes Auto

Als wichtiges Demonstrationsobjekt wurde ein handelsübliches ferngesteuertes Spielzeugauto verwendet. Es war vielseitig einsetzbar und wirkte auf die Kinder sehr motivierend. So wurde es unter anderem dazu verwendet beispielhaft zu demonstrieren, wie man das Durchschnittstempo eines Fahrzeugs durch Messen von Weglänge und Zeit bestimmen kann. Dabei konnten die Schüler selbst aktiv werden und das Auto stellte als kleines Modell eines richtigen Autos stets einen guten Bezug zu Anwendungen im Alltagsleben her. So wurden anschließend Methoden diskutiert das Tempo eines richtigen Autos ohne Tachometer zu bestimmen. Darüber hinaus war das Spielzeugauto für den Kurs gut geeignet, da es auf ganz natürliche Weise zweidimensionale Bewegungen mit einschließt. Es fährt keineswegs nur geradeaus wie ein Gleiter auf der Luftkissenbahn, sondern in der Regel ändert es häufig die Richtung. Dies wurde bei der Erarbeitung der Richtung einer Bewegung und der Einführung der physikalischen Geschwindigkeit ausgenutzt, indem auf dem Dach des Autos ein Richtungspfeil befestigt wurde (siehe Abbildung 2), der zu jedem Zeitpunkt die Richtung der Bewegung anzeigt. Davon ausgehend wurde diskutiert, wie ein Pfeil beschaffen sein könnte, der nicht nur die Bewegungsrichtung des Autos, sondern gleichzeitig auch dessen Tempo anzeigt. So wurde in den Köpfen der Schüler anschaulich eine Vorstellung der Geschwindigkeit des Autos erzeugt, nämlich als Pfeil in Fahrtrichtung auf dem Dach, der je nach Tempo seine Länge ändert. Auch bei der Thematisierung von Kurvenfahrten, Beschleunigung und Bremsweg konnte das Auto für nützliche Veranschaulichungen verwendet werden.

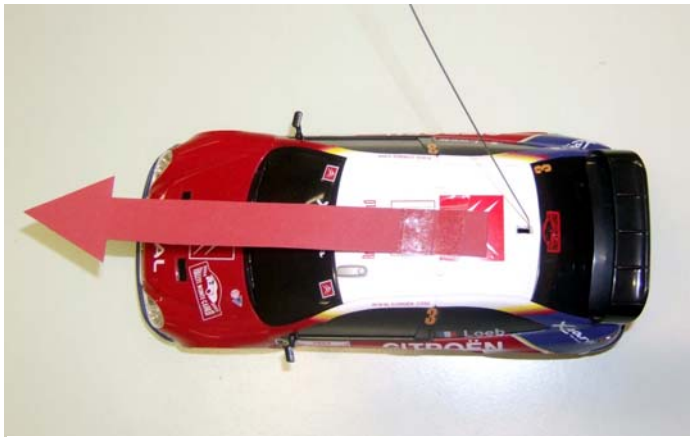


Abbildung 2: Ferngesteuertes Auto mit Richtungspfeil, eigene Aufnahme

c) Elektrische Eisenbahn

Die elektrische Eisenbahn wurde aus ähnlichen Gründen verwendet, wie das ferngesteuerte Auto. Es wurde eine elektrische Lego-Eisenbahn gewählt, da hier die Schienen nach Bedarf einfach zusammengebaut werden konnten. Sie bot darüber hinaus jedoch weitere praktische Vorteile. So ist das Auto nur schwer exakt zu steuern und es ist praktisch unmöglich, reproduzierbar die gleiche Strecke mehrmals zu fahren. Auch kann man beim Auto nur mit einem

bestimmten Tempo fahren, es im Leerlauf ausrollen lassen oder bremsen, das Tempo jedoch sonst nicht variieren. Im Gegensatz dazu ist dies bei der Eisenbahn über den Stelltrafo gut und stufenlos möglich. Sie fährt reproduzierbar stets die gleiche räumlich begrenzte Runde und das Tempo ist fein variierbar. Dies war vor allem für die durchgeführte Videoaufzeichnung und Videoanalyse (siehe unten) von großem Vorteil. Wenn aber auf den Videos schon eine Spielzeugeisenbahn zu sehen ist, sollte diese natürlich auch real im Unterricht vorgeführt werden. Dazu wurde auch auf das Dach der Eisenbahn ein Richtungspfeil geklebt und sie diente vor allem zur Veranschaulichung von Geschwindigkeitsänderungen durch Tempovergrößerung, Tempoverkleinerung und Richtungswechsel. Nachdem klar war, dass der Pfeil auf dem Dach als „Geschwindigkeitsanzeigegerät“ auch noch seine Länge mit dem Tempo verändern müsste, dies praktisch aber nur schwer umzusetzen ist, konnte der Übergang zu den Videos mit dynamischer Pfeildarstellung gut motiviert werden.

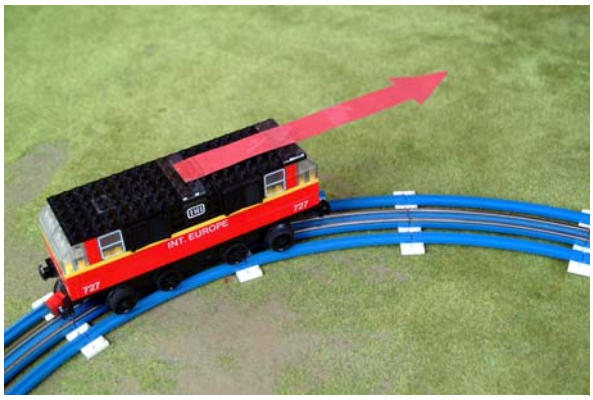


Abbildung 3: Elektrische Eisenbahn mit Richtungspfeil, (Foto: T. Wilhelm)

Bei der Erarbeitung der Richtung des Geschwindigkeitspfeils in Kurven konnte zudem durch Unterbrechen der Schienen gezeigt werden, dass der Zug tatsächlich in Richtung dieses Pfeils geradeaus weiterfährt, sobald er nicht mehr von den Schienen auf die Kurvenbahn gezwungen wird. Auch die Eisenbahn wirkte sehr motivierend auf die Kinder und stellte einen Bezug zum realen Leben her.

d) Kugelbahn

Zu diesem Zweck, die tangentiale Bewegung bei Kurvenende zu zeigen, wurde auch die Kugelbahn eingesetzt. Eine Metallkugel rollte auf Plastikschienen um die Kurve. Verwendet wurden Plastikschienen, auf denen kleine Kinder eine Plastikeisenbahn schieben können. Die Schienen konnten leicht an verschiedenen Stellen der Kurve unterbrochen und somit anschaulich gezeigt werden, dass die Kreisbewegung der Kugel keinesfalls „eingeimpft“ ist, sondern dass die Kugel geradeaus weiterrollt, sobald die Schienen enden. Dies sollte eine entsprechende Fehlvorstellung der Schüler beheben. Die Richtung, in der die Kugel weiterrollen würde, wenn die Schienen an diesem Punkt endeten, wurde als Richtung der Geschwindigkeit auf gekrümmten Bahnen eingeführt.

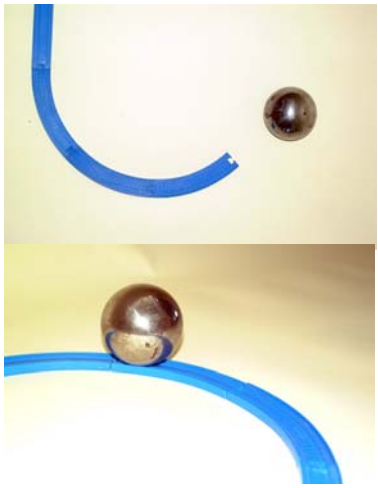


Abbildung 4: Kugelrollbahn (Fotos: T. Wilhelm)

In der Dynamik eignete sich die Kugelbahn gut, um zu veranschaulichen, wie die Kugel von der Außenseite der Schienen um die Kurve gestoßen wird und dass man sich eine glatte Kurve als Folge permanenter, leichter Stöße vorstellen kann.

e) Luftkissenpuck

Als weiteres zweckentfremdetes Spielzeug wurde ein Luftkissenpuck verwendet, der mit sehr geringer Reibung über den Boden gleitet. Benutzt wurde ein Modell der Firma Pasco (Artikelnummer: SE-7335A-220, 81 Euro) Er wurde eingesetzt um für die Schüler direkt erfahrbar zu machen, dass man einen Körper von außen nach innen stoßen muss, um ihn auf eine Kreisbahn zu zwingen. Die Klasse stellte sich dazu im Kreis auf und hatte die Aufgabe, den gleitenden Puck durch leichte Fußstöße auf einer möglichst runden Bahn im Kreise herum zu treiben. Im Gegensatz zu Bällen läuft der Puck fast reibungsfrei, sodass keine Kraft in tangentialer Richtung nötig ist. Der Luftkissenpuck weckte das Interesse der Schüler und einige erkundigten sich nach Möglichkeiten ihn zu erwerben.

Abbildung 5: Luftkissenpuck der Firma Pasco, eigene Aufnahme

4.1.2 Weitere Experimente

a) Die „Blackbox“

Um zu motivieren, dass ein Körper ohne äußere Einwirkung seinen Bewegungszustand nicht ändert, verwendeten WIESNER und WODZINSKI[3] einen Versuch, bei dem zwei versteckte Dauermagneten einen Spielzeug-LKW in Richtung eines gebastelten Rasthauses ablenkten. Der LKW sollte also scheinbar ohne ersichtlichen Grund die Richtung ändern und den Schüler durch ihre Verwunderung bewusst machen, dass normalerweise kein Körper „von alleine“ seine Bewegungsrichtung ändert.

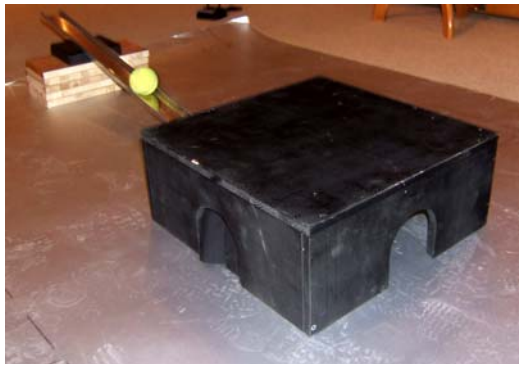


Abbildung 6: Versuch Blackbox, Ball rollt hinein, eigene Aufnahme

Die Idee schien didaktisch sinnvoll, jedoch sollte bei der Umsetzung auf die völlig aus dem Rahmen der Mechanik fallende und unter dem Vorwissen der Schüler recht abstrakt erscheinende magnetische Kraft verzichtet werden. Vielmehr sollte der gleiche Überraschungseffekt durch eine rein „mechanische“ Kraft, den Stoß gegen eine Wand, erreicht werden. Dazu wurde die „Blackbox“ entworfen. Sie besteht im Wesentlichen aus einer schwarzen Holzkiste mit drei Eingängen, von denen zwei genau gegenüber angebracht sind, der Dritte jedoch an der Seite liegt und durch einen schwarzen Vorhang möglichst gut getarnt ist. Unter der Kiste befindet sich zudem eine Holzleiste, die verhindert, dass ein Ball gerade durch die gegenüberliegenden Löcher rollt und ihn so reflektiert, dass er durch das seitliche Tor herausrollt.

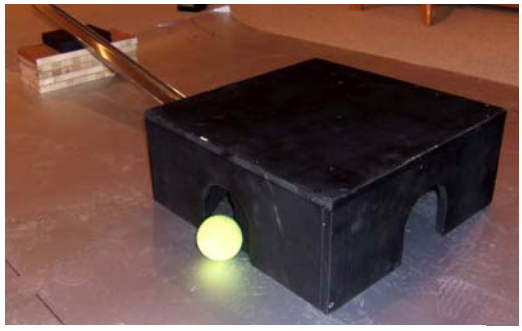


Abbildung 7: Versuch Blackbox, Ball rollt seitlich heraus, eigene Aufnahme

[3] **WODZINSKI, R.; WIESNER, H. (1994)**: *Einführung in die Mechanik über die* Dynamik. Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 167-168

Man zeigt den Schülern also die beiden gegenüberliegenden Eingänge und fragt, was wohl mit einem Tennisball passiere, der gerade durch eines der beiden gegenüberliegenden Löcher in die Kiste rollt. Ohne Kenntnis der Holzleiste sollten die Schüler davon ausgehen, dass der Ball gerade durch die Kiste rollt und auf der gegenüberliegenden Seite wieder zum Vorschein kommt. Nun zeigt aber das Experiment, dass der Tennisball seitlich durch den Vorhang rollt. Vermuten die Schüler nun, es müsse sich etwas unter der Kiste verbergen, kann man sie nach dem Grund dieser Annahme fragen und kommt zu dem Ergebnis, dass ein Körper seine Bewegungsrichtung von alleine nicht ändert. Dies führt im Folgenden zu der Erkenntnis, dass eine Geschwindigkeitsänderung immer einer Einwirkung bedarf. Es ist dabei wichtig den seitlichen Ausgang und die Holzleiste unter der Kiste zunächst gut vor den Schülern zu verbergen. Gelingt dies, kommt es zu einem ähnlichen Überraschungseffekt wie bei WIESNER, jedoch durch einen anschaulichen Kraftstoß, der eine bessere Verknüpfung zum weiteren Unterrichtverlauf ermöglicht als eine magnetische Kraftwirkung.

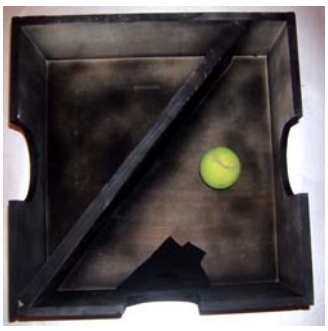


Abbildung 8: Aufbau der Box, eigene Aufn.

b) Der Kugelstoß-Versuch

Dieser Versuch wurde analog zu dem Vorschlag von WIESNER und WODZINSKI[4] durchgeführt. Zwei Kugeln rollen so eine Rampe herunter, dass sie sich unten mit gleicher Anfangsgeschwindigkeit stets parallel den Tisch entlang bewegen. Nun gibt man einer der beiden Kugeln einen Stoß senkrecht zur Bewegungsrichtung in Richtung auf die andere Kugel. Die gestoßene Kugel bewegt sich nun schräg auf die andere Kugel zu und trifft sie schließlich, bleibt dabei jedoch stets auf gleicher Höhe. Dieser Versuch veranschaulicht die Aussage, dass ein Körper durch einen Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung erhält. Zum einen zeigt er, dass das Tempo der gestoßenen Kugel größer ist als das der ungestoßenen, zum anderen macht er klar, dass die die ursprüngliche Geschwindigkeit durch den Stoß nicht verschwindet, sondern sich Anfangsgeschwindigkeit und Zusatzgeschwindigkeit unabhängig zur Endgeschwindigkeit überlagern.

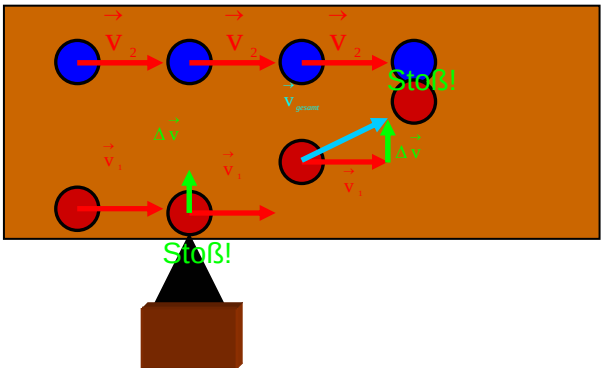


Abbildung 9: Schemazeichnung Kugelstoßversuch

Führt man das Experiment mit Metallkugeln durch, sollte es sicherheitshalber auf dem Boden ausgeführt werden. Auch wenn man auf eine gute Sichtbarkeit achtet, geht der Versuch sehr schnell von statten. Deshalb wurde zur Veranschaulichung im Nachhinein eine Computersimulation eingesetzt, die die gewünschten Einsichten explizit hervorhebt (siehe 4.2.1 b)).

[4] **WODZINSKI, R.: WIESNER, H. (1994)**: *Einführung in die Mechanik über die Dynamik. Zusatzbewegung und Newtonsche Bewegungsgleichung* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 202 – 203

c) Segelfahrzeug - Versuch zur Rolle der Einwirkungsdauer einer Kraft

Ein wichtiges fachliches Ziel des Unterrichtskonzeptes war es, am Ende die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ zu erarbeiten. Dazu war es nötig, die Bedeutung der Einwirkungsdauer einer Kraft zu motivieren und zu veranschaulichen. Hierfür wurde der folgende qualitative Versuch entworfen:

Abbildung 11: Segelwagen mit Föhn, eigene Aufnahme

Auf einem reibungsarmen Wägelchen der Firma Phywe wurde aus Pappe ein Segel befestigt. Damit der Wagen sich stets in die gleiche Richtung bewegte, fuhr er auf einer entsprechenden Schienenbahn (ebenfalls von Phywe). Nun wurde für unterschiedlich lange Zeit ein Föhn hinter das Segel gehalten und der Wagen somit angetrieben. Über eine Lichtschranke wurde das dadurch erreichte Tempo des Wagens gemessen. Es ging jedoch keineswegs darum, quantitativ eine Proportionalität nachzuweisen (das hätten die vielen Messunsicherheiten auch nicht erlaubt), sondern es sollte lediglich die Beziehung, „je länger eine Kraft einwirkt, umso größer ist die dadurch hervorgerufene Zusatzgeschwindigkeit“ verdeutlicht werden. Um den Anschein einer künstlichen Laborwelt zu vermeiden wurde bewusst auf die Luftkissenfahrbahn verzichtet. Das mit Wind betriebene Segelauto schien eine bessere Verbindung zur Alltagswelt zu ermöglichen und die ausströmende Luft passte gut zur Vorstellung der Kraft als einer Folge rascher Stöße in Kraftrichtung. In diesem Sinne wäre es sogar wünschenswert eine weniger aufwändige Tempobestimmung durchzuführen, denn die Messung mit Lichtschranke und Zählgerät lenkte eher vom Kern der Veranschaulichung ab und könnte beim Schüler eine Genauigkeit vortäuschen, die keineswegs gegeben ist. Versuche das Experiment mit dem oben vorgestellten Luftkissenpuck durchzuführen, scheiterten leider an der schlechten Kontrollierbarkeit des Pucks.

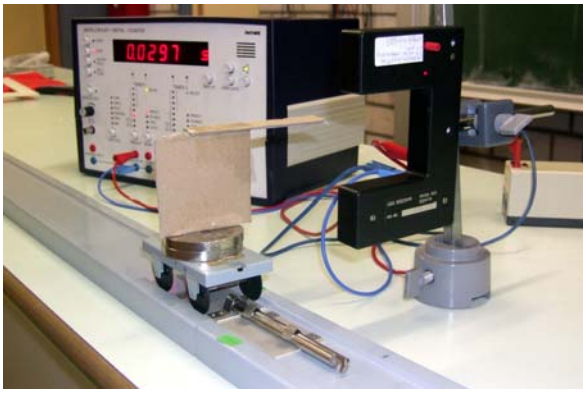


Abbildung 10: Messvorrichtung zur Bestimmung des Tempos des Wagens, eigene Aufnahme

d) Volleybälle – Versuch zum Einfluss der Masse

Bei der Erarbeitung der Newtonschen Bewegungsgleichung musste auch der Einfluss der Masse des Körpers auf die erhaltene Zusatzgeschwindigkeit verdeutlicht werden. Um den Schülern die Eigenschaft der trägen Masse, Bewegungsänderungen zu beeinflussen, anschaulich vor Augen zu führen, wurde wieder ein möglichst alltagsnaher und spielerischer Versuch konzipiert. Dazu wurden zwei äußerlich gleich aussehende Volleybälle verwendet. Einer der Bälle war im Vorfeld jedoch mit Quarzsand gefüllt worden, man sah ihm jedoch sein recht erhebliches Gewicht äußerlich nicht an. Der andere Ball war normal mit Luft gefüllt. Nun wurde ein Schüler aufgefordert gegen beide Bälle zu schießen. Der normale Ball flog quer durchs Klassenzimmer, während der gefüllte Ball nur ein kleines Stück kullerte. Wie gut die

Täuschung wirkte, zeigte sich daran, dass die Schüler das Verhalten des schweren Balls zunächst auf die mangelnden Schussfertigkeiten des Schülers schoben. Erst nach mehrmaligem Wiederholen kam die Vermutung auf, der eine Ball könne schwerer sein. So wurde gut an die intuitive Vorstellung, schwere Körper sind schwerer zu bewegen, angeknüpft und aufgezeigt, dass man die Masse eines Körpers nicht nur mit einer Waage, sondern auch durch den Versuch, ihn zu beschleunigen, feststellen kann. Dabei wurde bewusst nicht zwischen schwerer und träger Massen differenziert. Als Fazit wurde festgehalten, dass die Zusatzgeschwindigkeit bei gleicher Kraft umso kleiner ist, je größer die Masse des Körpers ist. Der Versuch machte den Schülern nicht nur Freude, sondern schien die gewünschte Einsicht auch gut zu verankern.

Abbildung 12: Schuss gegen Volleybälle, eigene Aufnahme

e) Schleuderball

Als spektakuläre Methode um zu zeigen, dass es einer Kraft in Richtung Kurveninneres bedarf, um einen Körper auf einer Kreisbahn zu bewegen, wurde zusätzlich der bekannte Schleuderball eingesetzt. Ein an einer Schnur befestigter Tennisball wird im Kreis herum geschleudert und schließlich losgelassen. Dabei wird die Fehlvorstellung, der Ball könnte sich auch ohne Kraft auf der „aufgeprägten“ Kreisbahn weiterbewegen, durch das gerade, tangentiale Wegfliegen des Balles anschaulich widerlegt.

Abb. 13: Schleuderball, eigene Aufnahme

4.1.3 Verschiebbare Papppfeile an der Tafel

Da die hier dargestellte Einführung in die Mechanik, wie bereits erwähnt, von Beginn an zweidimensional erfolgen sollte, spielten Pfeile zur Darstellung der Richtungsgrößen eine wichtige Rolle. Die Schüler sollten dabei in die Lage versetzt werden, aus einer bekannten Anfangs- und Endgeschwindigkeit die Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$ in Form eines Zusatzgeschwindigkeitspfeils grafisch zu ermitteln. Andererseits sollten sie aus dem Anfangsgeschwindigkeitspfeil und einer bekannten Zusatzgeschwindigkeit auch die Endgeschwindigkeit $\vec{v}_E = \vec{v}_A + \Delta\vec{v}$ grafisch ermitteln können. Dabei fiel es den Schülern zunächst nicht nur schwer zwischen diesen beiden Fällen zu unterscheiden, sondern es zeigten sich vor allem Probleme bei der praktischen, zeichnerischen Umsetzung. Diese rein zeichnerischen Probleme überdeckten somit zunächst das physikalische Verständnis. Deshalb wurde eine Methode entworfen, um die zeichnerischen Probleme zunächst auszublenden.

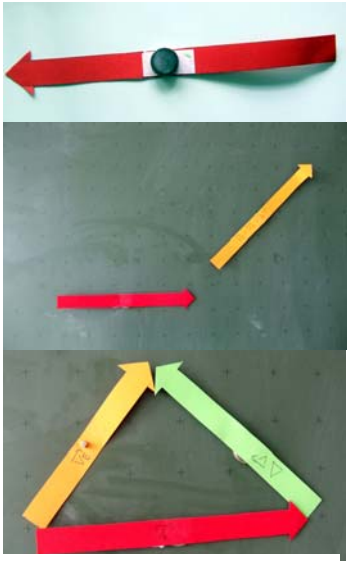


Abbildung 14: Papppfeile, eigene Aufnahmen

Dazu wurden Papppfeile verschiedener Länge und Farbe ausgeschnitten und mit doppelseitigem Klebeband auf Magneten befestigt. Diese Pfeile konnten nun an der Tafel frei verschoben werden. Es zeigte sich, dass die Schüler die Vektoraddition und Subtraktion auf diese Weise, durch einfaches Verschieben der Pfeile, wesentlich sicherer durchführen konnten. Auch wurde dadurch besser veranschaulicht, dass es sich im Grunde stets um den gleichen Vektorpfeil handelt und dass man diesen an jede Stelle verschieben kann, solange man nur die Richtung beibehält. So wird zum Beispiel der eine Zusatzgeschwindigkeitspfeil an die Spitze des Anfangsgeschwindigkeitspfeils verschoben, während man aber bei der zeichnerischen Lösung durch Parallelverschiebung zeichnet man aber einen „neuen“ Pfeil mit gleicher Richtung an die gewünschte Stelle.
Nach Überwinden der Anfangsschwierigkeiten sollten neben der Veranschaulichung mit den Papppfeilen aber auch zunehmend die zeichnerischen Lösungen durchgeführt werden, da die Schüler in der Lage sein sollen, diese in Übungen und Hausaufgaben selbstständig im Heft durchzuführen. Die frei verschiebbaren Papppfeile zeigten sich als sehr nützliche Übergangslösung und sinnvolle Veranschaulichung; die Schüler empfanden das Arbeiten mit ihnen weniger abstrakt, als das zeichnerische Konstruieren und taten sich somit einfacher.

4.2 Neue Medien

Unter dem relativ unscharfen Begriff „Neue Medien“ sind hier vor allem Videos und Computersimulationen zur Veranschaulichung zusammengefasst. Dabei spielte vor allem das Softwaresystem „PAKMA“ eine entscheidende Rolle.

4.2.1 Das Softwaresystem PAKMA

Das Softwaresystem PAKMA wurde in mehreren Schritten am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der Universität Würzburg entwickelt. Es wurde mit dem Ziel konzipiert möglichst vielseitig und offen einsetzbar zu sein und bietet dem geübten Nutzer dadurch die Möglichkeit, es speziell entsprechend seinen Vorstellungen einzusetzen. Durch diese Vielseitigkeit ist das Programm jedoch nicht ganz so einfach zu bedienen wie andere Anwendungssoftware und es erfordert mehr Aufwand, um ein Projekt nach den eigenen Vorstellungen zu schaffen. Im Handbuch[5] werden vor allem drei Einsatzgebiete angegeben:

- Zum Einen können verschiedenste physikalische Versuchabläufe mit dem Programm aufgenommen und anschließend graphisch aufbereitet werden (Realmessung). Dabei kann der Realversuch mit vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten wie analogen Anzeigeinstrumenten, Graphen aller Art, Bildern Animationen und dynamisch ikonischen Repräsentationen[6] aufbereitet werden.
- Darüber hinaus können Anwender jedoch auch Computersimulationen zeigen, analysieren und sogar ihren Wünschen entsprechend abändern. Dabei bietet die Möglichkeit, physikalische Größen als dynamische Pfeile, die sich entsprechend dieser Größe verändern, dar-

[5] Auf http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/Handbuch/HTML/index.html
[6] Dynamisch ikonische Repräsentationen sind bildhafte Darstellungen physikalischer Größen, die sich entsprechend der Größe dynamisch verändern. (Nach **HEUER, D. (1996**): *Konzepte für Systemsoftware zum Physikverstehen* – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 52, Nr. 3, S. 2 -15)

zustellen, vor allem bei der Veranschaulichung vektorieller Größen und ihrer wechselseitigen Beziehungen sinnvolle Anwendungsgebiete.

- In einem dritten Einsatzbereich bietet sich für Schüler durch das Zusatzmodul VisEdit auch die Möglichkeit auf recht einfache Art und Weise physikalische Modelle zu entwerfen und anschließend die Angemessenheit dieser Modelle in einer entsprechenden Simulation zu überprüfen.

Außerdem können die drei Einsatzgebiete auch kombiniert werden und so zum Beispiel eine Realmessung mit einem selbst erstellten Modell verglichen werden.[7]

Wie schon erwähnt hat WILHELM[8] dieses Softwaresystem in seinem Unterrichtskonzept vielseitig und mit großem Erfolg eingesetzt. Nachfolgend soll kurz dargestellt werden, auf welche Weise PAKMA in dem hier vorgestellten Konzept verwendet wurde.

a) Videoanalyse und Überlagerung mit dynamisch ikonischen Repräsentationen[9]

Die digitale Videoanalyse eröffnete dem Physikunterricht gerade im Bereich der Mechanik neue Möglichkeiten. Reale Bewegungen, die früher im Unterricht aufgrund ihrer mathematischen Kompliziertheit nicht behandelt werden konnten, können heute durch die Videoanalyse besprochen werden. Hierzu wird die Bewegung zunächst mit einer digitalen Kamera aufgenommen und anschließend auf einen Computer überspielt. Mit entsprechender Software ist es nun möglich den Bewegungsverlauf des Körpers zu verfolgen und zu analysieren. Dabei können die ermittelten Daten als Graphen dargestellt werden. Diese Graphen eignen sich jedoch nicht gut, um zweidimensionale Bewegungen anschaulich darzustellen und sind für Schüler der 7. Jahrgansstufe gänzlich ungeeignet. Hier kam das Softwaresystem PAKMA ins Spiel. Es ist nämlich auch möglich die Daten aus einem Videoanalyseprogramm zu exportieren und in PAKMA weiterzuverarbeiten. Ziel war es die gefilmte Bewegung zeitgleich mit dynamischen Pfeildarstellungen der Richtungsgrößen Geschwindigkeit, Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung zu

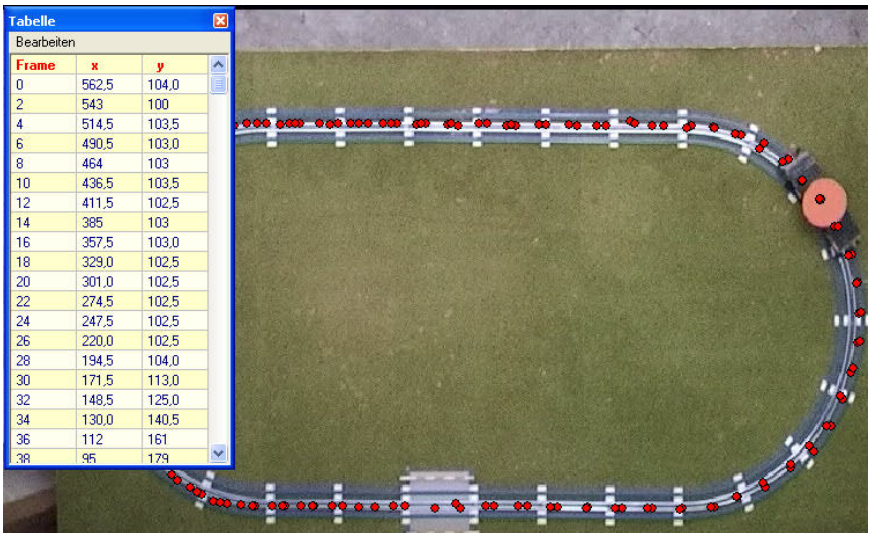


Abbildung 15: Videoanalyse in AVA, Screenshot

[7] siehe zum Beispiel **WILHELM, T.: GEßNER, T.: SULEDER, M.; HEUER, D.**: *Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren – Video und Messdaten multimedial aufbereitet* – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 52, Nr. 2, 2003, S. 23 - 30

[8] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin

[9] Eine kurze Darstellung der einzelnen Videos und entsprechende Informationen finden sich im Anhang, die Videos selbst sind auf der mitgelieferten DVD enthalten.

überlagern, die sich mit dem Körper bewegen und sich entsprechend verändern. Durch seine offene und vielfältige Konstruktion, ist dies mit PAKMA mit einigem Aufwand möglich. Da es zu diesem Zeitpunkt noch keine Spezialsoftware mit der Möglichkeit einer überlagerten Darstellung der Vektoren gab, war die Arbeit mit PAKMA die einzige Möglichkeit dieses Ziel umzusetzen.[10] Zunächst war geplant das ferngesteuerte Auto von oben auf einer Kurvenbahn zu filmen. Da sich dessen Bahn jedoch, wie oben dargestellt, nicht so leicht kontrollieren lässt und es nur mit einem festen Tempo fahren kann, wurde die elektrische Eisenbahn als Filmmotiv gewählt. Um der Videoanalysesoftware AVA[11] das automatische Erkennen durch eine stets gleiche Form zu erleichtern, wurde eine runde Scheibe auf dem Dach angebracht. Hernach wurde die Eisenbahn in einem hohen Raum senkrecht von oben bei verschiedensten Fahrweisen, wie Anfahren, Bremsen sowie Kurvenfahrten mit konstantem und veränderlichem Tempo, gefilmt. Diese digitalen Videodateien wurden auf einen Rechner übertragen und mit dem Videoanalysesystem AVA quantitativ ausgewertet. Die so ermittelten Daten der Bewegung wurden nun als Textdatei exportiert und in PAKMA verwendet. Es war nun in PAKMA möglich, aus den Ortsdaten die Geschwindigkeit und Beschleunigung des Zuges zu berechnen und als Vektoren darzustellen, die sich der Bewegung des Zugs entsprechend mitbewegen und verändern. Lädt man in PAKMA nun zusätzlich die Videodatei und stimmt die Skalierungen der beiden Darstellungen geduldig aufeinander ab, so bewegen sich die berechneten Vektoren, als wären sie dem Zug angeheftet.

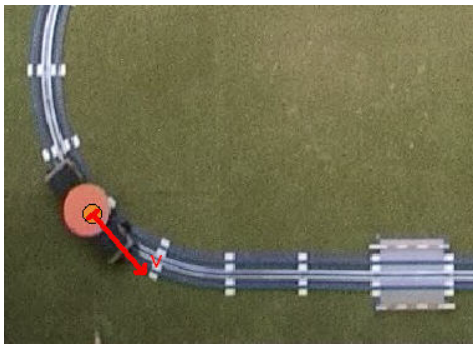


Abbildung 16: Geschwindigkeitspfeil in der Kurve in PAKMA, Screenshot

Ausgehend von dem Richtungspfeil auf dem Dach des realen Zuges, war es nun möglich die Vorstellung der Geschwindigkeit als Pfeil, der sich auf dem Dach des Zuges mitbewegt und dabei gleichzeitig sowohl dessen Tempo durch verändern seiner

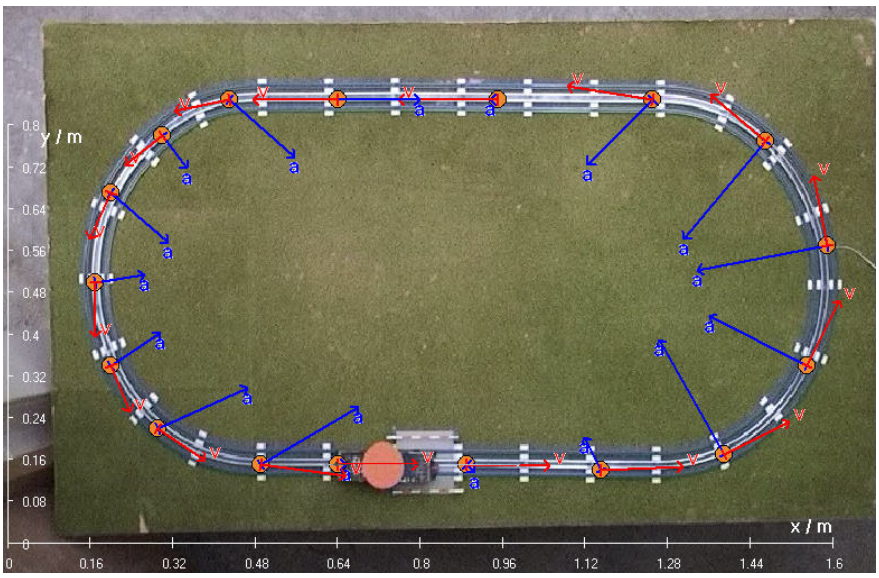


Abbildung 17: Stempeln von Geschwindigkeit und Beschleunigung in PAKMA, erstellt von F. Schüller und T. Wilhelm

[10] Ein entsprechendes Programm von Herrn Suleder ist mittlerweile unter dem Titel „measure Dynamics“ bei Phywe erhältlich.

[11] Das Videoanalysesystem AVA wurde 1999 von Michael Suleder am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der Universität Würzburg entwickelt.
Näheres auf http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/~suleder/software/ava/index.html

Länge, als auch dessen Bewegungsrichtung anzeigt, zu veranschaulichen und im Kopf der Schüler zu verankern. Diese Veranschaulichung des Geschwindigkeitspfeils war ganz wesentlich für das Verständnis der Schüler und sorgte dafür, dass die physikalische Geschwindigkeit in ihren Köpfen nicht durch eine Zahl, sondern durch einen mitbewegten Pfeil mit entsprechender Länge und Richtung repräsentiert wurde.
PAKMA ermöglichte es zudem durch die Funktion „Stempeln“ die Geschwindigkeitspfeile nach dem Weiterbewegen des Zuges weiterhin am entsprechenden Ort darzustellen. Dies leistete wertvolle Dienste bei der Thematisierung von Geschwindigkeitsänderungen, denn es wurde direkt sichtbar, dass der Pfeil in entsprechenden Videos länger oder kürzer wurde und seine Richtung änderte. Die Richtungsänderung war bei dieser Repräsentation der Geschwindigkeit von Beginn an eine sehr nahe liegende und wesentliche Möglichkeit zur Geschwindigkeitsänderung. Im weitern Verlauf konnten auf gleiche Weise zudem die schwerer fassbaren Größen Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung veranschaulicht werden.
Es zeigte sich, dass diese Möglichkeit Richtungsgrößen dynamisch zu visualisieren für einen zweidimensionalen Mechanikkurs sehr sinnvoll und zweckdienlich sind. Jedoch ist die vorgestellte Vorgehensweise mit PAKMA recht aufwendig und für den alltäglichen Unterricht daher ungünstig. Andererseits macht der große Nutzen dieser Darstellungsform für die Veranschaulichung von Vektorgrößen die Entwicklung eines Videoanalyseprogramms wünschenswert, das automatisch Geschwindigkeits-, Geschwindigkeitsänderungs- und Beschleunigungspfeile gemäß den Messdaten erzeugt.
Bei den erstellten Videoprojekten stimmen die Pfeile mit der Bewegung des Videos aus bisher ungeklärten Gründen erst ab dem zweiten Durchlauf exakt überein, man muss das Projekt also in PAKMA einfach zweimal starten um die gewünschte Darstellung zu sehen.

b) Simulationen[12]

Auch der Einsatz von Computersimulationen eröffnet dem Physikunterricht ein Reihe neuer Möglichkeiten. Nach KIRCHER dienen Simulationen der Nachbildung ausgewählter Realitätsaspekte und sind damit eine besondere Art von Modell.[13] Demnach sollte sich eine Simulation zur didaktischen Vereinfachung auf die entscheidenden Faktoren konzentrieren und unwichtige Aspekte ausblenden. Im Sinne der Abbildungstreue sollten dabei entscheidende Situationscharakteristika zwischen Simulation und Realität übereinstimmen. Computersimulationen verwenden mathematisch-theoretische und numerische Methoden, um physikalische Phänomene bildlich darzustellen. Da sie zeigen, welche phänomenologischen Konsequenzen aus den

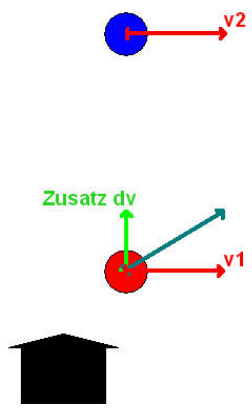


Abbildung 18: PAKMA-Simulation zum Kugelstoßversuch, erstellt von Wilhelm

[12] Eine genaure Darstellung der eingesetzten Simulationen und Informationen zu deren Verwendung finden sich im Anhang.
[13] **KIRCHER, E.; GIRWIDZ, R; HÄUßLER, P. (2001):** *Physikdidaktik – Eine Einführung*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, S. 271

theoretischen Annahmen folgen und diese Konsequenzen bildlich veranschaulichen, gehören Simulationen grundsätzlich zum Bereich des deduktiven Vorgehens. In Abgrenzung zu Animationen ist ein wichtiger Aspekt an Simulationen jedoch auch ihre Interaktivität. Dem Nutzer ist es möglich durch Verändern der Parameter aktiv Einfluss auf das Geschehen zu nehmen. Somit liefern sie auch einen Beitrag zu einem handlungsorientierten Zugang zu physikalischen Vorstellungen.

Im vorgestellten Unterrichtskonzept dienten Simulationen vorwiegend zur Veranschaulichung physikalischer Vorstellungen, nicht zu deren Überprüfung. Hierbei wurde wieder das Softwaresystem PAKMA eingesetzt, das dem Anwender dabei grundsätzlich drei unterschiedliche Nutzungsniveaus ermöglicht. Zum einen kann er vorgefertigte Simulationen im Unterricht ablaufen lassen und mit den Schülern analysieren. Gibt es noch keine Simulation, die seinen Wünschen entspricht, bietet PAKMA dem kundigen Nutzer durch seine offene Konstruktion entweder die Möglichkeit vorhandene Simulationen abzuändern und den eigenen Ansprüchen anzupassen oder als Entwickler selbst gänzlich neue Simulationen zu erschaffen. Die Möglichkeit, mit vergleichsweise relativ geringem Aufwand und lediglich grundlegenden Programmierkenntnissen Simulationen zu erstellen, die auf den eigenen Unterricht maßgeschneidert sind, ist einer der großen Vorzüge des Softwaresystems PAKMA. Darüber hinaus bietet es einige weitere nützliche Eigenschaften. So bietet die Funktion „Stempeln“ die Möglichkeit die Veränderung einer Vektorgröße bildhaft deutlich zu machen, man kann mehrere Größen miteinander vergleichen und so auf deren Zusammenhang eingehen und die Ebenenfunktion macht es möglich, dass jeweils nur die gerade relevanten Größen dargestellt werden und weitere Größen mit einem „Klick“ zusätzlich eingeblendet werden können. Neben Pfeilen gibt es auch eine Reihe weiterer Animationsobjekte, wie Rechtecke, Kreise, Figuren und viele mehr.

Im vorgestellten Unterrichtskonzept wurden diese Möglichkeiten zum einen genutzt, um Realexperimente, wie zum Beispiel den Kugelstoß-Versuch (siehe 4.1.2 b), genauer zu analysieren. Das Geschehen konnte auf das Wesentliche reduziert und beliebig langsam nochmals vor Augen geführt werden. Zusätzlich konnten die relevanten physikalischen Größen und deren Veränderung simultan mit dargestellt werden. Dies ermöglichte ein tieferes Verständnis des physikalischen Hintergrundes. Die Simulation sollte das Realexperiment, also die grundlegende Naturbeobachtung, jedoch keinesfalls ersetzen, sondern nur im Nachhinein dessen Aussagen unterstreichen.

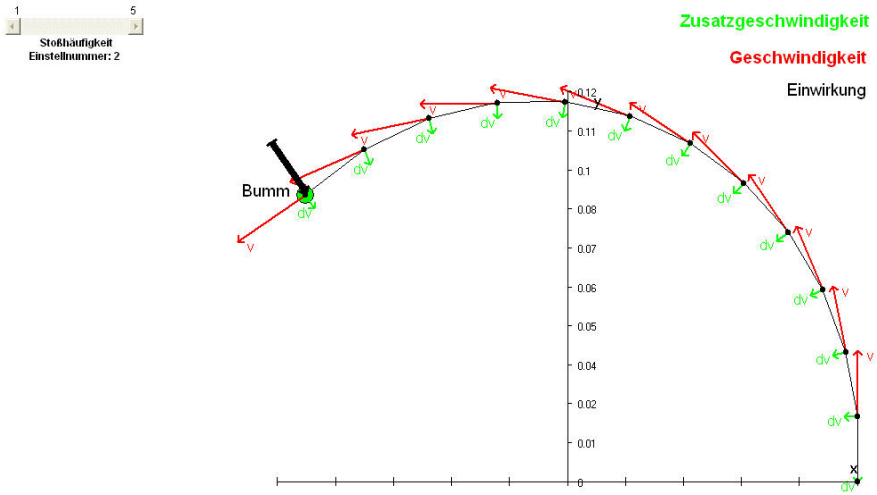


Abbildung 19: PAKMA-Simulation Stoßhäufigkeit, erstellt von Wilhelm

Zum anderen wurden die Computersimulationen aber auch verwendet, um physikalische Vorstellungen zu veranschaulichen, die im Realexperiment gar nicht oder zumindest nicht befriedigend dargestellt werden können. So wurde zum Beispiel die Vorstellung einer Kraft als

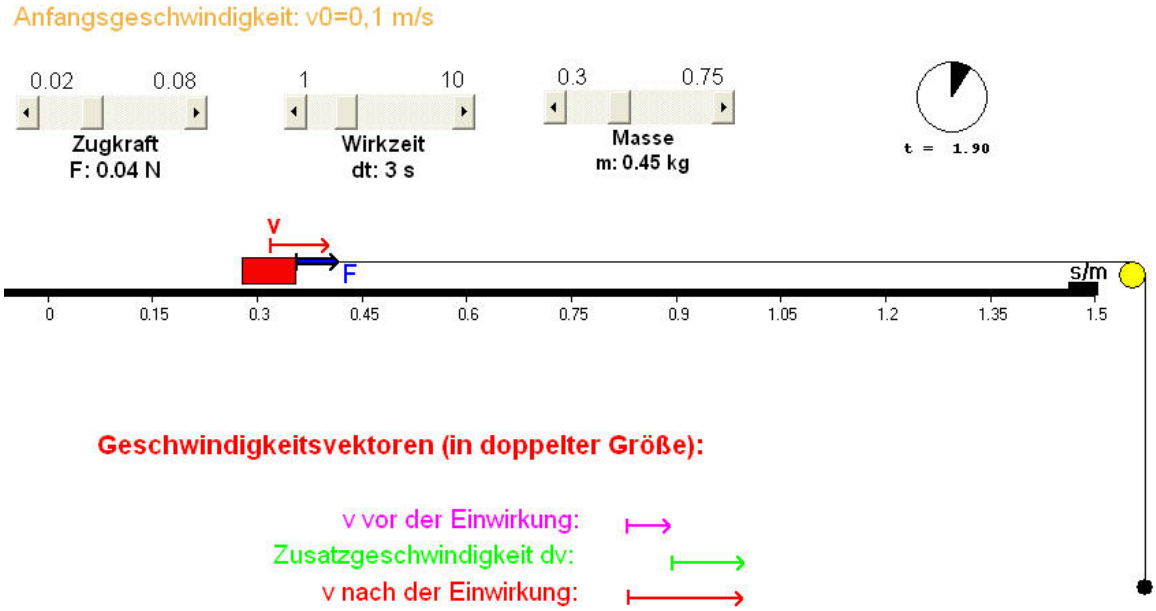


Abbildung 20: PAKMA-Simulation zur Newtonschen Bewegungsgleichung, erstellt von Wilhelm

Folge von Stößen konkret gemacht und gezeigt, was eine Vergrößerung der Stoßrate bei einer Kreisbewegung für Konsequenzen hat (siehe Abbildung 19). Dies wurde zwar auch in der Schülerübung durchgeführt, jedoch ließ sich die Stoßrate dabei nicht so stark verändern, dass der gewünschte Übergang zu einer glatten Kurve sichtbar wurde. Ein weiteres Einsatzgebiet war die Veranschaulichung der Newtonschen Bewegungsgleichung in der Simulation „Newtonsche Bewegungsgleichung“. Hierbei konnte gut greifbar gemacht werden, welche Auswirkungen eine Veränderung an einer der drei Größen Masse, Kraft und Einwirkungsdauer auf die Änderung der Geschwindigkeit hat und dass diese Auswirkungen alle durch die Newtonsche Bewegungsgleichung (siehe Abbildung 20) vorhergesagt werden.

Es ist zu vermuten, dass Computersimulationen in Zukunft in allen Jahrgangsstufen an Bedeutung gewinnen werden. Denn sie leisten nicht nur wertvolle Dienste bei der Konzeptbildung, sondern sollten auch deshalb eingesetzt werden, weil Computersimulationen aus der modernen Forschung nicht mehr wegzudenken sind und die Schüler deshalb bereits in der Schule Erfahrungen mit ihnen sammeln sollten. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von Rechnern in den Haushalten, könnten Simulationen zudem auch verstärkt bei der Hausaufgabe eingesetzt werden.

c) Die Maus als Bewegungssensor für zweidimensionale Bewegungen[14]

Schließlich kann das Softwaresystem PAKMA auch dazu verwendet werden, die Computermaus als zweidimensionalen Bewegungssensor einzusetzen. Obwohl dies im dargestellten Unterrichtskonzept aus Zeitgründen nicht eingesetzt wurde, eröffnen sich dadurch einige nützliche Anwendungsgebiete.

So ist zum Beispiel eine Schülerübung im Computerraum denkbar, bei der die Schüler die Möglichkeit haben, selbst Erfahrungen mit verschiedensten zweidimensionalen Bewegungen zu sammeln. Dabei sind keine Veränderungen an der Computermaus vorzunehmen, man benötigt lediglich ein entsprechendes PAKMA-Projekt und muss im Kernprogramm für jede Maus die zuvor in einem entsprechenden Projekt bestimmte Längeneinheit eintragen. „Die Computermaus dient dabei gleichzeitig zur Bedienung der Software und während des Programmablaufs als bewegtes Objekt mit Sensoreigenschaften zum Messen. Mit dieser Anordnung können krummlinige Bewegungen, wie z.B. Kurvenfahrten nachvollzogen und analysiert werden. Eine Einschränkung betrifft die "Fahrweise" mit der Maus. Damit die Zuordnung der Koordinaten zu den Sensorachsen der Maus erhalten bleibt, darf die Maus während der "Fahrt" nicht verdreht werden.“[15] Die Schüler können also mit der Maus zweidimensionale Bewegungen durchführen, die Software zeichnet die Bahnkurve und stellt gleichzeitig Geschwindigkeit und Beschleunigung durch Pfeile an der Kurve dar. Somit können die Schüler durch Vergleichen der durchgeführten Bewegung mit den sich daraus ergebenden Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeilen, eine wertvolle Grunderfahrung mit den kinematischen Grundgrößen aufbauen.

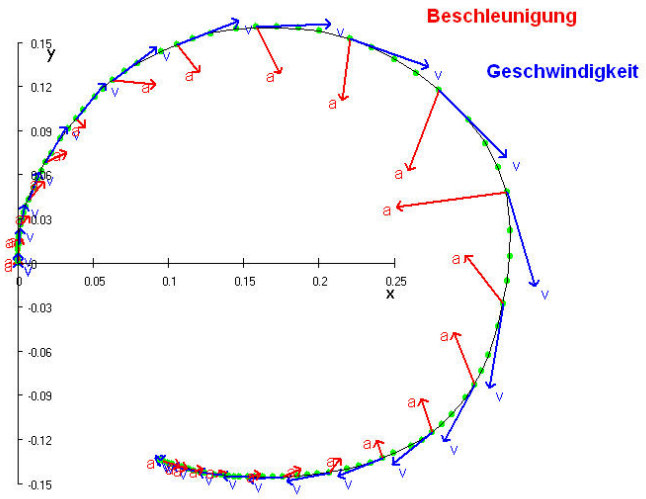


Abbildung 21: Bewegungsanalyse mit der Maus, Screenshot eines PAKMA-Projektes nach einer durchgeführten Realmessung einer zweidimensionalen Mausbewegung, aus Wilhelm (2005), S.93

---

[14] Näheres zum Einsatz der Maus als Bewegungssensor siehe:
SCHMIDT, M.; WILHELM, T.; HEUER, D. (2002): *Die Maus als Bewegungssensor. Kinematik und Dynamik in der Sekundarstufe I mithilfe des Computers* – In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 13, Nr. 69, S. 31 – 33
WILHELM, T. (2006): *Zweidimensionale Bewegungen – Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik – Kassel 2006, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
WILHELM, T. (2005): *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin

[15] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, Cd im Anhang, Datei „Messung mit der Maus“

4.2.2 Die dynamische Geometriesoftware „DynaGeo“[16]

Neben dem Softwaresystem PAKMA wurde in einer Stunde auch die dynamische Geometriesoftware „DynaGeo“ eingesetzt. Es sollte die Möglichkeit genutzt werden, die graphische Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit dynamisch zu veranschaulichen. Mit dem Programm war es möglich, eine Bahnkurve abzufahren und gleichzeitig die Geschwindigkeitsänderung zur Ausgangsstelle als Pfeil darzustellen, der sich aus der Differenz von Endgeschwindigkeit und Anfangsgeschwindigkeit ergibt und sich entsprechend mitbewegt und verändert. Dies stellte für die Schüler eine wertvolle Veranschaulichung des neuen Begriffs der Zusatzgeschwindigkeit dar und es wurde klar, dass diese nicht nur ein ortsfester Pfeil ist, sondern sich während der Bewegung mitbewegt und dabei sowohl Länge als auch Richtung verändert.

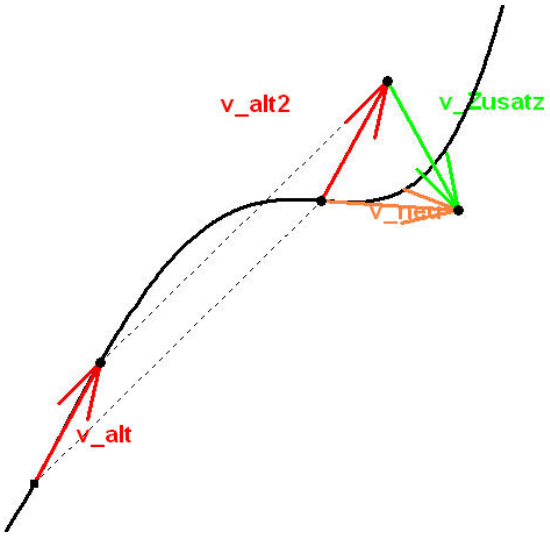


Abbildung 22: Zusatzgeschwindigkeit in DynaGeo, erstellt von F. Schüller und J. Roth

4.2.3 Motivierende Videos

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die „neuen“ Medien Laptop und Beamer auch eingesetzt wurden, um einige motivierende Videoclips vorzuführen. So wurde zur Einführung der Beschleunigung ein Wettrennen zwischen einem Smart und einem Ferrari gezeigt. Zum Thema angemessenes Tempo bei Kurvenfahrten wurde demonstriert, wie ein Auto aus der Kurve „fliegt“ und im Zusammenhang mit der Newtonschen Bewegungsgleichung wurde zur Bedeutung von Sicherheitsgurten ein Crashtest vorgeführt. Alle drei Videos wirkten sehr motivierend auf die Schüler, da sie eine interessante Verbindung zur Alltagswelt herstellten.

Abbildung 23: Video Kurvenfahrt, auf http://www.myvideo.de/watch/79205

4.3 Schülerübung mit Stoßbrettern

Sowohl Lehrplan und Fachprofil des Faches Natur und Technik als auch die neuere Lehr- und Lernforschung betonen die große Bedeutung der Eigenaktivität der Schüler für den Lernprozess. Dies sollte im vorgestellten Unterricht ebenfalls berücksichtigt werden und die Schüler sollten in zwei Schülerübungen Gelegenheit haben sich aktiv mit den physikalischen Fragestellungen auseinanderzusetzen. Bei der zunächst notwendigen Erarbeitung der wesentlichen

[16] Die Datei wurde mit der Version 3.0b erstellt, die auf http://www.dynageo.de/ erhältlich ist.

Abbildung 24: Materialien zur Schülerübung, eigene Aufnahme

Begriffe wurde der Unterricht zweckmäßig eher darbietend und lehrerzentriert durchgeführt, die Schüler konnten nur teilweise bei den oben genannten Experimenten aktiv mitwirken. Deshalb sollten sie zu Beginn der Dynamik, also bei der Frage nach den Ursachen von Bewegungsänderungen, bewusst die Gelegenheit haben selbst zu experimentieren. KIRCHER[17] bezeichnet den Gruppenunterricht wegen seiner Verbindung von fachlichen und sozialen Zielen als die wichtigste Sozialform des Physikunterrichts, die dazu beitragen kann, ihn attraktiver zu machen. Als soziale Ziele nennt er die Fähigkeit zum selbständigen und solidarischen Denken und Handeln, den Aufbau und die Stärkung von Kommunikations-, Interaktions-, und Handlungskompetenzen, aber auch von Verantwortungsbewusstsein und Empathie. Den fachlichen Zielen können neben der Motivation auch der Aufbau einer Grunderfahrung, das direkte Erfahren physikalischer Gesetzmäßigkeiten und das Bewusstmachen und Prüfen der eigenen Vorstellungen zugeordnet werden.

Die Idee einer Schülerübung mit Stoßbrettern und Kugeln zur Ursache von Bewegungsänderungen und die meisten der zu untersuchenden Arbeitsaufträge, gehen auf JUNG[18] zurück und wurden von ihm unter anderem in der Grundschule eingesetzt. Er betont dabei die große Bedeutung einer Erfahrungsbasis für das physikalische Verständnis.

Als Arbeitsmaterial standen jeder Gruppe zwei unterschiedlich schwere Metallkugeln, einige Stoßbretter, ein Holzklotz als Ziel, eine Rampe und eine Arbeitsunterlage zur Verfügung. Die Gruppen sollten die Aufgaben arbeitsgleich bearbeiten. Um bei den Schülern im Vorfeld die nötigen Voraussetzungen für die Gruppenarbeit zu erzeugen, wurde das neue Unterrichtsthema zunächst im Klassenzimmer eingeführt und kurz besprochen. Hernach wurden die Gruppen eingeteilt, die Arbeitsaufträge (siehe Anhang 9.3) ausgeteilt und die Arbeitsplätze aufgesucht. Aufgrund des großen Platzbedarfes am Boden, lässt sich die Übung kaum im Klassenzimmer durchführen. Im ersten Teil der Übung sollten die Schüler zunächst allgemein Erfahrungen mit Stößen und dadurch verursachten Bewegungsänderungen sammeln. Beim Stoß gegen eine bewegte Kugel sollte ihnen bewusste werden, dass sich die Kugel nach dem Stoß nicht zwingend in Stoßrichtung weiterbewegt, was viele Schüler zunächst überraschte. Ziel ist klarzumachen, dass die Kugel durch den Stoß zwar eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung erhält, ihre Endbewegung sich jedoch als zusammengesetzte Bewegung aus Anfangs- und Zusatzbewegung auffassen lässt. Durch Stöße in und gegen die Bewegungsrichtung sollte schließlich die Vorstellung der möglichen Wirkung einer Kraft auf eine Bewegung vervollständigt werden. Sie kann das Tempo erhöhen, verringern und/oder die Richtung der Bewegung ändern. Durch die Verwendung zweier unterschiedlich schwerer Kugeln sollte zudem

[17] **KIRCHER, E.; GIRWIDZ, R; HÄUßLER, P. (2001):** *Physikdidaktik – Eine Einführung*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, S. 215 – 221 und 278 - 281

[18] **JUNG, W.; REUL, H.; SCHWEDES H. (1977)**: *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6*, Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik, Diesterweg, Frankfurt am Main **JUNG, W. (1980)**: *Mechanik für die Sekundarstufe I*, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt, Berlin, München

von Anfang an ein Gefühl für die Wirkung der Masse aufgebaut werden. Im zweiten Teil der Übung ging es schließlich um Kurvenbahnen. Die Schüler sollten die anrollende Kugel durch eine Anzahl von Stößen um eine Kurve lenken und erkennen, dass diese umso glatter ist, je höher die Anzahl der Stöße ist. Abschließend sollten die Schüler sowohl die Metallkugel als auch den oben erwähnten Luftkissenpuck durch Stöße auf einer möglichst runden Kreisbahn halten. Dabei sollte praktisch erfahrbar gemacht werden, dass es stets einer Kraft beziehungsweise vieler Kraftstöße quer zur Bewegung in Richtung Kurveninneres bedarf, um einen Körper auf eine Kurvenbahn zu zwingen. Dadurch sollte die häufige Fehlvorstellung vermieden werden, es bedürfe keiner Kraft um einen Körper mit konstantem Tempo im Kreis zu bewegen, oder die Kraft wirke nach außen. Im Anschluss ist es wichtig, die gemachten Erfahrungen und das intuitive Grundverständnis mit „zurück ins Klassenzimmer“ zu nehmen und mit den physikalischen Vorstellungen zu verknüpfen.

4.4 Concept Maps

Um die Beziehungen zwischen den erarbeiteten Größen zu verdeutlichen und somit einen besseren Überblick über die physikalischen Zusammenhänge zu ermöglichen, wurden in zwei Stunden so genannte Concept Maps (Begriffslandschaften) eingesetzt. Diese Form Begriffe und deren Beziehungen zueinander zweidimensional, wie Orte und Wege auf einer Landkarte, zu repräsentieren, geht auf eine Arbeitsgruppe um NOVAK zurück und wird in der Lernpsychologie als sinnvolle Hilfe zur besseren Vernetzung der beiden Gehirnhälften und somit zum Erinnern von Zusammenhängen propagiert. Im Gegensatz zu den so genannten Mind Maps, werden die Beziehungen zwischen den Begriffen explizit benannt und es muss kein Zentralbegriff existieren.

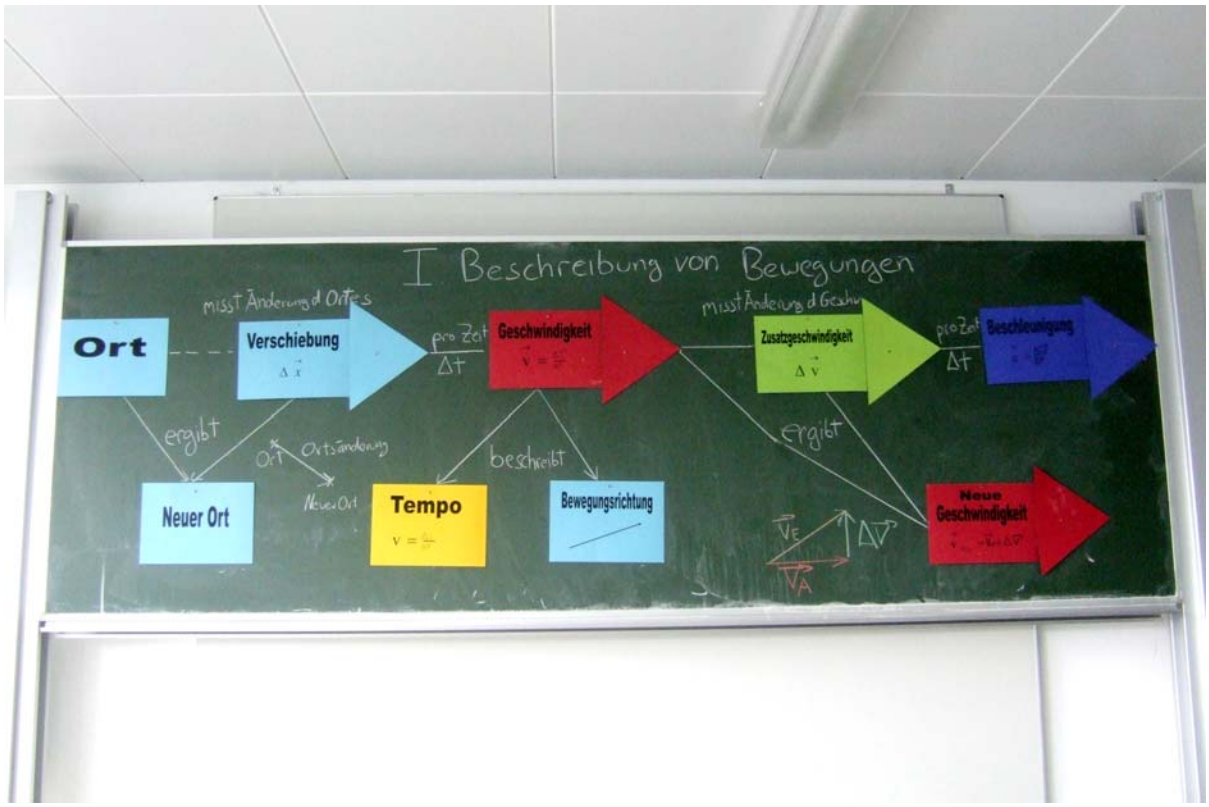


Abbildung 25: Begriffslandschaft Beschreibung von Bewegungen, eigene Aufnahme

Um diese nützliche Lernmethode sinnvoll einzusetzen, brauchen die Schüler jedoch zunächst einige Erfahrungen. Je öfter Concept Maps verwendet werden, umso ergiebiger werden sie. Als erstes sollte den Schülern das Prinzip an einem einfachen Alltagsbeispiel[19] demonstriert werden und sie sollten selbst die Gelegenheit haben, eine einfache Begriffslandschaft zu erstellen. Diese Einführung war bei der praktischen Umsetzung des dargestellten Unterrichtskonzepts durch den engen zeitlichen Rahmen nicht möglich und dies führte zu Problemen. Die Schüler kamen das erste Mal mit dieser Arbeitsmethode in Kontakt und waren dadurch etwas überfordert. Dies ist aber kein Grund auf die Concept Maps zu verzichten, im Gegenteil, gerade der Physikunterricht mit seinen vielen durch Gesetze verknüpften Begriffen, bietet sich an um sie öfters und regelmäßig einzusetzen. In dem vorgestellten Unterrichtskonzept wurden die beiden Concept Maps jeweils verwendet, um im Nachhinein die innere Struktur des erarbeiteten physikalischen Wissens zu verdeutlichen und einen Überblick zu ermöglichen. In der ersten Begriffslandschaft ging es am Ende der Kinematik darum, alle bekannten Größen, die zur Beschreibung von Bewegungen wichtig sind, sinnvoll zusammenzustellen und ihre innere Beziehung darzustellen. So misst der Verschiebungspfeil genauso die Änderung des Ortes, wie die Zusatzgeschwindigkeit die Änderung des Geschwindigkeitspfeiles misst. Kommt es zusätzlich auf die Zeit an, in der diese Änderung erfolgt, so erhält man Geschwindigkeit und Beschleunigung.

In der zweiten Begriffslandschaft ging es nach der Erarbeitung der Newtonschen Bewegungsgleichung darum, grundsätzlich zu verdeutlichen, wie in der klassischen Mechanik, bei bekannter Masse und resultierender Kraft, sowie bekannten Anfangsbedingungen Anfangsort und Anfangsgeschwindigkeit prinzipiell die weitere Bewegung vorausgesagt werden kann.

Concept Maps können jedoch nicht nur im Nachhinein verwendet werden, um einen Überblick zu schaffen, als „advanced organizer“ können sie zum Beispiel eingesetzt werden um vor der entsprechenden Unterrichtssequenz die Themen und Grundideen eines Kapitels vorzustellen. Die Lehr-Lernforschung setzt Concept Maps ein um Schülervorstellungen und deren Veränderung zu untersuchen.

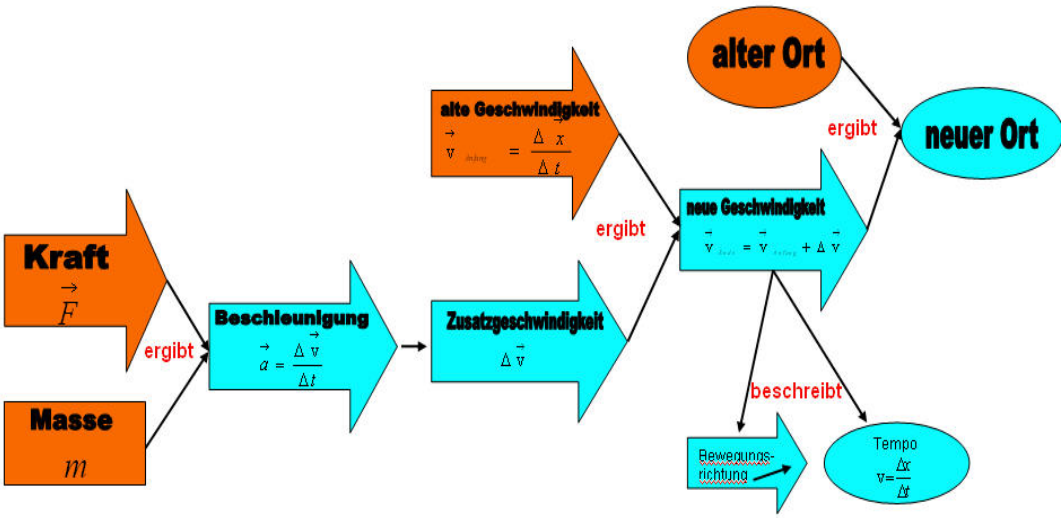


Abbildung 26: Concept Map Newtonsche Bewegungsgleichung, eigene Erstellung

[19] Ein einfaches Beispiel und die verwendeten Concept Maps finden sich im Anhang 9.7

5 Das Unterrichtskonzept zur Mechanik in der 7. Jahrgangsstufe

5.1 Allgemeines über das Unterrichtskonzept

Ziel dieser Arbeit war es ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Mechanik in der Mittelstufe auszuarbeiten, dass sich explizit am bayrischen Lehrplan der 7. Jahrgangsstufe im Fach Natur und Technik orientiert. Aus Zeitgründen sollte jedoch kein Gesamtkonzept für die Mechanik erarbeitet werden, sondern die Arbeit konzentriert sich unter dem Stichwort „Beschreibung von Bewegungen“ auf die Einführung der Grundgrößen der Kinematik und hernach sollte es mit den „Ursachen für Bewegungsänderungen“ in die Fragestellungen der Dynamik einleiten und als Abschluss die Newtonsche Bewegungsgleichung behandeln. Es wäre nicht nur denkbar, sondern auch ohne Probleme durchführbar und wünschenswert, das Konzept auf die weiteren Inhalte der Mechanik und somit zu einem Gesamtkonzept auszuweiten. Leider überstieg dies den Rahmen einer schriftlichen Hausarbeit. Die sich durch die Lehrplankonformität ergebenden Vorgaben sollten dabei zu einem Konzept ausgearbeitet werden, das die Erkenntnisse der didaktischen Forschung zum Mechanikunterricht und den bestehenden Schülervorstellungen berücksichtigt und dabei die Möglichkeiten verschiedenster Medien nutzt. Wie bereits in der Einleitung erwähnt habe ich mich dabei vor allem an den Konzepten und Erfahrungen von JUNG, WIESNER, WODZINSKI und WILHELM orientiert. In diesem Sinne sollte die Einführung in die Mechanik über die Kinematik und Dynamik erfolgen und nicht wie früher üblich über den Spezialfall der Statik. Außerdem sollte die Mechanik von Beginn an zweidimensional behandelt und die Bedeutung der Richtung betont werden. JUNG hat bereits 1980 in seinem Buch „Mechanik für die Sekundarstufe I“ auf die großen Vorteile dieser Vorgehensweise hingewiesen und ein dementsprechendes Konzept entworfen. Dieses wandte er zuvor unter anderem bei einer Untersuchung in der Grundschule an, in der es um die Beantwortung der Frage ging, inwieweit bereits in den Jahrgangsstufen 3 bis 6 korrekte kinematisch-dynamische Begriffe und Vorstellungen gelernt werden können. In diesem Konzept legte er großen Wert auf Bezugsysteme und die Zwischenkonzepte Stoß und Stoßrate, was sich so nicht bewährte. Das JUNGsche Konzept wurde Mitte der 80er Jahre von seinem Mitarbeiter WIESNER gründlich überarbeitet. So ging dieser nicht mehr auf Bezugsysteme ein und das Stoßkonzept diente nur noch zur Veranschaulichung. Er interpretiert die Zusatzbewegung als Vektordifferenz zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit und führt die Newtonsche Bewegungsgleichung über Plausibilitätsüberlegungen ein. Schließlich hat WODZINSKI noch einige Veränderungen vorgenommen und dabei Wert darauf gelegt, den Kraftbegriff relativ früh einzuführen und auch explizit eindimensionale Bewegungsänderungen zu thematisieren. Die allesamt am Frankfurter Institut für Didaktik der Physik entwickelten Konzepte propagierten in etwa den folgenden Unterrichtsablauf zur Mechanik:

1. **Aufgabenstellungen der Mechanik**
2. **Beschreibung von Bewegungen**
3. **Die (physikalische) Geschwindigkeit**
4. **Änderung der Geschwindigkeit und Zusatzgeschwindigkeit**
5. **Kraft und die Newtonsche Bewegungsgleichung**
6. Beispiele für Kraftfunktionen

7. Wechselwirkungsprinzip und Impulserhaltung
8. Übergang zur Statik
9. Energie, Arbeit und Leistung
10. Hydrostatik

Das im Folgenden dargestellte Unterrichtskonzept umfasste im Wesentlichen die fett gedruckten Punkte 1 bis 5. Um es dem bayerischen Lehrplan für die 7. Jahrgangstufe anzupassen ergaben sich jedoch einige Änderungen. Zum einen fordert der Lehrplan explizit die Behandlung der Beschleunigung und der Newtonschen Bewegungsgleichung in der Form $F = m \cdot a$. WIESNER und JUNG waren jedoch stets der Meinung, dass der physikalische Beschleunigungsbegriff als „Änderung pro Zeit“ zu abstrakt und komplex ist, um ihn in der Mittelstufe wirklich zu verstehen und verwendeten deshalb als Elementarisierung nur die Zusatzgeschwindigkeit. Die Zusatzgeschwindigkeit steht ebenfalls für die Änderung der Geschwindigkeit, ihre Darstellung als Pfeil ist anschaulicher und intuitiver und damit wird es auch leichter möglich, ihren Richtungscharakter nicht zu vernachlässigen. Die in der Praxis oft durchgeführte Methode, die Beschleunigung zunächst auf eine positive skalare Größe zu reduzieren, die misst, wie schnell ein Körper schneller wird, lehnen JUNG und WIESNER ab. Wie unter 2 erläutert führt dies zu einer Festigung der Fehlvorstellungen aus dem Alltag und somit zu Lernbarrieren, die später nur noch schwer zu überwinden sind. Der Richtungscharakter der Beschleunigung ist jedoch absolut notwenig um die Newtonsche Mechanik zu verstehen und sinnvoll auf den Alltag anzuwenden. Um den Lehrplan zu erfüllen, ohne jedoch die Philosophie des Gesamtkonzeptes aufzugeben, war also ein Kompromiss nötig. So wurde die Geschwindigkeitsänderung zunächst im Sinne WIESNERs und JUNGs durch den Zusatzgeschwindigkeitspfeil beschrieben. In einer extra Stunde wurde nun die Beschleunigung als Pfeilgröße eingeführt, die zwar die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit hat, aber nicht nur misst „wie viel“ sich die Geschwindigkeit verändert hat, sondern darüber hinaus auch „wie schnell“ dies geschah. Diese Vorgehensweise war nicht ideal, da sie teilweise zu Verwirrung und Verwechslung der beiden Größen führte, schien aber nicht zu umgehen. Dabei genügt es jedoch, wenn die Schüler Beschleunigung mit Geschwindigkeitsänderung assoziieren.

Außerdem war die ausgearbeitete Schülerübung so nicht in den Konzepten von JUNG und WIESNER enthalten. Diese Schülerübung war einerseits im Sinne der Intention des Faches Natur und Technik, wonach großen Wert auf die Eigenaktivität und das selbständige Experimentieren der Schüler gelegt wird. Ferner sprechen auch die Ergebnisse der Lehr- und Lernforschung eindeutig für die große Bedeutung der Schüleraktivität. Deshalb wurde in zwei Schulstunden eine Übungsphase eingebaut, in der die Schüler selbst Erfahrungen mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten sammeln konnten.

Darüber hinaus wurde das JUNGsche und WIESNERsche Konzept (wie unter 4 beschrieben) medial neu gestaltet und auf den Stand der heutigen Möglichkeiten gebracht. So sollte auch das Potential der neuen Medien, wie Videoanalyse und Computersimulation genutzt werden. Wie erwähnt wurde die „mediale Modernisierung“ stark von den Ideen und Ergebnissen von WILHELM beeinflusst. Neben dem Einsatz der modernen Medien wurden jedoch auch neue Aufgaben und Arbeitsblätter entworfen. Dabei wurde stets Wert darauf gelegt, die Aufgaben möglichst anwendungsorientiert, alltagsnah und interessant zu gestalten. Ziel war es bei den Schülern nicht nur Interesse für die Mechanik und die Physik zu wecken, sondern auch den

Eindruck, die Mechanik sei für ihr Alltagsleben bedeutsam. Im Gegensatz zu JUNG, der in seinem Konzept vorwiegend „eckige“, also aus Geradenstücken und Ecken, an denen ein Stoß stattfindet, zusammengesetzte Bahnkurven eingesetzt hat, wurden auf den Arbeitsblättern von Beginn an auch realistischere „glatte“ Kurven eingesetzt. Später wurde dann gezeigt, dass man sich eine glatte Kurve als Folge dauernder Einwirkungen vorstellen kann. Wie in der Einleitung angesprochen, sollte das Konzept insgesamt schülernah, alltagsnah und motivierend sein, sowie vor allem wertvolle, qualitative Grundeinsichten und Vorstellungen zur Newtonschen Mechanik vermitteln, auf denen später aufgebaut werden kann.
In der ersten Stunde wurde die Mechanik als Teilgebiet der Physik eingeführt, dass sich damit beschäftigt, wie Körper sich bewegen und aufeinander einwirken. Als erstes großes Ziel wurde die Beschreibung von Bewegungen ausgegeben und die hierzu notwendigen Größen gesammelt. Das Tempo und die Richtung einer Bewegung wurden dabei näher thematisiert. In der zweiten Stunde wurde die physikalische Geschwindigkeit als Größe eingeführt, die gleichzeitig Tempo und Richtung einer Bewegung anzeigt und durch einen Pfeil repräsentiert wird. In der nächsten Unterrichtseinheit wurden nun Geschwindigkeitsänderungen betrachtet und zu deren Beschreibung die Hilfsgröße „Zusatzgeschwindigkeit“ eingeführt. Hierbei wurde thematisiert, wie man diese Pfeilgröße, die die Änderung der Geschwindigkeit beschreibt, bei gegebener Anfangs- und Endgeschwindigkeit grafisch ermitteln kann und was für Auswirkungen eine gegebene Zusatzgeschwindigkeit auf die Bewegung haben kann. In der nächsten Stunde wurden die Vorstellungen zur Zusatzgeschwindigkeit vertieft und im Anschluss daran die Beschleunigung als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit eingeführt, also als Größe, die nicht nur misst „wie viel“ sich die Geschwindigkeit verändert hat, sondern auch „wie schnell“ dies geschah. Diese für die Schüler recht schwierige Größe war ebenfalls Thema der fünften Stunde, in der auch Beschleunigungen auf Kurvenbahnen mit konstantem Tempo thematisiert wurden. Die Erkenntnisse des ersten großen Themas „Beschreibung von Bewegungen“ wurden abschließend in einer Begriffslandschaft zusammengefasst. In der nächsten Stunde wurden nun die Ursachen von Bewegungsänderungen angesprochen und aufgezeigt, dass es stets einer Einwirkung bedarf, um den Bewegungszustand eines Körpers zu ändern. Hernach hatten die Schüler in einer Schülerübung die Gelegenheit selbst Erfahrungen mit Stößen als einer möglichen Form der Einwirkung zu sammeln. In der siebten Stunde wurde diese Übung fortgesetzt und auf Kurvenbahnen erweitert. Im Anschluss sollten die praktischen Erfahrungen mit den physikalischen Vorstellungen verknüpft werden. Dabei ging es unter anderem um die unabhängige Überlagerung von Anfangsbewegung und Zusatzbewegung. In der achten Stunde wurde die Kraft zur besseren Beschreibung von Einwirkungen eingeführt und untersucht, von welchen Größen die durch eine Krafteinwirkung übertragene Zusatzgeschwindigkeit abhängen kann. Die dabei erworbenen Einsichten wurden am Ende der Stunde in vier „Je-Desto-Sätzen“ zusammengefasst. In der neunten Stunde wurden diese qualitativen Beziehungen nun verwendet, um die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ plausibel zu machen und dann mit ihren Aussagen vertraut zu werden. In der letzten Unterrichtseinheit wurde die Gleichung in die im Lehrplan geforderte Form $F = m \cdot a$ umgeformt und das Newton als abgeleitete Einheit eingeführt. Abschließend wurde die Bedeutung und Nützlichkeit der Newtonschen

die Bedeutung und Nützlichkeit der Newtonschen Bewegungsgleichung bei der Besprechung einiger interessanter Anwendungsaufgaben aufgezeigt.
Im Anschluss an das Unterrichtskonzept wäre es sinnvoll den Trägheitssatz als Spezialfall der Newtonschen Bewegungsgleichung und das Wechselwirkungsgesetz zu behandeln. Danach sollten Beispiele für Kraftarten und deren Ursache, wie die Gravitationskraft und die Masse besprochen werden. Über die Kräfteaddition und -zerlegung und das Kräftegleichgewicht kann man abschließend zum Spezialfall der Statik kommen und das Gesetz von Hooke behandeln. Unten ist der entsprechende Stoffverteilungsplan zu sehen.

Stoffverteilungsplan für das Unterrichtskonzept

Stunde	Thema und Inhalt der Stunde
1	**Einführung in die Mechanik, Beschreibung von Bewegungen, Tempo, Richtung**
2	**physikalische Geschwindigkeit, Geschwindigkeitspfeil**
3	**Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit**
4	**Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung**
5	**Beschleunigung, Kurvenbahnen**
6	**Ursache von Bewegungsänderungen, Stöße als mögliche Einwirkung, Übung „Kugelstoßen“ Teil I**
7	**Übung „Kugelstoßen“ Teil II, Kurvenbahnen, Überlagerung von Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit**
8	**Einführung der Kraft, Zusammenhang von Zusatzgeschwindigkeit sowie Kraft, Einwirkungsdauer und Masse, in „Je-Desto-Sätzen“ zusammengefasst**
9	**Die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form** $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ **und ihre Anwendung**
10	**Bewegungsgleichung in der Form** $F = m \cdot a$ **, Newton als abgeleitete Einheit, Übungsbeispiele**
11	Trägheitssatz
12	Wechselwirkungsgesetz
13 - 22	Spezielle Kraftfunktionen und ihre Ursachen, Kräfteaddition, -zerlegung und -gleichgewicht, Kraft und Verformung, Gesetz von Hooke

5.2 Darstellung der einzelnen Stunden

Im Folgenden sollen die entworfenen und erprobten Stunden ausführlich dargestellt und beschrieben werden.

5.2.1 Stunde 1 – Einführung in die Mechanik, Beschreibung von Bewegungen

In der ersten Stunde sollte die Mechanik als neues Themengebiet kurz vorgestellt werden und die Schüler für das erste große Ziel, die Beschreibung von Bewegungen, motiviert werden. Hierbei wurden als erste wichtige Größen Tempo und Richtung genauer untersucht.

a) Ziele der Stunde

- Die Schüler sollen die Beschreibung von Bewegungen als Ziel der künftigen Stunden erfassen.
- Die Schüler sollen Ort, Zeit, Tempo und Richtung als wesentliche Größen zur Beschreibung einer Bewegung erkennen.
- Den Schülern soll klar werden, dass man von Bewegung immer nur in Bezug auf einen anderen Körper sprechen kann und es bei der Beschreibung von Bewegungen auch auf den Standpunkt des Beobachters ankommt.
- Die Schüler sollen den physikalischen Begriff Tempo für den alltäglich geläufigen Begriff Geschwindigkeit verwenden und die Definition des Tempos lernen.
- Die Schüler sollen eine Möglichkeit kennen, das Tempo eines Körpers zu messen.
- Die Schüler sollen wissen, was man in der Physik unter der Richtung einer Bewegung versteht und den Unterschied zwischen einer Bewegung in die gleiche Richtung und einer Bewegung auf das gleiche Ziel zu realisieren.

b) Sachanalyse

Unter Mechanik verstehen wir hier ein Teilgebiet der Physik, das sich mit der Bewegung von Körpern und der Einwirkung von Kräften beschäftigt. Dabei wird hier jedoch nur die vornehmlich auf Newton zurückgehende klassische Mechanik betrachtet. Die klassische Mechanik lässt sich grob unterteilen in Kinematik, Dynamik, Statik und Fluidmechanik, wobei die Inhalte dieses Unterrichtskonzeptes gänzlich aus den ersten beiden Teilgebieten stammen. Die Kinematik beschreibt Bewegungen von Punktmassen durch den Ortsvektor $\vec{x}$, die Bahnkurve $\vec{x}(t)$ als dessen zeitlichen Verlauf, die Geschwindigkeit $\vec{\mathrm{v}}(t)$ als Ableitung des Ortes nach der Zeit und durch die Beschleunigung $\vec{a}(t)$ als Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit, ohne dabei jedoch die Ursachen dieser Bewegungen zu betrachten. Im Gegensatz zur Momentangeschwindigkeit $\vec{\mathrm{v}}(t) = \dot{\vec{x}}(t)$ beschreibt die Durchschnittsgeschwindigkeit $\left\langle \vec{\mathrm{v}} \right\rangle = \frac{\int \mathrm{v}(t)dt}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$, die mittlere Änderung des Ortsvektors $\Delta \vec{x}$ in einem bestimmten Zeitintervall Δt. Der im Unterricht verwendete Begriff Tempo bezeichnet den Betrag der Geschwindigkeit $\mathrm{v(t)} = \left|\vec{\mathrm{v}}(t)\right|$, wobei im Unterricht mit dem Begriff Tempo stets das Durchschnittstempo als Quotient aus zurückgelegter Wegstrecke und dafür benötigter Zeit $\mathrm{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ gemeint ist. Unter der momentanen Bewegungsrichtung eines Körpers versteht man in

der Physik die Richtung des Geschwindigkeitsvektors. Dieser ist stets tangential zur Bahnkurve ausgerichtet.
Bei der Beschreibung einer Bewegung sind in der newtonschen Mechanik prinzipiell alle Inertialsysteme gleichberechtigt und die unterschiedlichen Beschreibungen können durch Galilei-Transformationen ineinander übergeführt werden.

c) Verlaufsplanung

1. Einstieg in die Mechanik (ca. 5 Minuten)

Zu Beginn der Stunde stellt der Lehrer das neue Themengebiet der Mechanik kurz als ein Teilgebiet der Physik vor, das sich mit der Bewegung und gegenseitigen Einwirkung von Körpern beschäftigt. Nun führt er in kleinen Demonstrationsexperimenten einige motivierende Beispiele für Bewegungen vor, darunter die elektrische Eisenbahn, das ferngesteuerte Auto und den Luftkissenpuck. Weitere mögliche Beispiele wären ein Kugelstoßpendel und ein „Druckluftgewehr“ das bunte Bälle verschießt. Als erstes großes Ziel wird im Anschluss die Beschreibung von Bewegungen ausgegeben.

Abbildung 1: Elektrische Eisenbahn mit Richtungspfeil, Foto: T. Wilhelm

2. Motivierendes Spiel „Blindes Fangen in Zeitlupe“ (ca. 14 Minuten)

Nicht nur zur Motivation, sondern auch um den Schülern ein Gefühl zu vermitteln, auf was es bei der Beschreibung von Bewegungen ankommt, wird nun ein kleines Spiel durchgeführt. Dazu verlässt die Klasse den Physiksaal und begibt sich auf einen größeren freien Platz (Schulaula oder Pausenhof). Der Lehrer wählt zunächst vier Freiwillige als Mitspieler aus, einen Flüchtenden, einen „blinden“ Fänger, dem die Augen verbunden werden und zwei Assistenten des Fängers. Der Flüchtende versucht nun dem Fänger zu entkommen, wobei er sich nur langsam, also in Zeitlupe, bewegen darf, um die Chancen des gehandicapten Fängers zu vergrößern. Dieser wird durch die Zurufe seiner beiden Assistenten gesteuert. Die Assistenten müssen also die Bewegungen von Fänger und Flüchtendem genau beobachten und verbal beschreiben. Die restliche Klasse schaut zunächst zu und achtet auf diese Bewegungsbeschreibungen. Je nach Wunsch kann das Spiel im Anschluss mehrmals wiederholt werden oder auch von der ganzen Klasse durchgeführt werden. Die Schüler sollten durch das Spiel und ihre Anweisungen („Schneller“, „Mehr nach links“, „Stopp, mehr nach rechts“) gleichsam von selbst darauf stoßen, welche Größen wichtig sind um eine Bewegung zu beschreiben.

Abbildung 2: Spiel „Blindes Fangen Spielen in Zeitlupe“, eigene Aufnahme

3. Auswertung des Spiels, Größen zur Beschreibung von Bewegungen (ca. 6 Minuten)

Nachdem die Schüler in den Physiksaal zurückgekehrt sind, sollen sie ihre Beobachtungen wiedergeben. In einem „Brainstorming“ werden an der Tafel Größen gesammelt, die sie zur Beschreibung von Bewegungen für bedeutsam halten. Die Schüler nennen neben dem Ort des Körpers und der Geschwindigkeit in Alltagsbedeutung, die möglichst sofort und konsequent in Tempo umgetauft wird, auch ganz selbstverständlich die Richtung der Bewegung. Denn sie haben selbst erfahren, dass es beim Fangen nicht nur auf ein hohes Tempo, sondern vor allem auch auf die richtige Bewegungsrichtung ankommt und wie schwer es ist diese dem Fänger zu beschreiben. Die Ergebnisse werden nun in einem Merksatz im Heft[1] zusammengefasst.

4. Das Tempo einer Bewegung (ca. 10 Minuten)

Im Anschluss sollte nun genauer auf die Größe Tempo eingegangen werden. Die Schüler kennen den Begriff als Synonym für Geschwindigkeit, sodass zunächst klargemacht werden muss, dass in der Physik ein wichtiger Unterschied besteht. Aus der bekannten Einheit km/h wird das Tempo als Quotient aus zurückgelegtem Weg und dafür benötigter Zeit definiert und die entsprechenden Formelbezeichnungen $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ sowie die Einheit Meter pro Sekunde eingeführt. Hernach wird als Aufgabe ausgegeben, das Durchschnittstempo des ferngesteuerten Autos zu bestimmen und dazu Schülervorschläge über die benötigten Instrumente und die Vorgehensweise eingeholt. Die Messung sollte von den Schülern selbst durchgeführt werden, einer misst eine entsprechende Wegstrecke, einer stoppt die Zeit und einer steuert das Auto. Die Messung wird mehrmals wiederholt, die gemessenen Werte werden verglichen und im Heft notiert. Um ein Gefühl für die Einheiten m/s und km/h zu bekommen wird abschließend die Folie „Wie schnell ist ungefähr ein …“[2] mit interessanten Tempoangaben aufgelegt und besprochen.

5. Die Richtung einer Bewegung (ca. 8 Minuten)

Als letztes Thema der Stunde soll den Schülern klar werden, was man in der Physik unter der Richtung einer Bewegung versteht und wann sich zwei Körper in die gleiche Richtung bewegen. Ausgehend von der Frage, ob Schüler aus verschiedenen Ortschaften sich morgens in die gleiche Richtung, nämlich „Richtung Schule“ bewegen, wird an der Folie „Straßenszene“ der physikalische Richtungsbegriff erarbeitet. Dazu haben die Schüler die Aufgabe Fahrzeuge zu finden, die sich in die gleiche Richtung bewegen. Hernach werden

Abbildung 3: Folie Straßenszene zur Einführung der Richtungspfeile, eigene Erstellung

[1] Die jeweiligen Hefteinträge sind im Anhang unter dem Punkt „Schülerheft“ einzusehen.
[2] Siehe Anhang

Richtungspfeile als praktische Veranschaulichung der Bewegungsrichtung eingeführt und auf der Folie eingezeichnet. Die Erkenntnisse werden wiederum in einem Merksatz festgehalten.

6. Übungsbeispiele und Hausaufgabe (ca. 2 Minuten)

Zum Schluss der Stunde sollen die neuen Erkenntnisse zu Tempo und Richtung in einem kurzen Übungsbeispiel angewendet und somit gesichert werden. In der Aufgabe „Carrera-Bahn“ geht es darum das Tempo zweier Körper zu vergleichen und zu realisieren, dass der schnellere den gleichen Weg in einer kürzeren Zeit zurücklegt oder in der gleichen Zeit weiter kommt.

Schließlich wird das „Arbeitsblatt 1“ ausgeteilt und soll als Hausaufgabe bearbeitet werden.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	**Geplantes Lehrerverhalten**	**Erwartetes Schülerverhalten**	**Sozialform und Medien**
1. Einstieg 5 min	Der Lehrer stellt das neue Themengebiet Mechanik kurz vor und zeigt einige Beispiele für Bewegungen. Erstes Ziel ist die Beschreibung von Bewegungen.		Darbietender Frontalunterricht Verschiedene Beispiele für Bewegungen: ferngesteuertes Auto, elektrische Eisenbahn, Luftkissenpuck,…
2. Spiel „Blindes Fangen in Zeitlupe“ 14 min	Der Lehrer erklärt das Spiel, führt die Klasse in die Aula und teilt die Rollen ein.	Zunächst spielen vier Schüler und der Rest beobachtet aufmerksam. Hernach sollen möglichst viele Schüler aktiv am Spiel teilhaben und Bewegungen beschreiben.	Spiel Tücher zum Verbinden der Augen
3. Auswertung des Spiels 6 min	Frage: „Welche Größen sind zur Beschreibung der Bewegung eines Körpers wichtig?“ Der Lehrer moderiert und sammelt die Aussagen an der Tafel. Der Lehrer fasst die Erkenntnisse in einem Merksatz zusammen.	Die Schüler nennen ihre Beobachtungen und Größen, die ihrer Meinung nach für die Beschreibung von Bewegungen wichtig sind.	Unterrichtsgespräch Tafel
4. Tempo 10 min	„Wie ist das Tempo eines Körpers definiert und wie kann man es messen?“ Lehrer teilt Assistenten ein, die das Tempo des Autos messen.	Schüler nennen die Definition des Tempos. drei Schüler bestimmen das Tempo des Autos, der Rest beobachtet.	Unterrichtsgespräch Von Schülern durchgeführtes Demonstrationsexperiment mit ferngesteuertem Auto, Maßband und Stoppuhr Tafel

	Hefteintrag „Tempo“ Lehrer zeigt die Folie „Wie schnell ist…“	Schüler betrachten die Folie, einer liest sie laut vor.	Overhead-Projektor
5. Richtung 8 min	„ *Schüler 1* kommt aus *Dorf 1*, *Schüler 2* aus *Dorf 2*. Beide fahren morgens „Richtung Schule“, fahren sie dann in die gleiche Richtung?“ Lehrer zeigt Folie „Straßenszene“ und fordert die Schüler auf Fahrzeuge zu finden, die in die gleiche Richtung fahren. Merksatz	Schüler diskutieren kurz über die Frage und nennen anschließend Fahrzeuge mit gleicher Richtung, zeigen diese auf der Folie und zeichnen die Richtungspfeile ein.	Unterrichtsgespräch Overhead-Projektor, farbige Folienstifte Tafel
6. Übung 2 min	Lehrer zeigt die Aufgabe „Carrera-Bahn“ Lehrer teilt das Arbeitsblatt 1 aus und stellt die Hausaufgabe	Schüler denken über die Aufgabe nach und nennen ihre Lösungen	Unterrichtsgespräch Overhead-Projektor Arbeitsblatt 1

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Die vorgeführten Bewegungen aus dem Bereich der Spielsachen wirkten sehr motivierend auf die Schüler. Sie erfüllten ihren Zweck und weckten bei vielen Schülern Interesse an der Mechanik.

Bei dem Spiel „Blindes Fangen in Zeitlupe“ war es wichtig, dass der Flüchtende sich wirklich nur sehr langsam bewegt, da die Chancen des Fängers sonst zu gering sind. Außerdem mussten die Schüler dazu angehalten werden laut und deutlich zu sprechen, damit die Zuschauer ihre Anweisungen verstehen. Insgesamt hat das Spiel sehr gut geklappt und die Schüler nicht nur weiter motiviert, sondern auch auf die Richtung als wichtige Eigenschaft einer Bewegung aufmerksam gemacht. Bei der anschließenden Auswertung waren die Schüler sehr stark auf die Richtung fixiert und sie wurde in unterschiedlichen Formulierungen mehrmals als wichtige Größe zur Beschreibung von Bewegungen erwähnt. Bei dieser Auswertung wurde auch das Tempo der Bewegung rasch als wichtige Größe genannt. Hierbei wurde jedoch stets zunächst der Alltagsbegriff Geschwindigkeit gebraucht und es ist gerade zu Beginn wichtig die Schüler dazu zu bringen, den Begriff Tempo zu verwenden, um ihn von der physikalischen Geschwindigkeit abzugrenzen. Auch die Zeit wurde von den Schülern thematisiert, wohingegen der Ort des Körpers nicht von alleine genannt wurde. Eventuell schien den Schülern diese Größe als zu selbstverständlich von Bedeutung, um erwähnt zu werden.

Die Schüler kannten die Definition des Tempos nicht wie erwartet aus dem Mathematikunterricht. Dafür konnten sie aber erklären, was es bedeutet sich mit 100 Kilometer pro Stunde zu bewegen. Bei der Definition des Tempos $\mathrm{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ hatten die Schüler durch ihre Unerfahrenheit Probleme mit der Formelschreibweise. Sie neigten dazu die Definition mit der Einheit zu

verwechseln und es kam zu Formulierungen wie „Tempo ist Kilometer pro Stunde“. Ein weiteres Problem war die Bedeutung des griechischen Buchstabens Δ. Es ist wichtig zu erklären, dass dieser stets für eine Differenz „Ende – Anfang“ steht und dies an konkreten Beispielen zu veranschaulichen. Bei der Bestimmung des Tempos des ferngesteuerten Autos beteiligten sich die Schüler mit großem Eifer und kamen ohne Probleme selbst auf die Messmethode. Die Folie „Wie schnell ist ungefähr ein …?“ wurde auch mit großem Interesse betrachtet und die Schüler stellten hierzu einige Fragen.
Wie schon erwähnt war den Schülern die Bedeutung der Bewegungsrichtung durch das Fangen Spielen bewusst geworden. Dies bedingte auch, dass die Schüler die Richtung nun automatisch im gewünschten Sinne verstanden und nicht im Sinne eines gleichen Bewegungsziels. So war kein Schüler der Meinung, dass die Fahrt in die Schule aus unterschiedlichen Startorten einer Bewegung in die gleiche Richtung entspräche. Es ist hilfreich zur Veranschaulichung des Richtungsbegriffs an die Himmelsrichtungen anzuknüpfen. Dies ermöglicht auch den Richtungspfeil als eine Art besondere Kompassnadel einzuführen.
Die Aufgabe „Carrera-Bahn“ wurde sofort gelöst und schien den Schülern keinerlei Probleme zu bereiten. Auch das Arbeitsblatt 1 wurde mit erstaunlich wenigen Problemen als Hausaufgabe gelöst. Den Schülern war klar, dass derjenige Biathlet schneller ist, der die gleiche Strecke in kürzerer Zeit zurücklegt und sie hatten keine Probleme die Surfer mit gleicher Bewegungsrichtung zu finden. Ein Schüler merkte sogar an, dass Körper mit gleicher Bewegungsrichtung nur zusammenstoßen könnten, wenn der hintere ein höheres Tempo hätte als der Vordere.

5.2.2 Stunde 2 – Die physikalische Geschwindigkeit

In der zweiten Stunde sollte die physikalische Geschwindigkeit als Größe eingeführt werden, die gleichzeitig Tempo und Richtung einer Bewegung angibt und durch einen Geschwindigkeitspfeil dargestellt werden kann.

a) Ziele der Stunde

- Die Schüler sollen erkennen, dass das Tempo alleine keine ausreichende Information über die Ortsänderung liefert, sondern dass zusätzlich die Bewegungsrichtung von Bedeutung ist.
- Die Schüler sollen die physikalische Geschwindigkeit als neuen Begriff erfassen, der gleichzeitig Tempo und Bewegungsrichtung beschreibt
- Die Schüler sollen sich die Geschwindigkeit durch den Geschwindigkeitspfeil veranschaulichen und wissen, dass dessen Länge für das Tempo und dessen Richtung für die Richtung der Bewegung stehen.
- Die Schüler sollen den Unterschied zwischen Alltagsbedeutung und physikalischer Bedeutung der Geschwindigkeit realisieren und diese Bedeutungen je nach Umgebung richtig verwenden können.

b) Sachanalyse

Die Geschwindigkeit ist in der Physik eine vektorielle Größe. Die Durchschnittsgeschwindigkeit in einem Zeitintervall Δt ergibt sich als Quotient aus dem Verschiebungsvektor

$\Delta \vec{x} = \vec{x}(t_2) - \vec{x}(t_1)$ und dem zugehörigen Zeitintervall $\Delta t = t_2 - t_1$, $\left\langle \vec{v} \right\rangle = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$. Die Momentangeschwindigkeit ergibt sich als Grenzwert für $\Delta t \to 0$ und lässt sich somit als Ableitung der Bahnkurve nach der Zeit verstehen $\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{x}(t)}{\Delta t} = \dot{\vec{x}}(t)$. Der Geschwindigkeitsvektor ist somit zu jedem Zeitpunkt tangential zur Bahnkurve ausgerichtet.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe (ca. 7 Minuten)

Zu Beginn der Stunde werden zunächst kurz die wichtigsten Erkenntnisse und Begriffe der letzten Stunde im lehrergeführten Unterrichtsgespräch wiederholt. Im Anschluss wird die Hausaufgabe besprochen. Hierzu wird das Arbeitsblatt 1 als Folie aufgelegt und einige Schüler stellen ihre Lösungen anhand dieser Folie kurz vor. Bei unterschiedlichen Lösungen oder Unklarheiten besteht die Möglichkeit zu einer kurzen Diskussion

2. Einführung der physikalischen Geschwindigkeit (ca. 10 Minuten)

Im zweiten Abschnitt der Stunde wird die physikalische Geschwindigkeit eingeführt. Ausgehend von der großen Bedeutung der Richtung und des Tempos für die Beschreibung von Bewegungen wird die Geschwindigkeit als eine Größe eingeführt, die praktischerweise Tempo und Richtung gleichzeitig darstellt. In der Physik werden also Tempo und Richtung zu einer Größe zusammengefasst, die man Geschwindigkeit nennt: Geschwindigkeit = Tempo + Richtung. Nun wird das Problem in den Raum gestellt, für unser ferngesteuertes Auto oder die elektrische Eisenbahn ein Instrument zu entwerfen, das die Geschwindigkeit anzeigt. Dazu fährt der Lehrer mit dem Auto im Kreise herum und fragt als Hilfe zunächst nach einer Möglichkeit ständig die Bewegungsrichtung des Autos anzuzeigen. Die Schüler machen Vorschläge und schließlich klebt der Lehrer einen Richtungspfeil auf das Dach des Autos. Wie könnte nun ein Pfeil beschaffen sein, der nicht nur die Richtung, sondern gleichzeitig auch noch das Tempo anzeigen soll? Wie könnte sich der Pfeil noch verändern? Als Hilfe nennt der Lehrer Tachometer in Autos, bei denen das Tempo nicht wie üblich durch einen sich drehenden Zeiger, sondern durch einen Balken angezeigt wird, der je nach Tempo seine Länge ändert und zeigt als Beispiel hierzu auf der Folie „Tacho“ ein Bild des Wunderautos K.I.T.T. aus der Serie Knight Rider. Über die Fragestellungen, wie sich der Balken verändert, wenn K.I.T.T. schneller oder langsamer fährt, kommt man nun zur Lösung des anfänglichen Problems: Der Richtungspfeil auf dem Dach müsste gleichzeitig je nach Tempo seine Länge verändern. Der Lehrer erklärt nun, dass man in der Physik die Geschwindigkeit ganz allgemein

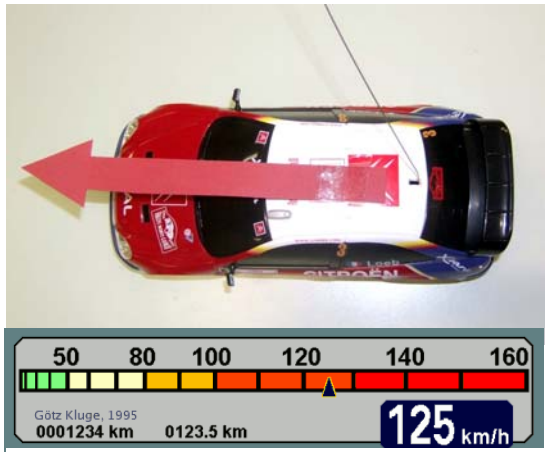


Abbildung 4: Ferngesteuertes Auto mit Richtungspfeil (eigene Aufnahme) und Tacho in Balkenform (http://de.wikipedia.org/wiki/Tacho)

durch einen Geschwindigkeitspfeil darstellt, dessen Richtung die momentane Bewegungsrichtung und dessen Länge gleichzeitig das momentane Tempo anzeigt. Doppelte Länge bedeutet also doppeltes Tempo. Zur Veranschaulichung zeichnet er an der Tafel einige Geschwindigkeitspfeile ein und fasst die bisherigen Einsichten in einem Merksatz an der Tafel zusammen. Dabei führt er auch das Formelzeichen $\vec{v}$ ein und erwähnt, dass in der Physik Größen bei denen es auf die Richtung ankommt als gerichtete Größen oder Pfeilgrößen bezeichnet werden und stets durch entsprechende Pfeile veranschaulicht werden können.

3. Vertiefung anhand des gefilmten Zugs und der Pakma-Videos (ca. 15 Minuten)

Der Lehrer merkt an, dass wir nun zwar eine theoretische Idee für ein Instrument zur Geschwindigkeitsanzeige haben, diese sich jedoch mit dem Papp-Pfeil praktisch nicht umsetzen lässt. Deshalb wurde die Eisenbahn im Vorfeld gefilmt und der Geschwindigkeitspfeil mit einer speziellen Software auf das Dach „gebastelt“. Der Lehrer führt nun zunächst das Video-Projekt „komplett Pfeil an Bahn.prj“ ohne Pfeil vor und die Schüler beobachten den gefilmten Zug. Nun wird das gleiche Video mit dem Geschwindigkeitspfeil auf dem Zug mehrmals abgespielt. Zunächst sollen die Schüler nur darauf achten, wie die Länge des Pfeils sich mit dem Tempo des Zuges verändert. Danach sollen sie sich auf die Richtung des Geschwindigkeitspfeils in den Kurven konzentrieren. Hernach teilt der Lehrer für jeden Schüler einen kleinen Papp-Pfeil aus, den die Schüler vor sich hinlegen. Das Video wird nun abermals abgespielt, nun jedoch wieder ohne Geschwindigkeitspfeil. Die Schüler haben die Aufgabe ihren Pfeil auf der Bank entsprechend mitzubewegen, sodass er stets die gleiche Richtung hat, wie der unsichtbare, „richtige“ Geschwindigkeitspfeil. Somit haben die Schüler die Gelegenheit selbst Erfahrun-

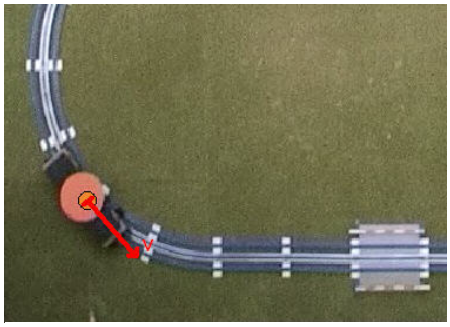


Abbildung 6: Video-Projekt komplett „Pfeil an Bahn“

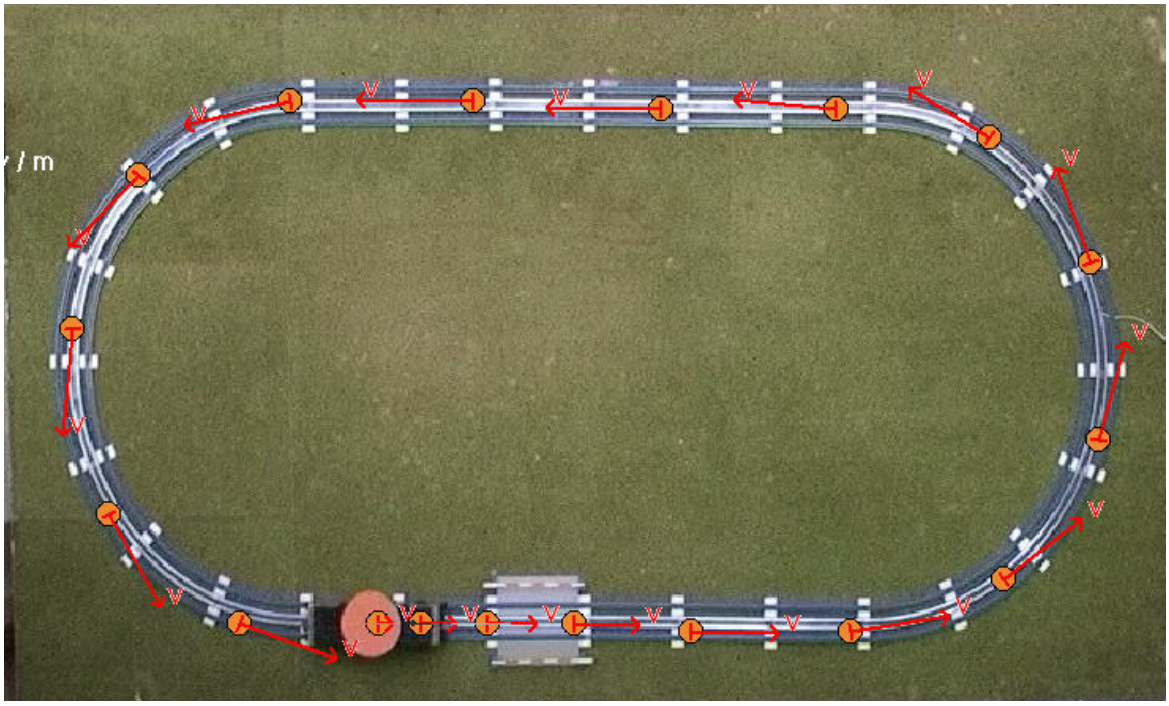


Abbildung 5: Video-Projekt komplett im Stempel-Modus, erstellt von F. Schüller und T. Wilhelm

gen mit der Richtung der Geschwindigkeit bei zweidimensionalen Bewegungen zu sammeln. Es bietet sich nun an zu thematisieren, dass der Geschwindigkeitspfeil des Zuges nicht ortsfest an diesen gebunden ist, sondern im Prinzip frei im Raum beweglich ist, solange die Richtung nicht verändert wird. Somit ist auch jeder andere Pfeil mit gleicher Richtung und gleicher Länge ein möglicher Geschwindigkeitspfeil des Zuges. Zum Abschluss dieses Abschnitts wird nun die „Stempeln-Funktion“ von PAKMA verwendet und das Video-Projekt „Komplett Stempeln“ gestartet. Nach einem Umlauf sollen einige Schüler herauskommen und mit eigenen Worten beschreiben, wie sich die Geschwindigkeit zu den verschiedenen Zeitpunkten geändert hat und woran sie das erkennen. Also zum Beispiel wurde von einem Punkt zum anderen das Tempo größer, da der Geschwindigkeitspfeil an Länge zugenommen hat usw.

4. Abgrenzung zum Alltagsbegriff (ca. 5 Minuten)

Nachdem nun der aus physikalischer Sicht korrekte Geschwindigkeitsbegriff eingeführt wurde, sollten die Schüler nun noch einmal explizit auf die Unterschiede zwischen Alltagsbedeutung und physikalischer Bedeutung hingewiesen werden. In diesem Sinne stellt der Lehrer klar, dass man im Alltagsleben die Worte Tempo und Geschwindigkeit meist vollkommen synonym verwendet (Tempolimit und Höchstgeschwindigkeit), in der Physik jedoch ein wesentlicher Unterschied besteht. Er verdeutlicht, dass sich zwei Körper zwar mit gleichem Tempo, aber durchaus unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen können und der physikalische Geschwindigkeitsbegriff mehr Informationen enthält. So bewegen sich in der Physik zwei Körper nur mit gleicher Geschwindigkeit, wenn ihre Geschwindigkeitspfeile gleich, also sowohl gleich lang, als auch gleich gerichtet sind. Dies wird wiederum in einem Merksatz festgehalten.

5. Übung (ca. 8 Minuten)

Der Rest der Stunde wird genutzt, um den Schülern die Möglichkeit zu geben, sich selbst im Umgang mit dem neuen Begriff zu üben. Dazu wird das Arbeitsblatt 2 ausgeteilt und in Partnerarbeit bearbeitet. Dabei können die Schüler jederzeit Fragen stellen, um etwaige Unklarheiten zu beseitigen. Der Rest des Arbeitsblattes ist als Hausaufgabe fertig zu stellen.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	**Geplantes Lehrerverhalten**	**Erwartetes Schülerverhalten**	**Sozialform und Medien**
1. Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe 7min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde und stellt dabei einige Fragen. Der Lehrer legt das Arbeitsblatt 1 als Folie auf und fragt nach Ergebnissen.	Die Schüler antworten auf die Fragen. Einige Schüler stellen ihre Lösungen vor.	Unterrichtsgespräch Overhead-Projektor
2. Einführung der physikalischen Ge-	Der Lehrer führt die Geschwindigkeit als Tempo + Richtung ein.		Darbietender Frontalunterricht Tafel

schwindigkeit 10min	Er stellt als Problem die Konstruktion eines „Geschwindigkeitsanzeigeinstruments“. Einführung des Geschwindigkeitspfeils Hefteintrag	Die Schüler machen Vorschläge	Unterrichtsgespräch Ferngesteuertes Auto, elektrische Eisenbahn Darbietend Tafel
3. Vertiefung 15 min	Der Lehrer führt die unterschiedlichen Videos vor und sagt den Schülern worauf sie achten sollen. Der Lehrer teilt für jeden Schüler einen Papppfeil aus.	Die Schüler beobachten die Videos. Die Schüler drehen ihren Pfeil entsprechend der Bewegung des Zuges. Die Schüler beschreiben die Änderung der Geschwindigkeitspfeile beim Stempeln.	Darbietend Computer und Videobeamer mit PAKMA-Software und Videos Schüleraktivität Papppfeile für jeden Schüler Unterrichtsgespräch
4. Abgrenzung zum Alltagsbegriff 5 min	Der Lehrer macht den Unterschied zwischen Alltagsgebrauch und physikalischer Bedeutung der Geschwindigkeit klar.		Darbietender Frontalunterricht
5. Übung 8 min	Der Lehrer teilt die Arbeitsblätter aus und stellt den Arbeitsauftrag.	Die Schüler bearbeiten die Arbeitsblätter und stellen aufkommende Fragen.	Partnerarbeit Arbeitsblatt

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Mit dem Arbeitsblatt 1 hatten die Schüler, wie bereits erwähnt, wenig Probleme. Bei der Suche nach einem Gerät zur Geschwindigkeitsanzeige beteiligten sie sich mit großem Eifer. Dabei kamen sie rasch auf die Idee die Richtung durch einen Pfeil auf dem Dach anzuzeigen. Auf die Idee die Länge dieses Pfeils zu ändern kamen sie zunächst nicht. Dafür hatte eine Schülerein eine andere interessante Idee. Sie meinte der Pfeil würde ja durch den Fahrtwind umso stärker angehoben, je höher das Tempo des Autos sei. Dadurch wäre es möglich eine Skala anzubringen, die dem Drehwinkel ein Tempo zuordnet. Wahrscheinlich kamen die Schüler deshalb nicht darauf, die Länge des Pfeils zu ändern, da sie zu sehr an der Anschauung des Papppfeils auf dem Dach hingen, bei dem dies ja nicht möglich ist. Deshalb ist es sinnvoll zu betonen, dass es nicht nur um diesen Pfeil im Speziellen, sondern ganz allgemein um eine Möglichkeit geht den Pfeil so zu verändern, dass er das Tempo mit darstellt. Der Impuls mit dem Tacho von K.I.T.T. aus Knight Rider kam dagegen sehr gut an und machte den Schülern motivierend klar, dass sich ein Balken, der seine Länge verändert, genauso zur Tempoanzeige eignet, wie der Tachozeiger im normalen Auto. Nach diesem Impuls kamen die Schüler selbst auf die Idee die Länge des Richtungspfeils zu verändern, um die Ge-

schwindigkeit darzustellen. Der Geschwindigkeitspfeil war für die Schüler also zunächst ein Richtungspfeil auf dem Dach des Fahrzeuges, der wie ein Balkentacho seine Länge mit dem Tempo verändert. Dass dieser Pfeil nicht mit dem Auto verbunden sein muss, sondern im Prinzip frei im Raum bewegt werden kann, machte zunächst Probleme, ist jedoch eine Voraussetzung für die Addition und Subtraktion von Geschwindigkeitspfeilen in den nächsten Stunden. Der Unterschied zwischen Tempo und Geschwindigkeit wurde dagegen rasch erfasst. So antworteten die Schüler auf die Frage „Können sich zwei Körper mit gleichem Tempo, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen?“ unmittelbar damit, dass die Bewegungen in unterschiedliche Richtungen verlaufen müssten. Die Möglichkeit der Umkehrung, also eine Bewegung mit gleicher Geschwindigkeit, aber unterschiedlichem Tempo zu verneinen, bedurfte einer längeren Bedenkzeit.
Die Videos des Zuges kamen bei den Schülern sehr gut an und sie waren sichtlich erstaunt über den mitbewegten Geschwindigkeitsvektor auf dem Zug. Vorher konnten sie sich den Geschwindigkeitsvektor nicht recht vorstellen und hielten ihn für ein seltsames Gedankenkonstrukt, denn kein Auto hat so einen Pfeil auf dem Dach. Nun wurde die Theorie mit Anschauung gefüllt und die Schüler erhielten eine visuelle Vorstellung von diesem neuen Objekt. Dadurch legten sie ihre Skepsis ab und der didaktische Nutzen dieser Videoanalyse für die Behandlung zweidimensionaler Bewegungsgrößen ist sehr hoch einzuschätzen.
Die kurze Übungssequenz mit den Papppfeilen fiel den Schülern recht einfach und sie konnten auch ohne Probleme mit eigenen Worten beschreiben, wie sich die Geschwindigkeit in der gestempelten Darstellung von einem Pfeil zum nächsten verändert hat. Zusammenfassend schien mir die Vorstellung der physikalischen Geschwindigkeit als Pfeil, dessen Länge das Tempo und dessen Richtung die Bewegungsrichtung darstellt, gut verstanden.

5.2.3 Stunde 3 – Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit

In der dritten Stunde wurden die Änderung der Geschwindigkeit und die Richtung der Geschwindigkeit in Kurven besprochen. Zur genaueren Beschreibung der Geschwindigkeitsänderung wurde die Zusatzgeschwindigkeit als neue Größe eingeführt.

a) Ziele der Stunde

- Die Schüler sollen auch auf gekrümmten Bahnen die momentane Richtung der Geschwindigkeit kennen und den momentanen Geschwindigkeitspfeil einzeichnen können.
- Die Schüler sollen realisieren, dass sich die Geschwindigkeit sowohl durch eine Tempoveränderung, als auch durch einen Richtungswechsel ändern kann und dabei anschaulich das Bild des Geschwindigkeitspfeils im Kopf haben.
- Die Schüler sollen vier Möglichkeiten einer Geschwindigkeitsänderung und deren Interpretation anhand des Geschwindigkeitspfeils im Kopf haben: Tempo vergrößern, Tempo verkleinern, Richtung ändern, Tempo und Richtung ändern.
- Die Schüler sollen wissen, dass sich in einer Kurve die Geschwindigkeit auch bei konstantem Tempo aufgrund des ständigen Richtungswechsels dauernd zu ändert und dass man Bewegungen, bei denen sich die Geschwindigkeit dauernd ändert, beschleunigt nennt.
- Die Schüler sollen erkennen, dass man eine Geschwindigkeitsänderung durch einen Zusatzgeschwindigkeitspfeil beschreiben kann.

b) Sachanalyse

Wie oben erklärt beschreibt man in der Physik die Änderung des Ortsvektors mit dem Geschwindigkeitsvektor. Bei den meisten Bewegungen ist jedoch auch dieser nicht konstant, sondern ändert sich zeitlich. Die Änderung der Geschwindigkeit im Zeitintervall Δt lässt sich dabei durch den Geschwindigkeitsänderungsvektor $\Delta \vec{v}$ beschreiben, dieser ergibt sich als Differenz der Geschwindigkeit am Ende und Anfang des Zeitintervalls $\Delta \vec{v} = \vec{v}(t_2) - \vec{v}(t_1)$. Als Vektor hat die Geschwindigkeitsänderung ebenfalls einen Betrag und eine Richtung. Dieser Geschwindigkeitsänderungsvektor wird im dargestellten Unterrichtskonzept als Zusatzgeschwindigkeit bezeichnet und als Elementarisierung des Beschleunigungsbegriffes verwendet. Der Name „Zusatzgeschwindigkeit“ erklärt sich später aus der dynamischen Vorstellung, dass der Körper seine Geschwindigkeit durch eine äußere Einwirkung ändert und somit zusätzlich zu seiner Anfangsgeschwindigkeit eine Geschwindigkeit in Richtung der Einwirkung erhält. Die Endgeschwindigkeit ergibt sich als Vektorsumme aus Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe (ca. 10 Minuten)

Im ersten Teil der Stunde werden im Unterrichtsgespräch zunächst kurz die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde wiederholt. Dabei wird nochmals klargemacht, was man in der Physik unter der Geschwindigkeit eines Körpers versteht und wie man sie durch den Geschwindigkeitspfeil veranschaulichen kann. Danach wird das Arbeitsblatt 2 besprochen, wobei möglichst wieder einige Schüler ihre Lösungen am Overheadprojektor vorstellen und Unklarheiten gemeinsam besprochen werden. Bei der Aufgabe 3 „Pass in den Lauf“ sollte der Lehrer zunächst klarmachen, dass die Länge der Pfeile als Maß für das Tempo auch ein Maß dafür sind, wie weit sich der Ball in einer Sekunde bewegt und die Spitze des Pfeils somit angibt, wo sich der Ball nach einer Sekunde befindet (wenn er sich mit gleicher Geschwindigkeit weiterbewegt). Die Position des Balles nach zwei Sekunden findet man also, indem man den Geschwindigkeitspfeil des Balles noch einmal vorne „anhängt“. Um den Ball zu bekommen, muss der Spieler zur gleichen Zeit am gleichen Ort sein wie der Ball. Man muss demnach die Geschwindigkeitspfeile von Ball und Spieler gleich oft aneinanderhängen, treffen sich die Spitzen in einem Punkt, so bekommt der Spieler den Ball. Auf diese Weise kann man den richtigen Geschwindigkeitspfeil herausfinden.

2. Geschwindigkeitsänderung (ca. 10 Minuten)

Im zweiten Teil der Stunde macht der Lehrer zunächst am Beispiel der elektrischen Eisenbahn und des ferngesteuerten Autos klar, dass die Geschwindigkeit bei den meisten Bewegungen nicht konstant ist, sondern sich während der Bewegung ändert. Er stellt klar, dass sich die Geschwindigkeit genau dann ändert, wenn sich der Geschwindigkeitspfeil auf irgendeine Weise ändert. Nun fragt er die Schüler, auf welche Art und Weise sich der Geschwindigkeitspfeil ändern kann und was dies jeweils für die Geschwindigkeit bedeutet. So kommt man im Unterrichtsgespräch zu dem Ergebnis, dass der Pfeil einerseits länger oder kürzer werden

kann, was einer Erhöhung oder Reduktion des Tempos entspricht, andererseits aber auch gedreht werden kann, was einer Änderung der Bewegungsrichtung entspricht. Jede dieser Möglichkeiten wird im Anschluss mit der Eisenbahn durchgeführt und anhand eines entsprechenden Video-Projektes mit Geschwindigkeitspfeilen in PAKMA veranschaulicht (Video-Projekte: Beschleunigen linear stempeln, Bremsen linear schnell, konstantes Tempo). Diese Einsichten fasst der Lehrer nun in einer Tafelanschrift zusammen, bevor er die Schüler fragt, was man demnach über die Geschwindigkeit auf einer Kurvenbahn sagen kann und die elektrische Eisenbahn mit dem Richtungspfeil auf dem Dach mit konstantem, aber möglichst geringem Tempo um die Kurve fahren lässt. Die Schüler erkennen, dass sich die Geschwindigkeit auf einer Kurvenbahn dauernd ändern muss, da sich die Bewegungsrichtung ständig ändert. Der Lehrer erklärt dass man Bewegungen, bei denen sich die Geschwindigkeit dauernd ändert, in der Physik beschleunigt nennt und hält dies in einem Merksatz fest.

3. Richtung des Geschwindigkeitspfeils in Kurven (ca. 8 Minuten)

Im nächsten Stundenabschnitt soll noch einmal speziell auf die Richtung des Geschwindigkeitspfeils in Kurven eingegangen werden. Dazu erklärt der Lehrer, dass man in der Physik die Richtung, in welche sich der Körper weiterbewegen (beziehungsweise aus der Kurve heraus bewegen) würde, wenn die Kurve genau an diesem Punkt endete, als Richtung der Geschwindigkeit in diesem Punkt bezeichnet. Dies veranschaulicht er an einem Demonstrationsexperiment mit der Kugelbahn. Eine Metallkugel rollt auf Plastikschienen um eine Kurve. Egal an welcher Stelle man nun die Schienen unterbricht, die Kugel rollt stets geradeaus aus der Kurve.

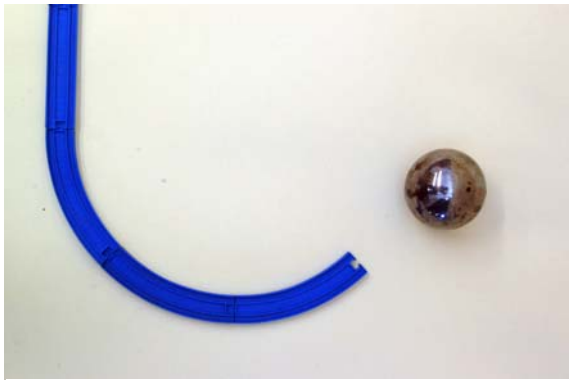


Abbildung 7: Kugelbahn, Kugel rollt tangential aus der Kurve, Foto: T. Wilhelm

Die Richtung der Geschwindigkeit an einem Punkt der Kurve ergibt sich immer als die Richtung, in der die Kugel geradeaus weiterrollen würde, wenn man die Schiene genau in diesem Punkte unterbräche. Ergänzend dazu zeigt er das Video-Projekt „Kreis tangential“ in dem die Schienen des Zuges in der Kurve unterbrochen wurden und er sich tangential weiterbewegt. Der angezeigte Geschwindigkeitspfeil ist im Moment des Verlassens der Schiene genau tangential zur Kreisbahn ausgerichtet und das Video veranschaulicht die physikalische Sichtweise sehr eindrucksvoll. Hernach zeichnet der Lehrer eine gekrümmte Bahnkurve an die Tafel und lässt von einigen Schülern an verschiedenen Stellen den Geschwindigkeitspfeil einzeichnen. Abschließend fasst er die erarbeiteten Einsichten in einer Tafelanschrift zusammen.

4. Einführung der Zusatzgeschwindigkeit (ca. 15 Minuten)

Nun führt der Lehrer die Zusatzgeschwindigkeit als neue Größe ein, um Geschwindigkeitsänderungen genauer beschreiben zu können. Die Zusatzgeschwindigkeit misst, wie stark sich die Geschwindigkeit zwischen zwei Bahnpunkten geändert hat. Sie wird wiederum durch einen Pfeil dargestellt. Um die Zusatzgeschwindigkeit grafisch zu ermitteln bedarf es noch einiger Kenntnisse über den Umgang mit Pfeilen. Diese werden nun vom Lehrer kurz dargestellt. Als erstes erinnert er nochmals daran, dass die Pfeile zwar als Anzeigegerät für die Geschwindigkeit auf dem Dach eines Fahrzeugs eingeführt wurden, im Prinzip jedoch frei an der Tafel verschiebbar sind, solange Richtung und Länge sich nicht ändern. Dies veranschaulicht er mit den mitgebrachten Papppfeilen unterschiedlicher Länge und Farbe, auf deren Unterseite ein Magnet angebracht ist und die somit frei an der Tafel verschiebbar sind. Um die Änderung von Geschwindigkeiten zu bestimmen, muss man Pfeile miteinander „vergleichen“. Dazu schiebt man den ersten Pfeil unter Beibehaltung seiner Richtung so zum zweiten Pfeil, dass beide Pfeile im gleichen Punkt beginnen. Dies führt der Lehrer mit den Magnetpfeilen an einem Beispiel vor. Die Zusatzgeschwindigkeit misst nun, wie sehr sich die beiden Pfeile unterscheiden, wie eine Brücke verbindet sie die Spitze des ersten Pfeils mit der Spitze des zweiten Pfeils, sodass man sich vorstellen kann, man läuft zunächst zur Spitze des ersten Pfeils und dann über die Brücke „Zusatzgeschwindigkeit“ zur Spitze des zweiten Pfeils. Je mehr sich die Geschwindigkeit geändert hat, umso weiter muss man gehen und umso größer ist somit die Zusatzgeschwindigkeit. Nun wirft der Lehrer ein, dass man mit dieser Methode zwar prinzipiell die Zusatzgeschwindigkeit an der Tafel bestimmen kann, sie aber so nicht für Bahnkurven im Heft anwendbar ist. Man könnte zwar den Geschwindigkeitspfeil ausschneiden und dann verschieben, aber aus praktischen Gründen geht man anders vor. Der Lehrer zeigt nun am Beispiel der Bahnkurve an der Tafel, wie man mit Geodreieck und Lineal den Pfeil zeichnerisch so verschieben kann, dass er seine Richtung und Länge beibehält. Dabei führt er an einem Beispiel vor, wie man bei gegebener Anfangs- und Endgeschwindigkeit die Zusatzgeschwindigkeit grafisch ermitteln kann. Zum Abschluss der Stunde sollen die Schüler noch einmal selbst aktiv werden und

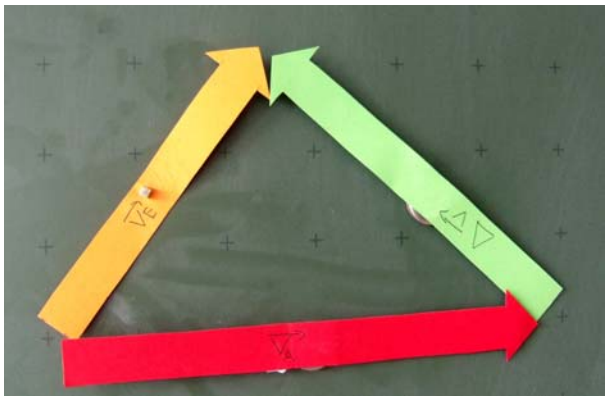


Abbildung 8: Magnetpfeile zur Einführung der Zusatzgeschwindigkeit, eigene Aufnahme

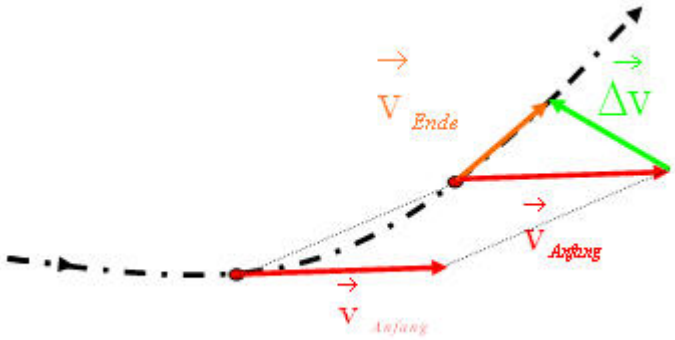


Abbildung 9: Schemazeichnung zur Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit, eigene Erstellung

sich in dieser Fertigkeit üben. Dazu tauscht zunächst jeder Schüler das Heft mit seinem Nachbarn aus und malt in diesem eine Bahnkurve seiner Wahl und kennzeichnet dabei zwei Punkte, an denen er je einen Geschwindigkeitspfeil einzeichnet. Dann werden die Hefte zurückgetauscht und jeder Schüler hat die Aufgabe in seinem eigenen Heft die Zusatzgeschwindigkeit grafisch zu ermitteln.

5. Bemerkungen zur Hausaufgabe (ca. 2 Minuten)

Am Ende der Stunde wird das Arbeitsblatt 3 ausgeteilt. Die Schüler sollen als Hausaufgabe jedoch nur die Aufgabe 1 „Bahnkurve eines Windsurfers“ lösen. Die zweite Aufgabe wird in der nächsten Stunde gemeinsam besprochen.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	**Geplantes Lehrerverhalten**	**Erwartetes Schülerverhalten**	**Sozialform und Medien**
1. Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe 10 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde und stellt dabei einige Fragen. Der Lehrer legt das Arbeitsblatt 2 als Folie auf und fragt nach Ergebnissen	Die Schüler versuchen auf die Fragen zu antworten. Einige Schüler stellen ihre Lösungen vor	Unterrichtsgespräch Overhead-Projektor
2. Erarbeitung Geschwindigkeitsänderung 10 min	Der Lehrer macht klar, dass die Geschwindigkeit meist nicht konstant ist und sich genau dann ändert, wenn sich der Geschwindigkeitspfeil ändert. Der Lehrer zeigt die unterschiedlichen Arten der Geschwindigkeitsänderung an der Eisenbahn und im Video-Projekt. Lehrer formuliert Merksatz	Die Schüler überlegen, auf welche Art sich der Geschwindigkeitspfeil ändern kann.	Lehrervortrag Unterrichtsgespräch Eisenbahn Computer mit PAKMA Software und entsprechenden Video-Projekten, Beamer Tafel
3. Geschwindigkeit in Kurven 8 min	Der Lehrer erklärt, was man in der Physik unter der Geschwindigkeit in Kurven versteht. Der Lehrer führt das Demonstrationsexperiment Kugelbahn durch und zeigt das Video-Projekt „Kreis tangential“ Der Lehrer zeichnet gekrümmte Bahnkurve an	Schüler zeichnen an markierten Stellen den Ge-	Lehrervortrag Demonstrationsexperiment Metallkugel und Plastikschienen Video „Kreis tangential“ Unterrichtsgespräch Tafel

	die Tafel Schreibt Merksatz an.	schwindigkeitspfeil ein	
4. Einführung der Zusatzgeschwindigkeit 15 min	Der Lehrer führt die Zusatzgeschwindigkeit als neue Größe zur Beschreibung von Geschwindigkeitsänderungen ein. Er demonstriert die Subtraktion von Pfeilen zunächst mit den Papppfeilen. Er zeigt an der Tafel die grafische Bestimmung der Zusatzgeschwindigkeit. Gibt Arbeitsauftrag	Schüler tauschen Hefte aus und üben Bestimmung der Zusatzgeschwindigkeit aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit.	Lehrervortrag Verschiedene Magnetpfeile Tafel, Geodreieck, Lineal und Farbkreide Schülerübung am Platz
5. Hausaufgabe 2min	Der Lehrer teilt das Arbeitsblatt 3 aus und stellt Aufgabe 1 als Hausaufgabe		Arbeitsblatt 3

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Die Aufgaben 1 und 2 des zweiten Arbeitsblattes machten den Schülern keine Probleme, was dafür spricht, dass sie den Geschwindigkeitsbegriff verstanden haben. Dafür hatten einige Schüler Schwierigkeiten mit der Aufgabe 3 „Pass in den Lauf“. Ihnen war nicht klar, wie man zeichnerisch feststellen kann, welcher Geschwindigkeitspfeil der Richtige ist. Deshalb wurden die oben unter „Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe“ erwähnten Bemerkungen nachgetragen. Danach waren auch die Probleme mit dieser Aufgabe behoben.

Im Unterrichtskonzept wurde bisher völlig auf Rechnungen verzichtet. Die Schüler sollen stattdessen mit der Vorstellung der Pfeile vertraut werden und es werden grafische Lösungen angestrebt. Die Geschwindigkeit soll von Anfang an als Pfeil gesehen werden, nicht als Zahl.

Den Schülern war dadurch unmittelbar klar, dass sich der Geschwindigkeitspfeil ändern kann, indem er länger, kürzer oder gedreht wird. Auch die Deutung als Tempozunahme, Tempoabnahme und Richtungsänderung machte ihnen keine Probleme. Es schien ihnen selbstverständlich, dass ein Richtungswechsel eine Änderung der physikalischen Geschwindigkeit bedeutet, denn der Geschwindigkeitspfeil ändert dadurch ja offensichtlich seine Gestalt. Wieder trugen die aufbereiteten Videos enorm zum Verständnis bei. Zu sehen wie der Zug anfährt und gleichzeitig der Pfeil auf dem Dach länger wird oder wie der Zug stehen bleibt und der Pfeil allmählich verschwindet half den Schülern sich die physikalische Modellwelt vorzustellen.

Der Abschnitt „Geschwindigkeit in Kurven“ bereitete den Schülern erstmals Probleme und es muss langsam und sorgfältig vorgegangen werden, um die Schüler nicht zu verlieren. Um den

Schülern klarzumachen, dass sich die Geschwindigkeit in einer Kurve dauernd ändert, erwies sich die Funktion Stempeln in PAKMA als sehr nützlich. Jedoch war ihnen nicht klar, warum betont wurde, dass sich die Geschwindigkeit dauernd ändert. Dies erklärt sich erst später, wenn klar wird, dass dadurch auch die ganze Zeit eine Kraft wirken muss. Die Schüler hatten zunächst Probleme den Geschwindigkeitspfeil an einem Punkt der Bahnkurve einzuzeichnen und es gelang erst nach mehreren Versuchen. Einer Schülerin war im Video aufgefallen, dass der Geschwindigkeitspfeil in der Kurve immer geradeaus zeigt, obwohl der Zug eine Kurve fährt und sie zeichnete den Pfeil korrekt ein.
Die Idee, die Richtung der Geschwindigkeit nicht über die Tangente, sondern über die Richtung in der sich der Zug weiterbewegen würde, wenn die Kurve in diesem Punkte endete, einzuführen, schien den Schülern entgegen zu kommen. Vor allem der Versuch mit der Kugelbahn veranschaulichte diese Vorstellung und räumte letzte Zweifel aus.
Die Zusatzgeschwindigkeit war für die Schüler zunächst sehr abstrakt. Um die grundsätzlichen Verständnisprobleme nicht noch durch die Probleme beim Zeichnen zu vergrößern, erwiesen sich die Magnetpfeile als sehr nützlich. Den Schülern wurde klar, dass man die Pfeile an der Tafel verschieben kann, solange man dabei die Richtung beibehält und sie im gleichen Punkt beginnen lässt, um sie zu vergleichen. Anschließend machte auch die grafische Bestimmung der Zusatzgeschwindigkeit nach einer kurzen Einführung wenig Probleme. Dennoch schien mir die Interpretation und Bedeutung der Zusatzgeschwindigkeit noch nicht wirklich verstanden. Hier galt es in der nächsten Stunde anzuknüpfen. Die kurze Übung mit dem Austauschen der Hefte bereitete den Schülern große Freude und sie versuchten möglichst ausgefallene Bahnkurven zu entwerfen. Bei den Geschwindigkeitspfeilen ist es sinnvoll von Beginn an einheitliche Farben zu wählen. So wurde die Anfangsgeschwindigkeit stets rot, die Endgeschwindigkeit orange und die Zusatzgeschwindigkeit grün dargestellt.

5.2.4 Stunde 4 – Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung

In dieser Stunde sollte das Konzept der Zusatzgeschwindigkeit weiter vertieft und dabei zunächst wiederholt werden, wie man bei bekannter Anfangs- und Endgeschwindigkeit die Zusatzgeschwindigkeit bestimmt. Danach sollte das Problem besprochen werden, wie man bei bekannter Zusatzgeschwindigkeit, die Endgeschwindigkeit bestimmen kann. Am Ende der Stunde wird die Beschleunigung als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit eingeführt.

a) Ziele

- Die Schüler sollen die Zusatzgeschwindigkeit als Größe kennen.
- Die Schüler sollen in der Lage sein, bei gegebener Anfangs- und Endgeschwindigkeit die Zusatzgeschwindigkeit grafisch zu ermitteln.
- Die Schüler sollen im umgekehrten Fall in der Lage sein, die Endgeschwindigkeit bei bekannter Anfangsgeschwindigkeit und Zusatzgeschwindigkeit grafisch zu ermitteln und die beiden Fälle sicher zu unterscheiden.
- Die Schüler sollen wissen, dass die Auswirkungen der Zusatzgeschwindigkeit von ihrer Richtung im Vergleich zur Anfangsgeschwindigkeit abhängen und sie sollen die drei Fälle Tempo erhöhen, Tempo verringern und Richtung ändern mit dem Konzept der Zusatzgeschwindigkeit erklären können.

- Die Schüler sollen erkennen, dass es oft von Bedeutung ist, wie schnell sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert und dass dies in der Physik mit der Beschleunigung beschrieben wird.

b) Sachanalyse

Wie im Zusammenhang mit der dritten Stunde erklärt, lässt sich die Änderung der Geschwindigkeit in einem Zeitintervall Δt durch den Geschwindigkeitsänderungsvektor $\Delta\vec{v}$ beschreiben. Diese Größe hat in der Physik jedoch eine geringere Bedeutung als in diesem Unterrichtskonzept. Da die Geschwindigkeitsänderung zeitlich selten konstant ist, arbeitet man praktischer Weise mit der Beschleunigung um die Bewegung eines Körpers vorherzusagen. Die mittlere Beschleunigung oder Durchschnittsbeschleunigung $\left\langle \vec{a} \right\rangle$ im Zeitintervall Δt ergibt sich als Quotient aus dem Geschwindigkeitsänderungsvektor $\Delta\vec{v}$ und der Länge des dazu benötigten Zeitintervalls Δt: $\left\langle \vec{a} \right\rangle = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}(t_2) - \vec{v}(t_1)}{t_2 - t_1}$. Lässt man dabei das zugehörige Zeitintervall Δt im Grenzwert gegen Null gehen, so ergibt sich die momentane Beschleunigung als erste Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit und damit als zweite Ableitung der Bahnkurve nach der Zeit: $\vec{a}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \dot{\vec{v}}(t) = \ddot{\vec{x}}(t)$. Bei bekannter Beschleunigung und Anfangsgeschwindigkeit lässt sich so die Endgeschwindigkeit bestimmen: $\vec{v}(t_2) = \vec{v}(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} \vec{a}(t)dt$. Bei zeitlich konstanter Beschleunigung ergibt sich damit $\vec{v}(t_2) = \vec{v}(t_1) + \vec{a} \cdot \Delta t$. Im Unterrichtskonzept sollte jedoch zunächst auf die Behandlung der schwierigen Beschleunigung verzichtet werden. Deshalb wurde das Produkt $\vec{a} \cdot \Delta t$ (oder besser $\left\langle \vec{a} \right\rangle \cdot \Delta t$) als Zusatzgeschwindigkeitsvektor $\Delta\vec{v}$ bezeichnet und die Endgeschwindigkeit bei bekannter Anfangsgeschwindigkeit in der Form $\vec{v}_{Ende} = \vec{v}_{Anfang} + \Delta\vec{v}$ grafisch bestimmt. Die (mittlere) Beschleunigung wurde später als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit eingeführt.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe (ca. 10 Minuten)

Zu Beginn der Stunde wurden abermals die wichtigsten Erkenntnisse der letzten Stunde im Unterrichtsgespräch wiederholt. Dabei wurde besonderer Wert auf die Interpretation der Zusatzgeschwindigkeit als Maß dafür, wie stark und in welche Richtung sich die Geschwindigkeit zwischen zwei Punkten der Bahnkurve geändert hat, sowie auf die grafische Konstruktion derselbigen bei bekannter Anfangs- und Endgeschwindigkeit gelegt. Im Anschluss dazu wurde die Aufgabe 1 des dritten Arbeitsblattes besprochen. Dabei stellten wiederum einige Schü-

ler ihre Lösungen anhand einer Folie vor. Zur Vertiefung wurde im Anschluss die Software DynaGeo verwendet und die Datei „Zusatzgeschwindigkeit dynamisch“ gestartet. Es war dadurch möglich dynamisch zu veranschaulichen, wie sich die Zusatzgeschwindigkeit bei der Bewegung auf einer Bahnkurve jeweils aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit ergibt und verändert. Dabei wählt man zunächst eine Stelle der Bahnkurve für den Geschwindigkeitspfeil v_alt aus. Dann zieht man den Geschwindigkeitspfeil v_neu die Bahnkurve entlang und es wird stets der aus der Vektorsubtraktion entstehende Zusatzgeschwindigkeitspfeil angezeigt. Durch die Schieberegler kann die Bahnkurve verändert werden.

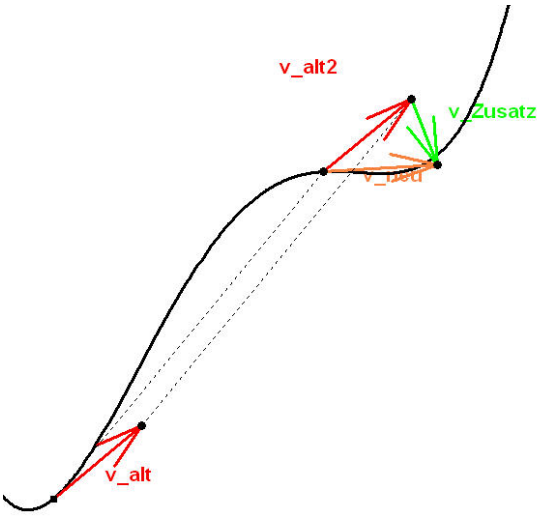


Abbildung 10: Dynamische Darstellung der Zusatzgeschwindigkeit in DynaGeo, erstellt von F. Schüller und J. Roth

2. Bestimmung der Endgeschwindigkeit bei bekannter Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit (ca. 10 Minuten)

Im nächsten Teil der Stunde sollte nun der umgekehrte Fall, also die grafische Bestimmung der Endgeschwindigkeit bei bekannter Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit behandelt werden. Der Lehrer erklärt den Schülern, dass es vorkommen kann, dass man die Anfangsgeschwindigkeit eines Körpers kennt und auch weiß welche Zusatzgeschwindigkeit dieser aufgrund äußerer Einwirkungen erhält. Nun ist es von großem Interesse die weitere Bewegung des Körpers vorherzusagen, wozu man seine Endgeschwindigkeit bestimmen muss. Um dies an einem Beispiel aus dem Alltag der Schüler zu verdeutlichen, legt er die Aufgabe 2 „Durchschwimmen eines Flusses“ des Arbeitsblatts 3 als Folie auf und lässt sie durch einen Schüler vorlesen. In der Teilaufgabe a) soll erstmals gerechnet werden. Es geht darum bei bekannter Zeitdauer und bekannter Breite des Flusses das durchschnittliche Tempo der Schwimmerin senkrecht zum Ufer zu berechnen. Dadurch wird die Definition und die Einheit des Tempos wiederholt und die Schüler üben

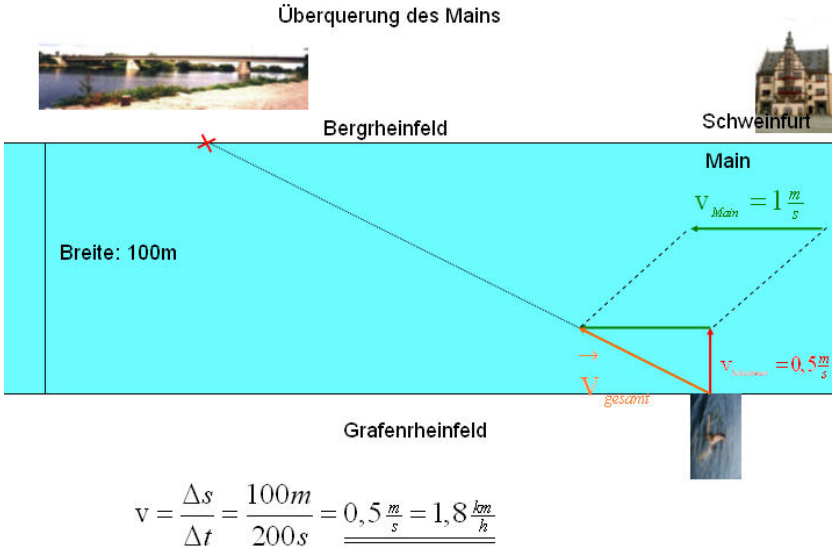


Abbildung 11: Übungsaufgabe zur Bestimmung der Endgeschwindigkeit „Überquerung des Mains“, eigene Erstellung

sich im konkreten Berechnen desselbigen. In der Teilaufgabe b) ist nun bekannt, dass der Main an dieser Stelle eine Fliessgeschwindigkeit von 1 m/s haben soll und es geht darum die Gesamtgeschwindigkeit der Schwimmerin grafisch zu ermitteln und die Stelle zu kennzeichnen, an der sie das andere Ufer erreichen wird. Dieses Problem soll nun von der Klasse gemeinsam im Unterrichtsgespräch gelöst werden und die Schüler machen Vorschläge. Ist die Aufgabe beendet, fasst der Lehrer noch einmal mündlich zusammen wie man vorgehen muss, um bei bekannter Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit die Gesamt- oder Endgeschwindigkeit grafisch zu ermitteln.

3. Ergebnissicherung (ca. 7 Minuten)

Im Folgenden geht es darum die bisherigen Erkenntnisse zu sichern und die beiden Fälle sauber zu unterscheiden. Dazu weist der Lehrer noch einmal ausdrücklich darauf hin, dass es grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden gibt. Einmal kennt man die Anfangs- und die Endgeschwindigkeit und möchte die Änderung der Geschwindigkeit in Form eines Zusatzgeschwindigkeitspfeils bestimmen, im anderen Fall kennt man die Anfangsgeschwindigkeit und weiß welche Zusatzgeschwindigkeit aufgrund äußerer Umstände an einer Stelle hinzukommt und möchte die Endgeschwindigkeit bestimmen, um den weiteren Verlauf der Bewegung vorherzusagen. Anschließend hält er dies in einer Tafelanschrift fest, stellt für beide Fälle die jeweilige grafische Vorgehensweise in einer Art „Kochrezept“ zusammen und verdeutlicht diese jeweils nochmals durch eine Beispielzeichnung.

4. Richtung der Zusatzgeschwindigkeit in Bezug auf die Geschwindigkeit (11 Minuten)

Daran anknüpfend soll im nächsten Stundenabschnitt genauer untersucht werden, welche Bedeutung die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit auf die Änderung der Geschwindigkeit hat. Die drei denkbaren Möglichkeiten werden dabei einzeln erarbeitet und festgehalten.

Zunächst soll untersucht werden, was mit der Geschwindigkeit passiert, wenn die Zusatzgeschwindigkeit in die gleiche Richtung zeigt wie die Geschwindigkeit. Dazu stellt der Lehrer als kurze Wiederholung die Frage, auf welche Art und Weise sich der Geschwindigkeitspfeil verändern kann und erklärt anschließend, dass es auf die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit ankommt, ob der Geschwindigkeitspfeil länger, kürzer oder gedreht wird. Danach startet er das Video-Projekt „Beschleunigen linear“ im Stempelmodus, lässt nun aber nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Zusatzgeschwindigkeit als Pfeil darstellen. Die Schüler erkennen, dass der Zusatzgeschwindigkeitspfeil stets in Richtung des Geschwindigkeitspfeils zeigt, der Geschwindigkeitspfeil dabei immer länger wird und zwar genau um die Länge des Zusatzgeschwindigkeitspfeils. Man kann sich somit vorstellen, dass der so gerichtete Zusatz-

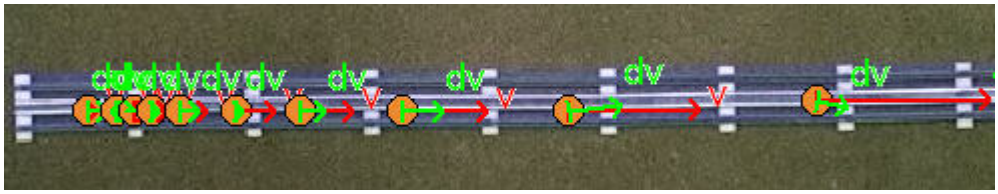


Abbildung 12: Video-Projekt „Beschleunigen linear“ mit Zusatzgeschwindigkeit im „Stempeln“-Modus, erstellt von F. Schüller und T. Wilhelm

geschwindigkeitspfeil vorne an die Spitze des Geschwindigkeitspfeils angehängt wird und ihn somit verlängert, also das Tempo erhöht. Dieses Teilergebnis wird nun an der Tafel gesichert[3].

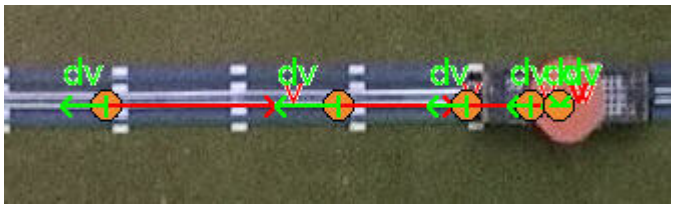


Abbildung 13: Video-Projekt „Bremsen linear“, erstellt von F. Schüller und T. Wilhelm

Der Lehrer startet nun das Video-Projekt „Bremsen linear“ im Stempelmodus und fragt die Schüler nach ihren Beobachtungen. Die Schüler erkennen, dass die Zusatzgeschwindigkeit stets in die Gegenrichtung der Geschwindigkeit zeigt und der Geschwindigkeitspfeil immer kürzer wird. Man kann sich also vorstellen, dass der so gerichtete Zusatzgeschwindigkeitspfeil vorne ein Stück des Geschwindigkeitspfeils abschneidet dieser damit kürzer und das Tempo somit kleiner wird. Auch dieses Teilergebnis wird nun entsprechend gesichert.

Der Lehrer stellt nun die Frage, auf welche Art sich der Geschwindigkeitspfeil noch ändern kann und wie die Zusatzgeschwindigkeit nach Meinung der Schüler in diesem Fall zur Geschwindigkeit ausgerichtet sein muss. Hernach startet er das Video-Projekt „Kreis konstantes Tempo“ im Stempelmodus und fragt die Schüler, ob ihre Beobachtungen mit ihren Vermutungen übereinstimmen. Die Schüler erkennen, dass der Zusatzgeschwindigkeitspfeil stets quer zur Geschwindigkeit ausgerichtet ist und der Geschwindigkeitspfeil zwar gedreht wird, seine Länge jedoch beibehält. Der neue Geschwindigkeitspfeil ergibt sich stets durch die oben behandelte grafische Addition von Anfangsgeschwindigkeitspfeil und Zusatzgeschwindigkeitspfeil, man verschiebt also den Fuß des Zusatzgeschwindigkeitspfeils parallel zur Spitze des Anfangsgeschwindigkeitspfeils und verbindet anschließend den Fuß des letzteren mit der Spitze der Zusatzgeschwindigkeit. Es wird somit klar, dass eine Zusatzgeschwindigkeit quer zur Geschwindigkeit die Bewegungsrichtung verändert und den Körper somit um die Kurve treibt. Bei allen drei Fällen können wiederum auch die Magnetpfeile als zusätzliche Veranschaulichung eingesetzt werden. Abschließend wird auch dieses Teilziel an der Tafel gesichert.

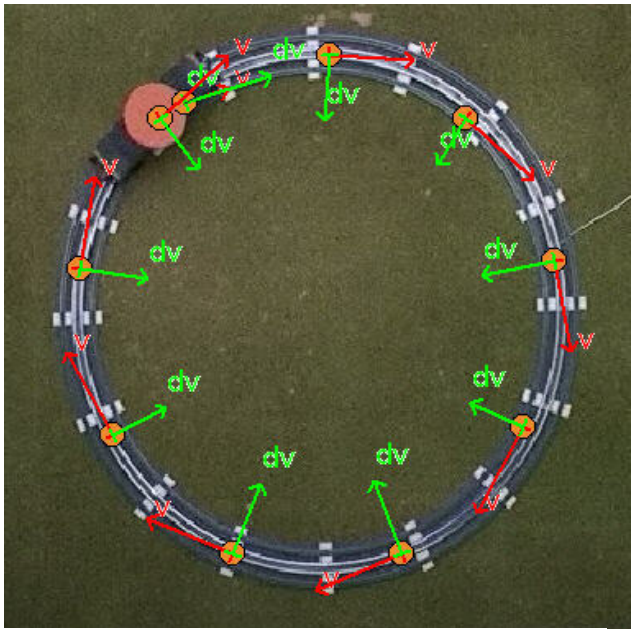


Abbildung 14: Video-Projekt „Kreis konstantes Tempo“, erstellt von F. Schüller und T. Wilhelm

5. Einführung der Beschleunigung (ca. 7 Minuten)

Im letzten Teil der Stunde sollte im Vorgriff auf die nächste Stunde aufgezeigt werden, dass es häufig nicht nur von Bedeutung ist, wie stark sich die Geschwindigkeit verändert, sondern

[3] Ein möglicher Hefteintrag ist im Schülerheft im Anhang dargestellt

auch wie schnell, also in welchem Zeitintervall dies geschieht. Um dies zu motivieren wird zunächst der Videoclip „Smart vs. Ferrari“ vorgeführt. Obwohl der Ferrari sicherlich ein höheres Endtempo erreicht, gewinnt der Smart das Rennen, da er schneller Tempo zulegen kann. Die Schüler erkennen daran anschaulich die Bedeutung der Beschleunigung. Sie kennen den Begriff Beschleunigung aus dem Alltag bereits als Maß dafür, wie schnell ein Körper Tempo zulegt. In dieser Stunde soll zunächst an diese Vorstellung angeknüpft werden, bevor der Beschleunigungsbegriff in der nächsten Stunde auf die physikalische Sichtweise verallgemeinert wird. So führt der Lehrer die Beschleunigung $\vec{a}$ als neue Größe ein, die nicht nur misst „wie stark“ sich die Geschwindigkeit verändert, sondern auch „wie schnell“ dies geschieht. Anschließend führt er die Formulierung $Beschleunigung = \frac{Zusatzgeschwindigkeit}{Zeit}$ und die Formelschreibweise $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ein. Als letztes leitet er daraus die Einheit der Beschleunigung als $1\frac{\frac{m}{s}}{s} = 1\frac{m}{s \cdot s} = 1\frac{m}{s^2}$ her. In der nächsten Stunde wird an diese Definitionen angeknüpft und der Beschleunigungsbegriff vertieft behandelt.

Abbildung 15: Motivierendes Video „Smart vs. Ferrari“

d) Unterrichtskizze

Zeit/Phase	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Sozialform und Medien
1. Wiederholung und Besprechung der Hausaufgabe 10 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde und stellt dabei einige Fragen. Der Lehrer legt Aufgabe 1 des 3. Arbeitsblattes als Folie auf und fragt nach Ergebnissen. Der Lehrer startet DynaGeo und veranschaulicht die Zusatzgeschwindigkeit dynamisch.	Die Schüler versuchen auf die Fragen zu antworten. Einige Schüler stellen ihre Lösungen vor.	Unterrichtsgespräch Overhead-Projektor Lehrervortrag Computer mit DynaGeo und entsprechender Datei, Beamer
2. Grafische Bestimmung der Endgeschwindigkeit 10 min	Der Lehrer erklärt das Problem bei bekannter Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit die Endgeschwindigkeit zu bestimmen und legt Aufgabe 2 als Folie auf Er unterstützt die Schüler bei der gemeinsamen	Die Schüler machen Vorschläge zur Vorgehens-	Lehrervortrag Unterrichtsgespräch

	Bearbeitung der Aufgabe und fasst die Vorgehensweise nochmals zusammen.	weise und demonstrieren diese an der Folie.	Overheadprojektor
3. Ergebnissicherung 7 min	Der Lehrer grenzt die beiden möglichen Fälle gegeneinander ab und fasst die Ergebnisse und die jeweilige Vorgehensweise als „Kochrezept“ an der Tafel zusammen.		Lehrervortag Tafel
4. Vertiefung Bedeutung der Richtung der Zusatzgeschwindigkeit 11 min	Der Lehrer erinnert in einer Frage an die unterschiedlichen Möglichkeiten einer Geschwindigkeitsänderung. Der Lehrer führt das Video-Projekt „Beschleunigen linear“ vor. Der Lehrer hält die Erkenntnisse an der Tafel fest. Analoges vorgehen bei den Video-Projekten „Bremsen linear“ und „Kreis konstantes Tempo“ Der Lehrer fasst die drei Teilziele nochmals zusammen.	Die Schüler geben an auf welche Art sich der Geschwindigkeitspfeil ändern kann Die Schüler achten auf den Zusammenhang zwischen Richtung der Zusatzgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsänderung und äußern ihre Vermutungen.	Unterrichtsgespräch Computer mit PAKMA-Software und entsprechenden Video-Projekte, Beamer Tafel Magnetpfeile als mögliche Veranschaulichung Lehrervortrag
5. Einführung der Beschleunigung 7 min	Der Lehrer motiviert die Bedeutung der Beschleunigung mit dem Video „Smart vs. Ferrari“. Der Lehrer definiert die Beschleunigung als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit und leitet ihre Einheit ab.		Darbietender Frontalunterricht Computer, entsprechendes Video und Beamer Tafel

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Zunächst einmal ist zu sagen, dass die Einteilung der Stunde so nicht ideal war und sich aus den äußeren Zwängen das Konzept in 10 Unterrichtsstunden unterzubringen, ergab. Es wäre schöner sich bei den Punkten 1-4 etwas mehr Zeit zu lassen und dafür das neue Thema Beschleunigung in der nächsten Stunde zu beginnen. Jedoch ist die für die Schüler sehr schwere

Beschleunigung nicht in einer Stunde abzuhandeln und so bliebe in der darauf folgenden Stunde eventuell nicht genug Zeit für die Schülerübung. Deshalb wurde die Beschleunigung bereits am Ende dieser Stunde eingeführt und sollte in der nächsten Stunde abgeschlossen werden. Generell wäre es also wünschenswert sich eine Stunde mehr Zeit für die Kinematik zu nehmen und diese inhaltsreiche Stunde etwas zu entzerren. Wie schon erwähnt wird die Beschleunigung in den Konzepten von WIESNER, WODZINSKI und JUNG in der Mittelstufe bewusst noch nicht thematisiert, sondern nur mit der Zusatzgeschwindigkeit gearbeitet. Dies wäre didaktisch sinnvoll, war aber nicht möglich, da die Beschleunigung im bayrischen Lehrplan zum Grundwissen der 7. Klasse zählt. Die Beschleunigung wurde deshalb nicht so ausführlich behandelt wie vielleicht in herkömmlichen Unterrichtskonzepten. Ziel war, dass die Schüler im Kopf weiterhin mehr mit der anschaulichen Zusatzgeschwindigkeit arbeiteten.
Diese recht theoretische Stunde machte den Schülern einige Probleme und brachte sie an die Grenze ihres Abstraktionsvermögens. Das Prinzip der grafischen Bestimmung der Zusatzgeschwindigkeit hatten sie zwar verstanden und die Hausaufgabe wurde gut gelöst, aber die physikalische Vorstellung hinter dieser Größe war noch kaum ausgebildet. Die dynamische Veranschaulichung in DynaGeo trug wesentlich dazu bei, dass die Zusatzgeschwindigkeit etwas vertrauter und anschaulicher wurde.
Im zweiten Teil der Stunde hatten die Schüler zunächst Probleme sich auf das „neue“ Problem umzustellen und die Schüler hatten auch nach der Stunde teilweise Probleme die beiden möglichen Fragestellungen „Konstruktion von $\Delta\vec{v}$“ und „Konstruktion von $\vec{v}_{Ende}$“ korrekt zu unterscheiden. Das umgekehrte Problem verwirrte zunächst. Die recht anschauliche Aufgabe wurde dementsprechend nur mit Unterstützung der Lehrkraft gelöst. Dennoch machte sie die Bedeutung dieser Problemstellung klar und wurde durch ihren Alltagsbezug mit großem Interesse erarbeitet.
Bei der Ergebnissicherung wurde versucht die beiden Fälle klar zu unterscheiden und den Schülern jeweils eine einfache Anleitung zur Bestimmung des gesuchten Pfeils zu geben, sowie an einem Beispiel zu veranschaulichen.
Im nächsten Stundenteil ging es um die Bedeutung der Richtung der Zusatzgeschwindigkeit. Einigen Schülern schien dies wenig Probleme zu bereiten, anderen war es eventuell zu abstrakt. Die Video-Projekte mit den Vektoren leisteten wiederum wertvolle Dienste und auch die Magnetpfeile, mit denen die Vorstellung des „vorne Anhängens“ des Zusatzgeschwindigkeitspfeils anschaulich demonstriert werden konnte, trugen zum Verständnis bei.
Das Video „Smart vs. Ferrari“ wirkte sehr motivierend auf die Schüler und sie hatten dabei zunächst keine Probleme die Bedeutung der Beschleunigung im Alltagssinn, als „schnell Tempo zulegen“, zu interpretieren. Die Verwirrung zeigte sich erst in der nächsten Stunde, als die Beschleunigung ebenfalls als Pfeil eingeführt wurde, der auch anzeigen kann, wie schnell Tempo reduziert wurde oder wie abrupt sich die Richtung geändert hat. Hernach hatten die Schüler große Probleme Beschleunigung und Zusatzgeschwindigkeit zu unterscheiden. Die Einheit der Beschleunigung wurde dagegen gut angenommen, es zeigte sich aber später dasselbe Problem der Verwechslung von Einheit und Definition wie bei der Geschwindigkeit.

5.2.5 Stunde 5 – Die Beschleunigung als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit

Der vom Ende der letzten Stunde her bekannte Beschleunigungsbegriff soll nun vertieft behandelt werden und dabei die drei Fälle, „Tempo erhöhen“, „Tempo verringern“ und „Bewegungsrichtung ändern“ unterschieden und veranschaulicht werden.

a) Ziele

- Die Schüler sollen die Beschleunigung als Größe erfassen die angibt, „wie viel“ und „wie schnell“ sich die Geschwindigkeit verändert.
- Die Schüler sollen die Definition der Beschleunigung als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit ($\vec{a} = \frac{\Delta \vec{\mathrm{v}}}{\Delta \mathrm{t}}$) und die Einheit der Beschleunigung kennen.
- Die Schüler sollen wissen, dass die Beschleunigung ebenso wie die Zusatzgeschwindigkeit eine Richtung besitzt und durch einen Pfeil dargestellt werden kann.
- Die Schüler sollen die Auswirkungen der Beschleunigung je nach ihrer Richtung in „Tempo vergrößern“, „Tempo verringern“ und „Bewegungsrichtung ändern“ unterscheiden können und dabei erkennen, dass die Beschleunigung nicht nur angibt, wie sehr sich die Geschwindigkeit jeweils verändert, sondern auch wie rasch dies geschieht.
- Die Schüler sollen erkennen, dass es im Alltag häufig von Bedeutung ist, wie schnell sich eine Geschwindigkeit ändert und dass man große Beschleunigungen im Gegensatz zu großen Geschwindigkeiten „spüren“ kann.

b) Sachanalyse

Wie bereits unter 5.2.4 b) erwähnt, ergibt sich die momentane Beschleunigung als Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit, $\vec{a}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{\mathrm{v}}}{\Delta t} = \dot{\vec{\mathrm{v}}}(t) = \ddot{\vec{x}}(t)$. Der Beschleunigungsvektor lässt sich dabei stets in eine Tangentialkomponente $\vec{a}_{\text{tangential}}$ parallel zur Bewegungsrichtung und in eine Normalkomponente $\vec{a}_{normal}$ senkrecht zur Bewegungsrichtung aufteilen. Zeigt die Tangentialbeschleunigung in Bewegungsrichtung, so erhöht sich das Tempo des Körpers; zeigt sie dagegen gegen die Bewegungsrichtung, so wird der Körper abgebremst. Die Normalkomponente der Beschleunigung bewirkt die Krümmung der Bahnkurve. Sie zeigt stets in Richtung Kurveninneres und hängt mit der Bahngeschwindigkeit und dem Kurvenradius über die Beziehung $\vec{a}_{normal} = -\left(\frac{\mathrm{v}^2}{r}\right) \cdot \frac{\vec{r}}{r}$ zusammen. Der Betrag der Normalbeschleunigung ist also umso größer, je höher die Bahngeschwindigkeit und je kleiner der Kurvenradius ist.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung (ca. 5 Minuten)

Im Unterrichtsgespräch werden die wichtigsten Erkenntnisse der letzten Stunde wiederholt. Dabei soll zunächst kurz auf die Zusatzgeschwindigkeit und die Bedeutung ihrer Richtung

eingegangen werden. Danach wird als Fazit aus dem Video der letzten Stunde klargemacht, dass die Zusatzgeschwindigkeit allein nicht ausreicht um Bewegungen befriedigend zu beschreiben. Denn wie das Wettrennen zwischen den beiden Autos gezeigt hat, spielt es dabei eine große Rolle, „wie schnell“ oder „wie plötzlich“ sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert. Deshalb haben wir letzte Stunde die Beschleunigung als neue Größe eingeführt, die misst, wie viel und wie schnell sich die Geschwindigkeit ändert. Anschließend werden Definition und Einheit der Beschleunigung wiederholt. Im Anschluss sollen wiederum drei Fälle unterschieden werden.

2. Beschleunigung in Bewegungsrichtung – Wie „schnell“ wird der Körper schneller (ca. 11 Minuten)

Der Lehrer verdeutlicht noch einmal die Rolle der Beschleunigung zur Beschreibung von Bewegungen, indem er zunächst ein kleines Demonstrationsexperiment durchführt. Dazu rollen zwei baugleiche Metallkugeln aus gleicher Höhe schiefe Ebenen unterschiedlicher Steigung herunter. Die Schüler beobachten den Versuch und vermuten richtig, dass beide Kugeln unten ungefähr gleich schnell sind, also das gleiche Tempo haben. Da sie beide aus der Ruhe gestartet sind und ihre Bewegungsrichtung gleich ist, haben sie also die gleiche Zusatzgeschwindigkeit erhalten. Diese allein taugt also nicht, um die beiden Bewegungen zu unterscheiden. Auf die Frage nach dem Unterschied der beiden Bewegungen antworten die Schüler, dass die Kugel auf der steileren Ebene die Zusatzgeschwindigkeit in einer kürzeren Zeit erhielt und somit stärker beschleunigt wurde. Um diesen wichtigen Unterschied und die Bedeutung der Beschleunigung noch einmal konkret herauszuarbeiten, wird nun das Beispiel „Beschleunigung im Sommerbad“ als Folie aufgelegt[4]. Die Schüler machen Lösungsvorschläge und schreiben sie an der Tafel an. Diese werden diskutiert und so die Übungsaufgabe gemeinsam gelöst.

Anschließend erklärt der Lehrer, dass die Beschleunigung, als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit, auch eine Richtung hat und diese ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Er erklärt, dass die Beschleunigung auch durch einen Pfeil dargestellt werden kann, dessen Richtung die gleiche ist wie die der Zusatzgeschwindigkeit, dessen Länge jedoch im Gegensatz zur Länge des Zusatzgeschwindigkeitspfeil nicht nur anzeigt, wie sehr sich die Geschwindigkeit verändert hat, sondern auch ein Maß dafür ist, wie rasch diese sich verändert hat. Je schneller sich die Geschwindigkeit ändert, umso länger ist der Beschleunigungspfeil. Er verdeutlicht dies, indem er die Zusatzgeschwindigkeitspfeile und die Beschleunigungspfeile im obigen Beispiel für den Sprung vom 5-Meter-Turm und die Abfahrt mit dem Rad an der Tafel skizziert. Die Zusatzgeschwindigkeitspfeile zeigen jeweils in die gleiche Richtung wie die Beschleunigungspfeile, haben jedoch eine andere Länge (und eine andere Einheit).

Nun werden die Ergebnisse schriftlich fixiert. Um Zeit zu sparen, kann der entsprechende Abschnitt des Schülerheftes als Folie aufgelegt und den Schülern im Anschluss an die Stunde als Handout ausgeteilt werden. Auf dieser Folie stehen auch einige interessante Zahlenbeispiele für Beschleunigungen in Bewegungsrichtung.

[4] Die Folie ist im Anhang 9.2 „Weitere verwendete Aufgaben“ abgebildet

3. Beschleunigung gegen die Bewegungsrichtung – Wie „schnell“ bremst der Körper (ca. 9 Minuten)

Im nächsten Teil der Stunde geht es darum den Schülern klarzumachen, dass Beschleunigung in der Physik nicht nur Schnellerwerden bedeuten kann. Dazu erinnert der Lehrer daran, dass eine Zusatzgeschwindigkeit entgegen der Bewegungsrichtung das Tempo verringert und macht nochmals klar, dass die Beschleunigung stets in die gleiche Richtung wie die Zusatzgeschwindigkeit zeigt. Er fragt, was ein Beschleunigungspfeil, der gegen die Bewegungsrichtung ausgerichtet ist, misst oder anzeigt. Er zeigt an, wie schnell der Körper Tempo verliert oder abgebremst wird. Um die Bedeutung von Bremsbeschleunigungen anschaulich und alltagsnah vor Augen zu führen, zeigt der Lehrer ein weiteres Demonstrationsexperiment. Er fährt dazu mit dem ferngesteuerten Auto auf einen Plüschhund zu und bremst vor diesem unterschiedlich stark ab, sodass er einmal kurz vor dem Hund zum stehen kommt, das andere mal den Hund jedoch umfährt. Wieder macht er klar, dass die Zusatzgeschwindigkeit in beiden Fällen gleich war, die größere Bremsbeschleunigung jedoch das virtuelle Leben des Hundes gerettet hat. Hernach demonstriert er am ferngesteuerten Auto, wie die Beschleunigungspfeile beim Anfahren und Abbremsen jeweils ausgerichtet sind und macht nochmals klar, dass die Länge des Beschleunigungspfeils anzeigt, wie schnell das Auto zum Stehen kommt. Durch dieses Experiment wird den Schülern bewusst, dass Beschleunigung nicht nur Schnellerwerden, sondern auch Langsamerwerden bedeuten kann und dass es im Straßenverkehr nicht nur darum geht schnell anzufahren, sondern es oft wichtiger ist, schnell abbremsen zu können.

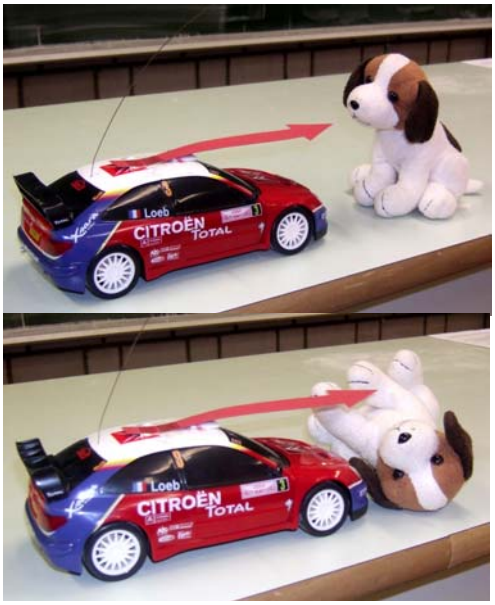


Abbildung 16: Demonstrationsexperiment „Bremsbeschleunigung“, eigene Aufnahmen

Wieder werden die Ergebnisse an der Tafel oder anhand der Folie gesichert und einige interessante Zahlenbeispiele für Bremsbeschleunigungen genannt.

4. Beschleunigung quer zur Bewegungsrichtung – Wie „schnell“ ändert sich die Richtung (ca. 10 Minuten)

Nun sollte noch der Fall einer Beschleunigung quer zur Bewegungsrichtung behandelt werden. Dazu erinnerte der Lehrer zunächst daran, dass eine Zusatzgeschwindigkeit quer zur Bewegungsrichtung diese ändert und erklärt, dass eine Beschleunigung quer zur Bewegungsrichtung somit anzeigt, wie schnell oder abrupt sich die Bewegungsrichtung ändert. Nun unterscheidet er zwei Fälle. Im ersten Fall soll untersucht werden, wie die Beschleunigung bei konstantem Tempo vom Kurvenradius abhängt. Dazu führt der Lehrer einen qualitativen Freihandversuch aus. Er zeichnet zwei Kreise mit unterschiedlichen Radien an die Tafel und nimmt in jede Hand einen Magnetpfeil. Nun versucht er mit beiden Händen die Kreise mit gleichem Tempo entlangzufahren. Nach einer gewissen Zeit stoppt er und fragt die Schüler, auf welcher Kurve sich die Richtung schneller geändert hat. Den Schülern wird an den Mag-

netpfeilen anschaulich klar, dass sich der Pfeil auf der engeren Kurve bereits deutlich weiter gedreht hat. Da die Beschleunigung anzeigt, wie schnell sich die Bewegungsrichtung ändert, ist sie bei gleichem Tempo umso größer, je enger die Kurve ist. Im zweiten Fall soll untersucht werden, wie die Beschleunigung bei konstantem Kurvenradius vom Tempo abhängt. Dazu fährt der Lehrer zwei gleiche große Kreise mit den Magnetpfeilen ab, diesmal versucht er jedoch einen von beiden deutlich schneller die Bahn entlang gleiten zu lassen. Wieder stoppt er und fragt die Schüler, was sie über die Beschleunigung auf den beiden Bahnkurven sagen können. Die Schüler erkennen, dass die Beschleunigung bei gleichem Kurvenradius umso größer ist, je höher das Tempo des Fahrzeugs ist, da sich somit die Bewegungsrichtung schneller ändert. Diese beiden Fälle werden anschließend anhand der PAKMA-Simulation „Zentripetalbeschleunigung“ nochmals veranschaulicht und vertieft. Dazu stellt der Lehrer zunächst gleiches Tempo, aber unterschiedliche Radien ein und fragt die Schüler nach ihren Vermutungen über die Gestalt der beiden dargestellten Beschleunigungspfeile. Hernach lässt er die Simulation ablaufen und die Schüler vergleichen ihre Vorhersagen mit der Simulation. Anschließend wird das Gleiche mit identischen Radien und unterschiedlichem Tempo wiederholt. Danach werden die entdeckten Einsichten wiederum an der Tafel oder anhand der Folie festgehalten und nochmals betont, dass der Beschleunigungspfeil in Kurven quer zur Fahrtrichtung in Richtung Kurveninneres zeigt und umso länger ist, je enger die Kurve und je höher das Tempo ist.

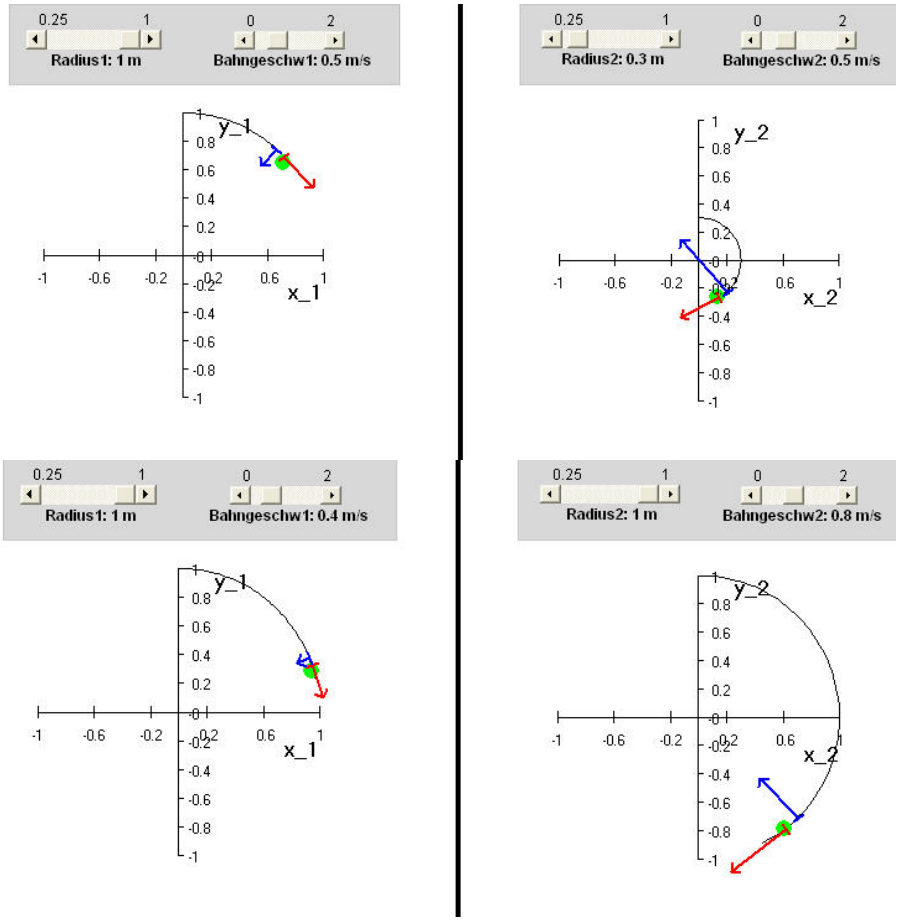


Abbildung 17: Zwei Screenshots der PAKMA-Simulation „Zentripetalbeschleunigung“, erstellt von T. Wilhelm

5. Übung (ca. 10 Minuten)

Im letzten Teil der Stunde sollen die Schüler gleichzeitig ihr Wissen über die Beschleunigung üben und Erfahrungen im physikalischen Rechnen sammeln. Hierzu wird das Arbeitsblatt 4 ausgeteilt und als Folie aufgelegt. Ein Schüler liest die Aufgabenstellung vor und anschlie-

ßend versucht die Klasse gemeinsam die ersten drei Spalten der Tabelle auszufüllen und die beiden ersten Teilbeschleunigungen zu berechnen. Dabei kommen die Schüler heraus und tragen ihre Ergebnisse selbst auf der Folie ein. Da die Schüler noch kaum Erfahrung im physikalischen Rechnen haben, ist es wichtig, dass der Lehrer auf die korrekte Darstellung achtet. So sollen die Schüler zunächst „Gegeben“ und „Gesucht“ hinschreiben und vor dem Einsetzen der Zahlenwerte zunächst den richtigen Ansatz notieren. Beim Rechnen ist auf die sorgfältige Verwendung der Einheiten zu achten. Beim Berechnen der Beschleunigung im Zeitintervall von vier Sekunden bis acht Sekunden zeigt sich, ob die Schüler die Bedeutung des „Δ“ als Differenz „Ende - Anfang“ korrekt verstanden haben. Bei Problemen sollte der Lehrer nochmals auf diesen Sachverhalt eingehen. Der Rest des Arbeitsblattes wird als Hausaufgabe fertig gestellt.

d) Unterrichtskizze

Zeit/Phase	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Sozialform und Medien
1. Wiederholung 5 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde und stellt dabei einige Fragen.	Die Schüler versuchen auf die Fragen zu antworten.	Unterrichtsgespräch
2. Beschleunigung in Bewegungsrichtung 11 min	Der Lehrer verdeutlicht die Bedeutung der Beschleunigung anhand eines Demonstrationsexperiments.		Lehrervortrag Demonstrationsexperiment Kugeln und unterschiedlich steile schiefe Ebenen
	Er fragt die Schüler nach ihren Beobachtungen.	Die Schüler äußern ihre Beobachtungen und Vermutungen	Unterrichtsgespräch
	Er legt die Übungsaufgabe „Sommerbad“ auf und unterstützt die Schüler bei der gemeinsamen Erarbeitung.	Die Schüler nennen Lösungsvorschläge und schreiben sie an die Tafel	Übungsaufgabe „Sommerbad“ Overhead-Projektor, Tafel
	Der Lehrer macht den Richtungscharakter der Beschleunigung klar und zeichnet Beschleunigungspfeile.		Lehrervortrag Tafel, Magnetpfeile
	Der Lehrer fasst die Ergebnisse in einem Hefteintrag zusammen und gibt Zahlenbeispiele für Beschleunigungen.		Tafel oder Overheadprojektor
3. Beschleunigung gegen die Bewegungs-	Der Lehrer erinnert an Zusatzgeschwindigkeiten gegen die Bewegungs-	Die Schüler überlegen, was eine Beschleunigung gegen die Bewegungs-	Unterrichtsgespräch

richtung 9 min	richtung und macht klar, dass eine Beschleunigung gegen die Bewegungsrichtung anzeigt, wie schnell der Körper Tempo verliert.	richtung anzeigt.	
	Der Lehrer führt das Demonstrationsexperiment „Auto bremst vor Hund“ vor und veranschaulicht die jeweilige Richtung des Beschleunigungspfeils.	Die Schüler beobachten das Experiment und nennen ihre Beobachtungen.	Demonstrationsexperiment Ferngesteuertes Auto, Stofftier-Hund Lehrervortag
	Der Lehrer fasst die Ergebnisse in einem Hefteintrag zusammen und gibt Zahlenbeispiele für Bremsbeschleunigungen.		Tafel oder Overheadprojektor
4. Beschleunigung quer zur Bewegungsrichtung 10 min	Der Lehrer erklärt, dass eine Beschleunigung quer zur Bewegungsrichtung anzeigt, wie schnell sich diese ändert und demonstriert mit den Magnetpfeilen an der Tafel, dass die Beschleunigung umso größer ist, je enger die Kurve und je höher das Tempo ist.	Die Schüler beobachten die Demonstration und nennen ihre Beobachtungen.	Lehrervortrag Qualitativer Freihandversuch Magnetpfeile, Tafel, Zirkel Unterrichtsgespräch
	Der Lehrer veranschaulicht dies anhand der Simulation „Zentripetalbeschleunigung“.	Die Schüler stellen Vermutungen an und vergleichen diese mit dem sichtbaren Ergebnis.	Computer mit PAKMA-Simulation „Zentripetalbeschleunigung“, Beamer
	Der Lehrer fasst die Ergebnisse in einem Hefteintrag zusammen und gibt Zahlenbeispiele für Zentripetalbeschleunigungen.		Lehrervortrag Tafel oder Overheadprojektor
5. Übungsphase Arbeitsblatt 10 min	Der Lehrer teilt das Arbeitsblatt 4 aus und legt es als Folie auf. Der Lehrer unterstützt bei der Erarbeitung der Lösung und achtet auf korrekten Ansatz, Schreibweise und Einheiten.	Die Schüler lesen die Aufgabenstellung vor, diskutieren Lösungsvorschläge und stellen fragen. Die Schüler schreiben die Teillösung auf die Folie.	Arbeitsblatt 4, Overheadprojektor Unterrichtsgespräch, Diskussion über Lösungsvorschläge

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Insgesamt ist das Thema Beschleunigung als schwer einzustufen und bringt die Schüler an die Grenze ihres Abstraktionsvermögens. Deshalb war es wichtig den Unterschied zwischen Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung an kleinen Experimenten zu verdeutlichen und Beispiele von zwei unterschiedlichen Bewegungen zu zeigen, bei denen die Körper gleiche Zusatzgeschwindigkeiten, aber unterschiedliche Beschleunigungen erfahren. Der Fall von linearer Beschleunigung machte erwartungsgemäß am wenigsten Probleme, da er im Wesentlichen mit der Alltagsbedeutung des Beschleunigungsbegriffs übereinstimmt. Dagegen zeigte sich bei dem Beispiel deutlich die mangelnde Erfahrung im physikalischen Rechnen.

Ich hatte den Eindruck, dass die Schüler auch die Erweiterung auf den physikalischen Beschleunigungsbegriff am Ende der Stunde recht gut erfasst hatten und ihnen schließlich klar war, dass Beschleunigen als Maß dafür, „wie viel“ und „wie schnell“ sich der Geschwindigkeitspfeil verändert, auch eine Verringerung des Tempos oder eine Richtungsänderung sein kann. Dabei ist es sehr wichtig den Schülern immer wieder die anschauliche Vorstellung des sich verändernden Geschwindigkeitspfeiles in Erinnerung zu rufen. Der Versuch mit dem ferngesteuerten Auto und dem Stofftier kam bei den Schülern sehr gut an und musste mehrmals wiederholt werden. Durch das Mitgefühl mit dem Hund stieg die Bremsbeschleunigung gleichzeitig in ihrer Bedeutung. Auch der Freihandversuch mit den Magnetpfeilen schien den Schülern anschaulich klarzumachen, dass sowohl ein höheres Tempo, als auch ein engerer Kurvenradius dazu beitragen die Richtung schneller zu ändern und somit eine größere Beschleunigung bewirken. Die PAKMA-Simulation erzielte dagegen nicht ganz die erwünschte Wirkung, die Schüler betrachteten sie eher reserviert. Vielleicht war sie für manche Schüler etwas zu abstrakt.

Da die Schüler in ihrem bisherigen Physikunterricht noch keine Erfahrung mit der Lösung physikalischer Rechenaufgaben gemacht hatten, musste bei der Bearbeitung des Arbeitsblattes 4 zunächst auf einige Grundsätze physikalischen Rechnens eingegangen werden. So sollten die Schüler als erstes die gegebenen und gesuchten Größen anschreiben und vor dem Einsetzen der Zahlenwerte einen Ansatz notieren. Dieses Schema hatten die Schüler recht schnell verinnerlicht. Dagegen hatten sie weiterhin große Probleme mit der Unterscheidung der Definition von Beschleunigung beziehungsweise Geschwindigkeit und deren Einheiten. Auf die Frage, „Wie war noch einmal die Beschleunigung definiert?“ kam wieder die Antwort „Meter durch Sekunde im Quadrat“. Auch das Rechnen mit den Einheiten fiel den Schülern zunächst schwer. Das Ablesen des Tempos in km/h, dessen Umrechnung in m/s und das Ausfüllen der Tabelle wurde aber schließlich gut gemacht. Bei der Berechnung der Teilbeschleunigungen zeigte sich, dass viele Schüler die Bedeutung des „Δ“ als Differenz „Ende – Anfang“ in Δv und Δt nicht verstanden hatten. So setzten sie im zweiten Abschnitt statt $\Delta t = 8s - 4s = 4s$ die gesamte Zeitdauer ein. Es war also wichtig nochmals auf die Bedeutung von Δv und Δt einzugehen und dies am Beispiel der Aufgabe zu veranschaulichen. Insgesamt hatten die Schüler große Freude am neuen Problem, Lösen von physikalischen Rechenaufgaben und zeigten großes Engagement. Wie wichtig Alltagsbezug für die Schüler dieser Altersstufe ist, zeigte sich auch darin, dass sie gerade durch das Bild des Sportwagens auf dem Angabenblatt motiviert wurden.

5.2.6 Stunde 6 – Ursache von Bewegungsänderungen

In der 6. Stunde sollte das große Thema „Beschreibung von Bewegungen“ mit einer zusammenfassenden Begriffslandschaft abgeschlossen werden. Danach wurde in die neue Thematik „Ursache von Bewegungsänderungen“ eingeführt und die Schüler sollten in einer Schülerübung Gelegenheit haben, hierzu selbst Erfahrungen zu sammeln.

a) Ziele

- Die Schüler sollen einen abschließenden Überblick über die Größen der Bewegungsbeschreibung und deren Zusammenhänge bekommen.
- Die Schüler sollen realisieren, dass kein Körper von alleine seine Bewegungsrichtung ändert, sondern dass dafür stets ein weiterer Körper vorhanden sein muss, der auf ihn einwirkt.
- Die Schüler sollen wissen, dass ein Körper genau dann seine Geschwindigkeit ändert, wenn es einen anderen Körper gibt, der auf ihn einwirkt.
- Die Schüler sollen erkennen, dass Stöße eine mögliche Form der Einwirkung sind.
- Die Schüler sollen wissen, dass ein Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung bewirkt.
- Die Schüler sollen im selbstständigen Experimentieren Erfahrungen mit Stößen und ihren Auswirkungen auf die Geschwindigkeit sammeln, sowie diese Erfahrungen später in Zusammenhang mit dem physikalischen Modell erklären können.
- Die Schüler sollen lernen in Gruppen zusammenzuarbeiten und gemeinsam eine Aufgabenstellung experimentell zu lösen.

b) Sachanalyse[5]

In dieser Stunde wird das Themengebiet der Kinematik abgeschlossen und zu den Fragestellungen der Dynamik übergeleitet. Die Dynamik ist ein Teilgebiet der Physik, das sich mit den Änderungen der Bewegungsgrößen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung unter der Einwirkung von Kräften beschäftigt. Der Trägheitssatz besagt, dass ein Körper sich mit konstanter Geschwindigkeit (insbesondere v=0) weiterbewegt, wenn keine resultierende äußere Kraft auf ihn einwirkt: $\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{v} = const$. Eine Kraft beschreibt somit eine Einwirkung auf einen Körper, die dessen Geschwindigkeit verändert, ihn also beschleunigt. Den Zusammenhang zwischen der einwirkenden Kraft und der resultierenden Geschwindigkeitsänderung beschreibt das zweite Newtonsche Axiom (Aktionsprinzip). Es besagt, dass die Beschleunigung eines Körpers umgekehrt proportional zu seiner trägen Masse und direkt proportional zur resultierenden, auf ihn wirkenden Kraft ist: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. In dieser Stunde werden Stöße als mögliche Einwirkung auf einen Körper behandelt. In der Physik beschreibt man Stöße mit dem Kraftstoß $\Delta \vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t)dt$, der gleich der Impulsänderung $\vec{p}_2 - \vec{p}_1$ im Zeitintervall

[5] Einige der Formulierungen gehen auf **TIPLER, P. (1994)**: *Physik*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin zurück.

$\Delta t = t_2 - t_1$ ist. Für den Spezialfall einer zeitlich konstanten Kraft ergibt sich somit der Kraftstoß als Produkt aus mittlerer Kraft und Kontaktzeit $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$. Die Kontaktzeit liegt bei mechanischen Stößen meist im Bereich von Millisekunden. Bewegt sich ein Körper mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_{Anfang}$ und erhält dann einen Kraftstoß $\vec{F} \cdot \Delta t$, so erfährt er nach der Newtonschen Bewegungsgleichung eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ in Kraftrichtung. Die beiden Geschwindigkeiten überlagern sich unabhängig und der Körper bewegt sich nach dem Stoß mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_{Ende} = \vec{v}_{Anfang} + \Delta \vec{v}$.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung und Verbesserung der Hausaufgabe (ca. 7 Minuten)

Zu Beginn der Stunde wiederholt der Lehrer kurz die wichtigsten Dinge zum Thema Beschleunigung. Anschließend legt er das Arbeitsblatt 4 als Folie auf, die Schüler nennen ihre Ergebnisse und stellen sie auf der Folie dar. Aus Zeitgründen sollte dieser Stundenteil etwas stärker vom Lehrer gesteuert werden als normal. Er hat auch die Möglichkeit eine Musterlösung als Folie aufzulegen und diese zu erklären.

2. Überblick über die Beschreibung von Bewegungen – Concept Map (ca. 7 Minuten)

Anschließend soll zum Abschluss des ersten großen Themas „Beschreibung von Bewegungen“ eine Begriffslandschaft erarbeitet werden, welche die kennen gelernten Größen und

Abbildung 18: Begriffslandschaft „Beschreibung von Bewegungen“ im Unterricht, eigene Aufnahme

deren Beziehung zueinander überblicksartig darstellt. Dazu hat der Lehrer jede behandelte Größe auf ein Blatt Tonpapier geschrieben und legt diese zusammen mit den Magneten ungeordnet auf das Pult. Sind die Schüler noch nicht mit der Arbeitsweise des Concept Mapping vertraut, ist es zunächst unbedingt nötig, diese zunächst als wertvolle Gedächtnisstütze an-

hand eines einfachen Alltagsbeispiels vorzustellen und die Schüler selbst eine einfache, fachfremde Begriffslandschaft erstellen zu lassen. Leider war hiefür im Rahmen der Stundenvorgabe zu wenig Zeit und die Schüler mussten diese sinnvolle Arbeitsmethode direkt am Beispiel der Bewegungsgrößen kennen lernen. Dazu erklärt der Lehrer, dass für jede bekannte Größe zur Bewegungsbeschreibung ein Blatt auf dem Pult liegt und dass es unser Ziel ist diese so an der Tafel anzuordnen, dass deren Beziehungen untereinander sichtbar werden und wir einen guten Überblick über unser erstes Thema bekommen. Nun beginnt er damit den „Ort“, die „Verschiebung“ als Ortsänderung und den „neuen Ort“ am linken Teil der Tafel zu befestigen und deren Beziehung zu erläutern und durch Pfeile darzustellen. Dann fragt er die Schüler, wie die „Geschwindigkeit“ mit der „Ortsänderung“ $\Delta \vec{s}$ zusammenhängt und befestigt diese Größe. Die Schüler sollen im weiteren Verlauf erkennen, dass die „Geschwindigkeit“ die „Ortsänderung“ pro Zeit misst und gleichzeitig „Tempo“ und „Bewegungsrichtung“ beschreibt, dass die „Zusatzgeschwindigkeit“ analog zur „Ortsänderung“, die Veränderung des Geschwindigkeitspfeils darstellt und sich somit die „neue Geschwindigkeit“ aus der „Anfangsgeschwindigkeit“ und der „Zusatzgeschwindigkeit“ genauso bestimmen lässt, wie der „neue Ort“ aus dem „Anfangsort“ und der „Ortsänderung“ und schließlich, dass die „Beschleunigung“ als „Zusatzgeschwindigkeit“ pro Zeit misst, wie schnell sich die Geschwindigkeit verändert, während die Geschwindigkeit wiederum misst, wie schnell sich der Ort ändert. Dabei sollen jeweils die Schilder sinnvoll an der Tafel befestigt werden und die Beziehungen durch Pfeile dargestellt werden. Im Anschluss fragt der Lehrer, bei welchen der dargestellten Größen es auf die Richtung ankommt, also welche Größen Pfeilgrößen sind. Die von den Schülern genannten kennzeichnet er nun durch eine vorgefertigte Pfeilspitze. Abschließend teilt er eine vorgefertigte Version der Begriffslandschaft „Beschreibung von Bewegungen“ als Zusammenfassung an die Schüler aus.

3. Ursache von Bewegungsänderungen – Versuch „Blackbox“ (ca. 6 Minuten)

Der Lehrer erklärt, dass nun das erste Thema „Beschreibung von Bewegungen“ abgeschlossen ist und man sich einer neuen Fragestellung zuwenden wird, der „Ursache von Bewegungsänderungen“, also „Warum bewegt sich der Körper gerade so?“ und „Warum ändert er sein Tempo oder seine Bewegungsrichtung?“. Dazu stellt er zunächst das einführende Demonstrationsexperiment „Blackbox“ vor. Die „Blackbox“ ist eine schwarze Holzkiste mit drei Eingängen, wovon sich zwei direkt gegenüberliegen und der Dritte durch einen schwarzen Stoff verdeckt bleibt. Unter der Kiste ist eine Holzleiste so befestigt, dass ein durch den Eingang hereinrollender Ball dagegen stößt, dadurch seine Bewegungsrichtung ändert und aus dem verdeckten Loch herausrollt. Der Lehrer zeigt den Schülern zunächst jedoch nur die beiden gegenüberliegenden Löcher und fragt, was sie erwarten, wenn ein Tennisball gerade in die erste Öffnung hereinrollt. Haben sie das verdeckte Loch nicht bemerkt, vermuten die Schüler natürlich, dass der Ball gerade durch die Kiste und aus dem zweiten

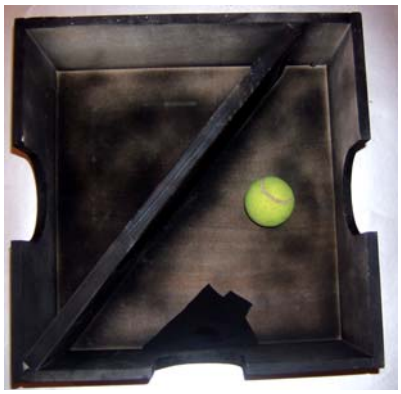


Abbildung 19: Foto: Aufbau der Blackbox, eigene Aufnahme

Loch herausrollt. Anschließend führt er den Versuch durch und die Schüler beobachten, dass der Ball überraschender Weise seitlich aus dem verdeckten Loch herausrollt. Der Lehrer möchte nun von den Schülern wissen, wie sie sich diesen Bewegungsverlauf erklären und die Schüler vermuten sofort, dass sich etwas unter der Kiste befindet, wogegen der Ball gestoßen ist und dadurch abgelenkt wurde. Nun stellt der Lehrer die Frage, wie die Schüler zu dieser Meinung kommen. Die Schüler merken an, dass der Ball seine Bewegungsrichtung von alleine nicht geändert hätte, sondern geradeaus weitergerollt wäre. Diese Einsicht zu motivieren war das Ziel des Versuches. Anschließend wird im Unterrichtsgespräch vertieft, dass kein Körper seine Bewegungsrichtung von alleine ändert, sondern dass es immer einen weiteren Körper geben muss, der auf ihn eingewirkt hat. Dies verallgemeinert der Lehrer auf den Geschwindigkeitsbegriff, der ja auch die Bewegungsrichtung umfasst und stellt klar: Ändert ein Körper seine Geschwindigkeit (wird er also schneller, langsamer oder ändert seine Richtung), so gibt es stets einen weiteren Körper, der auf ihn eingewirkt hat. Umgekehrt bewirkt eine Einwirkung auch immer eine Geschwindigkeitsänderung. Anschließend erklärt der Lehrer, dass der Tennisball in der Kiste gegen die Wand stößt und somit seine Geschwindigkeit ändert. Man kann sich vorstellen, dass der Ball durch den Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit bekommen hat, die seine Anfangsgeschwindigkeit verändert. Die beim Herausrollen beobachtete Endgeschwindigkeit setzt sich aus der Anfangsgeschwindigkeit und der übertragenen Zusatzgeschwindigkeit zusammen. Der Lehrer nennt Stöße als eine mögliche Form der Einwirkung zwischen zwei Körpern und erläutert, dass ein Körper durch einen Stoß stets eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung erhält. Um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie Stöße die Geschwindigkeit eines Körpers beeinflussen können, sollen die Schüler nun Gelegenheit haben selbst praktische Erfahrungen zu sammeln.

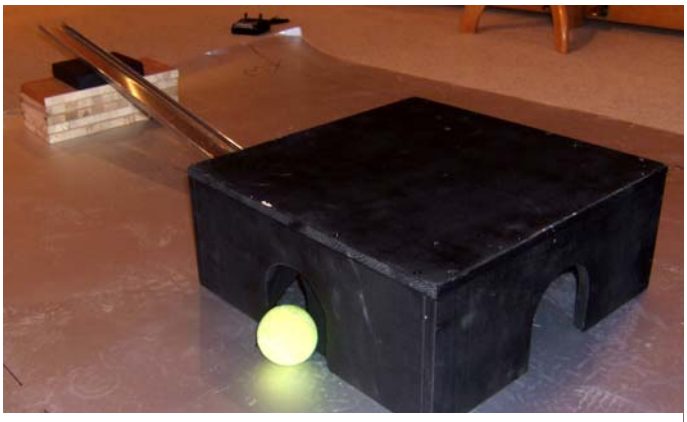


Abbildung 20: Versuch "Blackbox", eigene Aufnahme

4. Schülerübung „Kugelstoßen 1. Teil“[6] (ca. 25 Minuten)

Der Lehrer teilt den Schülern mit, dass sie nun in einer Schülerübung zum Thema Stöße und Zusatzgeschwindigkeiten die Gelegenheit haben, selbst aktiv zu werden. Dazu teilt er die Klasse zunächst in entsprechende Arbeitsgruppen ein. Da für diese Übung relativ viel Platz benötigt wird, ist sie nicht im Klassenzimmer oder Physiksaal durchzuführen, sondern es muss ein großer Platz wie der Pausenhof oder die Aula ausgewählt werden. Idealerweise sind die Arbeitsplätze bereits fertig aufgebaut und der Lehrer führt die Gruppen nun zu diesen. War dies nicht möglich, gibt der Lehrer die Arbeitsmaterialien und die Übungsanleitungen an die Gruppen aus und führt sie anschließend zur geplanten Stelle. Jede Gruppe bekommt eine Unterlage, zwei unterschiedlich schwere Metallkugeln, einige Stoßbretter, ein Ziel und eine

[6] Die Übungsanleitung ist wiederum im Anhang dargestellt.

Rampe um der Kugel eine definierte Anfangsgeschwindigkeit mitzugeben. Dabei muss jede Gruppe zusätzlich einen Stift und ein Lineal mitnehmen. Es hat sich als sinnvoll erwiesen die Arbeitsplätze kreisförmig anzuordnen, sodass der Lehrer einerseits alle Gruppen im Blick hat und andererseits von allen Schülern gesehen und gehört werden kann. Um zu verhindern, dass die Übung in ein planloses Spiel abdriftet, hat sich folgender strukturierter Ablauf bewährt: Zunächst liest jeweils ein Schüler die Aufgabenstellung laut vor, hernach führen die Gruppen die Aufgaben in Eigeninitiative durch und anschließend werden die gemachten Erfahrungen kurz genannt und diskutiert. Nun wird die nächste Aufgabe vorgelesen und die Übung in diesem Schema durchgeführt.

In der ersten Aufgabe geht es darum die ruhende Kugel aus verschieden, auf der Unterlage markierten Positionen in Richtung Ziel zu stoßen. Die Schüler sollen erkennen, dass sich eine ruhende Kugel nach dem Stoß genau in Stoßrichtung bewegt. In der zweiten Aufgabe rollt die Kugel die Rampe herunter und hat somit eine Anfangsgeschwindigkeit. Die Schüler sollen nun wieder genau in Richtung Ziel stoßen und realisieren, dass sie es nun nicht mehr treffen. Zuvor werden die Schüler gefragt, ob sie vermuten das Ziel dennoch zu treffen. Anschließend wird diskutiert, warum man es verfehlte, obwohl man doch in Richtung Ziel gestoßen hat. Dabei soll den Schülern klar werden, dass sich die Endgeschwindigkeit der Kugel aus der Anfangsgeschwindigkeit **und** der Zusatzgeschwindigkeit durch den Stoß zusammensetzt. Die Bezeichnung **Zusatz**geschwindigkeit soll nun dahingehend interpretiert werden, dass sie durch den Stoß zusätzlich hinzukommt, der Körper sich aber auch weiterhin in die Richtung der Anfangsgeschwindigkeit bewegt. Um dies nochmals zu verdeutlichen sollen die Schüler in der dritten Aufgabe auf gleiche Art stoßen, dabei jedoch das Ziel so verschieben, dass sie es dennoch treffen. Sie sollen erkennen, dass sie das Ziel in Richtung Anfangsgeschwindigkeit verschieben müssen. In der 4. Aufgabe sollen die Schüler das Ziel wieder auf die ursprüngliche Stelle zurückstellen und nun versuchen es durch ändern der Stoßrichtung zu treffen. Dabei bemerken sie, dass sie schräg gegen die Anfangsbewegungsrichtung stoßen müs-

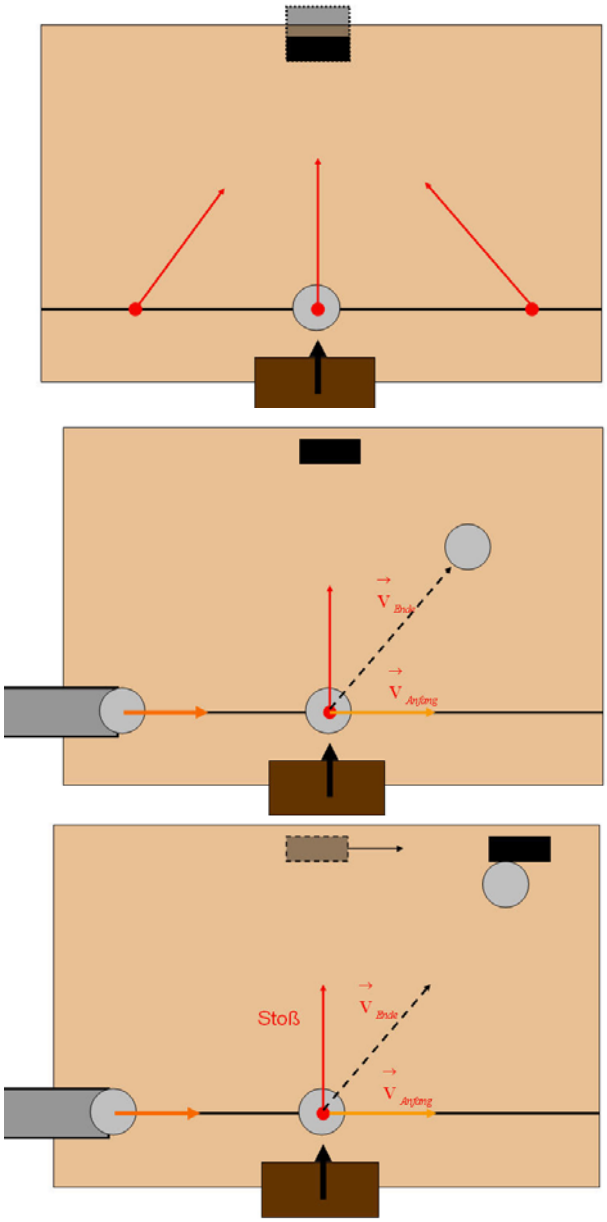


Abbildung 21: Schemazeichnungen der Übungsaufträge, eigene Erstellung

sen, um die Kugel gerade nach oben zu bewegen. Ein „Teil des Stoßes“ muss also verwendet werden, um die Anfangsgeschwindigkeit „auszugleichen“. Im letzten Teil der Übung sollen die Schüler die schwerere Kugel durch Stöße in Bewegungsrichtung antreiben und durch Stöße gegen die Bewegungsrichtung abbremsen. Dadurch sollen sie erfassen, dass Stöße in Bewegungsrichtung das Tempo erhöhen, während Stöße gegen die Bewegungsrichtung das Tempo verringern.

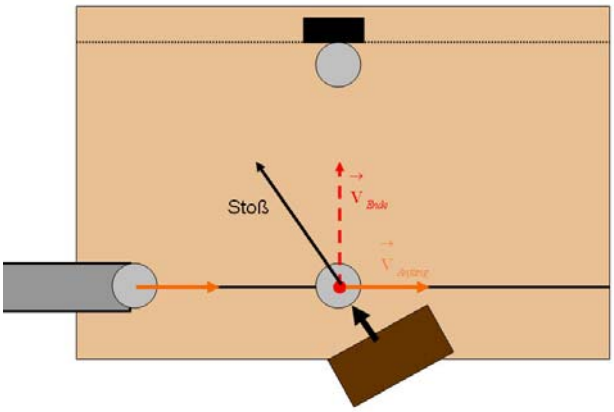


Abbildung 22: Schemazeichnung Aufgabe 4, eigene Erstellung

Als Hausaufgabe sollen die Schüler die Aufgaben auf der Übungsanleitung sauber fertigstellen, falls sie dies nicht ganz geschafft haben. Die Erfahrungen aus der Übung sollen in der nächsten Stunde mit der physikalischen Theorie verknüpft und erklärt werden.

d) Unterrichtskizze

Zeit/Phase	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Sozialform und Medien
1. Wiederholung und Verbesserung der Hausaufgabe 7 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Erkenntnisse zum Thema Beschleunigung. Der Lehrer legt das Arbeitsblatt 4 als Folie auf und fragt nach Ergebnissen.	Die Schüler stellen ihre Lösungen vor und stellen Fragen.	Lehrervortrag Unterrichtsgespräch Overheadprojektor
2. Concept Map Beschreibung von Bewegungen 7 min	Der Lehrer legt die Blätter mit den Größen der Kinematik ungeordnet aufs Pult und macht einige allgemeine Bemerkungen zum Concept Mapping. Der Lehrer beginnt diese Größen strukturiert an die Tafel zu heften und befragt die Schüler nach dem weiteren Vorgehen. Der Lehrer unterstützt die Schüler und stellt die Begriffslandschaft fertig. Der Lehrer erklärt überblicksartig die sichtbaren	Die Schüler machen Vorschläge und führen sie an der Tafel aus.	Unterrichtsgespräch Tafel Tonpapier mit den entsprechenden Größen beschriftet Magnete zum Anheften Lehrervortrag

	Zusammenhänge.		
3. Ursache von Bewegungsänderungen 6 min	Der Lehrer leitet zum neuen Thema „Ursache von Bewegungsänderungen“ über. Der Lehrer führt das Demonstrationsexperiment „Blackbox“ vor und fragt zuvor nach Vermutungen und hinterher nach Beobachtungen der Schüler. Die Aussagen der Schüler erweitert der Lehrer zu der Erkenntnis, dass es stets einer Einwirkung bedarf, um die Geschwindigkeit eines Körpers zu verändern. Der Lehrer nennt Stöße als eine Form der Einwirkung und leitet damit zur Schülerübung über.	Die Schüler äußern Vermutungen über den Lauf des Balles. Die Schüler nennen ihre Beobachtungen und vermuten einen Gegenstand unter der Kiste.	Lehrervortrag Unterrichtsgespräch Demonstrationsexperiment Blackbox, Tennisball, Startrampe Unterrichtsgespräch Lehrervortrag
4. Schülerübung Kugelstoßen Teil I 25 min	Der Lehrer teilt die Gruppen ein und stellt diesen die Arbeitsmaterialien zur Verfügung. Der Lehrer leitet die Gruppen zum Arbeitsplatz und ordnet diese kreisförmig um ihn an. Der Lehrer betreut die Gruppen bei der Durchführung der Aufgaben. Der Lehrer fragt die Schüler nach jeder Aufgabe zu ihren Erfahrungen und fasst diese zusammen oder erweitert sie.	Die Schüler formieren sich in Gruppen, nehmen ihre Arbeitsmaterialien und begeben sich zum Arbeitsplatz. Ein Schüler liest jeweils laut die Aufgabenstellung vor. Die Schüler führen die Aufgaben in ihren Gruppen selbstständig aus. Die Schüler diskutieren ihre Erfahrungen. Die Schüler halten ihre Erkenntnisse auf der Übungsanleitung fest und stellen diese zu Hause fertig.	Schülerübung Je Gruppe eine Arbeitsunterlage, zwei unterschiedlich schwere Metallkugeln, einige Stoßbretter, ein Ziel und eine Startrampe Selbstständige Schüleraktivität Unterrichtsgespräch

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Das Arbeitsblatt 4 wurde gut gelöst und machte durch die Vorarbeit in der letzten Stunde wenig Probleme. Die Schüler haben das formale Schema zum Lösen physikalischer Aufgaben

rasch erfasst und wenn weiterhin Wert auf eine saubere Ausführung der Rechenschritte und eine korrekte Verwendung der Einheiten gelegt wird, sollten sie dies für die Zukunft verinnerlicht haben.

Die Begriffslandschaft erzielte leider nicht den gewünschten Erfolg. Es war der erste Kontakt der Schüler mit dieser Arbeitsmethode und sie schienen nicht zu erfassen, worauf das Ganze hinauslaufen sollte. Es wäre daher unbedingt notwenig etwas mehr Zeit zu investieren und zunächst ein einfaches Alltagsbeispiel zu besprechen und den Schülern auch selbst die Möglichkeit zu geben ein solches zu erstellen. Verwendet man diese Arbeitsmethode jedoch regelmäßig im Unterricht, werden die Schüler damit vertraut und sie kann sehr positive Auswirkungen auf das übergreifende Verständnis und das bessere Erinnern der Zusammenhänge bewirken. Für die Schüler der 7. Jahrgangsstufe wäre es eventuell sinnvoll die Begriffslandschaft in eine konkrete Beispielbewegung einzubetten, z.B. die Beschreibung der Bewegung eines Balles oder eines Autos. Die Größen und ihre Zusammenhänge alleine könnten noch zu abstrakt für die Schüler dieser Altersstufe sein und sie somit überfordern.

Das neue Thema „Ursache von Bewegungen“ sollte ebenfalls an einem konkreten Beispiel motiviert werden, indem es auf die äußere Einwirkung ankommt. Die Schüler sollen neugierig auf das neue Thema sein und es für bedeutsam halten.

Der Versuch „Blackbox“ sollte beim ersten Mal funktionieren und daher sollte vorher ausprobiert werden, aus welcher Höhe man den Tennisball losrollen lässt, damit er sicher und reproduzierbar aus der seitlichen Öffnung austritt. Außerdem ist es wichtig, dass die Schüler vorher nicht auf die verdeckte Öffnung aufmerksam werden. Der Versuch kam bei den Schülern sehr gut an und sie vermuteten sofort, dass der Ball unter der Kiste gestoßen wurde. Für sie war intuitiv klar, dass der Ball ohne Einwirkung geradeaus weiterrollen würde und eine Richtungsänderung eine Einwirkung anzeigt. Schwieriger war es diese Ansicht von der Bewegungsrichtung auf die Geschwindigkeit zu erweitern. Es ist fraglich, ob allen Schülern bewusst wurde, dass somit auch auf einen „einfach ausrollenden“ Ball eingewirkt werden muss, um sein Tempo zu reduzieren. Dies sollte zu einem späteren Zeitpunkt im Zusammenhang mit der Newtonschen Bewegungsgleichung nochmals thematisiert werden. Wichtig ist, dass die Schüler erkennen, dass durch einen Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung übertragen wird. Der Übergang vom Unterricht im Klassenverband zur Schülerübung klappte gut und zügig. Dazu ist es notwenig, dass die Arbeitsmaterialien entweder vom Lehrer zuvor aufgebaut werden oder zumindest gut vorsortiert sind. Die Arbeitsmaterialien veranlassten die Schüler unmittelbar zum ziellosen Spielen und es war nicht einfach sie zum gewünschten Vorgehen zu bewegen. Sie lasen die Übungsanleitung zunächst nicht durch und hielten die Reihenfolge der Aufgaben

Abbildung 23: Foto von der ersten Schülerübung, eigene Aufnahme

nicht ein, sondern versuchten einfach spielerisch das Ziel zu treffen. Deshalb musste die Übung anschließend besser vom Lehrer gesteuert werden und es wurde nach oben dargestelltem Schema vorgegangen. Dadurch war sichergestellt, dass alle Schüler zunächst die Aufgabenstellung kannten, dementsprechend vorgingen und sich anschließend im gemeinsamen Erfahrungsaustausch ihrer Beobachtungen bewusst wurden. Die Schülerübung bereitete den Schülern insgesamt große Freude und die Mehrzahl der Gruppen machte im gemeinsamen Arbeiten auch wertvolle zwischenmenschliche Erfahrungen. Allen Schülern war klar, dass die ruhende Kugel sich nach dem Stoß in Stoßrichtung bewegen würde. Das Ergebnis des Stoßes gegen die rollende Kugel überraschte viele Schüler, die erwartet hatten, die Kugel würde sich auch in diesem Fall nach dem Stoß in Stoßrichtung bewegen. Einige sprachen ihren Mitschülern sogar die nötigen Fertigkeiten ab und wollten es selbst „besser machen“. Andere Schüler dagegen schienen sofort zu erfassen, wie sie das Ziel dennoch treffen könnten und stießen sofort schräg gegen die Bewegungsrichtung. Das Ziel zu treffen war reizvoller, als im Sinne der Übungsanleitung vorzugehen. Um neben der Freude am Experimentieren auch die gewünschten Einsichten zu erreichen ist eine lehrergesteuerte Auswertung der Beobachtungen notwendig.

Abbildung 24: Eine Schülerin beim Stoß gegen die bewegte Kugel, eigene Aufnahme

Hat man die Möglichkeit eine Stunde mehr Zeit in die Mechanik zu investieren wäre es sinnvoll, zwei Stunden zur Beschleunigung zu halten und diese Stunde damit zu entzerren. Es wäre wünschenswert die Auswertung der Übung nicht in der nächsten Stunde, sondern direkt im Anschluss an die Übung durchzuführen. In diesem Fall wäre es auch möglich, besser in das Prinzip des Concept Mapping einzuführen. Zusätzlich bestünde die Möglichkeit eine Übungsphase zur Beschleunigung mit PAKMA und der Computermaus einzubauen, wie sie unter 4.2.1 c) dargestellt wurde. Eine andere Alternative wäre eine Doppeltstunde, in der die eng verknüpften Stunden 6 und 7 direkt hintereinander gehalten werden könnten.

5.2.7 Stunde 7 - Kurvenfahrten

In dieser Stunde sollen zunächst die praktischen Erfahrungen aus der ersten Schülerübung mit der physikalischen Theorie verknüpft und erklärt werden. Anschließend wird in einer zweiten Schülerübung auf Stöße und Zusatzgeschwindigkeiten bei Kurvenbahnen eingegangen. Zum Abschluss werden diese Erfahrungen zur Besprechung von Kurvenfahrten im Straßenverkehr verwendet.

a) Ziele

- Die Schüler sollen Stöße als eine mögliche Form der Einwirkung kennen und wissen, dass ein Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung erzeugt, die umso größer ist, je „kräftiger“ gestoßen wurde.
- Die Schüler sollen wissen, dass ein Körper mit Anfangsgeschwindigkeit sich nach dem Stoß nicht zwingend in Stoßrichtung bewegt, sondern die sichtbare Endgeschwindigkeit durch Überlagerung von Anfangs- und Zusatzbewegung zu Stande kommt.
- Den Schülern soll klar sein, dass es stets einer Einwirkung bedarf, um einen Körper auf eine Kurvenbahn zu „zwingen“.
- Die Schüler sollen erkennen, dass man stets quer zur Bewegungsrichtung, von außen in Richtung Kurveninneres, stoßen muss, um eine Kugel um die Kurve zu lenken.
- Die Schüler sollen begreifen, dass die Kurvenbahn umso glatter (oder runder) wird, je höher die Zahl der Stöße und je geringer dafür ihre Stärke ist.
- Die Schüler sollen mit der Vorstellung vertraut sein, dass ein Zug auf einer Kurvenfahrt dauernd von den Schienen um die Kurve gestoßen wird. Endet die Einwirkung durch Stöße, bewegt er sich sofort geradeaus weiter.
- Die Schüler sollen wissen, dass ein Auto durch die Haftung der Reifen von der Straße um die Kurve gestoßen wird und zwar umso stärker, je enger die Kurve und je höher das Tempo ist. Reicht die Haftung nicht aus, „fliegt“ das Auto aus der Kurve.

b) Sachanalyse

Nach dem Trägheitssatz bewegt sich jeder Körper mit konstanter Geschwindigkeit, also geradlinig und gleichförmig fort, solange keine resultierende Kraft auf ihn einwirkt. Auf einer Kreisbahn oder Kurvenbahn ändert sich die Geschwindigkeit jedoch dauernd zu, was bedeutet, dass auch ständig eine Kraft wirken muss, die diese Geschwindigkeitsänderung bewirkt. Es ist eine äußere Kraft nötig, die den Körper beständig in Richtung Kurvenmittelpunkt ablenkt. Diese Kraft bezeichnet man in der Physik als Zentripetalkraft oder auch Zentralkraft. Sie zeigt stets in Richtung Kurvenmittelpunkt und ist umso größer, je schwerer der Körper ist, je höher sein Tempo und je kleiner sein Kurvenradius ist: $\vec{F}_{ZP} = \frac{m \cdot \mathrm{v}^2}{\mathrm{r}} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$. Mit der Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$ ergibt sich $\vec{F}_{ZP} = m\vec{\omega} \times \vec{\mathrm{v}}$. Die im Inertialsystem wirkende Zentripetalkraft, welche die Beschleunigung des Körpers verursacht, ist unbedingt von der im beschleunigten Bezugssystem des Körpers scheinbar wirkenden Trägheitskraft, der Zentrifugalkraft oder Fliehkraft, zu unterscheiden. Diese Kräfte auf den mitbewegten Beobachter zeigen nach außen, können jedoch nicht auf eine klare physikalische Ursache zurückgeführt werden, sondern werden lediglich durch den Wechsel des Bezugssystems von einem Inertialsystem in ein beschleunigtes Bezugssystem hervorgerufen. Im objektiven Bezugssystem des ruhenden Beobachters gilt das zweite Newtonsche Axiom und da sich der Körper beschleunigt bewegt, muss eine resultierende Kraft in Richtung Kurveninneres auf ihn wirken. Ohne diese Kraft würde sich der Körper nach dem Trägheitsprinzip stets mit konstantem Tempo geradeaus bewegen. Aus der subjektiven Sicht des mitbewegten Beobachters stellt sich die Sache anders da, der Körper bleibt scheinbar in Ruhe jedoch gelten die Newtonschen Axiome nicht mehr. Um sei-

ne Beobachtungen erklären zu können, führt der mitbewegte Beobachter eine Scheinkraft ein, die jedoch keine Gegenkraft besitzt und somit keine Newtonsche Kraft im eigentlichen Sinne darstellt. Nach dem Prinzip von d'Alembert hebt die Trägheitskraft also die resultierende Kraft auf, es herrscht ein formales Kräftegleichgewicht und es können die Rechengesetze der Statik angewendet werden, wodurch manche Probleme leichter gelöst werden können. Das Prinzip von d'Alembert ist also lediglich eine Rechenhilfe. Den Schülern fällt es aber sehr schwer korrekt zwischen diesen beiden Sichtweisen zu differenzieren, häufig neigen sie dazu diese zu verwechseln oder zu vermischen und sie sind nicht mehr zur objektiven newtonschen Sichtweise in der Lage. Dieser Fehlvorstellung und der Verwechslung von Zentripetalkraft und Trägheitskraft ist beim Schüler von Beginn an entgegen zu wirken. Um nicht zu verwirren, werden die Zentrifugalkräfte deshalb in diesem Unterrichtskonzept nicht behandelt und bewusst außen vorgelassen. Bei einem um die Kurve fahrenden Auto wird die Zentripetalkraft durch die Haftreibung der Reifen auf der Straße verursacht. Die maximale Haltekraft ergibt sich aus der Normalkraft und der Haftreibungszahl, die stark von Materialeigenschaften der Straße und Reifen abhängt und durch Nässe oder Eis stark vermindert sein kann. Wird die nötige Zentripetalkraft größer als die maximale Haltekraft, kann das Auto nicht mehr auf der Kurvenbahn gehalten werden und bewegt sich tangential aus der Kurve. Deshalb ist es wichtig das Tempo dem Kurvenradius und der Beschaffenheit von Reifen und Straße anzupassen.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung und Auswertung der Schülerübung Kugelstoßen Teil I (ca. 15 Minuten)

Zu Beginn der Stunde wiederholt der Lehrer zunächst kurz die wichtigsten Erkenntnisse zum Thema Ursache von Bewegungsänderungen, Stöße als mögliche Einwirkung und den dabei übertragenen Zusatzgeschwindigkeiten. Im Anschluss wird die Schülerübung der letzten Stunde besprochen und ausgewertet. Hierzu wird zunächst jeweils kurz die Aufgabenstellung ins Gedächtnis gerufen, bevor die Schüler ihre Erfahrungen und Beobachtungen nennen. Der Lehrer versucht diese nun mit dem physikalischen Modell des Kraftstoßes und der Überlagerung von Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit zu verknüpfen. So wird herausgearbeitet, dass die Kugel sich bei der ersten Aufgabe deshalb genau in Stoßrichtung bewegte, da sie keine Anfangsgeschwindigkeit hatte und die Endgeschwindigkeit somit gleich der Zusatzgeschwindigkeit war. Bei der zweiten Aufgabe wird das Verfehlen des Zieles mit der unabhängigen Überlagerung von Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit zur Endgeschwindigkeit erklärt. Der Lehrer macht nochmals klar, dass die Kugel durch den Stoß lediglich eine

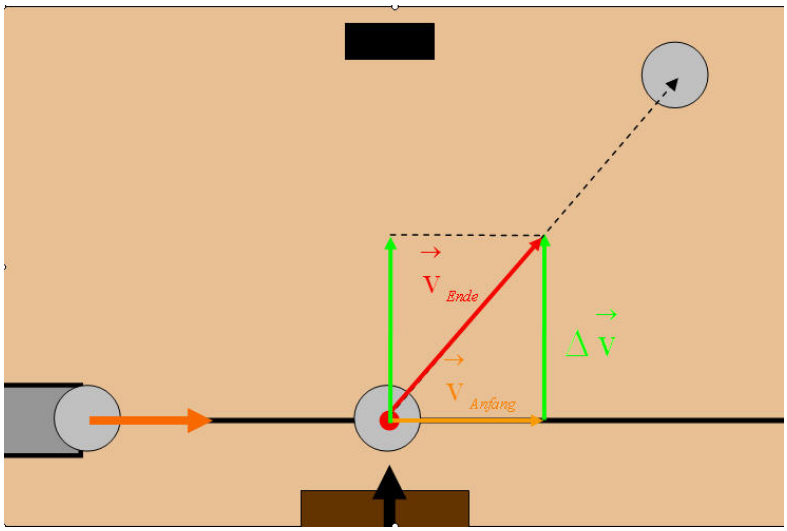


Abbildung 25: Schemazeichnung zur Übungsauswertung, eigene Erstellung

Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung erhält, sich aber weiterhin auch noch in Richtung der Anfangsgeschwindigkeit bewegt und verdeutlicht dies entweder mit einer Zeichnung oder mit den Magnetpfeilen an der Tafel. Die Kugel bewegt sich also gleichzeitig nach „rechts“ und nach „oben“ und somit insgesamt „schräg nach rechts oben“. Um diese recht abstrakte Vorstellung der Geschwindigkeitsüberlagerung weiter zu veranschaulichen, führt der Lehrer nun das Demonstrationsexperiment „Kugelstoßversuch“ durch. Dazu rollen zwei gleichartige Metallkugeln so eine schiefe Ebene hinunter, dass sie sich stets parallel nebeneinander bewegen. Unten stößt der Lehrer mit einem Stoßbrett senkrecht zur Bewegungsrichtung so gegen eine der Kugeln, dass diese nun schräg auf die andere Kugel zurollt und sie schließlich trifft. Aus Sicherheitsgründen sollte der Versuch auf dem Fußboden und nicht auf dem Pult ausgeführt werden, die Klasse beobachtet das Geschehen aus günstiger Sichtposition. Da der Realversuch notwendigerweise recht schnell von statten geht, ist es zweckmäßig die wesentlichen Punkte in einer Computersimulation darzustellen und im Zeitraffer ablaufen zu lassen (Es wäre auch denkbar den Versuch im Voraus zu filmen und in PAKMA als aufbereitetes Videoprojekt zu zeigen). Deshalb startet der Lehrer nun die PAKMA-Simulation „Kugelstoßversuch“, lässt sie in unterschiedlichen Geschwindigkeiten ablaufen und fragt einige Schüler nach der physikalischen Interpretation. Dass die beiden Kugel auch nach dem Stoß stets gleich auf sind, macht deutlich, dass die Anfangs-geschwindigkeit auch nach dem Stoß unvermindert vorhanden ist und sich die Bewegungen unabhängig überlagern. Dass die gestoßene Kugel die andere trifft und somit in der gleichen Zeit einen längeren Weg zurücklegt, zeigt zudem, dass sie durch die Zusatzgeschwindigkeit des Stoßes insgesamt ein höheres Endtempo erreicht.

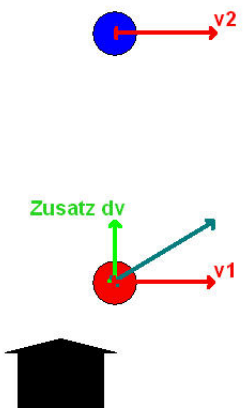


Abbildung 26: PAKMA-Simulation "Kugelstoßversuch", erstellt von T. Wilhelm

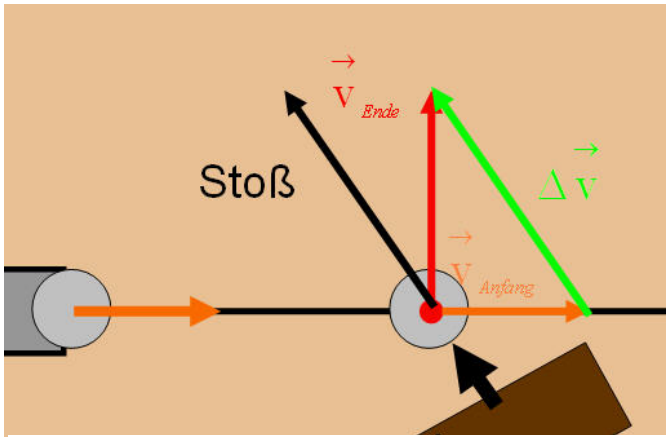


Abbildung 27: Schemazeichnung "Schräger Stoß", eigene Erstellung

Nun wird die Aufgabe 4 der Übungsanleitung besprochen und verdeutlicht, dass man das Ziel nun deshalb trifft, weil ein Teil der durch den schrägen Stoß übertragenen Zusatzgeschwindigkeit die Anfangsgeschwindigkeit aufhebt. Dies wird wiederum an einer Skizze oder mit Magnetpfeilen an der Tafel veranschaulicht. Bei der Aufgabe 5 ging es darum zu erkennen, dass Stöße in Bewegungsrichtung Zusatzgeschwindigkeiten in Bewegungsrichtung bewirken und somit das Tempo erhöhen. Auch diese Erkenntnis sollte mit einer Computersimulation untermauert werden. Deshalb startet der Lehrer nun die PAKMA-Simulation „Kugel beschleunigen 1dim“, die sehr schön

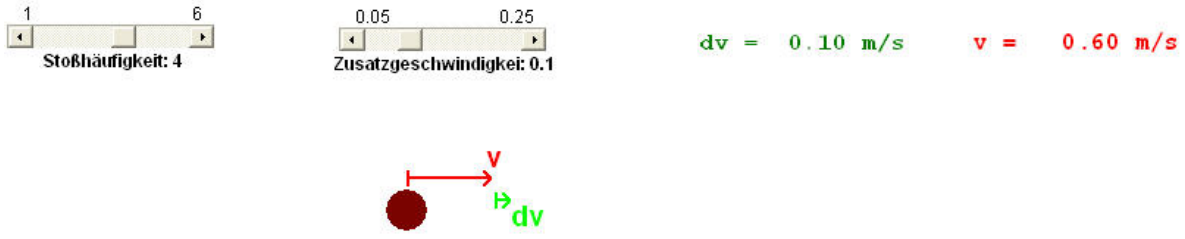


Abbildung 28: PAKMA-Simulation „Kugel beschleunigen 1dim“, erstellt von T. Wilhelm

veranschaulicht, wie die durch den Stoß übertragene Zusatzgeschwindigkeit vorne an den Geschwindigkeitspfeil angehängt wird und diesen somit immer länger macht. Außerdem lässt sich zeigen, dass bei größerer Stoßhäufigkeit dieselbe Zusatzgeschwindigkeit schneller erreicht wird und man sich somit eine Beschleunigung in Bewegungsrichtung als Folge rascher Stöße vorstellen kann. Der umgekehrte Fall, das Abbremsen eines bewegten Körpers durch Stöße gegen die Bewegungsrichtung, ließ sich in der Übung nicht befriedigend zeigen, da selbst die schwere Metallkugel meist bereits nach einem Stoß still stand. Hier leistete wiederum die PAKMA-Simulation „Bremsen durch Stöße“ wertvolle Dienste bei der Veranschaulichung. Die Schüler sollten die Vorstellung vermittelt bekommen, dass die durch die Stöße übertragenen Zusatzgeschwindigkeiten, die Geschwindigkeit langsam „aufbrauchen“. Als Beispiel können die Luftteilchen genannt werden, die uns bei flotter Fahrt mit dem Fahrrad bremsen, wenn sie gegen Körper und Rad stoßen.

2. Schülerübung Kugelstoßen Teil II – Kurvenfahrten (ca. 15 Minuten)

Nachdem die Auswertung der ersten Übung damit beendet ist und die dabei gemachten Erfahrungen theoretisch erklärt sind, kann nun der zweite Teil der Übung zum Thema „Kurvenbahnen“ durchgeführt werden. Die Schüler begeben sich in den gleichen Gruppen wie in der Stunde zuvor zu den Arbeitsplätzen und die Übung wird wiederum nach demselben dreiteiligen Schema, Vorlesen und Klären der Aufgabestellung, Durchführen der Aufgabe und gemeinsame Diskussion der Erfahrungen und Ergebnisse, durchgeführt. In der ersten Aufgabe „Um die Kurve Stoßen“ sollen 3 bis 4 Schüler die von der Rampe herunterrollende Kugel

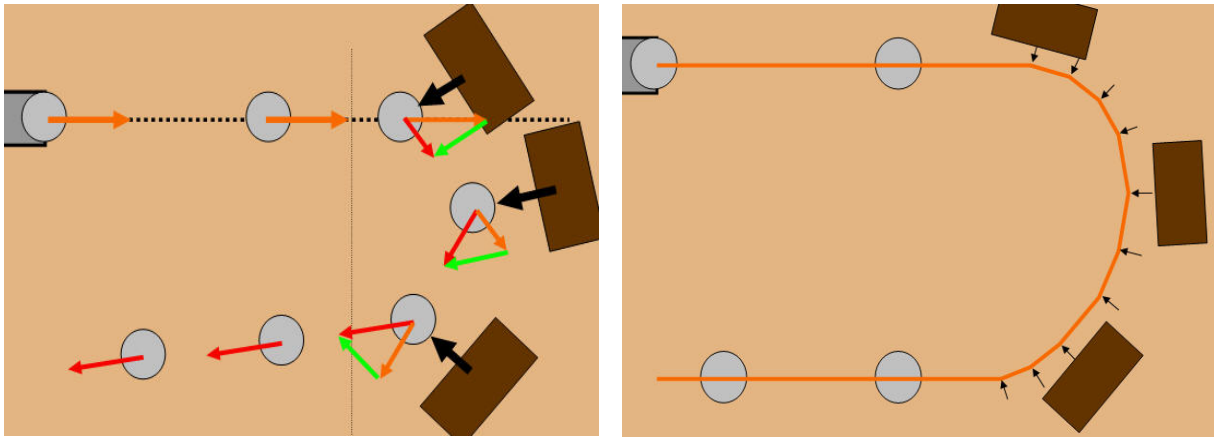


Abbildung 29: Schemazeichnung Übung II Kurvenbahn, eigene Erstellung

jeweils einmal so stoßen, dass sie ungefähr in die entgegengesetzte Richtung zurückrollt, aus

der sie gekommen ist. Die Schüler müssen dabei quer zur Bewegungsrichtung und in Richtung Kurveninneres stoßen. Die Bahn der Kugel ist für eine Kurve jedoch noch recht „eckig“ (siehe Abb. 29 links) und die Schüler haben deshalb als zweites die Aufgabe die Bahn „runder“ zu machen. Dazu stößt nun jeder Schüler mehrmals, dafür aber leichter und die Schüler erkennen, dass die Kurve mit steigender Stoßzahl runder und glatter wird (siehe Abb. 29 rechts). Im dritten Teil der Übung sollen sich jeweils zwei Gruppen zusammentun und sich mit den Stoßbrettern im Kreis hinsetzen. Sie sollen hernach versuchen die Kugel durch Stöße auf einer möglichst „runden“ Bahn im Kreis herum zu bewegen. Diese Übung wird anschließend von der ganzen Klasse mit dem Luftkissenpuck wiederholt, der auf einem glatten Boden fast reibungsfrei gleitet und von den Schülern mit dem Fuß um die Kurve gestoßen wird. Die Schüler machen dabei die Grunderfahrung, dass man einen Körper stets nach innen stoßen muss, um ihn auf einer Kreisbahn zu halten. Wirkt man nicht auf ihn ein, bewegt er sich geradlinig weiter. Damit ist der Übungsteil beendet und die Klasse begibt sich zur Auswertung zurück ins Klassenzimmer.

3. Auswertung der Schülerübung Teil II (ca. 15 Minuten)

Im Unterrichtsgespräch berichten die Schüler von ihren Erfahrungen und es wird nochmals herausgestellt, dass sich weder Kugel noch Luftkissenpuck „von alleine“ auf einer Kurvenbahn bewegen, sondern stets durch eine Einwirkung um die Kurve „gezwungen“ werden müssen. Dabei muss man stets quer zur Bewegungsrichtung, von außen in Richtung Kurveninneres stoßen, um die Kugel im Kreis zu bewegen. Die Stöße übertragen dabei Zusatzgeschwindigkeiten auf die Kugel und ändern damit deren Bewegungsrichtung. Außerdem erklären die Schüler, dass die Bahn der Kugel umso runder oder glatter wird, je höher die Anzahl der Stöße und je geringer dafür ihre jeweilige Stärke ist. Der Verdeutlichung dieses Sachverhaltes waren bei der Übung praktische Grenzen gesetzt.

Es bietet sich deshalb an, zur weiteren Veranschaulichung wiederum eine Computersimulation einzusetzen, bei der man die Anzahl der Stöße und ihre Stärke variieren kann. Hierzu star-

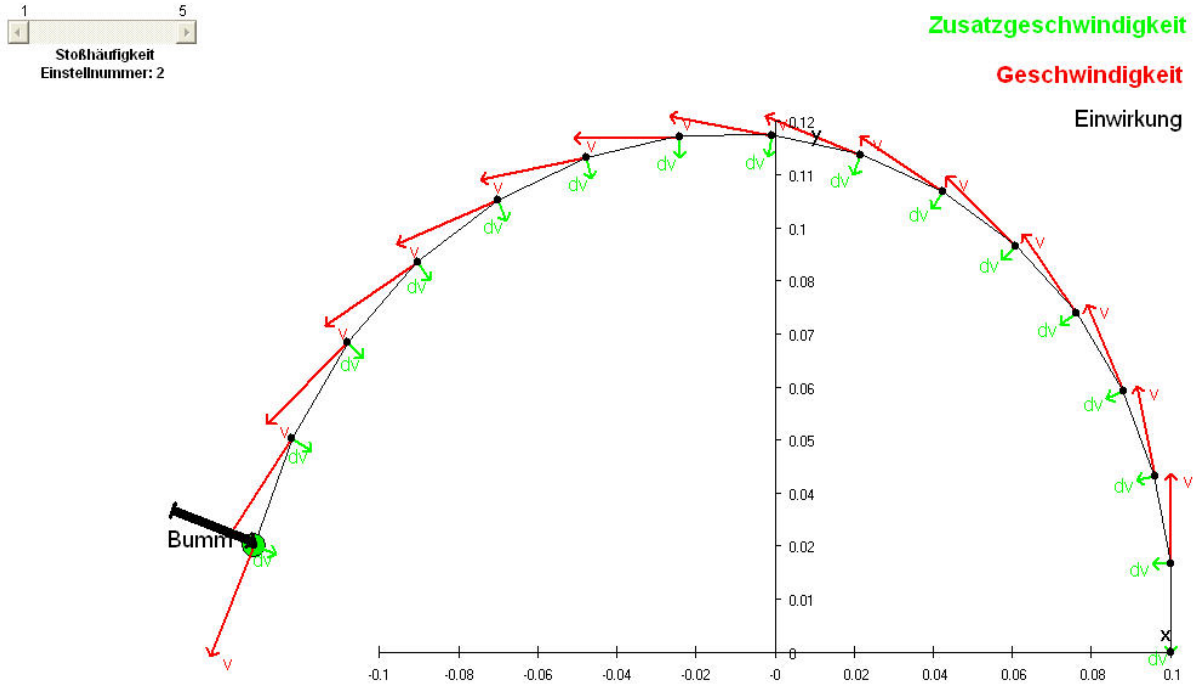


Abbildung 30: Screenshot der PAKMA-Simulation "Stoßhäufigkeit Kurvenbahn", erstellt von T. Wilhelm

tet der Lehrer die PAKMA-Simulation „Stoßhäufigkeit Kurvenbahn“ und demonstriert zunächst ohne die Darstellung der Pfeilgrößen, wie sich die Bahn der Kugel mit größerer Stoßhäufigkeit immer mehr einer glatten Kreisbahn annähert. Anschließend verdeutlichen die Pfeilgrößen und das Modell der Zusatzgeschwindigkeit woran dies liegt (siehe Abb. 31). Die Zusatzgeschwindigkeitspfeile werden mit größerer Stoßhäufigkeit immer kürzer und ändern somit die Bewegungsrichtung immer weniger „abrupt“. Dass das Tempo der Bewegung nur für infinitesimal kleine Stöße quer zur Bewegungsrichtung unverändert bleibt, soll nicht thematisiert werden. Der Lehrer erklärt nun, dass man sich im Gedankenexperiment vorstellen kann, dass bei noch rascherer Stoßfolge praktisch dauernd gestoßen wird und sich eine glatte Kurve ergibt.

Um dies im Experiment zu veranschaulichen führt der Lehrer das Demonstrationsexperiment „Kugelbahn“ durch, bei dem eine Metallkugel auf Plastikschienen „glatt“ um die Kurve rollt (siehe Abb. 32) und fragt die Schüler, „wer die Kugel hier um die Kurve stößt“. Die Schüler sollen realisieren, dass die Kugel permanent von der Außenseite der Schiene in Richtung Kurveninneres gestoßen wird und deshalb die sichtbar runde Bahn durchläuft. Ergänzend lässt der Lehrer die elektrische Eisenbahn im Kreis herum fahren und macht klar, dass man sich vorstellen kann, diese wird ebenfalls von den Schienen um die Kurve gestoßen. Zum Abschluss der Stunde fährt der Lehrer mit dem ferngesteuerten Auto einen Kreis im Klassenzimmer und fragt die Schüler dabei, wer denn nun das Auto um die Kurve stößt. Im Unterrichtsgespräch wird erarbeitet, dass die Straße das Auto um die Kurve stoßen muss. Die Reifen stoßen dauernd nach außen gegen den Straßenbelag und dieser stößt das Auto nach innen. Die Reifen stoßen sich sozusagen an der Straße ab. Der Lehrer teilt den Schülern mit, dass man die Fähigkeit der Reifen, sich an der Straße abzustoßen, auch Haftung nennt und dass die Haftung sowohl vom Reifen, als auch von der Fahrbahnbeschaffenheit abhängt. Auf nasser oder vereister Fahrbahn ist die Haftung stark vermindert. Er erinnert dabei an die Erkenntnis aus Stunde 5, dass die Beschleunigung bei Kurvenfahrten umso größer ist, je höher das Tempo und je kleiner der Kurvenradius ist. Man kann sich somit vorstellen, dass die Straße das Auto umso kräftiger um die Kurve stoßen muss, je schneller es fährt und je enger die Kurve ist. Nun fragt er die Schüler, was mit dem Auto passiert, wenn die Haftung nicht ausreicht um das Auto um die Kurve zu stoßen. Die Schüler erkennen, dass

Abbildung 32: Versuch Kugelbahn, Foto: T. Wilhelm

Abbildung 31: Videoclip "Auto fliegt aus der Kurve", auf http://www.myvideo.de/watch/79205

das Auto in diesem Fall etwa fast geradlinig weiterfährt (siehe Abb. 31) und nach außen aus der Kurve getragen wird. Dies untermauert er mit einem Videoclip von einem aus der Kurve fliegendem Fahrzeug.
Zum Abschluss der Stunde gibt der Lehrer den Schülern mit auf den Weg, dass man aus diesem Grund das Tempo im Straßenverkehr dem Kurvenradius, der Fahrbahnbeschaffenheit und den Witterungsverhältnissen anpassen muss. Auf einer nassen Fahrbahn ist die Haftung vermindert, die Straße kann das Auto nicht so gut um die Kurve stoßen und man sollte deshalb langsamer fahren. Die wichtigsten Erkenntnisse der letzten beiden Stunden sind auf einem Arbeitsblatt als „Hefteintrag“ zusammengefasst, welches der Lehrer nun austeilt. Als Hausaufgabe sollen sich die Schüler in ihrer Alltagswelt umsehen und überlegen, welche „Stoßpartner“ jeweils für die Änderung von Geschwindigkeiten verantwortlich sein könnten und zusätzlich die Skizzen auf der Übungsanleitung fertigstellen.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	**Geplantes Lehrerverhalten**	**Erwartetes Schülerverhalten**	**Sozialform und Medien**
1. Wiederholung und Auswertung der Schülerübung Teil I 15 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Erkenntnisse zum Thema Ursache von Bewegungsänderungen und leitet zur Auswertung der Übung über. Der Lehrer stellt Fragen, fasst Ergebnisse zusammen und verdeutlicht diese durch Skizzen an der Tafel. Der Lehrer führt das Demonstrationsexperiment „Kugelstoßversuch“ vor. Der Lehrer startet die PAKMA-Simulationen „Kugelstoßversuch“, „Kugel beschleunigen 1 dim“ und „Bremsen durch Stöße“	Ein Schüler liest jeweils die Aufgabenstellung vor. Die Schüler nennen ihre Erfahrungen und Ideen. Die Schüler erläutern ihre Beobachtungen und ihre Ideen.	Lehrervortrag Unterrichtsgespräch Tafel, Magnetpfeile Demonstrationsexperiment 2 gleichartige Metallkugeln, Stoßbrett, schiefe Ebene Unterrichtsgespräch Computer mit PAKMA, entsprechender Simulation und Beamer
2. Schülerübung Kugelstoßen Teil II 15 min	Der Lehrer leitet zur zweiten Schülerübung „Kurvenbahnen“ über und führt die Klasse zum Arbeitsplatz. Der Lehrer gibt das Ziel der Teilaufgabe vor. Der Lehrer hilft und unterstützt. Der Lehrer fasst die Beobachtungen der Schüler	Die Schüler finden sich in den Arbeitsgruppen zusammen. Ein Schüler liest jeweils die Aufgabenstellung laut vor, anschließend wird sie in Gruppen durchgeführt. Die Schüler nennen ihre Erfahrungen.	Arbeitsgleiche Schülerübung Je Gruppe eine Arbeitsunterlage, zwei unterschiedlich schwere Metallkugeln, einige Stoßbretter und eine Startrampe Luftkissenpuck Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Theorie

	sinnvoll zusammen und erweitert sie gegebenenfalls.		
3. Auswertung der Schülerübung Kurvenbahnen 15 min	Der Lehrer befragt die Schüler nach ihren Beobachtungen und verknüpft sie mit dem physikalischen Modell von Stoß und Zusatzgeschwindigkeit.	Die Schüler äußern Beobachtungen, Vermutungen und Fragen.	Unterrichtsgespräch
	Der Lehrer zeigt die Simulation „Stoßhäufigkeit Kurvenbahn“ und erläutert den Zusammenhang von Stoßhäufigkeit und Erscheinungsbild der Kurve.		Computer mit PAKMA-Simulation, Beamer Unterrichtsgespräch
	Der Lehrer zeigt das Demonstrationsexperiment „Kugelbahn“, fährt mit Eisenbahn und Auto im Kreis und fragt nach dem jeweiligen Stoßpartner.	Die Schüler äußern Vermutungen über die Stoßpartner	Metallkugel und Plastikschienen Elektrische Eisenbahn Ferngesteuertes Auto
	Der Lehrer verdeutlicht die Zusammenhänge von Kurvenradius, Tempo, Fahrbahnbeschaffenheit und Witterung und zeigt die Konsequenzen für den Straßenverkehr auf.		Lehrervortrag
	Der Lehrer zeigt einen Videoclip eines aus der Kurve getragenen Autos.		Computer, Videoclip, Beamer
	Der Lehrer teilt das zusammenfassende Arbeitsblatt aus und stellt die Hausaufgabe.		Zusammenfassendes Arbeitsblatt über die beiden letzten Stunden „Schülerheft zur 6. und 7. Stunde“

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Es ist wichtig, den Schülern zu vermitteln, dass durch einen Stoß lediglich eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung übertragen wird und sich die Endgeschwindigkeit genauso aus der grafischen Addition von Anfangs- und Endgeschwindigkeit ergibt, wie in den Stunden zur Kinematik. Dies machte den Schülern zunächst Probleme und so viel es ihnen auch anfangs schwer, die sichtbare Bewegung der Kugel nach dem Stoß als Überlagerung von Anfangs- und Zusatzbewegung zu interpretieren. Die Möglichkeit in der PAKMA-Simulation die Bewegung der Kugeln gleichzeitig mit den entsprechenden Pfeilgrößen und in bewusst langsa-

mem Tempo ablaufen zu lassen, war wiederum sehr nützlich und trug wesentlich zum Verständnis bei. Den Schülern war auch intuitiv klar, dass man schräg gegen die bewegte Kugel stoßen muss, um das Ziel zu treffen. Die theoretische Deutung, dass ein Teil der Zusatzgeschwindigkeit die Anfangsbewegung aufhebt und deren Darstellung mit Pfeilen, machte teilweise Probleme oder wurde als unsinnig kompliziert eingestuft. Überhaupt war das große Problem bei der Auswertung der Übung die Verknüpfung der anschaulich klaren Erfahrungen, mit dem scheinbar unnötig komplizierten, theoretischen Modell. Die Tatsache, dass Stöße in Bewegungsrichtung das Tempo erhöhen, wohingegen Stöße gegen die Bewegungsrichtung selbiges verringern, machte den Schülern keinerlei Probleme. Auch hier war die PAKMA-Simulation wieder gut geeignet um eine Brücke zwischen praktischer Erfahrung und Theorie zu errichten.

Abbildung 33: Fotos der zweiten Schülerübung, zum Stoßen der Kugel im Kreis, eigene Aufnahmen

Die Durchführung des zweiten Teils der Übung machte den Schülern wiederum große Freude. Erneut bedurfte es einiger Anstrengung die Schüler vom planlosen Spielen abzubringen und nach einer Experimentierphase wieder die Aufmerksamkeit zu erlangen. Zwei Gruppen hatten die Aufgabe, die Kugel im Kreis herum zu bewegen, falsch verstanden und spielten die Kugel zunächst einfach kreuz und quer im Kreis herum. Nach einer kurzen Erklärung gingen sie jedoch in gewünschter Weise vor und die Schüler erledigten die experimentellen Aufgaben insgesamt ohne Probleme.

Bei der Auswertung dieses Übungsteils zeigte sich, dass der Großteil der Klasse die gewünschten Einsichten verinnerlicht hatte. So schien ihnen anschaulich klar zu sein, dass es einer Einwirkung in Richtung Kurvenmittelpunkt bedarf, um einen Körper um die Kurve zu bewegen und dass er sich ohne Einwirkung stets geradlinig weiterbewegt. Auch das Gedankenexperiment, die Stoßhäufigkeit zu erhöhen um eine „rundere“ Kurvenbahn zu erhalten, schienen sie verstanden zu haben. So nannten sie auch sofort die Außenseite der Schiene als Stoßpartner für die Kurvenfahrt von Kugel und Eisenbahn. Beim Auto antworteten sie auf die

Frage, wer denn dieses um die Kurve stößt, zunächst „die Reifen“. Das alltagsnahe Thema Straßenverkehr schien die Schüler generell sehr zu motivieren und ihr Interesse zu vergrößern. Dies zeigte sich auch in der Begeisterung für das Video des aufgrund überhöhten Tempos aus der Kurve „fliegenden“ Autos. Die Denkweise bei der Geschwindigkeitsänderung eines Körpers stets nach einem Interaktionspartner (Stoßpartner) als Ursache für diese Einwirkung (Stöße) zu suchen, scheint mir sinnvoll und lässt sich in den weiteren Stunden zweckmäßig auf die Begriffe Kraft, Gegenkraft und Wechselwirkungspartner erweitern.

5.2.8 Stunde 8 – Die Kraft und Hinführung zur Newtonschen Bewegungsgleichung

In dieser Stunde wird die Kraft zur genaueren Beschreibung von Einwirkungen eingeführt und anschließend der Zusammenhang der auf den Körper übertragenen Zusatzgeschwindigkeit von der Größe der Kraft, der Masse des Körpers und der Einwirkungsdauer der Kraft untersucht .

a) Ziele der Stunde

- Die Schüler sollen die Kraft als physikalische Größe kennen, die beschreibt, wie stark und in welche Richtung ein Körper auf einen anderen einwirkt.
- Die Schüler sollen die Formulierung „ein Körper übt auf den anderen eine zeitlang eine Kraft aus“ als synonyme Sprechweise für die Aussage „ein Körper wirkt auf einen anderen ein“ kennen und verwenden.
- Die Schüler sollen sich eine Kraft anschaulich als rasche Folge von Stößen in Kraftrichtung vorstellen.
- Die Schüler sollen die Kraft als Pfeilgröße mit Stärke und Richtung einstufen.
- Die Schüler sollen die Einheit der Kraft kennen.
- Die Schüler sollen realisieren, dass der Kraftbegriff in der Alltagssprache nicht einheitlich, unscharf und nicht synonym zur physikalischen Bedeutung verwendet wird.
- Die Schüler sollen wissen, dass die durch eine Kraft übertragene Zusatzgeschwindigkeit, in Kraftrichtung zeigt und umso größer ist, je stärker die Kraft ist.
- Den Schülern soll klar sein, dass die durch eine bestimmte Kraft auf einen Körper übertragene Zusatzgeschwindigkeit umso größer ist, je kleiner die Masse des Körpers ist und je länger die Kraft auf den Körper einwirkt.

b) Sachanalyse

Die Kraft $\vec{F}$ ist eine physikalische Größe, die für die gesamte Physik von fundamentaler Bedeutung ist und eine Einwirkung auf einen Körper beschreibt, die dessen Bewegungszustand verändert, ihn also beschleunigt. Die Kraft ist dabei eine vektorielle Größe, deren Richtung die Richtung der Einwirkung und deren Betrag die „Stärke“ der Einwirkung beschreibt. Kräfte erkennt man nur an ihren Wirkungen. Heute wird das zweite Newtonsche Axiom in der Physik in der Regel als Definition für den Kraftbegriff interpretiert. Es besagt, dass die auf einen Körper wirkende Kraft gleich dessen Impulsänderung ist: $\vec{F} = \frac{d\,\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \cdot \vec{\mathrm{v}})}{dt}$. Für den Spezialfall einer konstanten trägen Masse lässt sich die Kraft als Produkt aus Masse und Be-

schleunigung schreiben, $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Die Einheit der Kraft ist das Newton, dessen Ableitung aus den Basiseinheiten sich aus obiger Gleichung ergibt: $[F] = 1N = 1\frac{kg \cdot m}{s^2}$. Greifen an einem ausgedehnten Körper mehrere Kräfte an verschiedenen Angriffspunkten an, verformt sich der Körper je nach der Ausrichtung der Kräfte. Ist die resultierende Kraft, die auf einen Körper wirkt, über einen gewissen Zeitraum Δt konstant oder genügt die Betrachtung von zeitlichen Mittelwerten, kann das zweite Newtonsche Axiom in der (nach dem Prinzip von Ursache und Wirkung sinnvolleren) Form $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ auch wie folgt umgeschrieben werden: $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$. Dies bedeutet also, dass die (mittlere) Geschwindigkeitsänderung des Körpers in Richtung der (mittleren) resultierenden Kraft zeigt und ihr Betrag dabei direkt proportional zur (mittleren) wirkenden Kraft und ihrer Einwirkungsdauer sowie indirekt proportional zur trägen Masse des Körpers ist. In dieser Form soll die Newtonsche Bewegungsgleichung im Unterricht über qualitative Experimente und „Je-desto“-Beziehungen plausibel gemacht werden.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung (ca. 5 Minuten)

Im ersten Teil der Stunde wiederholt der Lehrer im Unterrichtsgespräch zusammen mit der Klasse kurz die wichtigsten Ergebnisse der letzten beiden Stunden. Dabei erinnert er unter anderem daran, dass ein Körper seine Geschwindigkeit von alleine nicht ändert, sondern eine Geschwindigkeitsänderung stets durch die Einwirkung eines anderen Körpers verursacht wird und dass Stöße eine mögliche Form der Einwirkung sind, durch die Zusatzgeschwindigkeiten in Stoßrichtung übertragenen werden.

2. Einführung der Kraft zur Beschreibung von Einwirkungen (ca. 12 Minuten)

In diesem Teil der Stunde führt der Lehrer die neue physikalische Größe „Kraft“ ein. Dazu macht er klar, dass die bisherige Sprechweise „ein Körper wirkt auf den anderen ein“ für die physikalische Arbeitsweise etwas unbefriedigend und ungenau ist, da sie nichts darüber aussagt, wie stark und in welche Richtung eingewirkt wird. Weil Einwirkungen so wichtig sind, führt man zu ihrer genaueren Beschreibung den Begriff der Kraft ein. Die Kraft beschreibt also, wie stark und in welche Richtung ein Körper auf einen anderen einwirkt. Statt „ein Körper wirkt auf einen anderen ein“ sagt man in der Physik „ein Körper übt auf einen anderen eine zeitlang eine Kraft aus“. Als Merksatz fasst der Lehrer zusammen: „Eine Kraft beschreibt Stärke und Richtung einer Einwirkung auf einen Körper, die dessen Bewegungszustand verändert.“ Dabei sind die wichtigsten Ergebnisse wiederum auf einer Folie und einem am Ende der Stunde ausgeteilten Arbeitsblatt zusammengefasst (siehe Anhang 9.1 4. Die Kraft). Um den neuen Begriff Kraft zu veranschaulichen, verknüpft ihn der Lehrer nun mit dem aus der Übung bekannten Begriff des Stoßes. Er bringt den Schülern nahe, dass man sich eine Kraft stets als eine rasche Folge von Stößen vorstellen kann, die so lange anhalten, wie die Kraft wirkt. Damit macht der Lehrer anschaulich klar, dass eine Kraft einerseits den Bewegungszustand eines Körpers verändert, indem sie Zusatzgeschwindigkeiten in Kraftrich-

tung überträgt und andererseits sowohl eine Richtung (nämlich die Richtung der Stöße), als auch eine Stärke (nämlich die Stärke der Stöße und ihren zeitlichen Abstand) hat. Deshalb handelt es sich bei der Kraft also um eine Pfeilgröße und sie wird zweckmäßiger Weise wieder durch einen Pfeil dargestellt. Er zeichnet einen Kraftpfeil an die Tafel und erklärt, dass die Richtung des Pfeils die Richtung der Kraft anzeigt und die Länge des Pfeils für die Stärke der Kraft steht, eine doppelt so große Kraft also durch einen doppelt so langen Pfeil dargestellt wird. Als Beispiel für eine Kraft nennt der Lehrer die Erdanziehungskraft, die uns auf der Erde hält und uns beim Hochspringen zu ihr zurück zieht. Nun sollen die Schüler aufstehen und so „kräftig“ wie möglich in die Luft springen. Dabei spüren sie, wie die Erdanziehungskraft sie zurück auf die Erde zieht. Der Lehrer erinnert dabei an die Vorstellung, dass die Erdanziehungskraft uns durch eine Folge rascher Stöße ständig nach unten stößt. Nun stellt er die Frage, warum wir dann nicht weiter Richtung Erdmittelpunkt gestoßen werden, sondern auf dem Fußboden stehen bleiben. Die Schüler sollen entdecken, dass der Fußboden uns genauso stark nach oben stoßen muss, wie die Erdanziehungskraft uns nach unten stößt und somit ebenfalls eine Kraft auf uns ausübt, die die Wirkung der Erdanziehungskraft gerade aufhebt. Die Vorstellung der beiden entgegengesetzten Kräfte als rasche Folge von Stößen soll nun verwendet werden um zu motivieren, dass mehrere Kräfte einen ausgedehnten Körper auch Verformen können. Hierzu stellt sich der Lehrer auf einen nicht prall aufgepumpten Ball und demonstriert die Verformung des Balles. Der Ball wird durch das Gewicht des Lehrers nach unten gestoßen und vom Fußboden gleichstark nach oben gestoßen. Der Ball steckt also in der Klemme und kommt nicht heraus. Deshalb ändert er nicht seinen Bewegungszustand, sondern seine Form. Dies fasst er in dem Merksatz „Greifen an einem Körper mehrere Kräfte gleichzeitig an, so können sie den Körper auch verformen“ zusammen. Abschließend teilt der Lehrer den Schülern mit, dass die Einheit der Kraft zu Ehren des berühmten Physikers Sir Isaac Newton als Newton bezeichnet wird und somit eine Kraft von zwei Newton doppelt so stark ist und durch einen doppelt so langen Pfeil dargestellt wird, wie eine Kraft von einem Newton. Als verdeutlichendes Beispiel erklärt der Lehrer, dass eine Kraft von einem Newton in etwa der Erdanziehungskraft von einer Tafel Schokolade entspricht.

3. Abhängigkeit der übertragenen Zusatzgeschwindigkeit von … (ca. 28 Minuten)

In diesem Teil der Stunde soll die Tatsache vertieft werden, dass eine Kraft (als rasche Folge von Stößen) den Bewegungszustand eines Körpers verändert und untersucht werden, von welchen Größen diese Änderung auf welche Weise abhängt.

a) … der wirkenden Kraft (ca. 5 Minuten)

Der erste Zusammenhang soll lediglich über ein Gedankenexperiment und die Hilfsvorstellung einer Kraft als rasche Folge von Stößen plausibel gemacht werden. Dazu gibt der Lehrer zunächst als letztes großes Ziel aus, den Zusammenhang zwischen einer Einwirkung und der durch sie bewirkten Bewegungsänderung genauer zu beschreiben. Zur besseren Beschreibung der Einwirkung wurde die Kraft kennen gelernt, Bewegungsänderungen sind Geschwindigkeitsänderungen und werden mit der Zusatzgeschwindigkeit beschrieben, die ein Körper erhält und die somit seine neue Geschwindigkeit bewirkt. Zunächst soll also überlegt werden, wie die übertragene Zusatzgeschwindigkeit mit der wirkenden Kraft zusammenhängt. Dazu

erinnert der Lehrer an die Vorstellung einer Kraft als rasche Folge von Stößen und an die Erfahrungen aus der Schülerübung. Wie hängen nun also die Richtung der Kraft und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit zusammen? Die Schüler erkennen, dass jeder Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung bewirkt und eine Kraft als rasche Folge von Stößen somit auch viele „kleine Zusatzgeschwindigkeiten“ in Kraftrichtung bewirkt. Der Lehrer hält an er Tafel fest: Die Richtung der übertragenen Zusatzgeschwindigkeit ist gleich der Richtung der wirkenden Kraft!
Nun fragt der Lehrer nach dem Zusammenhang zwischen der Stärke der Kraft und der „Größe“ der Zusatzgeschwindigkeit (dem Tempo der Zusatzbewegung). Eine größere Kraft kann man sich als raschere Folge stärkerer Stöße vorstellen und somit soll den Schülern klar werden, dass die Zusatzgeschwindigkeit umso größer ist, je stärker die wirkende Kraft ist. Wieder hält der Lehrer das Ergebnis an der Tafel fest: „Die Zusatzgeschwindigkeit ist umso größer, je stärker die wirkende Kraft ist!“

b) … der Masse des Körpers (ca. 10 Minuten)

Der Lehrer eröffnet den Schülern, dass die übertragene Zusatzgeschwindigkeit nicht alleine von der Kraft, sondern auch von einer Eigenschaft des Körpers abhängt. Dieser Zusammenhang soll durch ein kleines Experiment untersucht werden. Der Lehrer hat dazu zwei äußerlich gleich aussehende Bälle mitgebracht, von denen einer jedoch im Vorfeld mit Quarzsand gefüllt wurde. Er legt beide Bälle so auf den Boden des Klassenzimmers, dass man die unterschiedliche Masse der beiden Bälle nicht erahnen kann. Nun wählt er einen Freiwilligen unter den Schülern aus, der das Experiment durchführen soll. Der Schüler soll ungefähr gleich stark gegen beide Bälle schießen; die Klasse beobachtet das Ergebnis. Der Luft gefüllte Ball fliegt quer durchs Klassenzimmer, während der gefüllte Ball nur ein kurzes Stück „kullert“. Um das Ergebnis unabhängig von den Schussfertigkeiten des ersten Schülers zu untermauern, wird es von einem weiteren Schüler wiederholt und die Schüler nach der Ursache für dieses unterschiedliche Verhalten der Bälle befragt. Die Schüler vermuten nun, dass der zweite Ball schwerer ist als der erste und der Lehrer fragt, wie sie zu dieser Vermutung kommen. Die Schüler haben im Alltag die intuitive Erfahrung gesammelt, „ein schwererer Körper ist auch schwerer zu bewegen“. Diese Vorstel-

Abbildung 34: Versuch "Schuss gegen zwei unterschiedlich schwere Bälle" und das Ergebnis, der schwere Ball hat sich kaum bewegt, eigene Aufnahmen

lung wird nun auf das physikalische Modell von Kraft und Zusatzgeschwindigkeit erweitert. Der Lehrer deutet die Aussage dahingegen um, dass man eine größere Kraft ausüben muss, um einen schwereren Körper zu bewegen und dass man statt von einem schwereren Körper in der Physik meist von einem Körper mit größerer Masse spricht. Der Unterschied zwischen Gewicht und Masse soll in dieser Stunde nicht thematisiert werden, sondern erst später bei der Behandlung der Gewichtskraft zur Sprache kommen.

Ausgehend von den Erfahrungen mit den unterschiedlich schweren Kugeln aus der Übung und einem Alltagsbeispiel zeigt der Lehrer auf, dass ein Körper größerer Masse nicht nur „schwerer“ in Bewegung zu setzen ist, sondern auch „schwerer“ abzubremsen und „schwerer“ um die Kurve zu lenken ist. Er fragt nun die Schüler mit welcher Größe man diese drei Eigenschaften gleichzeitig beschreiben kann und kommt im Unterrichtsgespräch zu dem Ergebnis, dass man eine größere Kraft benötigt, um die Geschwindigkeit eines schwereren Körpers zu verändern, dass heißt ihn zu beschleunigen. Die gleiche Kraft bewirkt also nicht stets die gleiche Zusatzgeschwindigkeit, sondern es kommt zusätzlich auf die Masse des Körpers an. Die Zusatzgeschwindigkeit ist umso kleiner, je größer die Masse des Körpers ist. Wiederum fasst der Lehrer an der Tafel zusammen: „Bei gleicher Kraft ist die übertragene Zusatzgeschwindigkeit umso kleiner, je größer die Masse des Körpers ist!“

c) … der Einwirkungsdauer der Kraft (ca. 13 Minuten)

Um die Auswirkungen einer Kraft auf die Geschwindigkeit eines Körpers zu beschreiben, spielt neben der Stärke und Richtung der Kraft $\vec{F}$ sowie der Masse m des Körpers auch die Zeitdauer, für welche die Kraft wirkt eine Rolle. Die Zeitdauer, für die eine Kraft auf einen Körper einwirkt, nennt man in der Physik die Einwirkungsdauer Δt der Kraft. Um den Einfluss der Einwirkungsdauer auf die übertragene Zusatzgeschwindigkeit zu untersuchen, soll wiederum ein Experiment durchgeführt werden. Der Lehrer erklärt den Schülern den Versuchsaufbau und die Messmethode.

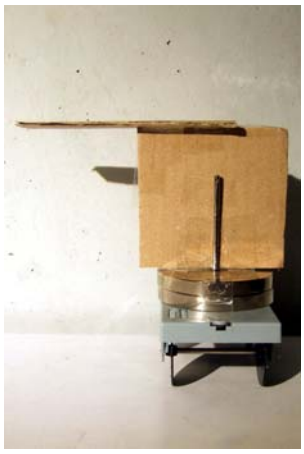


Abbildung 36: Segelauto, eigene Aufnahme

Ein reibungsarmer Wagen wird mit einem Segel aus Pappe und einigen Gewichtsstücken ausgestattet. Die Masse des Wagens ist also während des Versuchs konstant. Um auch seine Bewegungsrichtung konstant zu halten, bewegt sich der Wagen auf Metallschienen. Nun braucht man noch eine konstante Kraft mit regulierbarer Einwirkungsdauer. Der Lehrer erklärt den Schülern, dass hierfür ein Föhn verwendet wird. Dieser saugt die Luftteilchen hinten an und stößt sie vorne wieder heraus. Für die Zeitdauer, in der der Föhn an ist, stoßen die Luftteilchen in rascher Folge gegen das Segel und üben so eine näherungsweise konstante Kraft auf den Wagen

Abbildung 35: Der Föhn übt eine Kraft auf das Segelauto aus

aus. Die Einwirkungsdauer der Kraft ist also in etwa gleich der Betriebsdauer des Föhns. Der Lehrer erläutert, dass man darüber hinaus noch die jeweils übertragene Zusatzgeschwindigkeit messen muss und dass es in diesem besondern Fall genügt, hierfür das Tempo des Wagens zu bestimmen. Denn der Wagen startet aus der Ruhe und bewegt sich stets in die gleiche Richtung, sodass das Endtempo ein Maß für die übertragene Zusatzgeschwindigkeit darstellt.
Zur Bestimmung des Endtempos erläutert der Lehrer kurz die Funktion der Lichtschranke und macht klar, dass die angezeigte Zeit umso kleiner ist, je höher das Tempo des Wagens ist, da ein schnellerer Körper die gleiche Strecke (die breite des Pappstreifens) in kürzerer Zeit zurücklegt. Das Tempo des Wagens ergibt sich also als Quotient aus der Breite des Pappstreifens und der angezeigten Zeit. Der Lehrer wählt nun drei Schüler als Assistenten aus und führt den Versuch folgendermaßen durch: Ein Schüler trägt die entsprechenden Werte in folgende Messtabelle an der Tafel ein.

Einwirkungsdauer $\Delta t_{Föhn}$ in s	≈ 1	≈ 2	≈ 3	≈ 4	≈ 5
Zeit $\Delta t_{Lichtschranke}$ in s	0,1	0,048	0,038		
Tempo $v_{Wagen} = \frac{0{,}02\text{m}}{\Delta t_{Licht}}$ in m/s	0,2	0,4			

Der zweite Schüler bestimmt grob die Einwirkungsdauer durch lautes Zählen 21, 22, …, der dritte Schüler stoppt den Wagen am Ende der Schienenbahn. Der Lehrer schaltet nun den Föhn ein und hält ihn jeweils für die vom Schüler vorgezählte Zeit hinter das Segel. Aus der von der Lichtschranke bestimmten Zeit wird das Tempo des Wagens ermittelt und in die Tabelle eingetragen. Es soll dabei lediglich qualitativ veranschaulicht werden, dass die Zusatzgeschwindigkeit mit der Einwirkungsdauer zunimmt. Für reproduzierbare, quantitative Messergebnisse ist die Art der Messung zu ungenau, was der Lehrer den Schülern verdeutlicht.

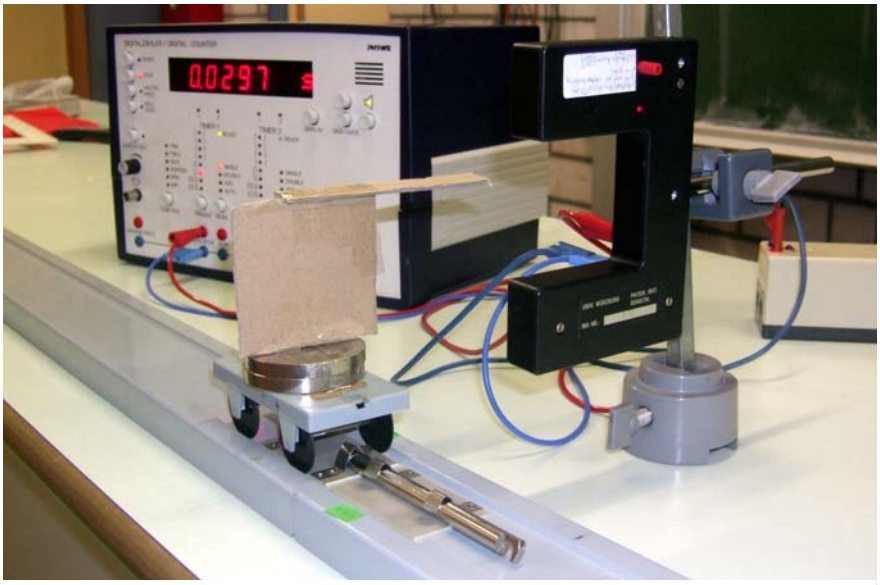


Abbildung 37: Messung des Tempos mit der Lichtschranke

Nach Beendigung des Versuchs stellt der Lehrer den Schülern die Aufgabe, den Zusammenhang zwischen übertragener Zusatzgeschwindigkeit und Einwirkungsdauer der Kraft in einem Je-Desto-Satz zusammenzufassen. Abschließend schreibt er auch diese Beziehung an die Tafel: „Je länger die Einwirkungsdauer der Kraft, desto größer ist die übertragene Zusatzgeschwindigkeit!“ Die wichtigsten Ergebnisse dieser Stunde sind wiederum auf einem Arbeitsblatt zusammengefasst, das der Lehrer am Ende der

Stunde austeilt. Außerdem sollen die Schüler zur Wiederholung das Arbeitsblatt 5 als Hausaufgabe bearbeiten, welches ebenfalls ausgeteilt wird.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Sozialform und Medien
1. Wiederholung 5 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Ergebnisse der letzten beiden Stunden und stellt dabei einige Fragen an die Schüler.	Die Schüler antworten auf die Fragen des Lehrers	Unterrichtsgespräch Tafel, Magnetpfeile
2. Einführung der Kraft 12 min	Der Lehrer führt die Kraft als Pfeilgröße zur Beschreibung von Einwirkungen ein. Der Lehrer veranschaulicht Kräfte als rasche Folge von Stößen. Der Lehrer fordert die Schüler auf in die Luft zu springen, um die Erdanziehungskraft zu spüren. Der Lehrer zeigt, dass mehrere Kräfte Körper auch verformen können. Der Lehrer nennt die Einheit der Kraft.	Die Schüler stehen auf und springen in die Luft.	Lehrervortrag Tafel Zusammenfassung auf Folie Schüleraktivität Lehrervortrag Demonstrationsexperiment Volleyball, nicht voll aufgepumpt
3. Abhängigkeit der Zusatzgeschwindigkeit von …	Der Lehrer gibt als letztes großes Ziel die quantitative Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Einwirkung und Bewegungsänderung aus.		Lehrervortrag
a) … der wirkenden Kraft 5min	Der Lehrer erarbeitet mit der Klasse, dass die Zusatzgeschwindigkeit in Kraftrichtung zeigt und mit der Stärke der Kraft zunimmt. Der Lehrer fasst das Ergebnis an der Tafel in einem Satz zusammen.	Die Schüler äußern Vermutungen.	Unterrichtsgespräch Tafel, Zusammenfassung auf Folie Tafel
b) … der Masse 10 min	Der Lehrer initiiert das Experiment „Schuss gegen zwei unterschiedlich schwere Bälle“ und fragt	Zwei Schüler führen den Versuch aus. Die Schüler deuten die	Unterrichtsgespräch Zwei Volleybälle, einer davon mit Quarzsand gefüllt

	die Schüler nach ihren Beobachtungen und Deutungsvorschlägen. Der Lehrer fasst das Ergebnis in einem Satz an der Tafel zusammen.	Beobachtungen und stellen Vermutungen an.	Tafel
c) … der Einwirkungsdauer 13 min	Der Lehrer motiviert die Bedeutung der Einwirkungsdauer und erklärt das entsprechende Experiment.		Lehrervortrag
	Der Lehrer wählt drei Assistenten aus und führt mit ihnen das Experiment durch. Der Lehrer fordert die Schüler auf, das qualitative Ergebnis des Experiments in einem Je-Desto-Satz zusammenzufassen und lässt ihn an die Tafel schreiben.	Die Schüler helfen bei der Durchführung des Experiments und beim Ausfüllen der Messtabelle. Die Schüler formulieren den Zusammenhang in einem Satz und schreiben ihn an die Tafel.	Demonstrationsexperiment Reibungsarmer Wagen mit Segel und Gewichten, Schienenbahn, Föhn, Lichtschranke mit entspr. Stromversorgung und Zählgerät. Tafel Unterrichtsgespräch Tafel
	Der Lehrer verteilt den Hefteintrag als Zusammenfassung auf einem Arbeitsblatt.		Zusammenfassendes Arbeitsblatt „Schülerheft zur 8. Stunde“
	Der Lehrer stellt die Hausaufgabe und teilt dazu das Arbeitsblatt 5 aus		Arbeitsblatt 5

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Bei der Wiederholung zeigte sich einerseits, dass die Schüler prinzipiell verstanden hatten, um was es in den letzten beiden Stunden ging, aber auch, dass sie immer noch Probleme hatten die qualitativen Vorstellungen mit der Theorie korrekt zu beschreiben. So neigen manche Schüler immer noch dazu die Addition der Pfeile zur Bestimmung der Endgeschwindigkeit mit der Subtraktion zu verwechseln. Hier wäre es wünschenswert Wirklichkeit und Pfeilmodell durch reichlicheres, selbstständiges Üben besser zu verknüpfen.

Bei der Einführung der Kraft schien die Hilfsvorstellung einer raschen Folge von Stößen sehr nützlich und sorgte für eine größere Anschaulichkeit. Die Kraft war somit kein mysteriöses etwas, sondern die Schüler konnten sie sich konkret vorstellen. Außerdem war dadurch implizit klar, dass es stets einen Wechselwirkungspartner geben muss, der die Kraft ausübt, also „stößt“. Durch die Erfahrung mit den Geschwindigkeitspfeilen fiel es den Schülern leichter die Kraft als Pfeilgröße mit Betrag und Richtung darzustellen und zu interpretieren. Die vielfältigen Alltagsbedeutungen des Begriffes Kraft lassen sich verständlicher Weise nicht in einer Stunde durch die Einführung der physikalischen Bedeutung aus den Köpfen der Schüler verbannen, sondern existieren weiterhin. Um den physikalischen Kraftbegriff zu festigen und

gegen die Alltagsbedeutungen abzugrenzen, braucht es noch mehr Erfahrung und Übung mit dieser Größe. Die Vorstellung, dass der Fußboden den Ball nach oben stößt, während ihn die Erdanziehungskraft gleich stark nach unten stößt und sich der Ball deshalb nicht bewegt sondern verformt, schien den Schülern wenig Probleme zu bereiten. Ein Schüler sagte in diesem Zusammenhang: „Der Ball sitzt in der Zange und kommt nicht aus.“.
Das Experiment mit den Volleybällen kam bei den Schülern sehr gut an und musste auf ihr Verlangen mehrmals wiederholt werden. Dass der Anschein gleicher Bälle gut gewahrt war, sieht man daran, dass die Schüler auf die Frage, warum sich der eine Ball kaum vorwärts bewegt hat, meinten, die Schülerin hätte nicht getroffen und in den Boden getreten. Erst als es auch bei zwei weiteren Schülern auf gleiche Weise ausging, kam jemand auf die Idee, dass es am „Gewicht“ des Balles liegen könnte. Die Vorstellung, je schwerer, desto schwerer rollt er los, war ihnen gut vertraut. Der Unterschied zwischen Masse und Gewicht wurde nicht explizit erwähnt, sondern es wurde versucht, durch konsequente Verwendung des Begriffes „Masse“ die Schüler dazu zu bringen, diesen gleichfalls zu verwenden. Nicht unmittelbar klar war dagegen, dass ein schwerer Körper auch schwerer zu bremsen und um die Kurve zu lenken ist. Dabei war die praktische Erfahrung mit den unterschiedlich schweren Kugeln aus der Übung sehr hilfreich. Wieder war den Schülern der Kern des Phänomens klar, aber es fiel ihnen schwer dieses Wissen in das theoretische Modell und den Zusammenhang von Kraft und Zusatzgeschwindigkeit zu übertragen. Eine leistungsstarke Schülerin war in der Lage den Zusammenhang in der Form, „je größer die Masse, desto kleiner die Zusatzgeschwindigkeit bei gleicher Kraft“, zu formulieren.
Der Föhn als Quelle der Kraft auf den Wagen passte gut in die Vorstellung einer Kraft als rasche Folge von Stößen, da er tatsächlich die Luftteilchen gegen das Pappsegel stößt. Der Begriff der Einwirkungsdauer wurde dabei anschaulich mit der Zeit verknüpft, für die der Föhn an war und machte den Schülern kaum Probleme. Schwieriger war es den Schülern klarzumachen, dass es nicht um den Zusammenhang zwischen der Einwirkungsdauer und dem Tempo, sondern der Zusatzgeschwindigkeit geht und diese in diesem Spezialfall gleich dem Endtempo des Wagens ist. Dazu war es hilfreich den Schülern ebenfalls zu zeigen, dass der Föhn den Wagen auch umso stärker abbremst und einen Gummiball umso stärker um die Kurve lenkt, je länger er in Betrieb ist. Es ist also wichtig hier sauber zwischen Tempo und Zusatzgeschwindigkeit zu unterscheiden. Auf die Frage nach der Definition des Tempos zeigte sich wieder das bereits mehrfach erwähnte Problem der Verwechslung von Definition und Einheit. Den Schülern machte es keine Probleme, dass bei doppelter Einwirkungsdauer nicht die doppelte Zusatzgeschwindigkeit gemessen wurde. Für sie blieb der Eindruck, je länger der Föhn an ist, umso schneller wird der Wagen. Das änderte sich auch in der nächsten Stunde nicht, wo sie dennoch ohne zu zögern proportionale Beziehungen zwischen den Größen annahmen. Die Schüler sind wohl noch zu unerfahren, um sich daran zu stören.

5.2.9 Stunde 9 – Die Newtonsche Bewegungsgleichung

In dieser Stunde soll der Zusammenhang zwischen der Zusatzgeschwindigkeit und der wirkenden Kraft, deren Einwirkungsdauer sowie der Masse des Körpers wiederholt und in vier Je-Desto-Sätzen zusammengefasst werden. Aus diesen soll dann die Newtonsche Bewe-

gungsgleichung in der Form $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ plausibel gemacht und ihre Anwendung und Bedeutung genauer behandelt werden.

a) Ziele der Stunde

- Die Schüler sollen den Zusammenhang zwischen äußerer Einwirkung und Bewegungsänderung mit den vier Je-desto-Beziehungen darstellen und diese interpretieren können.
- Die Schüler sollen erkennen, dass man diese vier Beziehungen in der Newtonschen Bewegungsgleichung zusammenfassen kann und diese Gleichung soll ihnen plausibel erscheinen.
- Den Schülern soll klar sein, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung das Tempo erhöht, eine Kraft gegen die Bewegungsrichtung das Tempo verringert und eine Kraft quer zur Bewegungsrichtung diese verändert.
- Die Schüler sollen wissen, dass man mit der newtonschen Bewegungsgleichung bei bekannter Kraft, Masse, Anfangsgeschwindigkeit und Anfangsort die Bewegung eines Körpers vorhersagen kann.
- Die Schüler sollen wissen, dass man umgekehrt durch Messung des Bewegungsverlaufs auf die wirkenden Kräfte schließen und diese dadurch genauer beschreiben kann.
- Die Schüler sollen die Newtonsche Bewegungsgleichung anwenden können, um die übertragene Zusatzgeschwindigkeit bei gegebener Kraft, Einwirkungsdauer und Masse des Körpers zu bestimmen.
- Die Schüler sollen die Newtonsche Bewegungsgleichung nach der Kraft umstellen können und somit das Newton als abgeleitete Einheit verstehen.

b) Sachanalyse

Der physikalische Hintergrund zur Newtonschen Bewegungsgleichung wurde bereits im Zusammenhang mit den vorherigen Stunden dargestellt. In der Newtonschen Mechanik lässt sich die Bewegung eines Körpers bei bekannten Anfangsbedingungen $\vec{x}(t_0)$ und $\vec{v}(t_0) = \dot{\vec{x}}(t_0)$ sowie bekanntem Kraftverlauf $\vec{F}(\vec{x}, \dot{\vec{x}}, t)$ prinzipiell durch Lösen der Differentialgleichung $m \cdot \ddot{\vec{x}} = \vec{F}(\vec{x}, \dot{\vec{x}}, t)$ voraussagen. Die Lösung dieser Differentialgleichung stellt sich im Allgemeinen jedoch als sehr schwierig dar und ist nur in einfachen Spezialfällen analytisch lösbar. Für eine konstante Kraft $\vec{F}$ ergibt sich daraus jedoch $\vec{v}(t) = \vec{v}(0) + \frac{\vec{F}}{m} \cdot t$ und $\vec{x}(t) = \vec{x}(0) + \vec{v}(0) \cdot t + \frac{1}{2}\frac{\vec{F}}{m} t^2$. Misst man dagegen den zeitlichen Verlauf von Geschwindigkeit und Ort, kann man mit der Newtonschen Bewegungsgleichung umgekehrt auch auf die Kräfte zurück schließen und diese durch Terme, wie zum Beispiel für die Gewichtskraft $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$, die Federkraft $\vec{F}_k = -k \cdot \vec{x}$ oder die Reibungskraft $F_R = \mu_R \cdot F_N$ genauer beschrei-

ben. Aufgrund ihrer großen Bedeutung wird die Newtonsche Bewegungsgleichung oft auch als Grundgleichung der Mechanik bezeichnet.

c) Verlaufsplan

1. Verbesserung der Hausaufgabe (ca. 5 Minuten)

Im ersten Teil der Stunde stellt der Lehrer die Lösung des Arbeitsblattes 5 anhand einer Folie vor und beantwortet entsprechende Fragen der Schüler.

2. Wiederholung (ca. 8 Minuten)

Im Anschluss werden im Unterrichtsgespräch die wichtigsten Erkenntnisse der letzten Stunde zur Kraft, sowie zum Zusammenhang zwischen einer Einwirkung und einer dadurch verursachten Bewegungsänderung zusammen mit den Schülern ausführlich wiederholt. Dabei wird zunächst nochmals klargestellt, dass die Einwirkung auf einen Körper in der Physik mit dem Begriff der Kraft beschrieben wird, die gleichzeitig angibt, wie stark und in welche Richtung eingewirkt wird. Eine Kraft kann man sich als rasche Folge von Stößen vorstellen und Kräfte erzeugen somit Zusatzgeschwindigkeiten in Kraftrichtung. Wir beschreiben also die Einwirkungen durch Kräfte und die Bewegungsänderungen durch Zusatzgeschwindigkeiten. Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen wirkender Kraft und übertragener Zusatzgeschwindigkeit haben wir festgestellt, dass die Zusatzgeschwindigkeit in Kraftrichtung zeigt und umso größer ist, je stärker die Kraft ist und je länger sie einwirkt. Außerdem hängt die Zusatzgeschwindigkeit noch von einer Eigenschaft des Körpers ab; sie ist umso kleiner, je größer die Masse des Körpers ist. Dabei erinnert der Lehrer auch an die Versuche der letzten Stunde. Der Lehrer fordert die Klasse nun auf, diese Beziehungen nochmals in Je-desto-Sätzen zusammenzufassen und diese an der Tafel festzuhalten. Anschließend formt er diese in eine verkürzte Schreibweise unter Verwendung der jeweiligen Formelzeichen um:

(1) Richtung von Δv = Richtung von F
(2) Je größer F, desto größer Δv
(3) Je größer Δt, desto größer Δv
(4) Je größer m, desto kleiner Δv

3. Zusammenfassung in der Newtonschen Bewegungsgleichung (ca. 6 Minuten)

Im folgenden Stundenteil gibt der Lehrer zunächst das Ziel aus, die unteren drei Beziehungen in einem mathematischen Term zusammenzufassen. Dazu schreibt er ein großes Gleichheitszeichen und auf dessen linke Seite die Zusatzgeschwindigkeit Δv an die Tafel. Er betont, dass es darum geht in der Sprache der Mathematik darzustellen, wie die übertragene Zusatzgeschwindigkeit von den anderen drei Größen abhängt. Die Schüler äußern Vermutungen und der Lehrer schreibt auch eventuell falsche Versuche an die Tafel und fordert die Schüler auf diese mit den Vorhersagen der Je-desto-Sätze zu vergleichen. So sollen die Schüler selbst darauf kommen, dass ihre Darstellung so nicht korrekt ist. Um klarzumachen, dass „je größer …, desto größer …“ nicht durch ein Pluszeichen darzustellen ist, kann man erklären, dass eine doppelt so starke Kraft, auch eine doppelt so große Zusatzgeschwindigkeit bewirkt und man nur Größen gleicher Einheit addieren kann. Die Schüler nehmen nun selbstverständlich proportionale Zusammenhänge an und „basteln“ die Gleichung schließlich in die Form

$\Delta v = \frac{F \cdot \Delta t}{m}$. Nun verweist der Lehrer auf die „Schreibfaulheit“ der Physiker und fragt nach einer Möglichkeit, auch noch die erste Beziehung in der Gleichung darzustellen. Die Schüler machen den Vorschlag, die Pfeilgrößen mit Pfeilen zu versehen und das Gleichheitszeichen so zu interpretieren, dass auch die Richtungen der Pfeile übereinstimmen müssen. Somit steht schließlich die Gleichung $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ an der Tafel, die die Schüler zusammen mit den verkürzten Je-desto-Beziehungen ins Heft übernehmen.

4. Bedeutung und Interpretation der Newtonschen Bewegungsgleichung (ca. 16 Minuten)

Der Lehrer erklärt den Schülern, dass die obige Gleichung wahrscheinlich das wichtigste Gesetz der Mechanik ist und 1687 von Sir Isaac Newton erstmals veröffentlicht wurde. Ihm zu Ehren nennen wir die Gleichung die Newtonsche Bewegungsgleichung. Der Lehrer schreibt diese Bezeichnung nun als Überschrift an die Tafel und die Schüler übernehmen sie ins Heft. Der Lehrer macht darüber hinaus klar, dass die Newtonsche Bewegungsgleichung eine sehr komprimierte Form von Aussagen ist und es wichtiger ist, diese Aussagen verstanden zu haben, als nur die Formel zu kennen. Im Wesentlichen sagt sie aus: Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so erhält er eine Zusatzgeschwindigkeit in Richtung der Kraft. Diese ist umso größer, je stärker die Kraft ist, je länger sie einwirkt und je leichter der Körper ist. Um dies zu verdeutlichen startet der Lehrer nun die PAKMA-Simulation „Newtonsche Bewegungsgleichung“. Der Lehrer variiert nacheinander die Zugkraft, Einwirkungsdauer sowie die Masse und lässt die Schüler jeweils prognostizieren, wie sich die Veränderung auf die Zusatzgeschwindigkeit

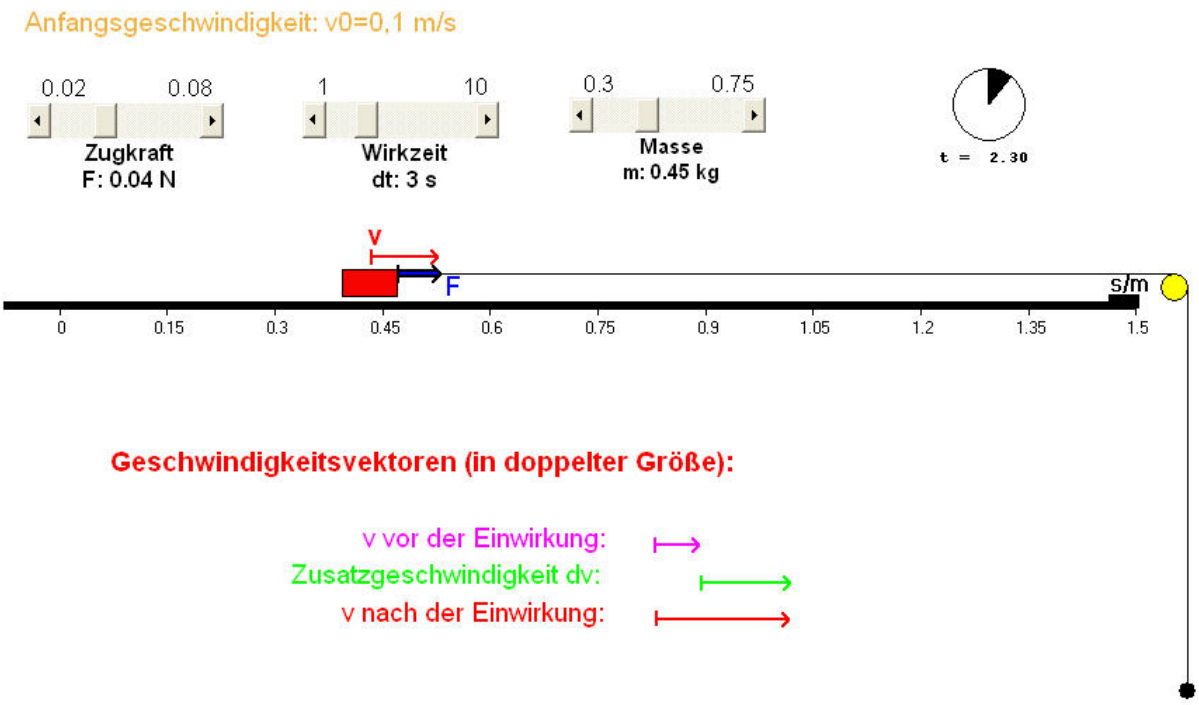


Abbildung 38: Screenshot der PAKMA-Simulation "Newtonsche Bewegungsgleichung", erstellt von T. Wilhelm

auswirken wird. Hernach lässt er die Simulation laufen und die Schüler vergleichen die Beobachtungen mit ihren Vermutungen. Dadurch kann die Aussagekraft der Gleichung nochmals verdeutlicht werden, sie gewinnt für die Schüler an Bedeutung und wird verständlicher. Nun erinnert der Lehrer daran, dass eine Zusatzgeschwindigkeit je nach Richtung das Tempo erhöhen, verringern oder die Bewegungsrichtung verändern kann. Nachdem wir nun wissen, dass eine Kraft eine Zusatzgeschwindigkeit in Kraftrichtung erzeugt, können wir diese Aussagen auf Kräfte ausdehnen. Die Schüler sollen nun die drei möglichen Fälle unterscheiden und kurz im Zusammenhang mit der Vorstellung einer Kraft als Folge von Stößen erklären. Anschließend wird festgehalten:

- Eine Kraft in Bewegungsrichtung erzeugt eine Zusatzgeschwindigkeit in Bewegungsrichtung und erhöht somit das Tempo.
- Eine Kraft gegen die Bewegungsrichtung erzeugt eine Zusatzgeschwindigkeit gegen die Bewegungsrichtung und verringert somit das Tempo.
- Eine Kraft quer zur Bewegungsrichtung ändert die Richtung der Bewegung und der Körper bewegt sich um die Kurve.

Umgekehrt stellt der Lehrer heraus, dass immer notwendigerweise eine Kraft wirken muss, wenn sich die Geschwindigkeit auf irgendeine Art und Weise verändert, egal ob der Geschwindigkeitspfeil länger, kürzer oder gedreht wird. Im Anschluss verdeutlicht der Lehrer die praktische Bedeutung der Newtonschen Bewegungsgleichung, indem er kurz zwei wichtige Anwendungsgebiete vorstellt. Er erklärt, dass die Gleichung zum einen dazu verwendet werden kann, um die Bewegung eines Körpers vorherzusagen. Er veranschaulicht an einem Begriffsnetz an der Tafel, dass man bei Kenntnis der wirkenden Kräfte, der Masse des Körpers, seine Anfangsgeschwindigkeit sowie seines Anfangsortes prinzipiell vorausberechnen kann, wie der Körper sich weiter bewegen wird, indem man aus der Kraft und der Masse die Zusatzgeschwindigkeit bestimmt, diese graphisch zur Anfangsgeschwindigkeit addiert und

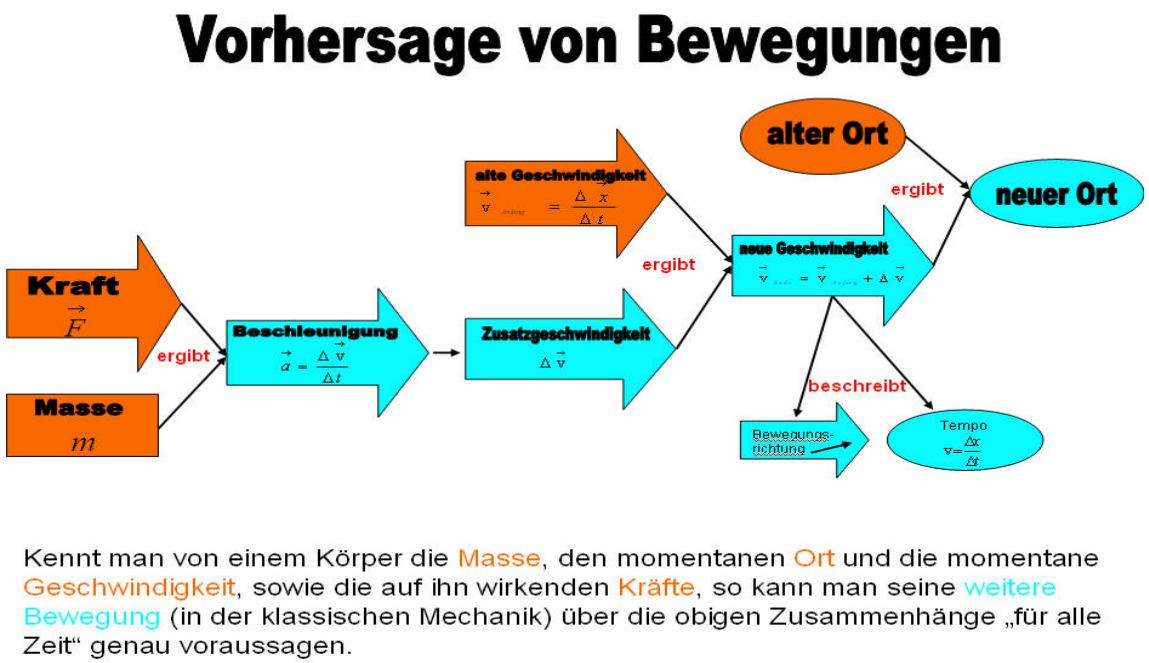


Abbildung 39: Begriffsnetz „Vorhersage von Bewegungen“, eigene Erstellung

somit die neue Geschwindigkeit erhält. Aus Anfangsort und neuer Geschwindigkeit lässt sich schließlich der neue Ort bestimmen und alles beginnt von vorne. Als motivierendes Beispiel kann der Lehrer etwa die Mondlandung nennen, bei der im Vorfeld genau berechnet werden musste, wie sich Mond und Rakete bewegen werden, um ein Treffen zu ermöglichen. Als zweite wichtige Anwendung der Newtonschen Bewegungsgleichung nennt der Lehrer den umgekehrten Fall. Wenn wir die Masse eines Körpers messen und seine Bewegung genau beobachten, können wir auf die Kräfte zurück schließen, die auf den Körper wirken und dadurch Terme zur genauen Beschreibung dieser Kräfte aufstellen. Als Beispiel nennt der Lehrer die Bestimmung der Erdanziehungskraft, indem man die Masse eines Körpers bestimmt, ihn dann fallen lässt und diese Bewegung genau vermisst. Dabei vertröstet er sie auf eine spätere Stunde, in der diese Vorgehensweise zur Bestimmung von Kräften genauer behandelt und durchgeführt werden soll.

5. Newton als abgeleitete Einheit (ca. 4 Minuten)

Abschließend soll den Schülern vermittelt werden, dass sich die Einheit der Kraft aus den Grundeinheiten Länge, Zeit und Masse ableiten lässt. Dazu ist es nötig die Newtonsche Bewegungsgleichung aus der bekannten Form umzuformen und nach der Kraft aufzulösen. Je nach Stand der Mathematikkenntnisse der Schüler macht dies mehr oder weniger Probleme. Haben die Schüler bereits gelernt, wie man Terme nach einer gewünschten Größe umstellt, wird dies an der Tafel durchgeführt und anschließend auf beiden Seiten die Einheiten eingesetzt: $F = \frac{m \cdot \Delta \mathrm{v}}{\Delta \mathrm{t}} \Rightarrow 1N = 1\frac{kg \cdot \frac{m}{s}}{s} = 1\frac{kg \cdot m}{s^2}$. Nun erklärt der Lehrer kurz, dass eine Kraft von einem Newton also genau so groß ist, dass sie einem Gewichtsstück von einem Kilogramm in einer Sekunde eine Zusatzgeschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde überträgt.

Da das Umformen von Termen beim physikalischen Rechnen von großer praktischer Bedeutung ist und im Physikunterricht häufig von Nutzen sein kann, sollte es an anderer Stelle kurz „kochrezeptartig“ erklärt werden, falls es im Mathematikunterricht noch nicht behandelt wurde. Diese Stunde ist hierfür aus Zeitgründen nicht geeignet und außerdem besteht der umzuformende Term hier aus vier Größen und eignet sich somit nicht als Einstiegsbeispiel.

6. Anwendung und Übung (ca. 6 Minuten)

Am Ende der Stunde teilt der Lehrer das Arbeitsblatt 6 aus. Je nach verbliebener Zeit wird nun die Newtonsche Bewegungsgleichung beim gemeinsamen Lösen der Aufgabe 3 angewendet und geübt. Die Schüler schlagen Lösungsansätze vor und stellen sie an der Tafel dar. Der Lehrer unterstützt sie dabei. Die Lösung der Aufgabe 2 sollen sich die Schüler als kleine Hausaufgabe überlegen.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Sozialform und Medien
1. Verbesserung der	Der Lehrer stellt die Lösung des 5. Arbeitsblattes	Die Schüler stellen bei Unklarheiten Fragen	Lehrervortrag Overheadprojektor, entspre-

Hausaufgabe 5 min	anhand einer Folie vor und beantwortet Fragen.		chende Folie „Verbesserung Arbeitsblatt 5“
2. Wiederholung 8 min	Der Lehrer stellt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde zusammen und bezieht dabei die Schüler ein. Der Lehrer schreibt diese Beziehungen in verkürzter Schreibweise um und verwendet dabei die Formelzeichen der entsprechenden Größen.	Die Schüler beantworten die Fragen des Lehrers Die Schüler fassen die Zusammenhänge zwischen Zusatzgeschwindigkeit und Kraft, Einwirkungsdauer, Masse in Je-desto-Sätzen zusammen.	Unterrichtsgespräch Tafel
3. Zusammenfassung zur Newtonschen Bewegungsgleichung 6 min	Der Lehrer gibt das Ziel aus, die Beziehungen in einem mathematischen Term zusammenzufassen und unterstützt die Schüler dabei mit Tipps. Er weist durch kritische Fragen auf Fehler hin.	Die Schüler machen Vorschläge und prüfen deren Zulänglichkeit anhand der Je-desto-Beziehungen.	Unterrichtsgespräch Tafel
4. Bedeutung und Interpretation der Newtonschen Bewegungsgleichung 16 min	Der Lehrer betont die Bedeutung der Gleichung und führt die Bezeichnung Newtonsche Bewegungsgleichung ein. Der Lehrer verdeutlicht die Aussagen der Newtonschen Bewegungsgleichung mit der gleichnamigen PAKMA-Simulation und variiert die Größen F, dt und m. Der Lehrer stellt die je nach Richtung unterschiedlichen Auswirkungen einer Kraft auf die Geschwindigkeit heraus und hält diese an der Tafel fest. Der Lehrer stellt die beiden Anwendungsgebiete der Newtonschen Bewegungsgleichung zur Vorhersage von Bewegungen	Die Schüler stellen Vermutungen über die Auswirkungen dieser Veränderungen an und vergleichen diese mit ihren Beobachtungen.	Lehrervortrag Unterrichtsgespräch Computer mit PAKMA-Simulation „Newtonsche Bewegungsgleichung“, Beamer Unterrichtsgespräch Tafel Lehrervortrag Tafel, Begriffslandschaft

	und zur näheren Bestimmung von Kräften kurz vor.		
5. Newton als abgeleitete Einheit 4 min	Der Lehrer löst die Newtonsche Bewegungsgleichung nach der Kraft auf und bezieht dabei die Schüler mit ein. Der Lehrer fragt die Schüler nach den entsprechenden Einheiten, setzt diese ein und zeigt somit auf, wie sich das Newton aus den Basiseinheiten ableitet.	Die Schüler machen Vorschläge für die Vorgehensweise zum Umstellen der Gleichung. Die Schüler nennen die Einheiten der jeweiligen Größen.	Unterrichtsgespräch Tafel
6. Anwendung, Übung und Hausaufgabe 6 min	Der Lehrer teilt das Arbeitsblatt 6 aus und unterstützt die Schüler bei der Bearbeitung von Aufgabe 3. Der Lehrer stellt die Hausaufgabe.	Die Schüler schlagen Lösungsansätze vor und stellen sie an der Tafel dar.	Unterrichtsgespräch Arbeitsblatt 6 Tafel und Overhead

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Die Hausaufgabe wurde insgesamt gut gelöst und das selbständige Anwenden des „Pfeilmodells“ trug viel zum Verständnis der Schüler bei. Die Schüler schienen nun die Probleme „Bestimmung der Zusatzgeschwindigkeit bei bekannter Anfangs- und Endgeschwindigkeit“ und „Bestimmung der Endgeschwindigkeit bei bekannter Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit“ besser unterscheiden und lösen zu können.

Bei der Wiederholung wurden die Je-desto-Sätze ohne Probleme von den Schülern genannt und erläutert. Außerdem schienen sie verstanden zu haben, dass jegliche Geschwindigkeitsänderung einer Kraft bedarf. Auf die Frage, ob auf ein ausrollendes Auto eine Kraft wirke, antworten sie ja, da die Luftteilchen ständig gegen das Auto stoßen. Die Suche nach einem „Stoßpartner“, von dem die Kraft ausgeht, zeigte sich also als ein nützliches Konzept.

Größere Probleme machte dagegen die Umsetzung der Je-desto-Beziehungen in eine physikalische Formel. Die Schüler hatten bis auf die Definition von Tempo und Beschleunigung noch kaum Kontakt mit physikalischen Formeln. Ihnen war zunächst nicht klar, warum es $F \cdot \Delta t$ und nicht $F + \Delta t$ heißen muss. Dabei war es hilfreich konkrete Zahlenbeispiele zu verwenden und klarzumachen, dass eine doppelte Kraft stets eine doppelte Zusatzgeschwindigkeit bewirkt und dies bei der Addition nicht gewährleistet ist. Hilfreich war auch immer die Kontrolle anhand der Je-desto-Beziehungen, sodass die Schüler schließlich doch auf die richtige Form kamen. Die Aussage über die Richtungen durch Pfeile über den Pfeilgrößen darzustellen, schien für die Schüler wenig problematisch, da sie ja bereits wussten, dass Zusatzgeschwindigkeitspfeil und Kraftpfeil in die gleiche Richtung zeigen.

Bei der Interpretation leistete die PAKMA-Simulation wiederum wertvolle Dienste. Die Simulation zeigte anschaulich, dass eine doppelte Kraft oder Einwirkungsdauer, den Zusatzgeschwindigkeitspfeil wirklich doppelt so lang macht und die Gleichung die „simulierte Realität“ gut vorhersagt.
Das Beispiel, die Bewegung von Mond und Rakete vorausberechnen zu können, um die Rakete auf den Mond zu schicken, motivierte die Schüler und sie konnten die grundlegende Bedeutung dieser Gleichung erahnen.
Außerdem war es wichtig am Ende der Stunde ein konkretes, motivierendes Beispiel zur Verwendung der Gleichung zu berechnen, die somit an Bedeutung und Anschaulichkeit gewann.

5.2.10 Stunde 10 - Vertiefungs- und Übungsstunde zur Newtonschen Bewegungsgleichung

In dieser Stunde soll die Newtonsche Bewegungsgleichung zunächst vertieft und in die im Lehrplan geforderte Form $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ umgeformt werden. Im Hauptteil der Stunde wird die Newtonsche Bewegungsgleichung angewendet, um interessante Aufgabenbeispiele zu behandeln.

a) Ziele der Stunde

- Die Schüler sollen die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ kennen und interpretieren können.
- Den Schülern soll bewusst werden, dass ein schwerer Körper bei gleicher Kraft weniger stark beschleunigt wird und die Masse eines Körpers auch als eine Art „Widerstand gegen Geschwindigkeitsänderungen“ verstanden werden kann.
- Die Schüler sollen wissen, dass bei einer Kreisbewegung stets eine Kraft in Richtung Kreismittelpunkt wirken muss.
- Die Schüler sollen in der Lage sein die Newtonsche Bewegungsgleichung anzuwenden, um einfache Aufgaben rechnerisch und zeichnerisch zu lösen und ansprechend darzustellen.
- Die Schüler sollen die Bedeutung des Sicherheitsgurtes erfassen und mit der Newtonschen Bewegungsgleichung begründen können.

b) Sachanalyse

Die physikalischen Hintergründe dieser Stunde wurden bereits im Zusammenhang mit den vorherigen Stunden erläutert.

c) Verlaufsplan

1. Wiederholung und Verbesserung der Hausaufgabe (ca. 7 Minuten)

Im ersten Teil der Stunde werden die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde im Unterrichtsgespräch wiederholt. Die Newtonsche Bewegungsgleichung wird in der Form

$\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ angeschrieben und nochmals klargestellt, dass sie die Aussagen aller vier Jedesto-Beziehungen in komprimierter Form enthält. Außerdem werden kurz die möglichen Anwendungen und die Bedeutung der Gleichung genannt. Es wird knapp wiederholt, wie sich die Einheit Newton aus den Basiseinheiten ableitet. Anschließend wird die Aufgabe 2 des Arbeitsblattes besprochen und dabei aufgezeigt, dass sich die Masse eines Körpers auch als Widerstand gegen Geschwindigkeitsänderungen zeigt und nicht nur mit einer Waage bestimmt werden kann. Demnach zeigt sich der massereichere Körper darin, dass er bei gleicher Kraft seine Geschwindigkeit weniger ändert als ein Körper geringerer Masse.

2. Die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ (ca. 6 Minuten)

Im Anschluss daran soll die Newtonsche Bewegungsgleichung in die Form $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ umgeschrieben werden. Der Lehrer erklärt den Schülern dazu, dass es oft praktischer ist mit der Beschleunigung statt mit der Zusatzgeschwindigkeit zu arbeiten, fragt die Schüler nach der Definition der Beschleunigung $\vec{a} := \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, schreibt sie an die Tafel und erinnert an deren Interpretation. Nun fordert er die Schüler auf nach einer Möglichkeit zu suchen, die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ so umzuformen, dass sie die Definition der Beschleunigung enthält. Die Schüler erkennen, dass dazu nur das „Δt“ auf die linke Seite der Gleichung gebracht werden muss und der Lehrer räumt eventuelle Unklarheiten durch Erinnerung an den „mathematischen Trick“ beim umstellen von Termen aus. Nun erkennen die Schüler die Identität der linken Seite mit der Definition der Beschleunigung und der Lehrer hält diese an der Tafel fest: $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{F}}{m}$. Der Lehrer erklärt den Schülern, dass dies eine gleichwertige Darstellung der Newtonschen Bewegungsgleichung ist und die Schüler je nach Anwendung die Nützlichere auswählen sollen. Er verdeutlicht ihre Interpretation, indem er klarstellt, dass eine Kraft eine Beschleunigung in Kraftrichtung verursacht, die umso größer ist, je größer die Kraft und je kleiner die Masse des Körpers ist. Der Körper wird genau solange beschleunigt, wie die Kraft wirkt, und erhält dabei insgesamt eine Zusatzgeschwindigkeit von $\Delta \vec{v} = \vec{a} \cdot \Delta t$, die also umso größer ist, je länger die Kraft gewirkt hat und der Körper somit beschleunigt wurde. Als Beispiel erwähnt der Lehrer, dass die gleiche Kraft bei einem schwereren Körper also eine kleinere Beschleunigung bewirkt und der Smart in dem Videoclip das Rennen trotz kleinerer Motorkraft deshalb gewonnen hat, weil der Ferrari eine viel größere Masse hatte.

3. Kräfte auf Kurvenbahnen (ca. 4 Minuten)

Abbildung 40: Schleuderball, eigene Aufnahme

In diesem Teil der Stunde soll nochmals kurz an die Stunde über Kurvenfahrten angeknüpft werden. Der Lehrer erinnert daran, dass ein Körper stets quer zur Fahrtrichtung in Richtung Kurveninneres gestoßen werden musste, um ihn auf einer Kreisbahn zu halten und fordert die Schüler auf dieses Ergebnis im Zusammenhang mit der neuen Größe „Kraft“ zu interpretieren. Da sie sich eine Kraft als rasche Folge von Stößen vorstellen, erkennen die Schüler, dass bei einer Kreisbewegung stets eine Kraft in Richtung Kreismittelpunkt wirken muss, um den Körper um die Kurve zu „zwingen“. Der Lehrer erinnert daran, dass diese Kraft umso größer sein muss, je enger die Kurve und je höher das Tempo des Körpers ist. Abschließend veranschaulicht er die Notwenigkeit einer Kraft nochmals an einem kleinen Demonstrationsexperiment. Er schleudert dazu einen an einer Schnur befestigten Tennisball im Kreis herum und erklärt den Schülern, dass er den Ball stets nach innen ziehen muss. Dies verdeutlicht er damit, dass er den Ball plötzlich loslässt, somit aufhört eine Kraft in Richtung Kreisinneres auszuüben und der Ball deshalb geradlinig durchs Klassenzimmer fliegt.

4. Anwendung und Übung der Newtonschen Bewegungsgleichung (ca. 28 Minuten)

Der Rest der Stunde soll nun dazu verwendet werden, die Newtonsche Bewegungsgleichung beim Lösen interessanter Aufgaben anzuwenden. Dazu wird zunächst die Aufgabe 1 „Sinn des Sicherheitsgurtes im Auto“ gemeinsam im Unterrichtsgespräch besprochen und diskutiert. Dabei sollen die Schüler aufgefordert werden Lösungsvorschläge zu machen und an der Tafel darzustellen. Dabei kann es didaktisch sinnvoll sein, auch einen falschen Ansatz zunächst zu akzeptieren und anschließend zur Diskussion zu stellen. Die Aufgabe 4 „Kräfte beim Kopfball“ sollen die Schüler in Partnerarbeit bearbeiten. Anschließend werden die Lösungen vorgestellt und verglichen. Je nach verbliebener Zeit besteht die Möglichkeit die Aufgabe 6 „Wildwechsel“ als Hausaufgabe zu stellen, sie in Stillarbeit oder in Partnerarbeit im Unterricht lösen zu lassen. Aufgrund der geringen Erfahrung im Lösen physikalischer Rechenaufgaben ist bei der Darstellung der Lösungen wiederum darauf zu achten, dass die bekannten und gesuchten Größen zu Beginn angegeben werden, zunächst ein Ansatz formuliert wird und anschließend korrekt mit den Einheiten gerechnet wird. Am Ende der Stunde teilt der Lehrer wiederum eine Zusammenfassung mit den wichtigsten Erkenntnissen im Zusammenhang mit der Newtonschen Bewegungsgleichung aus.

d) Unterrichtsskizze

Zeit/Phase	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Sozialform und Medien
1. Wiederholung und Verbesserung der Hausaufgabe 7 min	Der Lehrer wiederholt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde im Unterrichtsgespräch. Der Lehrer fordert die Schüler auf ihre Ergebnis-	Die Schüler beantworten die Fragen des Lehrers. Die Schüler nennen ihre Lösungen zur Hausaufga-	Unterrichtsgespräch

	se der Hausaufgabe vorzutragen.	be und stellen Fragen.	
2. Die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form a=F/m 6 min	Der Lehrer erinnert an die Definition der Beschleunigung und teilt den Schülern mit, dass es oft praktischer ist mit der Beschleunigung zu arbeiten. Der Lehrer unterstützt die Schüler bei der Umformung der Bewegungsgleichung in die gewünschte Form. Der Lehrer deutet die Bewegungsgleichung im Zusammenhang mit der Beschleunigung und nennt ein Beispiel.	Die Schüler nennen Definition und Einheit der Beschleunigung. Die Schüler überlegen, wie sich die Beschleunigung in die Bewegungsgleichung einfügen lässt und äußern Vermutungen. Die Schüler halten die zweite Form der Bewegungsgleichung im Heft fest.	Unterrichtsgespräch Tafel
3. Kräfte auf Kurvenbahnen 4 min	Der Lehrer vermittelt den Schülern, dass auf einer Kurvenbahn stets eine Kraft in Richtung Kurveninneres wirken muss und veranschaulicht dies am Demonstrationsexperiment „Schleuderball“	Die Schüler überlegen, wie sich die Ergebnisse zu Kurvenfahrten mit dem Konzept der Kraft verknüpfen lassen.	Unterrichtsgespräch Demonstrationsexperiment „Schleuderball“ Tennisball an Schnur befestigt
4. Anwendung und Übung der Newtonschen Bewegungsgleichung 28 min	Der Lehrer legt das Arbeitsblatt 6 als Folie auf und unterstützt die Schüler beim Lösen der Aufgabe 1. Er regt die Diskussion an, stellt Fragen und achtet auf korrekte Darstellung der Lösung. Der Lehrer fordert die Schüler auf die Aufgabe 4 und evtl. Aufgabe 6 in Partnerarbeit zu lösen und bespricht sie im Anschluss. Der Lehrer stellt die Hausaufgabe und teilt die Zusammenfassung zur Newtonschen Bewegungsgleichung aus.	Die Schüler überlegen sich Lösungsansätze, stellen diese an der Tafel dar und diskutieren darüber. Die Schüler bearbeiten Aufgabe 4 (und evtl. 6) in Partnerarbeit und stellen ihre Lösungen anschließend vor.	Unterrichtsgespräch Overhead Tafel Partnerarbeit Unterrichtsgespräch Tafel Zusammenfassendes Arbeitsblatt

e) Unterrichtserfahrung und Fazit

Die Schüler schienen die Aussagen der Newtonschen Bewegungsgleichung verstanden zu haben, jedoch brauchte es noch etwas Gewöhnungszeit und Erfahrung um sicher mit der komprimierten Darstellung als mathematischem Term umzugehen. Ihnen war in der Hausaufgabe anschaulich klar, dass die volle Coladose bei gleicher Kraft langsamer davon fliegen würde als die leere und sie waren in der Lage, dieses Ergebnis zu verallgemeinern. Die Interpretation der Newtonschen Bewegungsgleichung in der Form $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ machte Probleme, da die Schüler auch mit dem Beschleunigungsbegriff selbst noch nicht ausreichend vertraut waren. Dagegen erfassten sie schnell, dass bei einer Kreisbewegung stets eine Kraft in Richtung Kreismittelpunkt wirken muss. Hierbei zeigten sich wiederum die Vorstellung einer Kraft als rasche Folge von Stößen in Kraftrichtung und die Erfahrungen aus der Übung als hilfreich.

Das Lösen physikalischer Aufgaben bereitete der Mehrzahl der Schüler Freude und sie zeigten großes Engagement und Interesse an den ausgewählten Themen. Diese Übungsstunde brachte den Schülern einige Erfahrung im Lösen physikalischer Aufgaben, auf die bei anderen Themen zurückgegriffen werden kann. Jedoch sollten Rechenaufgaben auch im weiteren Verlauf eher selten eingesetzt und dafür hauptsächlich qualitativ argumentiert werden. In diesem Sinne sollte diese Stunde mit vielen Rechenaufgaben eine Ausnahme bleiben, die sich mit den vielen interessanten Anwendungsbeispielen und der großen Bedeutung der Newtonschen Bewegungsgleichung begründen lässt.

6 Kurzevaluation des Unterrichtskonzeptes

Im Anschluss an die praktische Erprobung des entwickelten Unterrichtskonzepts stand die Frage, inwieweit der Unterricht die gewünschten Einsichten tatsächlich vermitteln konnte und ob es daher prinzipiell empfehlenswert ist, auf die beschriebene Weise zweidimensional in die Mechanik einzuführen.

6.1 Bemerkungen zur Klassensituation und den äußeren Umständen

Das Unterrichtskonzept wurde in einer 7. Klasse des achtjährigen Gymnasiums in Bayern gehalten und umfasste zehn Schulstunden. In der Klasse befanden sich 33 Schüler, darunter 15 Mädchen und 18 Jungen. Die Klasse kann insgesamt als motiviert und interessiert bezeichnet werden und stand dem neuen Unterrichtskonzept positiv gegenüber. Aus Äußerungen der Lehrer von Parallelklassen war ersichtlich, dass die Schüler sich bei ihren Mitschülern ausdrücklich positiv über den Unterricht und die eingesetzten Medien äußerten. Dies resultierte bei Teilen der Klasse in großem Engagement und der Bereitschaft, den im Vergleich zum herkömmlichen Unterricht etwas größeren Arbeitsaufwand in Kauf zu nehmen. So wurden die für das Fach Natur und Technik eher ungewöhnlichen Hausaufgaben gewissenhaft erledigt. Eine weitere positive Rückmeldung ergab sich auch durch die organisatorische Notwendigkeit in den ersten fünf Stunden die Wiederholung in Form einer mündlichen Abfrage durchzuführen, die mit einer Ausnahme allesamt sehr zufrieden stellend ausfielen. Im normalen Unterrichtsgeschehen zeigte sich etwa ein Drittel der Klasse als sehr motiviert, arbeitete aktiv mit und bereicherte den Unterricht immer wieder mit guten Beiträgen. Etwas mehr als ein Drittel der Klasse schien interessiert, blieb jedoch eher passiv und musste vom Lehrer zur Mitarbeit animiert werden. Etwa 5 bis 7 Schüler zeigten leider wenig Interesse am Physikunterricht. Insgesamt ist also zu sagen, dass die Klasse trotz ihrer recht großen Klassenstärke die Erprobung des Unterrichtskonzeptes durch ihr überdurchschnittliches Engagement und ihre Aufgeweckheit positiv beeinflusst hat. Auch der abschließende Test wurde mit großem Ehrgeiz und keinesfalls gleichgültig durchgeführt.

Zudem wurde die Erprobung des Unterrichtskonzeptes durch die umfassende Unterstützung durch die Fachschaft vor Ort erleichtert. So wurden beispielsweise bereitwillig Medien wie Laptop und Videobeamer bereitgestellt oder Räumlichkeiten getauscht.

Aus organisatorischen Gründen war es notwendig, die Reihenfolge der Stoffgebiete so zu wählen, dass die Mechanik direkt nach der Optik behandelt wurde und die Elektrizitätslehre das Schuljahr abschließt. Dies ist durch die offene Gestalt des neuen Lehrplans ohne Probleme möglich. Da die Schüler in der Optik jedoch noch keine Erfahrungen mit physikalischen Formeln und im physikalischen Rechnen sammeln konnten, sondern optische Phänomene lediglich qualitativ untersucht hatten, konnte im Mechanikunterricht auf weniger Grundlagen zurückgegriffen werden, als dies im Anschluss an die Elektrizitätslehre der Fall gewesen wäre.

6.2 Fragestellung der Untersuchung und Umsetzung im Fragebogen

Die abschließende Untersuchung sollte die Frage beantworten, ob das Unterrichtskonzept die intendierten Einsichten und Erfolge bewirkte und ob es prinzipiell möglich beziehungsweise empfehlenswert ist, die Einführung in die Mechanik bereits in der 7. Jahrgangsstufe zweidimensional und unter Betonung des Richtungscharakters physikalischer Größen durchzuführen.

Ein weiteres Ziel der Arbeit war es bei den Schülern durch den Einsatz motivierender Medien und die Behandlung alltagsnaher Anwendungen die Freude an der Physik und das Interesse an ihren Fragestellungen zu wecken, zu vertiefen oder zumindest zu erhalten. Die Überprüfung dieses Ziels konnte nicht auch noch durch einen Fragebogen erfolgen und ist daher eher subjektiv. Jedoch sprechen das oben genannte große Engagement und die positiven Äußerungen der Schüler zumindest für eine teilweise Umsetzung dieses Ziels.
Die fachlichen Ziele sollten anhand eines Fragebogens überprüft werden, in dem die wichtigsten physikalischen Vorstellungen anhand von Multiple-Choice-Aufgaben getestet wurden. Um das Verständnis der Richtungsabhängigkeit physikalischer Größen zu testen, sollten die Schüler in einigen Aufgaben auch Pfeile einzeichnen. Die Aufgaben lassen sich nach den zu überprüfenden Lernzielen grob in Gruppen einteilen, wurden im Test jedoch bewusst nicht thematisch geordnet abgefragt. Die thematischen Gruppen beziehen sich auf die Lernziele Definition des Tempos, Verständnis der physikalischen Geschwindigkeit als Richtungsgröße und Geschwindigkeit in Kurven, Geschwindigkeitsänderungen und Zusatzgeschwindigkeit, Beschleunigung als Richtungsgröße, Zusammenhang von Stoß und Bewegungsänderung sowie Kraft und Newtonsche Bewegungsgleichung.[1] Die Schüler hatten für den Test eine Schulstunde von 45 Minuten Zeit und sollten somit auf keinen Fall unter Zeitdruck leiden. Die meisten Schüler waren jedoch bereits nach 30 bis 35 Minuten fertig.
Der Test wurde genau drei Wochen nach der letzten Schulstunde gestellt. Jedoch war den Schülern der Termin aus organisatorischen Gründen bekannt und viele Schüler wiederholten deshalb die Inhalte Tags zuvor noch mal im Hinblick auf den Test. Außerdem waren einige Aufgaben recht nahe am Unterrichtsgeschehen ausgerichtet oder wurden in ähnlicher Form auf einem Arbeitsblatt gestellt. Eine Reihe anderer Aufgaben können jedoch auch als neu eingestuft werden. Dies muss man bei der Einschätzung der Ergebnisse berücksichtigen. Nicht nur aus diesem Grund wären weitere Untersuchungen der Klasse zu einem späteren Zeitpunkt sehr aufschlussreich. So ließe sich feststellen, ob die nachgewiesenen Grundeinsichten auch von Dauer waren und den Schülern auch in höheren Klassen zu einem besseren Vektorverständnis verhelfen. Da das Unterrichtskonzept in der 7. Jahrgangsstufe nur eine erste Einführung in die vektorielle Sichtweise der Newtonschen Mechanik und damit die Erzeugung qualitativer Grundeinsichten liefern konnte, wäre es unbedingt nötig diese Sichtweise in höheren Jahrgangsstufen aufzugreifen und zu erweitern, beziehungsweise entsprechend zu vertiefen. So ist es aus meiner Sicht nicht sinnvoll, dass beim Wideraufgreifen der Thematik in der 9. Jahrgangsstufe im bayrischen Lehrplan ausdrücklich von der „Kinematik und Dynamik **geradliniger Bewegungen**“ die Rede ist. Aus Sicht der positiven Ergebnisse bei der zweidimensionalen Einführung in die Mechanik wäre es wünschenswert, diese sowohl in der 9. Jahrgangsstufe als auch in der 10. Jahrgangsstufe beim Thema „Die Mechanik Newtons“ entsprechend auszubauen und geradlinige Bewegungen nur als wichtigen und einfach zu berechnenden Spezialfall zu behandeln.

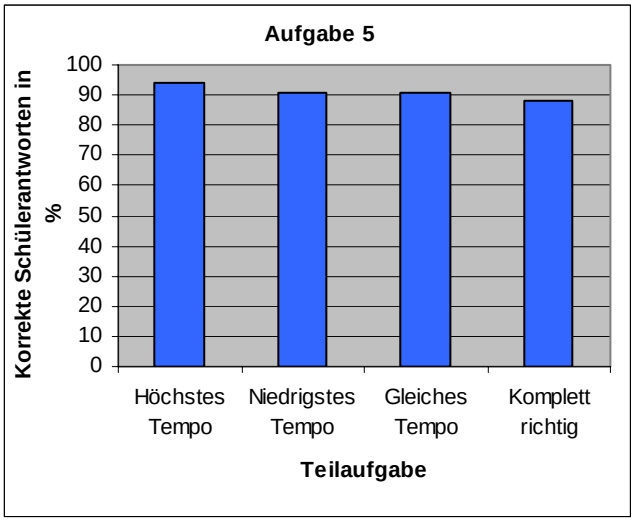
[1] Auf der beigefügten DVD ist nicht nur die Endversion des Fragebogens, sondern unter „Aufgaben zum Fragebogen thematisch“ auch eine thematisch geordnete Version mit zusätzlichen, nicht verwendeten Aufgaben beigefügt.

6.3 Ergebnisse der Untersuchung

Insgesamt ist zu sagen, dass der Test ausgesprochen gut ausgefallen ist. Auch wenn man berücksichtigt, dass die Fragen teilweise nah am Unterrichtsgeschehen ausgerichtet waren und viele Schüler das Stoffgebiet am Tag vor dem Test nochmals kurz wiederholten, lässt sich doch deutlich feststellen, dass bei einem Großteil der Schüler die gewünschten physikalischen Grundeinsichten erzeugt wurden. Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Aufgaben thematisch geordnet dargestellt werden. Die entsprechenden Aufgaben sind im Fragebogen im Anhang nachzulesen.

a) Aufgaben zum Lernziel „Definition des Tempos“

Zum Lernziel „Definition des Tempos“ sollten die Schüler wissen, dass das Tempo als Quotient aus dem zurückgelegten Weg und der dafür benötigen Zeit definiert ist und ein schnellerer Körper somit entweder in der gleichen Zeit einen größeren Weg (entspricht Aufgabe 5 – „Verkehrsüberwachung“) oder den gleichen Weg in kürzerer Zeit zurücklegt (entspricht Aufgabe 10 - „Wer ist schneller?“). Beide Aufgaben wurden von den Schülern sehr gut gelöst. Bei der Aufgabe 5 mussten die Schüler aus drei Momentaufnahmen, die zeitlich um eine Sekunde versetzt waren, auf das Tempo der Fahrzeuge zurück schließen und somit realisieren, dass die Fahrzeuge umso schneller sind, je weiter ihre Positionen auseinander liegen. Diese Aufgabe wurde von 88% der Schüler vollständig richtig gelöst, 93% identifizierten das schnellste Fahrzeug, je 91% das langsamste und die beiden gleich schnellen.



Bei der als sehr leicht einzuordnenden Aufgabe 10 mussten die Schüler wissen, dass dasjenige Auto schneller ist, welches in der gleichen Zeit durch den längeren Tunnel fährt. Diese Aufgabe lösten 97% der Schüler ohne Probleme.

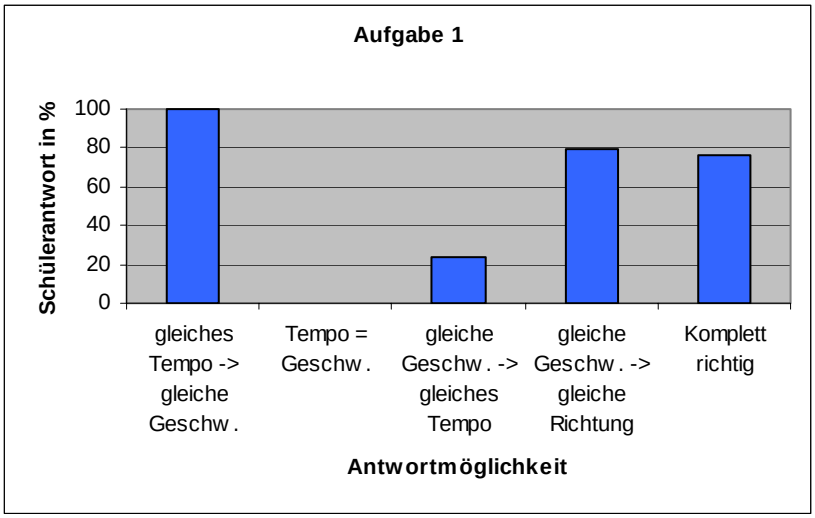
Die Schüler haben also gut verstanden, wie man das Tempo zweier Körper vergleichen kann.

b) Aufgaben zum Lernziel „Physikalische Geschwindigkeit als Richtungsgröße, Geschwindigkeit in Kurven“

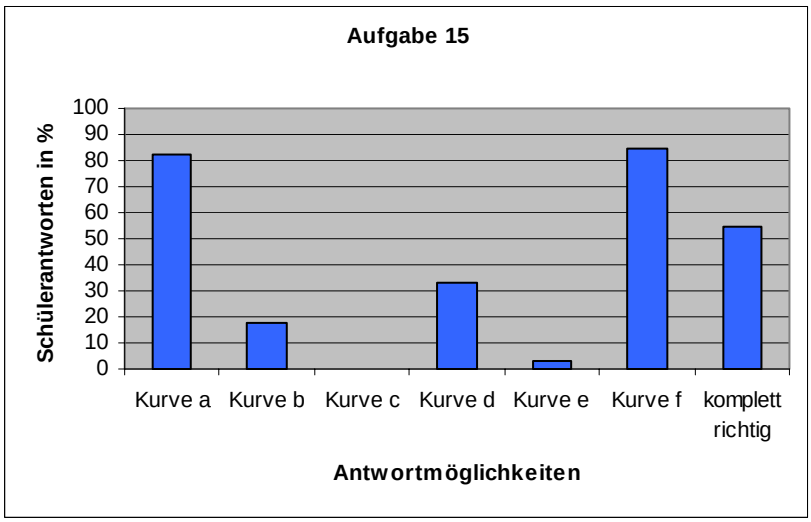
Das Lernziel „Physikalische Geschwindigkeit als Richtungsgröße“ wurde in den Aufgaben 1, 15 und 20 überprüft. Die Schüler sollten dabei wissen, dass die Geschwindigkeit gleichzeitig Tempo und Bewegungsrichtung eines Körpers angibt, durch einen Pfeil dargestellt werden kann und sich somit durch Tempo- **und** Richtungsänderungen verändert.

In der Aufgabe 1 ging es darum die Begriffe Tempo und Geschwindigkeit gegeneinander abzugrenzen. 100% der Schüler waren der Meinung, dass sich ein Körper mit gleichem Tempo, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen kann und Tempo und Geschwindigkeit nicht das gleiche sind. Jedoch stimmten nur 79% der Schüler der Aussage zu, dass die

Geschwindigkeit gleichzeitig die Bewegungsrichtung festlegt. 24% der Schüler glaubten fälschlicher Weise, dass zwei Körper sich mit gleicher Geschwindigkeit, aber unterschiedlichem Tempo bewegen könnten. Somit lösten insgesamt 76% der Schüler diese Aufgabe im Sinne eines physikalischen Geschwindigkeitsverständnisses.

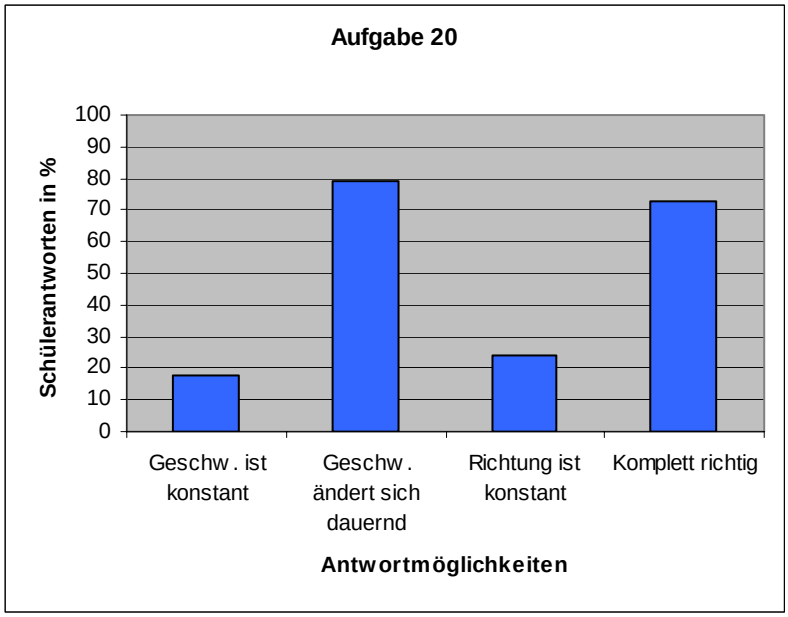


In Aufgabe 15 mussten die Schüler unter 6 Kurven diejenigen aussuchen, bei denen ein Auto prinzipiell mit der gleichen physikalischen Geschwindigkeit herausfahren kann, mit der es hinein fuhr. Das bedeutet letztendlich die Kurven zu finden, bei denen das Fahrzeug in der gleichen Richtung hinaus- wie hereinfährt. Die beiden richtigen Kurven a und f wurden von einem Großteil der Schüler (82% bzw. 85%) als richtig erkannt. Jedoch kreuzten einige Schüler auch Kurven an, bei denen das Auto genau in der entgegengesetzten Richtung herausfahren muss. So wählten 18% die Kurve b und sogar 33% die Kurve d fälschlicherweise als korrekt aus. Es ist zu vermuten, dass diese Schüler einen falschen Richtungsbegriff verinnerlicht haben, bei dem Bewegungen die diametral entgegen gerichtet sind, die Geschwindigkeit also „nur“ ein anderes Vorzeichen hat, als gleichgerichtet eingestuft werden. Dies bedeutet, diese Schüler können durchaus verinnerlicht haben, dass die Geschwindigkeit Tempo und Richtung gleichzeitig beschreibt, sie kommen jedoch aufgrund ihres falschen Richtungsbegriffes zu falschen Ergebnissen. Warum die beiden Kurven b und d für diese Schüler unterschiedlich attraktiv erschienen, ist auf diese Weise jedoch nicht zu erklären. Die Kurven c und e wurden nur von 0% beziehungsweise 3% der Schüler angekreuzt, da hier die Richtungsänderung eindeutig war. Insgesamt haben diese Aufgabe 55% der Schüler komplett richtig gelöst.



Aufgabe 20 untersuchte, ob die Schüler bei einer Kreisbewegung das konstante Tempo von der sich permanent ändernden Geschwindigkeit unterscheiden konnten und die Kreisbewegung somit nicht als Bewegung mit konstanter Richtung „immer im Kreise herum“ missverstanden. 79% der Schüler waren der Meinung, dass sich die Geschwindigkeit dauernd ändert, obwohl das Tempo konstant ist. 18% meinten dagegen, dass sich die Geschwindigkeit des

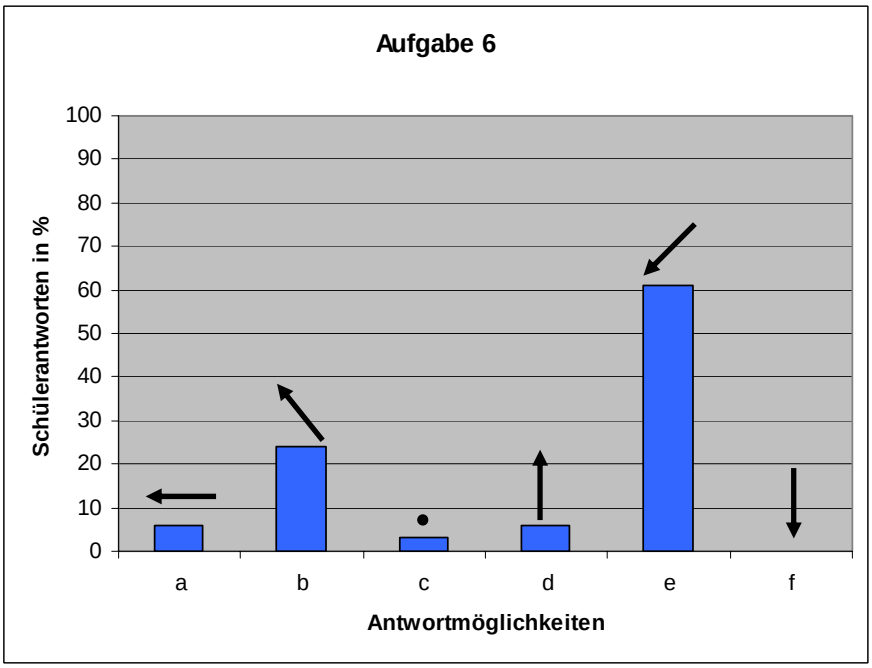
Autos nicht ändert und 24% glaubten, dass die Bewegungsrichtung immer die gleiche ist. 6% kreuzten somit zwar richtig an, dass sich die Geschwindigkeit dauernd ändert, zeigten jedoch durch die gleichzeitige Wahl einer konstanten Bewegungsrichtung bei konstantem Tempo, dass sie den Geschwindigkeitsbegriff nicht verstanden haben. 73% lösten die Aufgabe komplett richtig.



Die Aufgaben 4 und 17 untersuchten auf sehr ähnliche Weise, ob die Schüler verstanden hatten, dass sich ein Körper auf einer Kreisbahn nach dem Ende der Einwirkung geradlinig weiterbewegt und dass die Geschwindigkeit auf Kurvenbahnen stets tangential ausgerichtet ist. Beide Aufgaben wurden durchgehend sehr gut gelöst. Bei der vermeintlich schwereren Aufgabe 4 fanden 94% der Schüler die richtige Lösung, bei Aufgabe 17 sogar 97%. Den Schülern war also im Unterricht klar geworden, dass einem Körper die Kreisbewegung nicht „eingeimpft“ ist, sondern er sich sofort nach Ende der Einwirkung in Richtung Kreismittelpunkt geradlinig und tangential weiterbewegt.

c) Aufgaben zum Lernziel „Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit“

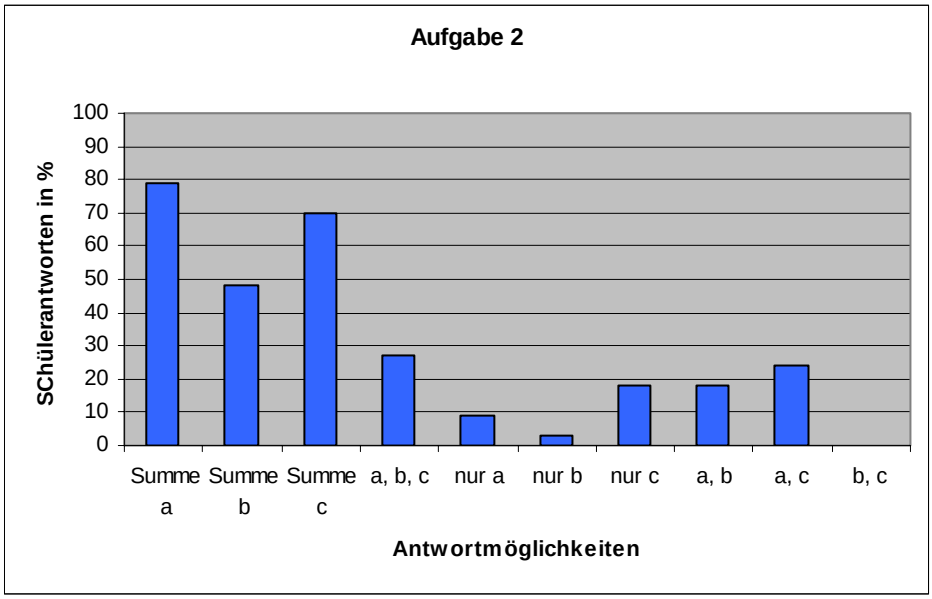
Das Lernziel „Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit“ wurde in den Aufgaben 6 und 9 überprüft. Die Schüler sollten dabei zeigen, dass sie einerseits bei bekannter Anfangs- und Endgeschwindigkeit die Geschwindigkeitsänderung durch einen grafisch ermittelten Zusatzgeschwindigkeitspfeil darstellen können und andererseits bei bekannter Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit die Endgeschwindigkeit ermitteln können. Wichtig ist auch zu überprüfen, ob die Schüler die beiden Fälle, die sozusagen der grafischen Subtraktion $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{Ende} - \vec{v}_{Anfang}$ und



Addition $\vec{v}_{Ende} = \vec{v}_{Anfang} + \Delta\vec{v}$ von Vektoren entsprechen, zweckmäßig unterscheiden können. In Aufgabe 6 ging es darum den Zusatzgeschwindigkeitsvektor auszuwählen, der die Geschwindigkeitsänderung des Mondes in 7 Tagen beschreibt, was also dem ersten Fall entspricht. 61% der Schüler lösten diese schwere Aufgabe korrekt und ermittelten den richtigen Pfeil e) meist durch grafische Subtraktion der beiden Geschwindigkeitspfeile auf die behandelte Weise. 24% der Schüler waren fälschlicherweise der Meinung, Pfeil b) beschreibe die Zusatzgeschwindigkeit am besten, der eher in Richtung der Ortsänderung $\Delta\vec{x}$ zeigt. Die restlichen Antworten a), c), und d) waren mit 6%, 3% und 6% etwa gleich unattraktiv. Kein Schüler hielt Antwort f) für richtig. Durch die ausführliche Behandlung der Hilfsgröße „Zusatzgeschwindigkeit“ als Maß für die vektorielle Änderung der Geschwindigkeit fiel diese Aufgabe (wie unter 6.4 genauer belegt) den Schülern deutlich einfacher als älteren Schülern, in deren Unterricht mehr Wert auf die Beschleunigung gelegt wird, obwohl die mittlere Beschleunigung bei dieser Aufgabe ebenfalls auf die korrekte Richtung führen würde.
In Aufgabe 9 ging es um den umgekehrten Fall. Ein Floß wird vom Wind mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorangetrieben. Die Besatzung erzeugt mit den Rudern eine Zusatzgeschwindigkeit und die Schüler sollten die resultierende Endgeschwindigkeit bestimmen und somit vorhersagen, ob das Floß die rettende Insel erreichen wird. Nun gilt es also zwei Geschwindigkeitspfeile grafisch zur resultierenden Geschwindigkeit zu addieren. 76% der Schüler lösten die Aufgabe vollkommen richtig und bestimmten auf die gewünschte Weise den richtigen Endgeschwindigkeitspfeil. 21% der Schüler addierten die Geschwindigkeiten nicht korrekt und 3% der Schüler bearbeiteten die Aufgabe erst gar nicht.
Es lässt sich also feststellen, dass ein Großteil der Schüler trotz anfänglicher Probleme im Unterricht und bei den Hausaufgaben das Lernziel „Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit“ zufrieden stellend erreicht hat.

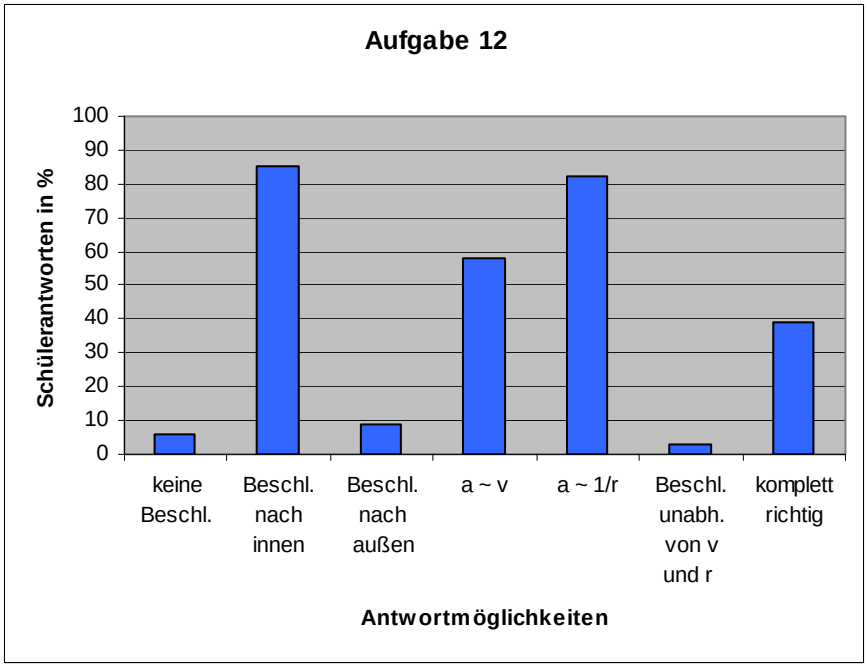
d) Aufgaben zum Lernziel Beschleunigung als Richtungsgröße

Das Verständnis der Beschleunigung als Richtungsgröße wurde in den Aufgaben 2, 7, 12 und 21 geprüft. Die Schüler sollten dabei die Definition der Beschleunigung als Geschwindigkeitsänderung pro Zeit und ihren Richtungscharakter kennen. So sollte ihnen klar sein, dass jedwede Änderung des Geschwindigkeitspfeils einer Beschleunigung entspricht und eine Beschleunigung in Bewegungsrichtung das Tempo erhöht, eine Beschleunigung gegen die Bewegungsrichtung das Tempo verringert und eine Beschleunigung quer zur Bewegungsrichtung diese verändert. Außerdem sollten die Schüler wissen, dass der Beschleunigungspfeil auf einer Kreisbahn mit konstantem Tempo in Richtung Kreismittelpunkt zeigt.
In Aufgabe 2 sollten die Schüler herausfinden, auf welche Art ein Wagen beschleunigt werden kann, ohne das Gas zu verändern. Dabei waren alle drei Antwortmöglichkeiten richtig, für die Schüler jedoch unterschiedlich attraktiv. 79% der Schüler war klar, dass das Auto bei einer Bergabfahrt schneller und somit beschleunigt wird. Diese Antwort lässt sich jedoch auch mit der Alltagsvorstellung der Beschleunigung als Schnellerwerden, erklären und lässt noch nicht auf ein physikalisches Verständnis schließen. Nur 48% der Schüler waren dagegen der Meinung, dass ein Auto bei konstantem Gas auch bergauf beschleunigt wird und erkannten somit die Verringerung des Tempos als beschleunigte Bewegung. Mit 70% erkannten



deutlich mehr Schüler, dass der Wagen auch bei einer Fahrt durch die Kurve mit konstantem Tempo beschleunigt wird. Nur 27% der Schüler hatten die Aufgabe komplett richtig gelöst und allen drei Aussagen zugestimmt. 18% der Schüler wählten nur die Kurvenfahrt als Beschleunigung aus. Dies deutet daraufhin, dass die Aufmerksamkeit der Schüler durch den Unterricht stärker auf die Beschleunigung in Kurven gerichtet wurde, eine Tempoverringerung von den Schülern jedoch alltagssprachig eher unter „Bremsen“ eingestuft wird und deshalb nicht ausgewählt wurde.

In Aufgabe 7 ging es darum, die Richtung der Beschleunigungspfeile eines Autos auf einer Rennstrecke bei vorgegebener Fahrweise einzuzeichnen. Bei der Vorgabe „schneller werden“ auf dem geraden Teilstück konnten 94% den richtigen Beschleunigungspfeil einzeichnen und wussten somit, dass dieser in Bewegungsrichtung zeigen muss. 64% der Schüler wussten wie der Beschleunigungspfeil beim Bremsen auf einem geraden Teilstück einzuzeichnen ist. Als sehr schwere Aufgabe stellte sich das Einzeichnen des Beschleunigungspfeils bei Fahrt mit konstantem Tempo durch die beiden Kurven heraus. Diese wurde nur von 18% beziehungsweise 24% richtig gelöst. Mit 58% zeichneten deutlich mehr Schüler den Beschleunigungspfeil in den Kurven jeweils tangential und somit in Richtung des Geschwindigkeitspfeiles ein. Dies überrascht, wenn man bedenkt, dass es den Schülern bei Aufgabe 16 deutlich einfacher viel, die Richtung der wirkenden Kraft einzuzeichnen und sie an anderer Stelle zeigten, dass ihnen die gleiche Richtung von Kraft und Beschleunigung bewusst war. 18% der Schüler lösten die Aufgabe vollständig richtig. In der Aufgabe 12



„Auto und Kurve“ ging es um die Beschleunigung bei einer Kurvenfahrt. Die Schüler sollten die Aussagen ankreuzen, denen sie zustimmten. 85% der Schüler wussten, dass bei einer Kurvenfahrt mit konstantem Tempo eine Beschleunigung quer zur Fahrtrichtung in Richtung Kurveninneres wirkt. 6% der Schüler meinten, das Auto würde dabei nicht beschleunigt werden. 9% glaubten, die Beschleunigung zeige nach außen. 82% der Schüler war bewusst, dass die Beschleunigung umso größer ist, „je enger“ die Kurve ist, dagegen stimmten nur 58% der Aussage zu, dass die Beschleunigung auch mit dem Fahrtempo zunimmt. 3% der Schüler waren der Ansicht, dass die Beschleunigung in der Kurve unabhängig von Tempo und Kurvenradius ist. Diese Aufgabe wurde von 39% der Schüler vollkommen richtig gelöst.
Aufgabe 21 befasste sich mit der Richtung der Beschleunigung beim senkrechten Wurf nach oben. Die Aufgabe war dadurch erleichtert, dass sowohl der Anfangsgeschwindigkeitspfeil, als auch der verschwindende Geschwindigkeitspfeil am höchsten Punkt eingezeichnet war. Dennoch überrascht die mit 88% große Anzahl an Schülern, die den Beschleunigungspfeil auf richtige Weise „nach unten“ eingezeichnet hat. Nur 9% der Schüler waren der Meinung der Beschleunigungspfeil müsste „nach oben“ in Richtung der Geschwindigkeit zeigen. 3% zeichneten den Pfeil aus nicht nachvollziehbaren Gründen „nach links“ ein. Neben den angegebenen Geschwindigkeitspfeilen wurde die Aufgabe zudem dadurch erleichtert, dass sich die Schüler in der Zeit zwischen dem Ende des Unterrichtskonzepts und der Durchführung des Tests im Unterricht ausführlich mit der Erdanziehungskraft, dem freien Fall und der Erdbeschleunigung befasst hatten.
Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Beschleunigungsaufgaben für die Schüler zu den schwersten Aufgaben gehörten, jedoch im Vergleich zu den anfänglichen Schwierigkeiten mit dieser recht abstrakten Größe gut bearbeitet wurden.

e) Aufgaben zum Lernziel „Stoß und Bewegungsänderung“

Bei den Aufgaben 13 und 18 zum Lernziel „Stoß und Bewegungsänderung“ sollte untersucht werden, ob die Schüler die Erkenntnisse zu diesem Thema aus Unterricht und Schülerübung angemessen verinnerlicht hatten. So sollten sie wissen, dass ein Stoß eine Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung bewirkt und sich die Endbewegung als Summe aus Anfangsbewegung und Zusatzbewegung grafisch ermitteln lässt.
In Aufgabe 13 „Boxtraining“ ging es speziell um einen senkrechten Stoß gegen einen bewegten Boxsack. Die Schüler sollten die korrekte Endbewegung auswählen und dabei zeigen, dass sie keine Bewegung in Stoßrichtung erwarteten, sondern eine überlagerte Bewegung aus Anfangs- und Zusatzbewegung. Diese Aufgabe wurde von den Schülern sehr gut gelöst, was sich auch mit den praktischen Erfahrungen in der Schülerübung zur gleichen Thematik erklären lässt. 94% der Schüler wählten die korrekte Endbewegung c). 6% wählten mit Antwort b) eine gekrümmte Endbewegung. Die restlichen Antworten, unter anderem die Bewegung in Stoßrichtung, wurden nicht gewählt.
Bei Aufgabe 18 „Pass beim Fußball“ war nun der umgekehrte Fall zu lösen. Bei bekannter Anfangsbewegung des Balles sollten die Schüler die entsprechende Stoßrichtung auswählen, bei der sich die gewünschte Endbewegung ergibt. Auch diese Aufgabe wurde von 91% der Schüler richtig gelöst. Nur 9% der Schüler waren der Meinung, man müsse genau in Richtung Mitspieler stoßen und erwarteten somit trotz Anfangsgeschwindigkeit eine Bewegung in

Stoßrichtung. Das Lernziel „Stoß und Bewegungsänderung“ wurde somit besonders gleichmäßig gut bearbeitet, was für den Erfolg der Schülerübungen spricht.

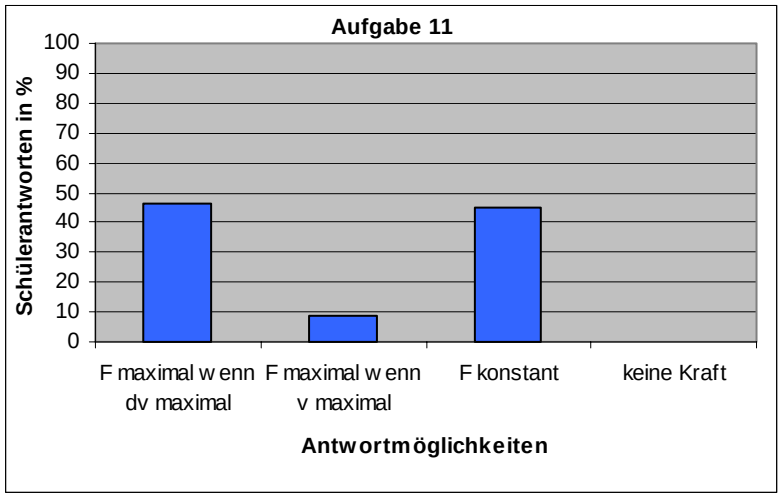
f) Aufgaben zum Lernziel „Kraft und Newtonsche Bewegungsgleichung“

Das letzte große Lernziel umfasste das wichtige Thema „Kraft und Newtonsche Bewegungsgleichung“ und prüfte somit das „Endziel“ des Unterrichtskonzeptes, das korrekte Verständnis der Newtonschen Bewegungsgleichung. Die Schüler sollten zeigen, dass sie die grundlegenden Aussagen verstanden hatten. Zum einen sollte ihnen bewusst sein, dass jegliche Änderung der Geschwindigkeit, egal ob Tempoerhöhung, Temporeduktion oder Ändern der Bewegungsrichtung, durch eine Kraft verursacht wird und diese Kraft stets in Richtung der Zusatzgeschwindigkeit oder auch der Beschleunigung zeigt. Außerdem sollten die Schüler wissen, dass es eine größere Kraft braucht um einen Körper größerer Masse zu beschleunigen und sich auf diese Weise auch Massen unterscheiden lassen.

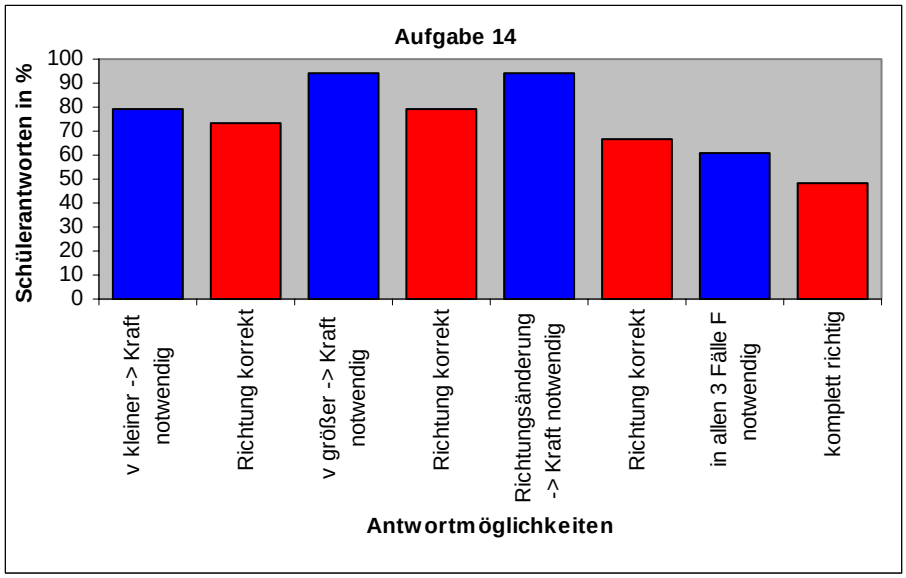
In Aufgabe 3 wurde an den Videoclip „Smart vs. Ferrari“ angeknüpft und die Schüler sollten angeben, auf welches Fahrzeug bei gleicher Beschleunigung „von Null auf Hundert“, die größere Kraft wirken muss. 79% wählten im Sinne der Newtonschen Bewegungsgleichung den schwereren Ferrari, 18% den leichten Smart und 3% waren der Ansicht, die Kräfte wären identisch.

In Aufgabe 8 ging es darum zu überprüfen, ob die Schüler die Vorstellung, dass jeder Körper auch ohne äußere Kraft das Bestreben hat, in seinen natürlichen Zustand der Ruhe zurückzukehren, überwunden haben. Dazu sollten sie angeben, ob auf ein Auto, dass auf ebener Strecke ohne aktives Bremsen ausrollt, eine Kraft wirken muss oder ob jeder Körper auch ohne Kraft irgendwann stehen bleibt. 76% der Schüler antworteten im Newtonschen Sinne und schlossen von der Geschwindigkeitsänderung notwendigerweise auf eine äußere Kraft. 24% der Schüler waren der Ansicht, dass Auto kehrt „von alleine“ in seinen natürlichen Ruhezustand zurück.

Auch bei Aufgabe 11 sollten die Schüler von der Geschwindigkeitsänderung auf die wirkende Kraft schließen. Sie sollten angeben, in welcher Flugphase (vor dem Öffnen des Fallschirms) auf einen Fallschirmspringer die größte resultierende Kraft wirkt. 46% der Schüler erkannten, dass dies kurz nach dem Absprung der Fall ist, wo der Springer „schnell Tempo zulegt“. Nur 9% der Schüler waren der Ansicht, dass die Kraft kurz vor dem Öffnen des Fallschirms am größten ist, wenn der Springer mit hoher, aber konstanter Geschwindigkeit fällt. Dagegen waren 45% der Schüler der Meinung, die resultierende Gesamtkraft wäre während des gesamten Sprungs konstant. Kein Schüler war der Ansicht, es wirke keine Kraft auf den Springer, sondern das zu



Boden Fallen entspräche seinem natürlichen Verhalten. Bei der Auswertung stellte sich interessanterweise heraus, dass gerade die ansonsten sehr guten Schüler eher zur konstanten Gesamtkraft tendierten. Eine Erklärungsmöglichkeit wäre wiederum, dass in der Zeit zwischen Ende des Unterrichtskonzeptes und der Durchführung des Tests die Erdanziehungskraft als konstante Kraft und der freie Fall (ohne Luftreibung) als konstant beschleunigte Bewegung durchgenommen wurden. Dieses zusätzliche Wissen machte die Aufgabe schwerer, als wenn die Schüler lediglich die Newtonsche Bewegungsgleichung und somit nur von der Geschwindigkeitsänderung auf die Kraft geschlossen hätten.



In Aufgabe 14 ging es darum herauszufinden, ob die Schüler verinnerlicht hatten, dass jede Geschwindigkeitsänderung einer Kraft bedarf und ob sie in der Lage waren, aus der Geschwindigkeitsänderung auf die Richtung der Kraft zurück zu schließen. In der ersten Grafik war ein Ball zu sehen dessen Geschwindigkeitspfeil kürzer wird. 79% der Schüler waren der Meinung, dass hier eine Kraft wirken musste. 73% der Schüler zeichneten den Kraftpfeil zusätzlich richtig ein. 21% glaubten, in diesem Fall müsse keine Kraft wirken. In der zweiten Grafik gewann der Ball an Tempo, sein Geschwindigkeitspfeil wurde länger. Wie erwartet wurde diese Teilaufgabe am besten gelöst, 94% der Schüler waren sich sicher, dass hier eine Kraft wirken musste und 79% zeichneten zusätzlich den Kraftpfeil in die richtige Richtung ein. In der letzten Grafik änderte der Ball deutlich seine Bewegungsrichtung, während das Tempo unverändert blieb. Mit 94% glaubten fast alle Schüler, dass hier eine Kraft von Nöten war, aber nur 67% waren in der Lage die Richtung der Kraft korrekt einzuzeichnen. Insgesamt wurde die Aufgabe von 48% der Schüler vollständig richtig gelöst, 61% erkannten zumindest, dass in allen drei Fällen eine Kraft wirken musste. Wie in Aufgabe 2 zeigte sich also wieder die Reduktion des Tempos als schwierigster Fall.

Aufgabe 16 „Ein Zug fährt im Kreis“ überprüfte, ob den Schülern bewusst war, dass bei einer Kreisbewegung mit konstantem Tempo ständig eine Kraft in Richtung Kreismittelpunkt wirken muss. Mit 97% waren die Schüler fast ausnahmslos der Ansicht, dass eine Kraft auf den Zug wirken muss, um ihn auf der Kreisbahn zu halten. 73% der Schüler zeichneten zudem die Richtung der Kraft korrekt in Richtung Kreismittelpunkt ein. Den Schülern war also mehrheitlich klar, dass eine Kreisbewegung stets durch eine Kraft in Richtung Kreismittelpunkt verursacht wird. Dieser Sachverhalt wurde im Unterricht stark betont und die Schüler konnten zusätzlich auf ihre praktische Erfahrung in der zweiten Schülerübung zurückgreifen, in der sie

Metallkugel und Luftkissenpuck durch Stöße nach innen auf eine Kreisbahn „gezwungen“ hatten.
In Aufgabe 19 sollten die Schüler aufgrund der Bahnkurve herausfinden, welche von zwei gleich stark, senkrecht zur Bewegungsrichtung gestoßenen Kugeln innen hohl ist. Dazu mussten sie wissen, dass die hohle Kugel eine kleinere Masse hat, deshalb nach der Newtonschen Bewegungsgleichung durch den Stoß eine größere Zusatzgeschwindigkeit erhält und somit stärker abgelenkt wird. Diese leichte Aufgabe entspricht zum einen dem „gesunden Menschenverstand“ und lehnte sich zum anderen recht nah an die Aufgabe 2 des 6. Arbeitsblattes an, in der es darum ging, eine leere Coladose von einer vollen zu unterscheiden. So wurde die Aufgabe auch von 97% der Schüler in großer Mehrheit richtig gelöst.
Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Test von den Schülern sehr gut gelöst wurde und die Mehrzahl der Schüler zu diesem Zeitpunkt über die im Voraus erhofften Einsichten verfügte. Daraus lässt sich ableiten, dass es durchaus nicht hoffnungslos ist, Schüler der 7. Klasse von Beginn an mit der Richtungsabhängigkeit physikalischer Größen zu konfrontieren und somit zweidimensional in die Mechanik einzuführen, sondern dass dadurch wertvolle qualitative Grundvorstellungen verankert werden können, auf denen es in höheren Jahrgangsstufen aufzubauen gilt.

6.4 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen

Abschließend sollen die Ergebnisse der Evaluation mit denen anderer Untersuchungen verglichen werden. So wurde der gleiche Test zum einen in zwei 11. Klassen (N=43) gestellt, die in konventioneller Form nach dem bayrischen Lehrplan unterrichtet worden waren und die die entsprechenden Themengebiete „Kinematik“, „Dynamik“ und „Einfache krummlinige Bewegungen“ bereits einige Monate vor dem Test abgeschlossen hatten. Im Unterricht dieser Klassen wurde kein besonderer Wert auf zweidimensionale Bewegungen und Richtungsgrößen gelegt, sondern wie im Lehrplan gefordert, hauptsächlich geradlinige Bewegungen behandelt. Aber beim Thema „Einfache krummlinige Bewegungen“ wurde bei der Behandlung von waagrechtem Wurf und Kreisbewegung mit konstantem Tempo auf den vektoriellen Charakter von Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft eingegangen.
Zum anderen wurden einige Aufgaben gezielt ausgewählt, um sie mit anderen Untersuchungen vergleichen zu können. So finden sich die Aufgaben 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 17 und 18 ebenfalls in einer Untersuchung, die von GALMBACHER[2] in der siebten Jahrgangsstufe im Fach Natur und Technik durchgeführt wurde. GALMBACHER (Treatmentgruppe: N=27, Vergleichsgruppe: N=21) hat ein Unterrichtskonzept entworfen, dass ebenfalls die Richtungsabhängigkeit der kinematischen Größen betont, ansonsten aber anders aufgebaut ist als das hier vorgestellte Konzept. Zum Vergleich hat er den gleichen Test in einer Klasse geschrieben, die konventionell unterrichtet wurde, und somit fast ausschließlich geradlinige Bewegungen kennen gelernt hat. Es ist somit besonders interessant die Ergebnisse von Galmbacher mit denen dieser Untersuchung zu vergleichen. Die Aufgaben 4, 6, 7, 13, 17 und 21 verwendete WILHELM zudem teilweise bei der Evaluation seines konsequent zweidimensionalen Unterrichts-

[2] Private Mitteilung von M. Galmbacher. Seine Ergebnisse sind unter: **GALMBACHER, M. (2007)**: *Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen aufgezeigt an Inhalten zur Mechanik* veröffentlicht.

konzeptes in der 11.Klasse[3] (Wilhelm Treatmentgruppe: N=138, Wilhelm Vergleichsgruppe: N=138) und teilweise bei einer Untersuchung über das Vektorverständnis von Studienanfängern im Fach Physik[4] (N=239). So bieten sich auch hier interessante Vergleiche. Viele der Aufgaben des hier verwendeten Fragebogens und der von GALMBACHER durchgeführten Untersuchung orientieren sich zudem an einer Untersuchung, die von JUNG im Anschluss an seine Einführung in die Mechanik in den Jahrgangsstufen 3 bis 6 bereits 1977 durchgeführt wurde[5]. Leider war es nicht möglich dessen Ergebnisse in der Grundschule mit in die Betrachtungen einzubeziehen, da die Auswertung der einzelnen Items in seiner Arbeit nicht dargestellt wird.

a) Aufgaben zur Definition des Tempos

Die Aufgaben 5 und 10 verlangen keinerlei Kenntnisse über den Richtungscharakter der kinematischen Größen und wurden deshalb erwartungsgemäß gut von den 11. Klassen gelöst. So wurde Aufgabe 5 von 86% der Elftklässler vollkommen richtig gelöst, 93% identifizierten das schnellste Fahrzeug richtig, 91% das langsamste. In der nach dem Unterrichtskonzept unterrichteten 7. Klasse waren die Ergebnisse fast identisch, hier lösten 88% die Aufgabe vollständig richtig, 93% fanden das schnellste und 91% das langsamste Fahrzeug.
Die sehr einfache Aufgabe 10 wurde von 100% der Schüler der 11. Klassen richtig gelöst. Auch Galmbacher kam in seiner 7. Klasse zu einem positiven Ergebnis von 96% richtigen Lösungen. Die nach dem Konzept unterrichtete 7. Klasse fand zu 97% die richtige Lösung.

b) Aufgaben zum Lernziel „Physikalische Geschwindigkeit und Geschwindigkeit in Kurven“

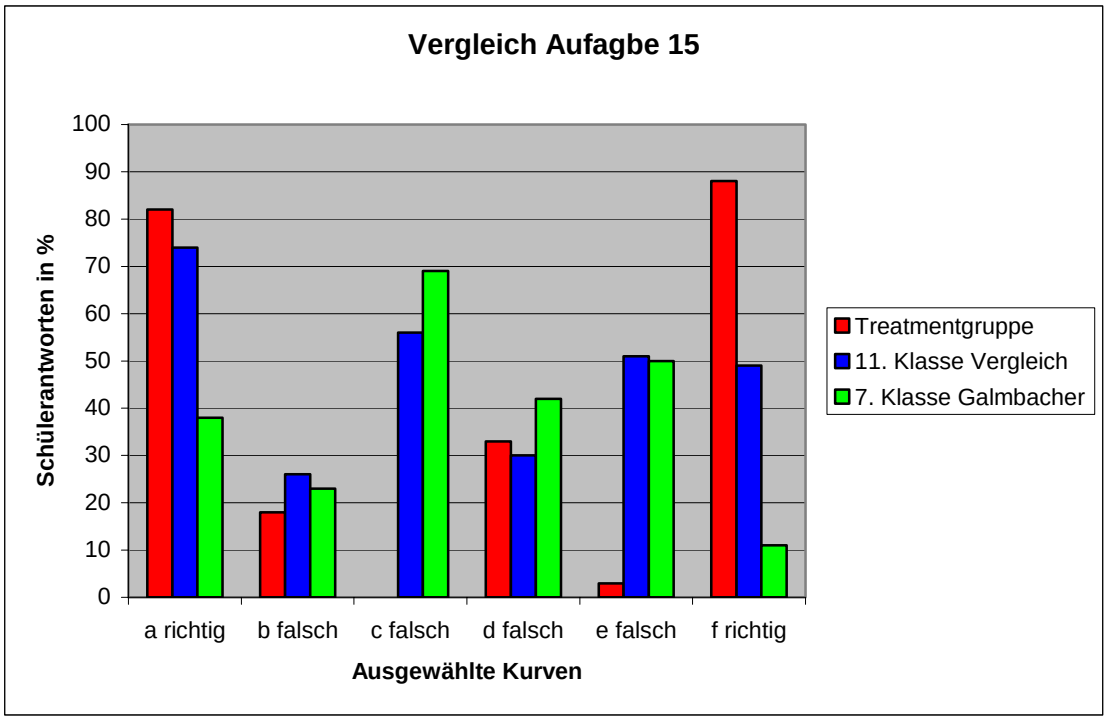
Die Aufgaben dieses Lernzieles eignen sich besser, um zwischen den unterschiedlichen Schülergruppen zu unterscheiden. In Aufgabe 1 ging es darum die Begriffe Tempo, also Geschwindigkeitsbetrag, und physikalische Geschwindigkeit gegeneinander abzugrenzen. Neben 100% der Treatmentgruppe, wussten auch 95% der Elftklässler, dass zwei Körper sich mit gleichem Tempo, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen können. Jedoch waren im Vergleich zu 79% der Siebtklässler nur 51% der Schüler der 11. Klasse der Meinung, dass die Geschwindigkeit gleichzeitig die Bewegungsrichtung festlegt. Mit 28% im Vergleich zu 24%, war die Meinung, dass zwei Körper sich mit gleicher Geschwindigkeit, aber unterschiedlichem Tempo bewegen können, in beiden Gruppen fast gleich verbreitet.
In Aufgabe 15 zeigte sich erstmals ein großer Unterschied zwischen den beiden Schülergruppen. Während 82% beziehungsweise 85% der Siebtklässler die beiden richtigen Kurven aus-

[3] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung,* Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, 2005, ISBN 3-8325-1046-X

[4] **WILHELM, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin,

[5] **JUNG, W.; REUL, H.; SCHWEDES H. (1977)**: *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6,* Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik, Diesterweg, Frankfurt am Main

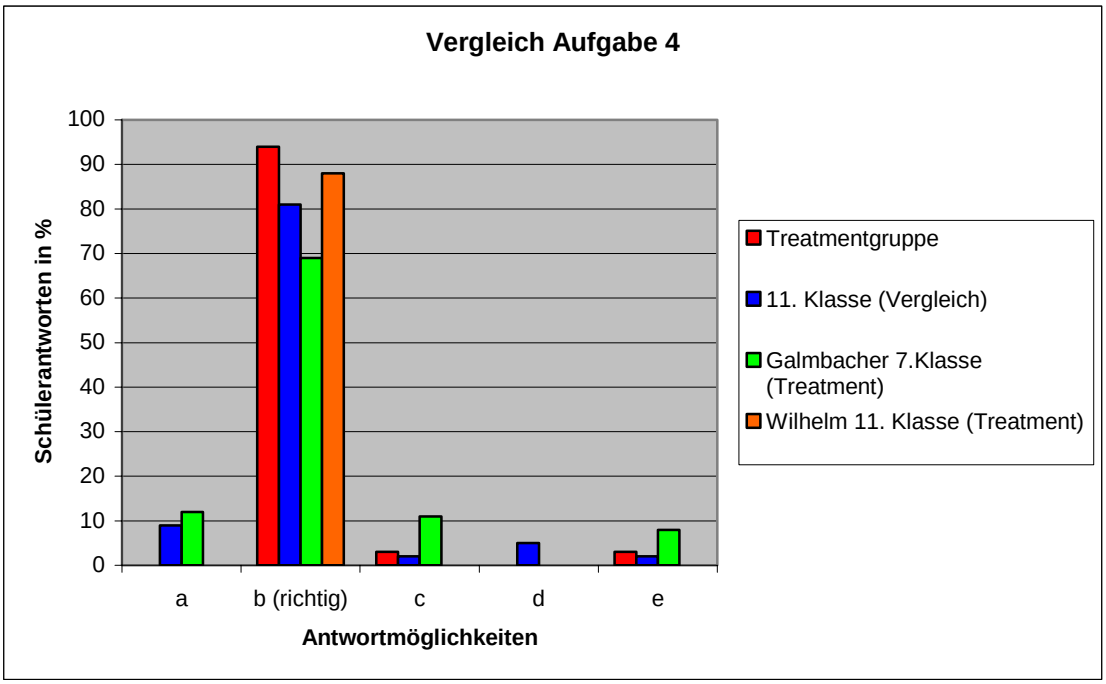
wählten, gelang dies nur 74% beziehungsweise 49% der Elftklässler. Vor allem neigten die letzteren aber massiv dazu, auch falsche Kurven anzukreuzen. So waren über 50% dieser Schüler der Ansicht, man könne aus den Kurven c und e mit gleicher Geschwindigkeit heraus, wie hinein fahren. Dagegen wurden diese falschen Kurven von den Siebtklässlern am seltensten ausgewählt. Die 7. Klasse aus dem Konzept von GALMBACHER löste die Aufgabe insgesamt deutlich schlechter, nur 38% beziehungsweise 11%, wählten die beiden richtigen Kurven aus. Dagegen entschieden sich 69% für Kurve c).



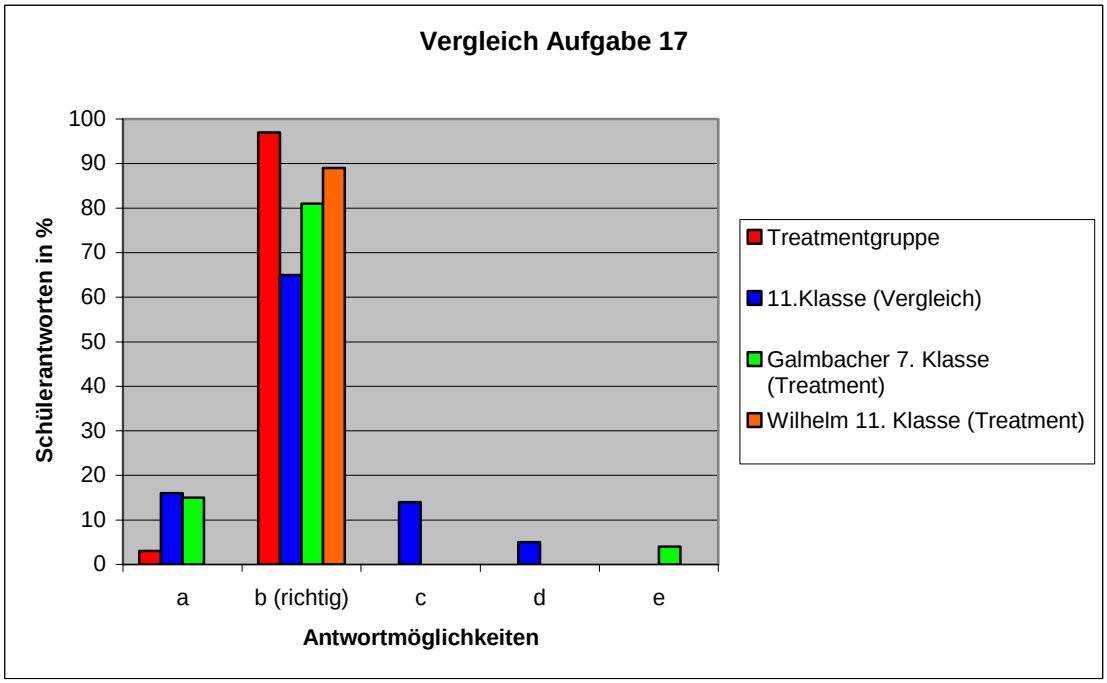
Bei Aufgabe 20 ging es um die Geschwindigkeit bei einer Kreisbewegung mit konstantem Tempo. Während 79% der nach dem Unterrichtskonzept unterrichteten Schüler erkannten, dass sich die Geschwindigkeit dauernd ändert und nur 18% von einer konstanten Geschwindigkeit und 24% von einer konstanten Bewegungsrichtung ausgingen, war das Ergebnis in den beiden 11. Klassen nicht so eindeutig: 47% dieser Schüler waren der falschen Ansicht, dass sich die Geschwindigkeit nicht ändert und nur 53% erkannten, dass sich der Geschwindigkeitsvektor permanent ändert. Dagegen halten nur 14% die Bewegungsrichtung für konstant. Das bedeutet, dass viele Schüler keinen angemessenen vektoriellen Geschwindigkeitsbegriff haben, da sie einerseits für eine konstante Geschwindigkeit, andererseits aber für eine nicht konstante Richtung votierten. Vermutlich wurde im Unterricht hauptsächlich mit dem Geschwindigkeitsbetrag gearbeitet.

Die Aufgaben 4 und 17 untersuchten auf sehr ähnliche Weise die Richtung der Geschwindigkeit in Kurven. Sie wurden von 94% beziehungsweise 97% der Treatmentgruppe richtig gelöst. Bei Aufgabe 4 fanden 81% der Elftklässler die richtige Lösung, während 9% glaubten, der Körper würde sich auch nach Reißen des Seils krummlinig weiterbewegen. In der Klasse von GALMBACHER fanden nur 69% die richtige Lösung, die falschen Lösungen a, c und e waren mit 12%, 11% und 8% fast gleich beliebt. Diese aus dem FCI-Test entnommene Aufgabe wurde auch von WILHELM verwendet. 88% bzw. 89% der nach seinem Konzept unterrichteten

Schüler fanden dabei die richtige Lösung[6] und 71% bzw. 79% der herkömmlich unterrichteten Elftklässler.[7]



Die sehr ähnliche Aufgabe 17 wurde ebenfalls in allen 4 Schülergruppen getestet und es ergab sich ein entsprechendes Ergebnis:

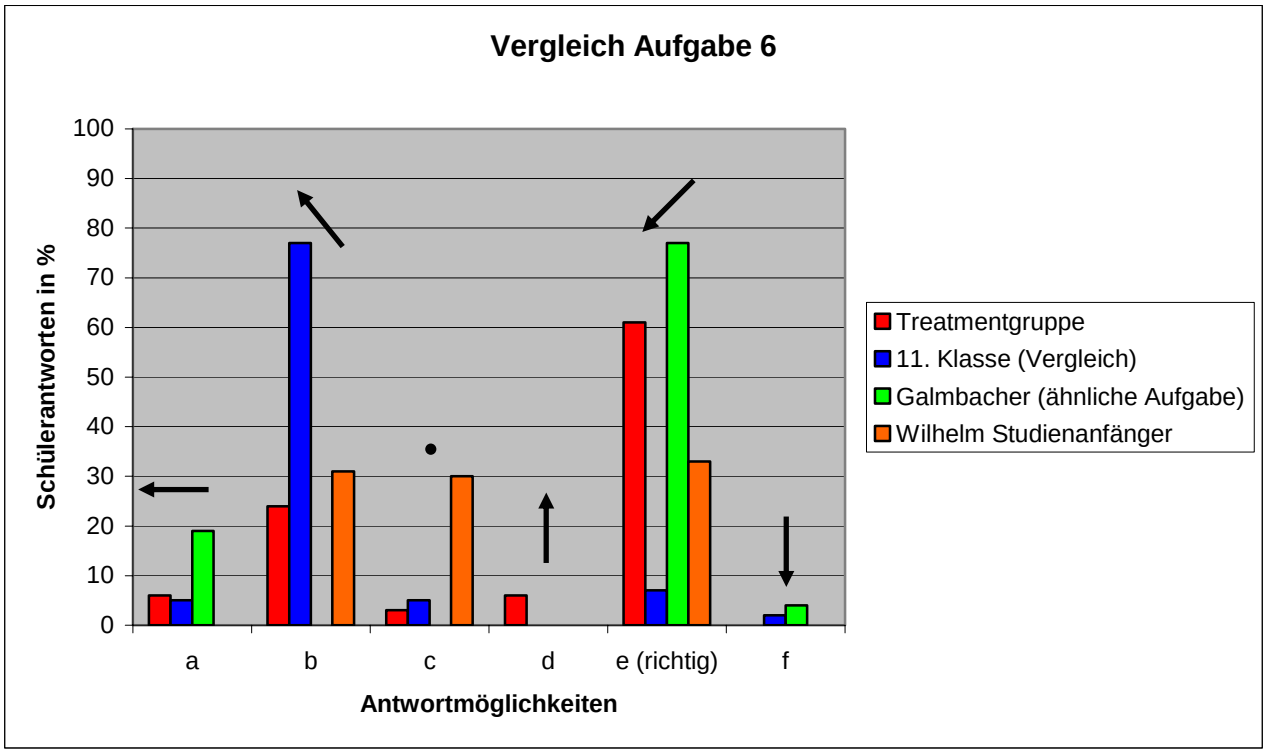


c) Aufgaben zum Lernziel „Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit“

[6] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 198

[7] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 192

Da den 11. Klassen der Begriff Zusatzgeschwindigkeit unbekannt war, wurden die entsprechenden Aufgaben umformuliert und es war vom Geschwindigkeitsänderungsvektor die Rede. Die Aufgabe 6 fiel den Schülern mehrheitlich sehr schwer. Während in der nach dem vorgestellten Konzept unterrichteten Klasse 61% der Schüler den richtigen Zusatzgeschwindigkeitspfeil auswählten, fanden nur 7% der Elftklässler den richtigen Geschwindigkeitsänderungsvektor. Die Aufgabe wurde zudem von WILHELM in einem Test zum Vektorverständnis von Studienanfängern der Physik gestellt. Hier fanden immerhin 33% den die Geschwindigkeitsänderung darstellenden Pfeil[8]. 77% der Schüler aus der 11. Klasse wählten den Pfeil b), der nicht die Geschwindigkeitsänderung anzeigt, sondern eher ein Maß für die mittlere Geschwindigkeit zwischen den beiden Bahnpunkten oder für die Richtung der Ortsänderung ist. Bei einer ähnlichen, aber etwas einfacheren Aufgabe im Test von GALMBACHER fanden 77% den richtigen Zusatzgeschwindigkeitspfeil. Zu dem Ergebnis ist festzuhalten, dass die 7. Klassen ähnliche Aufgaben mit dem Konzept der Zusatzgeschwindigkeit im Unterricht gelöst haben, während das Problem, einen Geschwindigkeitsänderungsvektor zu bestimmen, für die Elftklässler vorher eher unbekannt war. Dies zeigte sich auch darin, dass die Siebtklässler die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit meist vor dem Ankreuzen zunächst grafisch ermittelten, während die Elftklässler lediglich eine Antwort auswählten.

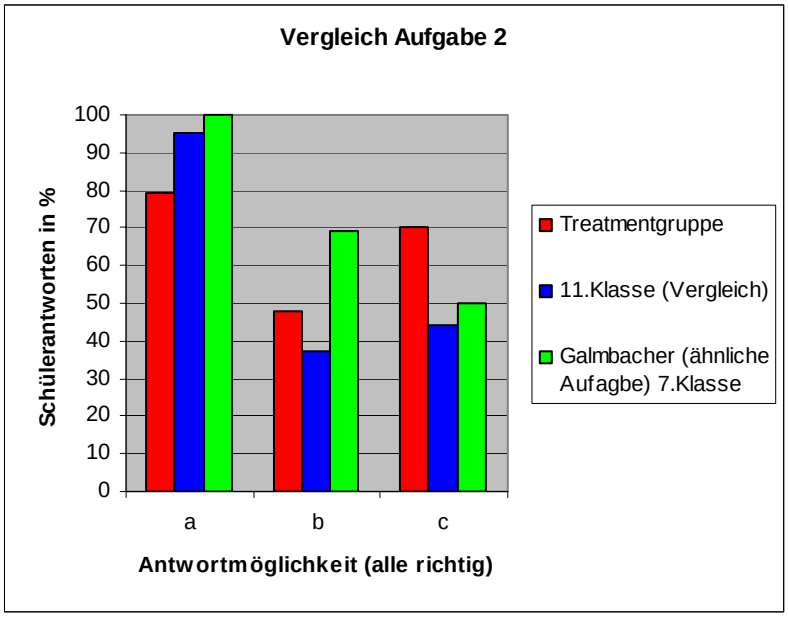


Aufgabe 9 wurde dagegen von den beiden 11. Klassen durchgehend gut gelöst. Bei ihnen wurde die Aufgabe so umformuliert, dass sie die Gesamtgeschwindigkeit des Floßes grafisch aus den beiden Geschwindigkeitskomponenten bestimmen sollten. Hier zeigte sich die größe-

[8] **WILHELM, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, S. 5

re Übung der Elftklässler in der Vektoraddition. So waren 86% dieser Schüler in der Lage die Endgeschwindigkeit korrekt zu ermitteln, wohingegen nur 76% der Treatmentgruppe diese Aufgabe korrekt durchführten.

d) Aufgaben zum Lernziel Beschleunigung als Richtungsgröße



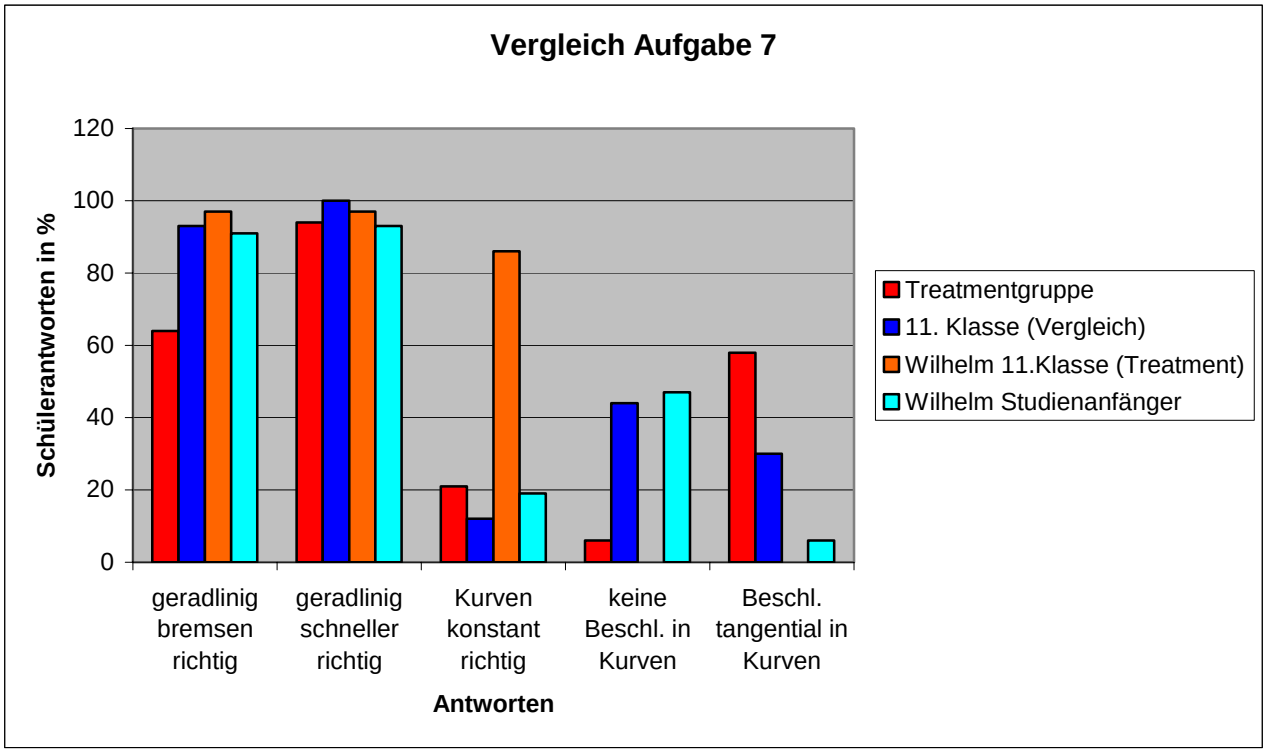
In Aufgabe 2 sollten die Schüler zeigen, dass ihr Beschleunigungsbegriff über die Alltagsbedeutung hinausgeht und sie auch eine Temporeduktion und eine Richtungsänderung als Beschleunigung einstufen. Im Vergleich zu 79% der Treatmentgruppe war 95% der Elftklässler klar, dass das Auto auf einer Bergabfahrt beschleunigt wird. Dagegen stuften nur 37% dieser Schüler auch eine Temporeduktion als Beschleunigung ein, wogegen 48% der Siebtklässler die Bergauffahrt richtig als beschleunigte Bewegung einstuften. Am deutlichsten zeigte sich der Unterschied jedoch bei Antwort c). Während 70% der nach dem vorgestellten Konzept unterrichteten Schüler eine Kurvenfahrt als beschleunigte Bewegung erkannten, taten dies nur 44% der Elftklässler. Die Klasse von GALMBACHER löste diese Aufgabe insgesamt besser, 100% wählten Antwort a) aus und 69% beziehungsweise 50% erkannten Antwort b) und c) als richtig.

Die Idee zu Aufgabe 7 stammt aus der Dissertation von WILHELM[9], wobei hier zusätzlich auch Kurven mit veränderlichem Tempo abgefragt wurden. Die Beschleunigungspfeile in den beiden linearen Abschnitten „Bremsen“ und „Schneller werden“ wurden von den Elftklässlern mit 93% bzw. 100% fast einheitlich richtig eingezeichnet. In der Treatmentgruppe waren es dagegen nur 64% bzw. 94%. In den beiden Kurven zeigten sich in der 11. Klasse ähnliche Probleme wie bei den Siebtklässlern; nur 12% der Elftklässler zeichneten die Beschleunigung richtig ein, während es bei den Siebtklässlern für die beiden Kurven immerhin 18% bzw. 24% waren. 44% der Elftklässler waren der falschen Meinung, dass in Kurven bei konstantem Tempo keine Beschleunigung wirkt; bei den Siebtklässlern waren dies nur 6%. Dagegen verwechselten 58% der Siebtklässler Beschleunigung und Geschwindigkeit und zeichneten den Pfeil tangential ein, bei den 11. Klassen antworteten 30% auf diese Weise. WILHELM fand in anderen, konventionell unterrichteten Klassen ähnliche Ergebnisse[10]. In den nach seinem

[9] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 161

[10] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 162

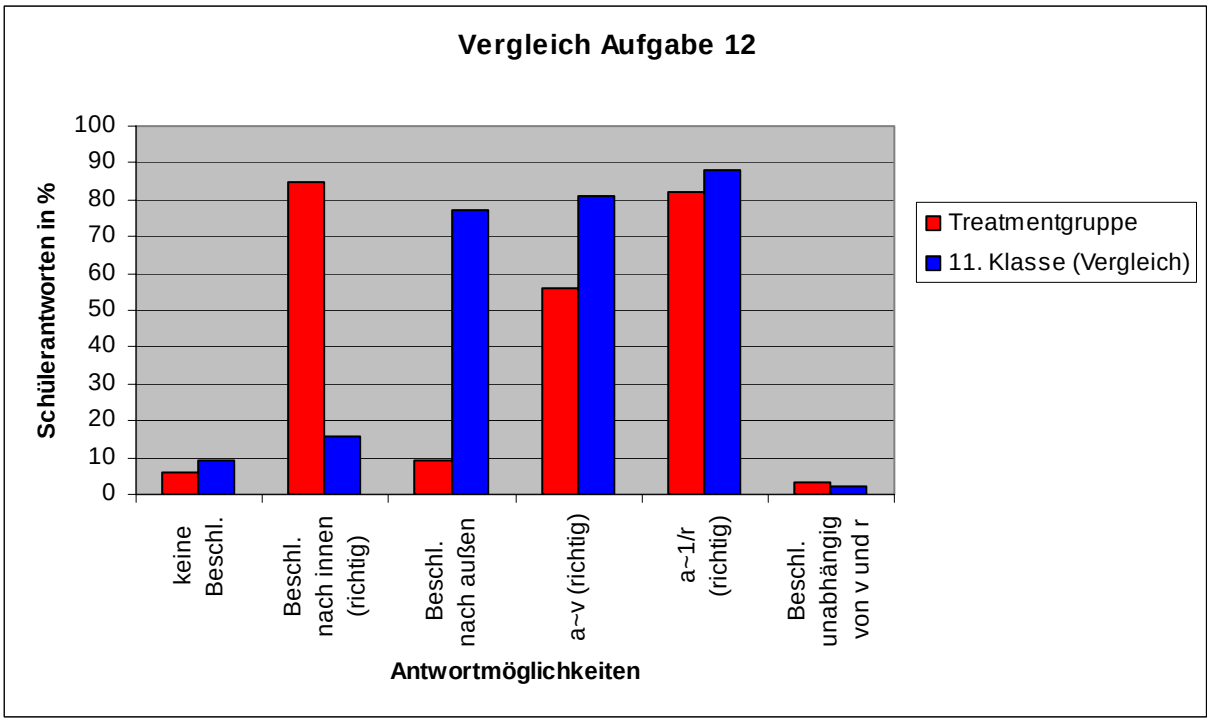
Konzept unterrichteten 11. Klassen wurde die Aufgabe dagegen deutlich besser gelöst[11]. Hier zeichneten 86% der Schüler den Beschleunigungspfeil in Kurven mit konstantem Tempo richtig ein, die linearen Fälle wurden jeweils von 97% richtig gelöst. Bei den Studienanfängern zeigte sich ein ähnliches Bild wie bei den konventionell unterrichteten 11. Klassen, 93% bzw. 91% zeichneten die Beschleunigung im linearen Fall richtig ein, während dies nur 19% in den Kurven taten[12]. Auch hier glaubten 47% es wirke keine Beschleunigung. Es zeigte sich also, dass die 7. Klasse besondere Probleme hatte die Richtung der Beschleunigung beim Bremsen einzuzeichnen und in besonderem Maße dazu neigte, die Richtung der Beschleunigung in den Kurven mit der Richtung der Geschwindigkeit zu verwechseln.



In der Aufgabe 12 „Auto und Kurve“ ging es um die Beschleunigung bei Kurvenfahrten. Obwohl 85% der Siebtklässler wussten, dass die Beschleunigung quer zur Fahrtrichtung nach innen zeigt, waren nur 16% der Elftklässer der gleichen Ansicht. Dafür glaubten 77% dieser Klassen fälschlicherweise, dass die Beschleunigung nach außen zeigt. Sie verwechselten also die Zentrifugalkraft als Trägheitskraft im beschleunigten Bezugssystem Auto, mit der Zentripetalkraft im Inertialsystem Straße. Sie antworteten, als wäre nach der scheinbaren Beschleunigung auf eine Person im Auto gefragt und nicht nach der Beschleunigung auf das Auto an sich. Dafür wussten 81% der Elftklässler, dass die Beschleunigung in Kurven mit dem Tempo zunimmt und 88%, dass sie mit dem Radius abnimmt. Im Unterricht wurde explizit die Formel für den Betrag der Zentripetalkraft durchgenommen und die Schüler hatten von daher

[11] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 164

[12] **WILHELM, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, S. 5



Vorteile gegenüber den Siebtklässlern. Bei diesen wussten dennoch 58%, dass die Beschleunigung mit dem Fahrtempo zunimmt und sogar 82%, dass die Beschleunigung umso größer ist, je enger die Kurve ist. Durch die Schülerübung war den Schülern anschaulich klar geworden, dass die Beschleunigung in Richtung Kurveninneres wirken muss und nur 9% glaubten, sie wirke nach außen.

In Aufgabe 21 ging es um die Richtung der Beschleunigung beim senkrechten Wurf nach oben. Die Aufgabenidee wurde von WILHELM sowohl bei seiner Dissertation[13], als auch bei der Untersuchung des Vektorverständnisses von Studienanfängern verwendet[14]. Jedoch wurde die Aufgabe für den Fragebogen der 7. Klasse durch Einzeichnen der Geschwindigkeitspfeile und Einschränkung auf die Aufwärtsbewegung wesentlich vereinfacht. Bei dieser vereinfachten Version waren 88% der Siebtklässler in der Lage den Beschleunigungspfeil richtig einzuzeichnen, wobei sie den Vorteil hatten unmittelbar vor dem Test die Erdbeschleunigung besprochen zu haben. Die beiden 11. Klassen lösten die Aufgabe noch besser und zeichneten die Richtung der Beschleunigung in 91% der Fälle richtig nach unten ein. In der schwereren Version von WILHELM lösten 37% der Studienanfänger und etwa 66% der nach seinem Konzept unterrichteten 11. Klassen den entsprechenden Teil der Aufgabe (Richtung der Beschleunigung bei der Aufwärtsbewegung) richtig, sowie 53% der herkömmlich unterrichteten Elftklässler[15].

e) Aufgaben zum Lernziel „Stoß und Bewegungsänderung“

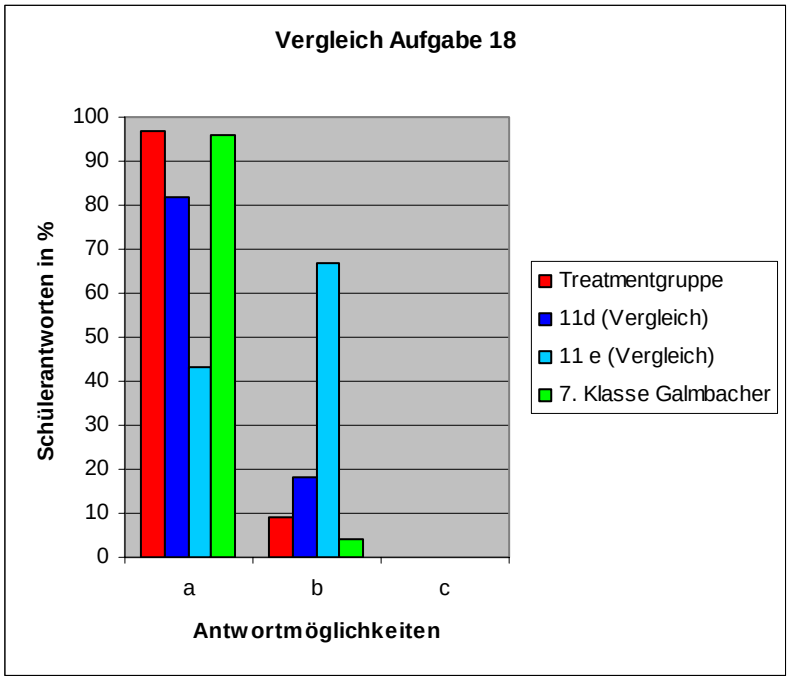
[13] **WILHELM, T. (2005)**: *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, S. 181-188

[14] **WILHELM, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin, S. 5

[15] private Mitteilung

Bei Aufgabe 13 ging es um den senkrechten Stoß gegen einen vorbei schwingenden Boxsack. Hierbei wählten 94% der Treatmentgruppe die richtige Endbewegung aus, wogegen diese nur von 51% der Elftklässler gewählt wurde. 33% dieser Schüler waren der Ansicht, dass der Sack sich auf der nach rechts gekrümmten Bahn b) weiterbewegen würde, 14% wählten die linksgekrümmte Bahn d). Es ist jedoch zu beachten, dass die 7. Klasse einen äquivalenten Fall in der Übung selbst durchgeführt hatte und dieser zusätzlich noch ausführlich im Unterricht besprochen wurde, wohingegen der Kraftstoß in der 11. Klasse nur am Rande behandelt wird. Dennoch überrascht das Ergebnis.

In der Klasse von GALMBACHER fanden 96% die richtige Lösung, 4% glaubten, der Sack müsse sich genau in Stoßrichtung weiterbewegen. Da die Aufgabe aus dem FCI-Test stammt, wurde sie auch von WILHELM verwendet. 44% der nach seinem Konzept unterrichteten Schüler wählten die richtige Lösung c) und nur 33% der 258 herkömmlich unterrichteten Elftklässler..



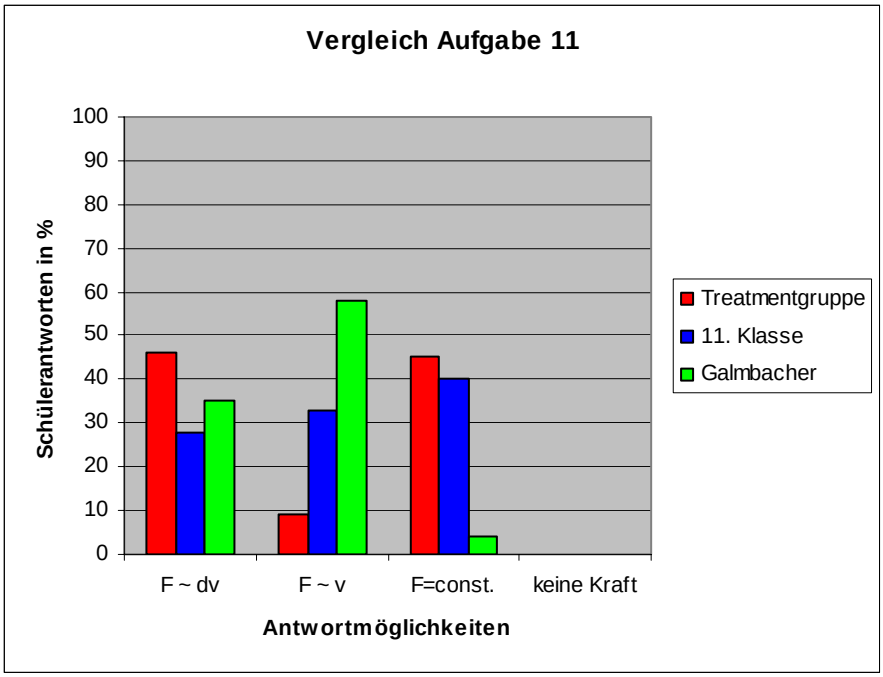
Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich bei der Auswertung von Aufgabe 18. „Pass beim Fußball“. Während 97% der Treatmentgruppe die richtige Stoßrichtung auswählten und nur 9% der Meinung waren, der Ball bewege sich nach dem Stoß genau in Stoßrichtung weiter, war den Elftklässlern die richtige Stoßrichtung nicht so klar. 42% wählten Antwort b) und glaubten, dass sich der Ball nach dem Stoß genau in Stoßrichtung weiterbewegt und 63% wählten die richtige Antwort a). Es ist jedoch anzumerken, dass die beiden untersuchten 11. Klassen bei dieser Aufgabe sehr unterschiedlich antworteten. Eine der Klassen wählte die richtige Antwort zu 82%, die andere lediglich zu 43%. In der nach dem Konzept von GALMBACHER unterrichteten Klasse wählten 96% die richtige Antwort a) und 4% die Antwort b), also ähnlich wie in dem hier vorgestellten Konzept.

f) Aufgaben zum Lernziel „Kraft und Newtonsche Bewegungsgleichung“

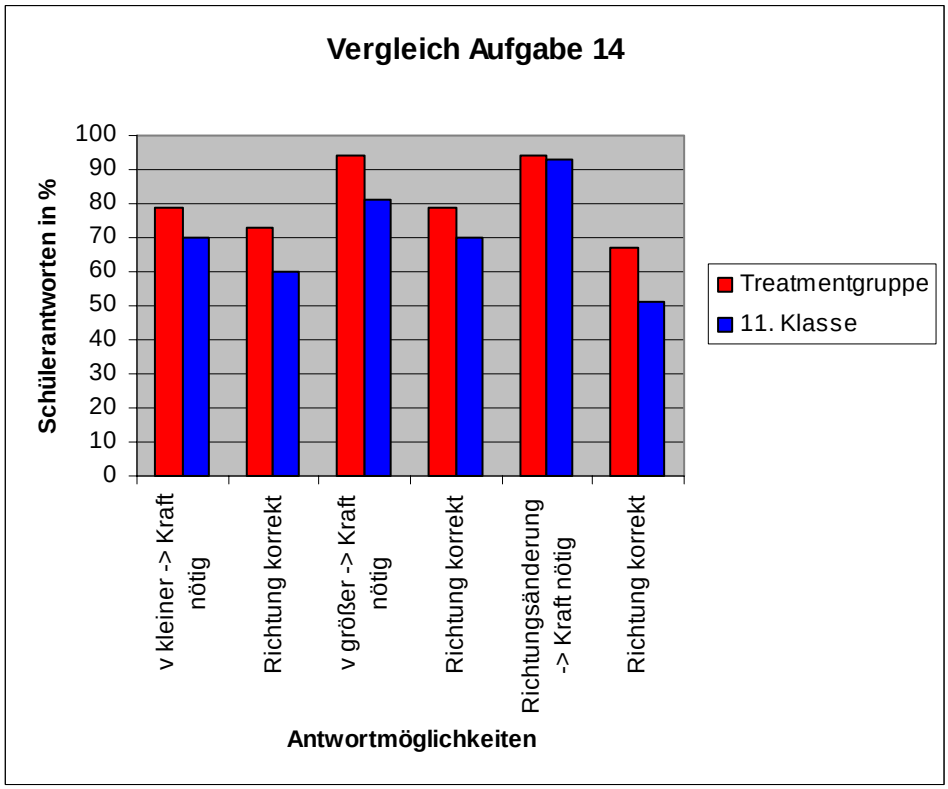
In Aufgabe 3 sollten die Schüler zeigen, dass sie verstanden hatten, dass eine größere Kraft nötig ist, um einen schweren Körper in gleicher Weise zu beschleunigen. 86% der Elftklässler wussten, dass die Kraft auf den schwereren Ferrari größer sein musste. 9% wählten fälschlicher Weise den leichteren Ferrari und 5% hielten die Kräfte für gleich groß. In der Treatmentgruppe wählten 79% im Sinne der Newtonschen Bewegungsgleichung, 18% votierten für den leichten Smart und 3% dachten die Kräfte wären gleich groß. Bei der Aufgabe zeigte sich also kein großer Unterschied im Antwortverhalten.

Auch Aufgabe 8 bereitete beiden Schülergruppen wenig Probleme, so waren sich 95% der Elftklässler sicher, dass auf den ausrollenden Wagen eine Kraft wirken müsse, bei den Siebtklässlern waren es mit 76% etwas weniger.

Bei Aufgabe 11 unterschied sich das Antwortverhalten der beiden Schülergruppen deutlicher. Während 46% der Treatmentgruppe von der größten Geschwindigkeitsänderung richtig auf die größte wirkende Kraft schlossen, machten dies nur 28% der Elftklässler. Bei beiden Gruppen waren etwa 40% der Schüler der Ansicht, dass die Kraft während des Sprunges konstant ist. 33% der Elftklässler verknüpften das größte Tempo fälschlicher Weise mit der größten Kraft und antworteten somit nicht im Sinne der Newtonschen Bewegungsgleichung. Bei den Siebtklässlern waren dies nur 9% der Schüler. In der von Herrn Galmbacher unterrichteten 7. Klasse wählten 35% die richtige Antwort a), 58% schlossen vom hohen Tempo auf eine große Kraft und wählten b) und lediglich 4% hielten die Kraft für konstant.



Aufgabe 14 untersuchte inwieweit die Schüler verinnerlicht hatten, dass jede Geschwindigkeitsänderung einer Kraft bedarf und ob sie in der Lage waren von der Geschwindigkeitsänderung auf die Richtung der Kraft zurückzuschließen. Bei der Abnahme



des Tempos waren 79% der Treatmentgruppe und 70% der 11. Klasse der Ansicht, dass hierfür eine Kraft wirken müsse. 73% der Siebtklässler zeichneten die Richtung des Kraftpfeils richtig ein, hierzu waren nur 60% der Elftklässler in der Lage. Bei einem Ball der an Tempo zunahm waren 93% der Siebtklässler und 81% der Elftklässler der Meinung, dass dazu eine Kraft wirken muss und 79% beziehungsweise 70% zeichneten die Richtung desselbigen zusätzlich richtig ein. In beiden Gruppen waren je 94% davon überzeugt, dass bei einer Richtungsänderung eine Kraft wirken müsse, 67% der Siebtklässler und 51% der Elftklässler gaben deren Richtung richtig an.

Bei Aufgabe 16 zeigten sich wiederum deutliche Unterschiede im Antwortverhalten der beiden Schülergruppen. Obwohl 93% der Elftklässler der Ansicht waren, dass auf einer Kreisbahn mit konstantem Tempo eine Kraft auf den Körper wirken muss, zeichneten nur 40% dieser Schüler die Richtung des Kraftpfeils auch korrekt ein. Weitere 40% waren der Meinung, die Kraft müsse nach außen in Richtung der Zentrifugalkraft wirken und 11% zeichneten zwei sich aufhebende Kraftpfeile in entgegengesetzte Richtungen ein. Im Gegensatz dazu waren 97% der Treatmentgruppe sicher, dass hier eine Kraft wirken muss und 73% zeichneten zusätzlich den Kraftpfeil korrekt in Richtung Kreismittelpunkt. Wiederum neigten die 11. Klassen also dazu die Trägheitskraft im beschleunigten Bezugssystem mit der Kraft im Inertialsystem zu verwechseln. Der 7. Klasse war dagegen in der Übung und im Unterricht anschaulich klar geworden, dass man einen Körper permanent Richtung Kreismittelpunkt ablenken muss, um ihn auf eine Kreisbahn zu zwingen.

In Aufgabe 19 zeigten sich keine interessanten Unterschiede im Antwortverhalten der beiden Schülergruppen, sie wurde sowohl von der Treatmentgruppe (97%) als auch von den 11. Klassen (91%) überwiegend gut gelöst.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die nach dem vorgestellten Unterrichtskonzept unterrichteten Schüler auch im Vergleich zu den 11. Klassen und den anderen Schülergruppen gut abschnitten. Es gab Aufgaben, in denen die 11. Klässler aufgrund ihrer größeren Erfahrung deutlich besser abschnitten (z.B. Addition von Geschwindigkeitspfeilen), in anderen schnitten sie aufgrund anderer Prioritäten im Unterricht verständlicherweise schlechter ab als die jüngeren Schüler. Insgesamt hat sich aber auch im Vergleich zu anderen Schülergruppen gezeigt, dass bereits die Schüler der 7. Klasse die angestrebten Lernziele auf dem erhofften Niveau erreichen und wertvolle Grundeinsichten in der zweidimensionalen Mechanik mitnehmen können. Mehr als für die 11. Klassen ist für sie die Geschwindigkeit ein Pfeil, der damit auch durch einen Richtungswechsel geändert wird und dessen Änderung stets eine Kraft anzeigt, die in Richtung der Geschwindigkeitsänderung zeigt und umso stärker ist, je größer die Geschwindigkeitsänderung und die Masse des Körper sind. Außerdem wurde den Siebtklässlern auch klarer, dass auf einer Kurvenbahn stets eine Kraft in Richtung Kurveninneres wirken muss.

.

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Viele Schüler haben auch nach dem Durchlaufen des gesamten Physikunterrichts am Gymnasium ein unzureichendes Verständnis von den physikalischen Begriffen und deren Zusammenhängen. Vor allem der Vektorcharakter vieler physikalischer Größen und die daraus resultierenden Folgen werden von einem Großteil der Schüler nicht angemessen verstanden, wie unter anderem auch WILHELM[1] mit seiner Untersuchung an Studienanfängern des Faches Physik gezeigt hat. Da ein adäquates Vektorverständnis für die gesamte Physik, aber insbesondere auch für ein umfassendes Verständnis der relativ alltagsnahen klassischen Mechanik, von großer Bedeutung ist, sollte untersucht werden, inwieweit es möglich und sinnvoll ist den Schülern schon im Anfangsunterricht in der Unter- beziehungsweise Mittelstufe wichtige Grundvorstellungen und qualitative Einsichten in Bezug auf den Richtungscharakter der mechanischen Größen zu vermitteln. Ausgehend von den Erfahrungen von JUNG, WIESNER und WODZINSKI zu diesem Thema wurde ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Mechanik in der 7. Jahrgangsstufe entworfen und an den bayrischen Lehrplan des achtjährigen Gymnasiums angepasst. Zudem sollten die guten Ideen der Didaktiker aus Frankfurt medial neu aufbereitet und dabei auch die Vorzüge der so genannten neuen Medien genutzt werden. Hier wurde an die positiven Erfahrungen von WILHELM mit dem Computereinsatz im Mechanikunterricht und der Verwendung von dynamisch ikonischen Repräsentationen angeknüpft. Das Konzept versuchte durch vielfältigen Einsatz verschiedenster, motivierender Medien, wie Spielsachen, Videoanalysen, Computersimulationen und Schülerübungen, sowie möglichst alltagsnaher Arbeitsblätter und Übungen, die Schüler für die Fragestellungen der Mechanik zu begeistern und ihr Interesse an der Physik zu wecken oder zu erhalten. Aus der Erfahrung im Unterricht und den positiven Rückmeldungen der Schüler kann geschlossen werden, dass dieses Ziel insgesamt gut erreicht wurde. Zum anderen ging es jedoch auch darum, den Schülern wichtige qualitative Grundeinsichten in die Mechanik, sowie ein dem Alter und den Vorkenntnissen der Schüler angemessenes Verständnis der physikalischen Theorie zu vermitteln. Hierbei ging es unter anderem um die Frage, inwieweit von Beginn an die Richtungsabhängigkeit der physikalischen Größen berücksichtigt werden kann. Dabei sollte möglichst auf Rechnungen verzichtet werden und vornehmlich ein an der Anschauung orientiertes, qualitatives Verständnis erzeugt werden, auf dem in höheren Jahrgangstufen angeknüpft werden kann. Hierzu wurde versucht die physikalische Modellwelt vor allem über Pfeildarstellungen zu vermitteln. Ausgehend von der Beschreibung von Bewegungen wurden die Grundgrößen der Mechanik von Beginn an als Richtungsgrößen eingeführt, die zweckmäßiger Weise durch einen Pfeil mit einer bestimmten Länge und einer bestimmten Richtung dargestellt werden. Die Größen Geschwindigkeit, Zusatzgeschwindigkeit und Beschleunigung sollten von den Schülern von Beginn an als Pfeile konzeptualisiert werden. Hierbei leisteten das Softwaresystem PAKMA und die mit diesem erstellten Video-Projekte und Computersimulationen wertvolle Dienste. Anschließend wurde versucht diese Sichtweise auch in die Dynamik zu übertragen. Ausgehend von den Erfahrungen der Schüler in den beiden Schülerübungen wurde die

[1] **WILHELM, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin,

Kraft als Einwirkung auf einen Körper eingeführt, die dessen Bewegungszustand ändert und mit der Vorstellung einer raschen Folge von Stößen in Kraftrichtung verknüpft. Von Beginn an wurde betont, dass auch eine Richtungsänderung einer Änderung der Geschwindigkeit entspricht und somit einer Kraft bedarf. Darauf aufbauend wurde die Newtonsche Bewegungsgleichung in der Form $\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$ bzw. $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ plausibel gemacht und auch deren Aussage über die entsprechenden Richtungen betont. Die Sichtweise der Schüler wurde also zu keinem Zeitpunkt auf geradlinige Bewegungen eingeschränkt, sondern diese waren nur ein einfacher Sonderfall unter der Vielzahl im Alltag vorkommender Bewegungen. Trotz insgesamt positiver Erfahrungen entstanden teilweise auch Probleme bei der Umsetzung dieser Ziele. Die Addition und Subtraktion der Pfeile und das Verständnis der physikalischen Beschleunigung vielen den Schülern zunächst etwas schwer und brachten sie an die Grenzen ihres Abstraktionsvermögens. Die alles in allem positiven Ergebnisse des Fragebogens und die Erfahrungen aus dem Unterricht lassen aber darauf schließen, dass der Unterricht die wesentlichen Grundvorstellungen vermitteln konnte und die im Voraus ausgegebenen didaktischen Ziele - wenn nicht komplett, dann aber zumindest teilweise - erreicht werden konnten. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es nicht nur möglich, sondern in jedem Falle sinnvoll ist von Beginn an behutsam den Richtungscharakter der physikalischen Größen zu betonen und zweidimensional in die Mechanik einzuführen. Jedoch muss diese Einführung an das Alter, das Abstraktionsvermögen und das Vorwissen der Schüler angepasst sein und somit schülernah, alltagsnah und anschaulich erfolgen.

8 Literaturverzeichnis

DIESTERWEG, F. (1835): *Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer*, Essen

GEIPEL, R.; REUSCH, W. (2005): *Physik 8_I, Physik für die sechsstufige Realschule*, C. C. Buchners Verlag, Bamberg

HEUER, D. (1996): *Konzepte für Systemsoftware zum Physikverstehen* – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 52, Nr. 3, S. 2 -15

JUNG, W.; REUL, H.; SCHWEDES H. (1977): *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6*, Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik, Diesterweg, Frankfurt am Main

JUNG, W. (1980): *Mechanik für die Sekundarstufe I*, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt, Berlin, München

KIRCHER, E.; GIRWIDZ, R; HÄUßLER, P. (2001): *Physikdidaktik – Eine Einführung*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

KIRCHER, E.; SCHNEIDER, W. (2002): *Physikdidaktik in der Praxis*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

SCHECKER, H. (1985): *Das Schülerverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*, Bremen

SCHMIDT, M.; WILHELM, T.; HEUER, D. (2002): *Die Maus als Bewegungssensor. Kinematik und Dynamik in der Sekundarstufe I mithilfe des Computers* – In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 13, Nr. 69, S. 31 – 33

TIPLER, P. (1994): *Physik*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin

WIESNER, H. (1994): *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Forschungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 4, S. 122 – 127

WODZINSKI, R.; WIESNER, H. (1994): *Einführung in die Mechanik über die Dynamik. Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen* – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 164 – 169

WODZINSKI, R.: WIESNER, H. (1994): *Einführung in die Mechanik über die Dynamik.*

Zusatzbewegung und Newtonsche Bewegungsgleichung – In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 202 – 207

WODZINSKI, R. (1996): *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*, Lit Verlag, Münster

WILHELM, T.; HEUER, D. (2002): *Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden – durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung* – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 51, Nr. 7, S. 29 – 34

WILHELM, T. (2005): *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin, 2005, ISBN 3-8325-1046-X

WILHELM, T. (2006): *Zweidimensionale Bewegungen – Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes* – In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik – Kassel 2006, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin

WILHELM, T. (2007): *Vektorverständnis und vektorielles Kinematikverständnis von Studienanfängern* – Erscheint In: NORDMEIER, V.; OBERLÄNDER, A. (Red.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin

WILHELM, T.: GEßNER, T.: SULEDER, M.; HEUER, D. (2003): *Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren – Video und Messdaten multimedial aufbereitet* – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 52, Nr. 2, S. 23 - 30

Internetquellen:

- Informationen zum Teil auf www.wikipedia.de
- einige Aufgabenideen www.leifi-physik.de
- Informationen zum Fach Natur und Technik in Bayern: Homepage des ISB http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp
- Informationen zum G8 allgemein http://www.g8-in-bayern.de/g8/default.asp
- Fachprofil Natur und Technik http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26388
- Fachlehrplan 5. http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26334
- Fachlehrplan 6. http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26433
- Fachlehrplan 7. http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26436

9 Anhang

9.1 Das Schülerheft

Auf den folgenden 13 Seiten ist das Schülerheft zu sehen. Die hier abgedruckte Version ist jedoch nicht als einfache Abfolge der Hefteinträge der einzelnen Stunden gedacht, denn dazu ist sie zu ausführlich. Da die Schüler zu den behandelten Themengebieten kein Schulbuch hatten, indem sie über das Schulheft hinausgehende Informationen erhalten können, sollte diese Zusammenfassung eine Art Ersatz darstellen. Es wäre möglich die entsprechenden Seiten jeweils am Ende der Stunden als Arbeitsblätter auszuteilen oder sie den Schülern im Internet zugänglich zu machen, sodass am Ende des Kurses jeder Schüler diese 13 Seiten als ansprechende Zusammenfassung zur Verfügung hat. Die schriftlichen Hefteinträge und Tafelanschriften der einzelnen Stunden können sich an dieser Zusammenfassung orientieren, sollten aber deutlich knapper und prägnanter sein. Die vorliegende Version ist also eher als ein Mittelweg zwischen Schülerheft und Schulbuch zu verstehen und sollte die Schüler durch die Bilder und Grafiken, sowie einige Zahlenbeispiele aus dem Alltag ansprechen und weiter für das Themengebiet begeistern.

Mechanik

Die Mechanik untersucht, wie Körper sich bewegen und aufeinander einwirken.

I. Beschreibung von Bewegungen

In der Physik beschreibt man die Bewegung eines Körpers, indem man **zu jedem Zeitpunkt** angibt, an welchem **Ort** sich der Körper befindet und mit welchem **Tempo** er sich in welche **Richtung** bewegt.
Dabei kann es auch auf den Standpunkt des Beobachters ankommen, wir nehmen meistens die Erde als Standpunkt zur Beschreibung der Bewegungen.

1. Das Tempo einer Bewegung

Das Tempo gibt an, wie schnell ein Körper ein bestimmtes Wegstück zurücklegt:

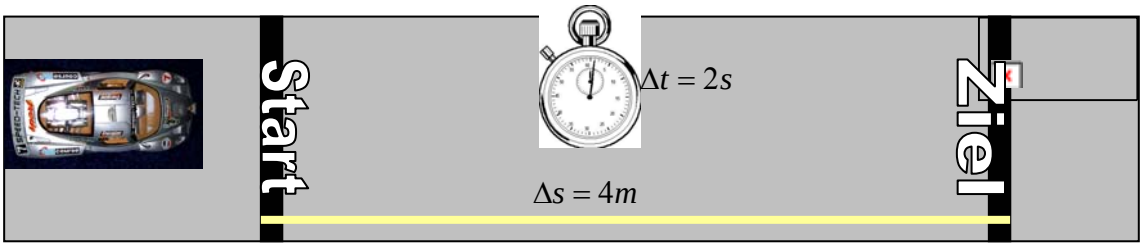
$\text{Tempo} = \frac{\text{zurückgelgter Weg}}{\text{benötigte Zeit}}$ in Formeln schreibt man $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

„Δ“ ist der griechische Buchstabe für „d“ und steht immer für eine Differenz:
Ende - Anfang
z.B.: Benötigte Zeit = Endzeit – Anfangszeit -> $\Delta t = t_{Ende} - t_{Anfang}$

Will man das Tempo zweier Körper vergleichen, so gilt:
Schneller ist, wer die **gleiche Wegstrecke** in der **kürzeren Zeit** zurücklegt.
Schneller ist, wer in der **gleichen Zeit** eine **längere Wegstrecke** zurücklegt.

Einheit des Tempos: $[v] = 1\frac{m}{s} = 3{,}6\frac{km}{h}$

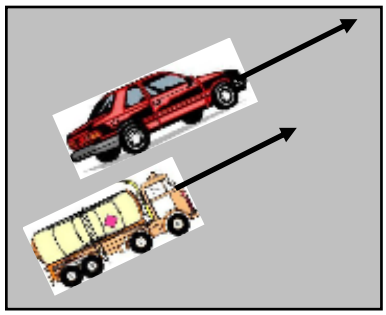
Versuch: Wir messen das Tempo unseres ferngesteuerten Autos:



$$v_{Auto} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{4m}{2s} = 2\tfrac{m}{s} = 7{,}2\tfrac{km}{h}$$

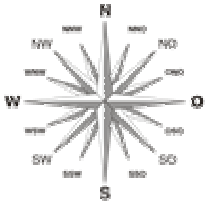
Wie schnell ist eigentlich ungefähr …

- eine Schnecke: 0,0008 m/s oder 0,003 km/h
- ein Fußgänger: 1,5 m/s oder 5,5 km/h
- ein Radfahrer: 7 m/s oder 25 km/h
- ein Auto: 33 m/s oder 120 km/h
- ein Flugzeug: 250 m/s oder 900 km/h
- der Schall: 340 m/s oder 1220 km/h
- das Licht: 300 000 000 m/s oder 1 080 000 000 km/h



2. Die Richtung einer Bewegung

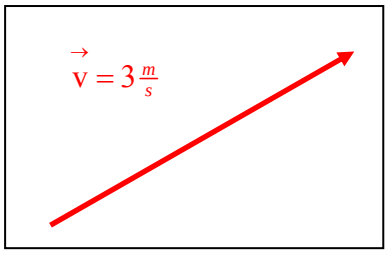
Zur Beschreibung der Richtung einer Bewegung verwendet man in der Physik Richtungspfeile. Man kann sich eine Art „Richtungskompass“ vorstellen, dessen Nadel immer in Richtung der Bewegung zeigt. Zwei Körper haben die gleiche Richtung, wenn sie den gleichen Richtungspfeil haben.

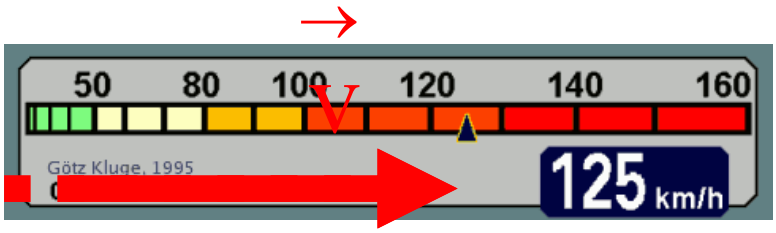


Aufgepasst: Gleiche Richtung bedeutet nicht zwingend gleiches Ziel und gleiches Ziel nicht unbedingt gleiche Bewegungsrichtung!

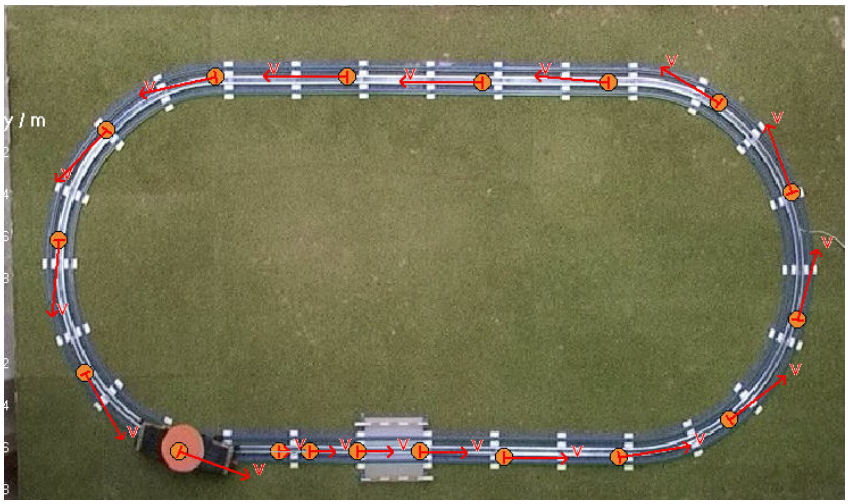
3. Die Geschwindigkeit $\vec{v}$ - Tempo ja, aber auf die Richtung kommt es an

Die Geschwindigkeit beschreibt das **Tempo** und die **Richtung** eines Körpers zu einem Zeitpunkt: **Geschwindigkeit = Tempo + Richtung**
Man stellt die Geschwindigkeit durch einen Geschwindigkeitspfeil dar, dessen Länge für das Tempo und dessen Richtung für die Richtung der Bewegung steht.





Zwei Geschwindigkeiten sind nur gleich, wenn ihre Pfeile gleich lang sind und in die gleiche Richtung zeigen.



Aufgepasst: Im **Alltag** heißt Geschwindigkeit oft das gleiche wie Tempo, in der **Physik** besteht jedoch ein wichtiger Unterschied. Man muss überlegen, was jeweils gemeint ist!

4. Geschwindigkeitsänderung und Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$

a) Geschwindigkeitsänderung

Wie wir gesehen haben, ist die Geschwindigkeit bei den meisten Bewegungen nicht konstant, sondern ändert sich während der Bewegung.

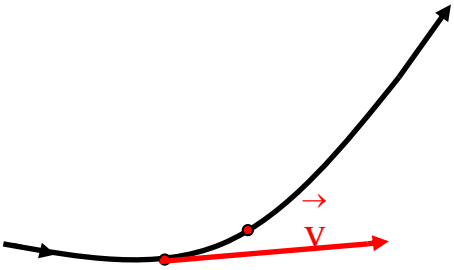
Die **Geschwindigkeit** kann sich **ändern**, indem

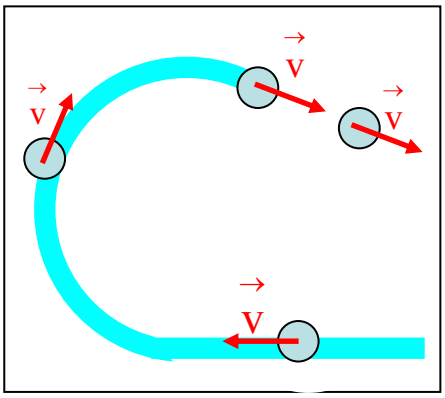
- das **Tempo erhöht** wird (Geschwindigkeitspfeil wird **länger**) $\vec{v}_{Anfang}$ $\vec{v}_{Ende}$

- das **Tempo verringert** wird (Geschwindigkeitspfeil wird **kürzer)** $\vec{v}_{Anfang}$ $\vec{v}_{Ende}$

- die **Richtung verändert** wird (Geschwindigkeitspfeil wird **gedreht**) $\vec{v}_{Anfang}$ $\vec{v}_{Ende}$

Eine Bewegung, bei der sich die **Geschwindigkeit/ der Geschwindigkeitspfeil** dauernd **ändert**, heißt in der Physik **beschleunigte Bewegung**.
(z.B. eine Kurvenbahn)
Auf einer Kurvenbahn ist die **Richtung der Geschwindigkeit** in der Physik die **Richtung, in der sich der Körper weiter bewegen würde**, wenn man die Kurve in diesem Punkt abbrechen würde.
(Vergleiche **Versuch Kugelbahn**: Egal wo man die Kurve unterbricht, die Kugel rollt stets geradeaus weiter)
Der Geschwindigkeitspfeil „schmiegt" sich in jedem Punkt an die Kurvenbahn:





b) Die Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$

Um Geschwindigkeitsänderungen beschreiben zu können, führen wir eine weitere Größe ein, die so genannte **Zusatzgeschwindigkeit.**
Ändert ein Körper seine Geschwindigkeit, so sagt man, er erhält eine Zusatzgeschwindigkeit. Diese stellen wir wieder durch einen **Pfeil** dar, den

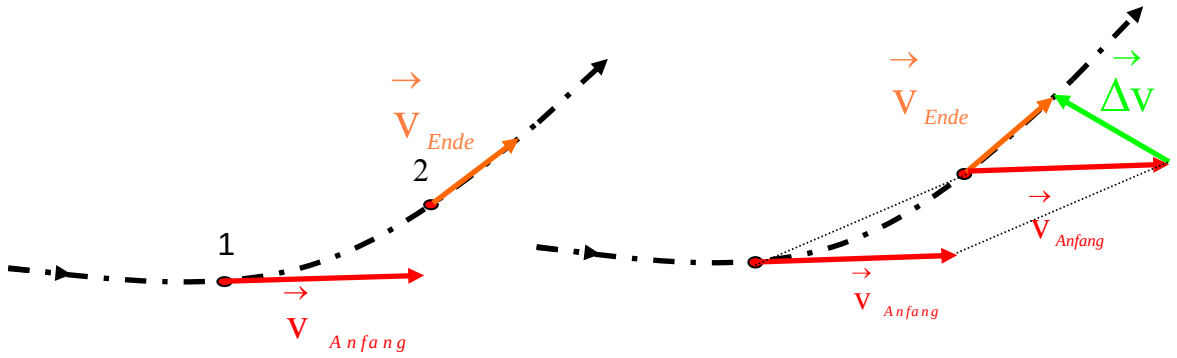
Zusatzgeschwindigkeitspfeil $\Delta\vec{v}$.

Man erhält ihn, indem man den Pfeil $\vec{v}_{Anfang}$ vom Punkt 1 **parallel in den Punkt 2 verschiebt**. Der **Zusatzgeschwindigkeitspfeil** verbindet nun die Spitze von $\vec{v}_{Anfang}$ mit der Spitze von $\vec{v}_{Ende}$. (siehe Zeichnung unten)

Man schreibt auch: $\vec{v}_{Ende} = \vec{v}_{Anfang} + \Delta\vec{v}$

Man kann sich vorstellen das der Zusatzgeschwindigkeitspfeil die Spitze von $\vec{v}_{Anfang}$ zur Spitze von $\vec{v}_{Ende}$ zieht.
Die **Zusatzgeschwindigkeit** ist ein **Maß** dafür, wie **stark und in welche Richtung sich die Geschwindigkeit** vom Punkt 1 zum Punkt 2 **geändert hat**.
Umso länger der Zusatzgeschwindigkeitspfeil ist, **umso stärker** hat sich die

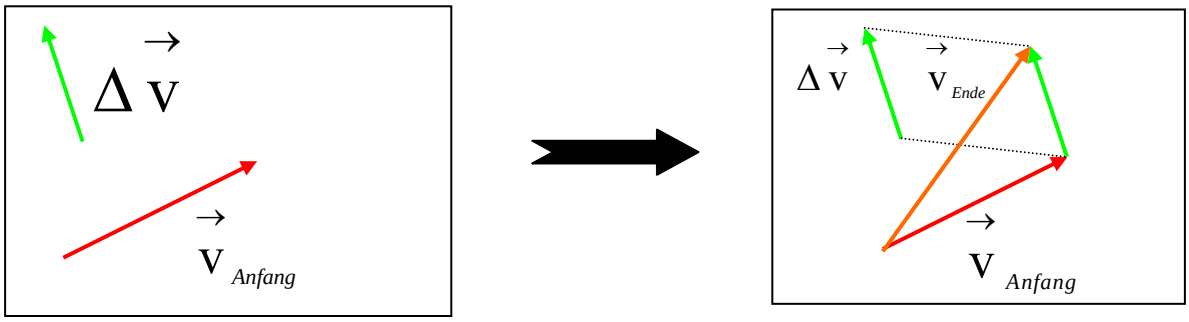
Geschwindigkeit von Punkt 1 zu Punkt 2 verändert.



So wie der Geschwindigkeitspfeil anzeigt wie schnell sich der Körper in welche Richtung bewegt, so zeigt der **Zusatzgeschwindigkeitspfeil** an, **wie sich die Geschwindigkeit verändert.**

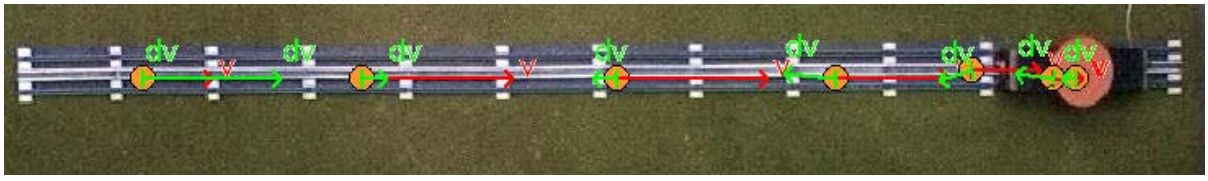
Häufig kennt man die Anfangsgeschwindigkeit $\vec{v}_{Anfang}$ und weiß welche Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ an einer Stelle hinzukommt. Man möchte nun wissen, „wie“ sich der Körper weiterbewegt, also mit welcher Endgeschwindigkeit $\vec{v}_{Ende}$ er sich weiterbewegen wird.

Dazu verschiebt man $\Delta\vec{v}$ parallel an die Spitze von $\vec{v}_{Anfang}$. Man hängt $\Delta\vec{v}$ sozusagen einfach vorne dran. Die Endgeschwindigkeit erhält man nun wenn man den Fuß von $\vec{v}_{Anfang}$ mit der Spitze von $\Delta\vec{v}$ verbindet:

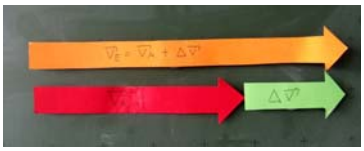


Der Körper bewegt sich nun in einer Sekunde zur Spitze von $\vec{v}_{Anfang}$ und von dort ZUSÄTZLICH zur Spitze von $\Delta\vec{v}$, also insgesamt zur Spitze von $\vec{v}_{Ende}$.

Dabei kommt es darauf an, welche **Richtung** $\Delta\vec{v}$ in Bezug auf $\vec{v}$ hat.

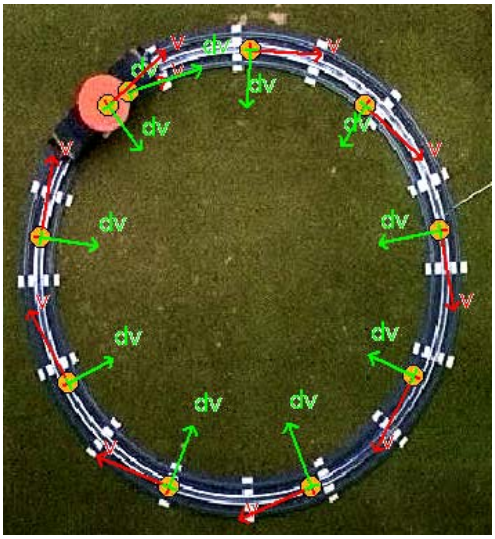


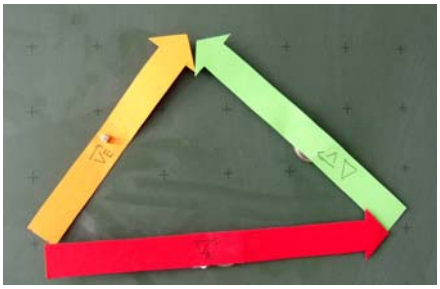
- Zeigt der Zusatzgeschwindigkeitspfeil **in Bewegungsrichtung**, so wird der Geschwindig-keitspfeil länger, das **Tempo** also **größer.**



- Zeigt $\vec{\Delta v}$ **gegen die Bewegungsrichtung**, wird der Geschwindigkeitspfeil kürzer, das **Tempo** also **kleiner.**

- Zeigt $\vec{\Delta v}$ **quer zur Bewegungsrichtung**, wird der Geschwindigkeitspfeil gedreht, der Körper **ändert** also **die Richtung.**





5. Die Beschleunigung $\vec{a}$

Die **Zusatzgeschwindigkeit** beschreibt **nur „wie viel“** sich die Geschwindigkeit ändert, sie enthält aber keine Information über die Zeit, in der das geschieht.
Die **Beschleunigung** hingegen beschreibt, **wie viel und wie schnell** sich die **Geschwindigkeit** (der Geschwindigkeitspfeil) eines Körpers **ändert**.
Sie ist umso **größer**, **je schneller** ein Körper eine gewisse **Zusatzgeschwindigkeit** erhält.

$$Beschleunigung = \frac{\text{erhaltene Zusatzgeschwindigkeit}}{\text{benötigte Zeit}}$$

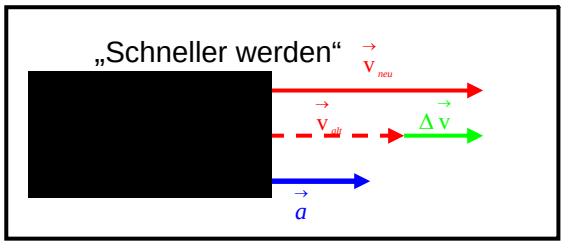
In der Sprache der Mathematik schreibt man: $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

Will man nur die Länge des Pfeils, also die Größe der Beschleunigung bestimmen und spielt die Richtung keine wichtige Rolle, schreibt man auch einfach $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Die **Einheit** der Beschleunigung ist $[a] = \frac{\frac{m}{s}}{s} = \frac{m}{s^2}$

Die Beschleunigung ist eine **Pfeilgröße**, der **Beschleunigungspfeil** hat die gleiche **Richtung** wie der Pfeil **der Zusatzgeschwindigkeit**, seine **Länge** misst, wie schnell sich der Geschwindigkeitspfeil ändert. Er ist also **umso länger**, **je schneller**, oder plötzlicher sich der **Geschwindigkeitspfeil ändert**.

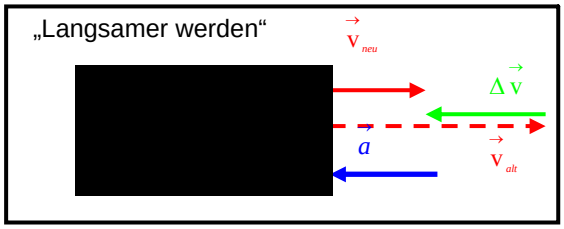
a) Zeigt der **Beschleunigungspfeil in Richtung des Geschwindigkeitspfeils**, so wird das **Tempo** des Körpers **größer**. Und zwar umso schneller, je länger der Pfeil ist.



Beispiele für Beschleunigungen in Fahrtrichtung:

- Normales Auto beim Anfahren: ca. 3 $\frac{m}{s^2}$ (von „0 km/h auf 100 km/h in 9 Sekunden)
- Rennauto beim Anfahren: ca. 7 $\frac{m}{s^2}$ (von 0 km/h auf 100 km/h in 3,8 Sekunden)
- Sprung vom 3-Meter-Brett: ca. 10 $\frac{m}{s^2}$ (von 0 km/h auf ca. 28 km/h in weniger als 1 Sekunde).
  Diese Beschleunigung nennt man auch Erdbeschleunigung „g“.
- Gewehrkugel im Lauf: ca. 640 000 $\frac{m}{s^2}$ (von 0 km/h auf 2800 km/h in 0,000002 Sekunden)

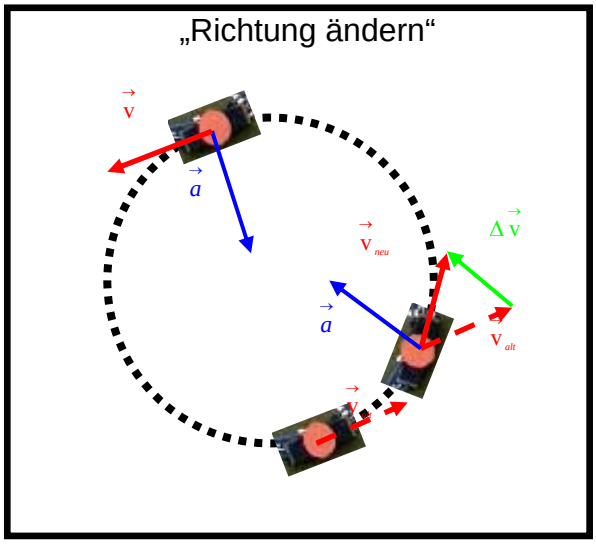
b) Zeigt der **Beschleunigungspfeil in die entgegengesetzte Richtung des Geschwindigkeitspfeiles**, so wird das **Tempo** des Körpers **kleiner**. Er bleibt umso schneller stehen, je länger der Beschleunigungspfeil ist.



Beispiele für Beschleunigungen gegen die Fahrtrichtung:

- Supertanker „volle Kraft zurück“: 0,005 $\frac{m}{s^2}$ (Von 30 km/h auf 0 km/h in ca. 30 Minuten)
- Zug ICE Vollbremsung: 1 $\frac{m}{s^2}$ (Von 250 km/h auf 0 km/h in ca. 70 Sekunden)
- Rennauto Vollbremsung: 11 $\frac{m}{s^2}$ (Von 100 km/h auf 0 km/h in ca. 2,5 Sekunden)
- Auto fährt gegen einen Baum: über 350 $\frac{m}{s^2}$ (Von 100 km/h auf 0 km/h in weniger als 0,1 Sekunde)

c) Zeigt der **Beschleunigungspfeil quer zur Richtung des Geschwindigkeitspfeils**, so **ändert** sich die **Richtung** des Geschwindigkeitspfeiles, der Körper macht eine **Kurve**. Bewegt sich ein Körper mit **konstantem Tempo** auf einer **Kurvenbahn**, so wird er dennoch **beschleunigt**. Die Beschleunigung zeigt dann an, **wie schnell sich die Richtung des Körpers ändert**.
Die **Beschleunigung** ist umso **größer**, je **höher das Tempo** des Körpers ist und **je enger die** durchfahrene **Kurve** ist.



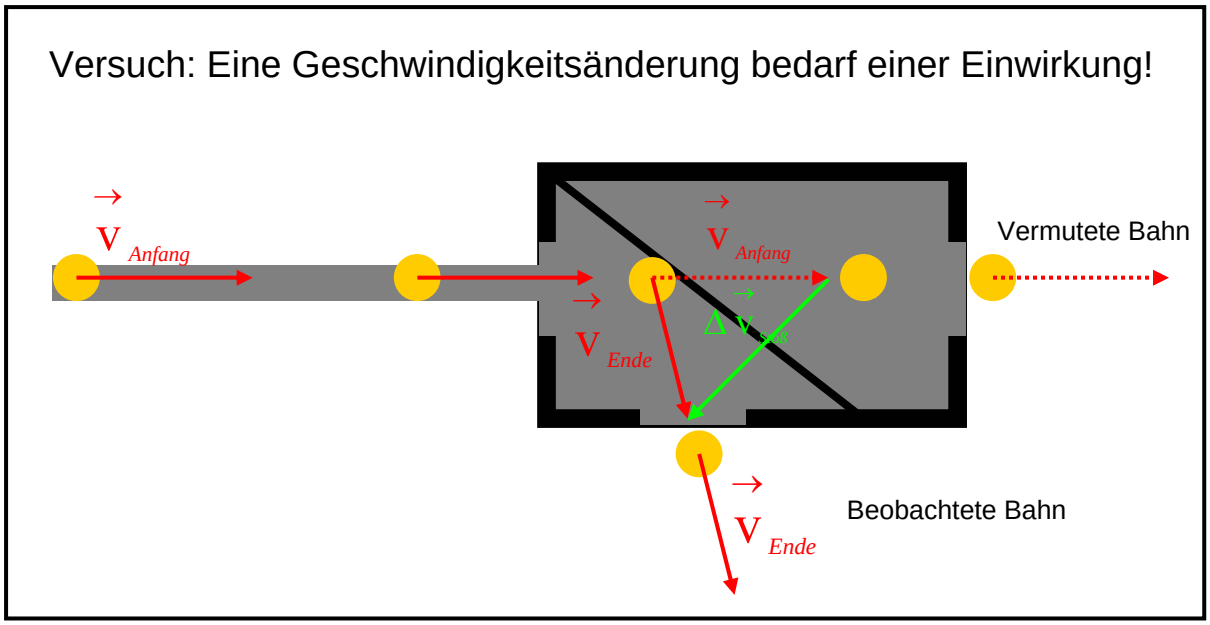
Beispiele für Beschleunigungen quer zur Fahrtrichtung:

- Kettenkarussell auf dem Rummel: ca. 20 $\frac{m}{s^2}$
- Schnell-Drehende Fahrgeschäfte auf dem Volksfest, wie „Breakdance“: ca. 30 $\frac{m}{s^2}$
- Formel 1 Auto in einer engen Kurve: ca. 70 $\frac{m}{s^2}$
- Looping im Kampfjet: bis zu 100 $\frac{m}{s^2}$ (bei etwa 100 $\frac{m}{s^2}$ wird ein Mensch ohnmächtig)
- Waschmaschine im Schleudergang: bis zu 3000 $\frac{m}{s^2}$

Aufgepasst: **Wieder unterscheiden sich Alttagsbedeutung und physikalische Bedeutung:**
Im Alltag meint beschleunigen stets schneller werden, also **nur Tempo zulegen**.
In der Physik heißt beschleunigen aber mehr, nämlich **Geschwindigkeit ändern**. Wenn sich der **Geschwindigkeitspfeil** eines Körpers ändert, wird er beschleunigt!

II. Ursache von Bewegungsänderungen oder „Warum bewegt sich der Körper gerade so?“

1. <u>Versuch „Blackbox“</u>

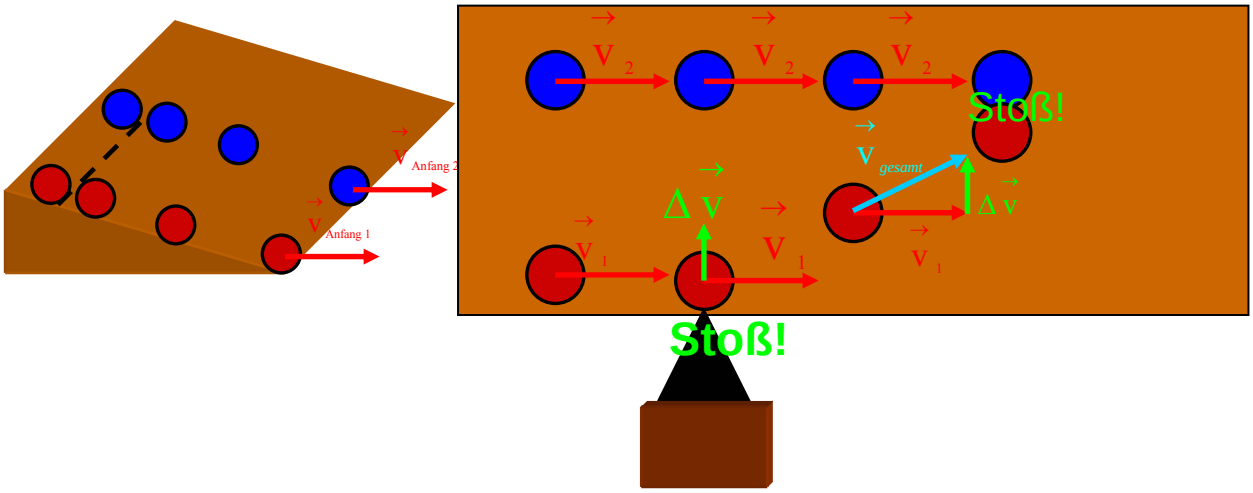


Ändert ein Körper seine **Geschwindigkeit** (erhält also eine Zusatzgeschwindigkeit), so **wirkt** immer mindestens ein **anderer Körper auf ihn ein**.
Eine Möglichkeit der Einwirkung sind **Stöße**.
Durch einen Stoß erhält der Körper eine **Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung**, die **umso größer** ist, **je stärker gestoßen** wurde.
Der Geschwindigkeitspfeil der Zusatzgeschwindigkeit zeigt also in die Richtung des Stoßes und seine Länge zeigt die Stärke des Stoßes an.
Eine Geschwindigkeitsänderung zeigt umgekehrt auch immer eine Einwirkung (z.B. einen Stoß) an.

Die Auswirkung des Stoßes auf den bewegten Körper hängt von der **Richtung des Stoßes in Bezug auf die Bewegungsrichtung** ab:
- **Stöße in Bewegungsrichtung** erhöhen das Tempo
- **Stöße entgegen die Bewegungsrichtung** verringern das Tempo
- **Stöße quer zur Bewegungsrichtung** ändern die Richtung der Bewegung

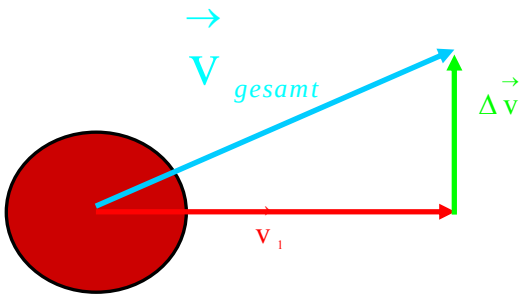
Die **Beschleunigung** ist als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit dabei **umso größer**, **je rascher die Stöße** aufeinander folgen und **je stärker** die einzelnen Stöße sind.

2. <u>„Kugelstoß“-Versuch:</u>



Die beiden Kugeln rollen nebeneinander die Rampe herunter und den Tisch entlang. Die **gestoßene Kugel** bewegt sich nach dem Stoß **nicht** etwa **in Stoßrichtung**, sondern erhält **nur** zusätzlich zu ihrer ursprünglichen Geschwindigkeit eine **Zusatzgeschwindigkeit in Stoßrichtung.** Sie bewegt sich also **sowohl** weiterhin **mit** $\vec{v}_1$ **nach rechts als auch mit** $\Delta\vec{v}$ **nach oben.** Aber beides gleichzeitig und **unabhängig** voneinander. Die beiden Bewegungen **überlagern sich** einfach zum sichtbaren Ergebnis, der neuen Gesamtgeschwindigkeit $\vec{v}_{gesamt}$.

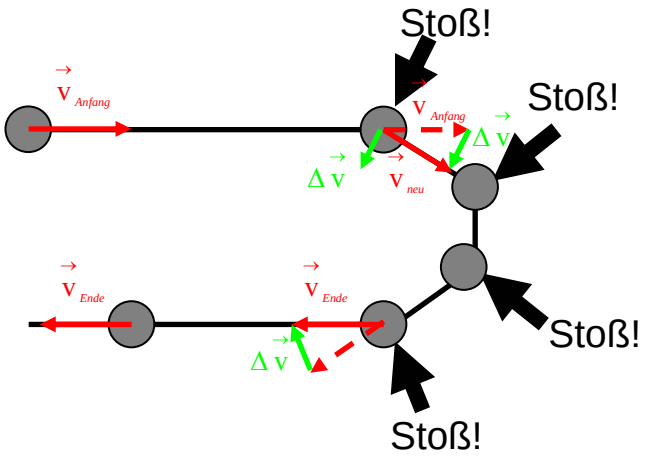
Ihren neuen Geschwindigkeitspfeil erhält man wieder durch **Addition des Zusatzgeschwindigkeitspfeils zum Anfangsgeschwindigkeitspfeil:**



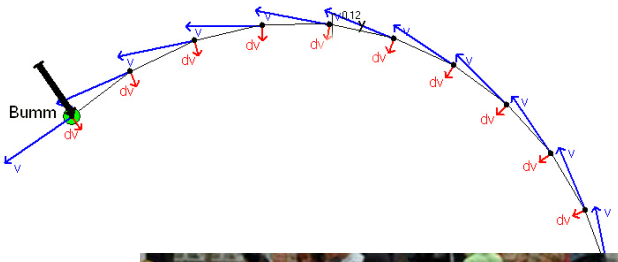
$$\boxed{\vec{v}_{gesamt} = \vec{v}_1 + \Delta\vec{v}}$$

3. Kurvenfahrt:

Man kann eine Kurvenfahrt durch eine **Anzahl von geeigneten Stößen** annähern. Um einen bewegten Körper um eine Kurve zu lenken muss dabei quer zu Bewegung und **von außen in Richtung Kurveninneres** gestoßen werden.



Dabei wird die **Kurve umso glatter**, **je öfter gestoßen** wird. Folgen die Stöße sehr rasch aufeinander, können sie nicht mehr unterschieden werden und man kann sich vorstellen, dass dauernd gestoßen wird.



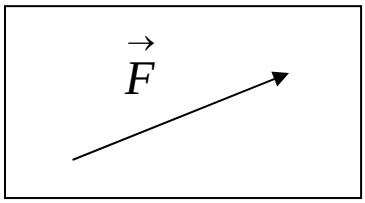
Auch ein **Auto** wird **um die Kurve „gestoßen“**, die **Reifen stoßen dauernd gegen den Straßenbelag** und dieser stößt gegen die Reifen. Dies nennt man **Haftung**.

Je schneller das Auto fährt **und je enger die Kurve** ist, **umso stärker** muss die Straße **stoßen**. Bei zu großer Geschwindigkeit **reicht die Haftung nicht aus** und das **Auto „fliegt aus der Kurve“.**

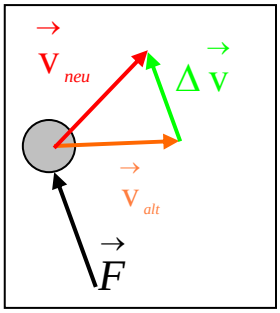
4. Die Kraft $\vec{F}$

Im Alltag hat der Begriff Kraft mehrere, unscharfe Bedeutungen.

In der Physik beschreibt die **Kraft immer eine Einwirkung** eines Körpers auf einen anderen, die dessen **Bewegungszustand ändert.**
Statt „Ein Körper wirkt auf einen anderen ein“, sagt man in der Physik, **„Ein Körper übt auf einen anderen eine zeitlang eine Kraft aus!“**

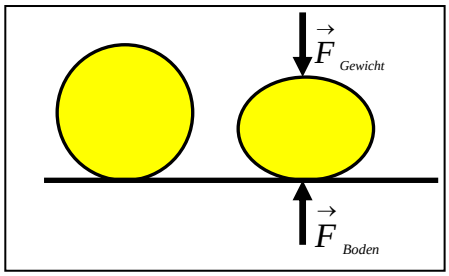


Man kann sich eine Kraft als eine **rasche Folge von Stößen** auf den Körper vorstellen.
Der Körper erhält durch eine auf ihn wirkende Kraft also eine Zusatzgeschwindigkeit, wird also beschleunigt.



Die **Kraft** ist eine **Pfeilgröße mit Stärke und Richtung.**
Ihre **Richtung** ist die gleiche, wie die **Richtung der Stöße** und der damit **übertragenen Zusatzgeschwindigkeiten.**
Man kann sich vorstellen, dass die **Stärke** der Kraft, also die Länge des Kraftpfeils **umso größer** ist, **je rascher die Stöße** aufeinander folgen und **je stärker** die einzelnen **Stöße** sind.

Die **Einheit der Kraft** ist Newton $[F] = 1\ \mathrm{N}$.



Greifen **an einem** Körper **mehrere Kräfte** an, so können sie den Körper auch **verformen**
(Bsp.: Wir setzten uns auf einen Ball)
Heben sich die Kräfte genau auf, behält der Körper seinen Bewegungszustand (also seine Geschwindigkeit) genauso bei, als würde keine Kraft auf ihn wirken, er bewegt sich **mit konstantem Tempo in die gleiche Richtung oder bleibt in Ruhe.**

5. Zusammenhang zwischen Zusatzgeschwindigkeit und Kraft, Masse, Einwirkungsdauer

Wenn auf einen Körper eine Kraft wirkt erhält dieser eine Zusatzgeschwindigkeit in Richtung der Kraft. Es gilt dabei:

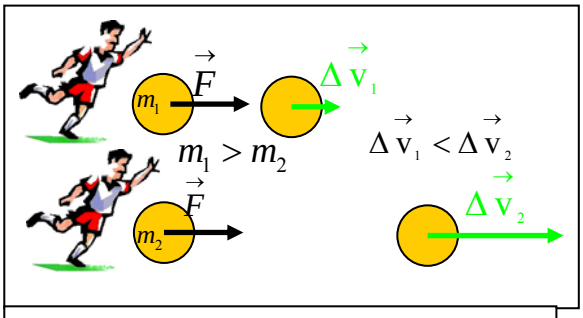
- **Die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit ist die Richtung der Kraft!**

- **Je größer die Kraft, desto größer ist die Zusatzgeschwindigkeit**

  Je größer F, desto größer Δv!

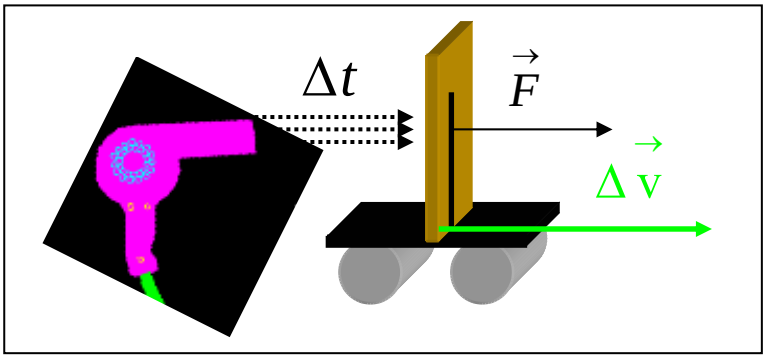
Wie groß die Zusatzgeschwindigkeit ist, hängt jedoch auch von der **Masse des Körpers** m und der **Einwirkungsdauer der Kraft** Δt ab. Es gilt:

- **Je größer die Masse (je schwerer der Körper ist) des Körpers, desto kleiner ist die Zusatzgeschwindigkeit**
  Je größer m, desto kleiner Δv!



Versuch Einfluss von m: Schuss gegen 2 Volleybälle

- **Je größer die Einwirkungsdauer (je länger die Kraft wirkt), desto größer ist die Zusatzgeschwindigkeit**
  Je größer Δt, desto größer Δv!



Versuch Einfluss von Δt: Föhn

6. Die Newtonsche Bewegungsgleichung

Man kann die oben formulierten Je-desto-Beziehungen zwischen einer Kraft $\vec{F}$, deren Einwirkungsdauer Δt und der Masse m des Körpers auf der einen Seite und der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ des Körpers auf der anderen Seite in einer einzigen Formel zusammenfassen:

$$\Delta v = \frac{F \cdot \Delta t}{m}$$

$$\text{Zusatzgeschwindigkeit} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Einwirkungsdauer}}{\text{Masse}}$$

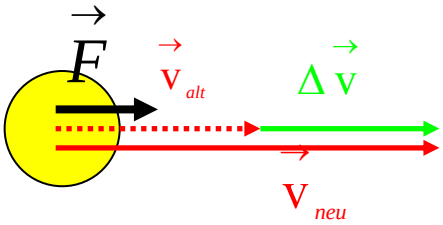
Wir können in der Gleichung zusätzlich darstellen, dass die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit gleich der Richtung der Kraft ist, indem wir Pfeile über die Größen machen:

$$\Delta \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m}$$

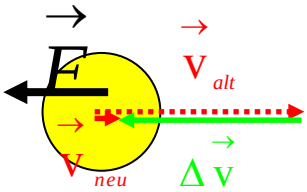
Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so erhält er eine Zusatzgeschwindigkeit in Richtung der Kraft. Diese ist umso größer, je stärker die Kraft ist, je länger sie einwirkt und je leichter der Körper ist.

Dieser Zusammenhang ist das wichtigste Gesetz der Mechanik und wird deshalb **Grundgesetz der Mechanik** oder zu Ehren seines Entdeckers Sir Isaac Newton, die **Newtonsche Bewegungsgleichung** genannt.

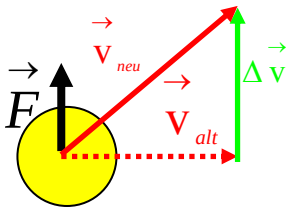
Aus der Newtonschen Bewegungsgleichung folgt:



➔ **Eine Kraft in Bewegungsrichtung erzeugt eine Zusatzgeschwindigkeit in Bewegungsrichtung, der Körper wird also schneller!**



➔ **Eine Kraft gegen die Bewegungsrichtung erzeugt eine Zusatzgeschwindigkeit gegen die Bewegungsrichtung, der Geschwindigkeitspfeil wird also kürzer, der Körper wird gebremst!**



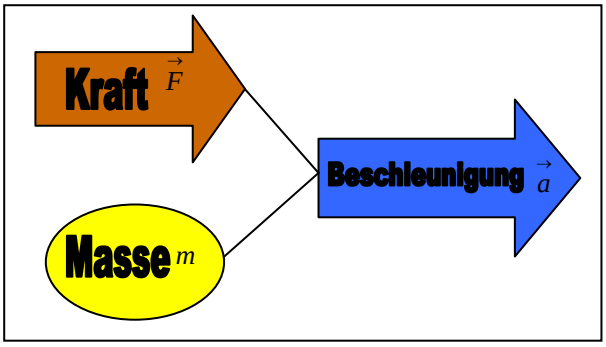
➔ **Eine Kraft quer zur Bewegungsrichtung ändert nur die Bewegungsrichtung, also die Richtung des Geschwindigkeitspfeiles! Der Körper fährt also eine Kurve!**

Oft ist es praktischer statt mit der Zusatzgeschwindigkeit mit der Beschleunigung zu arbeiten. Mit der Definition der Beschleunigung $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ kann man durch eine kleine Umformung auch schreiben:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{wirkende Kraft}}{\text{Masse}}$$

Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so wird er in Richtung der Kraft beschleunigt und zwar umso stärker, je größer die Kraft ist und je leichter der Körper ist.



Die Newtonsche Bewegungsgleichung hat zwei wichtige Anwendungsmöglichkeiten:

a) Vorhersage von Bewegungen
Kennt man die Kräfte, die auf einen Körper wirken und seine Masse, so kann man berechnen, wie sich seine Geschwindigkeit verändern wird. Weiß man auch, wo sich der Körper zurzeit befindet und mit welcher Geschwindigkeit er sich bewegt, so kann man seine weitere Bewegung vorhersagen.
(Beispiel: Man will eine Rakete auf den Mond schießen)

b) Bestimmung von Kräften
Beobachtet man umgekehrt die Bewegung eines Körpers genau und kennt seine Masse, so kann man auf die Kräfte schließen, die auf den Körper wirken. Man kann so Terme finden, um die Kräfte genauer zu beschreiben.
(Beispiel: Man lässt einen Körper fallen und misst, wie schnell er fällt, dadurch können wir die Erdanziehungskraft bestimmen.)

Zur Bestimmung von Kräften löst man die Newtonsche Bewegungsgleichung nach der Kraft auf: $\vec{F} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \cdot \vec{a}$

Betrachtet man die Einheiten, ergibt sich damit für die **Einheit der Kraft**:

$$1\ \mathrm{N} = 1\frac{\mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\mathrm{s}} = 1\frac{kg \cdot m}{s^2}$$

9.2 Die Arbeitsblätter

Auf den folgenden zwölf Seiten sind die Kopiervorlagen für die sechs verwendeten Arbeitsblätter abgedruckt, die teilweise in der Schule besprochen wurden und teilweise als Hausaufgabe angefertigt wurden. Die Arbeitsblätter bestehen meist aus mehreren Seiten. Im Anschluss sind auf zwei Seiten unter dem Stichwort „Weitere verwendete Aufgaben“ noch drei Aufgaben abgedruckt, die in den Stunden ebenfalls als Beispiele besprochen wurden, jedoch nicht an die Schüler verteilt wurden, sondern lediglich als Folie vorlagen.

Arbeitsblatt I – Tempo und Richtung

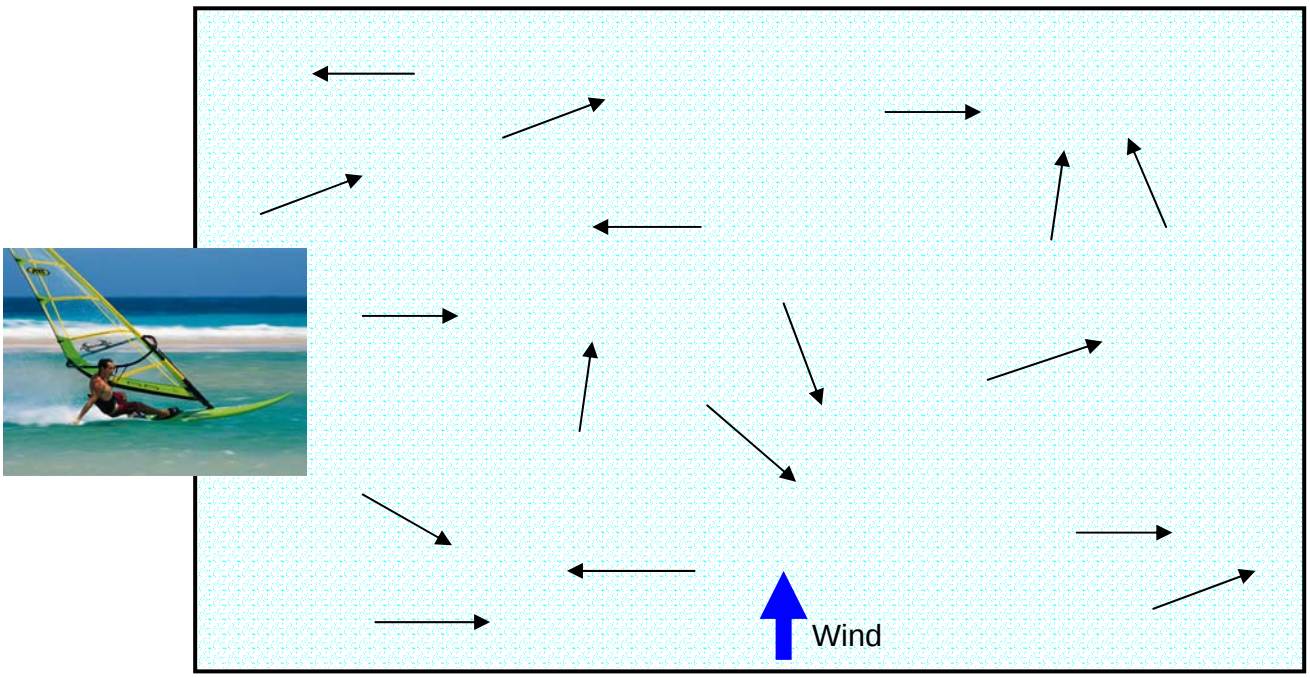
1. Biathlon Verfolgungsrennen in Turin 2006

Beim Biathlon Verfolgungsrennen starten die Läufer in der gleichen Reihenfolge und mit dem gleichen zeitlichen Abstand, mit dem sie am Tag vorher beim Sprint ins Ziel gekommen sind. Der Sieger des Sprints startet also als erstes, der zweite darf erst genau nach der Zeit in die Loipe, die er am Tag zuvor langsamer war.

Bei den Olympischen Spielen in Turin siegte der Deutsche Sven Fischer im Sprint und war dabei 2min 11s schneller als sein Teamkamerad Michael Greis.
Am Ende des Verfolgungsrennens am nächsten Tag kam Sven Fischer 1min 4s vor Michael Greis ins Ziel.
Wer von den beiden hatte beim 12,5km langen Verfolgungsrennen ein größeres Durchschnittstempo, war an diesem Tag also eigentlich schneller?
(Erinnerung: Durchschnittlich **schneller** ist wer in der **gleichen Zeit** den **größeren Weg** zurücklegt oder für den **gleichen Weg weniger Zeit** braucht!)

2. Windsurfer am Gardasee

An einem windigen Tag wimmelt es am Nordende des Gardasees nur so von Windsurfern, die hin und her flitzen. Um nicht zusammen zu stoßen, ist es wichtig die **Richtung** und das **Tempo** der anderen Windsurfer richtig einzuschätzen.
In der Zeichnung unten sind die Bewegungsrichtungen einiger Surfer durch Richtungspfeile eingezeichnet.
Kennzeichne mit Farbstiften, welche Surfer **ungefähr** in die **gleiche Richtung** sausen.
Müssen Surfer die in die gleiche Richtung fahren besonders aufpassen, nicht zusammen zu stoßen?

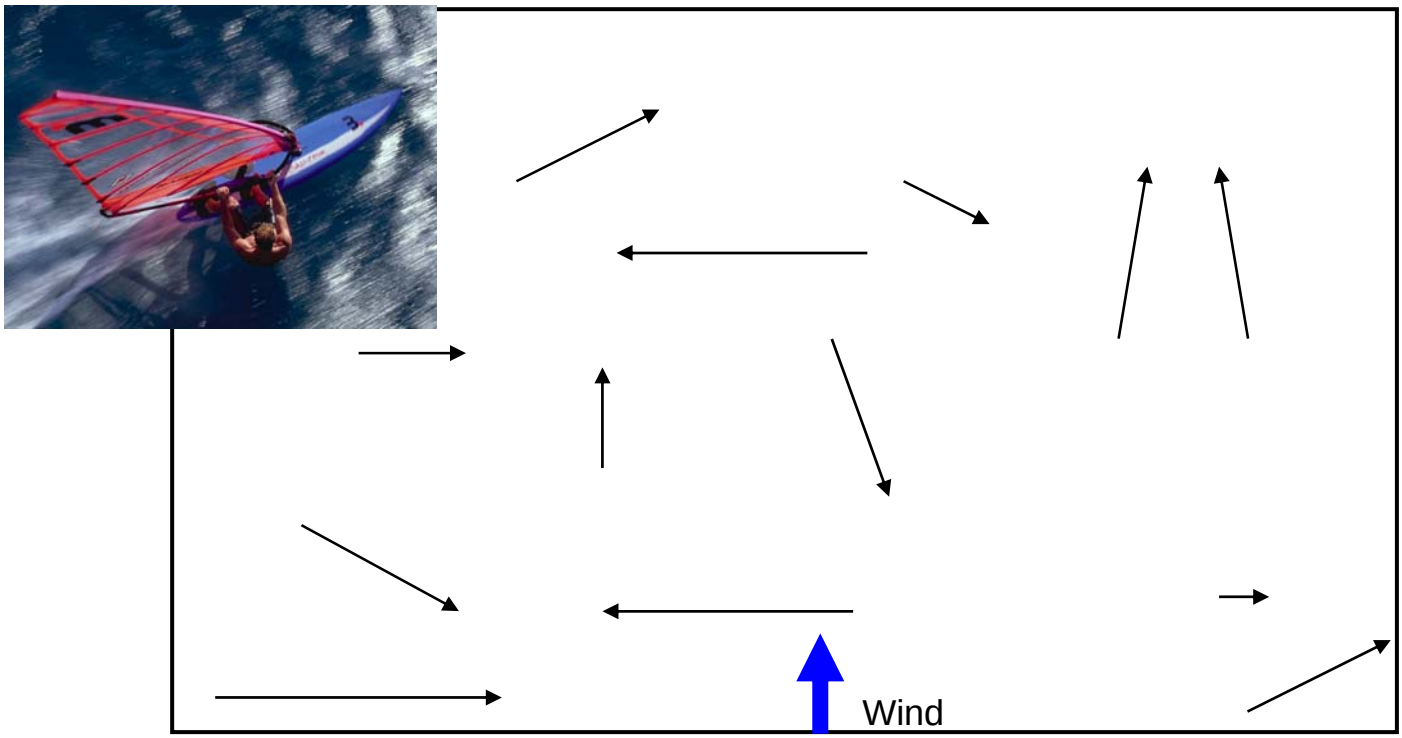


Arbeitsblatt II - Die Geschwindigkeit

1. Nochmals die Windsurfer

Bei den Surfern aus der Hausaufgabe ging es nur um die Richtungen.
Nun siehst du die Geschwindigkeitspfeile der jeweiligen Surfer.
Kennzeichne jeweils mit einer **extra Farbe**

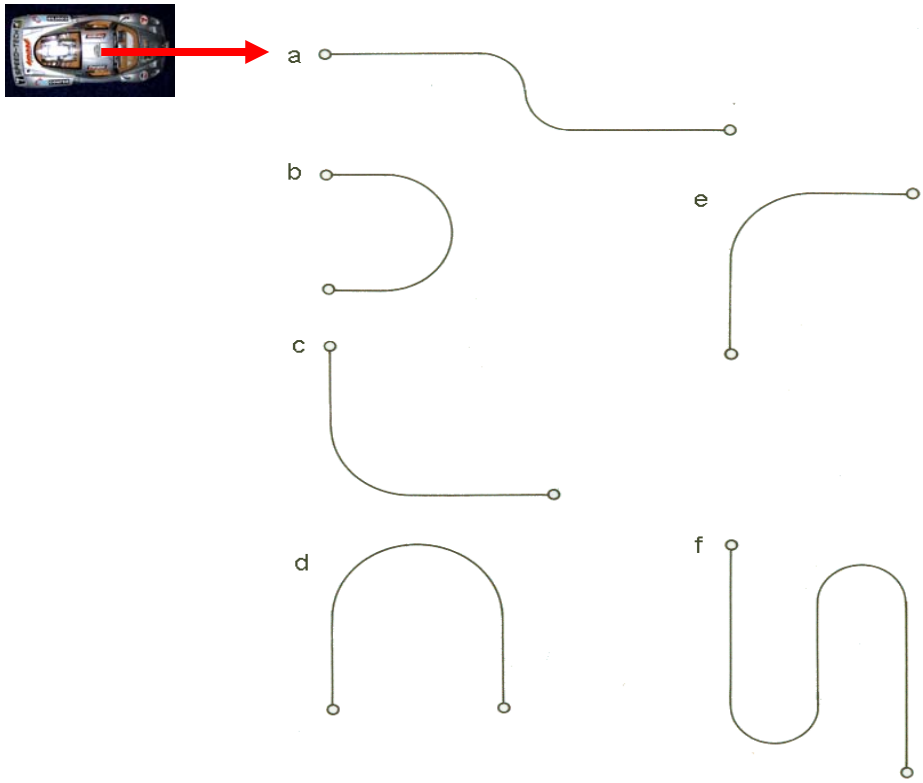
- Die Surfer mit **gleicher Geschwindigkeit** $\vec{v}$
- Die Surfer mit **gleichem Tempo v,** aber unterschiedlicher Geschwindigkeit $\vec{v}$
- Die Surfer mit **gleicher Richtung**, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit $\vec{v}$



2. Auto und Kurven

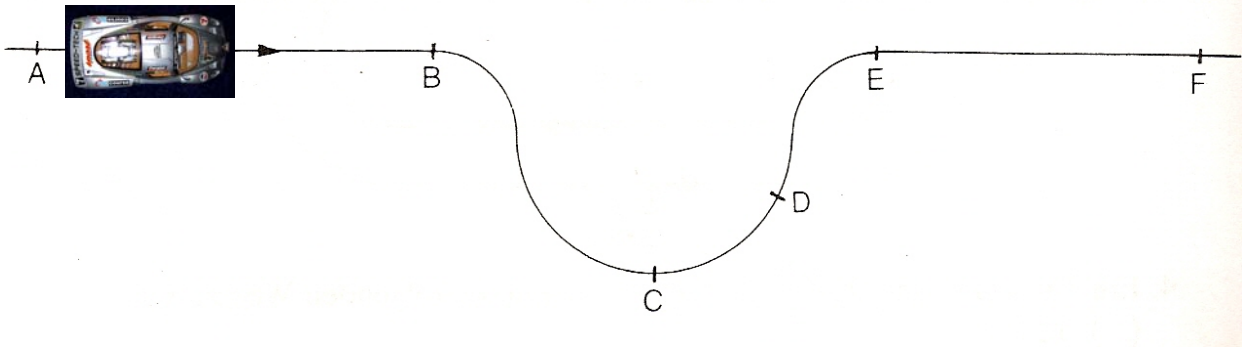
Für unser ferngesteuertes Auto soll eine Kurve entworfen werden, bei der es mit der gleichen (physikalischen) Geschwindigkeit herausfahren kann, mit der es auch hinein fuhr. Bei welchen der folgenden Kurven wäre dies prinzipiell möglich?
Was müsste beim Durchfahren der entsprechenden Kurven vom Fahrer zusätzlich beachtet werden?

Bitte Wenden!



- ❑ a
- ❑ b
- ❑ c
- ❑ d
- ❑ e
- ❑ f

Unser Auto fährt nun mit **gleich bleibendem Tempo** auf der gezeichneten Bahn. Auf welchen Streckenabschnitten ändert sich die Geschwindigkeit trotzdem?

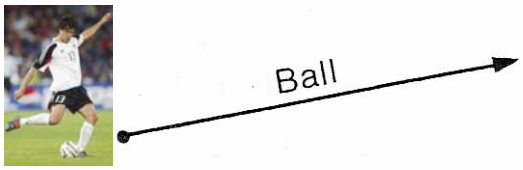


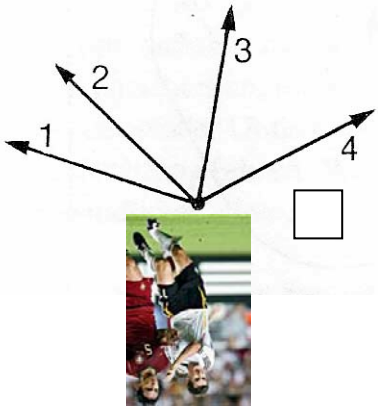
❑ AB ❑ BC ❑ CD ❑ DE ❑ EF

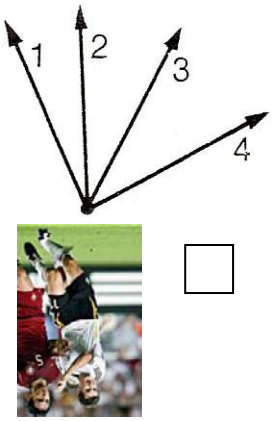
Bitte Wenden!

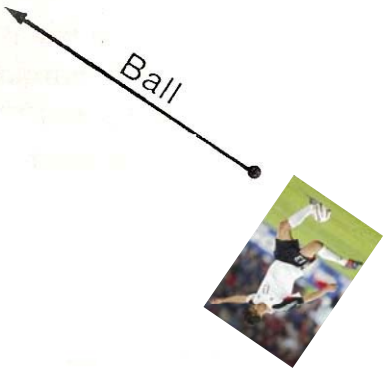
3. Pass in den Lauf beim Fußball

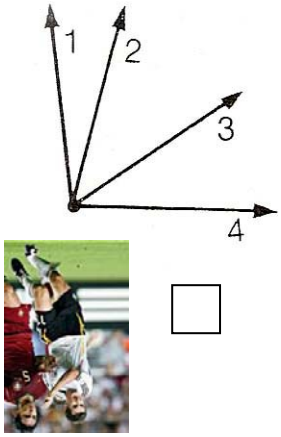
Beim Fußballtraining der Nationalmannschaft werden Angriffspielzüge trainiert. Michael Ballack legt als Spielmacher den Ball „in den Lauf" vor. Mit welcher Geschwindigkeit muss Miroslav Klose laufen, damit er den vorgelegten Ball bekommt?
Trage jeweils die Nummer des entsprechenden Geschwindigkeitspfeils in das Kästchen ein:

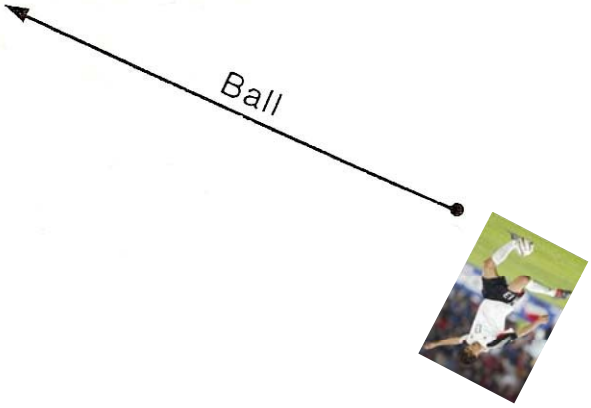












Arbeitsblatt III - Geschwindigkeitsänderung

1. Bahnkurve eines Windsurfers

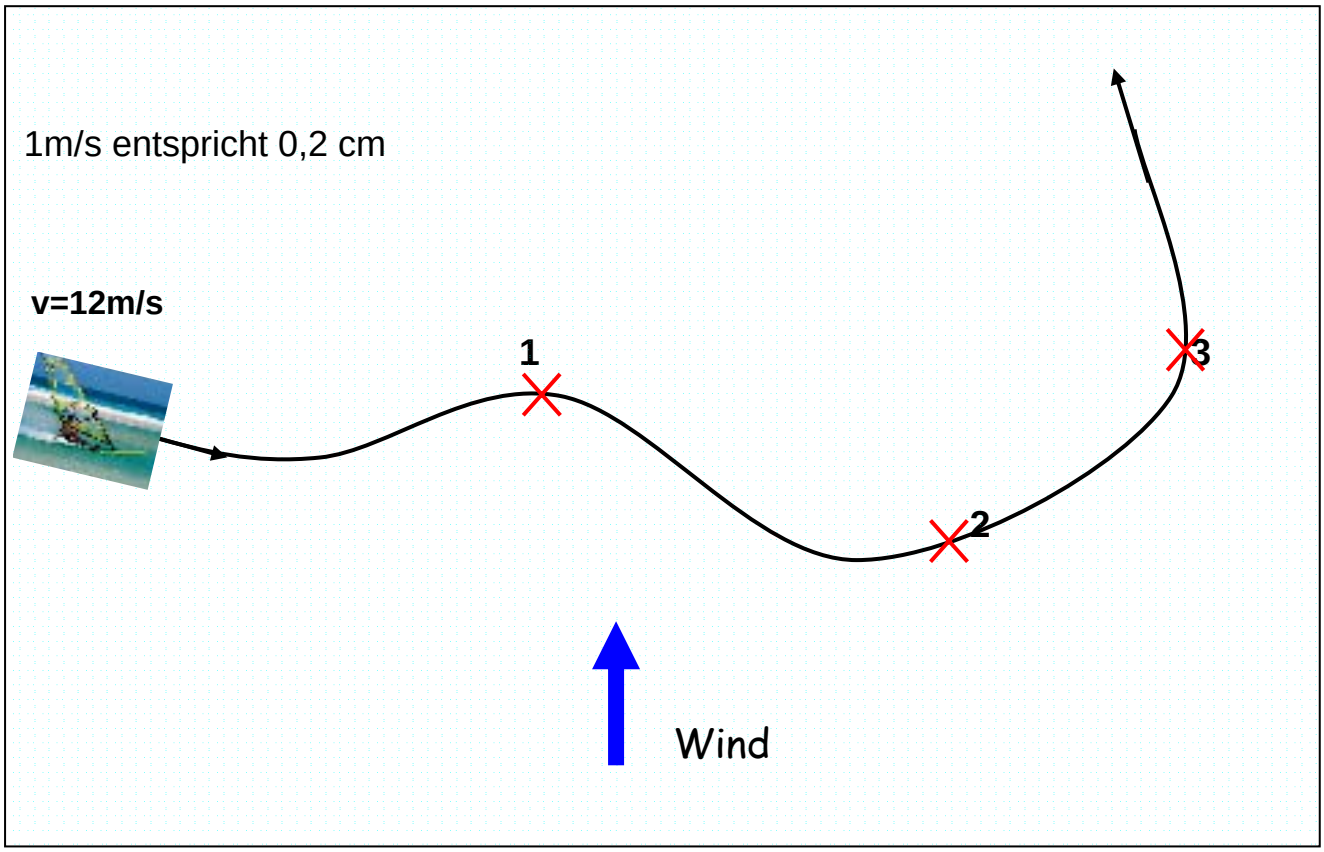
Unten siehst du die Bahnkurve eines der Windsurfer vom letzten Arbeitsblatt.

a) Geschwindigkeitspfeile

Zeichne an den markierten Stellen 1 bis 3 den **Geschwindigkeitspfeil** ein.
Der Surfer soll mit einem **konstanten Tempo** von **12 m/s** fahren und ein Tempo von **1 m/s** in der Zeichnung durch eine Länge von **0,2 cm** dargestellt werden.

b) Zusatzgeschwindigkeit

Zeichne im Punkt 2 den Zusatzgeschwindigkeitspfeil ein, den der Surfer zwischen Punkt 1 und Punkt 2 erhalten hat.
Zeichne im Punkt 3 den Zusatzgeschwindigkeitspfeil ein, den der Surfer zwischen Punkt 2 und 3 erhalten hat.



Bitte Wenden!

2. Durchschwimmen eines Flusses

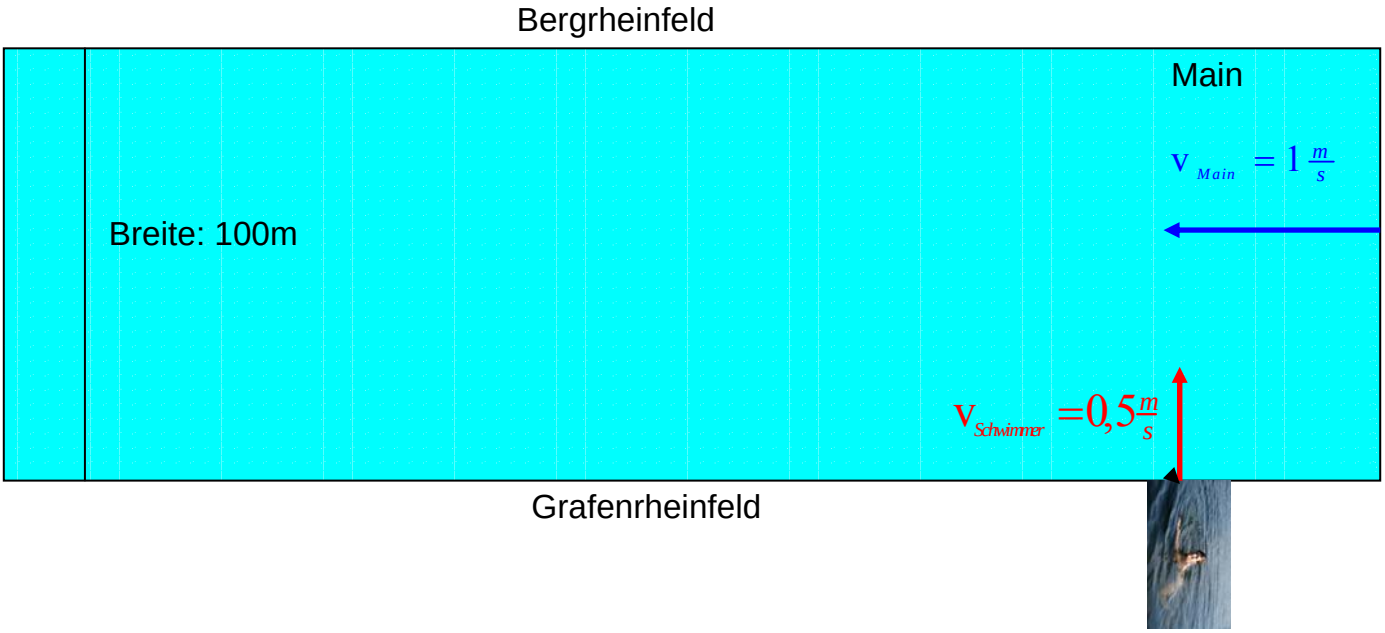
Eine Schwimmerin möchte den Main von Grafenrheinfeld nach Bergrheinfeld durchschwimmen. Sie schwimmt senkrecht zum Ufer los und benötigt 200 Sekunden um den 100m breiten Fluss zu durchschwimmen

a) Wie schnell war ihr durchschnittliches Tempo senkrecht zum Ufer?

b) Der Main hat dort eine Fliessgeschwindigkeit von 1 m/s parallel zum Ufer. Diese Geschwindigkeit erhält die Schwimmerin somit als Zusatzgeschwindigkeit.

Zeichne in die Skizze unten den gesamten Geschwindigkeitspfeil für die Bewegung der Schwimmerin ein und markiere die Stelle, an der sie am anderen Ufer herauskommen wird.

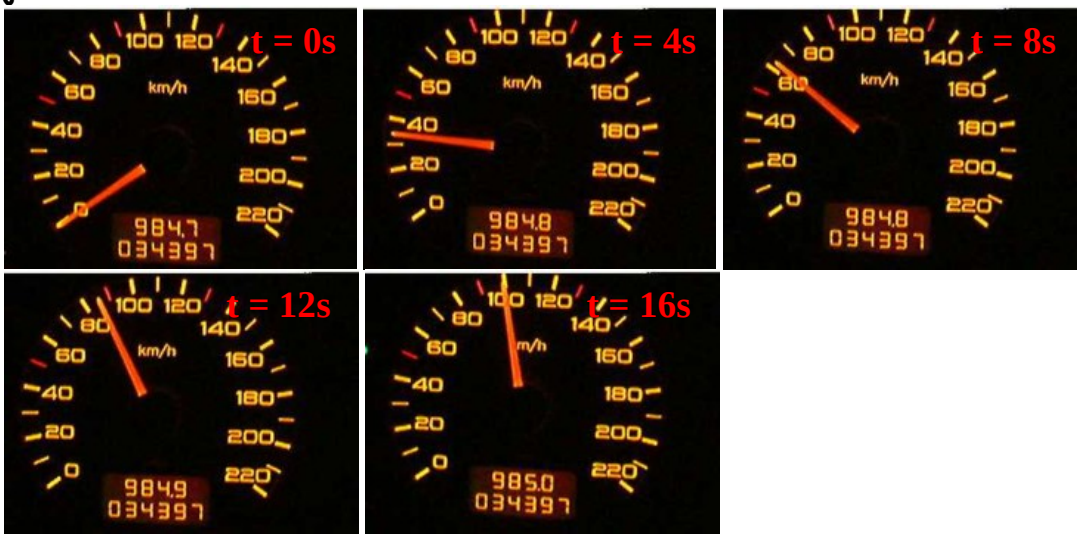
(Wenn du nicht weißt, wie du den Zusatzgeschwindigkeitspfeil verschieben sollst, dann schaue dir noch einmal das Pfeildreieck im Heft an. Der Zusatzgeschwindigkeitspfeil „zieht" die Spitze des Anfangsgeschwindigkeitspfeils zur Spitze des Endgeschwindigkeitspfeils)



Arbeitsblatt IV

Beschleunigung eines Autos – Tacho

Peter schaut seinem Vater beim Autofahren über die Schulter und beobachtet dabei den Tacho. Die folgende Bildsequenz zeigt den Tacho **im Abstand von jeweils 4 s.**



a) Entnimm den Bildern jeweils ungefähr die Geschwindigkeit und rechne sie in m/s um.

t in s					
v in km/h					
v in m/s					

b) Berechne die Größe der Beschleunigung zwischen dem Start und der 4. Sekunde, zwischen der 4. und der 8. Sekunde, zwischen der 8. und der 12. Sekunde und zwischen der 12. und der 16. Sekunde.

Start bis 4 s :

4 s bis 8 s :

8 s bis 12 s :

Bitte Wenden!

12 s bis 16 s :

c) Berechne die Größe der durchschnittlichen Beschleunigung „von 0 auf 100" und zeichne den durchschnittlichen Beschleunigungspfeil in das Bild unten ein, wenn eine Beschleunigung von 1 $\frac{m}{s^2}$ einer Länge von 1 cm entsprechen soll:

Start bis 16 s :

d) Bei einem Tempo von 100km/h ($\approx 27{,}8\,\frac{m}{s}$) rennt ein Reh über die sonst leere Straße. Peters Vater macht eine Vollbremsung und steht nach 3,7 Sekunden kurz vor dem erschrockenen Reh.
Berechne die Größe der durchschnittlichen Beschleunigung beim Bremsvorgang und skizziere in der Zeichnung den Geschwindigkeitspfeil vor dem Bremsvorgang in das Bild links und den Beschleunigungspfeil während des Bremsvorganges in das Bild in der Mitte. ($1\frac{m}{s}$ entspricht 1cm ; $1\frac{m}{s^2}$ entspricht 0,5cm)

Arbeitsblatt V – Stoß und Zusatzgeschwindigkeit

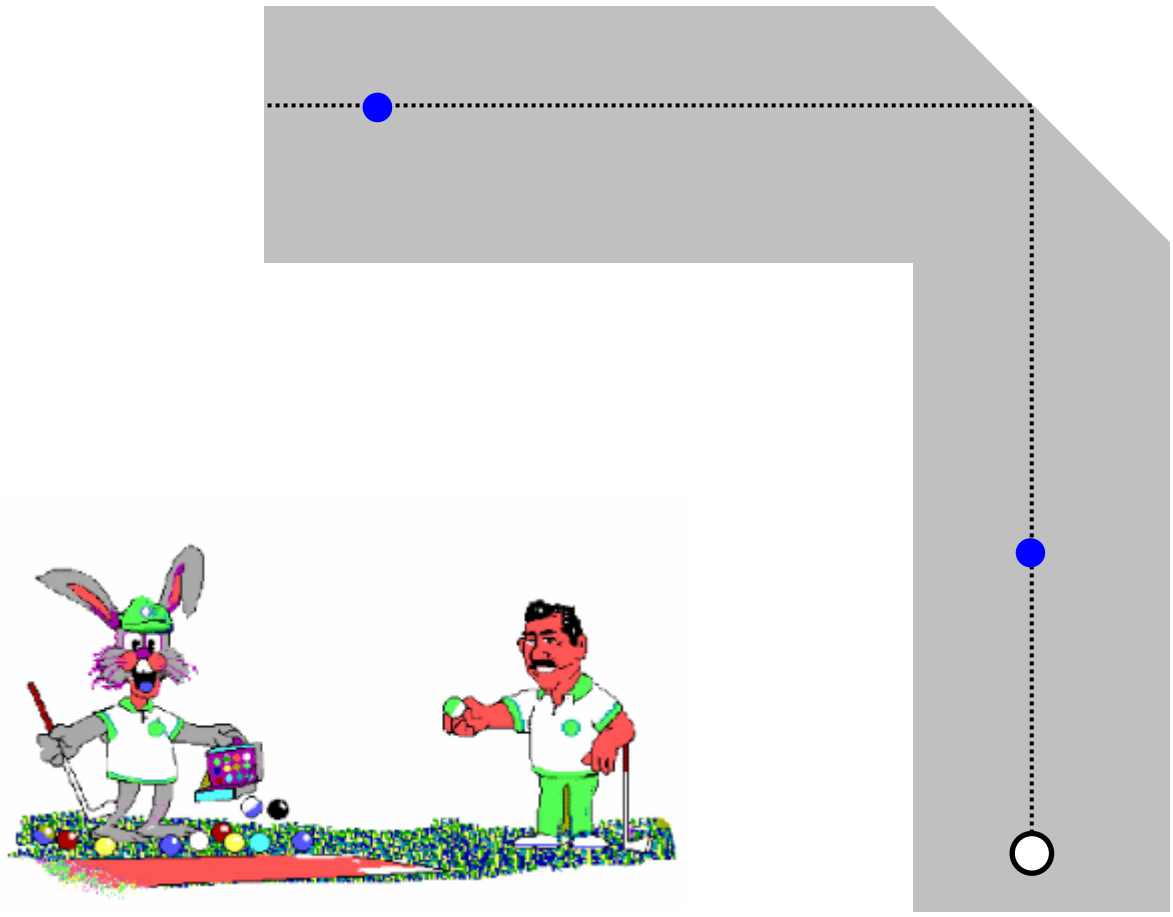
1. Minigolf

Bei manchen Minigolfbahnen muss man auch die Bande als „Mitspieler" nutzen. Der Ball stößt gegen die Bande und diese somit gegen ihn. Dadurch erhält der Ball eine Zusatzgeschwindigkeit.

Die Skizze unten zeigt die Bahn des Balles in einem solchen Fall. Der Ball soll mit einem Tempo von 40 km/h gegen die Bande stoßen und danach ein Tempo von 30 km/h besitzen.

Bestimme zeichnerisch die Zusatzgeschwindigkeit die der Ball von der Bande erhält und kennzeichne die Richtung der Einwirkung/ des Stoßes auf den Ball.

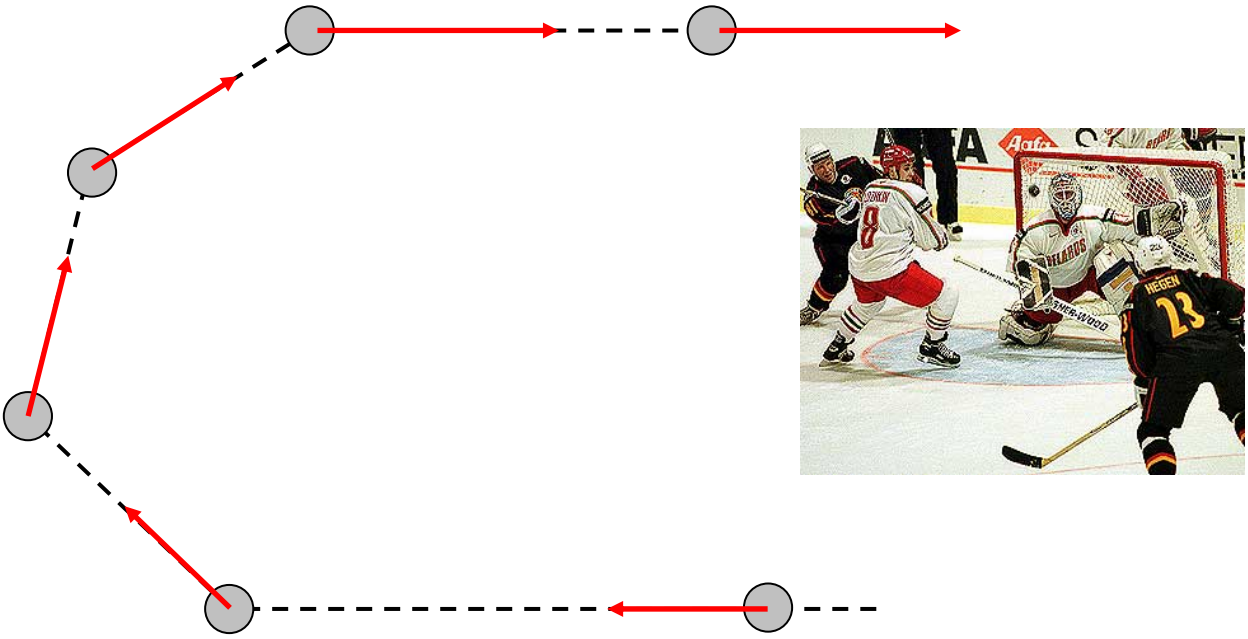
(10 km/h sollen 1cm entsprechen)



Bitte wenden!

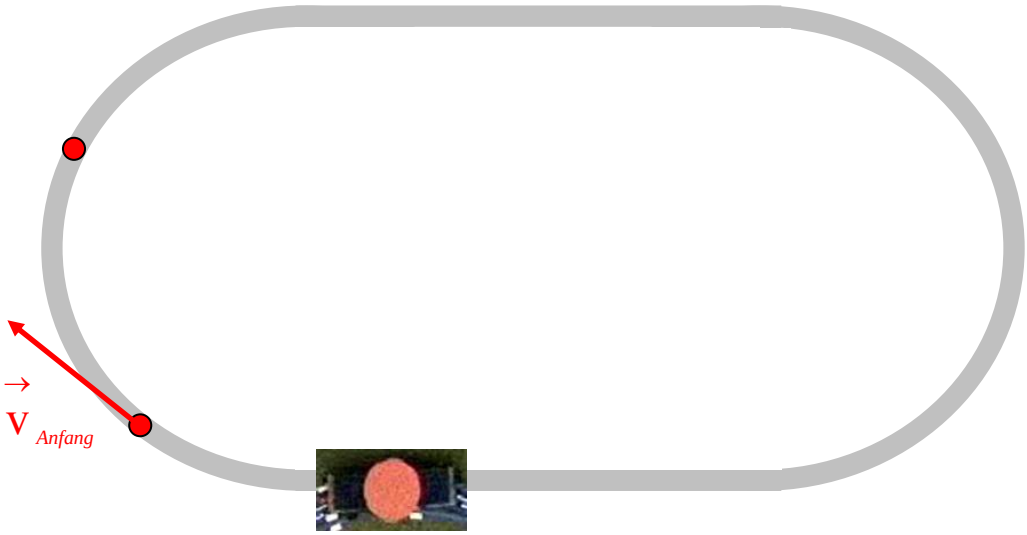
2. Powerplay beim Eishockey

Unten siehst du Bahn und Geschwindigkeit eines Eishockeypucks, der von den Spielern der Überzahlmannschaft mit ihren Schlägern um die Kurve gelenkt wird um eine Lücke mit freier Schussbahn zum Tor zu finden.
Ermittle in jedem der 4 Stoßpunkte die übertragene Zusatzgeschwindigkeit zeichnerisch und zeichne jeweils die Richtung ein, in der der Puck gestoßen wurde.



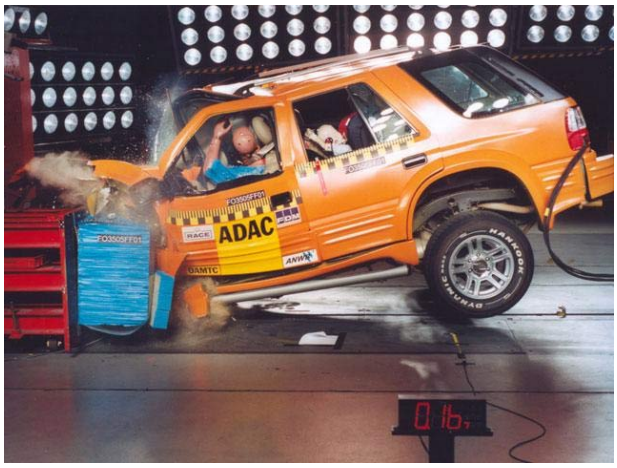
3. Zug fährt um die Kurve

Unser Zug fährt mit **konstantem Tempo** um die Kurve.
Zeichne die zwischen den zwei Punkten insgesamt von den Schienen erhaltene Zusatzgeschwindigkeit ein.



Arbeitsblatt VI – Die Newtonsche Bewegungsgleichung

1. Sinn des Sicherheitsgurtes im Auto



Ein Auto fährt mit **72 km/h** gegen einen Baum. Der Fahrer des Autos ist zu seinem Glück angegurtet. Der Sicherheitsgurt sorgt dafür, dass der Fahrer mit dem Wagen gemeinsam abgebremst wird.
Durch die Knautschzone des Autos und die Dehnung des Sicherheitsgurtes verlängert sich der Bremsweg des Fahrers und er wird nicht ganz so plötzlich abgebremst. Der Körper des Fahrers kommt so „erst" **nach 50 ms zur Ruhe**.

a) Welche durchschnittliche (Brems-) Beschleunigung erfährt der Körper des Fahrers beim Aufprall?

b) Wie groß ist die Kraft, mit der der Gurt im Durchschnitt auf den Oberkörper wirkt, wenn der Fahrer **70 kg** wiegt?

c) Ohne Sicherheitsgurt bildet der Körper keine Einheit mit dem Auto. Während das Auto schon abgebremst wird, bewegt er sich unverändert fort und prallt mit unverminderter Geschwindigkeit auf das nun stehende Armaturenbrett und weder die Knautschzone des Autos noch der sich dehnende Gurt dämpfen seinen Aufprall. Er kommt so bereits **nach 5 ms am** Armaturenbrett **zur Ruhe**.

   Wir groß sind nun die auf den Körper wirkende durchschnittliche Bremsbeschleunigung und Bremskraft?

   Welchen Sinn hat also der Sicherheitsgurt, wieso rettet er Leben?

2. Coladose im Weltraum

In der **Schwerelosigkeit** eines Weltraumlabors lässt sich eine leere Coladose von einer vollen Dose **nicht** wie auf der Erde **durch wiegen**, also mittels der Schwerkraft unterscheiden.
Wie kann man im Weltraumlabor trotzdem eine leere von einer vollen Dose unterscheiden, ohne diese zu öffnen?

3. Geschwindigkeit eines Golfballes

Ein Golfspieler schlägt den 47 g schweren Ball mit der Kraft 6,0 kN ab. Die Kontaktzeit zwischen Schläger und Ball ist 0,50 ms.

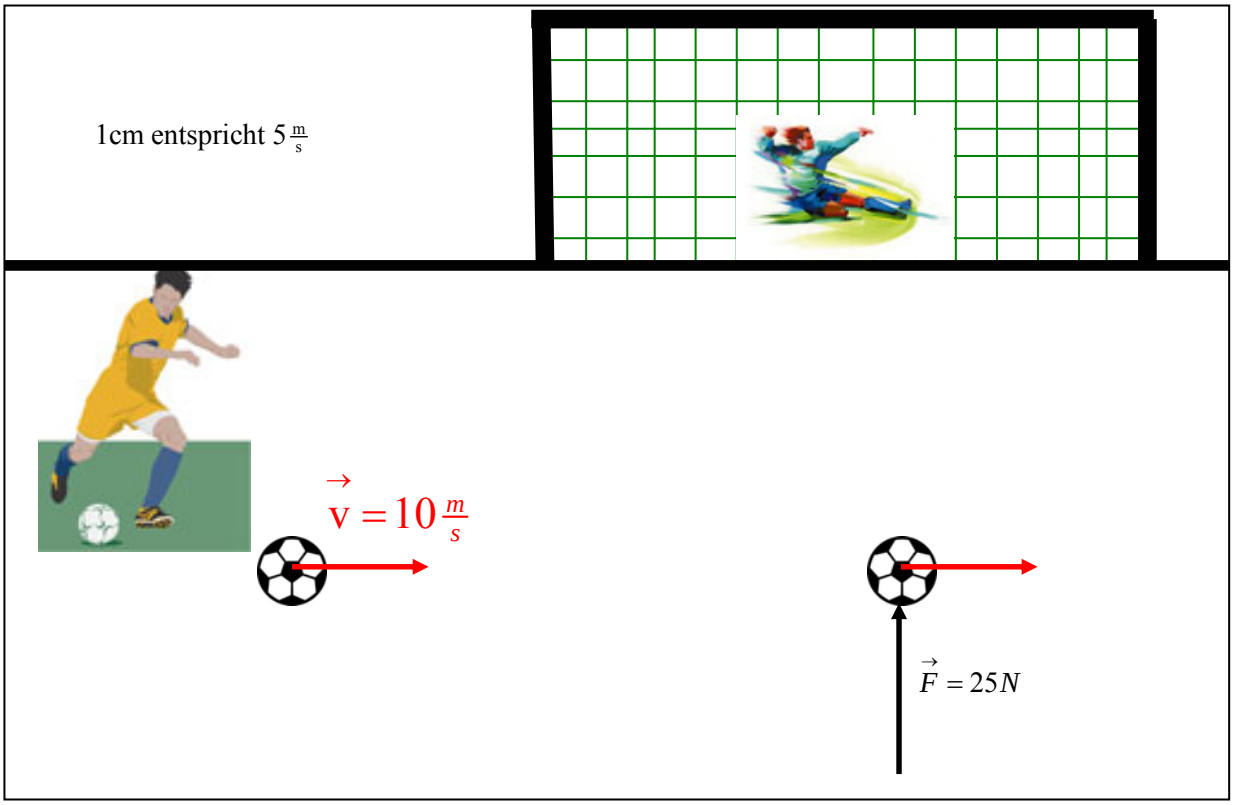
Welche Geschwindigkeit in km/h erreicht der Ball?
Wie groß ist seine Beschleunigung?

4. Kräfte beim Kopfball

Phillip Lahm flankt den 430 g schweren Fußball wie unten zu sehen parallel zur Grundlinie in den Strafraum. Miroslav Klose läuft in den Ball und köpft ihn senkrecht aufs Tor. Dabei übt er für 0,25 Sekunden eine mittlere Kraft von 25 N auf den Ball aus.

Geht der Ball ins Tor?

(Tipp: Grafische Lösung; 1 cm entspricht 5 $\frac{m}{s}$)



6. Wildwechsel

Ein Auto der Masse 900 kg fährt mit 108 km/h, als ein Reh auf die Straße springt. Der Fahrer unternimmt eine Vollbremsung. Seine Reaktionszeit ist 0,60 s, dann dauert es noch 2,0 s bis der Wagen zum Stehen kommt.

a) Welche Strecke legt das Auto während der Reaktionszeit zurück?

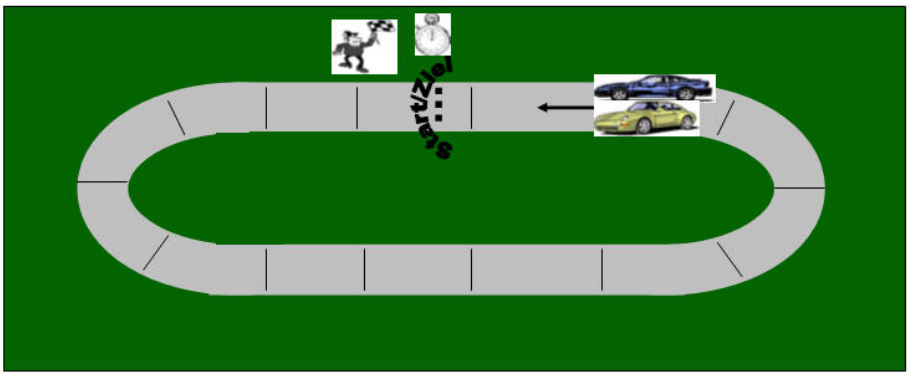
b) Wie groß ist die durchschnittliche Bremsbeschleunigung des Autos?

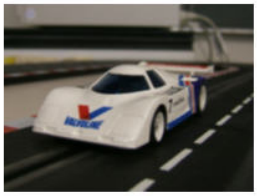
c) Wie groß ist die durchschnittliche Bremskraft?

Weitere verwendete Aufgaben

1. Zur Definition des Tempos

Carrera-Rennen





Zwei Freunde liefern sich ein Wettrennen auf einer Carrera-Bahn. Die beiden Wagen behalten die ganze Runde ihre Spur bei und kommen genau gleichzeitig ins Ziel.

Waren die Autos durchschnittlich gleich schnell?

Wenn nicht, welches hatte ein größeres Durchschnittstempo? Wie kommst du darauf?

2. Zur Definition der Richtung

3. Beschleunigung im Schwimmbad

Beschleunigung im Schwimmbad

Lisa ist nach der Schule ins Freibad gegangen. Sie springt vom 5-Meter-Turm ins Wasser und hat beim eintauchen eine Geschwindigkeit von $10\frac{m}{s} = 36\frac{km}{h}$. Ihre Freundin Patricia stoppt den Sprung und schätzt, dass er eine Sekunde gedauert hat.

Wie groß waren Lisas Zusatzgeschwindigkeit und mittlere Beschleunigung bei ihrem Sprung?

Auf dem Heimweg lässt sich Lisa mit ihrem Fahrrad aus dem Stand den „Sommerbad-Berg" hinunter rollen. Unten zeigt ihr Tacho ebenfalls ein Tempo von $10\frac{m}{s} = 36\frac{km}{h}$ an. Diesmal hat sie jedoch 10 Sekunden gebraucht um es zu erreichen.

Wie groß waren Lisas Zusatzgeschwindigkeit und mittlere Beschleunigung diesmal?
Vergleiche die beiden Ergebnisse. Was war bei beiden Bewegungen gleich, worin unterschieden sie sich?

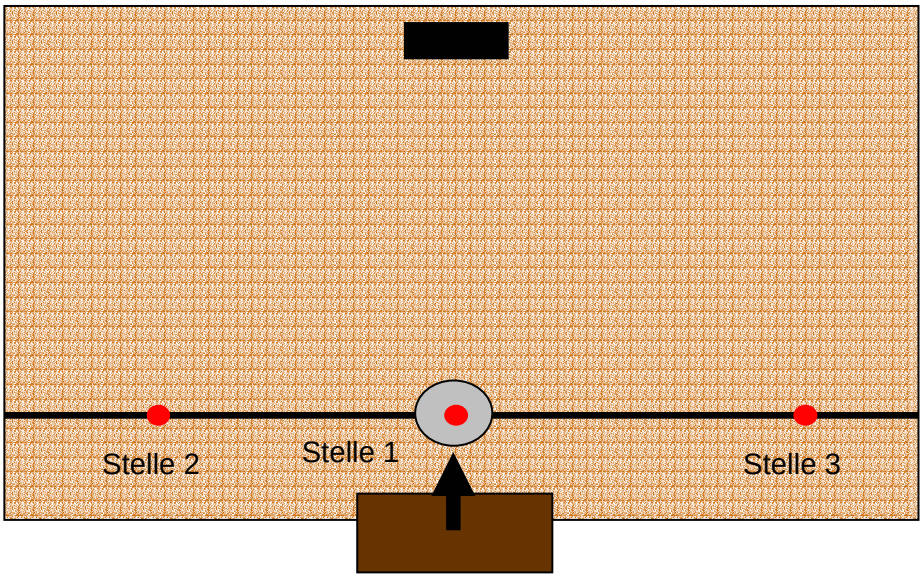
9.3 Arbeitsblätter für die Schülerübungen

Auf den folgenden sechs Seiten sind die Arbeitsblätter und Übungsanleitungen für die beiden Schülerübungen als Kopiervorlage abgedruckt. Wie alle Arbeitsblätter befinden sie sich jedoch auch in elektronischer Form auf der beiliegenden DVD. Die Übungsanleitungen wurden jeweils vor den Übungen verteilt und jeder Schüler bekam ein Exemplar. Die Arbeitsanweisungen zur Auswertung der Übungen waren teilweise als Hausaufgabe fertig zu stellen.

Übung „Kugelstoßen" Teil I

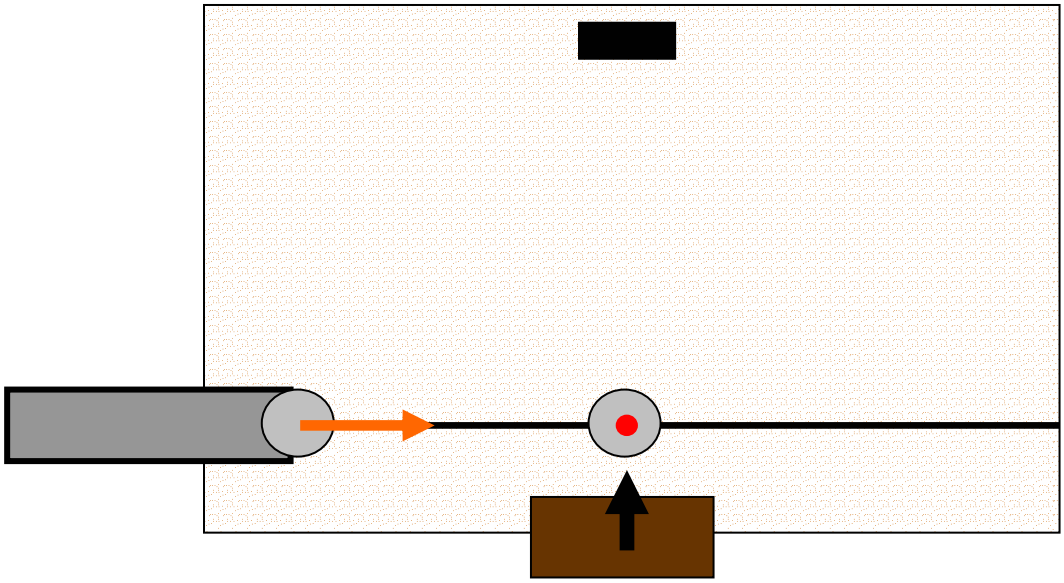
1. Ruhende Kugel

Stelle das Ziel auf die markierte Stelle. Lege die Kugel nun nacheinander auf die drei markierten Stellen auf der eingezeichneten Linie. Nun stößt du mit dem Stoßbrett gegen die **ruhende Kugel ohne** das Brett zu **verkippen**.
In **welche Richtung** musst du jeweils stoßen um das Ziel zu treffen?
Zeichne die **Stoßrichtung durch Pfeile** in die Skizze ein.



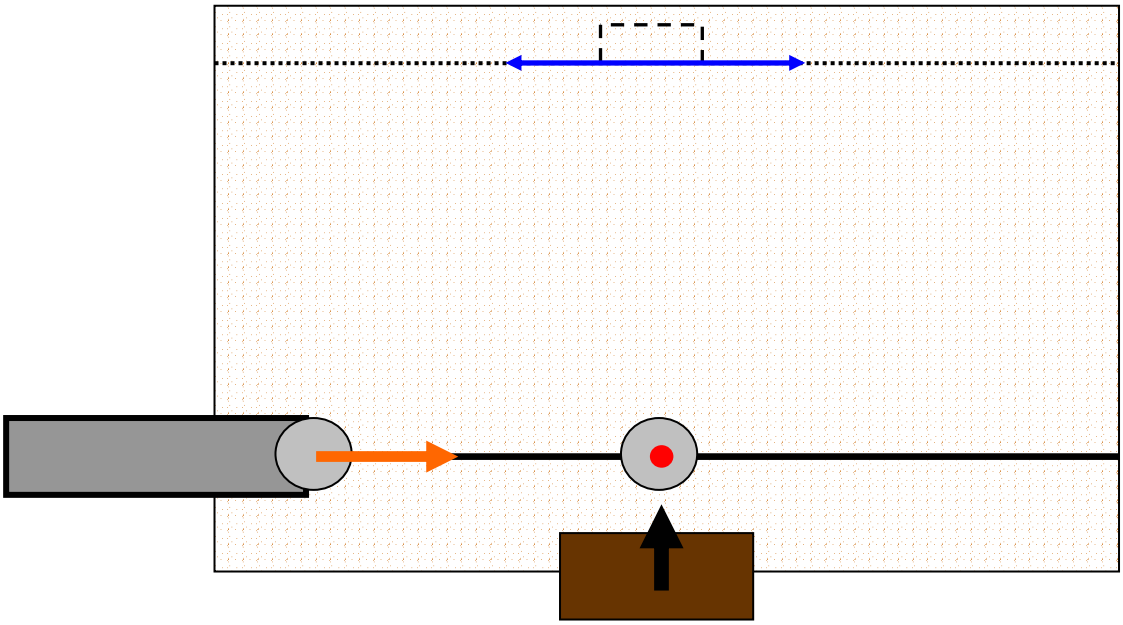
2. Kugel mit Anfangsgeschwindigkeit

Nun soll die **Kugel** die Schiene herunter und ungefähr die gezeichnete Linie entlang **rollen**. Stoße an der Stelle 1 **genauso wie oben** gegen die rollende Kugel.
Zeichne **bevor du stößt** zunächst die Richtung ein, in der du erwartest, dass sich die Kugel nach dem Stoß weiterbewegt.
Führe das Experiment dann durch. Triffst du das Ziel immer noch?
Skizziere deine **Stoßrichtung**, die Richtung der **Anfangs**- und **Endgeschwindigkeit** in der Zeichnung **durch Pfeile**.



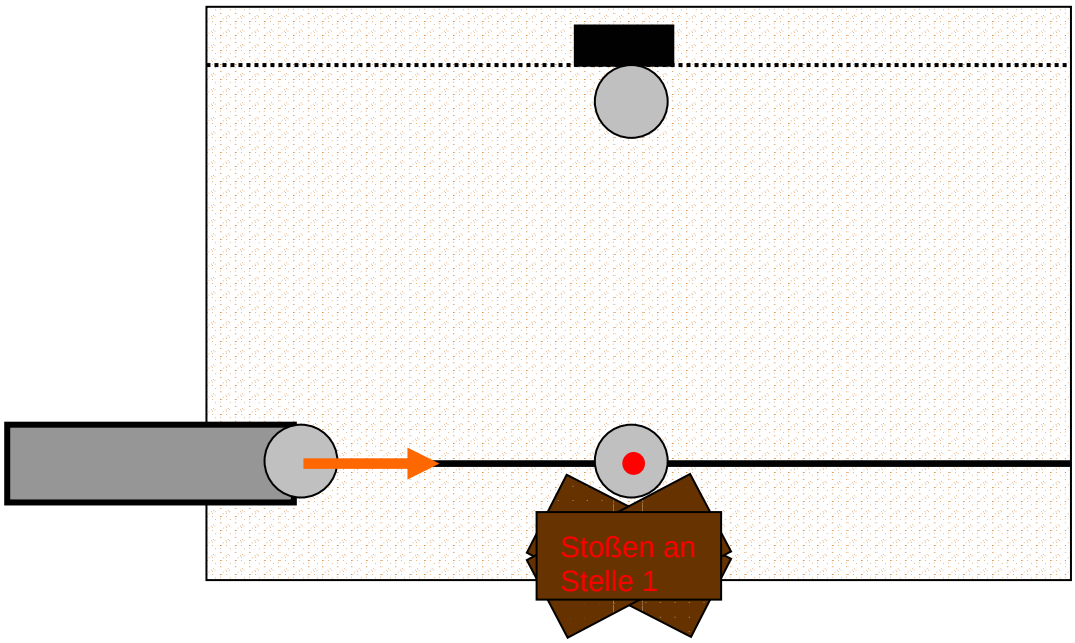
3. Verschieben des Zieles

Du stößt wieder genauso wie unter 2. **an Stelle 1** gerade gegen die vorbeirollende Kugel.
Versuche mit deinen gemachten Erfahrungen nun **das Ziel so zu verschieben, dass du es dennoch triffst.** Markiere die neue Stelle des Ziels auf der Unterlage. **Skizziere** wiederum die **Stoßrichtung** und die **Bewegungsrichtung** der Kugel **vor** und **nach dem Stoß durch Pfeile** und kennzeichne ungefähr die neue Stelle des Ziels.



4. Ändern der Stoßrichtung

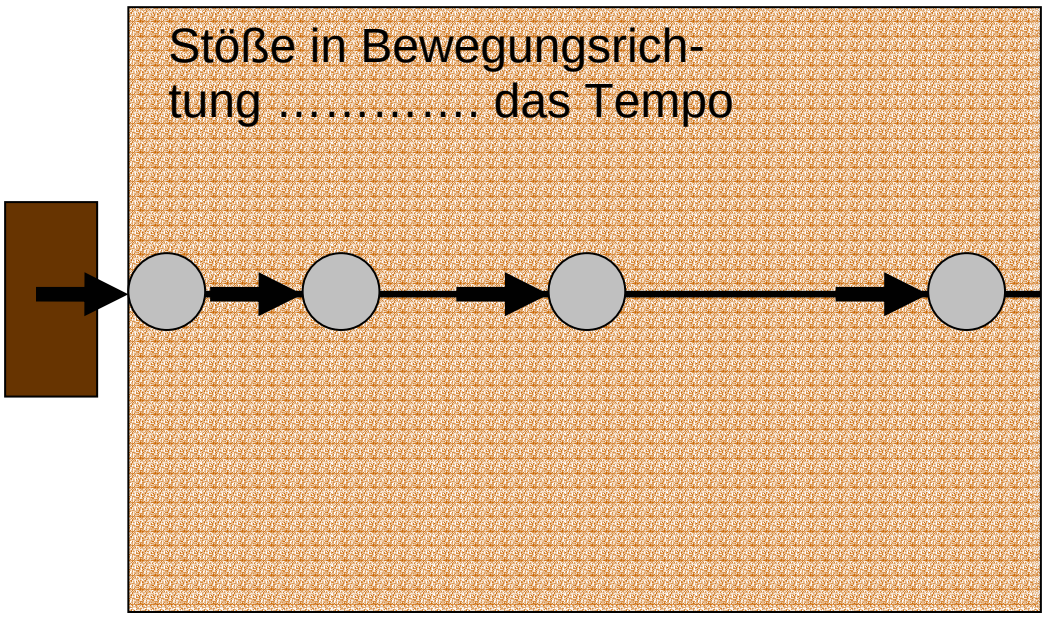
Stelle nun das **Ziel** wieder an die **alte Stelle**. Schaffst du es die **bewegte Kugel** so **von Stelle 1** aus zu stoßen, dass du das Ziel auch an der alten Position triffst? **Skizziere** wieder deine **Stoßrichtung** und die **Richtung der Geschwindigkeiten durch Pfeile** in der Zeichnung unten.



5. „Gas geben" und „Bremsen" durch Stöße

Die Ziele und Schienen werden nun nicht mehr gebraucht. Nimm nun die **größere und schwerere Kugel** und lege sie an den Rand der Unterlage.

- Versuche sie durch **viele kleine Stöße in die gleiche Richtung** „in Gang" zu bekommen und **möglichst schnell** werden zu lassen.



- Wiederhole das Gleiche mit der **kleinen, leichten Kugel**. Was fällt dir auf?

- Nun wollen wir die **Kugel durch Stöße bremsen**. Dein Partner rollt die schwere Kugel möglichst kräftig auf dich zu. Versuche mit dem Brett **leicht gegen die Bewegungsrichtung** zu stoßen und so abzubremsen. Schaffst du es so leicht zu stoßen, dass die Kugel nicht gleich beim ersten Stoß stillsteht?

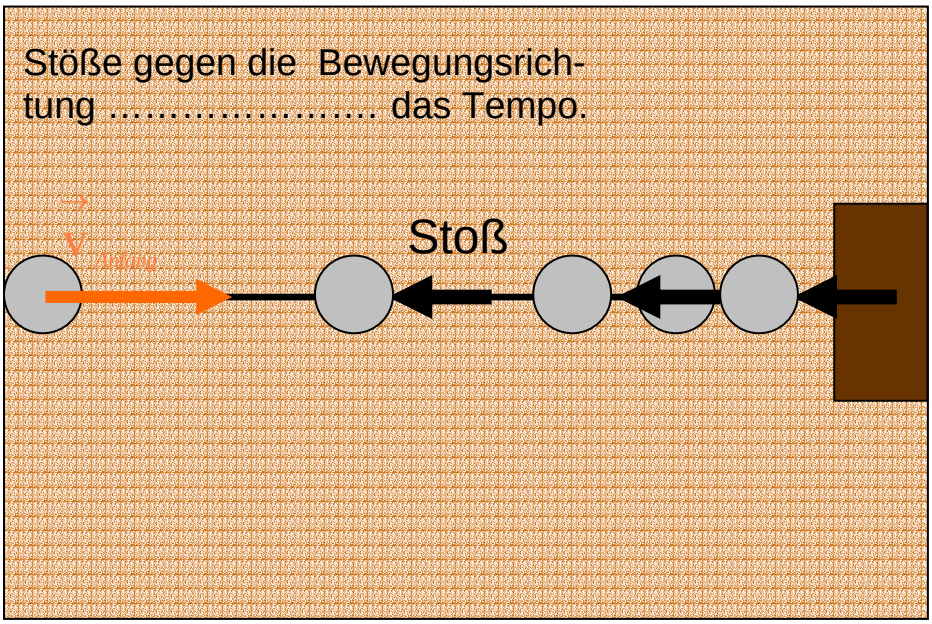


Abbildung 1: Arbeitsplatz und Materialien für die Schülerübung, eigene Aufnahme

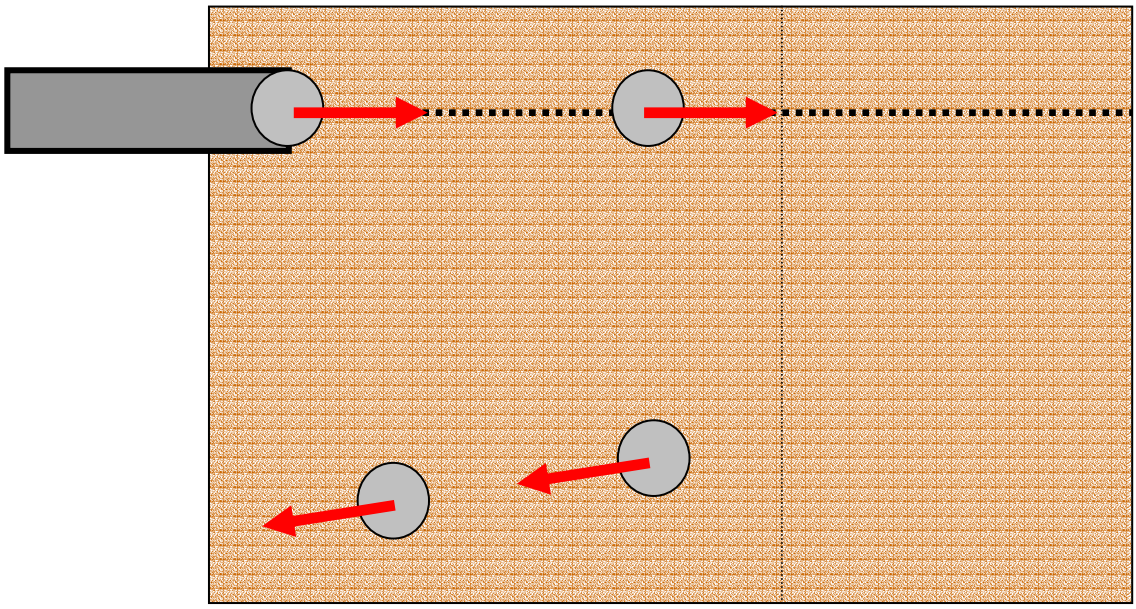
Abbildung 2: Aufbau des Arbeitsplatzes, die Kugel rollt die Rampe herunter und wird mit den Stoßbrettern von unterschiedlichen Positio-

Abbildung 3: Ablauf der Übung, eine Schülerin verfehlt bei geradem Stoß gegen die bewegte Kugel das Ziel, eigene Aufnahme

Übung „Kugelstoßen" Teil II: Kurvenbahnen

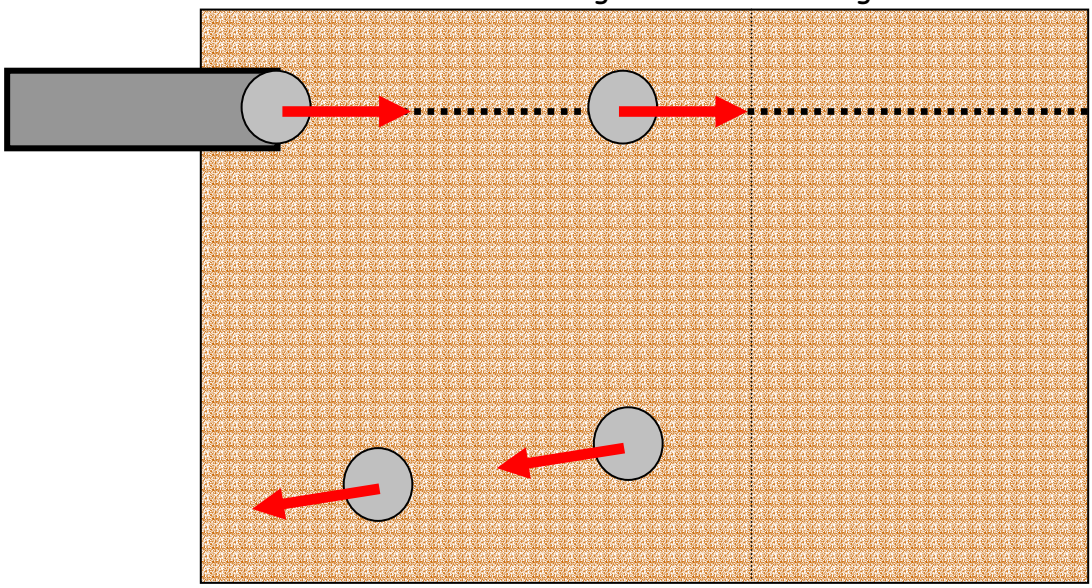
1. „ Um die Kurve stoßen "

Die Kugel soll die Rampe herunterrollen. Jeweils drei Mitglieder der Gruppe versuchen die Kugel nun durch je einen Stoß mit dem Stoßbrett so umzulenken, dass sie ungefähr in die entgegengesetzte Richtung zurückrollt, aus der sie gekommen ist.
In welche Richtung müsst ihr stoßen? Skizziert eure Stöße und die beobachtete Bahn der Kugel in die Zeichnung unten.



2. Geht es auch „runder"?

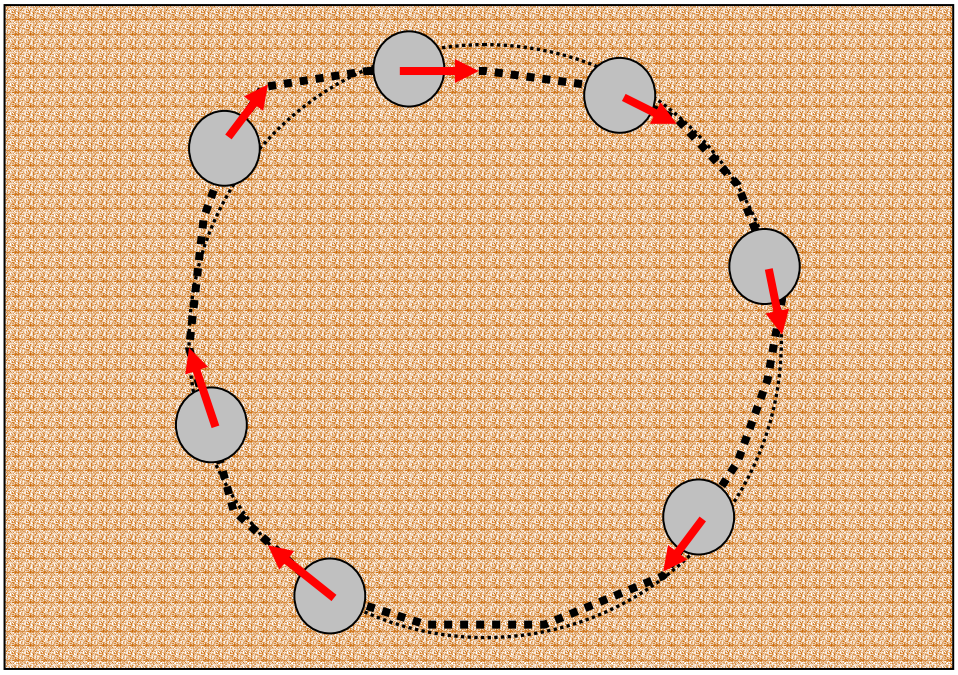
Die Kugel rollt genauso wie bei 1. die Rampe herunter und soll von euch wieder um die Kurve gestoßen werden. Die Bahn unter 1. war aber recht eckig und einer normalen Kurvenfahrt dadurch unähnlich.
Versucht die Bahn der Kugel runder oder glatter zu machen, indem jeder von euch versucht in seinem Abschnitt so oft wie möglich, dafür aber nicht so fest wie zuvor zu stoßen.
Skizziert die nun beobachtete Bahn der Kugel in die Zeichnung.



Versucht nun die Kugel auf einer deutlich engeren Kurve umzulenken.
Was ändert sich dabei an euren Stößen?

3. Schafft ihr einen Kreis

Die ganze Gruppe setzt sich nun mit den Stoßbrettern um die Unterlage herum. Versucht die Kugel durch eure Stöße auf einer möglichst „runden" Bahn im Kreis herum zu bewegen.
Achtet darauf, in welche Richtung ihr stoßen müsst um die Kugel auf die Kreisbahn zu zwingen.
Skizziert beispielhaft ein paar mögliche Stöße in die Zeichnung unten.



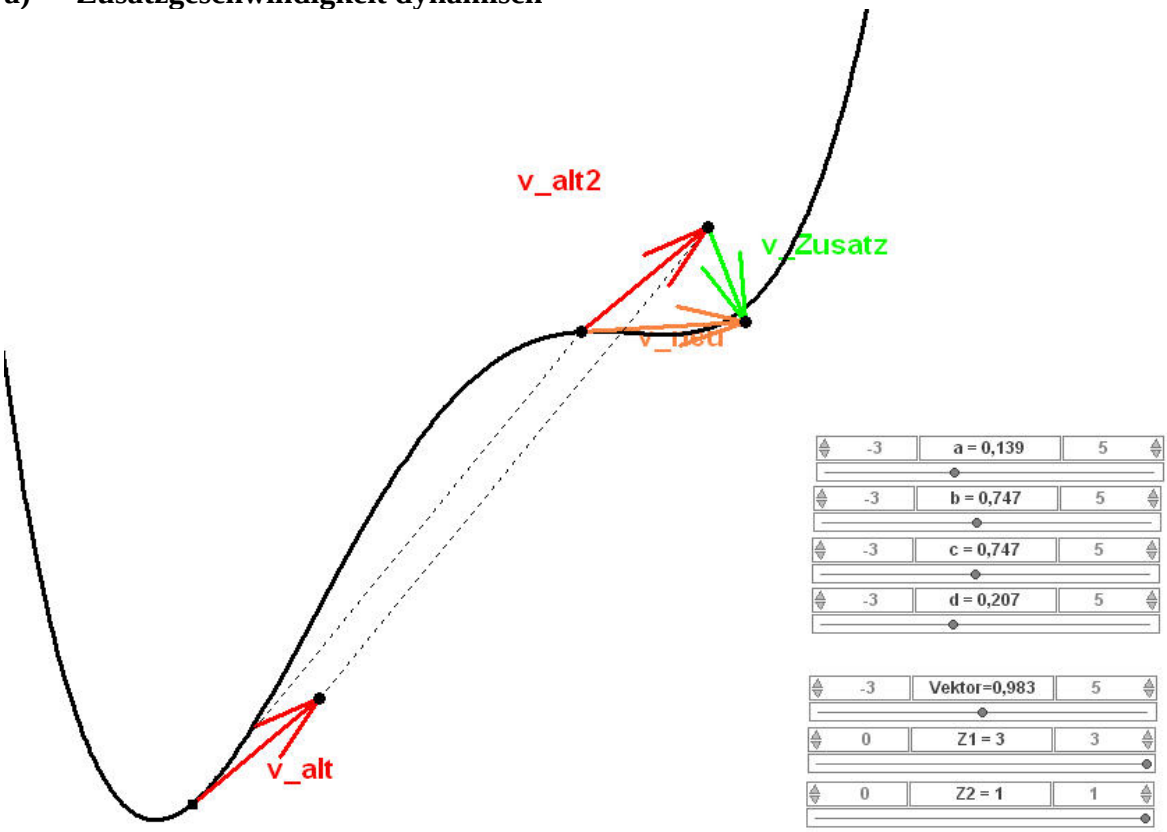
4. Alle zusammen

Die Übung in den Gruppen ist jetzt beendet.
Wir versuchen nun mit der ganzen Klasse einen Luftkissenpuck auf einer möglichst glatten Kreisbahn zu bewegen.
In welche Richtung mussten wir stoßen, damit sich der Puck im Kreise herum bewegt hat?

9.4 Die Computersimulationen

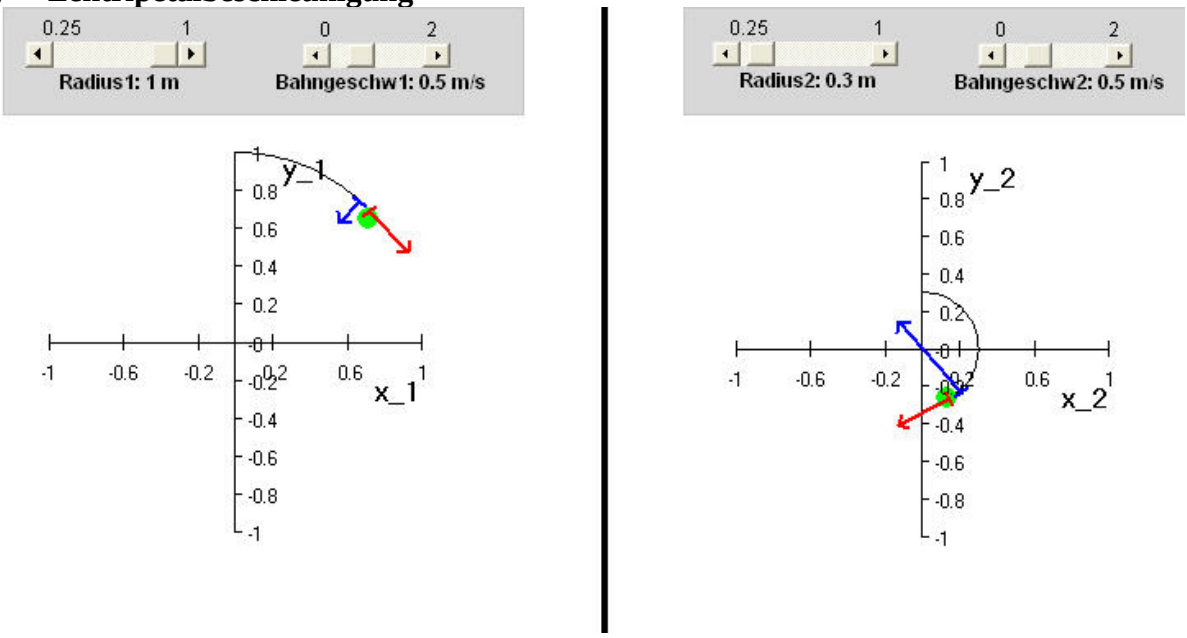
Die dargestellten Simulationen und die benötigte Software Euklid DynaGeo und PAKMA sind auf der beiliegenden DVD unter „Material thematisch“, „Simulationen“ enthalten und können nach Installation der Software von dort gestartet werden.

a) Zusatzgeschwindigkeit dynamisch



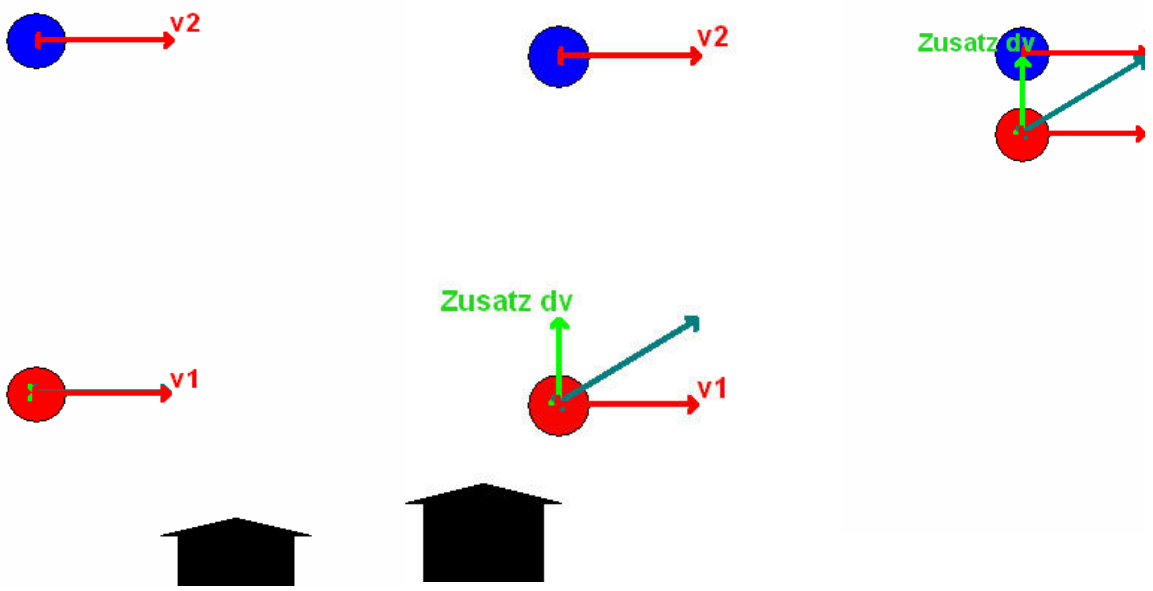
Die mit Euklid DynaGeo 3.0c erstellte Datei ermöglicht es den Zusammenhang zwischen Anfangsgeschwindigkeit, Endgeschwindigkeit und Zusatzgeschwindigkeit dynamisch zu veranschaulichen. Die „Bahnkurve“ im Hintergrund ist ein Polynom dritten Grades und ihre Form kann durch Variation der Parameter a bis d verändert werden. Der Anfangsgeschwindigkeitspfeil v_alt lässt sich frei auf der Bahnkurve verschieben. Verschiebt man nun den Endgeschwindigkeitspfeil v_neu die Bahnkurve entlang, wird dynamisch veranschaulicht, wie sich dieser stets als Summe der Anfangsgeschwindigkeit und der Zusatzgeschwindigkeit ergibt und wie sich die Zusatzgeschwindigkeit dabei verändert. Außerdem kann die grafische Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit v_zusatz aus v_alt und v_neu mit den Schiebereglern Z2 und Z1 vorgeführt werden. Der Schieberegler Z2 verschiebt den Pfeil v_alt parallel zum neuen Ort, Z1 lässt den Pfeil v_zusatz als Differenz der beiden anderen Vektoren erscheinen. Der Schieber Vektor verändert lediglich die Länge der Pfeile.

b) Zentripetalbeschleunigung



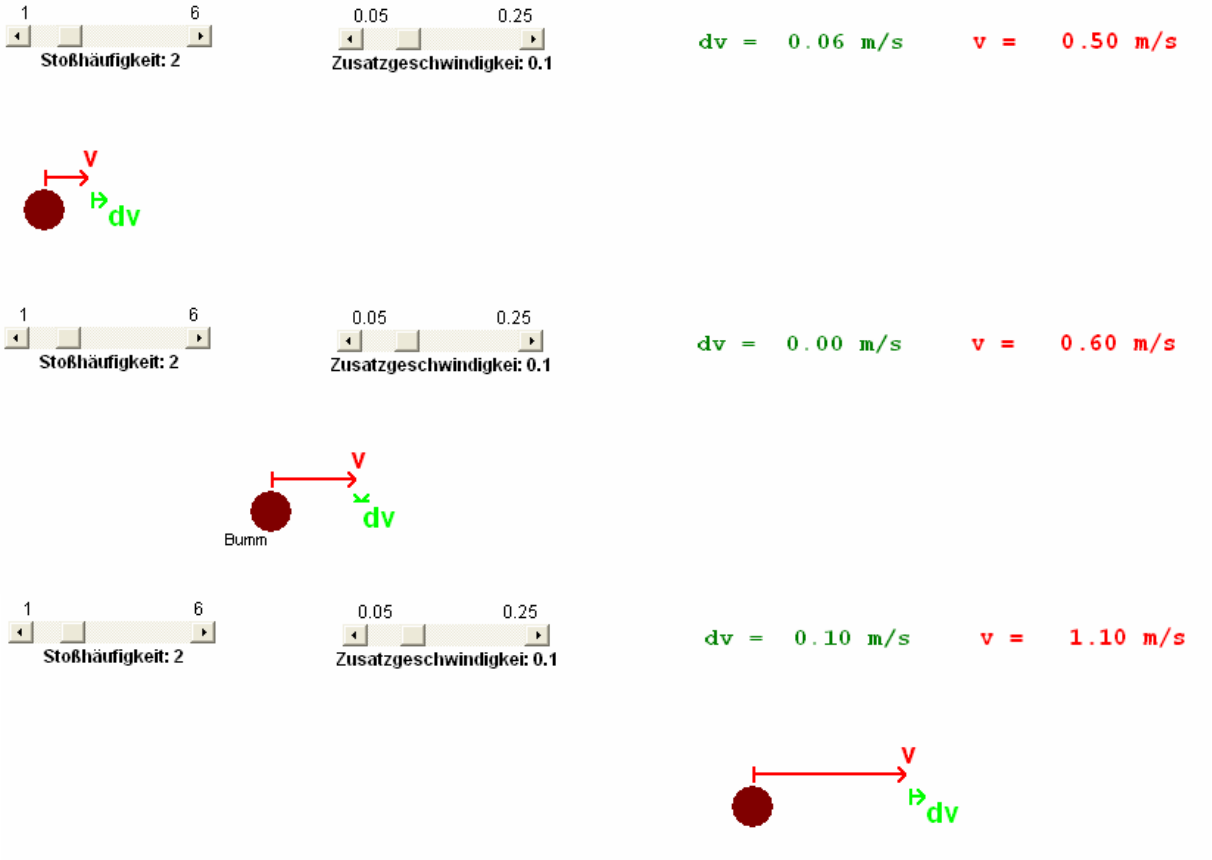
Die mit PAKMA erstellte Simulation ermöglicht es den Einfluss von Tempo und Kurvenradius auf die Größe der Beschleunigung in Kurven zu veranschaulichen. Die beiden grünen Scheiben bewegen sich auf Kreisbahnen und es kann jeweils die Bahngeschwindigkeit und der Kurvenradius eingestellt werden. Beim Ablauf der Simulation werden dabei die entsprechenden Geschwindigkeits- und Beschleunigungsvektoren angezeigt. Durch das gleichzeitige Ablaufen der beiden Simulationen, können die Bewegungen und die Auswirkungen eines veränderten Bahnradius oder einer veränderten Bahngeschwindigkeit gut verglichen werden. So bietet es sich an die Simulation zunächst links und rechts mit den gleichen Werten ablaufen zu lassen und die Schüler mit der Darstellung vertraut zu machen. Hernach lässt man eine Seite unverändert und ändert auf der anderen Seite zunächst eine Größe, zum Beispiel den Kurvenradius. Man lässt die Schüler Vorhersagen machen und überprüft diese anschließend an der Simulation. Erst wenn der erste Zusammenhang sicher verstanden ist, ändert man die andere Größe (lässt dabei natürlich die erste links und rechts konstant) und geht entsprechend vor.

c) Kugelstoßversuch



Diese PAKMA-Simulation soll die Überlagerung von Anfangs- und Zusatzbewegung bei an einem senkrechten Stoß veranschaulichen und simuliert den praktisch durchgeführten Kugelstoßversuch. Die beiden „Kugeln“ bewegen sich zunächst parallel mit gleicher Geschwindigkeit von links nach rechts. An einer bestimmten Stelle erhält die erste Kugel einen senkrechten Stoß und erhält dadurch die Zusatzgeschwindigkeit dv. Sie bewegt sich nun mit der neuen Geschwindigkeit, die sich als Überlagerung von Anfangs- und Zusatzbewegung ergibt. Man erkennt sehr schön, dass die beiden Kugeln weiterhin stets gleich auf sind, die Geschwindigkeit v_1 also nicht geändert wurde. Die Zusatzgeschwindigkeit bewirkt jedoch eine größere Gesamtgeschwindigkeit, die sich im längeren Geschwindigkeitspfeil und der Tatsache, dass Kugel 1 in der gleichen Zeit eine größere Strecke zurücklegt, zeigt. Schließlich stoßen die beiden Kugeln zusammen. Die Simulation ist als Ergänzung bei der Auswertung des realen Kugelstoßversuches gedacht und soll das Experiment sinnvoll mit dem physikalischen Modell verknüpfen.

d) Kugel eindimensional durch Stöße beschleunigen

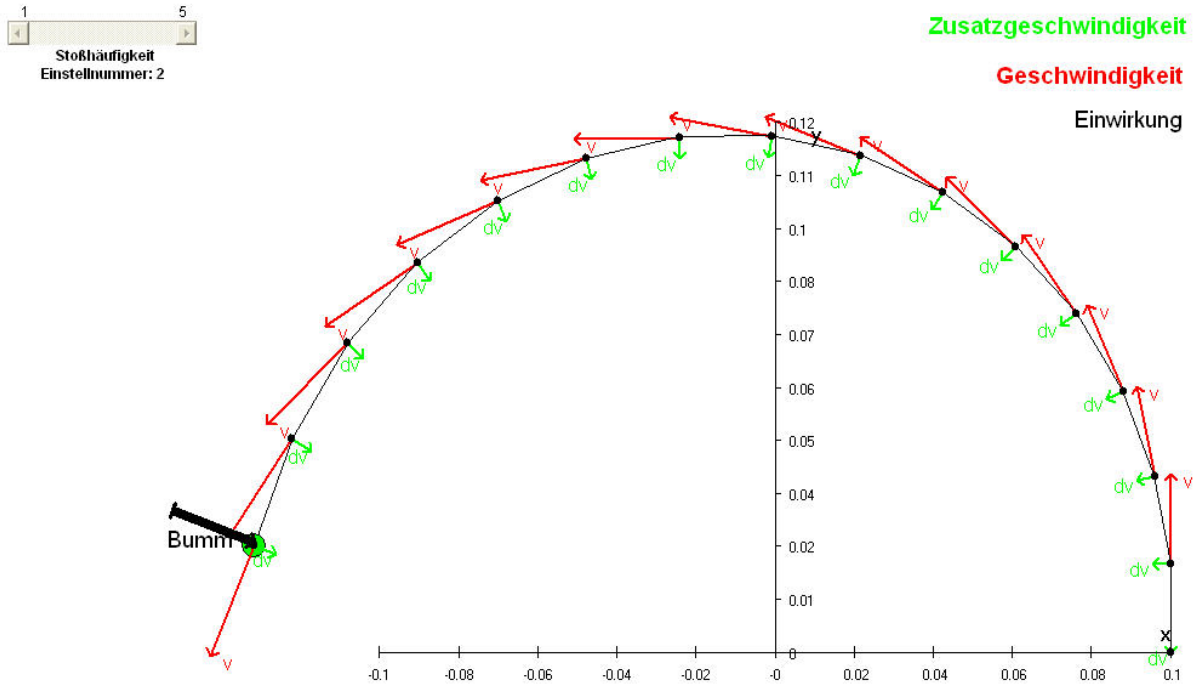


Diese Simulation soll veranschaulichen, wie Stöße in Bewegungsrichtung das Tempo erhöhen und die Beschleunigung, als Zusatzgeschwindigkeit pro Zeit, mit der Stoßrate und der Stärke der Stöße ansteigt. Mit jedem Stoß erhält die Kugel eine Zusatzgeschwindigkeit, die „vorne an die Geschwindigkeit angehängt wird“. An den Schiebereglern lässt sich die Stoßrate und die Stärke der Stöße, also die bei jedem Stoß übertragene Zusatzgeschwindigkeit, einstellen. Diese Simulation soll ergänzend zur Teilaufgabe „Stöße in Bewegungsrichtung“ der ersten Schülerübung verwendet werden. Außerdem unterstützt sie auch die Vorstellung einer Kraft als rasche Folge von Stößen.

e) Bremsen durch Stöße

Diese Simulation ist analog zur vorherigen aufgebaut, nur veranschaulicht sie diesmal, wie Stöße gegen die Bewegungsrichtung das Tempo verringern und nach und nach „aufbrauchen". Da es in der praktischen Schülerübung fast nicht möglich ist die Kugel nicht gleich mit dem ersten Stoß anzuhalten, ist die Simulation wiederum gut als veranschaulichende Ergänzung zu gebrauchen. Wieder lassen sich Stoßrate und jeweils übertragene Zusatzgeschwindigkeit einstellen und variieren.

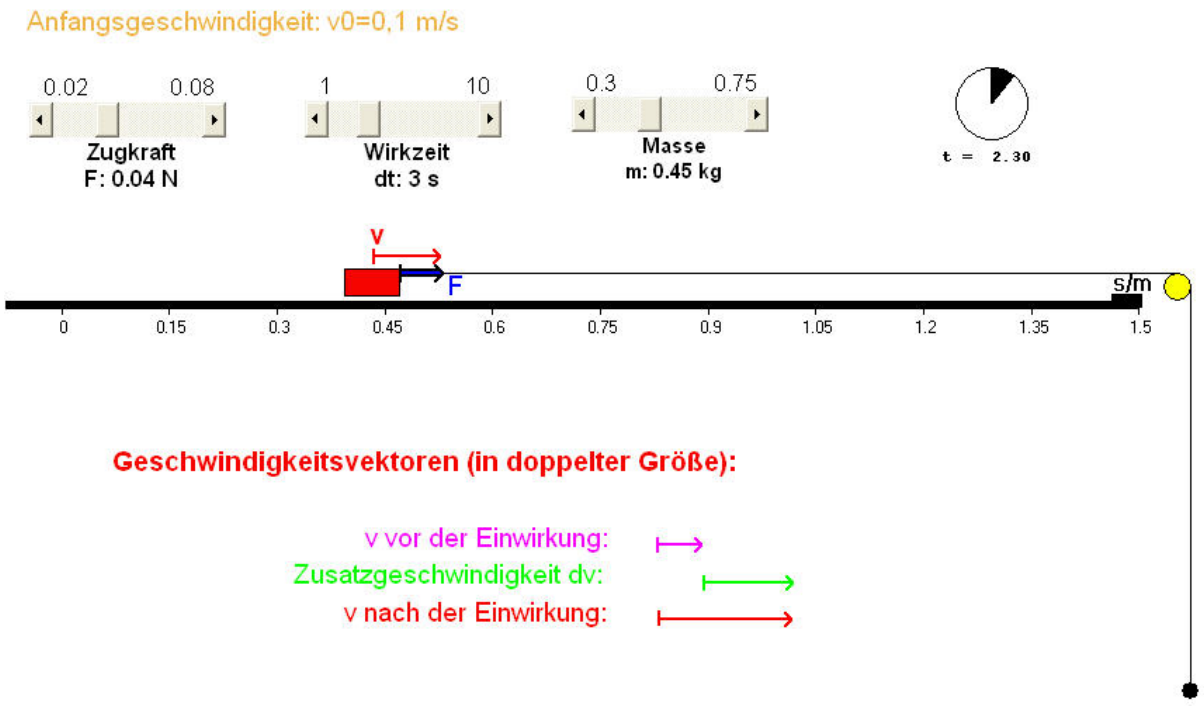
f) Stoßhäufigkeit Kurvenbahn



Diese PAKMA-Simulation sollte veranschaulichen, dass eine Kurvenbahn umso „glatter" oder „runder" wird, je höher die Stoßrate und je kleiner die jeweils übertragenen Zusatzgeschwindigkeit ist. Wieder führt die Simulation die praktische Erfahrung aus der Übung weiter, in der die Schüler selbst versucht haben die Stoßzahl zu erhöhen und die Kurvenbahn somit glatter zu machen. Die Simulation ermöglicht es nun aber die Stoßhäufigkeit deutlich größer zu wählen, als dies praktisch umsetzbar wäre und verdeutlicht somit gut den Übergang von der durch wenige Stöße verursachten „eckigen" Bahn zu den durch permanente Stöße hervorgerufenen glatten Kurven, wie zum Beispiel der Kurvenfahrt einer Eisenbahn. Dazu beginnt der Lehrer mit der kleinsten Stoßrate und verdeutlicht die Ähnlichkeiten zur Bahn der Kugel in der Übung. Nun erhöht er sukzessiv die Stoßrate und zeigt, wie die Bahn immer glatter wird und die einzelnen Stöße dabei immer schwächer werden. Ziel ist es die Vorstellung einer Kraft als Folge permanenter Stöße in Kraftrichtung aufzubauen und zu veranschaulichen. Da die Stöße auch bei hoher Stoßrate nicht infinitesimal klein sind, gewinnt der Kör-

per durch sie an Tempo und es wird keine exakte Kreisbahn erreicht, wohingegen eine konstante Kraft in Richtung Kreismittelpunkt das Tempo unverändert lässt und den Körper auf eine Kreisbahn zwingt. Jedoch wird die Bahn mit zunehmender Stoßrate einer Kreisbahn immer ähnlicher. Die Kreisbahn ergibt sich somit nur für eine „unendlich große“ Stoßrate $\frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t}$, also eine permanente Kraft $\vec{F} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \cdot \vec{a} \left(= \frac{d\vec{p}}{dt} \right)$.

g) Newtonsche Bewegungsgleichung

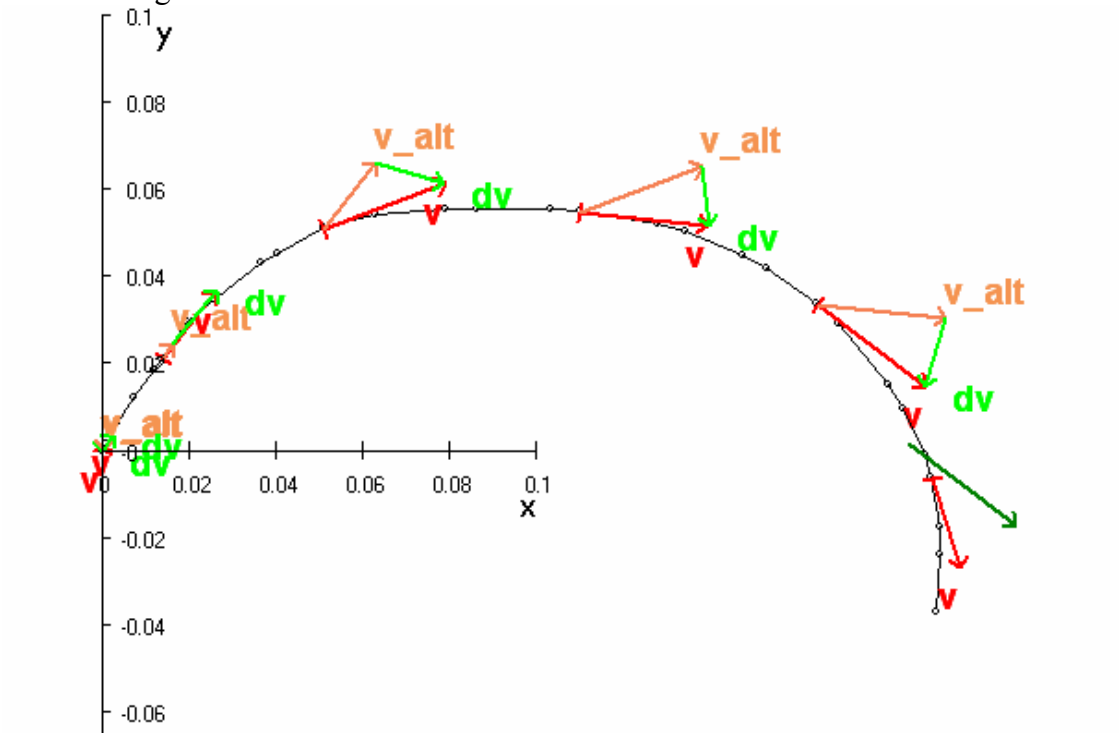


Diese PAKMA-Simulation soll die Zusammenhänge der Newtonschen Bewegungsgleichung veranschaulichen. Ein Körper der Masse *m* bewegt sich mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit. Nun wirkt für eine gewisse Zeit Δt eine Kraft *F* auf den Körper und überträgt ihm dadurch eine Zusatzgeschwindigkeit *dv*. Diese zeigt in Kraftrichtung und ist umso größer, je größer die Kraft und die Einwirkungsdauer und je kleiner die Masse des Körpers ist. In der Simulation lassen sich nun Kraft, Einwirkungsdauer und Masse nacheinander variieren und die Auswirkungen auf *dv* veranschaulichen. Wieder ist es sinnvoll die Schüler zunächst Vermutungen äußeren zu lassen, die sie hernach mit ihren Beobachtungen vergleichen können. Es ist sinnvoll, zunächst eine Größe nach der anderen zu ändern. Die Kraft wird durch ein Gewichtsstück ausgeübt, welches über einen Faden mit dem Körper verbunden ist. Genau nach der Zeit Δt reißt der Faden, die Kraft endet und der Körper bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit. Durch die Anfangsbewegung des Körpers, führt die Simulation außerdem nochmals vor Augen, dass eine Kraft lediglich eine **Zusatz**geschwindigkeit bewirkt, aber man nicht von der Kraft alleine auf die Geschwindigkeit (und somit die Bewegungsrichtung) schließen kann und die Kraft somit auch nicht stets in Bewegungsrichtung zeigen muss.

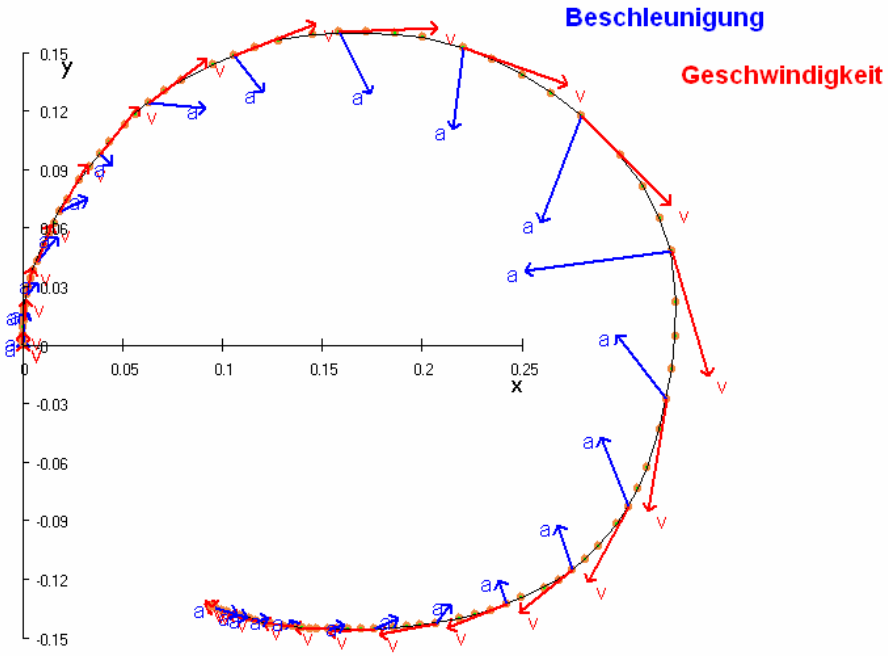
h) Maus-Übung „Zusatzgeschwindigkeit“ und „Beschleunigung“

Wie bereits erläutert, besteht die (aus Zeitgründen im Unterrichtskonzept nicht verwendete) Möglichkeit die Computermaus zu einer Schülerübung mit PAKMA zu verwenden. Wie bereits unter 4.2.1 c) erläutert, ist es wichtig zunächst die Maus zu kalibrieren. Im Projekt „Zusatzgeschwindigkeit“ führen die Schüler eine Bewegung mit der Maus durch und die Soft-

ware zeichnet nicht nur die entsprechende Bahnkurve und die Geschwindigkeitsvektoren, sondern veranschaulicht auch wie sich die Zusatzgeschwindigkeit zwischen zwei Bahnpunkten aus Anfangs- und Endgeschwindigkeit ergibt. Dazu „fliegt“ der Pfeil v_alt an den nächsten Bahnpunkt und die Zusatzgeschwindigkeit schließt als Maß für die Geschwindigkeitsänderung jeweils die Lücke zum Pfeil v_neu. Die Schüler haben somit die Möglichkeit selbst Erfahrungen mit unterschiedlichen Bahnkurven zu sammeln und somit ein Gefühl für die neuen Größen „Geschwindigkeitspfeil“ und „Zusatzgeschwindigkeitspfeil“ sowie deren Zusammenhang zu bekommen.



Genau das Gleiche gilt für das entsprechende Projekt zur Beschleunigung. Wieder haben die Schüler die Möglichkeit selbst Bahnkurven abzufahren und vom Computer analysieren zu lassen um ein Gefühl für Betrag und Richtung dieser neuen und abstrakten Größe zu bekommen.



9.5 Verwendete Video-Projekte

Auch die verwendeten Video-Projekte sind auf der beiliegenden DVD unter „Material thematisch\Video-Projekte“ enthalten und können von dort gestartet werden, sofern die Software PAKMA zuvor installiert wurde. In den Ordnern finden sich jeweils zwei Dateien. Eine der Form „NAME Pfeil_an_Bahn“, die andere der Form „NAME Stempeln“. Je nach didaktischem Ziel muss die entsprechende Datei gewählt werden. Will man veranschaulichen, wie der Geschwindigkeitspfeil sich mit dem Zug bewegt und entsprechend dessen Fahrt Länge und Richtung verändert, ist stets die erste Datei zu starten. Möchte man dagegen den zeitlichen Verlauf der Größen Geschwindigkeit, Zusatzgeschwindigkeit oder Beschleunigung darstellen und mehrere Bahnpunkte vergleichen, muss man die zweite Datei öffnen. Aus rogrammiertechnischen Gründen war es nicht möglich beide Funktionen befriedigend im gleichen Projekt darzustellen. Außerdem finden sich in dem Ordner jeweils die Rohfassung des Videos und die mit AVA analysierten Daten als Excel- und Textdatei. Aus unbekannten Gründen muss jedes Projekt zweimal aktiviert werden um in gewünschter Weise abzulaufen.

a) Video komplett

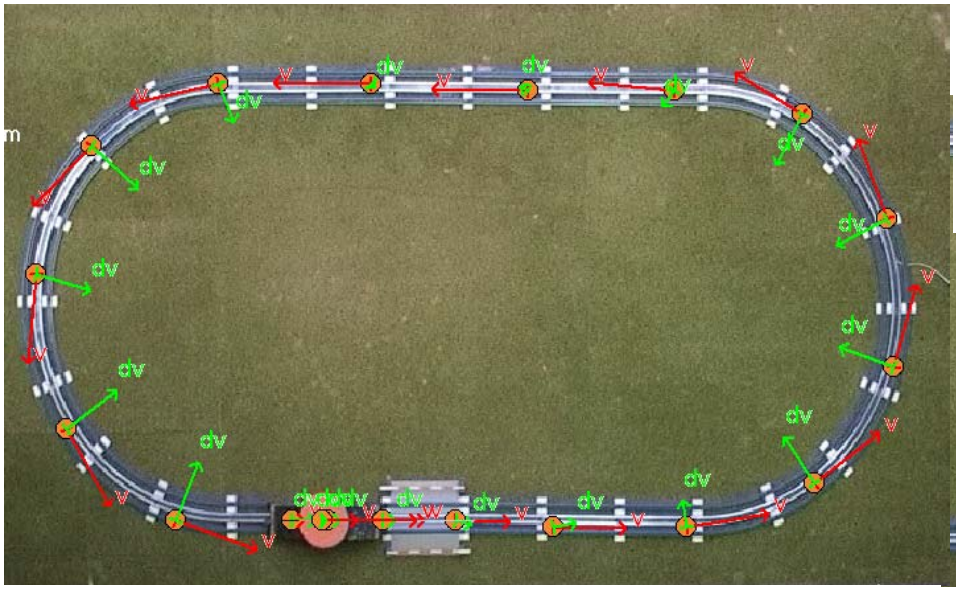


Abbildung 4: Screenshot "Pfeil an Bahn", der Geschwindigkeitspfeil bewegt sich mit dem Zug

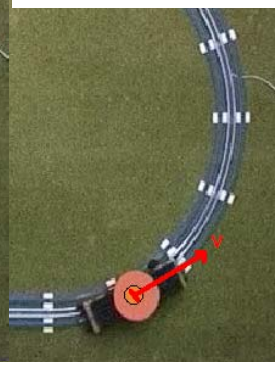


Abbildung 5: Screenshot "Stempeln", dargestellt wird die zeitliche Abfolge der Geschwindigkeits- und Zusatzgeschwindigkeitspfeile

Das Video „komplett“ zeigt einen längeren Bewegungsablauf des Zuges, vom Anfahren, Tempo zulegen über die Fahrt mit konstantem Tempo bis zum Abbremsen und stehen bleiben. Es eignet sich daher gut zur allgemeinen Einführung in die Thematik. Die Schüler beobachten den Geschwindigkeitspfeil und seine Veränderung während der Bewegung, um ein Gefühl für den Zusammenhang zwischen Pfeilmodell und realer Bewegung zu bekommen. Die Abbildungen zeigen nochmals den unterschiedlichen Einsatzbereich der beiden Projekte „Video komplett Stempeln“ und „Video komplett Pfeil_an_Bahn“.

b) Konstantes Tempo

In diesem Projekt wurde speziell auf ein konstantes Tempo des Zuges geachtet und es eignet sich daher gut, um auf die Richtung des Geschwindigkeitspfeiles in Kurven einzugehen.

c) Kreis konstantes Tempo

Für dieses Video wurde die Schienenbahn zu einem Kreis umgebaut und auf ein konstantes Tempo des Zuges geachtet. Es ist deshalb geeignet, um die Richtung der Geschwindigkeit in Kurven und der Zusatzgeschwindigkeit bzw. Beschleunigung, bei Kreisbewegungen mit kon-

stantem Tempo zu untersuchen. Dabei lässt sich zeigen, dass Beschleunigung und Zusatzgeschwindigkeit stets quer zur Fahrtrichtung in Richtung Kurveninneres zeigen, die Länge des Geschwindigkeitspfeils jedoch unverändert bleibt.

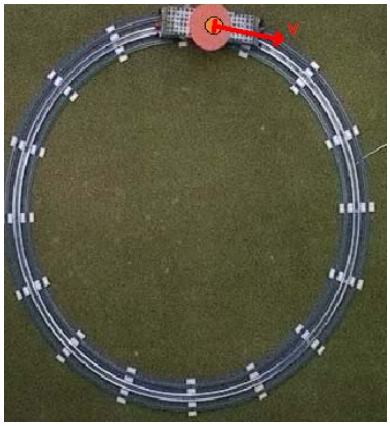


Abbildung 8: Screenshot "Pfeil an Bahn"

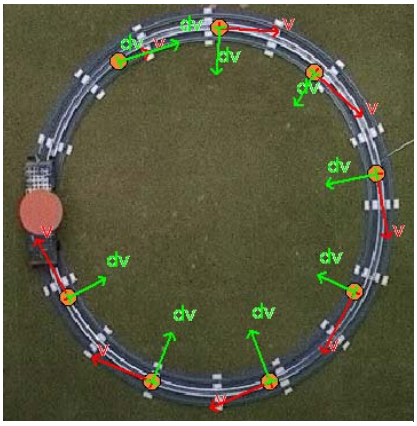


Abbildung 7: Screenshot "Stempeln" Ebene "v und dv"

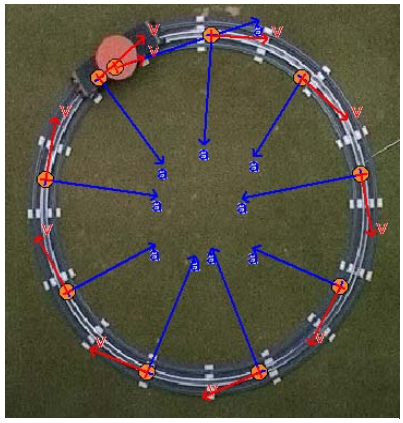


Abbildung 6: Ebene "v und a"

d) Kreis tangential

Bei diesem Video wurde die Kreisbahn unterbrochen und der Zug schoss somit über die Schienen hinaus und bewegte sich ohne die Kraft der Schienen geradlinig, tangential weiter. Dieses Video eignet sich also um zu veranschaulichen, dass die Richtung der Geschwindigkeit in Kurven genau die Richtung ist, in die sich ein Körper geradlinig weiterbewegen würde, wenn die Kurve genau in diesem Punkt endete. Außerdem zeigt das Video, dass die Kreisbewegung dem Körper nicht „eingeimpft“ ist, so dass er sich auch ohne Schiene weiter im Kreis bewegen würde, sondern dass er sich unmittelbar nach Enden der Einwirkung geradlinig weiterbewegt.

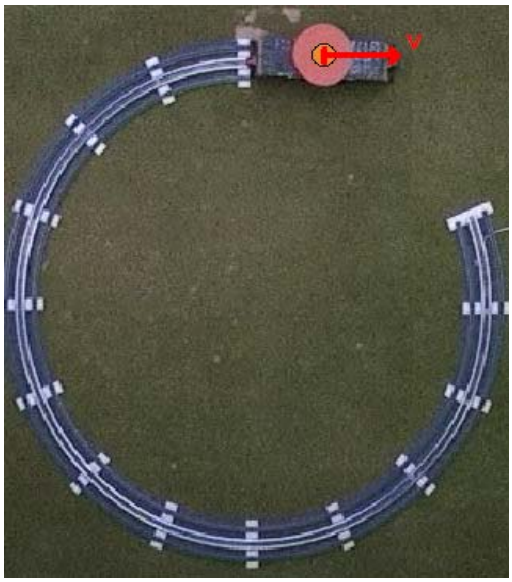


Abbildung 9: Screenshot "Stempel-Modus" Ebene "v und dv"

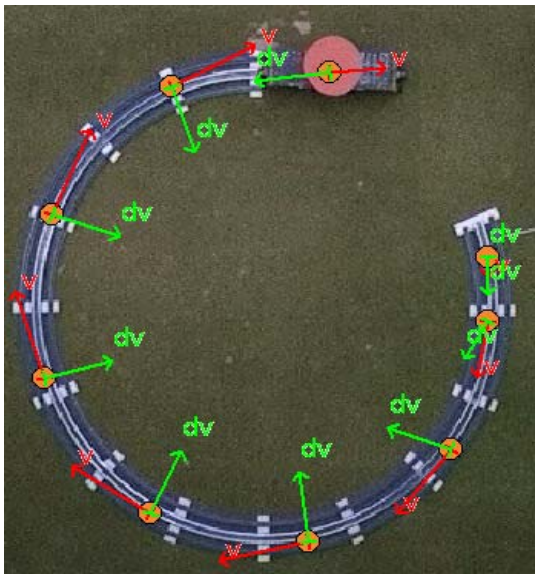


Abbildung 10: Screenshot "Pfeil an Bahn"

Beschleunigung linear

Dieses Video zeigt, wie der Zug auf gerader Strecke aus dem Stand beschleunigt wird. Es eignet sich damit um zu zeigen, dass sich eine Zusatzgeschwindigkeit, bzw. Beschleunigung in Bewegungsrichtung in einer Erhöhung des Tempos äußert. Dabei lässt sich zeigen, wie der Geschwindigkeitspfeil durch Anhängen der Zusatzgeschwindigkeitspfeile an Länge zunimmt.

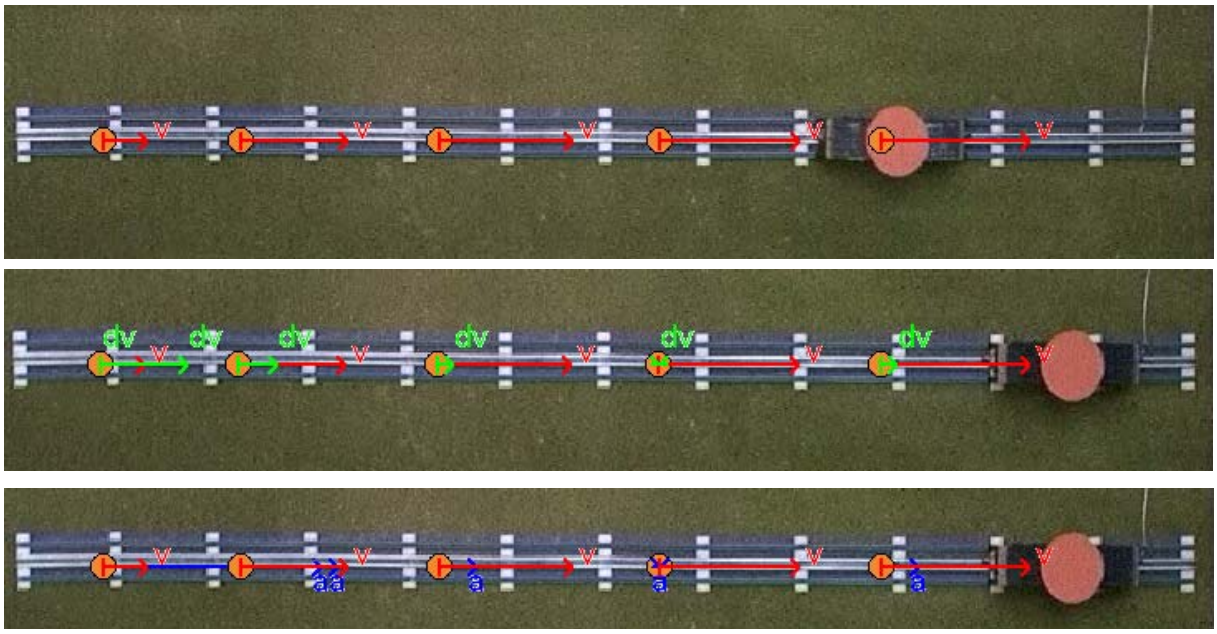


Abbildung 11: Screenshots, Vergleich der Ebenen "v", "v und dv", "v und a"

e) Bremsen linear

Mit diesem Video soll das Abbremsen des Zuges untersucht werden. Es lässt sich veranschaulichen, dass der Geschwindigkeitspfeil kürzer wird und Zusatzgeschwindigkeit, beziehungsweise Beschleunigung, gegen die Bewegungsrichtung gerichtet sind.

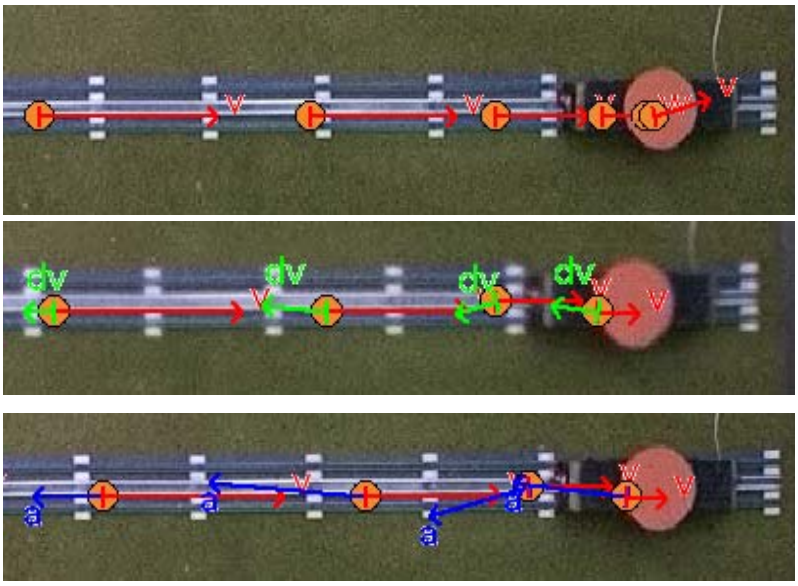


Abbildung 12: Screenshots zum vergleich der Ebenen "v", "v und dv", "v und a"

f) Hin und her

Im Video „Hin und Her“ bewegt sich der Zug auf gerader Strecke hin und her, wobei er abwechselnd Tempo zulegt, abbremst, stehen bleibt, die Bewegungsrichtung umkehrt und wieder Tempo zulegt, … Die Bewegung ähnelt also einer Schwingung und zeigt schön wie die Zusatzgeschwindigkeit die Geschwindigkeit beeinflusst. Bei diesem Video ist die „Stempeln-Funktion“ aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht zu empfehlen.

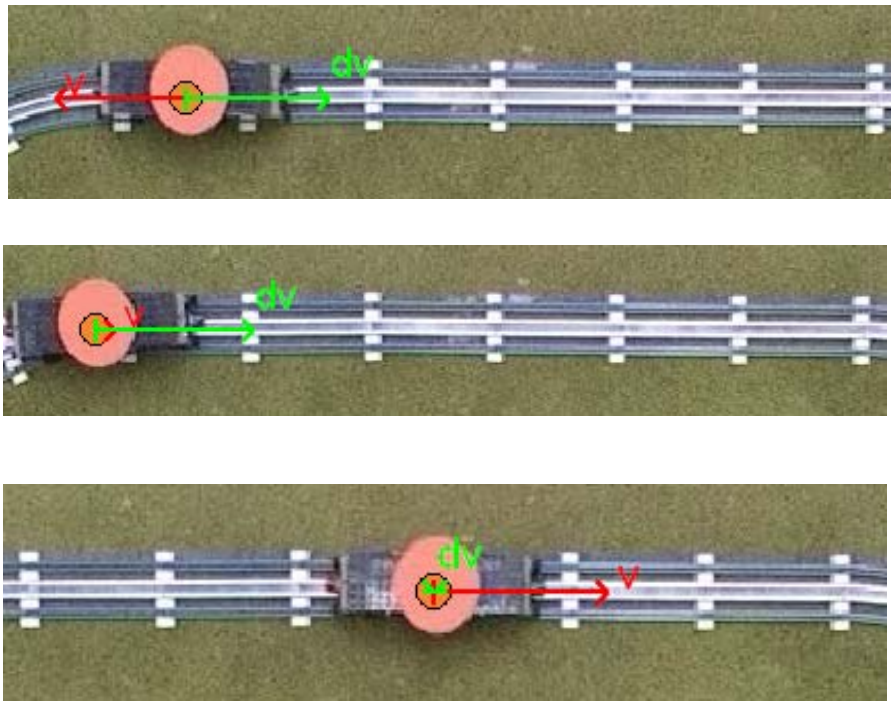


Abbildung 13: Screenshots des Videoprojekt "Hin und Her" der Ebene "v und dv" zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Bewegungsablaufes

9.6 Sonstige Unterrichtsmaterialien

Im Folgenden werden die sonstigen erstellten und verwendeten Folien dargestellt. Auch diese finden sich auf der beigefügten DVD unter „Material thematisch\Sonstige Materialien und Folien“.

a) Folie „Straßenszene“

Die Folie Straßenszene wurde verwendet, um den Begriff „Bewegungsrichtung“ zu vereinheitlichen und Richtungspfeile einzuführen.

b) Folie „Wie schnell ist eigentlich ungefähr…“

Diese Folie sollte interessante Beispiele für Tempoangaben liefern und somit ein Gefühl für die Einheiten m/s und km/h vermitteln.

Wie schnell ist eigentlich ungefähr …?

Eine Schnecke: 0,0008 m/s oder 0,003 km/h

Ein Fußgänger: 1,5 m/s oder 5,5 km/h

Ein Radfahrer: 7 m/s oder 25 km/h

Ein Regentropfen: 11 m/s oder 40 km/h

Ein Rennpferd: 25 m/s oder 90 km/h

Ein Auto: 33 m/s oder 120 km/h

Ein Flugzeug: 250 m/s oder 900 km/h

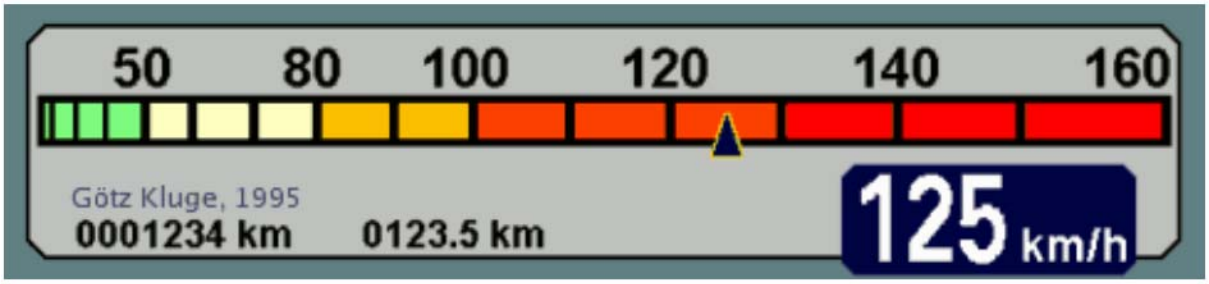
Der Schall: 340 m/s oder 1220 km/h

Eine Gewehrkugel: 800 m/s oder 2900 km/h

Das Licht: 300 000 000 m/s oder
1 080 000 000 km/h

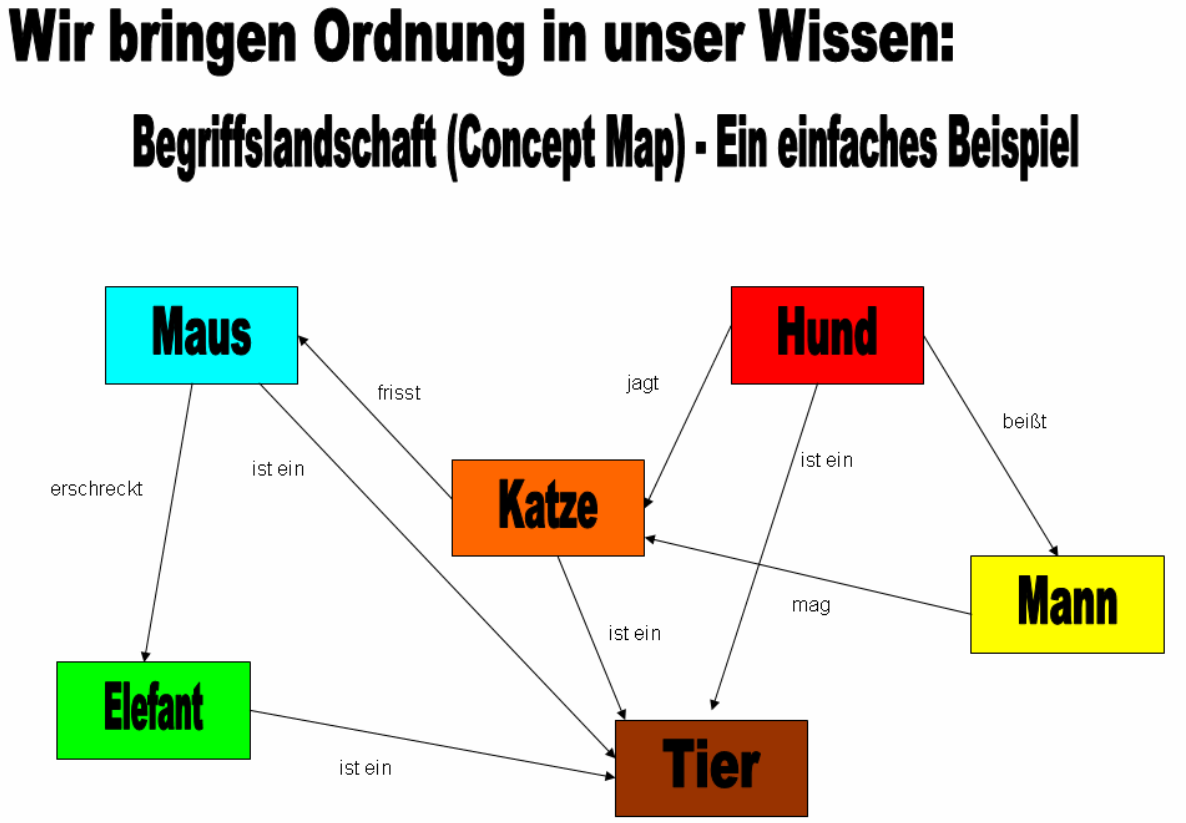
c) Folie „Tacho Knight Rider“

Diese Folie wurde bei der Einführung des Geschwindigkeitspfeiles verwendet, um zu motivieren, dass die Länge des Pfeils ein sinnvolles Maß für das Tempo sein kann.

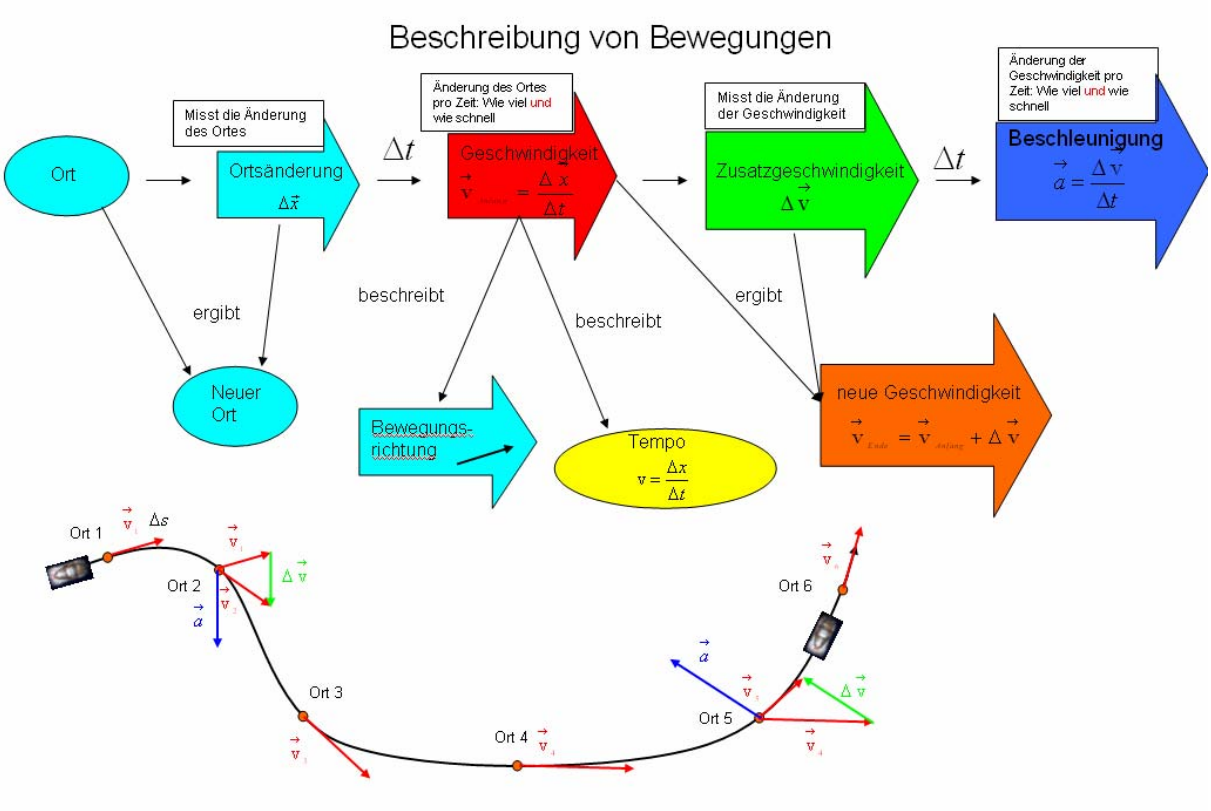


d) Begriffslandschaften

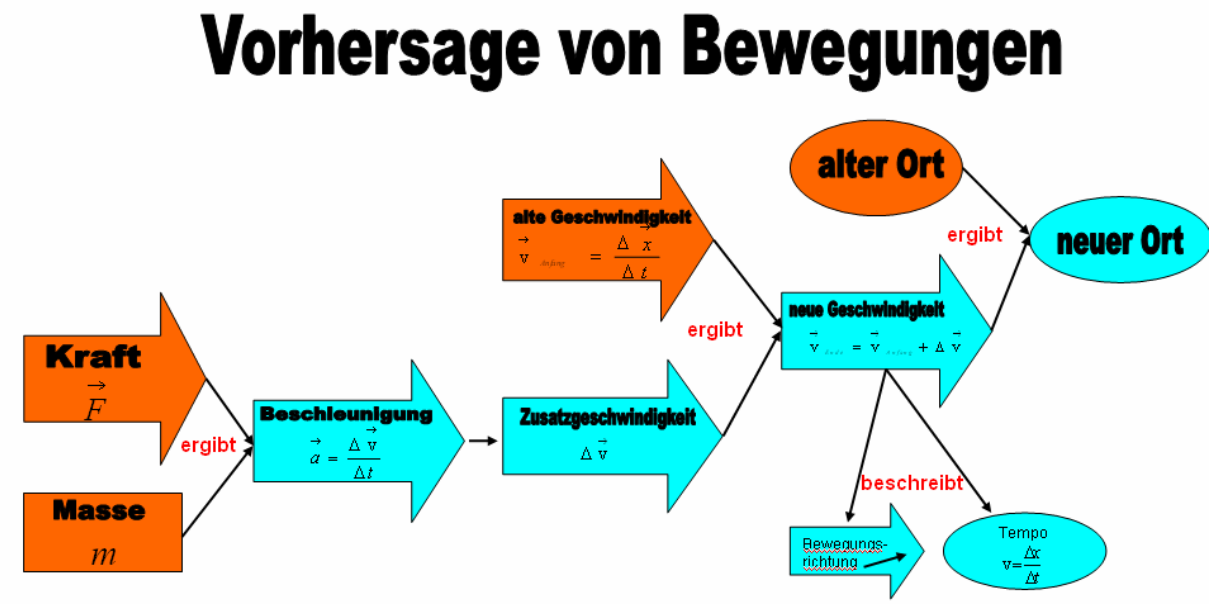
- Einführungsbeispiel



- **Begriffslandschaft Kinematik, Beschreibung von Bewegungen**

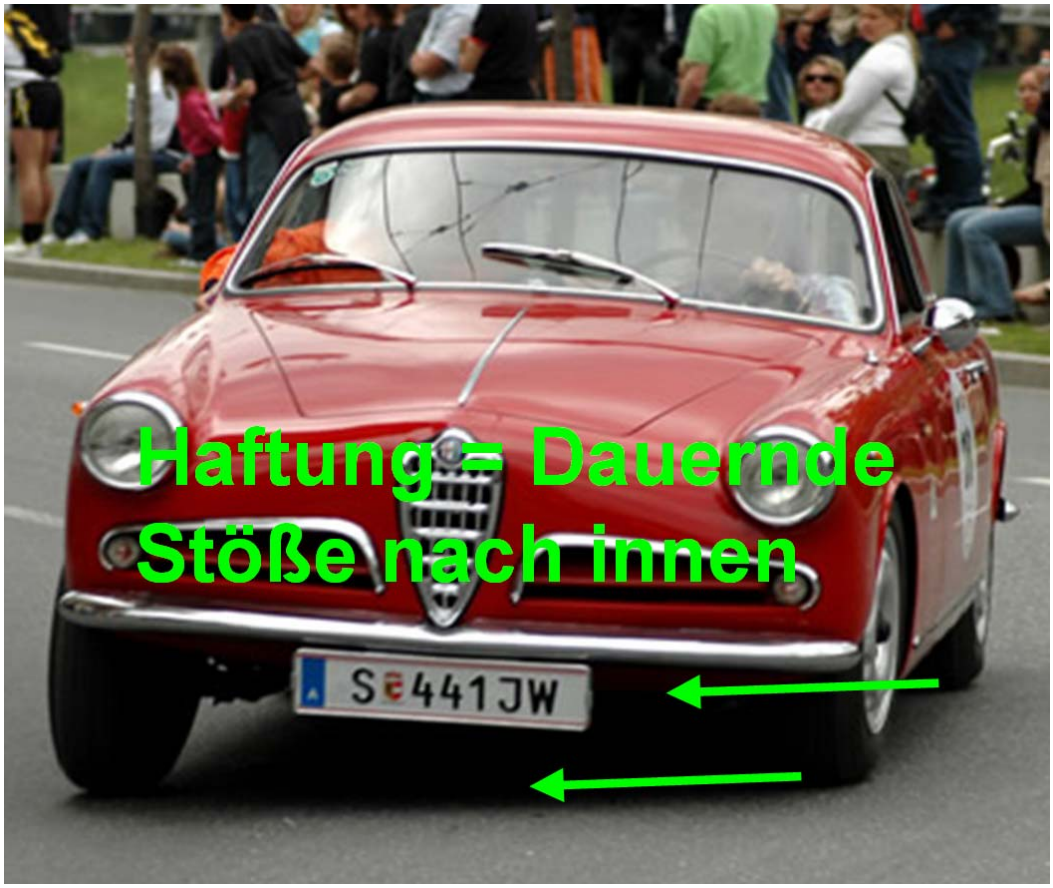


- **Begriffslandschaft Dynamik, Vorhersage von Bewegungen**



Kennt man von einem Körper die Masse, den momentanen Ort und die momentane Geschwindigkeit, sowie die auf ihn wirkenden Kräfte, so kann man seine weitere Bewegung (in der klassischen Mechanik) über die obigen Zusammenhänge „für alle Zeit“ genau voraussagen.

e) Folie „Haftung“



9.7 Der Fragebogen

Auf den folgenden neun Seiten ist der Fragebogen abgedruckt, der zur Kurzevaluation in der unterrichteten siebten Klasse und zum vergleich in zwei elften Klassen eingesetzt wurde. Die Arbeitszeit war von Schüler zu Schüler recht unterschiedlich und die Schüler sollten keinesfalls unter Zeitdruck leiden. Nach 35 bis 40 Minuten waren jedoch alle Schüler fertig.

Fragebogen zur **„Mechanik in der 7. Klasse – zweidimensional und multimedial“**

Name: _____

Liebe Schülerin, Lieber Schüler,

Dieser Physiktest wird vom Lehrstuhl für Didaktik der Physik der Universität Würzburg durchgeführt und ist eingebunden in ein physikdidaktisches Forschungsprojekt mit dem Titel „Zweidimensionale Mechanik in der 7. Klasse“.
Alle Angaben werden streng vertraulich behandelt und ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet (und nicht etwa zu einer Notengebung herangezogen).

Durch die sorgfältige Bearbeitung der nachfolgenden Fragen leistest du einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Vielen Dank für deine Mithilfe und gutes Gelingen!

1. Tempo und Geschwindigkeit

Kreuze alle Aussagen an, die dir richtig erscheinen:

- ❑ Zwei Körper können sich mit gleichem Tempo, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegen
- ❑ Tempo und Geschwindigkeit sind das Gleiche
- ❑ Zwei Körper können sich mit gleicher Geschwindigkeit, aber unterschiedlichem Tempo bewegen
- ❑ Bewegen sich zwei Körper mit gleicher Geschwindigkeit, so bewegen sie sich automatisch auch in die gleiche Richtung

2. Stimmt das?

Antons Vater behauptet: „Ich kann meinen Wagen beschleunigen, ohne das Gas zu verändern.“ Antons Vater fährt …

- ❑ einen Berg hinab.
- ❑ einen Berg hinauf.
- ❑ durch die Kurve.

Kreuze alle Aussagen an, die deiner Meinung nach richtig sind!

3. „Von Null auf Hundert“

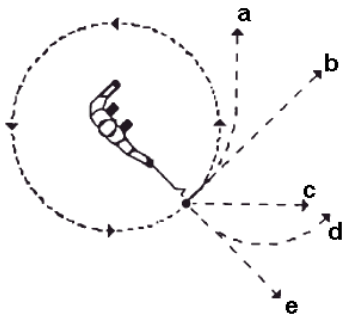
Ein Smart und ein Ferrari beschleunigen beide aus der Ruhe auf 100 km/h und brauchen dazu beide genau 6,5 Sekunden, haben also die gleiche durchschnittliche Beschleunigung.
Auf welches Auto wirkt dabei eine größere Kraft?

- ❑ Auf den leichteren Smart
- ❑ Auf den schweren Ferrari
- ❑ Auf beide wirkt die gleiche Kraft, da sie die gleiche Beschleunigung haben

4. Hammerwerfen

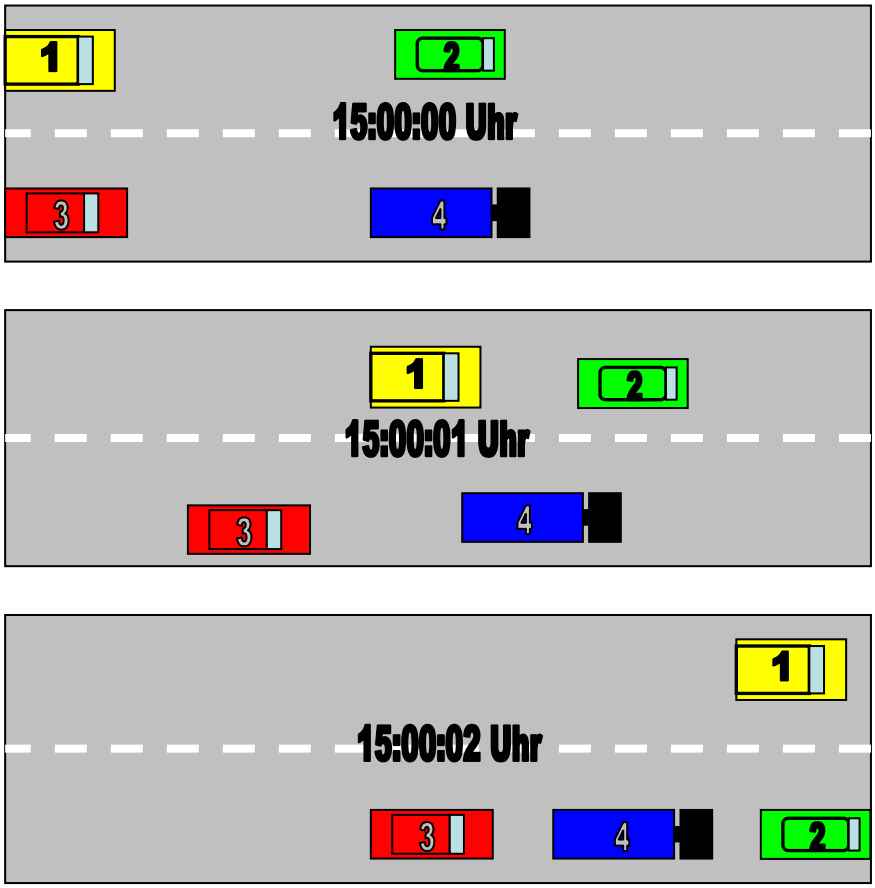
Eine schwere Kugel ist an einem dünnen Seil befestigt und wird, wie in der Abbildung gezeigt, im Kreis horizontal herum geschwungen. An dem gekennzeichneten Punkt reißt plötzlich das Seil. Der Vorgang wird von oben betrachtet: Welchen Weg nimmt der Ball, nachdem das Seil gerissen ist?

- ❑ a
- ❑ b
- ❑ c
- ❑ d
- ❑ e



5. Verkehrsüberwachung

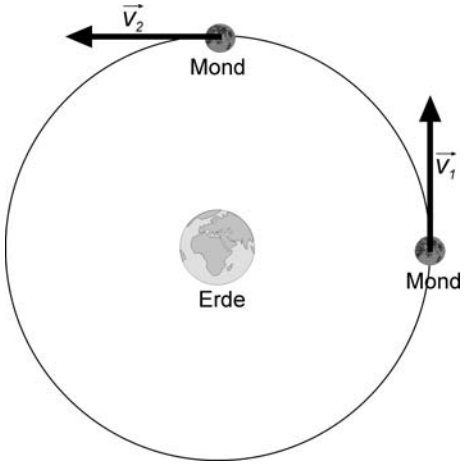
Ein Polizeihubschrauber macht aus der Luft drei Bilder dieser Straßenszene.
Dabei nimmt er jeweils nach einer Sekunde das nächste Bild auf.
Betrachte die Bilder und fülle dann die Lücken mit den richtigen Zahlen:

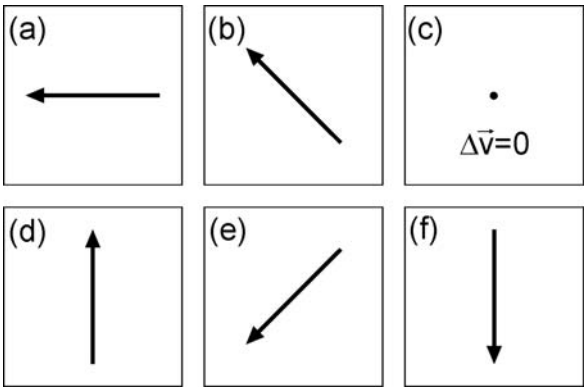


- Fahrzeug ____ hat das höchste Tempo
- Fahrzeug ____ ist am langsamsten
- Die Fahrzeuge ____ und ____ sind ungefähr gleich schnell.

6. Der Mond

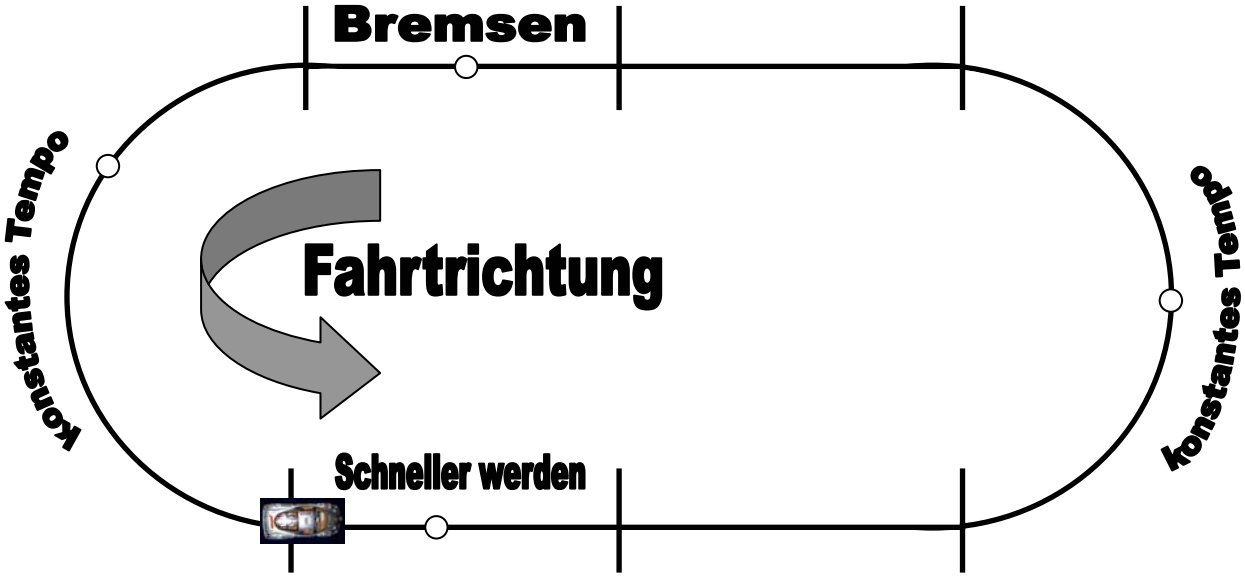
Die Zeichnung rechts zeigt den Ort des Mondes zu zwei Zeitpunkten, die ungefähr sieben Tage auseinander liegen. Welche Zusatzgeschwindigkeit erhält der Mond in diesen sieben Tagen? Bitte ankreuzen.





7. Rennstrecke

Ein Auto fährt unter normalen Bedingungen auf einer Rennstrecke. Die Fahrweise in den einzelnen Streckenabschnitten (jeweils zwischen zwei Strichen) kannst du der Graphik entnehmen. Zeichne an den 4 markierten Stellen (4 Punkte) den Beschleunigungspfeil ein. (Die Länge des Pfeils spielt keine Rolle)



8. Wenn der Sprit alle ist

Antons Vater hat vergessen zu tanken und ihm geht der Sprit aus. Das Auto wird auf ebener Strecke immer langsamer und bleibt schließlich stehen ohne das Antons Vater bremst.

Wirkt dabei trotzdem eine (Gesamt)Kraft auf das Auto?

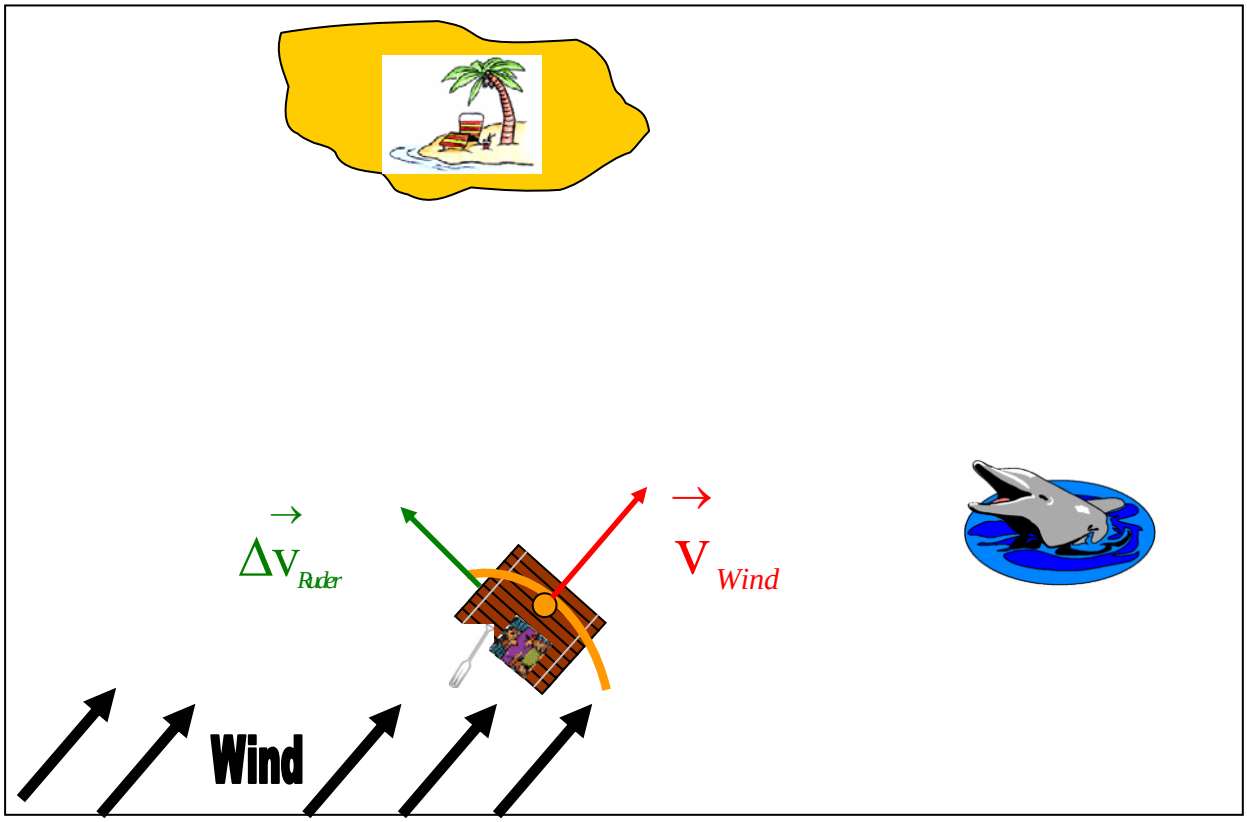
- ❑ Ja, das Auto ändert seine Geschwindigkeit, also muss in jedem Fall eine zeitlang eine Kraft auf das Auto wirken!
- ❑ Nein, da Antons Vater nicht bremst rollt das Auto einfach nur aus und jeder Körper bleibt irgendwann von alleine, also auch ohne äußere Kraft stehen.

9. Schiffbrüchige

Eine Gruppe Schiffbrüchiger hat sich auf ein eilig errichtetes Floß mit einem kleinen Segel gerettet. Das Floß hat keinen „Kiel“, kann also nicht quer zum Wind fahren, sondern sich nur in Richtung des Windes treiben lassen. Dadurch erhält es die Geschwindigkeit $\vec{v}_{Wind}$. Als die Schiffbrüchigen voller Schreck merken, dass sie der Wind an der rettenden Insel vorbei treiben wird, beginnen sie verzweifelt zu rudern und geben dem Boot so eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}_{Ruder}$.

Bestimme graphisch die neue Geschwindigkeit des Bootes und prüfe ob sie die rettende Insel mit dieser Geschwindigkeit erreichen werden!

Antwort: ……..……..

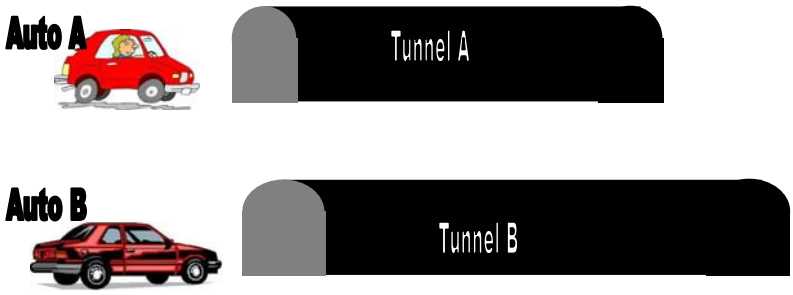


10. Wer ist schneller?

Zwei Autos fahren gleichzeitig in verschieden lange Tunnelröhren hinein und kommen gleichzeitig wieder heraus (vgl. Abbildung).

Welche Aussage ist richtig:

- ❑ Auto A fährt schneller als Auto B.
- ❑ Auto B fährt schneller als Auto A.
- ❑ Beide Autos fahren gleich schnell.



11. Fallschirmspringer

Ein Fallschirmspringer springt aus dem Flugzeug in die Tiefe. Er wird zunächst immer schneller und erreicht nach kurzer Zeit seine Endgeschwindigkeit. Mit dieser Geschwindigkeit fällt er dann weiter, bis zum Öffnen des Fallschirmes.
Wann wirkt auf den Fallschirmspringer die größte Kraft?

- ❑ Kurz nach dem Absprung, wenn der Springer noch langsam ist, jedoch schnell Tempo zulegt
- ❑ Kurz vor dem öffnen des Fallschirmes, wenn der Springer mit hoher, aber konstanter Geschwindigkeit fällt
- ❑ Die Gesamtkraft auf den Springer ist während des Falls immer gleich
- ❑ Es wirkt gar keine Kraft auf den Springer. Er fällt zur Erde, weil das seinem natürlichen Verhalten entspricht.

12. Auto und Kurve

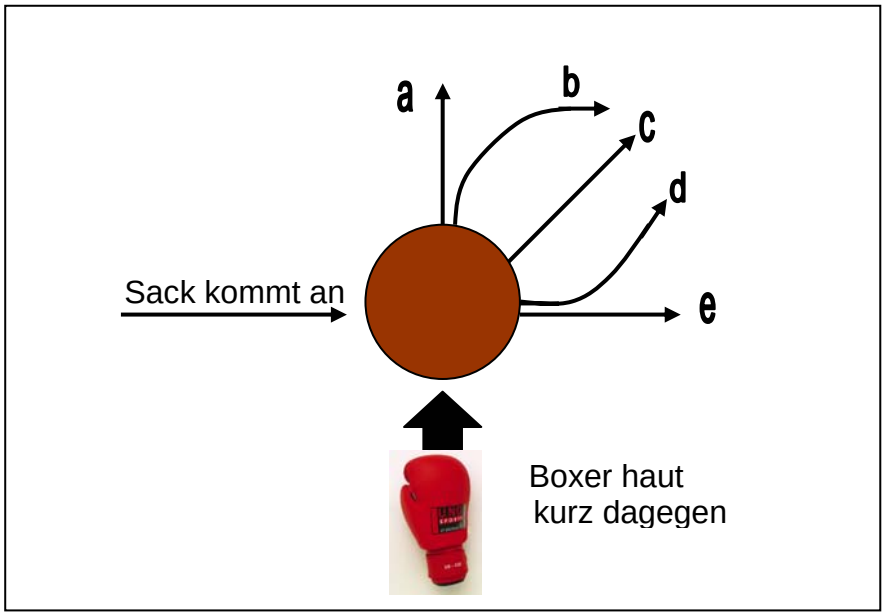
Ein Auto fährt mit konstantem Tempo in eine Kurve. Welche Aussagen sind deiner Meinung nach richtig? Kreuze an:

- ❑ Fährt man mit konstantem Tempo um die Kurve, so wird das Auto nicht beschleunigt.
- ❑ Auf das Auto wirkt eine Beschleunigung quer zur Fahrtrichtung in Richtung Kurveninneres.
- ❑ Auf das Auto wirkt eine Beschleunigung quer zur Fahrtrichtung nach außen.
- ❑ Die Beschleunigung ist umso größer, je höher das Tempo ist.
- ❑ Die Beschleunigung ist umso größer, je „enger“ die Kurve ist.
- ❑ Die Beschleunigung ist immer gleich, egal wie groß das Tempo oder wie eng die Kurve ist.

13. Boxtraining

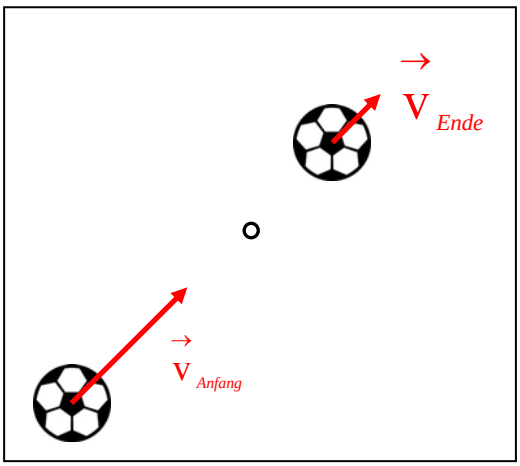
Ein Boxer haut gegen einen schweren Ledersack (Punch), der quer vor ihm vorbei schwingt. Kreuze an, wie sich der Sack nach dem Stoß weiterbewegt!
Situation von oben betrachtet:

- ❑ a
- ❑ b
- ❑ c
- ❑ d
- ❑ e



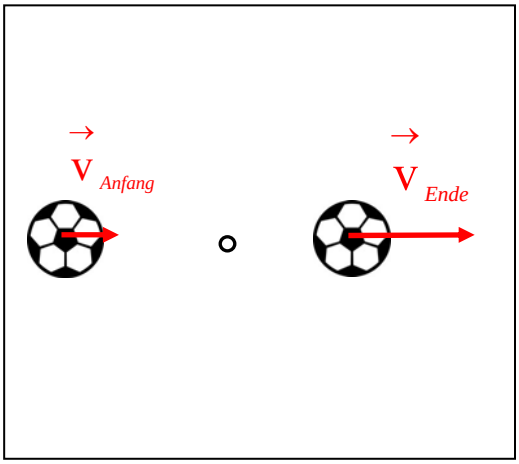
14 Muss hier eine Kraft wirken?

Unten siehst du jeweils die Geschwindigkeit eines Balles zu zwei Zeitpunkten. Gib jeweils an, ob in der Zwischenzeit eine Kraft auf den Ball ausgeübt werden musste, oder ob sich die Bewegung auch ohne Kraft so verändern konnte. Wenn du glaubst es muss eine Kraft wirken, so zeichne ihre Richtung an den markierten Stellen ein:



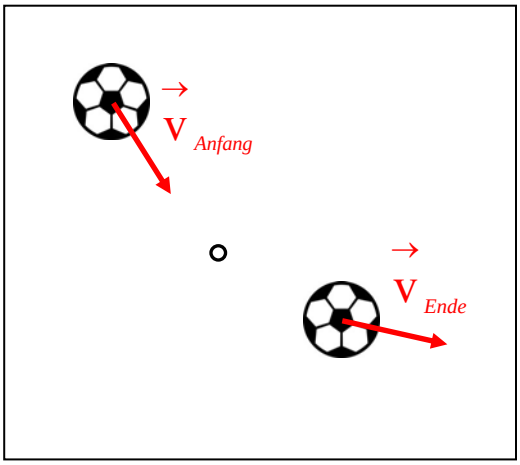
Muss hier eine Kraft wirken?

- ❑ Ja
- ❑ Nein



Muss hier eine Kraft wirken?

- ❑ Ja
- ❑ Nein



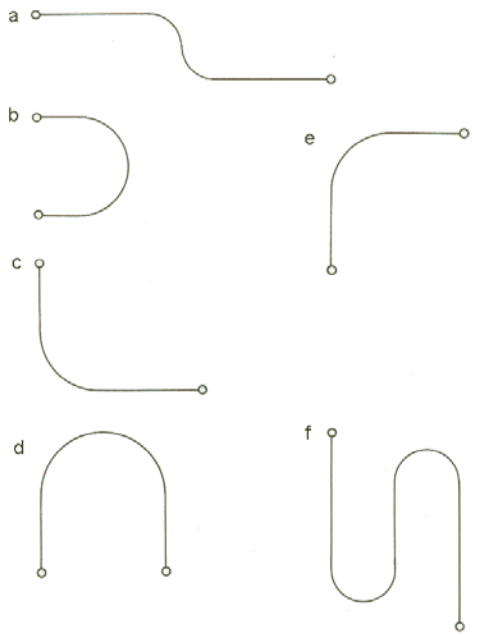
Muss hier eine Kraft wirken?

- ❑ Ja
- ❑ Nein

15 Kurvenfahrt

Ein Auto soll mit derselben (physikalischen) Geschwindigkeit aus einer Kurve herausfahren, mit der es hinein gefahren ist.
Kreuze an, bei welchen Kurven das prinzipiell möglich ist!

- ❑ a
- ❑ b
- ❑ c
- ❑ d
- ❑ e
- ❑ f

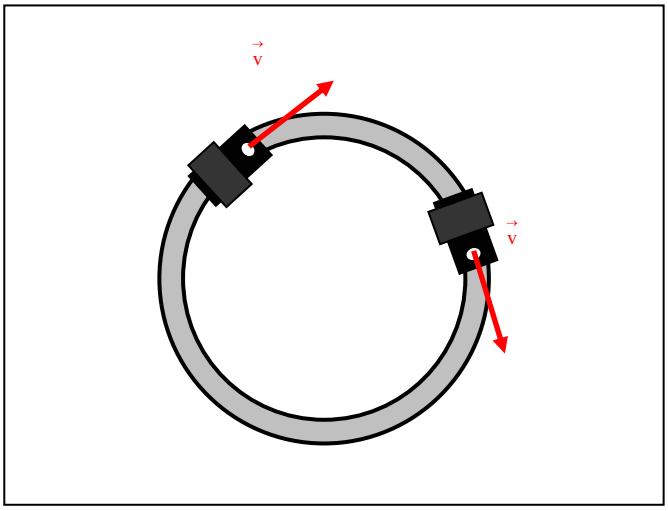


16. Ein Zug fährt im Kreis

Ein Zug fährt wie rechts zu sehen mit **konstantem Tempo** im Kreis herum.
Wirkt dabei eine Kraft auf den Zug?

- ❑ Nein
- ❑ Ja

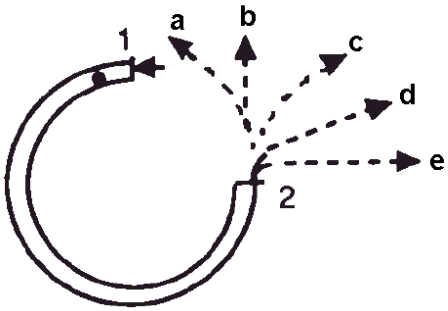
Falls du der Meinung bist, dass auf den Zug eine Kraft wirken muss, zeichne die Richtung der Kraft in den beiden weiß markierten Punkten der Zeichnung ein.



17. Immer im Kreis herum ?

Die Abbildung zeigt einen **von oben** betrachteten kreisförmigen Kanal, der auf einem Tisch fest verankert ist. Ein Ball tritt bei „1“ in den Kanal ein und verlässt ihn bei „2“. Welche der in der Abbildung gezeigten Bahnkurven beschreibt am besten den Weg des Balls, wenn er den Kanal bei „2“ verlässt und weiter über den Tisch rollt?

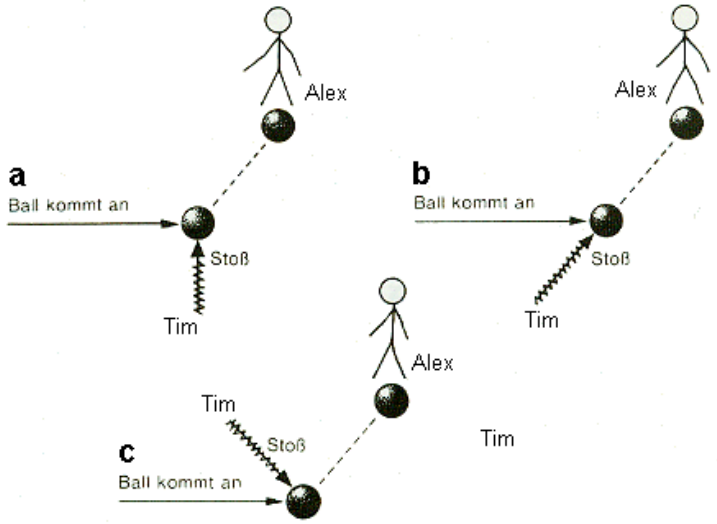
- ❑ a
- ❑ b
- ❑ c
- ❑ d
- ❑ e



18. Pass beim Fußball

Tim möchte beim Fußballspielen den Ball an seinen Freund Alex weitergeben. Wie muss Tim gegen den Ball treten, damit dieser bei Alex ankommt?

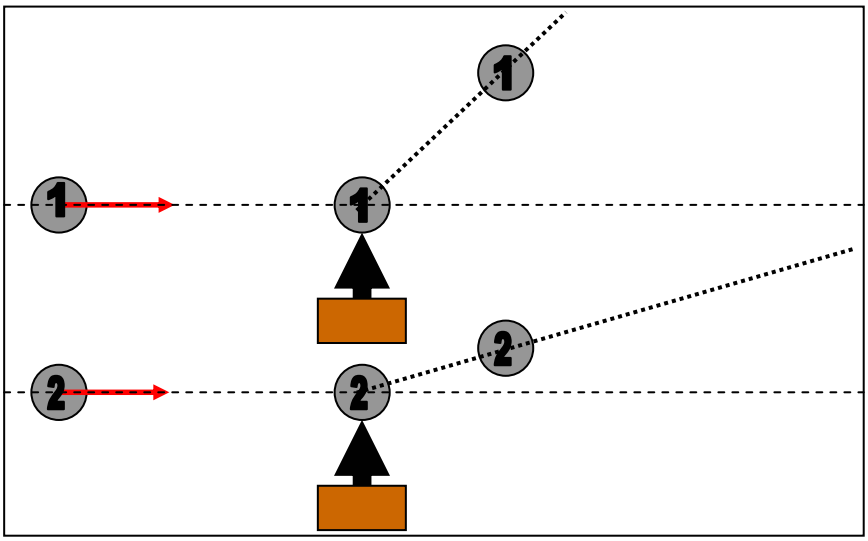
- ❑ a
- ❑ b
- ❑ c



19 Welche Kugel ist innen hohl?

Du sollst feststellen, welche von zwei gleichartigen, gleich großen Metallkugeln innen hohl ist. Du hast jedoch keine Waage und darfst sie auch nicht in die Hand nehmen. Jemand lässt die beiden Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit an dir vorbeirollen und du stößt mit einem Stoßbrett an gleicher Stelle und ungefähr gleich stark gegen beide Kugeln. Danach laufen die Kugeln wie unten zusehen weiter.

Welche Kugel ist die Hohlkugel?

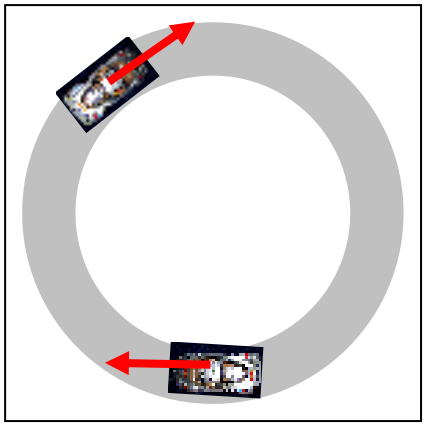


- ❑ Kugel 1
- ❑ Kugel 2

20 Kreisbahn

Ein ferngesteuertes Auto fährt mit einem Tempo von 10 km/h im Kreis herum. Kreuze richtige Aussagen an

- ❑ die Geschwindigkeit des Autos ändert sich nicht
- ❑ die Geschwindigkeit des Autos ändert sich dauernd zu
- ❑ die Richtung der Bewegung ist konstant, immer im Kreis herum

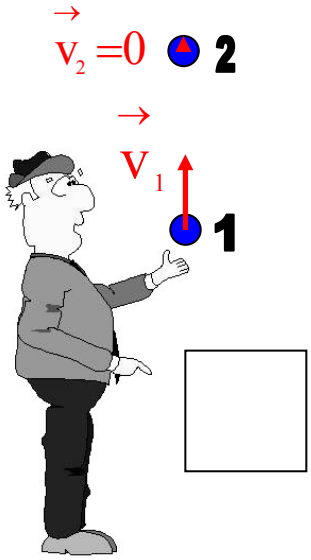


21 Jonglieren

Herr Müller übt das erste Mal jonglieren. Als Anfänger wirft er den Ball zunächst gerade hoch in die Luft und fängt ihn dann wieder.

Nachdem der Ball die Hand verlassen hat, bewegt er sich also gerade nach oben, erreicht seinen höchsten Punkt und fällt wieder zurück in die Hand. In der Zeichnung rechts siehst du den Geschwindigkeitspfeil während der Aufwärtsbewegung (1) und am höchsten Punkt (2) eingezeichnet.

Überlege dir wie sich die Geschwindigkeit während der Bewegung ändert und zeichne dann die Richtung des Beschleunigungspfeils in das Kästchen ein.



NOCHMALS VIELEN DANK FÜR DEIN ENGAGEMENT!!!

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei allen, die durch ihre Unterstützung dazu beigetragen haben, die Arbeit in dieser Form durchzuführen.
Zum einen gilt mein Dank den Schülern der Klasse 7c des Alexander-von-Humboldt Gymnasiums Schweinfurt, die durch ihr Engagement, ihr Wohlwollen und ihr Interesse im Unterricht dafür gesorgt haben, dass die praktische Erprobung des Unterrichtskonzeptes eine sehr positive Erfahrung wurde, und die den Fragebogen auch ohne Notendruck gewissenhaft bearbeitet haben und somit für eine zufrieden stellende Rückmeldung sorgten.
Besonderer Dank gilt dabei StD Peter Schüller, der es mir nicht nur ermöglichte, das Unterrichtskonzept in seiner Klasse zu erproben und mir dabei 10 Schulstunden zur Verfügung stellte, sondern mich auch vor Ort tatkräftig unterstützte. Zudem trug er durch manche kritische Anregung und einige Verbesserungsvorschläge dazu bei, das Konzept als solches zu verbessern und die praktische Umsetzung zu optimieren.
Herrn Gerand sei für die Hilfe bei der technischen Umsetzung einiger Versuchsideen gedankt.
Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei dem Betreuer meiner Arbeit StR Dr. Thomas Wilhelm bedanken. Seine tatkräftige Unterstützung bei der Realisierung meiner Ideen ging weit über das selbstverständliche Maß hinaus. So trug er nicht nur durch wertvolle Anregungen und Ratschläge zur Grundkonzeption des Unterrichtskonzepts bei, sondern gewährte mir auch bei dessen praktischer Umsetzung, wie zum Beispiel der Erstellung von Unterrichtsmedien verschiedenster Art, große Hilfe.
Vielen Dank!