
**Lernen mit
dynamisch-ikonischen Repräsentationen
aufgezeigt an Inhalten zur Mechanik**

**Dissertation zur Erlangung des
naturwissenschaftlichen Doktorgrades
der Bayerischen Julius- Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von
Matthias Galmbacher
aus Miltenberg**

Würzburg, 2007

Inhaltsverzeichnis

Hinführung.....	1
1 Das Forschungsgebiet „Lernen mit multicodierten Repräsentationen“	2
1.1 Begriffsbestimmungen	3
1.2 Ansätze aus der Psychologie	4
1.3 Neurophysiologie und Intelligenz	7
1.4 Stand der Forschung zum Lernen mit bewegten Bildern in den Naturwissenschaften	9
2 Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen am Beispiel des Mechaniklernens	15
2.1 Sachanalyse zur Mechanik in der Oberstufe	17
2.2 Lernschwierigkeiten in der Mechanik	20
2.3 Dynamisch-ikonische Repräsentationen	24
2.4 Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen	29
2.5 Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors	36
3 Mechaniklernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen in der Unterstufe.....	46
3.1 Darstellung und Begründung des Vorhabens	47
3.2 Präkonzepte in der Mechanik.....	49
3.3 Entwicklung eines Unterrichtskonzepts für die siebte Jahrgangsstufe.....	54
3.4 Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors in der siebten Jahrgangsstufe	65
4 Gesamtbewertung der Ergebnisse	74
4.1 Zusammenfassung	74
4.2 Ausblick	75
4.3 Abstract	77
Literaturverzeichnis	78
Danksagung	88
Verzeichnis der Anlagen.....	89
Anlagen	
Lebenslauf	

Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen aufgezeigt an Inhalten zur Mechanik

Ein Butterbrot landet immer mit der bestrichenen Seite nach unten auf dem Boden – ohne wissenschaftliche Untersuchung hält sich dieses Gerücht über Jahrzehnte hinweg. Ähnlich hartnäckig hält sich in der fachdidaktischen Literatur die These, dass multimedial aufbereiteter Unterricht motivierender und erfolgreicher ist als konventioneller Unterricht. Doch kann dies in der Praxis bestätigt werden? Erinnert man sich eventuell immer wieder gerne an erfolgreiche Einsätze von (multicodierten) Medien im Unterricht und vergisst darüber, dass manches Mal eine Repräsentation von den Schülerinnen und Schülern doch nicht sinnvoll für den Aufbau von Verständnis genutzt wurde – ähnlich, wie man gerne vergisst, dass ein Butterbrot manchmal auch ohne größere Folgen auf der „richtigen“ Seite landet? Erscheint nicht gelegentlich der Aufwand, der für den Einsatz neuer Medien betrieben wird, zu hoch im Vergleich zum effektiven messbaren Lernerfolg der Schüler oder anders gefragt: Bringen die Medien die Erfolge, die sie versprechen?

In der Physikdidaktik der Universität Würzburg wird seit einigen Jahren mit der Mess- und Modellbildungssoftware PAKMA gearbeitet, die es unter anderem ermöglicht, Versuchsabläufe aufzunehmen und relevante Versuchsaussagen in Graphen und Animationen zu visualisieren. Parallel dazu können – zeitgleich zur Messwerterfassung und Analyse von Experimenten – Modelle und Simulationen berechnet werden, die zu den Messwerten in Beziehung stehen und gemeinsam dargestellt werden. Für die Visualisierung werden sogenannte dynamisch-ikonische Repräsentationen (DIR) eingesetzt, das sind bildhafte Darstellungen physikalischer Größen, die sich entsprechend der Größe dynamisch verändern.

Unter Zuhilfenahme dieser Repräsentationen wurden verschiedene Unterrichtskonzeptionen entwickelt und evaluiert. Die Schülerinnen und Schüler, die in den neuen Unterrichtskonzeptionen unter Verwendung der DIR lernten, schnitten dabei besser ab als die Schülerinnen und Schüler, die in Kontrollklassen traditionell unterrichtet wurden. Deshalb ging man von einer grundsätzlich guten Lernwirksamkeit der DIR aus, ohne zu überprüfen, welcher Anteil am Lernerfolg effektiv auf die dynamisch-ikonischen Repräsentationen zurückzuführen ist oder aber der neuen Unterrichtskonzeption zuzuschreiben ist.

In der vorliegenden Arbeit sollte nun wissenschaftlich untersucht werden, inwieweit und in welcher Weise das Arbeiten in multicodierten Lernumgebungen, speziell das Arbeiten mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen, tatsächlich zu einem besseren, erfolgreicherem Lernen in der Mechanik führt.

Die Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in drei Teile: Im ersten Teil werden grundlegende Erkenntnisse über das Lernen mit multicodierten Repräsentationen zusammengetragen. Der zweite Teil stellt zwei Studien zum Mechaniklernen in der Oberstufe unter Verwendung dynamisch-ikonischer Repräsentationen vor, in denen sich zeigt, dass Schülerinnen und Schüler durch den Einsatz von multimedialen Codierungen nicht per se bessere Lernergebnisse erzielen, sondern vielmehr Hilfestellungen erhalten müssen, um das Potential der entsprechenden Codierung ausschöpfen zu können. Abschließend wird im dritten Abschnitt der Frage nachgegangen, inwieweit die dynamisch-ikonischen Repräsentationen bereits in der Unterstufe zum Wissenserwerb eingesetzt werden können.

1 Das Forschungsgebiet „Lernen mit multicodierten Repräsentationen“

1.1	Begriffsbestimmungen	3
1.1.1	Modelle im Physikunterricht	3
1.1.2	Multimedia, Multicodierung und Multimodalität	3
1.2	Ansätze aus der Psychologie	4
1.2.1	Die Theorie der kognitiven Belastung von John Sweller	4
1.2.2	Die Theorie des multimedialen Lernens von Richard Mayer	5
1.2.3	Konsequenzen für die Gestaltung von Lernumgebungen	6
1.3	Neurophysiologie und Intelligenz	7
1.3.1	Bilder im Gehirn	7
1.3.2	Handeln als Voraussetzung für Lernen	8
1.3.3	Die Theorie der multiplen Intelligenzen	8
1.4	Stand der Forschung zum Lernen mit bewegten Bildern	9
1.4.1	Lernen mit Texten und Bildern	9
1.4.2	Lernen mit bewegten Bildern	11
1.4.3	Lernen in multicodierten Lernumgebungen	12
1.4.4	Ausblick	14

In diesem ersten Abschnitt sollen zur Thematik „Lernen mit Bildern“ grundlegende Untersuchungen verschiedener Fachdisziplinen vorgestellt werden.

Aber hat nicht vieles des beispielsweise in der Psychologie theoretisch Zusammengetragenen und empirisch Untersuchten einen so hohen Allgemeinheitsgrad, dass man in der Fachdidaktik wenig direkten Nutzen davon hat?¹ Vordergründig betrachtet mag man diesem Standpunkt vielleicht zustimmen. Sicher könnte man einigen psychologischen Untersuchungen einen Realitätsbezug oder eine Zweckdienlichkeit für die Umsetzung in der Schule absprechen. Doch versuchen wir einen Vergleich mit der physikalischen Grundlagenforschung: Schreibt man nicht auch der Grundlagenforschung häufig jeglichen Realitätsbezug ab und prangert stattdessen hohe Kosten im Vergleich zum ökonomisch kaum nutzbaren Ergebnis an. Aber: Es gäbe wenigen technischen Fortschritt ohne die ersten elementaren Forschungen, die nur kurzfristig gesehen ohne direkten Nutzen waren. Kein Kernspintomograph würde den Ärzten zur Verfügung stehen, wenn nicht Kernspins in der Grundlagenforschung entdeckt und analysiert worden wären. Auch damals hatte man bestimmt gefragt: Wozu benötigen wir den Kernspin?

Ich denke, dass viele der vorliegenden allgemeinen Erkenntnisse zum Lernen mit Bildern sinnvoll genutzt werden können, um unsere spezielle Thematik, nämlich das Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen, unterstützend zu analysieren. In den späteren Kapiteln wird immer wieder Bezug auf die hier genannten Ergebnisse genommen werden.

¹ Mikelskis (2003)

1.1 Begriffsbestimmungen

1.1.1 Modelle im Physikunterricht

Jegliche multimediale Repräsentation im Unterricht dient dem Ziel, dem Schüler Modelle in verschiedenen Codierungen aufzuzeigen. Bevor man sich mit dem Design der Repräsentationen und der Art der Codierung beschäftigt, sollte wenigstens kurz darüber nachgedacht werden, ob man nicht einen Unterricht ohne Modelle und damit auch ohne Repräsentationen konzipieren könnte.

Um diese Frage beantworten zu können, muss man sich über den Modellbegriff im Klaren sein. Stachowiak² fasst folgende drei Hauptmerkmale zusammen, die auf alle Modelle zutreffen:

- (1) **Abbildungsmerkmal:** „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen, natürliche oder künstliche Originale“.
- (2) **Verkürzungsmerkmal:** „Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals“.
- (3) **Pragmatisches Merkmal:** „Modelle erfüllen eine Ersetzungsfunktion a) für bestimmte erkennende und/oder handelnde, (Modelle benutzende) Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen“.

Modelle sind demnach stets subjekt-, zeit- und zweckgebunden. Jede Person konstruiert sich Modelle, weil die Wirklichkeit viel zu umfassend und vielschichtig ist, als dass sie in ihrer ganzen Komplexität erfasst werden könnte. Modelle können so als Hilfsmittel zur Kommunikation dienen, aber auch zur Erkenntnis-speicherung und –gewinnung herangezogen werden.

Dementsprechend kann nun obige Frage nach der Notwendigkeit von Modellen im Physikunterricht eindeutig beantwortet werden: Ohne Modelle könnte keine Wissenschaft arbeiten und könnten keine neuen Erkenntnisse gewonnen oder weitergegeben werden, da man die Realität niemals ganz erfassen kann und daher in Modellen abbilden muss. Man mag diskutieren, ob die Modellbildung im naturwissenschaftlichen Unterricht den gleichen Bedingungen unterliegt wie die der wissenschaftlichen Forschung und ihrer Theoriebildung³, doch bleibt unbestritten, dass Lernen in den Naturwissenschaften ohne Modelle nicht möglich ist. Das bedeutet, dass Lehrerinnen und Lehrer sowie Schülerinnen und Schüler sich neben den Modellen auch mit ihren Repräsentationen auseinandersetzen müssen.

1.1.2 Multimedia, Multicodierung und Multimodalität

„Neue Medien“ (auch „Multimedia“) werden charakterisiert durch die Kombination mehrerer technischer Hilfsmittel mit dem Ziel, Informationen über multiple sensorische Kanäle zu repräsentieren. In diesem Sinn wird Multimedia in drei verschiedenen Ebenen bestimmt⁴:

- (1) Die technische Ebene benennt den Träger der Signale, wie etwa Buch, Computer oder Netzwerk. In der vorliegenden Arbeit spielt die technische Ebene keine Rolle, denn „nicht das Medium, das die Information transportiert, sondern die didaktische und methodische Aufbereitung des Inhalts entscheidet über den sinnvollen Einsatz eines Mediums.“⁵
- (2) Die semiotische Ebene beschreibt den Typus der Repräsentation, also ob es sich etwa um einen Text, ein Bild oder eine Animation handelt. Der semiotischen Ebene ist der Begriff „Multicodierung“ zuzuordnen: Er steht für eine Repräsentation, die mehrere Codierungen beziehungsweise Symbolsysteme in sich vereint, die sich wechselseitig aufeinander beziehen. Ein einzelner Zusammenhang wird

² Stachowiak (1973)

³ vgl. Kircher (2000), S. 149 ff

⁴ Schnotz (2003), S. 117

⁵ Girwidz (2003)

dann beispielsweise mit Worten, einer Formel und zusätzlich einem Diagramm dargestellt. Durch die unterschiedliche (externe) Codierung können leichter adäquate innere Modelle angeregt werden⁶.

- (3) Die sensorische Ebene gibt den Aufnahmekanal der Repräsentation an. Mit „Multimodalität“ bezeichnet man dann das Ansprechen mehrerer Sinneskanäle gleichzeitig. In einem Videofilm etwa werden auditive und visuelle Sensoren simultan angeregt. Meist wird man sich wohl auf den auditiven und visuellen Kanal beschränken, doch werden im Physikunterricht gelegentlich auch andere Kanäle angesprochen, etwa der olfaktorische Sinn, wenn ein Stromkabel durchschmort oder der taktile Sinn bei der Durchführung von Schülerversuchen.

1.2 Ansätze aus der Psychologie

Vor dem Hintergrund der „Theorie der kognitiven Belastung“ von John Sweller sowie der „Theorie des multimedialen Lernens“ von Richard Mayer wurden in der Vergangenheit verschiedene Maßnahmen zur externen Gestaltung von Multicodierungen vorgeschlagen mit dem Ziel, dem Lernenden die Informationsentnahme und Informationsintegration zu erleichtern.

1.2.1 Die Theorie der kognitiven Belastung von John Sweller

In seiner Theorie geht Sweller davon aus, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses insgesamt begrenzt ist⁷. Mit dieser naturgemäß vorgegebenen Kapazität muss das Individuum -nach Sweller- drei verschiedene Arten von Arbeitsleistungen erbringen: die intrinsische und die extrinsische kognitive Belastung sowie die auf den Lernprozess bezogene kognitive Belastung. Die ersten beiden Belastungen kennzeichnen die Anforderungen an den Lerner bei der Aufnahme von Information. Intrinsisch beschreibt hierbei die inhaltliche Komponente, die extrinsische Belastung rührt von der Decodierung der jeweiligen Information her. Die lernprozessbezogene Belastung umfasst alle Schritte des Arbeitsgedächtnisses, das die neue Information mit bisher Gelerntem verknüpft und in das Langzeitgedächtnis schreibt.

Wird eine Information in einer ungewohnten Codierung vorgelegt, dann ist der prozentuale Anteil der extrinsischen Belastung vergleichsweise hoch, da viele Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses auf die Entschlüsselung der Codierung verwendet werden müssen. Man kann sich dies in einem Balkendiagramm veranschaulichen:

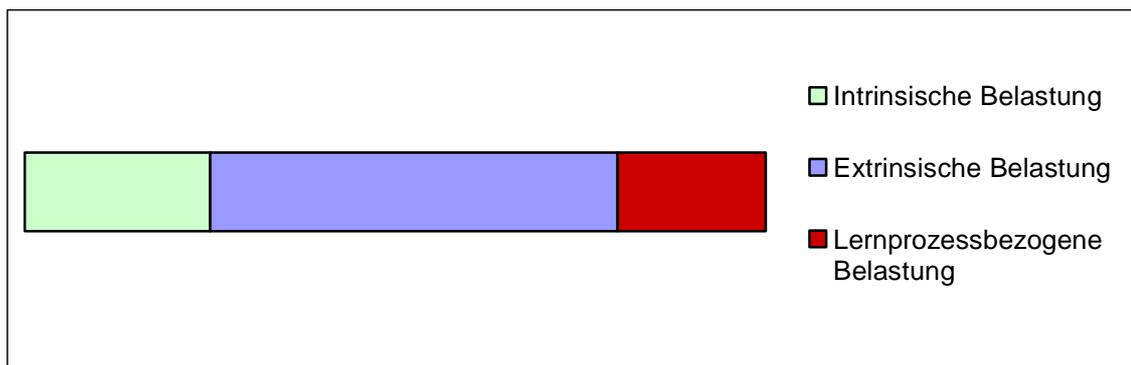


Abbildung 1: Verteilung der Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses bei hoher extrinsischer Belastung.

Ist die gleiche Information (also die gleiche intrinsische Belastung), in einer wohl bekannten Codierung verschlüsselt, reduziert sich die extrinsische Belastung.

⁶ vgl. 1.3

⁷ Sweller (1998)

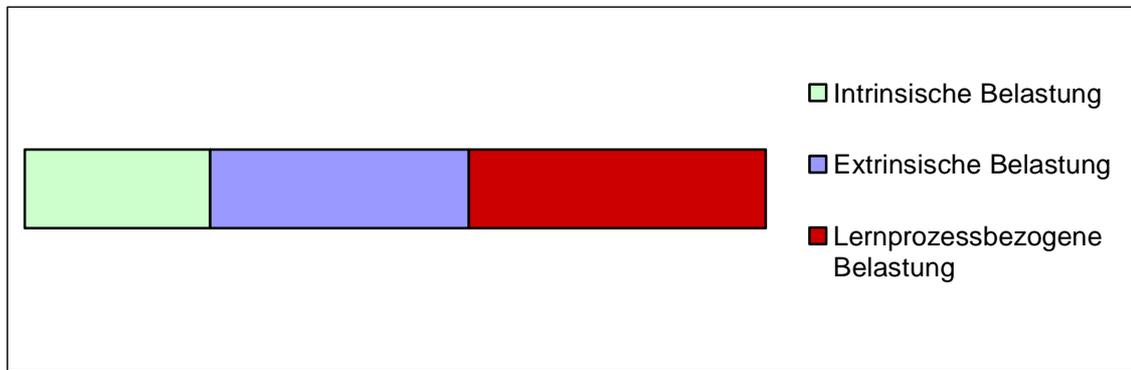


Abbildung 2: Verteilung der Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses bei vergleichsweise geringer extrinsischer Belastung.

Der Vorteil einer geringen extrinsischen Belastung ist nun leicht ersichtlich: Das Arbeitsgedächtnis hat größere Kapazitäten frei, um die wichtigen Schritte des Informationsabgleichs und der Wissensverankerung mit dem Langzeitgedächtnis leisten zu können. Demnach sollten Lernumgebungen so gestaltet sein, dass die für den Lernprozess und die Wissensentnahme wesentlichen Codierungen gut eingeübt und weitestgehend automatisiert sind, um die extrinsische Belastung möglichst gering zu halten. Ansonsten kann es sogar passieren, dass die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis so groß werden, dass sie seine Grenzen übersteigen und dann keine Informationsverarbeitung mehr möglich ist („cognitive overload“).

1.2.2 Die Theorie des multimedialen Lernens von Richard Mayer

Mayer entwickelte eine Theorie („cognitive theory“) von Multimedialernen, die auf drei Annahmen der Kognitionsforschung beruht: eine der Annahmen ist die der kognitiven Belastung von Sweller⁸, eine andere die der dualen Codierung und die dritte die des aktiven Lernens.

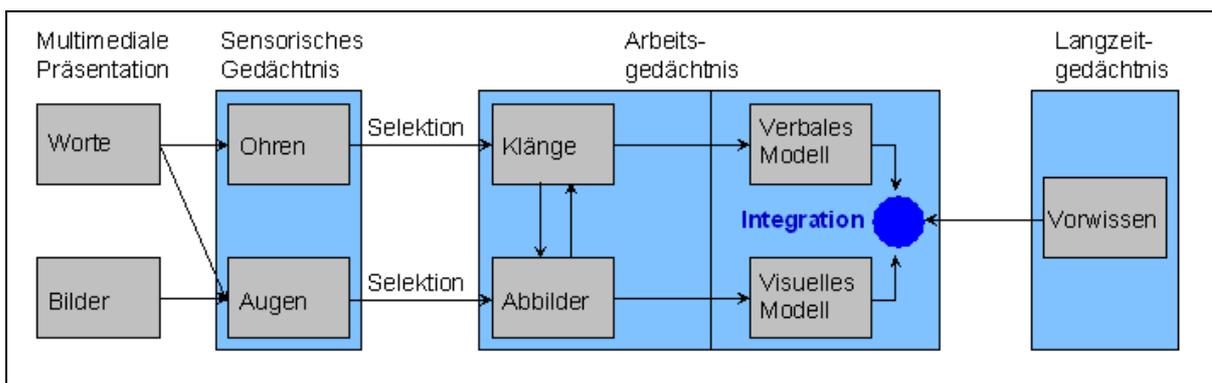


Abbildung 3: Die Struktur der dualen Codierung von Richard Mayer.⁹

Im Mittelpunkt der Mayerschen Theorie steht die auf Paivio zurückgehende Vorstellung der dualen Codierung: Der Mensch besitzt laut Paivio zwei verschiedene Kanäle für die Aufnahme von Information, zum einen den auditiven und zum anderen den visuellen Kanal. Während der auditive Kanal gesprochene Worte aufnimmt, werden Bilder, Animationen und geschriebene Texte primär über den visuellen Kanal verarbeitet. Eine wichtige Aufgabe des aufnehmenden sensorischen Gedächtnisses ist es dann, aus der Fülle von Informationen vermeintlich Wichtiges zu selektieren und an das Arbeitsgedächtnis weiterzuleiten. Dort können geschriebene Texte und Bilder versprachlicht, sowie Gehörtes verbildlicht werden und im jeweils anderen Kanal weiterverarbeitet werden. Aus dem nun

⁸ vgl. 1.2.1

⁹ vgl. Mayer (2003), S. 129

zur Verfügung stehenden Material erschafft sich das Arbeitsgedächtnis zwei kohärente mentale Repräsentationen, das verbale Modell und das visuelle Modell. In einem weiteren Schritt werden diese beiden Repräsentationen zusammen mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis (Vorwissen) zu einer integrierten Vorstellung verknüpft. Der gesamte Prozess wird meist nicht nur linear abgearbeitet, sondern kann selektiv und wiederholt durchlaufen werden, bis ein integriertes Modell im Langzeitgedächtnis für den weiteren Gebrauch gespeichert ist.

Die Verfestigung des mentalen Modells im Langzeitgedächtnis gelingt umso besser, das heißt das mentale Modell kann umso effizienter für weiterführende, problemlösende Strategien eingesetzt werden, je intensiver sich der Lerner mit dem Lerninhalt auseinandersetzt¹⁰. Dies umschreibt Mayer mit aktivem Lernen und meint dabei die bewusste Beschäftigung mit den Prozessen der Selektion, Organisation und Integration im Gehirn. Gleichwohl kann auch die externe Beschäftigung mit Lernmaterial¹¹ aktives Lernen fördern.

1.2.3 Konsequenzen für die Gestaltung von Lernumgebungen

Vor dem Hintergrund dieser Theorie werden Vorschläge gemacht, Lernumgebungen so zu gestalten, dass Lernende die codierte Information leichter entnehmen und so schneller in eigene, bestehende Strukturen einbauen können.

Mayer selbst nennt Prinzipien, die für eine gute Lernumgebung sprechen¹²:

- **Multimediaprinzip¹³:** Schülerinnen und Schüler erzielen ein besseres Verständnis, wenn Lerninhalte in Text und Bild angeboten werden und auf diese Weise sowohl den visuellen als auch den auditiven Kanal ansprechen. Wie zuvor erwähnt, wird der auditive Kanal dabei auch von gedrucktem Text angeregt.
- **Kohärenzprinzip:** Inadäquate, das heißt unpassende Informationen sollten in einer Lernumgebung nicht enthalten sein. Lowe drückt dieses Prinzip in seinen Untersuchungen mit der sogenannten „Aufmerksamkeitslenkung“¹⁴ positiv aus: Inhalt und Form einer Präsentation sind so aufeinander zu beziehen, dass Lernende thematisch Relevantes entnehmen können, wohingegen andere (nicht relevante) Information ausgeblendet sein sollte.
- **Kontiguitätsprinzip:** Korrespondierende Informationen in Text und Bild sollten sowohl räumlich als auch zeitlich eng beieinander liegend präsentiert werden.
- **Passung des Sprachniveaus:** Wird ein Text in Umgangssprache präsentiert, so lernen die Schülerinnen und Schüler damit im Unterricht besser als mit einem Text, der in einer abgehobenen Diktion verfasst ist. Dieser Effekt ist insbesondere bei gesprochenen Texten zu beobachten. Die Passung hängt dabei vom Empfänger ab: Einem Laien erscheint ein wissenschaftliches Essay meist unverständlich, dagegen bevorzugen Experten die dort verwendete Fachsprache, weil Begrifflichkeiten und Zusammenhänge mit wenigen Worten präzise und klar definiert wiedergegeben werden können.
- **Redundanzprinzip:** Das Lernen mit bewegten Bildern wird erschwert, wenn textuelle Information auditiv und zusätzlich in gedruckter Form präsentiert wird.

Steuercodes¹⁵ können das Anforderungsniveau einer multimedialen Lernumgebung senken, indem sie zum Beispiel Bilder mit Hilfe von Farbe strukturieren¹⁶ oder Ausschnittsvergrößerungen innerhalb einer komplexen Abbildung ermöglichen¹⁷.

¹⁰ Rieber (2004)

¹¹ vgl. 1.3.2: „Handeln“

¹² Mayer (2003)

¹³ vgl. 1.1.2: „Modalitätsprinzip“

¹⁴ Lowe (1998)

¹⁵ Weidenmann (2002)

¹⁶ Ballstaedt (1997)

¹⁷ Schnotz (2002)

1.3 Neurophysiologie und Intelligenz

„Neurophysiologisch noch nicht geklärt, philosophisch wohl nie gelöst“ – in diesem kurzen Abschnitt kann keine Antwort auf die Frage nach der Entstehung der Bilder im Gehirn des Menschen gegeben werden. Doch soll wenigstens knapp bewusst gemacht werden, wie begrenzt die Möglichkeiten zur Steigerung des Lerngewinns sind, die durch eine optimierte externe Gestaltung von Lernumgebungen erreicht werden können. Letztlich entscheidet das Individuum über den erzielten Nutzen!

1.3.1 Bilder im Gehirn

Kant unterscheidet drei Arten der Bilder: (1) Die Vorstellung, (2) den Gegenstand der Vorstellung und (3) das Ding an sich¹⁸. Die Vorstellung, so konkretisiert Schopenhauer¹⁹, betrifft die Sinnlichkeit und Empfindung, der Gegenstand ist eine Sache des Verstandes, während das Ding an sich jenseits aller Erkennbarkeit liegt. Aufgrund dieser Unterscheidung wird bereits deutlich, dass es das *eine* richtige Bild zum Beispiel eines physikalischen Modells nicht geben kann, da stets die Erfahrungen und Empfindungen des Individuums Einfluss nehmen auf die Vorstellung, also das Bild im Menschen. Man weiß beispielsweise um optische Täuschungen, die teilweise eindrucksvoll die Verzerrungen in der menschlichen Wahrnehmung aufzeigen.



Abbildung 4: Bekannte optische Täuschungen sind die Muller-Lyer-Täuschung (links: Die beiden waagrecht Steckenabschnitte sind gleich lang) und die Delboef-Täuschung (rechts: Die beiden mittleren Quadrate sind gleich groß).

Neben diesen psychologisch (oder medizinisch) erklärbaren Phänomenen gibt es aber weiterhin subjektive Wahrnehmungsverzerrungen aufgrund von persönlichen Erwartungen, Erfahrungen und Empfindungen²⁰.



Abbildung 5: Ein Beispiel für den Einfluss von Erfahrungen auf die Wahrnehmung²¹: Das vorliegende Bild erscheint beim ersten Betrachten als eine lose Anordnung schwarzer Flecken. Hat man jedoch die Abbildung 5a²² zuvor gesehen, dann erkennt man auch in diesem Bild die entscheidenden Konturen.

¹⁸ Kant (1783)

¹⁹ Schopenhauer (1858)

²⁰ Landsberg-Becher (1987); Popp (1991)

²¹ Porter (1954), S. 550

²² vgl. Anlage A

Die Interpretation eines Bildes ist demnach stets subjektiv und situativ verschieden. Die Fehlbarkeit des Menschen beim Arbeiten mit Bildern darf deshalb bei der Diskussion über Lernen mit Bildern und Bildgestaltung nicht außer Acht gelassen werden.

1.3.2 Handeln als Voraussetzung für Lernen

Steht man vor einem schwierigen Problem, dessen Lösung nicht sofort ersichtlich ist, nehmen viele Menschen einen Stift in die Hand und skizzieren Lösungsansätze oder veranschaulichen sich Zusammenhänge. Sie versuchen, sich ein Bild von der Sache zu machen. Tatsächlich fördert das Zeichnen beziehungsweise allgemeiner das Handeln die Wahrnehmung eines inneren „Bildes“²³ und damit die kognitive Auseinandersetzung mit dem anstehenden Problem²⁴.

Die aktuelle neurophysiologische Forschung erklärt dies folgendermaßen:

Wahrnehmungen beginnen mit Empfindungen, die im sensorischen Gedächtnis als subjektiv Gewesenes (Gedächtnis) oder als mögliche Empfindung über das, was eintreten könnte (Vorstellung), gespeichert werden. Hierdurch werden zeitliche Strukturen in der präfrontalen Hirnrinde erzeugt. Gleichzeitig sorgt der präfrontale Kortex für eine enge Kopplung zwischen Gedächtnis, Planung und Handlung. Durch die motorische Aktivität beziehungsweise Handlung wird nun zusätzlich zur zeitlichen Dimension ein räumliches Bezugssystem aufgebaut, das im Handlungsgedächtnis repräsentiert wird. Dies schafft die Voraussetzung für die Entstehung von Bildern im Gehirn. Handlungsgedächtnis und sensorisches Gedächtnis stehen dabei ständig in wechselseitiger Beziehung und beeinflussen sich gegenseitig. Ein mögliches Indiz für das Zusammenspiel von Empfindung und Handlung ist, dass der sensorische Input bei Fehlen jeder motorischen Aktivität nach etwa 0,1 Sekunde abgeschaltet wird. Auf visueller Ebene bedeutet das, dass der Mensch etwa bei der statischen Betrachtung eines Bildes sogleich Schwarz sehen würde, da sich die Umgebung nicht verändert. Er löst dieses Problem durch schnelle (minimale) Zitterbewegungen der Augen.

In der Entwicklungspsychologie ist dieser Zusammenhang seit langem bekannt. Man umschreibt ihn hier mit dem Begriff des „verkörperlichten Lernens“ (embodied cognition); Wissen wird in der aktiv-handelnden Auseinandersetzung mit der Umwelt erworben.

Auch Mediendidaktiker sehen das Handeln als einen wichtigen Aspekt für bedeutungsvolles Lernen²⁵. Für Mayer zählt dazu bereits die intensive (geistige) Auseinandersetzung mit den aufgenommenen Reizen²⁶, was in obigem Sinne jedoch nur eingeschränkt richtig wäre.

1.3.3 Die Theorie der multiplen Intelligenzen

Anfang des 20. Jahrhunderts wurden erste Intelligenztests durchgeführt. Ziemlich rasch entstand hieraus eine Debatte darüber, „ob es sich bei der Intelligenz um eine Reihe voneinander unabhängiger, spezifischer geistiger Fähigkeiten handelte, oder ob sie eher allgemein und umfassend und nicht in einzelne Komponenten zerlegbar wäre.“²⁷ Spearman legte basierend auf seinen Untersuchungen an Kindern schließlich eine erste fundierte psychologische Theorie der Intelligenz vor, die sich in ihren Grundzügen bis heute gehalten hat. Danach lassen sich Testergebnisse mit einer Zweifaktorentheorie der Intelligenz erklären: Der allgemeine Faktor *g* beschreibt einen generellen Aspekt der Intelligenz, der allen Leistungswerten gleichermaßen zugrunde liegt. Daneben gibt es testspezifische Faktoren, die mit *s* bezeichnet werden. Über die Anzahl und Gewichtung der einzelnen Faktoren herrscht bis heute kein Konsens. Thurstone etwa stellte dem Zweifaktorenmodell ein Modell gegenüber, bei dem der allgemeine Faktor *g* verworfen wird und stattdessen neun voneinander unabhängige geistige Primärfähigkeiten eingeführt werden.

²³ Bild ist hier weitergefasst, so könnte etwa auch eine Episode gemeint sein.

²⁴ Rentschler (2006)

²⁵ z.B. Sumfleth (2000b)

²⁶ Mayer (2003), S. 130

²⁷ Kail (1989)

Eine solche Primärfähigkeit ist in diesem Modell beispielsweise der Faktor „Raumvorstellung“. Man nimmt an, dass ein solcher Faktor die Fähigkeit des Individuums wiedergibt, sich zu veranschaulichen, wie einzelne Teile eines Objekts zusammenpassen und in welcher Beziehung sie zueinander stehen.

Unabhängig von der Bezeichnung einzelner Faktoren, kann über alle psychometrischen Theorien hinweg der faktorenanalytische Ansatz als das Strukturmodell des menschlichen Intellekts angesehen werden. Dies hat zur Folge, dass die Individuen aufgrund der unterschiedlichen Ausprägung einzelner Intelligenzfaktoren auch ungleiche Voraussetzungen für das Lernen haben. Bei der Gestaltung multicodierter Lernumgebungen, dem Lernen mit multimodalen Informationen und natürlich bei der Untersuchung von Lernprozessen sollte die Verschiedenheit der Intelligenzen beachtet werden.

1.4 Stand der Forschung zum Lernen mit bewegten Bildern in den Naturwissenschaften

In einem Kommentar der Zeitschrift „Learning and Instruction“ beschreibt Hegarty²⁸ die großen Hoffnungen, die man in die neuen Visualisierungsmöglichkeiten mit dem PC setzt. Sie vergleicht diese heutigen Erwartungen mit einer Ankündigung von Cuban 1986, in der er meint, dass bewegte Bilder (insbesondere TV und Video) das schulische Lernen revolutionieren und die Schulbücher ablösen werden. Rückblickend ist dies nicht eingetreten. Und auch der Enthusiasmus, der mit den ersten interaktiven Lernumgebungen aufkam, scheint einer nüchternen Einsicht zu weichen: In zahlreichen Untersuchungen konnte die Annahme nicht bestätigt werden, dass die gleichzeitige Darbietung unterschiedlicher sprachlich-begrifflicher und/oder bildhafter Repräsentationen zu einer Verbesserung der Lernleistungen führt.

Im Folgenden soll ein kurzer Abriss über Forschungsergebnisse ausgehend vom Lernen mit Bildern bis zum Lernen in multicodierten Lernumgebungen aufgezeigt werden. Dynamisch-ikonische Repräsentationen werden im Hinblick auf die Studien unter 2.3 gesondert vorgestellt.

1.4.1 Lernen mit Texten und Bildern

Während früher die Bilder als „Diener des Textes“²⁹ gesehen wurden, hat sich diese Sichtweise der Bilder in den letzten Jahren stark verändert: Bilder wurden mehr und mehr zu einem wesentlichen Bestandteil von Lernumgebungen. In den neueren Schulbüchern beispielsweise nehmen sie mittlerweile etwa fünfzig Prozent des Platzangebotes ein.

Unbestritten ist, dass Abbildungen das Lernen in ansonsten rein textbasierten Lernumgebungen positiv beeinflussen. Ich möchte an dieser Stelle einige Vorteile nennen:

- Die Information wird einprägsamer präsentiert: Untersuchungen über das Behalten von Information haben gezeigt, dass sich Bilder besser einprägen und deshalb über einen längeren Zeitraum abrufbar sind als Information, die aus einem Text aufgenommen wurde.³⁰ Dies kann man beispielsweise auch daran erkennen, dass sich Prüfungskandidaten manchmal die Stelle in einem Buch, an der man die Antwort zu einer Frage findet, noch vor das geistige Auge rufen können, jedoch nicht in der Lage sind, sich an den Inhalt zu erinnern.³¹
- Die Information kann gleichzeitig präsentiert werden: Im Gegensatz zum reinen Text, in dem die Information linear angeordnet ist und so dem Leser keine Flexibilität in der Reihenfolge der Wissensaufnahme erlaubt, kann sich der Betrachter eines Bildes die Information selbst suchen und zwar in einer ihm dienlichen Reihenfolge.³²
- Zusammengehöriges wird leichter erkennbar: Abbildungen können Inhalte parallel präsentieren, wohingegen ein Text seine Inhalte nur sequentiell anordnen kann.

²⁸ Hegarty (2004)

²⁹ Weidenmann (1991)

³⁰ Issing (1994)

³¹ Weidenmann (1991)

³² vgl. 1.2.2

Dadurch kann in Abbildungen Zusammengehöriges leichter mit einem Blick erfasst werden, während in einem Text mühsam Beziehungen durch Worte hergestellt werden müssen.

- Räumliche Beziehungen können dargestellt werden: Informationen über räumliche Beziehungen können durch Worte meist nur sehr schwierig und unanschaulich ausgedrückt werden. Hier gewinnt die Aussage: „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.“ ihre volle Bedeutung. Allerdings kann diese Anschaulichkeit bei der Darstellung dreidimensionaler Beziehungen verloren gehen.³³

So wie ein Bild die Aufnahme von textlicher Information positiv beeinflussen kann, steuert der einer Abbildung beigefügte Text aber auch die Verarbeitungstiefe visueller Information.³⁴ Folgende Aspekte erscheinen relevant:

- Bedeutungsverleihung: Ein Bild kann für verschiedene Betrachter unterschiedliche (Be-)Deutungen haben. Durch eine zusätzliche sprachliche Formulierung wird die Sichtweise gelenkt und das Bild in dem vom Autor intendierten Kontext gesehen.
- Aufmerksamkeitslenkung: Ein Text kann einen Bildausschnitt betonen, auf den sich die Aufmerksamkeit des Lesers richten soll. Diese Bildführung ist gerade bei komplexeren Real Fotografien und Animationen recht wichtig.³⁵
- Betrachtungsanleitung: Es ist wichtig, dem Betrachter von Bildern die Konventionen mitzuteilen, mit deren Hilfe die Information in der Abbildung verschlüsselt wurde. Dies ist insbesondere bei Graphen, Diagrammen und Schemata von großer Bedeutung.³⁶ Ein Schulbuch-Autor kann nicht davon ausgehen, dass ein Schüler beispielsweise einen Graphen richtig interpretieren kann, selbst wenn laut Lehrplan die mathematischen Voraussetzungen in der jeweiligen Jahrgangsstufe gegeben sein sollten. Die Antwort auf die Frage: „Wie lese ich die Abbildung richtig?“ sollte je nach vorausgesetztem Wissensstand der Schülerinnen und Schüler entweder in einem beigefügten Text erklärt werden oder mit Hilfe einer Fußnote auf eine weiterführende Informationsquelle nachschlagbar sein. Jeder Schüler muss also die Möglichkeit haben, die tatsächlich intendierte Information aus einer Abbildung zu entnehmen. Im Lauf der Zeit sollten damit Basisfähigkeiten aufgebaut werden, mit deren Hilfe die Wissensaufnahme aus diversen Repräsentationen immer besser gelingen kann.

Die genannten Vorteile werden in den vorhandenen Medien aber nicht immer genutzt. So stellte etwa Feldner in einer Kleinstudie fest, dass Schüler beim Lesen von Schulbuchtexten die zugehörigen Abbildungen nicht zum Konzepterwerb einbeziehen³⁷. Dies könnte an mangelnden Verweisen im Text auf zugehörige Abbildungen liegen. Die Verzahnung von Text und Bild muss dem Schüler durch wechselseitige Bezüge deutlich gemacht werden.³⁸

Zudem zeigte Merzyn in einer Untersuchung von Schulbüchern auf, dass sich in manchen Fällen Text und dazugehörige Abbildung nicht nur nicht ergänzen, sondern teilweise sogar widersprechen³⁹. Designer, in deren professionelle Hände die graphische Gestaltung von (multimedialen) Lernumgebungen gegeben wird, gestalten die Abbildungen eben in erster Linie nach ästhetischen Gesichtspunkten, wobei die Subjektivität des Künstlers eine große Rolle spielt, und schenken dem Text und der Objektivität der Wissenschaft kaum Beachtung⁴⁰. Die Folge ist eine fehlende oder schlechte Text-Bild-Entsprechung.

Jedoch entscheidet nicht nur die Art der Gestaltung von Abbildungen, inwieweit der Lerner sie nutzt: Eine Abbildung muss zudem interessant sein, damit sie betrachtet wird. Das erreicht sie nur, wenn sie Information enthält, die dem Betrachter neu ist und ihn deshalb im wahrsten Sinne des Wortes „neugierig“ macht. Dies gelingt relativ komplexen

³³ Weidenmann (1991)

³⁴ Zimmer (1983)

³⁵ Mietzel (1993)

³⁶ Hartley (1978)

³⁷ Feldner (1996)

³⁸ Weidenmann (1991)

³⁹ Merzyn (1982)

⁴⁰ Willberg (1980), Kunze (1988)

Abbildungen leichter als einfachen Strichzeichnungen, wie Hartley in seiner Untersuchung nachweisen konnte.⁴¹ Der Grund dafür mag in der Vielfalt an Betrachtungsvariationen liegen: Man kann komplexe Abbildungen länger anschauen, ohne das Interesse an ihnen zu verlieren. Allerdings darf der Informationsgehalt einer Abbildung nicht zu hoch sein und dadurch den Betrachter abschrecken. Liegt ein Bild mit seinem Informationsgehalt innerhalb dieser genannten Grenzen, nach Piaget in der „Zone des optimalen Interesses für das, was weder zu bekannt, noch zu neu ist“, so löst es beim Schüler ein „dosiertes Diskrepanzerlebnis“⁴² aus, welches die Voraussetzung für das Interesse des Schülers darstellt.

Doch auch unter Beachtung sämtlicher genannter Gestaltungsaspekte besteht für die Leser weiterhin die Schwierigkeit, Text und Bild zueinander in Beziehung zu setzen.⁴³ So lösten Schülerinnen und Schüler in einer Studie von Rubitzko⁴⁴ Aufgaben gut, bei denen die Information aus nur einer Repräsentation (z.B. nur Text) entnommen werden musste. Dagegen wurden die Aufgaben eher weniger gut bearbeitet, wenn die Information zur Lösung in mehr als einer Repräsentation (z.B. Text und Bild) codiert war. Anscheinend hatten die Probanden das Problem, „die Informationen aus zwei Repräsentationen gleichzeitig aktiv zu halten und diese zu verknüpfen“⁴⁵.

1.4.2 Lernen mit bewegten Bildern

Wie oben erläutert, haben Lerner schon bei statischen Bildern häufig Schwierigkeiten, relevante Informationen zu entnehmen. Bei bewegten Bildern (Film, Animation) erhöhen sich die Verarbeitungsanforderungen zusätzlich.⁴⁶

Da ein Film⁴⁷ in der Regel nicht angehalten werden kann, muss der Betrachter in der Lage sein, größere Datenmengen aufgrund der vielen aufeinanderfolgenden Einzelbilder in begrenzter Zeit zu verarbeiten. Daneben muss er die Aufmerksamkeit auf verschiedene Stellen gleichzeitig richten und die aufeinanderfolgenden Einzelbilder zueinander in Beziehung setzen können⁴⁸.

Diese Anforderungen können von den Schülerinnen und Schülern bei einfachen Filmen, die wenige Entitäten enthalten und einfache Zusammenhänge darstellen, noch geleistet werden⁴⁹. Lowe zeigte aber in einer Untersuchung über das Lernen mit sich kontinuierlich verändernden Bildern⁵⁰, dass Laien relevante Informationen aus einer komplexeren Animation nicht entnehmen konnten. Offensichtlich konzentrierten sich die Probanden auf „perzeptuell besonders hervorstechende Veränderungen einer Animation“⁵¹, ohne dabei auf verständnisfördernde Strukturen zu achten. Dies lässt sich zum Teil sicherlich auf fehlendes domänenspezifisches Vorwissen der Laien zurückführen, aufgrund dessen sie nicht entscheiden können, welche Information relevant ist. Zusätzlich kommt die hohe extrinsische Belastung des Arbeitsgedächtnisses hinzu⁵², wodurch lernfördernde Prozesse ausbleiben. Es wird nur eine Illusion von Verstehen aufgebaut⁵³, was bedeutet, dass dem Lerner die Beobachtungen im ersten Moment einleuchten, ohne allerdings kognitiv verarbeitet und in bestehende Strukturen eingebaut zu sein. Dadurch wird der positive Effekt, den Animationen gegenüber statischen Bildern haben können, überdeckt.

Viele Lernende scheinen also häufig nicht in der Lage zu sein, die in Visualisierungen vorkommenden Strukturen, die für ein Verständnis des in Frage stehenden Sachverhalts

⁴¹ Hartley (1978)

⁴² Mietzel (1993), S. 254

⁴³ Sumfleth (2000c)

⁴⁴ Rubitzko (2005)

⁴⁵ Rubitzko (2005), S. 380

⁴⁶ de Jong (1998)

⁴⁷ Ein Film soll hier als eine Abfolge von Bildern verstanden werden, in diesem Sinne ist beispielsweise auch eine Animation ein Film.

⁴⁸ Lowe (1998)

⁴⁹ Schnotz (2003)

⁵⁰ Die Probanden sahen die Veränderung atmosphärischer Systeme (Wetterkarten).

⁵¹ Lowe (1998), S. 126

⁵² vgl. 1.2.1

⁵³ Salomon (1994)

wichtig sind, zu identifizieren. Weidenmann⁵⁴ spricht in diesem Zusammenhang vom Fehlen eines „indikatorischen Bildverstehens“, wodurch der Lerner die pädagogische Absicht in einer Visualisierung nicht erkennen kann.

1.4.3 Lernen in multicodierten Lernumgebungen

Bereits 1991 warnte Rieber vor einer zu großen Erwartungshaltung gegenüber den „Neuen Medien“. Auch wenn es damals noch keine allgemein akzeptierten Kriterien für die Gestaltung von Lernoberflächen gab, und es genügte, dass die Oberfläche „apparently well-designed“⁵⁵ war, so zeigen doch auch neueste Untersuchungen, in denen mit Programmen gearbeitet wird, die beispielsweise den Anforderungen von Mayer oder Chandler und Sweller genügen, wider Erwarten keine besseren Lernergebnisse von Schülerinnen und Schülern⁵⁶. Hierfür scheinen die hohen Ansprüche an Lerner und Lernumgebung sowie die Interaktion des Lerners mit der Umgebung verantwortlich zu sein⁵⁷.

Anforderungen an den Lerner. Schülerinnen und Schüler, die mit multicodierten Animationen lernen, müssen diverse Verarbeitungsanforderungen erfüllen.

Zunächst müssen sie ein grundlegendes Verständnis dafür besitzen, wie Information in den verschiedenen Repräsentationsformen verschlüsselt ist. So haben beispielsweise Diagramme und insbesondere Liniendiagramme einen weit größeren Informationsgehalt als die Summe ihrer Zeichen und Linien. Ihre Codierung beziehungsweise Decodierung wird deshalb und wegen der fehlenden perzeptuellen Ähnlichkeit mit den repräsentierten Gegenständen beziehungsweise Aussagen deutlich erschwert⁵⁸.

Erst mit dem Codierungswissen über die verwendeten Repräsentationen haben die Schülerinnen und Schüler dann überhaupt die Chance, die verschlüsselten Informationen in der Lernumgebung zu entdecken und Relevantes von Unrelevantem zu trennen. Diese Selektion kann zusätzlich erschwert werden, wenn andere, inhaltlich weniger wichtige Informationen die Aufmerksamkeit des Schülers auf sich lenken, beispielsweise aufgrund von Bewegung oder hervorstechender Veränderung. Im Prinzip müsste beim Lerner bereits ein ausgeprägtes (Vor)Wissen vorhanden sein, um zwischen relevanter Information und nebensächlicher oder gar unwichtiger Information unterscheiden zu können⁵⁹. Das führt aber dazu, dass gerade Lernende mit geringem Vorwissen größere Probleme beim Lernen in dynamischen Lernumgebungen haben, weil sie die wichtigen Inhalte nicht extrahieren können⁶⁰.

Nach der Selektion von Wesentlichem müssen die Schülerinnen und Schüler bei der gleichzeitigen Darbietung von verschiedenen Repräsentationen die gefundenen Informationen zueinander in Beziehung setzen. Hierzu meint Ainsworth, dass die Übersetzung zwischen den verschiedenen Repräsentationsformen ein Prozess ist, der mehr als bidirektional abläuft⁶¹ und daher manchmal zu viel von Novizen verlangt. Das bedeutet, dass Schülerinnen und Schüler selbst bei gutem Verständnis der Codierungen einzelner Repräsentationsformen nicht unbedingt auch ein gutes Verständnis über die Beziehungen der Repräsentationen untereinander besitzen und dann scheitern, wenn Informationen in mehr als nur einer Repräsentation enthalten sind.

Insgesamt hat dies zur Folge, dass Lernende, die mit multicodierten Programmen arbeiten, zusätzlich zum fachlichen Problem die genannten drei Schwierigkeiten (Wissen über die Repräsentation, Informationsselektion und Beziehungsherstellung) meistern müssen. Verständlicherweise wird hierdurch viel kognitive Kapazität gebunden.

⁵⁴ Weidenmann (1994)

⁵⁵ Rieber (1991), S. 5

⁵⁶ Chandler (2004); Goldman (2003); Lowe (2001); Yeo (2004)

⁵⁷ Bodemer (2004)

⁵⁸ Schnotz (1999)

⁵⁹ Renkl (2002): „Wissens-Paradox“

⁶⁰ Park (1993)

⁶¹ Ainsworth (1999)

Gestaltung der Lernumgebung. Eine gut aufbereitete, einfache Lernumgebung verringert die extrinsische Belastung und entlastet auf diese Weise das Arbeitsgedächtnis. Eine Möglichkeit könnte etwa sein, die für den Lernerfolg relevante Information besonders hervorzuheben, um dem Schüler die Informationsentnahme dadurch zu erleichtern.

Doch erscheint dies nicht immer sinnvoll. So zeigte Lowe in einer Studie 1998 auf, dass gerade dadurch sogar unerwünschte Effekte auftreten können. Die Schüler entwickelten Fehlkonzepte, obwohl die Animation den zu erlernenden Vorgang dynamisch und nach Expertenmeinung auch gut veranschaulichen konnte. Lowe⁶² erklärte sich das so, dass Testpersonen mit geringem Vorwissen ihre Aufmerksamkeit meist ausschließlich auf die für die Wahrnehmung hervorstechenden Bilder und Veränderungen richten und diese nur beschreiben. Dagegen verwenden sie kaum erklärende Aussagen für die zu beobachteten Vorgänge und daher erfassen sie Ursache-Wirkungsgefüge nur unzureichend. Deshalb scheitern die Schülerinnen und Schüler häufig beim Aufbau adäquater mentaler Modelle, da sie thematisch aufeinander bezogene Inhalte nur ungenügend miteinander verknüpfen.

Lewalter⁶³ führte mit der „facilitating function“ einen weiteren Grund an, warum Animationen trotz oder gerade wegen ihrer guten Aufbereitung nicht zu einem größeren Lerngewinn führen als beispielsweise statische Bilder. Die von Lewalter erhobenen Daten „legen die Vermutung nahe, dass die in der Animation dargestellten Bewegungsabläufe von den Lernenden als so leichtverständlich wahrgenommen wurden, dass der Eindruck entstand, den Sachverhalt vollständig verstanden zu haben.“ Dies äußerte sich darin, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Arbeit mit komplexen Animationen signifikant häufiger bestätigende Aussagen über ihr Verständnis der Lerninhalte machten. Im Gegensatz dazu mussten die Schüler, die mit statischen Bildern lernten, häufiger ihren Lernprozess steuern und planen („handlungsleitende Kontrolle“), was letztlich den Nachteil der Unbeweglichkeit von Bildern auszugleichen schien. Lewalter spricht in diesem Zusammenhang von einem „geringen Anregungsgehalt“ von Animationen, effektive Lernstrategien einzusetzen und „oberflächlichem Lernen“⁶⁴.

Interaktivität: Wechselspiel von Lerner und Lernumgebung. Um dem Problem des oberflächlichen Lernens entgegen zu treten, schlägt eine australische Studie⁶⁵ vor, sogenannte „reflective points“ in interaktiven Simulationsprogrammen einzuplanen, an denen der Lerner die Möglichkeit erhält, über sein bis dahin erarbeitetes Konzept nachzudenken. Damit kann rechtzeitig falschen Vorstellungen entgegen gewirkt werden, nämlich dadurch, dass der Lerner im Programm erst dann weiter arbeiten kann, wenn eventuell vorhandene Fehlkonzepte erkannt und ausgeräumt sind. Natürlich muss dazu die Lernumgebung so aufgebaut sein, dass sie dem Niveau des Lerners entspricht und dessen Präkonzepte aufgreift. Das bedeutet bereits eine große Herausforderung an ein Lernprogramm.

Zusätzlich muss ein gutes Programm die unterschiedlichen Lernerpersönlichkeiten berücksichtigen, denn der einzelne Schüler nimmt mit seiner eigenen Lernergeschichte großen Einfluss auf ein erfolgreiches Arbeiten mit einer interaktiven Repräsentation: Hat der Lerner nämlich ein gutes Vorwissen, so lenkt er seine Aufmerksamkeit geschickter und nimmt durch die bewusste Entscheidung, welche Veränderung im Programm vorgenommen werden soll, und durch das kritische Verarbeiten der Auswirkungen dieser Veränderung wesentlichen Einfluss auf das Lernergebnis. Daher meint Yeo, dass Schüler erst lernen müssen, wie mit einem solchen instruierenden Werkzeug zu arbeiten ist – ähnlich wie er lernen muss, mit einem Buch umzugehen. Eine Hilfestellung für das Vorgehen mag dabei sein, von recht einfachen Fragestellungen auszugehen, um bei der Erweiterung der Fragen die bereits genutzten Repräsentationen und erstellten Modelle wieder aufzugreifen oder entsprechend auszuweiten.

Daneben muss der Anwender der interaktiven Programme über die eingesetzte Interaktionsmöglichkeit informiert sein und ihre Handhabung beherrschen. Der Umfang der Einflussnahme auf das Programm hängt dabei in erster Linie von den Lernzielen ab:

⁶² Lowe (1998)

⁶³ Lewalter (2003)

⁶⁴ Lewalter (1997)

⁶⁵ Yeo (2004)

Einerseits sollten die Interaktionsmöglichkeiten in Umfang und Bedienung so einfach gestaltet sein, dass auch Schülerinnen und Schüler mit sehr geringen Kenntnissen über Interaktionen produktiv arbeiten können. Andererseits sollten durch Interaktionen echte Veränderungen beispielsweise von modellierten Versuchsabläufen möglich sein, wodurch die Fülle an Möglichkeiten zunimmt und damit allerdings die Informationsselektion und Beziehungsherstellung deutlich erschwert werden kann. Daneben sollte es durch Interaktion auch möglich sein, verschiedene Repräsentationsformen auszuwählen, wodurch Zusammenhänge zwischen den Repräsentationen bewusst gemacht werden können. Zu beachten ist aber, dass, abhängig vom Kenntnisstand des Nutzers, die extrinsische Belastung⁶⁶ durch die Interaktionsmöglichkeiten enorm anwächst.

1.4.4 Ausblick

Meist belassen multicodierte Lernumgebungen den Lernenden in einer vorwiegend rezeptiven und nachvollziehenden Rolle. Dementsprechend analysieren bekannte Untersuchungen häufig nur, wie der Einzelne mit einer vorgelegten multicodierten Lernumgebung lernt, ohne den Grad der Auseinandersetzung mit dem Medium tatsächlich zu erfassen. Gelegentlich werden zusätzlich nur die (passiven) Lernprozesse untersucht.

Es stellt sich aber auch die Frage, ob nicht größere Lernerfolge erzielt werden könnten, wenn die Lernenden durch geeignete Lernmethoden darin unterstützt würden, eine aktive und konstruierende Rolle im Umgang mit der Lernumgebung einzunehmen⁶⁷.

Die Untersuchung, die in Abschnitt 2 vorgestellt wird, zielt in diese Richtung. Die Lernenden sollen zu einer aktiven Integration unterschiedlich codierter Informationen angeregt werden mit dem Ziel, den Lernfortschritt zu vergrößern.

⁶⁶ vgl. 1.2.1

⁶⁷ Seufert (2003)

2 Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen am Beispiel des Mechaniklernens

2.1	Sachanalyse zur Mechanik in der Oberstufe	17
2.1.1	Kinematik.....	17
2.1.2	Dynamik	18
2.1.3	Ansätze für alternative Zugänge.....	20
2.2	Lernschwierigkeiten in der Mechanik	20
2.2.1	Vektoren	21
2.2.2	Liniendiagramme.....	22
2.2.3	Kinematik.....	23
2.2.4	Dynamik	24
2.3	Dynamisch-ikonische Repräsentationen.....	24
2.3.1	Dynamisch-ikonische Repräsentation - Eine Hilfsvisualisierung.....	25
2.3.2	Vorteile dynamisch-ikonischer Repräsentationen	26
2.3.3	Ein Beispiel für dynamisch-ikonische Repräsentationen	27
2.3.4	Bisherige Erfahrungen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen....	28
2.4	Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen	29
2.4.1	Idee und Hypothesen.....	29
2.4.2	Untersuchungsmethode	30
2.4.3	Ergebnisse	32
2.4.4	Diskussion.....	34
2.5	Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors	36
2.5.1	Ideen und Hypothesen.....	36
2.5.2	Untersuchungsmethode	37
2.5.3	Auswertung und Ergebnisse.....	39
2.5.4	Diskussion.....	44

In etlichen Unterrichtskonzeptionen wird der Einsatz von dynamisch-ikonischen Repräsentationen angeregt, da diese zum Teil Vorteile gegenüber konventionellen Medien haben⁶⁸ und mittlerweile aufgrund leistungsfähiger Rechner auch im regulären Unterricht ohne größeren Aufwand verwendet werden können. Bei der Erstellung der Konzeptionen geht man im Allgemeinen von einer grundsätzlich positiven Lernwirksamkeit der DIR aus. In der Evaluation der Unterrichtsvorschläge stellt man sich anschließend kaum die Frage, auf welchen Umstand die Lernfortschritte zurückzuführen waren – auf die neue Unterrichtskonzeption oder die dynamisch-ikonischen Repräsentationen. Man würde wahrscheinlich eine Kombination beider Parameter annehmen.

Doch belegen viele kognitionspsychologische Studien, dass Schülerinnen und Schüler mit multimedialen Repräsentationen nicht unbedingt besser lernen als ohne sie⁶⁹. Die Aussage von Starauschek weist auf eine weitere Schwierigkeit hin: „Aus fachdidaktischer Perspektive stellt sich [...] die Frage, ob die Bedingungen, unter denen die kognitionspsychologischen Erkenntnisse gewonnen wurden, auch für die Lernprozesse beim Erwerb von typischem naturwissenschaftlichem Wissen gültig sind.“⁷⁰

In den hier vorgelegten Laborstudien sollte nun untersucht werden, inwieweit Schülerinnen und Schüler mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen besser lernen als andere Schülerinnen und Schüler, die zwar nach dem gleichen Konzept, aber ohne die Verwendung von dynamisch-ikonischen Repräsentationen lernen. In Anlehnung an frühere Studien sollte das Sachgebiet hierbei Inhalte aus der Mechanik umfassen.

Einer Sachanalyse der untersuchten Inhalte schließt sich ein Kapitel über typische Lernschwierigkeiten in der Mechanik an. Die eingesetzten dynamisch-ikonischen Repräsentationen werden im Abschnitt 2.3 genauer vorgestellt, bevor in 2.4 und 2.5 die Anlage und Durchführung von zwei Untersuchungen nebst ihren Ergebnissen erläutert werden.

⁶⁸ vgl. 2.3.2

⁶⁹ vgl. 1.4

⁷⁰ Starauschek (2003)

2.1 Sachanalyse zur Mechanik in der Oberstufe

Die vorliegende Untersuchung orientiert sich am bayerischen G9-Lehrplan⁷¹ der elften Jahrgangsstufe und umfasst die Inhalte aus der Kinematik und Dynamik. Im Folgenden werden die zugrunde liegenden inhaltlichen Schwerpunkte in einem groben Abriss zusammengestellt. Dieser Abschnitt kann bei entsprechenden Kenntnissen ohne weiteres übersprungen werden.

2.1.1 Kinematik

In der Kinematik werden zeitliche Bewegungsabläufe mittels der Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung beschrieben, ohne nach der Ursache der Bewegungen und ihrer Veränderungen zu fragen.

Ort, Geschwindigkeit. Mathematisch ist die Geschwindigkeitsfunktion die erste Ableitung der Ortsfunktion, also der Differentialquotient

$$\vec{v} = \dot{\vec{x}} = \frac{d\vec{x}}{dt} .$$

Etwas anschaulicher kann die Geschwindigkeit über den Differenzenquotient definiert werden, der die mittlere Geschwindigkeit \vec{v} innerhalb eines Zeitintervalls Δt bestimmt:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

$\Delta \vec{x}$ steht dabei für den innerhalb des Zeitintervalls zurückgelegten Weg. Die „Momentangeschwindigkeit“ kann dann allerdings nur näherungsweise bestimmt werden, nämlich für ein je nach Fragestellung genügend kleines Δt .

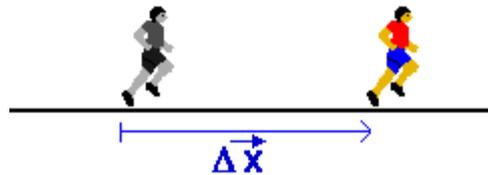


Abbildung 6: Ein Läufer ist schneller als ein anderer Läufer, wenn er im gleichen Zeitintervall Δt eine größere Wegstrecke Δx zurücklegt. Es lässt sich allerdings nicht angeben, ob der Läufer die gesamte Zeitdauer Δt mit gleich bleibender Geschwindigkeit gelaufen ist oder beispielsweise langsam gestartet und dann immer schneller geworden ist.

Beschleunigung. Beschleunigung wird in vielen Lehrbüchern⁷² meist als eine weitere einfache kinematische Größe eingeführt, nämlich als Geschwindigkeitsänderung Δv innerhalb eines Zeitintervall Δt ,

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} .$$

Für den Schüler ist die Beschleunigung aber eher unanschaulich, da sie vorrangig nur über die Trägheit (als „gefühlte Kraft“) indirekt wahrgenommen werden kann. Insbesondere über kurze Zeitintervalle hinweg lässt sich Beschleunigung nicht oder nur mäßig gut beobachten. Der Grund ist, dass für eine Beobachtung der Änderung der Geschwindigkeit mindestens drei Ortsmessungen miteinander kombiniert werden müssen (vgl. Abbildung 7), wir aber gedanklich in aller Regel immer nur zwei Orte miteinander vergleichen.

⁷¹ Zum momentanen Zeitpunkt ist der G9-Lehrplan für die Oberstufe gültig. Ab dem Schuljahr 2009/10 wird in Jahrgangsstufe 11 der G9-Lehrplan durch den neuen G8-Lehrplan abgelöst.

⁷² z.B. Hammer (1989), Bayer (1998)

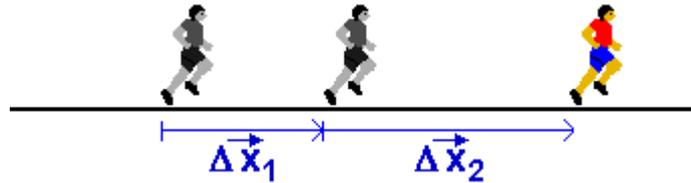


Abbildung 7: Anhand der Abbildung kann man (unter der Annahme konstanter Zeitintervalle) erkennen, dass der Läufer schneller geworden ist: Im ersten Zeitintervall hat er weniger Weg zurückgelegt als im zweiten Zeitintervall, also war seine Geschwindigkeit im ersten Zeitintervall kleiner als im zweiten.

In der Mathematik entspricht dies der 2. Ableitung der Ortsfunktion, die über den „Umweg“ der 1. Ableitung (Geschwindigkeitsfunktion) gebildet werden muss:

$$\vec{a} = \ddot{\vec{x}} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2}$$

Für den Differenzenquotienten der (Momentan-)Beschleunigung benötigt man zwei Geschwindigkeiten, und für die zwei Differenzenquotienten der Geschwindigkeit dann mindestens drei Ortsmessungen.

Die Beziehungen sind vektoriell angegeben, also insbesondere im Dreidimensionalen gültig bzw. genau genommen hier sogar nur vektoriell richtig. Die drei Raumrichtungen einer Bewegung können zwar prinzipiell auch entkoppelt voneinander betrachtet werden, so dass man drei Funktionen (für jede Raumrichtung je eine Funktion) des Ortes, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung erhält. Ändert sich die Krafrichtung allerdings während des Ablaufs (wie beispielsweise bei der Kreisbewegung), dann ist eine separate Behandlung einzelner Raumrichtungen nicht mehr sinnvoll. Denn eine Veränderung in x-Richtung hätte dann auch Auswirkungen auf die y- bzw. z-Komponenten der bewegungsbeschreibenden Größen. Daher sollten Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung einer Bewegung immer vektoriell angegeben werden.

2.1.2 Dynamik

In der Dynamik wird nach der Ursache von Bewegungen bzw. ihrer Veränderungen gefragt. Der Dynamikunterricht der elften Jahrgangsstufe wird von den drei Newtonschen Leitideen bestimmt: Trägheitssatz, Bewegungsgleichung und Wechselwirkungsgesetz.

Der Trägheitssatz besagt, dass ein Körper ohne äußere Einwirkung in seinem Bewegungszustand verharrt. Verharren hat dabei nicht die Bedeutung von Ruhe oder zur Ruhe kommen. Vielmehr bedeutet es, dass ein Körper seine Geschwindigkeit in Betrag und Richtung beibehält, solange ihn keine Einwirkung eines anderen Körpers daran hindert. Da auf der Erde zumindest immer Reibung auf sich bewegende Körper wirkt, können wir im Alltag keine „einwirkungsfreie“ Bewegung beobachten. Aufgrund dieser Tatsache hat sich bei vielen Schülerinnen und Schülern eine falsche (aristotelische) Alltagsvorstellung ausgebildet, nämlich dass jeder Körper das Bestreben hat, in einen Ruhezustand zu gelangen und nur mit Hilfe einer äußeren Einwirkung eine bestimmte Geschwindigkeit halten kann. Hier schreibt man also fälschlicherweise einem Körper immanent die Eigenschaft zu, seinen Bewegungszustand ändern zu „wollen“, wohingegen aber die physikalische Gesetzmäßigkeit lautet, dass die Änderung des Bewegungszustands nur durch eine Einwirkung von außen hervorgerufen wird.

Die Bewegungsänderung, sprich Geschwindigkeitsänderung, fällt dabei umso größer aus, je länger und je stärker eingewirkt wird. Dies ist im zweiten Gesetz von Newton (Newtonsche Bewegungsgleichung) festgehalten, von dem es verschiedene Formulierungen gibt. Im Original lautet es: „Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam, qua vis illa imprimitur.“⁷³ In Schulbüchern findet man:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}^{74} \text{ oder } \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}^{75}, \quad \Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t^{76} \text{ oder } \vec{F} = \frac{d}{dt}(m \cdot \vec{v})^{77},$$

wobei hier bereits jeweils die Masse des Probekörpers berücksichtigt wurde, auf den eingewirkt wird. Die Einwirkung \vec{F} , die ein zweiter Körper auf den zu untersuchenden Probekörper (im Idealfall: Massepunkt) ausübt, erhält den Namen „Kraft“.

Wichtig bei der Beschreibung des Zusammenhangs von Kraft und Bewegungsänderung ist, dass man zunächst alle Kräfte bestimmt, die auf den Probekörper einwirken, und ihre vektorielle Summe F_{Ges} bildet (vgl. Abbildung 8). Mit Hilfe der Newtonschen Bewegungsgleichung kann dann der Einfluss der Kraft auf den Bewegungsfortgang z.B. mit Hilfe der Beschleunigung \vec{a} beschrieben werden.

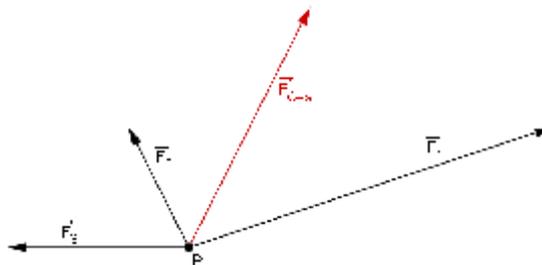


Abbildung 8: Die vektorielle Summe der am Probekörper P angreifenden Kräfte F_1 , F_2 , F_3 ergibt die resultierende Gesamtkraft F_{Ges} .

Das Wechselwirkungsprinzip schließlich macht folgende Aussage: Jeder Kraft, die ein Körper auf einen anderen ausübt, steht eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft gegenüber, mit der der andere Körper auf den ersteren zurück wirkt.

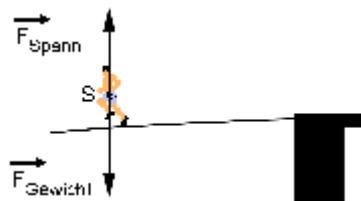


Abbildung 9: Die Gewichtskraft eines Springers mit Schwerpunkt S biegt das Sprungbrett so weit durch, bis sich eine Spannkraft aufgebaut hat, die mit der Gewichtskraft im Gleichgewicht steht.

⁷³ Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und erfolgt nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.

⁷⁴ Bader (1998)

⁷⁵ Ruprecht (1977)

⁷⁶ Hermann (1995)

⁷⁷ Hammer, K. (1989)

2.1.3 Ansätze für alternative Zugänge

Das unterrichtliche Vorgehen bei der Erarbeitung der Inhalte zur Mechanik orientiert sich meist an dem zuvor beschriebenen Weg, zuerst die Grundlagen aus der Kinematik zu behandeln und anschließend den Einfluss von Kräften auf eine Bewegung zu untersuchen. Neben diesem konventionellen Vorgehen bieten sich alternative Zugänge an:

Zweidimensionalität. Wilhelm untersucht in seiner Dissertation⁷⁸, aufbauend auf Vorarbeiten von Reusch⁷⁹, einen alternativen, lehrplankonformen Zugang zur Mechanik der elften Jahrgangsstufe: Die Konzeption verbindet aktuelle Erkenntnisse der didaktischen Forschung zum Mechaniklernen und zu Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler im entsprechenden Unterricht mit den technischen Möglichkeiten moderner Medien, um beispielsweise physikalische Größen mittels dynamisch-ikonischer Repräsentationen darzustellen. Die Idee ist –unabhängig von eventuell eingesetzter Modellbildung–, den Mechanikunterricht mit zweidimensionalen Bewegungen zu beginnen und erst später die eindimensionale Bewegung als Spezialfall zu betrachten.

Kraft. Im Kapitel 3 wird ein Vorschlag für einen Einstieg über Kräfte am Beispiel der siebten Jahrgangsstufe des neuen G8 gemacht. Dadurch wird der klassische Kurs quasi umgekehrt, der mit der Kinematik beginnt und anschließend (separat) die Dynamik behandelt. Hier wird nun erst ein (dynamischer) Kraftbegriff erarbeitet und ausgehend davon werden die Auswirkungen der Kräfte auf eine Bewegung untersucht.

Impuls. Der Karlsruher Physikkurs stellt den Impulsbegriff an den Anfang der Mechanik. Auch im weiteren Verlauf des Lehrgangs bleibt der Impuls die bestimmende Größe. Kraft ist hier definiert als die Impulsänderung innerhalb eines Zeitintervalls. Die Kinematik ist als Teilgebiet der Mechanik nicht extra aufgeführt, man beschränkt sich auf eine einfache Verwendung des Geschwindigkeits- und Zeitbegriffs.

Leisen⁸⁰ nennt weitere Möglichkeiten, den Mechanikunterricht zu beginnen, wie etwa den von Backhaus und Frenzel vorgeschlagenen Weg, mit dem Energiebegriff einzusteigen.

2.2 Lernschwierigkeiten in der Mechanik

Es ist ein bekanntes Phänomen, dass Lernschwierigkeiten gerade im Physikunterricht auftreten. Ein Grund dafür ist, dass viele Unterrichtssituationen eher traditionell gestaltet sind und ihren Schwerpunkt stärker auf die Vermittlung eines quantitativen Formalismus als auf qualitative Zusammenhänge legen. Dieser Umstand führt dazu, dass das Wissen der Schüler zumeist oberflächlich bleibt und nicht auf neue Situationen angewendet werden kann. In der Mechanik erschweren zudem langjährige eigene, sich scheinbar ständig bestätigende Beobachtungen aus dem Alltag eine Veränderung gewohnter Konzepte⁸¹. Die „Alltagskonzepte“ entspringen dabei häufig einer aristotelischen Sichtweise, die zwar für Bewegungen mit Reibung vermeintlich gültig erscheint, aber nicht alle Bewegungen widerspruchsfrei erklären kann. Das im Unterricht angestrebte Newtonsche Konzept wird von den Schülerinnen und Schülern nur selten übernommen. Die TIMS-Studie bestätigt, dass sich die deutschen Schülerinnen und Schüler im Ländervergleich allgemein besonders schwer mit Aufgaben tun, die die Überwindung typischer Fehlvorstellungen verlangen⁸².

Im Folgenden werden einige bekannte Lernschwierigkeiten beschrieben. Da in der Untersuchung möglichst ausschließlich der Einfluss der dynamisch-ikonischen Repräsentationen auf das (Mechanik)Verständnis bestimmt werden soll, werden hier bewusst keine Versuche unternommen, bekannten Lernschwierigkeiten mit einer neuen Unterrichtskonzeption entgegen zu treten.

⁷⁸ Wilhelm (2005)

⁷⁹ Reusch (1997, 2000)

⁸⁰ Leisen (2004)

⁸¹ Baumert (1997), S. 61

⁸² Baumert (2001), S. 34

2.2.1 Vektoren

Der Vektorbegriff ist den Schülerinnen und Schülern der Oberstufe geläufig als ein Pfeil, der an einem bestimmten Punkt beginnt, in eine ausgezeichnete Richtung weist und eine feste Länge besitzt.

Schwierigkeiten haben sie dann, wenn Vektoren zueinander in Beziehung gesetzt werden sollen, beispielsweise bei der anschaulichen Herleitung von Geschwindigkeitsänderungen. Dieses Konzept verlangt die Bildung von Differenzvektoren.

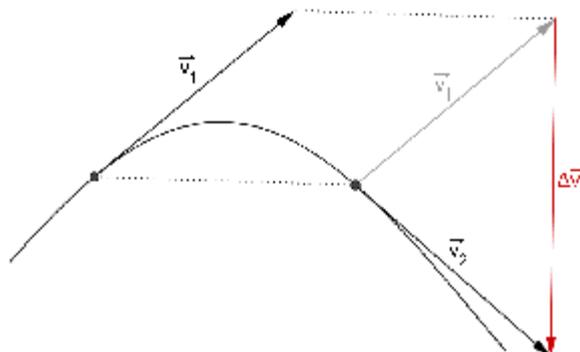


Abbildung 10: Die (mittlere) Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ innerhalb eines Zeitintervalls ergibt sich als Differenz aus den beiden Geschwindigkeitsvektoren \vec{v}_2 (Geschwindigkeit am Ende des Zeitintervalls) und \vec{v}_1 (Geschwindigkeit zu Beginn des Zeitintervalls). Zur Differenzbildung muss ein Geschwindigkeitspfeil, in unserem Fall der von \vec{v}_1 , verschoben werden.

Die Problematik liegt zum einen darin begründet, dass man in der Mathematik zunächst unterscheiden muss zwischen dem Vektor als Pfeilkategorie und dem Repräsentanten eines Vektors, also einem einzelnen Beispielvektor der Pfeilkategorie mit einem festen Angriffspunkt⁸³. Im Unterricht wird dabei der Vektor meist als Einzelpfeil und nicht als Pfeilkategorie aufgefasst, wodurch Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten damit haben, den Repräsentanten eines Vektors einfach zu verschieben, um die Subtraktion zweier Vektoren anschaulich demonstrieren zu können. Das nächste Problem ergibt sich gleich im Anschluss. Wenn man die Vektoren so einfach verschieben kann, wo liegt dann der richtige Anfangspunkt des konstruierten Differenzvektors? Zur Beantwortung dieser Frage müsste der Schüler das zugrunde liegende Konzept bereits genau verstanden haben. Die Gefahr ist nun, dass schwächere Schüler daher die Vektorsubtraktion nur formal lernen, ohne die einzelnen Schritte mit Einsicht auszuführen. Jung⁸⁴ versuchte folgenden Ausweg: Die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ sollte durch die Geschwindigkeit eines gedachten zweiten Bezugssystems interpretiert werden. Durch die Überlagerung von alter Geschwindigkeit \vec{v}_1 und Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ ergibt sich dann die resultierende Geschwindigkeit \vec{v}_2 (vgl. Abbildung 10). Offensichtlich konnten die Schülerinnen und Schüler aber diese Hilfestellung nicht permanent bei der Arbeit mit Vektoren, insbesondere bei der Bildung von Differenzvektoren Sinn gebend nutzen⁸⁵.

Das obige Beispiel mag nahelegen, dass das Problem der Konstruktion des Differenzvektors in erster Linie bei zweidimensionalen Bewegungen zu beobachten ist. Dennoch spielt es auch bei eindimensionalen Bewegungen eine Rolle, insbesondere dann, wenn sich die Richtung der Bewegung ändert, wie nachfolgendes Beispiel aufzeigt:

⁸³ Malle (2005)

⁸⁴ Jung (1977)

⁸⁵ Jung (1977)

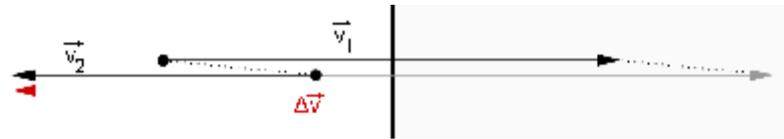


Abbildung 11: Eine Kugel (schwarzer Punkt) rollt mit $\vec{v}_1 = 6 \text{ m/s}$ auf eine Bande (schwarze senkrechte Linie) und prallt von dieser mit der Geschwindigkeit $v_2 = 4 \text{ m/s}$ ab. Ohne die Zuhilfenahme der Pfeile erwartet man eine Geschwindigkeitsänderung von 2 m/s . Die Pfeile verdeutlichen aber, dass die Änderung 10 m/s beträgt. (Zur besseren Übersicht sind die Pfeile leicht versetzt gezeichnet, bei einem geraden Aufprall auf die Wand würden die Pfeile sonst alle übereinander liegen.)

Zum Verstehen dieser Abbildung benötigt man ohne Zweifel ein gutes Verständnis darüber, wie die Pfeile untereinander zusammenhängen. Wenn man allerdings diese Zusammenhänge bereits kennt, ist die Abbildung eine hilfreiche Veranschaulichung.

2.2.2 Liniendiagramme

Da im Unterricht anfänglich nur eindimensionale Bewegungen betrachtet werden und man sich meist auf die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit oder mit konstanter Beschleunigung konzentriert, wird die Kinematik gerne auf einige wenige bewegungsbeschreibende Formeln reduziert⁸⁶:

$$v = v_0 + at$$

$$x = v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

$$2ax = v^2 - v_0^2$$

Dieser Formalismus begünstigt eine Aufgabenkultur, bei der die Schülerinnen und Schüler gegebene Werte in eine zuvor ausgewählte Formel einsetzen und eine gesuchte Größe berechnen – ohne allerdings ein Verständnis der zugrunde liegenden Bewegung zu erlangen⁸⁷.

Eine Bewegung kann aber auch durch Liniendiagramme beschrieben werden. Ein Diagramm zeigt die zeitliche Veränderung einer bewegungsbeschreibenden Größe (Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung) auf, wodurch quasi die „Geschichte einer Bewegung“ erzählt wird.

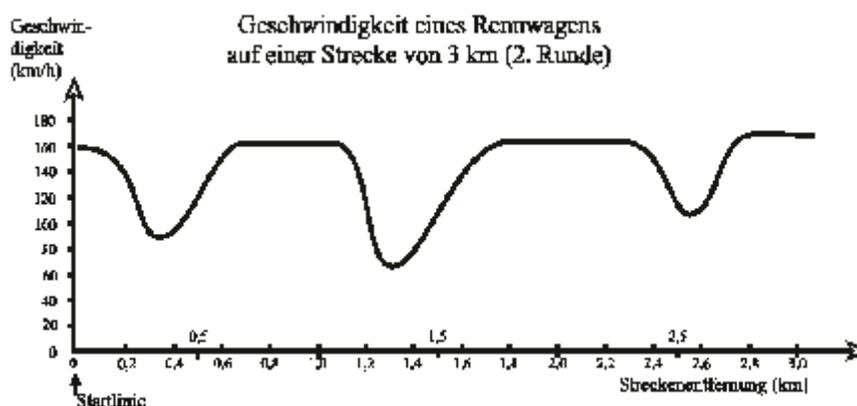


Abbildung 12: Das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm erzählt die „Geschichte einer Bewegung“, in diesem Fall wird die Geschwindigkeit eines Rennwagens während einer Rennrunde dargestellt.⁸⁸

⁸⁶ entnommen: Hammer, H. (1994)

⁸⁷ Schecker (2001b)

⁸⁸ Diagramm zur (freigegebenen) PISA-Aufgabe „Geschwindigkeit eines Rennwagens“

Diagramme verbildlichen formal-abstrakte Zusammenhänge und erreichen daher bei manchen Schülern ein besseres Verständnis einer Bewegung als eine rein formale Beschreibung mit Hilfe von funktionalen Zusammenhängen. Zudem können bewegungsbeschreibende Größen mit Hilfe von Liniendiagrammen auch zueinander in Beziehung gesetzt werden. Dadurch kann ein Verständnis von den Zusammenhängen der Größen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung bei den Schülerinnen und Schülern auf eine andere Weise bewirkt werden, als es ein reiner Rechenformalismus leisten kann. Im Unterricht scheinen dabei für den Aufbau von Konzepten in der Mechanik Veranschaulichungen durch Diagramme besser geeignet zu sein als der formale Zugang über Gleichungen⁸⁹. Auch Lehrer schätzen eine Verlagerung des (zeitlichen und inhaltlichen) Schwerpunkts weg vom Rechnen mit Gleichungen hin zur Interpretation von Diagrammen als positiv ein⁹⁰.

Trotz der positiven Einschätzung verstehen Schülerinnen und Schüler Liniendiagramme meist nicht so gut, wie man erwarten könnte bzw. wie es für einen größeren Lerngewinn erforderlich wäre⁹¹. Die Schwierigkeiten beziehen sich dabei sowohl auf die Konstruktion von Liniendiagrammen als auch auf ihre Interpretation. Selbst Schülerinnen und Schüler, die in der Mathematik ein gutes Graphenverständnis zeigen, sind häufig nicht in der Lage, ihr Wissen in der Physik vorteilhaft anzuwenden⁹². Anscheinend können viele Schülerinnen und Schüler keine mentale Verbindung zwischen der beobachteten Größe und ihrer graphischen Repräsentation im Liniendiagramm herstellen. Häufig interpretieren sie dabei das Liniendiagramm als Pfad der Bewegung selbst, unabhängig von der veranschaulichten Größe⁹³. Kozhevnikov, Hegarty and Mayer⁹⁴ fanden heraus, dass dies insbesondere für Schülerinnen und Schüler zutrifft, die einerseits ein geringes abstrakt-logisches Denkvermögen⁹⁵ besitzen, aber andererseits vorzugsweise visuelle Information verarbeiten.

Um Lernschwierigkeiten im Umgang mit Liniendiagrammen entgegenzutreten zu können, werden in der vorliegenden Untersuchung dynamisch-ikonische Hilfsvisualisierungen eingesetzt. Eine Beschreibung findet sich unter Punkt 2.3.

2.2.3 Kinematik

Die Größen „Ort“ und „Geschwindigkeit“ sind aus dem Mathematik- und Physikunterricht der Unter- und Mittelstufe bekannt. Zu diesen Größen finden die Schülerinnen und Schüler leicht einen intuitiven Zugang über Phänomene des Alltags.

Allerdings besteht beim Geschwindigkeitsbegriff die Gefahr, dass „Tempo“ (Geschwindigkeitsbetrag) und (vektorielle) „Geschwindigkeit“ nicht klar unterschieden werden⁹⁶. Gerade aber bei der Einführung des Beschleunigungsbegriffs ist eine saubere Trennung von Geschwindigkeit und Tempo unerlässlich, denn ansonsten impliziert die folgende Aussage aus einem Lehrbuch „Bewegt sich ein Körper mit veränderlicher Geschwindigkeit, so sagt man, seine Bewegung sei beschleunigt“⁹⁷, dass die Kurvenfahrt (mit konstantem Tempo) keine beschleunigte Bewegung sei⁹⁸.

„Beschleunigung“ betrachtet der Schüler aufgrund des meist zugrunde liegenden Formalismus häufig als ein theoretisches Konstrukt. Die Auseinandersetzung mit dem Beschleunigungsbegriff scheint nicht intensiv genug. So belegt eine Untersuchung, dass etwa 40 Prozent der Schülerinnen und Schüler eine Frage zur Beschleunigung so beantworten, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt gewesen⁹⁹. Und selbst nach Versuchsdemon-

⁸⁹ Dittmann (1989)

⁹⁰ Wilhelm (2005), S. 152

⁹¹ Beichner (1994), Scanlon (1998)

⁹² Leinhardt (1990)

⁹³ McDermott (1987)

⁹⁴ Kozhevnikov (2002)

⁹⁵ vgl. 1.3.3

⁹⁶ Schecker (1985)

⁹⁷ Hammer, A. (1986), S. 16

⁹⁸ vgl. 3.2.1

⁹⁹ Wilhelm (2005), S. 182; Dykstra (1991)

strationen, die Fehlvorstellungen aufzeigen können, antworten Schülerinnen und Schüler beharrlich so, wie sie es aufgrund ihrer Alltagsvorstellung erwarten¹⁰⁰.

Ist die Information zusätzlich codiert, etwa in einem Zeit-Beschleunigungs-Diagramm, so wird dadurch die Informationsentnahme weiter erschwert¹⁰¹. Schülerinnen und Schülern gelingt es nunmehr selten, Beziehungen zwischen dem Bewegungsablauf und dem Diagramm herzustellen, und so richtiges konzeptuelles Verständnis anzuregen. Mit Hilfe von dynamisch-ikonischen Repräsentationen wird versucht, diese Beziehungen zu visualisieren. Näheres findet sich unter dem Gliederungspunkt 2.3.3.

2.2.4 Dynamik

Wodzinski¹⁰² merkt zu der Gewichtung der beiden Themengebiete Kinematik und Dynamik an: „Schüler interessieren sich weniger für kinematische als für dynamische Betrachtungen von Bewegungsverläufen. Sie fragen nach den Ursachen von Bewegungen und den auftretenden Kräften. Dass der übliche Lehrplan für Klasse 11 einen so ausgiebigen Kinematik-Teil vor der Dynamik vorsieht, erscheint aus dieser Sicht überdenkenswert.“

Der Meinung kann man sich anschließen, denn der Kraftbegriff ist sicherlich von zentraler Bedeutung für die Mechanik: „Körper, auf die keine äußere Kraft wirkt, verharren in ihrem Bewegungszustand: Körper sind träge.“¹⁰³ Wäre also die Mechanik ohne Kräfte nicht ein bisschen langweilig? Doch bereits in dieser augenscheinlich einfachen Formulierung des Trägheitssatzes liegt ein schwieriges Verständnisproblem: Die Gefahr ist groß, notwendige mit hinreichender Bedingung zu verwechseln; die Umkehrung des obigen Satzes ist nämlich im Allgemeinen falsch! Bewegt sich ein Probekörper mit gleich bleibender Geschwindigkeit, dann kann doch eine Kraft wirken – solange es eine entsprechende Gegenkraft gibt. Man denke an eine Fahrradfahrt mit konstanter Geschwindigkeit: Die Muskelkraft spürt man deutlich, aber die entsprechende Gegenkraft (aufgrund von Luftwiderstand und Reibung) vergessen Novizen gerne. Dementsprechend manifestiert sich im Alltag die Aristotelische Sichtweise (Geschwindigkeitsabhängigkeit von Kräften): Um eine hohe Geschwindigkeit zu erreichen, benötige ich eine große Kraft. Die Konsequenz hieraus ist, dass ein Körper ausrollt, wenn keine Kraft mehr auf ihn wirkt.

Neben dem Problem, wie sich Kräfte auswirken, haben Schülerinnen und Schüler zudem Schwierigkeiten mit dem Kraftbegriff an sich. Sie fragen sich: „Was ist Kraft?“. Die vielfältigen Schülervorstellungen fasst Schecker unter dem „Clusterbegriff Kraft“¹⁰⁴ zusammen: Kraft ist für Schülerinnen und Schüler ein sprachlicher Ausdruck für Energie, Kraft, Schwung oder Wucht. Wie unter Punkt 3.2.3 weiter ausgeführt, vermischen sich aufgrund der unklaren Begriffslage auch die verschiedenen Konzepte, die hinter den physikalischen Fachbegriffen stehen. Das formale Wissen aus dem Unterricht ist außerhalb des schulischen Kontextes wenig wirksam und gerät daher schnell wieder in Vergessenheit¹⁰⁵.

2.3 Dynamisch-ikonische Repräsentationen

Funktionale Abhängigkeiten zwischen physikalischen Größen, die aus (eventuell eigenen) Experimenten gewonnen wurden, werden typischerweise in Liniendiagrammen dargestellt, bevor sie formal expliziert werden. Nachteil dieser Diagramme ist jedoch, dass sie sehr abstrakt sind und von ihrem Kontext losgelöst dargestellt werden (vgl. 2.2.1). Deshalb kommt es häufig zu Verständnisproblemen bei den Lernenden¹⁰⁶.

Sogenannte dynamisch-ikonische Repräsentationen (DIR), welche zeitlich veränderliche physikalische Größen vor dem Hintergrund konkreter Versuchsabläufe visualisieren, liefern eine Möglichkeit der Hilfestellung. Natürlich erhofft man sich von dynamisch-ikonischen Repräsentationen aufgrund ihrer Vorteile einen großen Lernerfolg, doch können eben das die vorliegenden Untersuchungen nicht immer bestätigen.

¹⁰⁰ Duit (1992)

¹⁰¹ Wilhelm (2005), S. 17

¹⁰² Wodzinski (1996), S. 41

¹⁰³ Dorn (1998), S. 7

¹⁰⁴ Schecker (1985), S. 270

¹⁰⁵ Schecker (2001a), S. 88

¹⁰⁶ Berg (1994); Heuer (1997)

2.3.1 Dynamisch-ikonische Repräsentation - Eine Hilfsvisualisierung

Nach Blaschke und Heuer¹⁰⁷ sind dynamisch-ikonische Repräsentationen allgemein bildhafte Darstellungen von (physikalischen) Größen, die sich entsprechend der Größe dynamisch verändern. Eine Visualisierung mit Hilfe von dynamisch-ikonischen Repräsentationen kann ganz unterschiedlich gestaltet sein: Eine Säule, deren Höhe direkt proportional zur Lautstärke ist (vgl. Equalizer) oder ein Balken, dessen Dicke sich in Abhängigkeit der Stromstärke verändert, sind bekannte Beispiele. Vektoren stellen ebenfalls eine dynamisch-ikonische Repräsentation dar, die sich insbesondere für den Unterricht in der elften Jahrgangsstufe anbietet. Vektoren dienen hier der Darstellung von physikalischen Größen wie Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft. Die Richtung des Vektors stimmt mit der Richtung der (vektoriellen) Größe überein, die Länge des Vektors ist proportional zum Betrag der Größe.

Bereits vor der Verwendung eines Computers im Unterricht wurde der Versuch unternommen, einen Vorgang „dynamisch“ darzustellen. In Lehrbüchern wurden hierfür Bildsequenzen verwendet, die die Bewegung eines Körpers oder die zeitliche Veränderung einer Größe aufzeigen sollten. Natürlich sind diese Darstellungen nicht wirklich dynamisch, der Schüler muss sich eine Dynamik erst noch anhand der Unterschiede der einzelnen Abbilder erarbeiten.

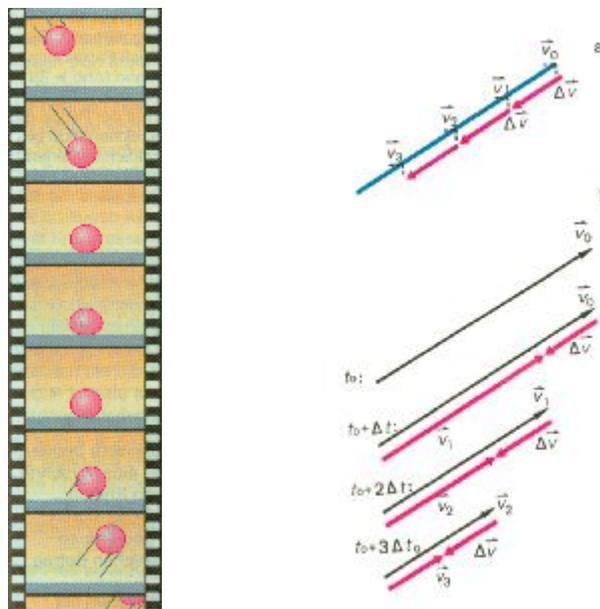


Abbildung 13: Zwei Beispiele von Abbildungen dynamischer Vorgänge.
Links: Die Bewegung eines Balles¹⁰⁸. Rechts: Veränderung eines
Geschwindigkeitsvektors jeweils im Zeitintervall Δt ¹⁰⁹.

Mit Hilfe des Computers gelingt es jetzt aber leicht, Repräsentationen einer physikalischen Größe dynamisch darzustellen. Dies kann beispielsweise in der Aufbereitung eines Versuchs geschehen, wenn dem Beobachter ein Messwert nicht nur als (sich verändernde) Zahl, sondern als (sich verändernder) Balken präsentiert wird¹¹⁰. Eine dynamisch-ikonische Repräsentation kann aber auch bei der Erarbeitung eines neuen Zusammenhangs eingesetzt werden. Hier sei die Software des Projekts „Mechanik und Verkehr“¹¹¹ genannt, mit deren Hilfe Autofahrern der Einfluss verschiedener Faktoren, wie etwa überhöhte Geschwindigkeit, auf den Ausgang eines Bremsmanövers aufgezeigt werden soll.

¹⁰⁷ Blaschke (1999)

¹⁰⁸ Entnommen: Hammer (1986), S. 152

¹⁰⁹ Entnommen: Bambey (1980), S. MD13

¹¹⁰ Schwarze (2003)

¹¹¹ Busse (2003)

Daneben finden sich dynamisch-ikonische Repräsentationen mittlerweile in vielen Lernmaterialien wieder¹¹².

2.3.2 Vorteile dynamisch-ikonischer Repräsentationen

Durch die Verwendung dynamisch-ikonischer Repräsentationen zur Veranschaulichung von Zusammenhängen erhofft man sich eine Reihe von Vorteilen für den Unterricht. Zunächst ist sicher ein allgemeiner motivationaler Aspekt beim Einsatz verschiedener Medien zu nennen, der einen nicht unerheblichen Beitrag für das Interesse und somit auch den Lernerfolg in einem Fach mitbestimmt.

Abgesehen davon besitzen dynamisch-ikonische Repräsentationen medienimmanent eine Reihe anerkannter Vorzüge. Ohne großen Aufwand lassen sich lebensweltnahe Versuchsabläufe aufnehmen und speichern, auf Notwendiges reduzieren, mit Hilfe von zusätzlichen (dynamischen) Visualisierungen aufbereiten und anschließend analysieren.

Wir können dabei die technische Ebene und die didaktisch-methodische Ebene unterscheiden.

Technische Ebene. Der Computer mit der entsprechenden Hard- und Software erlaubt es, Messdaten mit Hilfe geeigneter Sensoren (z.B. Laufrad, Sonarmeter, Spannungsmessgerät) aufzunehmen, graphisch zu animieren und in ihrer zeitlichen Entwicklung zu veranschaulichen. Ähnlich wie ein Videofilm kann der einmal aufgenommene Versuchsablauf nun immer wieder angesehen, an interessanten Stellen angehalten oder aber zurückgespult und abschnittsweise (Bild für Bild) erneut betrachtet werden.

Eine Berliner Forschergruppe hat sich dieses „Bild für Bild“-Prinzip zu Eigen gemacht. Ihr gelingt es mit Hilfe vieler gleichartiger, sich nur wenig unterscheidender Fotos eines Versuchs, eine Art Trickfilm zu konzipieren, der dem realen Aufbau und Versuchsablauf stark ähnelt¹¹³. Schülerinnen und Schüler können nun in einem so geschaffenen interaktiven Bildschirmexperiment (IBE) selbst tätig werden, indem sie den Versuch starten, variieren oder in Zeitlupe betrachten. So können sie Experimente „durchführen“ und beobachten, die sie sonst aufgrund großen technischen Aufwands oder wegen ihrer Gefährlichkeit (z.B. Röntgenstrahlung) nicht beobachten könnten. Allerdings stellt das IBE keine Simulation dar, da es kein mathematisches Modell sichtbar macht oder Beziehungen zwischen physikalischen Größen aufzeigt.

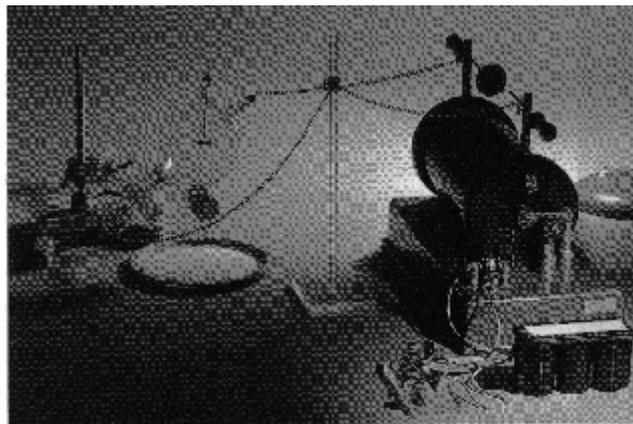


Abbildung 14: Oberfläche eines IBEs zur Erzeugung eines Röntgenbildes¹¹⁴. Mit Hilfe des Mauszeigers können die Schülerinnen und Schüler interaktiv den Versuch starten und variieren.

Girwidz nutzt die Technik, indem er einem realen Foto eine Schemazeichnung überblendet¹¹⁵. Die Schemazeichnung vernachlässigt Unwesentliches, hebt wichtige Bestandteile der Fotografie hervor und zeigt Beziehungen innerhalb der Zeichnung auf. Durch das

¹¹² vgl. Wilhelm (2005), S. 37

¹¹³ Kirstein (2002)

¹¹⁴ Entnommen: Kirstein (2002)

¹¹⁵ Girwidz (2003)

Überblenden können dann die abstrakten Modellierungen in reale Kontexte eingebettet und Entsprechungen leichter erkannt werden.

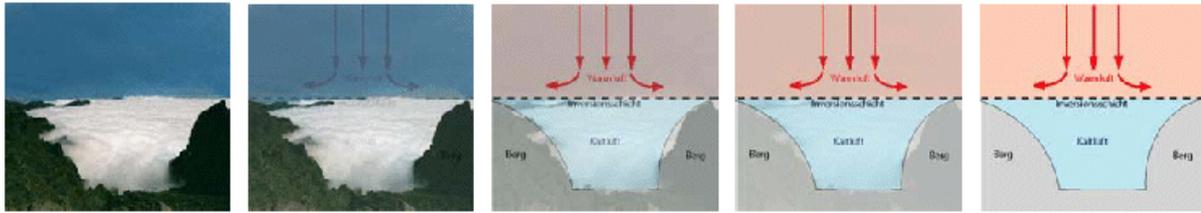


Abbildung 15: Ein Beispiel für die Überblendtechnik¹¹⁶. Mittels dieser Technik soll die Verbindung zwischen realer Fotografie und Modell aufgezeigt werden.

Während im zuvor genannten Beispiel die Schemazeichnung nur ein- bzw. ausgeblendet werden kann, die gezeigten Beziehungen selbst aber noch statisch sind, können auf Videos Repräsentationen gezeichnet werden, die sich dynamisch mit der Zeit verändern. Auch hier kann sich die zeitliche und räumliche Nähe von realem Ablauf und zugehöriger Modellierung verständnisfördernd auswirken¹¹⁷.

Didaktisch-methodische Ebene. Grundsätzlich wird durch dynamisch-ikonische Repräsentationen die Aufmerksamkeit des Lernalters insbesondere durch die Veränderungen auf dem Bildschirm gelenkt¹¹⁸. Wie bereits zuvor erwähnt, kann auf diese Weise Wichtiges hervorgehoben werden und Unwesentliches zurücktreten, oder aber es können Beziehungen beispielsweise zwischen zwei Größen oder ihren Repräsentationen aufgezeigt werden. Ein Beispiel für die Verwendung der dynamisch-ikonischen Repräsentationen zur Herstellung einer Beziehung zwischen zwei verschiedenen Repräsentationsformen einer Größe wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

Mit Hilfe der dynamisch-ikonischen Repräsentationen können in diesem Sinne verschiedene Abstraktionsniveaus eines Zusammenhangs veranschaulicht werden. Mit der Möglichkeit der Interaktion kann der Lerner nun sein eigenes Tempo wählen und Repräsentationsabläufe anhalten oder in Zeitlupe betrachten oder aber die Repräsentation durch Erweiterung der gezeigten Ausschnitte (etwa durch Einblenden eines zuvor verborgenen Diagramms) um neue Aspekte bereichern. Die zuletzt genannte Möglichkeit der Interaktion wird im folgenden Beispiel angewendet.

2.3.3 Ein Beispiel für dynamisch-ikonische Repräsentationen

Häufig werden zur Erklärung von physikalischen Größen Vektoren verwendet, die für sich genommen manchem Schüler bereits Schwierigkeiten bereiten können¹¹⁹, unter anderem auch deswegen, weil Vektoren nicht immer in der ausreichenden Intensität mit einer qualitativen Aussage (z.B. Proportionalität) oder einem quantitativen Ergebnis (z.B. Formel) in Beziehung gesetzt werden. Zwischen zwei verschiedenen Repräsentationsformen zu wechseln und Beziehungen zwischen ihnen herzustellen, erhöht den Schwierigkeitsgrad zusätzlich¹²⁰. So geschieht es etwa beim Einsatz von Experimenten (mit animierter Datenaufbereitung) häufig, dass die Entstehung der Liniendiagramme nicht direkt aus den in den Simulationen dargestellten Ereignissen (z.B. den Vektorpfeilen) erschlossen werden kann.

Um diesen Prozess bei den Lernenden zu unterstützen, werden Hilfsvisualisierungen als Bindeglied zwischen der Veränderung eines einzelnen Vektors (Verfolgung von Momentansituationen) und der Entstehung des zugehörigen Diagramms (Darstellung des Gesamt Ablaufs) eingesetzt. Damit versucht man zu erreichen, dass die Lernenden den Zusammenhang zwischen Simulation und Diagramm besser verstehen und somit das angestrebte qualitativ-konzeptuelle Wissen aufbauen können.

¹¹⁶ Entnommen: Girwidz (2003)

¹¹⁷ Suleder (2004)

¹¹⁸ vgl. 1.4.3

¹¹⁹ vgl. 2.2.1

¹²⁰ vgl. 1.4.3

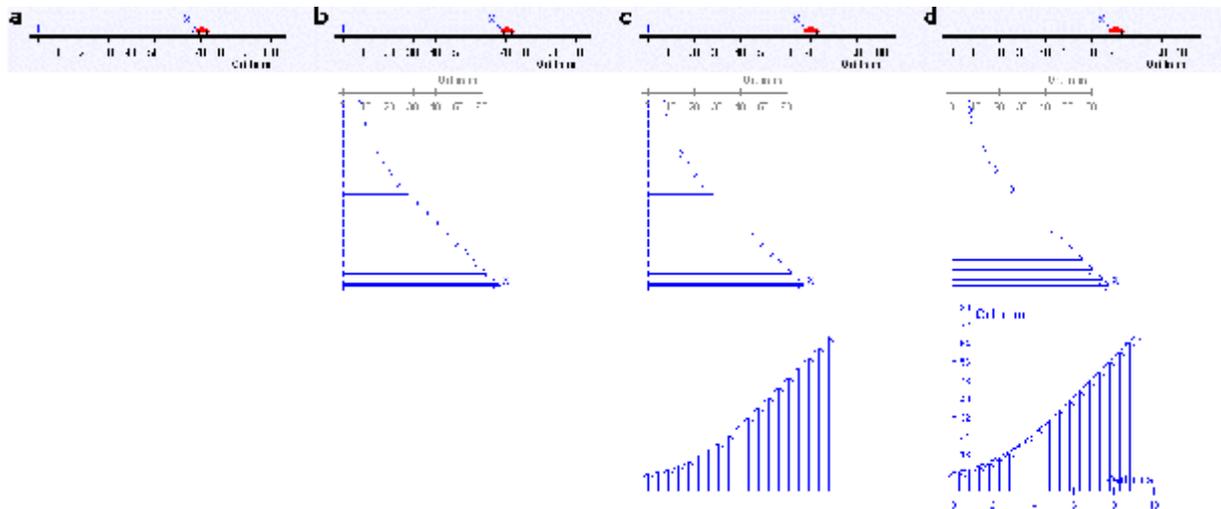


Abbildung 16: Sukzessive Erweiterung der Repräsentation, angefangen vom Vektor, der prinzipiell eine Momentansituation beschreibt (a) bis hin zum entsprechenden Zeit-Orts-Diagramm, das den gesamten Bewegungsablauf darstellt (d).

Abbildung 16 veranschaulicht, wie mit Hilfe der dynamisch-ikonischen Repräsentationen ein Zusammenhang von Versuchsablauf und Liniendiagramm hergestellt werden kann. Ausgangspunkt ist die Darstellung eines Versuchsablaufs zusammen mit den relevanten physikalischen Größen in Form dynamisch-ikonischer Repräsentationen (vgl. Abbildung 16a). Daran anknüpfend wird die zeitliche Abfolge der Ortsvektoren visualisiert, was wir im Folgenden als Stempeldiagramm bezeichnen wollen (vgl. Abbildung 16b). Im Weiteren wird die Abfolge der Ortsvektoren um 90 Grad gedreht und in einem Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 16c). Aus der ausschließlichen Betrachtung der interpolierten Vektorspitzen geht letztendlich das zugehörige Liniendiagramm hervor (vgl. Abbildung 16d). Mit Hilfe der Software PAKMA kann diese Abfolge simultan zu einem Realexperiment betrachtet werden. Dadurch wird der direkte Zusammenhang von realem Geschehen und animiertem, auf das Wesentliche reduziertem Ablauf auf dem Rechner deutlich. Die Software erlaubt nun, die Bildschirmoberfläche nach und nach zu erweitern und bei jeder weiteren Reproduktion einen neuen Aspekt hinzuzunehmen. Ein mögliches Beispiel könnte folgendermaßen aussehen¹²¹: In einem ersten Fenster steht die Ortsmessung als absolute Zahl (Abstand vom Nullpunkt), in einem weiteren Durchgang sieht man eine Simulation, bei der sich ein Männchen entsprechend der zeitlichen Veränderung des Orts längs einer Geraden bewegt und schließlich wird dann ein Vektor (vom Nullpunkt zum Männchen) eingefügt, der die vom jeweiligen Zeitpunkt abhängige Position des Männchens als dynamisch-ikonische Repräsentationen veranschaulicht.

2.3.4 Bisherige Erfahrungen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen

Auf den ersten Blick scheinen dynamisch-ikonische Repräsentationen dem Lerner eine große Hilfestellung bieten zu können. Unter dieser Prämisse wurden mehrere Untersuchungen durchgeführt.

Werkstattunterricht. Blaschke setzte dynamisch-ikonische Repräsentationen in einer elften Jahrgangsstufe ein, in der er einen „Werkstattunterricht“ implementierte¹²². Die Schülerinnen und Schüler sollten physikalische Experimente eigenständig durchführen und Messdaten über ein Interface aufnehmen und mit der interaktiven Physik-Software PAKMA analysieren. Auf der Oberfläche von PAKMA konnten Objekte mit gemessenen oder aus den Messwerten errechneten Größen animiert werden oder vergleichbare Si-

¹²¹ ein ähnliches Beispiel findet sich auf der beiliegenden CD:

„Untersuchung 1/Projekte/Projekt 1-2A.prj“

¹²² Blaschke (1999)

mulationen gestartet werden¹²³. Untersuchungen von Blaschke belegen (mit einem auf der Grundlage des FCI entwickelten Testverfahren), dass Schülerinnen und Schüler, die im Werkstattunterricht mit Hilfe der dynamisch-ikonischen Repräsentationen lernten, im Vergleich zu Kontrollklassen besser abschnitten.

In der Untersuchung von Blaschke spielen neben der Variable „dynamisch-ikonische Repräsentationen“ aber auch andere Faktoren eine entscheidende Rolle. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang zum einen motivationale Aspekte im Werkstattunterricht, zum anderen die im Vergleich zu Kontrollgruppen sicherlich zeitlich längere und intensivere Auseinandersetzung mit dem untersuchten Stoffgebiet. Die positiven Ergebnisse aus der Untersuchung von Blaschke lassen sich demnach nicht direkt darauf zurückführen, dass die Schüler mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen gelernt haben. Dennoch deutet die Befragung der Schülerinnen und Schüler nach Beendigung des Werkstattunterrichts darauf hin, dass die dynamisch-ikonischen Repräsentationen beim Lernen konstruktiv genutzt und von den Lernern als wichtig erachtet wurden. Je komplexer die Aufgabenstellungen waren, desto mehr profitierten die Schülerinnen und Schüler nach eigenen Angaben von den dynamisch-ikonischen Repräsentationen, am meisten dann, wenn das Aufgabenniveau knapp über dem Potenzial des jeweiligen Schülers lag¹²⁴. Einige sehr gute Schülerinnen und Schüler meinten daher, dass sie die Hilfestellung nicht benötigten. Dagegen bewältigten die schwächsten Schülerinnen und Schüler die Problemstellungen selbst mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen eher selten, wenn die Diskrepanz zwischen dem Anforderungsniveau und dem eigenen Vermögen zu groß war.

2D-Konzept. Wilhelm entwickelte einen Kinematik- und Dynamiklehrgang mit Hilfe dynamisch-ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Im Gegensatz zum gewohnten Vorgehen in der elften Jahrgangsstufe sollten in diesem Lehrgang nicht eindimensionale Bewegungen im Vordergrund stehen, sondern die physikalischen Größen und Zusammenhänge den Schülerinnen und Schüler von Beginn an zweidimensional vorgestellt werden¹²⁵.

Die Untersuchungsergebnisse legen die Schlussfolgerung nahe, dass die Schülerinnen und Schüler mit der neuen Konzeption besser lernten. Obwohl dynamisch-ikonische Repräsentationen einen breiten Raum in der Erarbeitungsphase einnehmen, wird ihr Einfluss auf das Lernen nicht explizit untersucht oder als eigener Faktor in der Auswertung analysiert. Wilhelm geht einfach von einer grundsätzlichen Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen aus¹²⁶. Zielsetzung seiner Arbeit war es schließlich, die Entwicklung und Evaluation eines neuen Unterrichtskonzepts zu dokumentieren, dynamisch-ikonische Repräsentationen werden darin nur als Hilfsmittel gesehen.

2.4 Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen

Dynamisch-ikonische Repräsentationen werden in aktuellen Unterrichtskonzeptionen eingesetzt, ohne dass statistisch gesicherte Erkenntnisse die Lernwirksamkeit der DIR bestätigen. Könnte es vielleicht sogar sein, dass eine Unterrichtskonzeption noch erfolgreicher wäre, wenn man bei ihrer Umsetzung auf diese Art von Repräsentationen verzichten würde?

Mit dem Ziel, die Lernwirksamkeit von dynamisch-ikonischen Repräsentationen (und nicht die einer Unterrichtskonzeption) zu überprüfen, führten Galmbacher, Heuer, Plötzner und Scherrer eine experimentelle Laborstudie durch, die im Folgenden knapp vorgestellt wird¹²⁷.

2.4.1 Idee und Hypothesen

Unsere Arbeitsgruppe stellte sich die Frage, inwieweit Schülerinnen und Schülern das Verstehen von Liniendiagrammen erleichtert werden kann, wenn dynamisch-ikonische Repräsentationen unterstützend eingesetzt werden. In Anlehnung an frühere Untersu-

¹²³ vgl. 2.3.3

¹²⁴ Blaschke (1999), S. 200

¹²⁵ vgl. 2.1.3

¹²⁶ Wilhelm (2005), S. 1

¹²⁷ vgl. auch Galmbacher (2005a, 2005b), Plötzner (2006)

chungen wählten wir die Mechanik als Thematik: Die dynamisch-ikonischen Repräsentationen sollten eine Brücke schlagen zwischen der anschaulichen Simulation eines Bewegungsablaufs und dem abstrakten Liniendiagramm. Ein passendes Beispiel findet sich unter dem Punkt 2.3.3. Es sollte in diesem Zusammenhang keine neue Unterrichtskonzeption oder Herangehensweise an bestimmte Inhalte der Mechanik entwickelt werden, sondern lediglich den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben werden, die DIR sinnvoll zur Förderung von Verständnis einzusetzen.

Um den Grad der Auseinandersetzung mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen abzustufen, sollten drei Schülergruppen unter sonst gleichen Bedingungen unterschiedlich viel Unterstützung durch DIR angeboten bekommen.

Gruppe 1 Kontrollgruppe	Gruppe 2 DIR	Gruppe 3 DIR + Stempeldiagramm
Simulation eindimensionaler Bewegungen	Simulation eindimensionaler Bewegungen +	Simulation eindimensionaler Bewegungen +
	Vektoren	Vektoren +
		Stempeldiagramm +
+	+	+
Liniendiagramme	Liniendiagramme	Liniendiagramme

Tabelle 1: Bedingungen der Untersuchung 1

Unsere Hypothese war, dass Schülerinnen und Schüler umso besser lernen, je mehr Unterstützung sie durch die dynamisch-ikonischen Repräsentationen erhalten, die die Verbindung von simuliertem Bewegungsablauf und zugehörigem Liniendiagramm visuell aufzeigen sollen.

Darüber hinaus war zu erwarten, dass dies umso mehr zutrifft, je abstrakter die betrachteten kinematischen und dynamischen Konzepte sind: mit Blick auf Zeit-Kraft- und Zeit-Beschleunigungs-Zusammenhänge sollten die Schülerinnen und Schüler mehr von den dynamisch-ikonischen Repräsentationen und Stempeldiagrammen profitieren als mit Blick auf Zeit-Weg- bzw. Zeit-Geschwindigkeits-Zusammenhänge¹²⁸.

Andererseits muss beachtet werden, dass ein erfolgreiches Lernen mit Hilfe dynamisch-ikonischer Repräsentationen zunächst einer gründlichen Verarbeitung von umfassender visueller Information bedarf. Demnach sollten Schülerinnen und Schüler einen größeren Nutzen aus dem Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen ziehen, wenn sie über ein hohes visuell-räumliches Denkvermögen verfügen. Im Gegensatz dazu erwarteten wir von den Probanden mit niedrigem visuell-räumlichem Denkvermögen ein deutlich schlechteres Abschneiden¹²⁹.

2.4.2 Untersuchungsmethode

Als Probanden nahmen 110 Schülerinnen und Schüler aus insgesamt fünf Klassen der elften Jahrgangsstufe an der kompletten Untersuchung teil, die aus Vortest, Erarbeitungsphase und Nachtest bestand.

Die Schüler wurden drei Gruppen so zugeordnet, dass diese hinsichtlich Geschlecht und Vortestergebnissen gleich verteilt waren. Alle Schülerinnen und Schüler hatten im regulären (konventionellen) Physikunterricht bereits die in der Untersuchung angesprochenen Inhalte aus der Mechanik kennen gelernt.

Im Hauptteil der Untersuchung simulierten die Schülerinnen und Schüler insgesamt 16 Bewegungsabläufe in Einzelarbeit mit Hilfe der Physiksoftware PAKMA auf einem Rechner¹³⁰. Während die betrachteten Simulationen und die Lernzeiten für alle Schüler

¹²⁸ vgl. Blaschke (1999)

¹²⁹ vgl. 1.3.3

¹³⁰ vgl. beiliegende CD: „Untersuchung 1/Projekte“

konstant gehalten wurden, variierten die zusätzlich zur Verfügung gestellten (Hilfs-) Visualisierungen (vgl. Abbildung 17). Unter der ersten Bedingung (Kontrollbedingung) wurden die untersuchten Zusammenhänge ausschließlich mit Hilfe von Liniendiagrammen veranschaulicht. Unter der zweiten Bedingung wurden zusätzlich dynamisch-ikonische Repräsentationen (= Vektorpfeile) der Strukturen dargeboten, die den Bewegungsabläufen zugrunde liegen. Unter der dritten Bedingung wurden darüber hinaus Hilfsvisualisierungen (= Stempeldiagramme) zur Verfügung gestellt, durch die die Verbindungen zwischen den simulierten Bewegungsabläufen, den dynamisch-ikonischen Repräsentationen und den Liniendiagrammen deutlich werden sollten¹³¹.

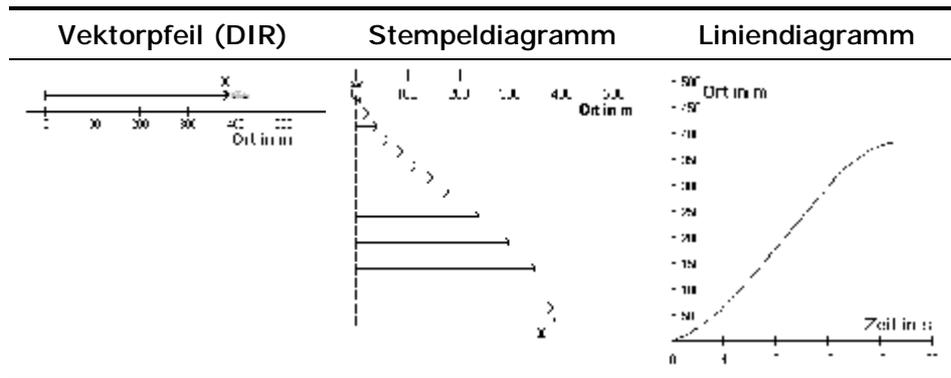


Abbildung 17: Der Vektorpfeil stellt den Ort des Wagens dar. Zeitliche Veränderungen des Ortes werden in nebenstehendem Stempeldiagramm aufgezeigt, das wiederum durch Drehen um 90° das Liniendiagramm ergibt, wenn man die Pfeilspitzen miteinander verbindet.

Zusätzlich arbeiteten alle Schüler einen mehrseitigen Begleitbogen¹³² ab, der die Projektanleitungen und variierende Fragestellungen enthielt, um sicher zu gehen, dass tatsächlich alle Projekte betrachtet wurden.

Vortests: Physikkenntnisse, Raven-Test, MPEX			30 Minuten
Zur Verfügung stehende Informationen			
Bed. 1	Bed. 2	Bed. 3	
Simulation eindimensionaler Bewegungen	Simulation eindimensionaler Bewegungen + DIR	Simulation eindimensionaler Bewegungen + DIR + Stempeldiagramme	
+	+	+	150 Minuten
Liniendiagramme	Liniendiagramme	Liniendiagramme	
Nachtest: Physikkenntnisse			60 Minuten

Abbildung 18: Design und Bedingungen der Untersuchung 1.

¹³¹ vgl. 2.3.3

¹³² vgl. beiliegende CD: „Untersuchung 1/Begleitbogen“

2.4.3 Ergebnisse

Die prozentualen Mittelwerte und zugehörigen Standardabweichungen der einzelnen Bedingungen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

	Bedingung 1	Bedingung 2	Bedingung 3
Gesamt	55,9% ± 20,3%	48,5% ± 21,7%	53,1% ± 20,3%
Ort und Geschwindigkeit	74,0% ± 17,7%	68,6% ± 22,2%	75,2% ± 14,2%
Beschleunigung und Kraft	42,8% ± 26,4%	33,9% ± 25,1%	37,1% ± 28,4%

Tabelle 2: Prozentuale Mittelwerte und Standardabweichung der Nachtestergebnisse der Untersuchung 1.

Abbildung 19 veranschaulicht die Mittelwerte in einem Profildiagramm:

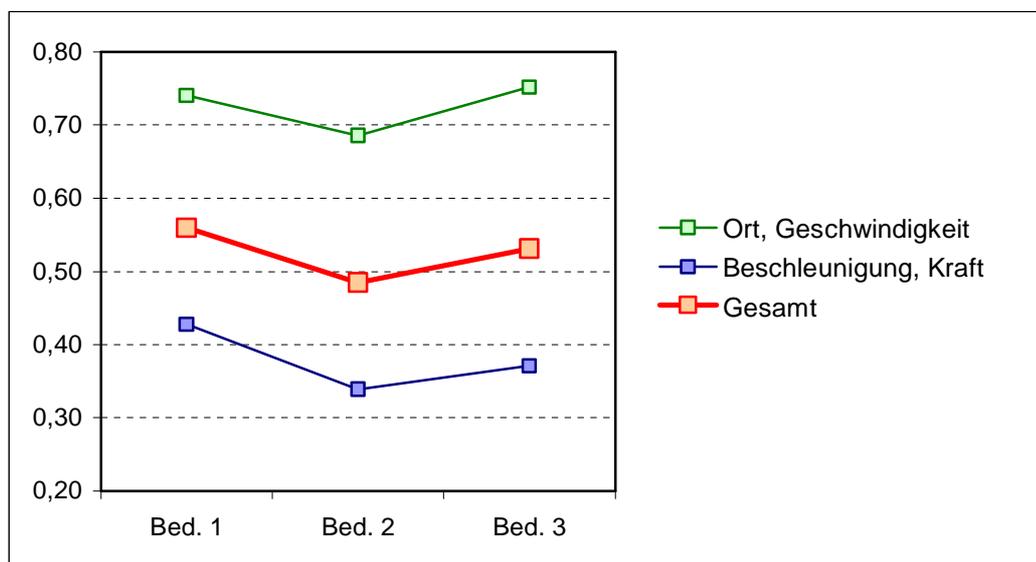


Abbildung 19: Profildiagramm der Mittelwerte (Nachtest) für die verschiedenen Bedingungen und Konzepte.

Hierin erkennt man, dass die Probanden im Mittel die Fragen zu Ort und Geschwindigkeit insgesamt deutlich besser beantworteten als die Fragen zu den schwierigeren Konzepten Beschleunigung und Kraft. Ebenso entnimmt man dem Diagramm, dass die Teilnehmer unter der Bedingung 1 besser abschnitten als die der anderen Bedingungen. Am schlechtesten beantworteten die Schülerinnen und Schüler unter der Bedingung 2 die Fragestellungen.

Um Einflüsse durch unterschiedliche kognitive Leistungsniveaus zwischen den Gruppen minimieren zu können, bearbeiteten die Untersuchungsteilnehmer zu Beginn der Untersuchung die Kurzversion des Raven-Matrizen-Tests¹³³. Dieses Testinstrument ist ein Indikator für den Grad des visuell-räumlichen Denkvermögens¹³⁴. Unter der Annahme, dass die Verwendung der dynamisch-ikonischen Repräsentationen speziell bei Schülern mit geringerem visuell-räumlichem Denkvermögen zu einer kognitiven Überforderung führen könnte, wurde ein Mediansplit nach den Ergebnissen des Raventests durchgeführt, der die Teilnehmer in zwei etwa gleich große Gruppen einteilte: Probanden mit einem hohen visuell-räumlichen Denkvermögen (Raven +) und Probanden mit niedrigem visuell-räumlichem Denkvermögen (Raven -).

¹³³ Raven (1980)

¹³⁴ vgl. 1.3.3

Um die Lernleistung der Schülerinnen und Schüler in den genannten beiden Gruppen zu analysieren, wurde der relative Lerngewinn g berechnet¹³⁵:

$$g = \frac{\%Nachttestwert - \%Vortestwert}{100\% - \%Vortestwert}$$

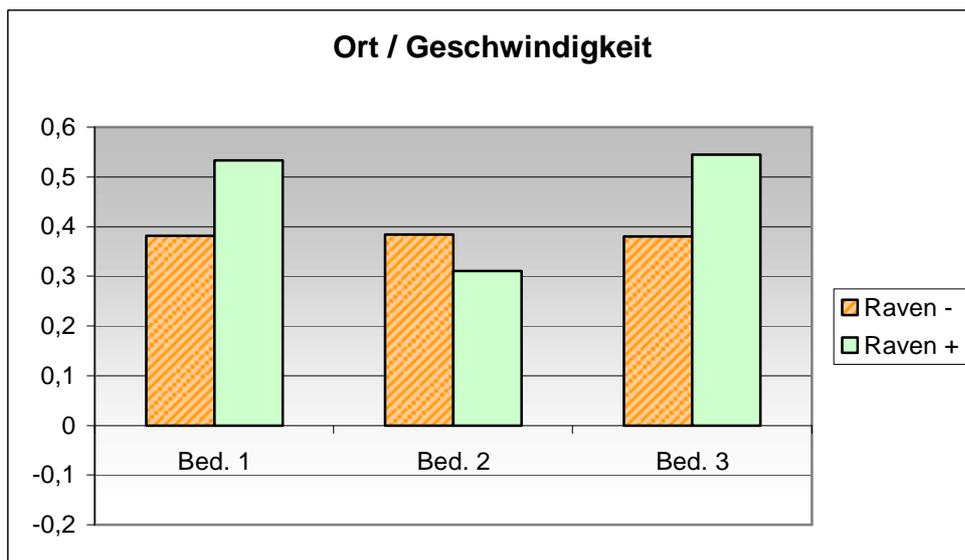
Dabei wurden nur die Items für die Berechnung herangezogen, die identisch (abgesehen von Änderungen der Antwortreihenfolgen) in Vor- und Nachtest gestellt wurden ($N=14$). Bei den Aufgaben zu Orts- und Geschwindigkeitsdiagrammen traten keine signifikanten Effekte zwischen den beiden Gruppen auf. Bei der Betrachtung der komplexeren Aufgabenstellungen zu Beschleunigung und Kraft zeigte sich jedoch, dass die Schülerinnen und Schüler mit einem höheren visuell-räumlichen Denkvermögen insgesamt einen signifikant ($t=3.96$; $df=60$) höheren Lerngewinn erzielten als ihre Mitschüler.

Um diesen Unterschied zu differenzieren, wurden Einzelvergleiche innerhalb der drei Bedingungen durchgeführt. Es lagen nun also sechs Zellen vor, die sich aus der Kombination der Dichotomisierung der Ergebnisse aus dem Raventest und den drei Untersuchungsbedingungen ergaben:

	Bedingung 1 Simulation + Liniendiagramme	Bedingung 2 Simulation + DIR + Liniendiagramme	Bedingung 3 Simulation + DIR + Stempeldiagramme + Liniendiagramme
Raven -	$N=19$	$N=15$	$N=14$
Raven +	$N=20$	$N=19$	$N=23$

Tabelle 3: Darstellung der untersuchten Zellen nach der Raven-Dichotomisierung und den Untersuchungsbedingungen.

Die folgenden Abbildungen stellen den relativen Lerngewinn hinsichtlich der gruppierten Mechanikkonzepte Ort / Geschwindigkeit und Beschleunigung / Kraft graphisch dar.



¹³⁵ Hake (1998)

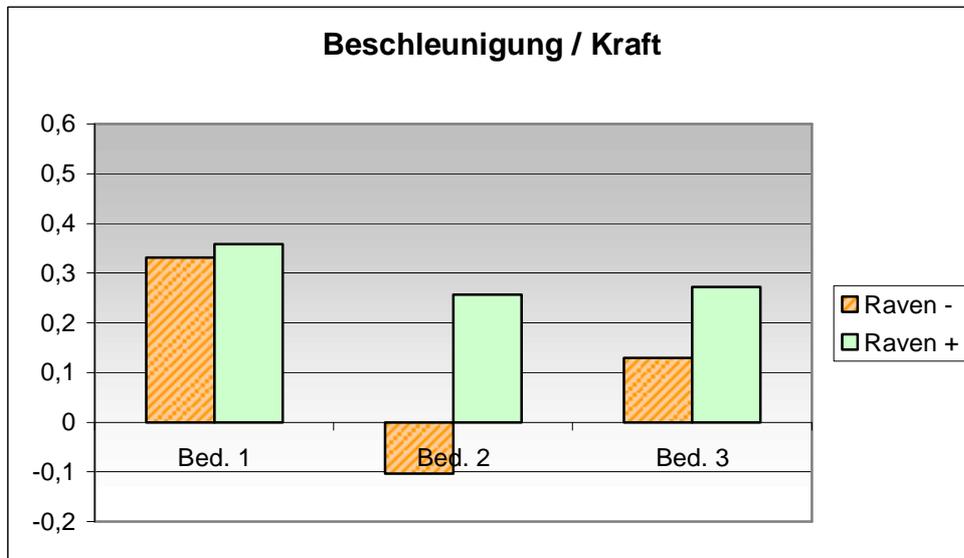


Abbildung 20: Mittlerer relativer Lerngewinn in den sechs Zellen (vgl. Tabelle 3) aufgegliedert nach den Bereichen Ort / Geschwindigkeit (Seite zuvor) und Beschleunigung / Kraft.

Auffällig ist der negative Lerngewinn bei Probanden mit niedrigem Ravenwert unter der Bedingung 2. Eine Analyse der Mittelwerte ergab, dass der Unterschied zwischen Schülern mit höherem bzw. niedrigerem visuell-räumlichem Denkvermögen in den Gruppen ohne dynamisch-ikonische Repräsentationen (Bedingung 1) und mit Stempeldiagrammen (Bedingung 3) außerhalb der Signifikanzgrenze lag. Der Unterschied bei den Schülerinnen und Schülern der Bedingung 2 (nur DIR) ist jedoch für die Mechanikkonzepte Beschleunigung / Kraft signifikant ($t=4.89$; $df=17$).

Einen weiteren interessanten Aspekt lieferte die Auswertung des MPEX-Fragebogens¹³⁶. Aus diesem Fragebogen, der eine Selbsteinschätzung der Schüler darstellt, lassen sich unter anderem Rückschlüsse auf die Eigenständigkeit des Schülers beim Lernen ziehen. Das Cluster „Eigenständigkeit“ wird dabei umrissen als „takes responsibility for constructing own understanding“¹³⁷. Dieses Cluster korreliert in der Studie signifikant mit dem Ergebnis des Nachtests und zwar positiv, wenn sich die Schüler ein hohes Maß an eigenständigem Lernen zuschreiben, aber auch negativ, wenn die Schüler ihre Fähigkeit, eigenständig zu lernen, als gering einschätzen. Dies ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Subskala des Marylandfragebogens	R
Hohe Unabhängigkeit, Eigenverantwortung	.349 (p<0.01)
Hohe Abhängigkeit von einer Lehrperson	-.263 (p<0.05)

Tabelle 4: Korrelationen zwischen den Subskalen des Marylandfragebogens und dem relativen Lerngewinn.

2.4.4 Diskussion

Die einfache Hypothese, dass Schülerinnen und Schüler umso besser lernen, je mehr Unterstützung sie durch die dynamisch-ikonischen Repräsentationen erhalten, konnte offensichtlich in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden.

¹³⁶ Redish (1998)

¹³⁷ Redish (1998), S. 215

Wenngleich andere aktuelle Studien¹³⁸ zum Lernen mit multicodierten Lernumgebungen zu ähnlichen Ergebnissen wie wir kommen, widersprechen die Ergebnisse doch unseren Erwartungen, die sich auf die Ergebnisse der Untersuchungen von Blaschke und Wilhelm stützen. Die Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass Schülerinnen und Schüler große Schwierigkeiten haben, in eigenverantwortlicher Arbeit neue Wissensstrukturen mit multicodierten Lernumgebungen zu erwerben, insbesondere wenn sie nur ein geringes visuell-räumliches Denkvermögen besitzen. In der vorliegenden Untersuchung konnte offensichtlich nicht erreicht werden, dass die Schüler die gezeigten Repräsentationen in ein eigenes, bereits existierendes Mechanikkonzept einbinden.

Dies gelang wohl beispielsweise im Werkstattunterricht leichter, wenn unter Anleitung einer Lehrkraft die Bedeutung einzelner Schritte mehrmals aufgezeigt wurde, die Schüler nachfragen konnten und auch abschließend eine gewisse Leistungserwartung durch einen benoteten Test zu erwarten war. Der Zeitraum zum Erlernen der Grundlagen aus Kinematik und Dynamik umfasste bei Blaschke einen Zeitraum von etwa vier Monaten im regulären dreistündigen Physikunterricht der Jahrgangsstufe 11. Im Gegensatz dazu sollten die Schüler in der vorliegenden Laboruntersuchung die Kinematik und Dynamik außerhalb des Unterrichts im Selbststudium innerhalb von drei Stunden wiederholen und zusätzlich eine neue Repräsentationsform physikalischer Größen konzeptuell in vorhandenen Strukturen verankern. Im Nachhinein erscheint die Zeit wohl als zu knapp bemessen, die die Schüler zum Üben und Durchdenken der neuen Codierung bekamen. Insbesondere dann, wenn bei einigen Schülern, die bestimmte Zusammenhänge bisher falsch verstanden haben, Konzeptwechsel angestrebt werden, dürfte die Zeit hier nicht ausgereicht haben.

Eine australische Studie kam zu dem Ergebnis, „that students must learn how to learn from this type of instructional tool“¹³⁹. Vom konventionellen Physikunterricht sind die Schüler aber weder diese Art der Lernumgebung gewohnt, noch müssen sie eigenständig neue Inhalte über einen längeren Zeitraum hinweg erarbeiten und dabei ihren Lernfortschritt selbst kontrollieren. Dementsprechend könnte die höhere kognitive Anforderung durch die Multicodierung den Vorteil der dynamisch-ikonischen Repräsentationen aufgezehrt haben¹⁴⁰, so dass die Schülerinnen und Schüler, die mit den Stempeldiagrammen lernten (Bedingung 3), ein in etwa gleich gutes Ergebnis erzielten, wie die Schülerinnen und Schüler, die ohne dynamisch-ikonische Repräsentationen arbeiteten (Bedingung 1). Für diese Interpretation spricht, dass die Lerner unter der Bedingung 2 (nur Vektoren) in der Studie am schlechtesten abschnitten: Sie mussten einerseits die kognitive Belastung durch die Vektoren verarbeiten ohne andererseits in den Vorzug der Stempeldiagramme zu kommen, die die gezeigten Vektoren in Beziehung zum Liniendiagramm setzen. Aufgrund dieses Ergebnisses wird auch der Einwand einer generellen Überforderung der Schülerinnen und Schüler durch die dynamisch-ikonischen Repräsentationen entkräftet¹⁴¹. Denn dann müssten die Schülerinnen und Schüler unter der Bedingung 3, in der noch mehr animierte Objekte auf der Bildschirmoberfläche zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen als in Bedingung 2, am schlechtesten abschneiden.

Die Ergebnisse scheinen dagegen indirekt die Hypothese zu bestätigen, dass Schülerinnen und Schüler umso mehr von den dynamisch-ikonischen Repräsentationen profitieren können, je abstrakter das betrachtete Konzept ist. Bei den einfachen Konzepten Ort und Geschwindigkeit schnitten Schülerinnen und Schüler aller Bedingungen in etwa gleich gut ab. Inwieweit sie unter den Bedingungen 2 und 3 dabei die dynamisch-ikonischen Repräsentationen zum Erkenntnisgewinn eingesetzt haben, bleibt offen. Wir können lediglich die Beschäftigung mit den Diagrammen anhand des auszufüllenden begleitenden Arbeitsblatts bestätigen. Bei den schwierigeren Konzepten Beschleunigung und Kraft hat aber offensichtlich eine Auseinandersetzung mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen stattgefunden: Die Ergebnisse von Schülerinnen und Schülern mit einem guten visuell-räumlichen Denkvermögen unterscheiden sich signifikant von denen mit niedrigem visuell-räumlichem Denkvermögen. Anscheinend versuchten die Probanden die dynamisch-

¹³⁸ z.B. Lowe (2003); Lewalter (2003); Yeo (2004)

¹³⁹ Yeo (2004), S. 1357

¹⁴⁰ vgl. 1.4.3

¹⁴¹ vgl. 1.2.1

ikonischen Repräsentationen für das Verständnis der schwerer verständlichen Konzepte aufzugreifen, was aber je nach Grad des visuell-räumlichen Denkvermögens mehr oder weniger gut gelang. Es deutet vieles darauf hin, dass es den Schülerinnen und Schülern in der vergleichsweise kurzen Zeit nicht glückte, einerseits die bekanntermaßen schwierigen, aber vom regulären Unterricht an sich schon bekannten physikalischen Konzepte zu Beschleunigung und Kraft zu verstehen und andererseits die für sie neuen dynamisch-ikonischen Repräsentationen auf die Simulation und zugleich auf die Liniendiagramme zu beziehen. Aufgrund der experimentellen Anordnung hatten sie zudem keine Gelegenheit, sich bei Verständnisschwierigkeiten auszutauschen oder eine dritte Person um Rat zu fragen.

Die Analyse der Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler mittels des MPEX-Fragebogens deutet darauf hin, dass die fehlende Hilfestellung durch einen Tutor ein Kriterium für das schlechte Abschneiden der Lerner unter den Bedingungen 2 und 3 war. Probanden nämlich, die nach der Selbsteinschätzung selbst die Verantwortung für den eigenen Wissensaufbau übernehmen, schnitten in der Studie besser ab als die Schülerinnen und Schüler, die ihre Fähigkeit, eigenständig zu lernen, als gering einschätzen und die Verantwortung gerne einem Tutor bzw. Lehrer übertragen.

2.5 Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors

Dynamisch-ikonische Repräsentationen scheinen zum Aufbau physikalischer Konzepte hilfreich zu sein, wie Blaschke in seinem offenen Werkstattunterricht experimentell festgestellt hat¹⁴². Andererseits können Schülerinnen und Schüler nicht per se mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen umgehen, wie die oben angeführte Untersuchung unter Laborbedingungen belegt.

Im Gegensatz beispielsweise zum Werkstattunterricht von Blaschke, belassen die Untersuchungen über Multicodierungen die Lernenden meist in einer vorwiegend nachvollziehenden Rolle. Es stellt sich die Frage, ob nicht weiterreichende Lernerfolge erzielt werden könnten, wenn die Lernenden durch geeignete Lernmethoden darin unterstützt werden, eine aktive und konstruierende Rolle einzunehmen. Untersuchungen von Seufert¹⁴³, die darauf zielen, die Lernenden zu einer aktiven Integration unterschiedlich codierter Informationen anzuregen, weisen in diese Richtung.

Im Fokus der folgenden Untersuchung soll nun dementsprechend die Frage stehen, inwieweit Schülerinnen und Schüler mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen einen größeren Lernerfolg erzielen können, wenn sie durch einen Tutor in das Arbeiten und Lernen mit diesen Repräsentationen eingeführt werden und zusätzlich in der anschließenden Erarbeitungsphase Fragen stellen können. Die Unterstützung soll es den Lernern erleichtern, ein mentales Modell zu entwickeln, mit dem die Simulationen und später auch reale Abläufe zu einem höheren Erkenntnisgewinn genutzt werden können. Die kontrollierte Lernumgebung gestattet dabei eine Abschätzung desjenigen Anteils am Lernerfolg, der auf das Arbeiten mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen zurückzuführen ist.

2.5.1 Ideen und Hypothesen

Zunächst erschien es unserer Arbeitsgruppe nahe liegend, das vorliegende Konzept der ersten DFG-Studie¹⁴⁴ aufzugreifen und die vorhandenen Projekte der neuen Fragestellung anzupassen. Andererseits zeigten Gespräche mit Probanden im Anschluss an die damalige Untersuchung, dass viele Schülerinnen und Schüler nicht bereit waren, Liniendiagramme mit Hilfe der dynamisch-ikonischen Repräsentationen „neu zu entdecken“, wenn die Diagramme bereits im Unterricht behandelt und dabei zum Teil nicht verstanden worden waren.

Es entwickelte sich die Idee, die Inhalte mit Schülerinnen und Schülern der zehnten Jahrgangsstufe außerhalb des regulären Unterrichts neu zu erarbeiten, also ohne schulische Vorkenntnisse in dieser Thematik. Den Vorteil sahen wir darin, dass die Inhalte dann frei

¹⁴² vgl. 2.3.4

¹⁴³ Seufert (2003)

¹⁴⁴ vgl. 2.4

von früheren unterrichtlichen Erfahrungen organisch erarbeitet wurden: Die Schülerinnen und Schüler sollten mechanische Fragestellungen mit Hilfe der dynamisch-ikonischen Repräsentationen erlernen.

Aber auch für das erprobte Vorgehen, das heißt, die dynamisch-ikonischen Repräsentationen als alternativen Zugang für ein richtiges Graphenverständnis im Anschluss an den konventionellen Mechaniklehrgang kennen zu lernen, sprachen einige Punkte: So könnte etwa die Komplexitätsebene der Fragestellungen gesteigert werden, da die Schülerinnen und Schüler im Unterricht ja bereits die grundlegenden Fragestellungen behandelten und dabei sowohl einen sicheren Umgang mit den Fachbegriffen als auch Strategien zum Lösen von Aufgaben trainieren konnten. Allerdings führt dies auch zu Nachteilen, da die Streuung der Leistungsfähigkeit der Probanden nach dem Durchlaufen des Mechanikkurses innerhalb einer Klasse relativ groß ist: Einige Schülerinnen und Schüler können Aufgaben auf hohem Niveau sicher lösen (und wären damit für die Untersuchung uninteressant, da sie keinen großen Lerngewinn mehr erzielen können), wohingegen andere Schülerinnen und Schüler nach wie vor bereits bei vergleichsweise einfachen Zusammenhängen Schwierigkeiten haben (und damit ebenfalls für die Untersuchung uninteressant wären, da man bei diesen Schülerinnen und Schülern eine geringe Motivation beim Lösen schwieriger Aufgaben vermuten könnte).

Aus den genannten Gründen entschieden wir uns letztlich, die Untersuchung mit Probanden durchzuführen, die die Inhalte der Mechanik noch nicht im Unterricht kennen gelernt hatten. Um den Schwierigkeitsgrad und damit den zeitlichen Umfang der Untersuchung nicht zu groß zu gestalten, sollten die Aspekte aus der Dynamik entfallen.

Eine Kontrollgruppe sollte den Vergleich liefern, welche Lernfortschritte in der Erarbeitungsphase auf den Einsatz dynamisch-ikonischer Repräsentationen zurückzuführen seien.

Wir vertraten die Hypothese, dass die Schülerinnen und Schüler Liniendiagramme besser verstehen, wenn ihnen durch die dynamisch-ikonischen Repräsentationen (Vektor und Stempeldiagramm) die Verbindung zwischen den simulierten Bewegungsabläufen und den Liniendiagrammen unter Zuhilfenahme eines Tutors verdeutlicht wird.

Wie in der ersten Untersuchung erwarteten wir weiterhin, dass die Lerner umso mehr Nutzen aus den dynamisch-ikonischen Repräsentationen für ihren Lernfortschritt ziehen können, je abstrakter die betrachteten kinematischen Konzepte sind¹⁴⁵.

Zudem sollte das visuell-räumliche Denkvermögen Einfluss auf das Lernergebnis haben: Schülerinnen und Schüler mit einem gut ausgeprägten visuellen Abstraktionsniveau sollten einen größeren Nutzen aus dem Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen ziehen, als Probanden mit einem gering ausgeprägten Abstraktionsniveau.

2.5.2 Untersuchungsmethode

Als mögliche Probanden wurden Schülerinnen und Schüler aller Klassen der zehnten Jahrgangsstufe eines Gymnasiums angesprochen. An der Untersuchung nahmen dann schließlich 13 Schülerinnen und 11 Schüler dieses Gymnasiums teil. Alle Probanden waren 16 oder 17 Jahre alt.

In einem ersten Abschnitt (Phase I) vor der eigentlichen Untersuchung galt es, Informationen über das Vorwissen und die visuellen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler zu erhalten. Dazu bearbeiteten alle Teilnehmer einen Vortest zur Kinematik eindimensionaler Bewegungen¹⁴⁶. Als Kontrollvariablen wurden das visuell-räumliche Denkvermögen mit der Kurzfassung des RAVEN-Matrizen-Test¹⁴⁷ und zusätzlich die Einstellungen zum Fach Physik auf Grundlage des Maryland Physics Expectations Survey (MPEX)¹⁴⁸ erfasst.

Hinsichtlich des Physiktests wurden leistungsschwache und leistungsstarke Probanden zu gleichen Anteilen einer Treatment- und einer Kontrollgruppe zugewiesen. Da im Falle des Physiklernens auch von einem Zusammenhang zwischen Geschlecht und Lern- bzw.

¹⁴⁵ vgl. Blaschke (1999)

¹⁴⁶ vgl. Anlage B

¹⁴⁷ Heller (1998); Raven (1980)

¹⁴⁸ Elby (2001); Redish (1998)

Problemlöseleistung ausgegangen werden kann¹⁴⁹, wurden darüber hinaus Mädchen und Jungen den beiden Untersuchungsbedingungen zu etwa gleichen Anteilen zugeteilt.

	Kontrollgruppe	Gruppe DIR
Geschlecht (♂ : ♀)	7 : 5	6 : 6
Mittelwert Physik VT	55,3% ± 14,1%	56,1% ± 18,1%
Raven-Matrizen-Test	9,4 ± 1,3	9,2 ± 1,3

Tabelle 5: Deskriptive Statistik für den Vortest.

Im zweiten Abschnitt (Phase II) lernten die Schülerinnen und Schüler anhand eines Beispiels die Lernumgebung PAKMA kennen. Anschließend simulierten sie am Rechner insgesamt zwölf Bewegungsabläufe¹⁵⁰ mit Hilfe dieser Physiksoftware. Dabei mussten sie je vier Bewegungsabläufe zu den Teilbereichen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung bearbeiten¹⁵¹, wobei der erste Bewegungsablauf innerhalb jedes Teilbereichs vom Versuchsleiter demonstriert wurde und von jeder Schülerin und jedem Schüler am eigenen Arbeitsplatz noch einmal nachvollzogen werden konnte. Den zweiten Bewegungsablauf diskutierten die Probanden in Partnerarbeit, den dritten und vierten simulierte jeder Lerner anschließend in Einzelarbeit an einem eigenen Rechner. Zwischen den einzelnen Erarbeitungsphasen erhielten die Teilnehmer jeweils die Möglichkeit, Fragen zu stellen, die dann vom Versuchsleiter beantwortet wurden.



Abbildung 21: Die Teilnehmer bearbeiten die Projekte in Einzel- bzw. Partnerarbeit

Um zu vermeiden, dass die Schülerinnen und Schüler wesentliche Aspekte übergehen¹⁵², wurde das Lernen durch ein Arbeitsblatt angeleitet, in dem sie aufgefordert wurden, Fragen zu den verschiedenen Simulationen zu beantworten, sowie Erklärungen zu formulieren¹⁵³. Bei der Erstellung der Projekte galt es, die Balance zwischen interessanter Aufgabenstellung und kontextarmer Umgebung zu wahren, um nicht vom eigentlichen Lerninhalt (Graphenverständnis) abzulenken.

Uns war bei der Planung der Untersuchung durchaus bewusst, dass wegen des Einsatzes eines Tutors sogenannte Versuchsleiter-Artefakte nicht ausgeschlossen werden können, die die Ergebnisse der Untersuchung beeinflussen. Doch leider ist es bisher unmöglich, „die Bedeutung der individuellen Eigenarten eines Untersuchungsleiters für eine konkrete Untersuchung vollständig zu erfassen.“¹⁵⁴ Es wurde versucht, die Auswirkungen möglichst gering zu halten, indem zum Beispiel alle Versuchsteilnehmer mit Hilfe des Begleitbogens

¹⁴⁹ z.B. Baumert (1997), S. 60;

¹⁵⁰ vgl. beiliegende CD: „Untersuchung 2/Projekte“

¹⁵¹ vgl. Anlage C

¹⁵² vgl. 1.4.3

¹⁵³ vgl. Anlage D

¹⁵⁴ Bortz (1995), S. 84

standardisiert instruiert wurden und nur auf Fragen eingegangen wurde, die die Probanden während der Durchführung beziehungsweise Erarbeitungsphase gestellt haben, ohne ihnen Fragen nahe zu legen. Außerdem wurde bei beiden Gruppen auf gleich bleibende Untersuchungsbedingungen (gleicher Raum, gleicher Wochentag, gleiche Uhrzeit, gleiches Erscheinungsbild des Untersuchungsleiters) geachtet.

Die Phase II dauerte insgesamt drei Stunden, wobei für jeden Teilbereich (Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung) etwa eine Stunde vorgesehen waren. Während die betrachteten Simulationen und die Lernzeiten für alle Schülerinnen und Schüler konstant gehalten wurden, variierten wie oben angeführt die zusätzlich zur Verfügung gestellten (Hilfs-) Visualisierungen. Der prinzipielle Aufbau der Projekte kann am Beispiel 2.3.3 nachvollzogen werden.

Zum Schluss (Phase III) bearbeiteten alle Schülerinnen und Schüler einen Nachtest zum Physikverständnis¹⁵⁵. Dieser Nachtest umfasste mehrere Skalen, die überprüfen sollten, inwieweit die Probanden Graphen interpretieren, beziehungsweise aufgrund einer Situationsbeschreibung selbst erstellen konnten¹⁵⁶. Zusätzlich füllten die Teilnehmer einen Beurteilungsbogen aus, der eine eigene Einschätzung der Untersuchung (z.B. Ablauf, Verständnis, Umgang mit der Software) abfragte¹⁵⁷.

Vortests: Physikkenntnisse, Raven-Test, MPEX		30 Minuten
Zur Verfügung stehende Informationen		
Simulation eindimensionaler Bewegungen	Simulation eindimensionaler Bewegungen + DIR + Stempeldiagramme + Liniendiagramme	
+	Liniendiagramme	
Demonstration		
Partnerarbeit		180 Minuten
Einzelarbeit		
Nachtest: Physikkenntnisse		60 Minuten

Abbildung 22: Design und Bedingungen der Untersuchung 2.

Für die Phasen II und III war für beide Gruppen getrennt ein Termin an einem Samstag außerhalb des regulären Unterrichts vorgesehen. Es wurde eine Gesamtbearbeitungszeit von 270 Minuten vorgegeben: 30 Minuten für die genannten Tests in Phase I, 180 Minuten für die Lernphase in Phase II (aufgeteilt auf zwei Blöcke mit einstündiger Pause) und 60 Minuten für den Nachtest in Phase III.

2.5.3 Auswertung und Ergebnisse

Reliabilität. Die Reliabilität eines Tests kennzeichnet den Grad der Genauigkeit, mit dem das geprüfte Merkmal gemessen wird. Für die Untersuchung wurde ein Wert von $Rel=0,94$ ($t=8,97$, $N=24$, $p<0,01$) mittels (korrigierter) Testhalbierungs-Reliabilität bestimmt. Dieser Wert kennzeichnet einen guten Test mit hoher Reliabilität. Der Cronbach Alpha beträgt 0,81, was immer noch einen befriedigenden Wert darstellt. Dieser Index unterschätzt aber die Reliabilität eines Tests¹⁵⁸.

¹⁵⁵ vgl. Anlage E

¹⁵⁶ Eine Auflistung und Erläuterung der Skalen findet sich in der Anlage F

¹⁵⁷ vgl. Anlage G

¹⁵⁸ Bortz (1995), S. 184

Itemschwierigkeit. Der Anteil der Personen, die ein Item richtig lösen, wird als Schwierigkeit dieses Items definiert. Ein Test sollte eine durchschnittliche Itemschwierigkeit zwischen 0,2 und 0,8 besitzen, denn zu leichte Tests (durchschnittliche Itemschwierigkeit nahe 1) oder zu schwere Tests (durchschnittliche Itemschwierigkeit nahe 0) sind wenig informativ, da keine Personenunterschiede sichtbar werden.

Für die Studie wurde der (gute) Wert von 0,62 für die durchschnittliche Itemschwierigkeit ermittelt. Dabei wurden Fragen zum Ort wesentlich besser beantwortet (0,88) als Fragen zur Geschwindigkeit (0,65) oder zur Beschleunigung (0,54).

Trennschärfe. Die Trennschärfe gibt an, wie gut ein einzelnes Item das Gesamtergebnis des Tests repräsentiert. Damit ist der Trennschärfe eines Items zu entnehmen, wie gut das Testergebnis aufgrund der Beantwortung eines einzelnen Items vorhersagbar ist. Sie ist definiert als die Korrelation der Beantwortung dieses Items mit dem Gesamtwert. Trennschärfekoeffizienten (Wertebereich -1 bis +1) gelten bei Werten zwischen 0,3 und 0,5 als mittelmäßig und Werte größer als 0,5 gelten als hoch.

In der Untersuchung ist der mittlere Trennschärfeindex 0,35. Allerdings variieren die Werte innerhalb der einzelnen Kategorien deutlich: Bei den insgesamt recht gut beantworteten Fragen zum Ort führt beispielsweise Unkonzentriertheit bei den besseren Schülern dazu, dass die Korrelation mit dem Nachttestergebnis verschwimmt und die Fragen damit als trennschwach kategorisiert werden: Hier erhält man einen mittleren Trennschärfeindex von nur 0,13. Bei der Beschleunigung dagegen beträgt der Index 0,50, wobei auch hier etliche Fragen zu finden sind, die trennschwach beantwortet wurden. Da man aber grundsätzlich bei sehr leichten und sehr schwierigen Items Einbußen bei der Trennschärfe in Kauf nehmen muss, wurden diese Fragen auch aus Gründen der Mehrdimensionalität des Fragebogens nicht aus dem Test entfernt.

Geschlechtsspezifische Ergebnisse. Die Analyse der Ergebnisse ergab keine geschlechtsabhängigen Auffälligkeiten, die auf das Lernen mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen zurückzuführen wären. Generell schnitten die Mädchen bei den Aufgaben zu den schwierigeren Konzepten etwas schwächer als die Jungen ab. Die Ursache hierfür dürfte allerdings anderweitig (Motivation, Zuschreibungsfehler, Koedukation) zu finden sein¹⁵⁹.

Mittelwerte. Betrachtet man die Mittelwerte des Nachttests der beiden Gruppen, so stellt man einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Gruppen fest. Noch deutlicher ist der Unterschied des Medians¹⁶⁰.

	Kontrollgruppe	Gruppe DIR
Mittelwert	58,2%	66,2%
Standardabweichung	13,6%	12,4%
Median	58,8%	70,6%

Tabelle 6: Deskriptive Statistik für den Nachttest

Während sich Mittelwert und Median der Kontrollgruppe kaum unterscheiden, ist der Median der Gruppe, die mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen unterrichtet wurde, absolut um etwa 5 Prozentpunkte größer als der Mittelwert (vgl. Tabelle 6). Da der Median ein gegenüber Ausreißern unempfindlicheres Maß darstellt, bedeutet der höhere Median demnach, dass in der DIR-Gruppe mehr Schüler besser gelernt haben. Dies wird in der Abbildung 23 veranschaulicht.

¹⁵⁹ vgl. z.B. Baumert (1997)

¹⁶⁰ Median: Der Wert, über dem und unter dem jeweils die Hälfte aller Fälle liegt.

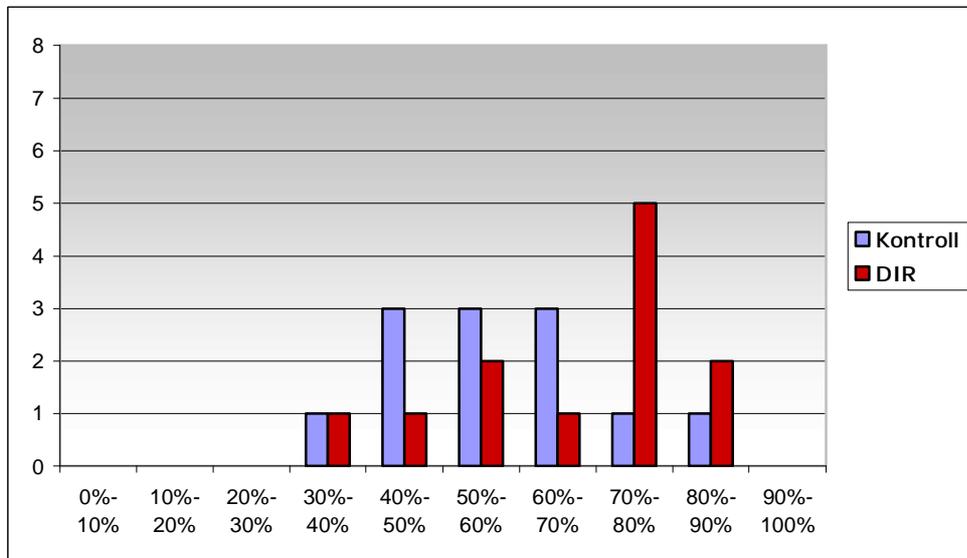


Abbildung 23: Histogramm der Ergebnisse des Nachtests, eingeteilt in Prozentbereiche der maximal erreichbaren Punktzahl.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler im Nachtest nach den physikalischen Konzepten Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung aufgegliedert. Hierin erkennt man, dass die Fragen zum Ort überzeugend und Fragen zur Geschwindigkeit immer noch gut beantwortet wurden. Im Themenkomplex „Beschleunigung“ dagegen wurde nur etwa jede zweite Frage richtig gelöst.

	Kontrollgruppe	Gruppe DIR
Ort	85,1% ± 10,7%	89,9% ± 6,8%
Geschwindigkeit	61,7% ± 12,6%	68,3% ± 8,1%
Beschleunigung	47,9% ± 19,3%	59,7% ± 22,7%

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konzepte Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung im Nachtest Physik

Die Abbildung 24 zeigt graphisch auf, dass der Unterschied zwischen den Gruppen umso größer ausfällt, je anspruchsvoller der Aufgabenbereich ist: In der richtigen (mittleren) Beantwortung der Fragen zur Beschleunigung unterscheiden sich die Schülerinnen und Schüler der beiden Gruppen immerhin um etwa 25% bezogen auf die Kontrollgruppe. Allerdings nimmt auch die Streuung mit wachsendem Aufgabenniveau zu.

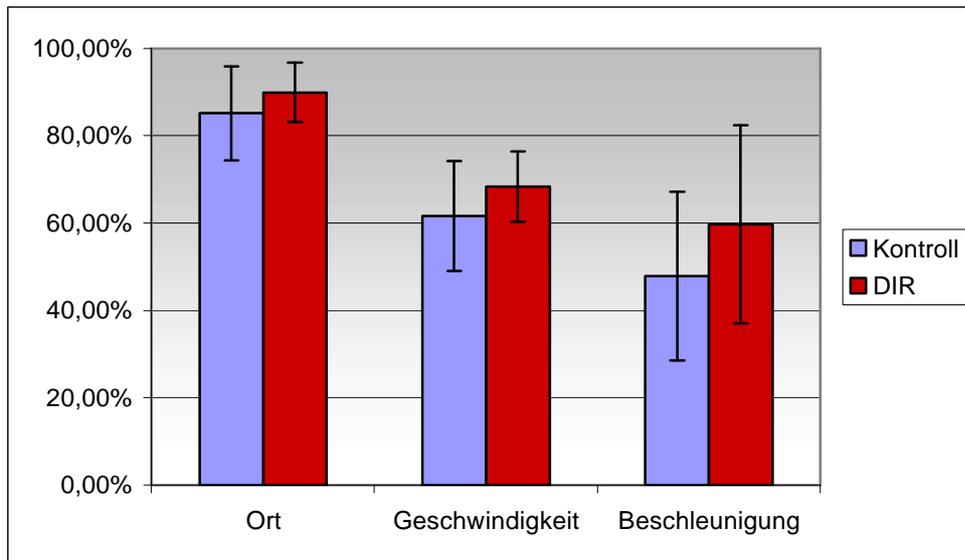


Abbildung 24: Vergleich der richtigen Antworten des Nachtstestergebnisses, aufgeteilt nach den Bereichen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung.

Faktorielle Pläne. Bei zunächst kleinem Stichprobenumfang wird ein dreifaktorieller 2x2x2-Plan mit den unabhängigen Variablen „Bedingung“, „Vortest-Dichotomisierung“ und „Raven-Dichotomisierung“ kontrolliert.

	Vortest -		Vortest +		Gesamt
	Raven -	Raven +	Raven -	Raven +	
Kontrollgruppe	44,7%	60,4%	65,9%	62,0%	58,2%
Gruppe DIR	63,2%	53,5%	68,2%	76,5%	66,2%
Gesamt	55,3%	57,7%	67,1%	69,2%	

Tabelle 8: Zellenmittelwerte des Nachtstestergebnisses für den dreifaktoriellen Plan.

Auf den ersten Blick unterscheiden sich die Zellenmittelwerte „Gesamt“ in der Raven-Dichotomisierung bei gleichen Vortestergebnissen kaum. Daher wird die unabhängige Variable „Raven-Dichotomisierung“ fallengelassen, so dass mit den vorliegenden Daten ein zweifaktorieller Plan analysiert werden kann, ohne eine erneute Untersuchung mit mehr Probanden durchführen zu müssen. Man kann der Tabelle 8 allerdings entnehmen, dass das mit dem Raven-Test erfasste visuell-räumliche Vorstellungsvermögen als abhängige Variable sehr wohl Einfluss auf die Testergebnisse nimmt.

	Vortest -	Vortest +	Gesamt
Kontrollgruppe	52,6%	63,9%	58,2%
Gruppe DIR	60,0%	72,4%	66,2%
Gesamt	56,3%	68,1%	

Tabelle 9: Zellenmittelwerte des Nachtstestergebnisses für den zweifaktoriellen Plan.

Im folgenden Interaktionsdiagramm wird die Art des Zusammenwirkens der zwei Faktoren sichtbar gemacht:

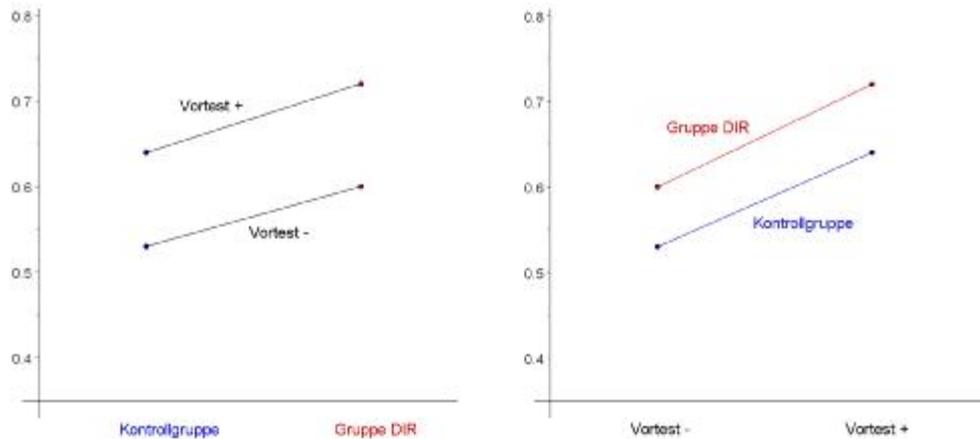


Abbildung 25: Interaktionsdiagramm für den Faktor „Gruppe“ (links) und für den Faktor „Vortest“ (rechts).

In beiden Diagrammen verlaufen die Graphen nahezu parallel zueinander. Das spricht dafür, dass die einzelnen Faktoren nur additiv zusammenwirken und keine Interaktion vorliegt. Signifikante Haupteffekte können somit global interpretiert und über den jeweils anderen Faktor hinweg generalisiert werden¹⁶¹.

Varianzanalyse. Eine univariate Varianzanalyse kann nicht bestätigen, dass sich die Mittelwerte des Nachttestergebnisses der beiden Treatment-Gruppen signifikant unterscheiden:

	F	Signifikanz
Nachttestergebnis	2,05	0,167

Tabelle 10: Anova der Mittelwerte des Nachttests (Gesamtergebnis).

Eine Aufspaltung auf die Bereiche Ort / Geschwindigkeit sowie Beschleunigung liefert ebenfalls keine bessere Aussage: Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind auch hier nicht signifikant.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind allerdings signifikant, wenn man die einzelnen Skalen¹⁶² des Nachttests betrachtet. So konnten die Schülerinnen und Schüler, die mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen gelernt haben, ausgehend von einer Situationsbeschreibung signifikant häufiger den zugehörigen Graphen richtig zeichnen (Phänomen-Graph generierend). Ebenso gelang es ihnen im umgekehrten Sinn besser, einen Bewegungsablauf, der mit Hilfe eines Diagramms beschrieben wurde, einer entsprechenden Situation zuzuordnen, die durch Worte beschrieben war (Graph-Phänomen interpretierend). Der Vollständigkeit halber sind die beiden anderen (nichtsignifikanten) Skalen ebenfalls aufgelistet.

¹⁶¹ Bortz (1995), S. 498

¹⁶² vgl. Anlage F

	F	Signifikanz
Phänomen-Graph generierend	9,33	0,006
Graph-Phänomen interpretierend	5,43	0,029
Phänomen-Graph interpretierend	0,97	-
Graph-Graph generierend	1,62	-

Tabelle 11: MAnoVa der Mittelwerte der einzelnen Skalen des Nachtests.

Effektgrößen. Bei einem Signifikanztest wird die „Unvereinbarkeit“ von Nullhypothese und empirischem Ergebnis (auf einem bestimmten Signifikanzniveau) zum Anlass genommen, die Alternativhypothese, also alle in der Nullhypothese nicht erfassten Verhältnisse, anzunehmen. Die Bestimmung dieser signifikanten Effekte hängt aber stark von der Probandenzahl ab, so dass mit einer genügend großen Stichprobe wohl jede Nullhypothese zu verwerfen wäre. „Statistische Signifikanz kann deshalb nicht allein als Gradmesser des Aussagegehalts hypotesenprüfender Untersuchungen angesehen werden.“¹⁶³ Aus diesem Grund hat Cohen die Effektgröße d vorgeschlagen, die vom Stichprobenumfang weitgehend unabhängig ist. Die Effektgröße¹⁶⁴ gibt den Unterschied der Mittelwerte μ (von zwei Stichproben A und B) im Verhältnis zur Merkmalsstreuung (mittlere Standardabweichung s) an:

$$d = \frac{m_A - m_B}{\sqrt{\frac{s_A^2 \cdot (N_A - 1) + s_B^2 \cdot (N_B - 1)}{(N_A - 1) + (N_B - 1)}}}$$

Eine Effektgröße von $d = 0,2$ wird als klein, von $d = 0,5$ als mittel und eine Effektgröße von $d = 0,8$ als groß angesehen.¹⁶⁵ Von pädagogischem Interesse sind nach Häußler Effektstärken erst ab einer Größe von $d = 0,46$.¹⁶⁶ Denn durch sie kann ein Lernerfolg zu mindestens 5 Prozent auf den jeweils zugrunde liegenden Faktor zurückgeführt werden.

In der vorliegenden Untersuchung wird eine Effektstärke von 0,58 berechnet, also ein mittlerer Effekt. Eine Aufgliederung auf die einzelnen inhaltlichen Bereiche liefert ebenfalls mittlere Effektstärken:

Ort: $d = 0,51$

Geschwindigkeit: $d = 0,60$

Beschleunigung: $d = 0,53$

2.5.4 Diskussion

Vergleicht man die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit den Ergebnissen der früheren Untersuchung¹⁶⁷ oder beispielsweise der Untersuchung von Yeo¹⁶⁸, so konnten die Schülerinnen und Schüler hier offensichtlich die dynamisch-ikonischen Repräsentationen besser für ein Verständnis von Graphen heranziehen. Sie nutzten wohl in der Erarbeitungsphase die Gelegenheit, sich Strategien anzueignen, um die Visualisierungen für einen höheren Lerngewinn einsetzen zu können.

Gerade diejenigen Fragestellungen wurden besser beantwortet, die den Zusammenhang von Graph und dem mentalen Bild der Bewegung (die Vorstellung des Bewegungsablaufs) überprüften. Bei den Fragestellungen, die zwei Graphen direkt miteinander verknüpften, waren die Schülerinnen und Schüler der DIR-Gruppe zwar nicht signifikant besser als die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe, aber zumindest nicht schlechter. Insofern schienen die dynamisch-ikonischen Repräsentationen keine so große kognitive Belastung darzustellen, dass andere Lerninhalte überdeckt wurden. Auch im

¹⁶³ Bortz (1995), S. 563

¹⁶⁴ Hier wird nur die Effektgröße des t-Tests für unabhängige Stichproben vorgestellt.

¹⁶⁵ Bortz (1995), S. 568

¹⁶⁶ Häußler (1998)

¹⁶⁷ vgl. 2.4

¹⁶⁸ Yeo (2004)

Beurteilungsbogen am Ende der Untersuchung schätzten sich die Teilnehmer bei den entsprechenden Items recht positiv ein, wie nachfolgende Tabelle belegt:

	Kontrollgruppe	Gruppe DIR
Die Arbeit mit dem Computer fiel mir leicht	1,17 ± 0,37	1,67 ± 1,11
Ich konnte mit der Software PAKMA gut umgehen	1,33 ± 0,47	1,17 ± 0,37

Tabelle 12: Mittelwerte der Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler auf einer Skala von 1 („Ich stimme voll zu“) bis 5 („Ich stimme überhaupt nicht zu“)

Besonders effektiv wurden die dynamisch-ikonischen Repräsentationen dabei im „mittelschweren“ Bereich Geschwindigkeit für das Verständnis genutzt, wie die Analyse der Effektivstärken belegt. Dies kann daran liegen, dass das Verständnis vom Ort wohl zu einfach (Itemschwierigkeit 0,88), dagegen der Beschleunigungsbegriff in der kurzen Testphase noch nicht genug gefestigt war.¹⁶⁹

In der Erarbeitungsphase schien insbesondere die Partnerarbeit großen Einfluss auf das Lernergebnis zu haben: Während in beiden Gruppen nur ganz vereinzelt (jeweils weniger als fünf echte) Fragen an den Tutor gestellt wurden, fanden die Schülerinnen und Schüler in der abschließenden Beurteilung die Partnerarbeit als hilfreich für das Verständnis. Auf einer Skala von 1 („Ich stimme voll zu“) bis 5 („Ich stimme überhaupt nicht zu“) wählten sie im Durchschnitt 2,04. Auffällig ist ein signifikanter Unterschied ($F=3.8$, $p<0.05$) zwischen den beiden Gruppen: Während der Durchschnittswert in der Kontrollgruppe bei 2,42 liegt, erreicht er bei der DIR-Gruppe einen Wert von 1,67. Das bedeutet wohl, dass in dieser Gruppe mehr Bedarf darin bestand, mit seinem Partner über die Visualisierungen zu sprechen und sich Unverstandenes wechselseitig zu erklären als in der Kontrollgruppe. Merkwürdigerweise wird eine ähnliche Fragestellung: „Ich arbeite lieber alleine als mit einem Partner“ dann von der Kontrollgruppe stärker bejaht (2,58) als von der Treatmentgruppe (3,42). Auch dieser Unterschied ist signifikant ($F=3.5$, $p<0.05$). Im Vorfeld der Untersuchung und auch während der Arbeit am Computer konnten jedoch keine Dissonanzen zwischen den Probanden festgestellt werden, die sich ja vom Schulunterricht kannten. Zudem durften sich die Schülerinnen und Schüler ihren Partner selbst aussuchen, mit dem sie in der Treatmentphase zusammenarbeiten wollten, so dass man nicht von einem schlechteren Partnerverhältnis in der Kontrollgruppe ausgehen dürfte.

¹⁶⁹ Im Beurteilungsbogen wird die Frage „Ich habe nun eine klare Vorstellung vom Beschleunigungsbegriff“ im Durchschnitt mit 2,67 auf einer Skala von 1-5 angegeben.

3 Mechaniklernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen in der Unterstufe

3.1	Darstellung und Begründung des Vorhabens	47
3.1.1	Mechanik in der Unterstufe.....	47
3.1.2	Dynamisch-ikonische Repräsentationen in der Unterstufe	48
3.2	Präkonzepte in der Mechanik.....	49
3.2.1	Geschwindigkeit	50
3.2.2	Beschleunigung.....	50
3.2.3	Kräfte	51
3.2.4	Mathematische Grundlagen	52
3.3	Entwicklung eines Unterrichtskonzepts	54
3.3.1	Vorgesehenes Lehrplankonzept	55
3.3.2	Diskussion des Lehrplankonzepts	57
3.3.3	Leitideen	58
3.3.4	Planung der Unterrichtssequenz	60
3.3.5	Beschreibung der Unterrichtskonzeption.....	60
3.3.6	Einsatz der dynamisch-ikonischen Repräsentationen.....	62
3.4	Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors in der siebten Jahrgangsstufe	65
3.4.1	Gesamtanlage der Untersuchung und Hypothesen	65
3.4.2	Untersuchungsmethode	66
3.4.3	Auswertung und Ergebnisse.....	68
3.4.4	Diskussion.....	72

Mit der Einführung des neuen G8-Lehrplans für das bayerische Gymnasium wurden im Fachbereich Physik viele Inhalte aus der elften Jahrgangsstufe (des alten G9) in die siebte Klasse transferiert. Da dynamisch-ikonische Repräsentationen bei geeigneter kontextueller Einbindung im Unterricht zumindest in der Oberstufe konstruktiv zum Wissenserwerb eingesetzt werden konnten¹⁷⁰, liegt die Idee nahe, die dynamisch-ikonischen Repräsentationen auch in der Unterstufe einzusetzen. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich nun mit der Frage, ob das Lernen physikalischer Konzepte in dieser Altersstufe durch dynamisch-ikonische Repräsentationen unterstützt werden kann.

In einem ersten Abschnitt wird darüber reflektiert, inwieweit diese Idee sinnvoll und realisierbar ist. Nach einer Sachanalyse der Mechanik in der siebten Jahrgangsstufe und der Vorstellung bekannter Präkonzepte von Unterstufenschülern über Mechanik in Kapitel 2, wird im dritten Kapitel ein Unterrichtskonzept vorgestellt, in dem auf dynamisch-ikonische Repräsentationen zurückgegriffen wird. Der Einsatz der DIR wurde in einer kleinen Studie mit zwei Klassen evaluiert. Das Design der Studie und die aus ihr erhaltenen Erkenntnisse werden abschließend vorgestellt und diskutiert.

¹⁷⁰ vgl. Blaschke (1999); vgl. 2.5

3.1 Darstellung und Begründung des Vorhabens

Das Vorhaben „Mechaniklernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen in der Unterstufe“ wirft einige Fragen auf: Was halten Didaktiker davon, dass der neue Lehrplan die Einführung in die Mechanik bereits für die Unterstufe vorsieht? In welchem Umfang können und sollen Zusammenhänge aus der Mechanik im Anfangsunterricht „Physik“ erarbeitet werden? Desweiteren muss man sich fragen, ob dynamisch-ikonische Repräsentationen überhaupt für Unterstufenschüler geeignet sind, wo diese Codierungen doch bereits älteren Schülern und Studenten große Probleme bereiten, wie etliche Studien belegen¹⁷¹. Im Folgenden soll nun diskutiert werden, inwieweit das geplante Vorhaben sinnvoll umgesetzt werden kann.

3.1.1 Mechanik in der Unterstufe

Parallel zum Abschluss des DFG-Projekts „Erwerb qualitativer physikalischer Konzepte durch dynamisch-ikonische Repräsentationen von Strukturzusammenhängen“ (vgl. Kapitel 2) wurde der neue Bayerische Gymnasiallehrplan in der siebten Jahrgangsstufe eingeführt. Neben der Tatsache, dass es das Fach Natur und Technik mit Schwerpunkt Physik überhaupt zum ersten Mal in dieser Jahrgangsstufe im Gymnasium gab, war die auffälligste Neuerung, dass viele Inhalte aus höheren Jahrgangsstufen in die siebte Jahrgangsstufe vorgezogen wurden. So finden sich hier unter anderem Teile der Dynamik aus der elften Jahrgangsstufe des G9 wieder.

Das Kapitel NT 7.1.3 „Kräfte in der Natur und in der Technik“ beschreibt einen von drei Blöcken im Schwerpunkt Physik des Faches Natur und Technik in der siebten Jahrgangsstufe. Für dieses Kapitel sind laut Lehrplan ungefähr 22 Unterrichtsstunden veranschlagt, das entspricht in einem Kurs mit zwei Wochenstunden etwa einer Dauer von 11 Wochen.

Innerhalb dieser Zeit sollen die Schülerinnen und Schüler anhand einfacher Bewegungen die grundlegenden bewegungsbeschreibenden Größen Zeit, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung kennen lernen (Kinematik). Des Weiteren sollen sie die Kraft als Ursache für Veränderungen von Bewegungen erkennen (Dynamik). Innerhalb des Kapitels „Dynamik“ sollen unter anderem Kräftegleichgewicht, Trägheitssatz, Wechselwirkungsgesetz und Kraft als Produkt von Masse und Beschleunigung erarbeitet werden. Kraftpfeile (mit Addition und Zerlegungen von Kräften), mit denen die Schülerinnen und Schüler alltägliche Phänomene und technische Anwendungen erklären sollen, sind ausdrücklich im Lehrplan erwähnt. Daneben wird ein Überblick über verschiedene Kraftarten und ihre Ursachen verlangt. So sollen Masse als Ursache für die Gravitationskraft, elektrische Ladung als Ursache für die elektrische Kraft, sowie Reibungskraft und magnetische Kraft angesprochen werden. Der Lehrplan wird im Kapitel 3.3.1 genauer vorgestellt.

Jung war einer der ersten, der der Frage nachging, in welchem Ausmaß in der Unterstufe korrekte kinematisch-dynamische Begriffe gelernt werden können¹⁷². Als Gründe für einen frühzeitigen Beginn führt er unter anderem an, dass es sich bei der Mechanik um einen „traditionellen Stoff auf elementarem Niveau, nicht um entwickelte und komplizierte Theorien und Begriffsbildungen“¹⁷³ handelt. Die Schülerinnen und Schüler nehmen in ihrem Alltag permanent mechanische Phänomene wahr, wie etwa beim Fahrradfahren, beim Spielen mit dem Baukasten oder der Kugelbahn. Diese Phänomene versuchen sie sich zu erklären, wobei bevorzugt die aristotelische Sichtweise zum Tragen kommt. Gut ist es dann, wenn der Laie professionelle Hilfestellung erhält und ein Lehrer den Weg hin zu einer fachlich richtigen und erweiterbaren Grundkonzeption weist. Das Alter der Schülerinnen und Schüler scheint aus psychologischer Sicht in der siebten Jahrgangsstufe günstig, denn die geistigen Fähigkeiten sind nach Piaget in dieser Altersgruppe übergegangen von den konkreten zu den formalen Operationen¹⁷⁴. Im Mechanikunterricht der Unterstufe kann dieser Übergang aufgegriffen werden, indem ausgehend vom konkret beobachtbaren Phänomen hin zu einer formalen Begründungskette ein Netz von grund-

¹⁷¹ vgl. 1.4.3

¹⁷² Jung (1977)

¹⁷³ Jung (1977), S. 7

¹⁷⁴ z.B. Schenk-Danzinger (1988)

legenden Strukturen und Begriffen erarbeitet wird, das später ausgebaut werden kann. Jung geht so weit, dass er in der Schlussfolgerung seiner Untersuchung behauptet, „es bilden sich starke Lernbarrieren für die Newtonsche Mechanik heraus“, wenn nicht bereits in der Grundschule in die Mechanik eingeführt und die Dynamik in der siebten Klasse konsequent aufgegriffen wird¹⁷⁵. Da die Schüler in jungen Jahren interessierter an mechanischen Phänomenen und flexibler im Denken sind als ältere Schüler mit ihren fest verankerten Alltagsvorstellungen, spricht sich Osborne ebenfalls für einen frühen Beginn der Newtonschen Dynamik aus¹⁷⁶.

Auch Wodzinski ist letztlich der Überzeugung, dass die Dynamik bereits in der Mittelstufe eingeführt werden sollte, da dadurch zum einen der Oberstufenunterricht entlastet wird, und im Physikunterricht zum anderen gar nicht der zeitliche Rahmen zur Verfügung gestellt werden kann, um die Newtonsche Mechanik verständlich zu machen und einen Perspektivenwechsel vom Alltagsverständnis hin zu einer physikalischen Sicht der Dinge anzuregen. „Deshalb sollte man möglichst früh den Blick für diese neue Perspektive schärfen und diese immer wieder aufgreifen, damit sie reifen und verwurzeln kann.“¹⁷⁷ Zudem betont Wiesner¹⁷⁸, dass die bisher übliche Einführung in die Mechanik über die Statik Fehlvorstellungen festigen kann, anstatt die Grenzen dieser Fehlvorstellungen aufzuzeigen. So rät auch Leisen, „mit Bewegungen zu starten und die Statik als Appendix zu behandeln“¹⁷⁹.

Obwohl es eventuell widersprüchliche Aussagen über die Art des Einstiegs in die Mechanik bzw. Dynamik gibt, lässt sich insgesamt doch sagen, dass großer Konsens darin besteht, so früh als möglich mit der Mechanik im Unterricht zu beginnen.

3.1.2 Dynamisch-ikonische Repräsentationen in der Unterstufe

Eine Ursache dafür, dass die Schülerinnen und Schüler beim Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen in der Oberstufe nicht so erfolgreich abgeschnitten haben, wie wir zunächst vermuteten, könnte unserer Meinung nach daran liegen, dass dynamisch-ikonische Repräsentationen erst nach vollzogenem Wissensaufbau quasi als Bestätigung des Gelernten eingesetzt wurden. Die meisten Schülerinnen und Schüler besitzen zu diesem späten Zeitpunkt (etwa 18. Lebensjahr) bereits ein mentales Modell von den Zusammenhängen in der Mechanik. Doch leider entspricht dieses mentale Modell nicht unbedingt dem richtigen Verständnis der Zusammenhänge. Der Wechsel hin zu einem richtigen Konzept stellt für den Schüler jedoch meist ein schwieriges Unterfangen dar, zu dessen Unterstützung wir die dynamisch-ikonischen Repräsentationen einsetzen wollten. Untersuchungen von Lewalter zeigen, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Arbeit mit (komplexen) Animationen signifikant häufiger bestätigende Aussagen über ihr Verständnis der Lerninhalte machten und dadurch den Eindruck gewannen, den Lernstoff verstanden zu haben¹⁸⁰. Wenn dies beim ersten Erlernen eines neuen Sachgebiets zutrifft, dann wohl in besonderem Maße, wenn der Schüler der Oberstufe meint, die Inhalte aufgrund des bisherigen Unterrichts und der gefestigten Lebensweltkonzepte bereits verstanden zu haben. So gesehen scheinen dynamisch-ikonische Repräsentationen in der Oberstufe dann vergleichsweise wenig Nutzen zu bringen und sollten daher möglichst frühzeitig eingesetzt werden.

Etlliche Untersuchungen belegen, dass (dynamisch-ikonische) Repräsentationen wie auch Animationen nicht per se den Lernprozess unterstützen, sondern erst vom Schüler ausreichend verstanden werden müssen. Lowe schreibt dazu: „Die Konstruktion eines mentalen Modells hoher Güte hängt von den Fähigkeiten des Lernenden ab, einer komplexen visuellen Darstellung relevante Informationen zu entnehmen.“¹⁸¹ Wie im Kapitel 1.4 ausgeführt, kann man auch mit einer gut gestalteten multimedialen Lernumgebung nicht

¹⁷⁵ Jung (1977), S. 66 bzw. S. 68

¹⁷⁶ Osborne (1985)

¹⁷⁷ Wodzinski (1996), S. 54

¹⁷⁸ Wiesner (1994)

¹⁷⁹ Leisen (2004)

¹⁸⁰ Lewalter (1997)

¹⁸¹ Lowe (1998), S. 125

erwarten, dass die Schülerinnen und Schüler die Intentionen des Autors erkennen und zu einem Erkenntnisgewinn nutzen. Ein Tutor scheint hierbei eine Hilfestellung zu sein¹⁸².

Je früher man beginnt, Schülerinnen und Schüler systematisch im Umgang mit Medien zu schulen, desto Erfolg versprechender erscheint dieser Lernprozess. Etwas allgemeiner formuliert, aber ähnlich wird auch in einem BLK-Gutachten argumentiert¹⁸³.

Elschenbroich¹⁸⁴ befürwortet, dass Schülerinnen und Schüler mediendidaktisch stärker gefördert werden und so eine überfachliche Medien- und Lernmethodenkompetenz erreichen. Er kritisiert gleichzeitig, dass Medien in den neu formulierten Bildungsstandards explizit kaum auftauchen. Gerade deshalb sollte man versuchen, die Schülerinnen und Schüler rechtzeitig in vielen Fächern mit verschiedenen Repräsentationsformen vertraut zu machen, um so dem Zustand der fehlenden Standards entgegentreten zu können.

Natürlich sollte sich der Lehrer, der entscheidet, wann er welche Repräsentation zu welchem Zweck einsetzt, der Wirkung der Repräsentation beim Schüler bewusst sein. Rieber behauptet, dass hierbei häufig „armchair methods“ eingesetzt werden, die zu unerwünschten Effekten führen können. Dabei kann man dem Lehrer keine allzu großen Vorwürfe machen, da auch die Forschung in diesem Bereich noch nicht sehr weit gediehen ist – der Stand ist, dass das Lernen mit Simulationen stark kontextabhängig ist¹⁸⁵. Zudem fehlen, auch wegen der mangelnden Präsenz von Medienkompetenzen in den Bildungsstandards, ausreichende Hilfestellungen oder konkrete Beispiele für die Lehrkräfte und adäquate Lehrerfortbildungen.

Abgesehen von den genannten allgemeinen Mängeln in der schulischen Medienerziehung, scheint es aber keine Einwände gegen einen frühen Einstieg in die Arbeit mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen zu geben. Wodzinski hat zudem in ihrer Arbeit gezeigt, dass bereits Grundschüler mit einfachen ikonischen Repräsentationen arbeiten können. Selbstverständlich müssen die Schülerinnen und Schüler dabei im Umgang mit den neuen Repräsentationsformen trainiert werden. Die gemachten Erfahrungen können dann stufenweise ausgebaut werden, so dass die Kinder im Laufe ihrer Schulzeit immer besser in der Lage sein sollten, beispielsweise auch dynamisch-ikonische Repräsentationen zum Wissenserwerb nutzen zu können, ohne dass die kognitiven Anforderungen beim Decodieren des eigentlichen Lerninhalts zu groß werden.

3.2 Präkonzepte in der Mechanik

Nach den Ausführungen des vorherigen Kapitels erscheint es plausibel, dynamisch-ikonische Repräsentationen in der Unterstufe bei der Thematik „Mechanik“ einzusetzen. Ideal wäre es nun, wenn eine entsprechende Untersuchung ähnliche Inhalte aufgreifen könnte, wie in der elften Jahrgangsstufe, um die Ergebnisse direkt miteinander vergleichen zu können. Leider erweist sich dieses Vorhaben bei näherer Betrachtung als unmöglich, da das Vorwissen und die Lernvoraussetzungen von Siebt- und Elftklässlern zu unterschiedlich sind. Dabei spielt nicht unbedingt das weniger stark ausgeprägte Vorwissen im Bereich der Mechanik eine Rolle, sondern vielmehr fehlendes mathematisches Grundwissen. Neben der kritischen Analyse ausgewählter Kapitel aus der Mechanik soll in diesem Abschnitt daher auch das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler (laut G8-Lehrplan) aus der Mathematik vorgestellt werden.

Anmerkung: Die Inhalte der Untersuchung 1 und der hier vorliegenden Untersuchung unterscheiden sich stark – auch wenn sich beide Untersuchungen auf den Bereich der Mechanik beziehen. Während die erste Untersuchung ihren Schwerpunkt auf die Kinematik (Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung) und das Graphenverständnis setzte, bezieht sich die vorliegende Untersuchung gemäß dem G8-Lehrplan¹⁸⁶ überwiegend auf den dynamischen Aspekt der Mechanik: Welche Auswirkungen haben Kräfte auf eine Bewegung? Zusammenhänge sollen und können hier zudem nicht mit Hilfe von Diagrammen

¹⁸² Yeo (2004); vgl. 2.5

¹⁸³ Baumert (1997)

¹⁸⁴ Elschenbroich (2005)

¹⁸⁵ Rieber (2002)

¹⁸⁶ vgl. 3.3.1

aufgezeigt werden. Daher ist eine neue Diskussion ausgewählter Kapitel aus der Mechanik nötig.

3.2.1 Geschwindigkeit

Verschiedene Untersuchungen belegen, dass Schülerinnen und Schüler bereits in jungen Jahren ein gutes Verständnis von Schnelligkeit besitzen¹⁸⁷. Auch der Begriff der Geschwindigkeit (als gerichtete Schnelligkeit, s.u.) bereitet in der Unterstufe nur geringe Probleme. Jung versucht in seiner Untersuchung zu belegen, dass der Schwierigkeitsindex beim Übergang von der vierten auf die fünfte Jahrgangsstufe sprunghaft steigt und danach immer größer wird, d.h. dass Schülerinnen und Schüler in der vierten Klasse Inhalte zum Geschwindigkeitsbegriff leichter lernen als ältere Schülerinnen und Schüler. Meiner Meinung nach sind die Ergebnisse wohl auch mit den unterschiedlichen IQ-Werten der untersuchten Probanden zu erklären, was Jung allerdings nicht weiter beachtet. Allgemein sollte man aber erwarten, dass Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe eines Gymnasiums keine Schwierigkeit damit haben, sich unter dem Begriff „Geschwindigkeit“ eine gerichtete Größe vorzustellen, die eine Aussage über die Schnelligkeit macht¹⁸⁸.

Für die Beschreibung einer Momentansituation bestätigen Schülerinnen und Schüler diese Erwartung in weiten Teilen und geben den Geschwindigkeitsbetrag und die Richtung der Geschwindigkeit meist korrekt wieder¹⁸⁹. Ungleich schwieriger wird es bei der globalen Beschreibung von Bewegungsabläufen, denn dann gehen die Schülerinnen und Schüler dazu über, eine durchschnittliche Schnelligkeit anzugeben, wie sie es aus dem Alltag kennen („Die Geschwindigkeit auf der Autobahn betrug immer 130km/h“, „Bei der Kurvenfahrt bleibt die Geschwindigkeit konstant“). Dabei bleibt die *Richtung* der Geschwindigkeit meist unbeachtet.

Sollen Schülerinnen und Schüler Richtungen verschiedener Bewegungen miteinander vergleichen, so taucht eine weitere inadäquate Vorstellung auf: Zwei Körper haben dann die gleiche Richtung, wenn sie auf den gleichen Punkt zulaufen¹⁹⁰. Bei der Kreisbewegung versuchen die Schüler das Problem der sich ändernden Richtung zu umgehen, indem sie die Geschwindigkeitsrichtung als „immer im Kreis herum“ angeben und entsprechend den Vektor als gebogenen Pfeil einzeichnen.

3.2.2 Beschleunigung

Der Beschleunigungsbegriff ist für die meisten Lerner recht komplex, da es sich um eine zweite Ableitung der Ortsfunktion handelt¹⁹¹. Deshalb versucht Jung sogar, den Beschleunigungsbegriff zu umgehen¹⁹². Der Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe schreibt den Beschleunigungsbegriff aber explizit vor, so dass sich die Frage stellt, inwieweit Schülerinnen und Schüler dieser Jahrgangsstufe den Begriff verstehen können. Man kann im Verständnis von Beschleunigung vier verschiedene Abstraktionsniveaus unterscheiden.

Vor dem Unterricht unterscheiden die Schüler nicht explizit zwischen den verschiedenen bewegungsbeschreibenden Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung¹⁹³. Beide Größen sehen sie als Vektoren, die in Bewegungsrichtung orientiert sind, deren Beträge allerdings verschieden sind, da die beiden Größen ja auf jeweils andere Weise berechnet werden.

Ein Schüler zeigt mehr Verständnis, wenn er die Beschleunigung als Geschwindigkeits-*änderung* betrachtet. Hier wird bereits der Zusammenhang von Beschleunigung und Geschwindigkeit deutlich. Allerdings sehen die meisten Schüler diesen Zusammenhang noch nicht auf ein Zeitintervall bezogen und nur skalar, eben als Unterschied von zwei Geschwindigkeitsbeträgen.

¹⁸⁷ Jung (1977); Rhöneck (1983)

¹⁸⁸ Wilhelm (2005)

¹⁸⁹ Wodzinski (1996)

¹⁹⁰ Wodzinski (1996)

¹⁹¹ vgl. 2.1.1

¹⁹² Jung (1977)

¹⁹³ Dykstra (1992)

Die Einsicht, dass es auf das Zeitintervall ankommt, in dem die Geschwindigkeitsänderung stattgefunden hat, erhalten die meisten Schüler dann beispielsweise mit Angaben auf dem beliebten Kinderspiel „Autoquartett“: Von Null auf Hundert in 7,2 Sekunden ist „besser“ als die gleiche Geschwindigkeitsänderung in 8,3 Sekunden.

Die Beschleunigung als vektorielle Größe zu erfassen, gelingt dagegen nur wenigen Schülerinnen und Schülern¹⁹⁴. Ein Grund dafür ist, dass im Unterricht viel zu selten Beispiele auftauchen, bei denen es ausdrücklich auf den vektoriellen Aspekt der Beschleunigung ankommt. Vielfach finden sich nur einfache Rechenaufgaben, in denen die alte und die neue Geschwindigkeit (jeweils skalar!) sowie das Zeitintervall angegeben sind, in dem die Änderung stattgefunden hat. Schwierig wird es aber beispielsweise dann, wenn bei der Kreisbewegung mit konstantem Tempo die richtige Beschleunigung zu finden und zu begründen ist¹⁹⁵. Nur etwa 10 Prozent der Schülerinnen und Schüler geben nach dem Mechanikunterricht in der elften Jahrgangsstufe die Beschleunigungsrichtung bei einer zweidimensionalen Bewegung richtig an, mehr als die Hälfte beschreibt die Beschleunigung dagegen tangential zur Bewegungsrichtung¹⁹⁶. Selbst bei eindimensionalen Bewegungen haben die Schülerinnen und Schüler enorme Schwierigkeiten mit der Richtung der Beschleunigung: Beim senkrechten Wurf etwa geben nur 17 Prozent der Schülerinnen und Schüler die Richtung der Beschleunigung bei der Auf- und Abwärtsbewegung richtig an¹⁹⁷. 41 Prozent geben die Richtung der Geschwindigkeit auch als Beschleunigungsrichtung an und 36 Prozent nehmen an, dass langsamer werden (Aufwärts) negative Beschleunigung, schneller werden (Abwärts) dagegen positive Beschleunigung bedeutet. Besonders deutlich tritt der schülerimmanent stets latent vorhandene direkte Zusammenhang von Geschwindigkeit und Beschleunigung im Umkehrpunkt des senkrechten Wurfs zutage. Hier argumentieren die Schülerinnen und Schüler häufig wie folgt: Da die Geschwindigkeit im Umkehrpunkt einen kurzen Moment Null ist, muss auch die Beschleunigung im Umkehrpunkt den Wert Null besitzen. Diese Vorstellung kann man zum Teil wohl damit erklären, dass sich für die Schülerinnen und Schüler die momentane Geschwindigkeit (im Umkehrpunkt) nicht auf einen Zeitpunkt bezieht, sondern auf ein Zeitintervall¹⁹⁸. Die Schülerantwort zeigt dennoch, dass das Beschleunigungskonzept mental nicht gut verankert ist.

3.2.3 Kräfte

Die Schwierigkeiten, die Lernende häufig mit dem Kraftbegriff haben, hängen wesentlich mit den vielfältigen Bedeutungen von Kraft im alltäglichen Sprachgebrauch zusammen. Bekannt sind beispielsweise die folgenden Begriffe: Wasserkraft, Arbeitskraft, Willenskraft, Sehkraft, Kraftausdruck. Für Schüler ist „Kraft“ im Physikunterricht ein Clusterbegriff für Energie, Kraft, Schwung, Wucht, Stärke, Gewalt¹⁹⁹.

Jung nennt folgende Bedeutungen, die Kraft in verschiedenen Zusammenhängen für den Schüler haben kann²⁰⁰:

- „Aktive äußere Kräfte, die ‚angreifen‘. Sie sind in das Aktivitätsschema eingeordnet.
- Widerstände, die keine richtigen Kräfte sind, sondern Wirkungen von Passivität andeuten.
- Kraft als Potenz, die man ‚hat‘, die man ausüben kann, aber nicht muss.
- Kraft als übertragene Kraft, im Sinne von Kraftstoßfähigkeit. Die meisten Schüler machen keinen Unterschied zwischen Kraft und Kraftstoß. Damit ist auch die Vorstellung von Kraft als einer Art Energie verbunden.
- Kraft als selbstständige Entität, die ‚lauert‘ und Befehle ausführt.“

Der Fachmann mag den verschiedenen Bedeutungen die exakten physikalischen Begriffe zuordnen können wie etwa „Energie“ oder „Impuls“. Schülerinnen und Schüler können

¹⁹⁴ Reif (1992)

¹⁹⁵ vgl. 3.3.3

¹⁹⁶ Wilhelm (2005), S. 16

¹⁹⁷ Wilhelm (2005), S. 182

¹⁹⁸ Trowbridge (1981)

¹⁹⁹ Schecker (1985)

²⁰⁰ Jung (1981), S. 15

diese verschiedenen Bedeutungen von „Kraft“ aber nicht feinsinnig unterscheiden. Demnach werden auch die physikalischen Begriffe vermischt oder durch umgangssprachliche Ausdrücke wie etwa Schwung ersetzt. Nicht etwa, weil der Schüler die Begriffe verwechselt, sondern weil er die Konzepte, die den Begriffen zugrunde liegen, nicht kennt oder versteht²⁰¹. So wird einem bewegten Gegenstand auch eine Kraft zugeschrieben, die umso größer ist, je schneller sich der Körper bewegt²⁰². Richtig wäre es aber, hier den Impuls-, allenfalls den Energiebegriff zu verwenden.

Dazu sehen Schüler Kräfte häufig verdinglicht, nämlich als die Ursache für Verformung oder Bewegung. Beispielsweise muss die Anziehung eines Steins (von der Erde) eine Ursache haben. Da die Erde augenscheinlich passiv ist und unverändert bleibt, macht der Schüler die (Anziehungs-)Kraft als die Ursache des Fallens aus. Das physikalische Verständnis von Kraft als eine formale Beschreibung von Wechselwirkungen ist dabei den Schülerinnen und Schülern häufig nicht fachgemäß bewusst. Die Hauptursache dafür, dass das Wechselwirkungsgesetz nicht richtig verstanden wird, dürfte das Aktivitätsschema sein, das Körpern aktive und passive Rollen zuordnet. So zieht etwa die Erde den Stein und der Magnet das Eisenstück an, keinesfalls scheint die Umkehrung (Stein zieht die Erde und Eisen den Magneten an) wahr zu sein. Mit dieser Rollenzuordnung werden beide an einem Wechselwirkungsprozess beteiligten Partner nicht mehr als gleichwertig angesehen. Dies ist aber gerade die Grundlage für das Wechselwirkungsgesetz und damit auch für ein richtiges Kraftverständnis.

3.2.4 Mathematische Grundlagen

Die Mathematik kann für die größten Physiker zum nahezu unüberwindbaren Hindernis werden, wie es zum Beispiel Einstein bei der Tensorrechnung erfahren konnte. Auch für die „kleinen Physiker“ ist die Mathematik häufig ein leidvolles Thema, das unglücklicherweise immer wieder im Physikunterricht auftaucht²⁰³. Daher scheint es gut, dass im Natur- und Technik-Unterricht der siebten Jahrgangsstufe die Mathematik nur eine untergeordnete Rolle spielen soll.

Werden mathematische Kenntnisse im Physikunterricht aber doch benötigt, dann ist es für einen flüssigen Unterrichtsfortgang hilfreich, wenn die Schülerinnen und Schüler die entsprechenden Grundkenntnisse besitzen, ohne dass diese erst mühsam erarbeitet werden müssen. Eigentlich sollte dies nicht die Aufgabe der Physik sein. In der siebten Jahrgangsstufe des G8 stößt man aber leider ziemlich schnell an die mathematischen Grenzen der Lernenden.

Vektorrechnung. Das schwerwiegendste Defizit, das die Probanden für die vorliegende Untersuchung mitbringen, ist wohl die fehlende Vektorrechnung. Während im Mathematikunterricht die Vektorrechnung völlig ausgeklammert wurde, schreibt der Lehrplan „Natur und Technik“ die Addition und Zerlegung von Vektoren verbindlich vor. Das bedeutet nichts anderes als eine Verlagerung der Vektorrechnung von der Mathematik auf Natur und Technik.

Im Natur und Technik-Unterricht werden die Vektoren in zweierlei Hinsicht benötigt. Zum einen sollen sie Kräfte ikonisch darstellen, zum anderen sollen sie in unserem Konzept zur Herleitung von Geschwindigkeit und Beschleunigung (Geschwindigkeitsänderung) eingesetzt werden.

Der Vektorpfeil zur Veranschaulichung von Kräften mag den Schülerinnen und Schülern auch in der Unterstufe recht plausibel erscheinen. Doch kann sich ein leichtfertiger Umgang mit den Vektoren später rächen. In einem aktuellen Schulbuch finden wir etwa: „Wir zeichnen Kräfte als Pfeile: Sie beginnen im Angriffspunkt und zeigen in Richtung der Kraft. Unterschiedlich lange Kraftpfeile stellen verschieden große Kräfte dar.“²⁰⁴ Die folgenden zwei Abbildungen, die auf gegenüberliegenden Seiten in dem gleichen Schulbuch abgedruckt sind, zeugen aber von einem zu unkritischen ersten Umgang mit den Vekto-

²⁰¹ Schecker (1985)

²⁰² Clement (1982)

²⁰³ Dittmann (1989)

²⁰⁴ Christl (2005), S. 126

ren. Anscheinend ist selbst für den Experten ein stringentes Vektorkonzept nicht so einfach durchzuhalten.

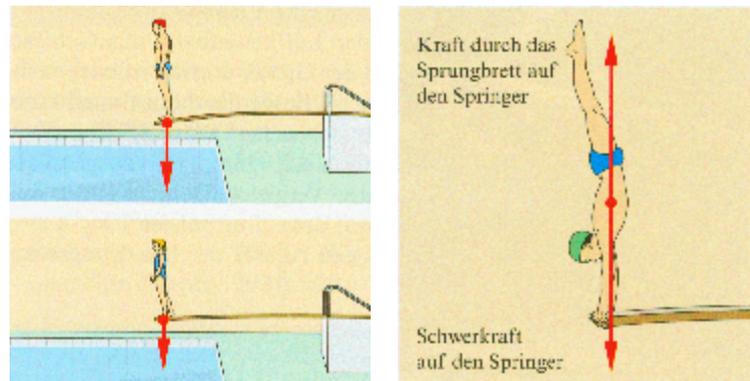


Abbildung 26: Die beiden Abbildungen²⁰⁵ (aus einem aktuellen Lehrbuch) muss man kritisch betrachten: Sind die beiden Kräfte im rechten Bild tatsächlich so viel größer als die Kraft im linken Bild? Warum finden wir im rechten Bild auch die Gegenkraft, nicht dagegen im linken? Warum greifen die Kräfte an unterschiedlichen Punkten an?

Weitere Schwierigkeiten mit Vektoren tauchen auf, wenn man sie zur Herleitung und Begründung von Geschwindigkeit und Beschleunigung einsetzen möchte. Dieses Konzept verlangt eine Bildung von Differenzen zweier Vektoren. Welche Schwierigkeiten Lerner damit haben, wurde im Kapitel 2.2.1 dargelegt.

Bei Wodzinski finden sich darüber hinaus Befragungsprotokolle, die die Probleme dokumentieren, die einzelne Schülerinnen und Schüler der Unterstufe mit Vektoren²⁰⁶ oder der Bedeutung des Differenzvektors²⁰⁷ haben.

Diagramme und Graphen. Die Schwierigkeiten, die Schüler im Umgang mit Diagrammen im Physikunterricht haben, wurden im Kapitel 2.2.2 dargestellt.

In der vorliegenden Untersuchung kommt erschwerend hinzu, dass die Probanden im gesamten Unterricht bis zur siebten Klasse noch keine Liniendiagramme kennen gelernt haben. Im Mathematikunterricht der sechsten Jahrgangsstufe sollen zwar einfache Diagramme interpretiert und erstellt werden. Dabei geht es aber in erster Linie um die Veranschaulichung von Prozentsätzen in Balken-, Säulen- oder Kreisdiagrammen. Da der Funktionsbegriff erst in der achten Jahrgangsstufe Bestandteil des Mathematiklehrplans ist, spielt die Veranschaulichung von funktionalen Zusammenhängen (z.B. mittels eines Liniendiagramms) im Mathematikunterricht der siebten Jahrgangsstufe aber noch keine Rolle. Dennoch steht im Lehrplan des Fachs Natur und Technik explizit, dass die Schülerinnen und Schüler ein Dehnungs-Kraft-Diagramm im Rahmen des Gesetzes von Hooke kennen lernen sollen. Darüber hinaus sollen sie mit den Zusammenhängen zwischen Kraft und Bewegungsänderungen vertraut gemacht werden²⁰⁸.

In den entsprechenden Lehrbüchern werden Diagramme wie selbstverständlich eingesetzt.

²⁰⁵ entnommen: Christl (2005), S. 126/127

²⁰⁶ Wodzinski (1996), S. 99 ff

²⁰⁷ Wodzinski (1996), S. 211 ff

²⁰⁸ Grundwissen (!) im Lehrplan Natur und Technik 7

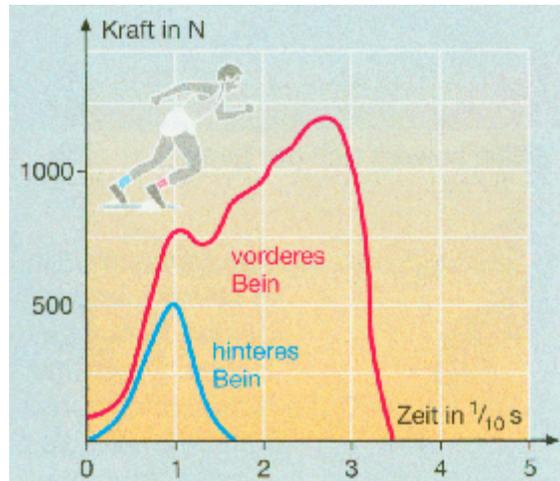


Abbildung 27: Ein Beispiel eines anspruchsvollen Diagramms („Kräfte zwischen Erde und Läufer beim Start“) ²⁰⁹, das die Schüler im Natur- und Technikunterricht interpretieren sollen, ohne aber im Mathematikunterricht Liniendiagramme kennen gelernt zu haben.

Für ein richtiges Verständnis dieser Diagramme müssen im Unterricht aber erst entsprechende Grundlagen gelegt werden, zum Beispiel über die Erstellung eines Diagramms mit Hilfe von selbst aufgenommenen Messwerten.

Termumformungen, Gleichungen. Ein weiteres Problem für den Unterricht in Natur und Technik besteht darin, dass die Schülerinnen und Schüler der siebten Klassen erst während des Schuljahres lernen, Terme umzuformen und Gleichungen mit einer Variablen zu lösen. Da Lernende grundsätzlich Schwierigkeiten damit haben, Inhalte aus der Mathematik auf andere Fachdisziplinen zu übertragen, muss man bei physikalischen Termumformungen auf Unsicherheiten seitens der Schülerinnen und Schüler Rücksicht nehmen. Erschwerend kommt hierbei hinzu, dass das Lösen von Gleichungen selbst in der Mathematik wohl nicht sofort von allen Lernenden sicher beherrscht wird. So dürften beispielsweise das Rechnen mit Einheiten (Einheitenkontrolle) und das Aufstellen von Gleichungen, die physikalische Zusammenhänge mathematisch erfassen, mit zusätzlicher kognitiver Belastung verbunden sein²¹⁰, die nicht auf physikalischem Unverständnis fußt.

3.3 Entwicklung eines Unterrichtskonzepts für die siebte Jahrgangsstufe

Man darf bei der Analyse des vorgesehenen Konzepts nicht außer Acht lassen, dass der G8-Lehrplan zum ersten Mal in dieser Jahrgangsstufe umgesetzt wurde. Es standen also keine Untersuchungen oder vergleichende Bewertungen von Kollegen zur Verfügung, die ein ähnliches Vorgehen schon einmal durchgeführt hatten. Aufgrund der zu erwartenden Probleme der Schülerinnen und Schüler mit Inhalten aus der Mathematik und den nicht gesicherten Erkenntnissen im Umgang mit ikonischen Repräsentationen durfte man die Ansprüche nicht zu hoch stellen. Insofern beschreibt diese Untersuchung keine wissenschaftliche Evaluierung eines Unterrichtskonzepts, das in mehreren Phasen schrittweise immer weiter verbessert wurde. Vielmehr soll mit dieser Arbeit eine erste Untersuchung vorgelegt werden, ob und inwieweit multimedialisierte Repräsentationen in der Unterstufe zu einem Wissenserwerb genutzt werden können.

Da sich die Konzeption auf die Vorgaben durch den Lehrplan beziehen muss, sollen zunächst das Lehrplankonzept sowie die bekannten Schülervorstellungen in der Mechanik analysiert werden, bevor ein Änderungsvorschlag erarbeitet und der Einsatz der dynamisch-ikonischen Repräsentationen vorgestellt wird.

²⁰⁹ entnommen: Schell (2005), S. 107

²¹⁰ vgl. Kap 1.2.1

3.3.1 Vorgesehenes Lehrplankonzept

Grundsätzlich legt die wissenschaftlich-didaktische Forschung nahe, eine Einführung der Mechanik spätestens in der siebten Jahrgangsstufe zu beginnen (vgl. Kapitel 3.1.1). Dennoch zeigen verschiedene Diskussionen²¹¹, dass es unterschiedliche Herangehensweisen an die Inhalte gibt.

Der Lehrplan liefert durch die Anordnung seiner Inhalte und durch einen Vorschlag in der sogenannten „Linkebene“²¹² eine erste Hilfestellung für Lehrkräfte, wie die Inhalte über einzelne Unterrichtseinheiten verteilt und strukturiert werden können (Stoffverteilungsplan). Auch die Schulbücher, an denen sich Lehrkräfte gerne orientieren, sind gemäß den Vorgaben des Lehrplans aufgebaut, weil alle Schulbücher das entsprechende Genehmigungsverfahren durchlaufen müssen.

Natürlich darf man nicht vergessen, dass die Lehrplaninhalte zwar verbindlich sind, nicht aber ihre Reihenfolge. Auch in der Linkebene steht ausdrücklich, dass die Erläuterungen nur als ein Angebot verstanden werden wollen. Wie die Inhalte dann im Unterricht tatsächlich erarbeitet werden, bleibt allein in der Verantwortung der jeweiligen Lehrkraft.

Kumulative Entwicklung. Da der Kraftbegriff recht umfassend ist, wurde er bereits im alten Lehrplan in verschiedenen Jahrgangsstufen immer wieder thematisiert und erweitert. Dabei spielten inhaltliche Beziehungen eine wesentliche Rolle, so macht zum Beispiel die Einführung der Kernkraft erst Sinn bei der Behandlung von Atomkernen. Zum anderen musste und muss man die geistige Entwicklung der Schülerinnen und Schüler berücksichtigen. Mit zunehmendem Alter steigt das Abstraktionsvermögen und das physikalische und mathematische Vorwissen wird umfassender. Auch in der neuen Lehrplankonzeption soll der Kraftbegriff kumulativ immer wieder aufgegriffen und weiterentwickelt werden. Einen Überblick über diese Entwicklung gibt folgende Tabelle:

7. Jgst.	Kraft und Bewegungsänderung Kraftarten und ihre Ursachen Kräfteaddition und –zerlegung Kraft und Verformung
8. Jgst.	Arbeit als Produkt von Kraft und Weg
9. Jgst.	Kraft auf stromdurchflossenen Leiter, Lorentzkraft Kräfte auf Ladungen in el. und magn. Feldern Bewegungsfunktionen für Bewegungen unter konstanter Kraftwirkung
10. Jgst.	Newtons Gesetze als Grundlage für die Beschreibung von Bewegungsabläufen Numerische Verfahren (z.B. freier Fall mit Luftwiderstand) Zentripetalkraft Gravitationskraft Schwache und starke Kausalität Ausweitungen im Profilbereich des NTG
11. Jgst.	Bewegung geladener Teilchen in Feldern

Tabelle 13: Die physikalische Größe „Kraft“ wird in allen Jahrgangsstufen erneut aufgegriffen, wobei die steigende Abstraktionsfähigkeit und die wachsenden mathematischen Kenntnisse der Schüler Einfluss auf das Erarbeitungsniveau nehmen.

Anhand der Tabelle kann man bereits erkennen, dass es in der siebten Jahrgangsstufe nicht angedacht ist, ein abstraktes Begriffsnetz oder komplexe mathematische Modelle einzuführen. Dies ist erst in den Jahrgangsstufen 9 und 10 vorgesehen, wenn die mathematischen Grundkenntnisse ausreichend gefestigt sind. Auch die Darstellung eines Bewe-

²¹¹ z.B. Wodzinski (1995)

²¹² vgl. Anlage H

gungsablaufs in Diagrammen wird –parallel zum Mathematikunterricht- erst in der neunten Jahrgangsstufe erarbeitet.

Anordnung der Inhalte innerhalb der siebten Jahrgangsstufe. Im Gegensatz zum Lehrplan von 1991 beschreibt der neue Fachlehrplan die Inhalte nur noch knapp mit Hilfe von Schlagworten. Im Folgenden ist die betreffende Passage aus dem Lehrplan zitiert²¹³:

NT 7.1.3 Kräfte in der Natur und in der Technik

Bei der Betrachtung einfacher Bewegungen lernen die Schüler die grundlegenden kinematischen Größen kennen. Durch die Einführung der Kraft als Ursache für Bewegungsänderungen wird den Schülern ein Einblick in die Vielfalt der Naturkräfte und deren Eigenschaften ermöglicht. Sie erfahren, dass die Ursache der elektrischen Kraft die elektrische Ladung, die der Gravitationskraft die Masse ist und dass die Masse auch die Trägheit eines Körpers bestimmt. Bei der Untersuchung des Zusammenhangs von Kraft und Dehnung erkennen die Schüler, wie anhand von Diagrammen ein einfaches Gesetz formuliert werden kann. Bei der Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften können die Schüler mit Hilfe der Kraftpfeile alltägliche Phänomene und technische Anwendungen erklären.

- *Grundgrößen der Kinematik*
 - *Zeit, Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung*
- *Kraft und Bewegungsänderung*
 - *Kraft als Ursache von Bewegungsänderungen, Kraftpfeile*
 - *Kräftegleichgewicht*
 - *Trägheitssatz, Anwendungen im Straßenverkehr, Verkehrssicherheit*
 - *Kraft als Produkt von Masse und Beschleunigung, „Newton“ als abgeleitete Maßeinheit*
 - *Wechselwirkungsgesetz*
- *Überblick über die Kraftarten und ihre Ursachen*
 - *Masse als Ursache der Gravitationskraft; Fallbeschleunigung*
 - *Elektrische Ladung als Ursache der elektrischen Kraft; Hinweis auf Ionenbindung*
 - *Hinweis auf weitere Kräfte, z.B. Reibungskraft, magnetische Kraft*
- *Kräfteaddition und –zerlegung an einfachen Beispielen*
- *Kraft und Verformung*
 - *Dehnungs-Kraft-Diagramm, Gesetz von Hooke*

Die Auflistung der Themen lässt die Frage offen, wie ausführlich (zeitlich und inhaltlich) die einzelnen Punkte erarbeitet werden sollen. Wie bereits oben erwähnt, liegt dies in erster Linie im Ermessensspielraum der Lehrkraft. Die Linkebene macht folgende Vorschläge²¹⁴:

Während Ort und insbesondere Geschwindigkeit im Mathematikunterricht bereits erarbeitet wurden, ist der Beschleunigungsbegriff den Schülerinnen und Schülern teilweise nur auf einem vagen und unpräzisen Niveau aus dem Alltag bekannt. Ausgehend vom gewohnten Vorgehen bei der Definition der Geschwindigkeit als

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg}}{\text{dafür benötigte Zeit}}$$

soll anhand mehrerer Beispiele aus dem Alltag (z.B. Autowerbung: „von 0 auf 100 in 9s“) die Beschleunigung analog als

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Änderung der Geschwindigkeit}}{\text{dafür benötigte Zeit}}$$

definiert werden. Formal kann damit auch die Maßeinheit der Beschleunigung hergeleitet werden:

$$[a] = \left[\frac{\Delta v}{\Delta t} \right] = \frac{1 \frac{m}{s}}{1s} = 1 \frac{m}{s^2} .$$

²¹³ Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (2004), Fachlehrplan Natur und Technik 7, ohne Seitenzahlen

²¹⁴ vgl. Anlage H

Auch wenn das Formale nicht überbetont werden soll, so werden in der Linkebene dennoch negative Beschleunigungen beim Bremsen und implizite Mittelwertbildung bei Messungen über ein längeres Zeitintervall hinweg erwähnt.

Im Gegensatz zur bisherigen Lehrplankonzeption, bei der im Anfangsunterricht Physik (ehemals achte Jahrgangsstufe) nur der statische Kraftbegriff eingeführt wurde, sollen die Schülerinnen und Schüler -im Sinne Newtons und auch der didaktischen Forschung- direkt zu einer dynamischen Kraftvorstellung angeleitet werden.

Dazu wird von der Linkebene folgendes Vorgehen empfohlen: „Vom Trägheitssatz ausgehend kommt man über dessen positive Formulierung zu der Erkenntnis, dass Kräfte offensichtlich Geschwindigkeitsänderungen -Betrag oder Richtung- verursachen, im einfachsten Fall, der hier im Vordergrund stehen sollte, also eine geradlinige Beschleunigung.“²¹⁵ Die Schülerinnen und Schüler sollen anschließend selbst erfahren, dass Kraft und Beschleunigung dennoch zwei unterschiedliche Größen sind, etwa durch den Vergleich der Beschleunigungen eines leeren, leichten Mattenwagens und eines mit vielen Schülern besetzten, schweren Mattenwagens. Der schwere Wagen wird trotz gleicher oder sogar größerer Kraft nicht so stark beschleunigt wie der leichte. „So wird an dieser Stelle das als Definitionsgleichung zu betrachtende 2. Newton'sche Gesetz $F = m \cdot a$ den Schülern plausibel.“²¹⁶ Dieses Gesetz könnte nun mit Hilfe der Luftkissenfahrbahn, zwei Lichtschranken zur Zeitmessung und einem Fahrradcomputer zur Messung der Geschwindigkeit experimentell überprüft werden. Somit hätte man ein dynamisches Messverfahren von Kräften.

3.3.2 Diskussion des Lehrplankonzepts

Wodzinski findet, dass die Newtonsche Bewegungsgleichung $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ für die Mittelstufe ungeeignet ist, da die Schülerinnen und Schüler zu große Schwierigkeiten mit dem Beschleunigungsbegriff haben. Auch andere Veröffentlichungen kommen zu einem ähnlichen Ergebnis²¹⁷. Die Beschleunigung als zentrale Größe des Mechanikunterrichts in der siebten Jahrgangsstufe zu wählen, wie es die Linkebene macht, steht damit im Gegensatz zur bisherigen didaktischen Forschung. Ebenso behindert die Tatsache, dass sich alle Vorschläge der Linkebene und fast alle Beispiele in den entsprechenden Schulbüchern, gemäß Lehrplanvorgabe, auf eindimensionale Bewegungen beschränken, eine einfache Erweiterung auf zweidimensionale Bewegungen, und somit das Kraftverständnis bei Kurvenfahrten²¹⁸.

Im Natur- und Technik-Unterricht sollen die Schülerinnen und Schüler „physikalische Zusammenhänge sowie Gesetzmäßigkeiten unter Verwendung der erforderlichen Fachbegriffe zunächst überwiegend verbal“²¹⁹ entdecken und beschreiben. Der Unterricht soll kein Fachunterricht sein, aber Grundlagen legen, die dann im späteren Fachunterricht wieder aufgegriffen, erweitert und in einen mathematisch-formalen Rahmen eingebettet werden können²²⁰. Meiner Meinung nach widerspricht die formale Einführung der Beschleunigung und die Einführung der Newtonschen Bewegungsgleichung $F = m \cdot a$ ²²¹ dieser Forderung. Wäre es beispielsweise nicht sinnvoller und wichtiger für ein grundlegendes Verständnis, Geschwindigkeit und Beschleunigung nach der Idee Wilhelms²²² gleich zweidimensional zu erarbeiten und stattdessen auf einen mathematischen Formalismus zu verzichten? Es wäre dann in den späteren Jahrgängen möglich, dieses Konzept wieder aufzugreifen und zu mathematisieren.

Diametral klingen auch die Aussagen über die Ursache von Geschwindigkeitsänderungen. Wodzinski empfiehlt, dass als „Ursache von Geschwindigkeitsänderungen [...] nicht

²¹⁵ vgl. Anlage H, S. H-3

²¹⁶ vgl. Anlage H, S. H-3

²¹⁷ vgl. 3.2.2

²¹⁸ vgl. 3.3.3

²¹⁹ Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (2004), Fachlehrplan NuT 7, ohne Seitenzahlen

²²⁰ vgl. Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (2004), Fachprofil NUT 7

²²¹ Im Lehrplan ist steht genau: „Kraft als Produkt von Masse und Beschleunigung“, doch findet sich in jedem (genehmigten) Schulbuch die Newtonsche Formel wieder.

²²² Wilhelm (2005); vgl. 2.1.3

Kräfte, sondern die einwirkenden Körper²²³ gesehen werden sollen, um sich von der Vorstellung der Kraft als etwas „Fassbarem“ zu lösen²²⁴. Der Lehrplan spricht dagegen ausdrücklich von einer „Einführung der Kraft als Ursache für Bewegungsänderungen“. Und Jung diskutiert, ob man dem Kraftbegriff überhaupt die Bedeutung geben muss, die er momentan im Unterricht innehat, und stattdessen über Stöße und Stoßraten den Kraftbegriff nur vorbereitet²²⁵ ohne ihn explizit im Anfangsunterricht einzuführen.

Insgesamt muss man festhalten, dass der Lehrplanvorschlag einen unbefriedigenden Mittelweg beschreitet zwischen der rein qualitativen Beschreibung von Bewegungen, bei der allerdings viele Grundlagen aus der Mathematik wie etwa das Lesen von Diagrammen fehlen, und einer formalen Beschreibung ($F = m \cdot a$, $1N = 1kg \cdot m/s^2$) von Zusammenhängen andererseits. Etliche Kollegen sind mittlerweile ähnlicher Meinung und führen mäßige Ergebnisse für die angestrebten Konzepte bei den Schülerinnen und Schülern an.

3.3.3 Leitideen

Eine der Ursachen für viele Verständnisprobleme in der Mechanik liegt meines Erachtens gerade in der unvollständigen Erfassung der Bedeutung des physikalischen Geschwindigkeitsbegriffs, weil die Schülerinnen und Schüler die Richtung der Geschwindigkeit nicht wirklich beachten²²⁶. Im angelsächsischen Raum finden sich aus diesem Grund zwei Übersetzungen mit unterschiedlichen Bedeutungen für Geschwindigkeit: *speed* beschreibt die Geschwindigkeit als skalare Größe (Geschwindigkeitsbetrag, Schnelligkeit), die vom Tachometer eines Fahrrads oder PKWs angezeigt wird und bezeichnet die alltägliche Bedeutung von Geschwindigkeit. *Velocity* ist dagegen eine vektorielle Größe, die zusätzlich zum Geschwindigkeitsbetrag (*speed*) noch die Richtung der Geschwindigkeit beinhaltet. Gäbe es äquivalente deutsche Übersetzungen im alltäglichen Sprachgebrauch, die in ihrer jeweiligen Bedeutung konsequent verwendet werden würden, so könnte vielen Schwierigkeiten entgegengetreten werden: Bei einer Kurvenfahrt mit konstanter Tachoanzeige ändert sich „*speed*“ nicht, wohl aber „*velocity*“. Die deutsche Übersetzung klingt dagegen eher unverständlich: Bei einer Kurvenfahrt mit konstanter Tachoanzeige ändert sich das Tempo nicht, wohl aber die Geschwindigkeit! Dabei meint der erste Geschwindigkeitsausdruck die skalare Größe, der zweite die vektorielle. Führt man entsprechende Bezeichnungen wie Tempo oder Schnelligkeit im Unterricht ein, muss man darauf achten, dass diese Sprechweise nicht auf den Physikunterricht beschränkt bleibt, sondern vom Lerner in das eigene (Prä)Konzept integriert wird. Nach Jung²²⁷ muss das Kind „also im Grund die Fähigkeit lernen, ein zweideutiges Wort kontextrichtig zu verwenden; zumindest muss es lernen, in unklaren Situationen zu fragen, welche Bedeutung des Wortes gemeint ist.“

Nun mag das richtige Verständnis von Geschwindigkeit für sich genommen nicht entscheidend sein für ein gutes Verstehen der Mechanik. Doch hat im Sinne Newtons jede Änderung des Geschwindigkeitsvektors eine Kraft als Ursache. Damit legt ein richtiges Geschwindigkeitsverständnis letztlich die Grundlage für das korrekte Beschreiben vom Einfluss der Kräfte auf Bewegungen und stellt auf diese Weise eine Abgrenzung zur aristotelischen Sichtweise dar.

Das Problem kann an obigem Beispiel der Kurvenfahrt mit konstanter Tachoanzeige noch einmal verdeutlicht werden: Da sich für die meisten Schülerinnen und Schüler die Geschwindigkeit in ihrem Sinne von *speed* nicht ändert, ist diese Bewegung für sie keine beschleunigte Bewegung²²⁸. Tatsache ist aber, dass sich die Geschwindigkeit (im Sinne von *velocity*) durchaus ändert und demnach eine Beschleunigung vorliegt, die ihre Ursache in einer (Zentral)Kraft hat. Hier besteht für viele Schülerinnen und Schüler daher allein aufgrund eines unvollständigen Geschwindigkeitsverständnisses die Gefahr, dass sie die (Zentral)Kraft bei Kreisbewegungen für ihr Verständnis von Bewegung überhaupt

²²³ Wodzinski (1996), S. 57

²²⁴ vgl. 3.2.3

²²⁵ Jung (1977)

²²⁶ Schecker (1985)

²²⁷ Jung (1977), S. 8

²²⁸ Im Vortest gaben beispielsweise nur 35% der Schülerinnen und Schüler an, dass die Kurvenfahrt eine beschleunigte Bewegung ist.

nicht benötigen und nur „dem Lehrer zuliebe lernen“. Auf diese Weise wird sicherlich kein grundlegendes Verstehen zweidimensionaler Bewegungen bewirkt.

Um die Grenzen des eigenen Konzepts wirklich zu erfahren, müssen Bewegungen demnach in mindestens zwei Dimensionen betrachtet werden, denn nur hier ändert sich die Richtung von Geschwindigkeit, sofern man von den ebenfalls schwierigen Reflexionen abieht. Die eindimensionale Bewegung (insbesondere auch die Geschwindigkeitsumkehr) sollte dann als ein Sonderfall der zweidimensionalen Bewegung behandelt werden.

Wenn die Schülerinnen und Schüler die Geschwindigkeitsänderung gut verstanden haben, fällt ihnen in der Regel der Übergang zur Beschleunigung leicht. Ähnlich wie bei der Definition von Geschwindigkeit (Ortsänderung bezogen auf das benötigte Zeitintervall), erscheint ihnen plausibel, dass man auch die Geschwindigkeitsänderung auf das Zeitintervall beziehen muss, in dem die Änderung der Geschwindigkeit stattgefunden hat.

Die momentane Beschleunigung ergibt sich als Grenzwert, wenn das Zeitintervall immer weiter verkleinert wird:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Im Unterricht der Unterstufe verzichtet man auf die Einführung des Grenzwertes und betrachtet demnach nur mittlere Beschleunigungen. Dadurch entsteht aber kein inhaltlicher Verlust. Eventuell kann mit der Betrachtung eines größeren Zeitintervalls sogar der Fehlvorstellung entgegengetreten werden, dass die Beschleunigung im Umkehrpunkt einer Bewegung Null sei: dass nämlich beispielsweise ein Ball im Umkehrpunkt über ein längeres Zeitintervall schwebt, verneinen auch schwächere Schüler²²⁹.

Neben einem guten Verständnis von Geschwindigkeitsänderung (beziehungsweise Beschleunigung) spielt die richtige Vorstellung von Kraft eine entscheidende Rolle für den Aufbau adäquater mentaler Modelle zu den Newtonschen Gesetzen. Im Alltag nehmen wir, egal ob Laien oder Experten, immer bloß bestimmte Kräfte wahr, nur selten erfassen wir die Kräfte in ihrer Gesamtheit. Liegt ein Buch auf einem Tisch, dann nennen fast alle Schülerinnen und Schüler die Gewichtskraft als wirkende Kraft, vergessen aber häufig die wichtige Gegenkraft durch den Tisch, die ja letztlich verhindert, dass das Buch nach unten fällt²³⁰. Ebenso rückt bei einer Fahrradfahrt stets nur die erfahrbare Muskelkraft in den Mittelpunkt, die den folgenden Zusammenhang nahelegt: Mit einer großen Muskelkraft erreiche ich eine große Geschwindigkeit. Die Reibungskraft wird gerne unterschlagen – nicht etwa, weil sie unbekannt ist, sondern weil sie im Vergleich zur Muskelkraft als viel zu gering und damit als nebensächlich erscheint. Dabei ist gerade die Summe aller auf einen Körper wirkenden Kräfte, also die resultierende Gesamtkraft, die entscheidende Größe für die Vorhersage des Bewegungsablaufs.

Diesen Überlegungen entsprechend sollen im Unterricht zwei Schwerpunkte gesetzt werden. Zum einen soll der Begriff der Gesamtkraft, also die Summe aller auf einen Körper wirkenden Kräfte, herausgestellt werden. Ausgehend davon soll die Gesamtkraft als Ursache für die Veränderung von Bewegung von den Schülerinnen und Schülern erkannt werden.

Natürlich könnten viele weitere Maßnahmen das Kraftverständnis der Lernenden verbessern. In der Literatur finden sich etliche Vorschläge, wie etwa:

- Einstieg über zweidimensionale Bewegungen²³¹
- Kraftstoßprinzip²³²
- Multimedial unterstützter Werkstattunterricht²³³
- Modellbildung²³⁴.

²²⁹ vgl. 3.2.2

²³⁰ vgl. auch Abbildung 26

²³¹ Wilhelm (2005)

²³² Jung (1977)

²³³ Blaschke (1999)

²³⁴ Jäger (1996, 1999)

Doch soll der Schwerpunkt der hier vorliegenden Arbeit, wie bereits erwähnt, nicht in der Erstellung oder Überprüfung einer neuen Unterrichtskonzeption liegen. Vielmehr sollen in einem weitestgehend üblichen Unterrichtsablauf die dynamisch-ikonischen Repräsentationen eingesetzt werden, um Schülerinnen und Schülern das Lernen von Zusammenhängen aus dem Bereich der Mechanik zu erleichtern. Insofern würde eine ausführliche Diskussion und Abwägung der Vor- und Nachteile der alternativen Unterrichtskonzeptionen den Rahmen der Arbeit sprengen und das eigentliche Ziel verfehlen.

Es sei angemerkt, dass es sich im Unterricht der siebten Jahrgangsstufe um eine erste Einführung in die Grundideen der Dynamik handelt. Die Kraft soll daher nicht induktiv logisch über Axiome und Definitionen eingeführt werden. Es bleibt dennoch festzuhalten, dass auch die im Unterricht über Experimente und Anschauung hergeleitete Grundgleichung der Mechanik für die Schülerinnen und Schüler den Charakter einer Definitionsgleichung für die Kraft besitzt. Ziel des Unterrichts muss es also sein, diese für den Schüler abstrakte Gleichung mit Verständnis für den Kraftbegriff und den Zusammenhang von Kraft, Masse und Beschleunigung zu füllen.

3.3.4 Planung der Unterrichtssequenz

Die Unterrichtssequenz gliederte sich wie folgt:

1. Unterrichtseinheit: Präkonzepte „Kraft“ aufgreifen
2. Unterrichtseinheit: Physikalischer Kraftbegriff
3. Unterrichtseinheit: Kräfte im Gleichgewicht
4. Unterrichtseinheit: Das Gesetz von Hooke
5. Unterrichtseinheit: Addition von Kräften
6. Unterrichtseinheit: Kräfte im Ungleichgewicht
7. Unterrichtseinheit: Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung
8. Unterrichtseinheit: Zweidimensionale Bewegung
9. Unterrichtseinheit: Beschleunigung
10. Unterrichtseinheit: Gesetz von Newton
11. Unterrichtseinheit: Kräfte im Alltag (Verkehrserziehung)
12. Unterrichtseinheit: Der freie Fall, Fallbeschleunigung
13. Unterrichtseinheit: Weitere Kräfte
14. Unterrichtseinheit: Wechselwirkungsgesetz

Eine Beschreibung der einzelnen Unterrichtseinheiten findet sich in der Anlage J. Dort sind die Artikulationsschemata der 1. bis 10. Einheit angeführt.

3.3.5 Beschreibung der Unterrichtskonzeption

Um den Schüler zu einem physikalisch richtigen Kraftverständnis anzuleiten, ist es zunächst wichtig, die bisher vorhandenen Schülervorstellungen von „Kraft“ im Unterricht zu thematisieren (Einheit 1)²³⁵. Den Lernenden soll bewusst werden, wie diffus und uneinheitlich ihr bisheriger Kraftbegriff ist. Ein gewisses Unbehagen („Was ist denn jetzt ‚Kraft‘?“) soll das Interesse nach einer klaren eindeutigen Definition wecken. Allerdings kann die Definition eines „richtigen Kraftbegriffes“ noch nicht das Ziel einer ersten Unterrichtseinheit sein: Für das Unterrichtskonzept ist es allerdings wichtig, dass die drei Komponenten Betrag, Richtung und Angriffspunkt einer Kraft erarbeitet werden, sowie der Pfeil als ikonische Darstellung einer Kraft verstanden wird (Einheit 2).

Ein Nachteil von Kräften ist, dass sie im Alltag nur indirekt über ihre Wirkungen beobachtet werden können. Insbesondere die vielen statischen Kräfte, die bewirken, dass beispielsweise ein Bild nicht von der Wand fällt, bleiben im Verborgenen und werden von den Schülern nur selten beachtet (Einheit 3). Bleibt ein Gegenstand in Ruhe, dann bedeutet das in aller Regel nämlich nicht, dass keine Kräfte auf ihn wirken, sondern vielmehr, dass sich die Summe aller Kräfte auf den Körper zu Null addiert. Dies können die Schülerinnen und Schüler in Eigenaktivität bei der Durchführung entsprechender Versuche selbst erfahren. Hierbei wird das mathematische Verfahren der Addition und Zerlegung von Kräften kennen gelernt (Einheit 5).

²³⁵ z.B. Aufschnaiter (2005)

In diesem Unterrichtskonzept wird, im Gegensatz zum Vorschlag zu Wodzinski²³⁶, mit der Statik begonnen und nicht sofort mit dem Einfluss von Kräften auf die Veränderung von Bewegungen. Möglicherweise könnte nun der Einwand kommen, dass diese Beschränkung auf ruhende Körper eine zu starke Reduktion darstelle und man lieber gleich auch sich bewegende Körper betrachten müsse.

Allerdings werden sich die Schülerinnen und Schüler ab dieser Unterrichtseinheit mit den dynamischen Prozessen auseinandersetzen, so dass sich das Prinzip der Statik nicht zu sehr verfestigen wird. Natürlich könnte man zuvor beispielsweise in einem Gedankenexperiment der Frage nachgehen, was sich grundlegend verändert, wenn der Probekörper, an dem die Kräfte angreifen, in Bewegung ist²³⁷. Es ist allerdings die Frage, wie am besten an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler angeknüpft werden kann: An einem ruhenden Probekörper lassen sich Kräfte sicherlich leichter „festmachen“ als an einem bewegten Probekörper. Deshalb wurde in der vorliegenden Konzeption mit einer Kraftwirkung auf einen ruhenden Probekörper begonnen, um genau dann die Änderung des Bewegungszustands zu erkennen, wenn kein Kräftegleichgewicht vorliegt. Kräfte direkt an bewegten Probekörpern zu definieren, halte ich für schwieriger.

In den Gedankengängen der Schülerinnen und Schüler dürfte sich an die Gesetzmäßigkeit der Statik fast zwangsläufig die Frage anschließen, was passiert, wenn sich bei der Kräfteaddition eine Resultierende ungleich Null ergibt (Einheit 6): Die Lernenden beobachten, dass der Probekörper anfängt, sich zu bewegen. Während bisher nur ruhende Probekörper beobachtet wurden, gelangt man nun zwangsläufig zu Körpern, die sich bewegen. Wirkt auf sich bewegende Probekörper weiterhin eine Kraft, dann erkennen die Schülerinnen und Schüler in Gedankenversuchen und einfachen Experimenten an der Luftkissenfahrbahn, dass es sich dabei um eine Bewegung mit veränderlicher Geschwindigkeit handelt. Dabei wird der Begriff der Beschleunigung zunächst vermieden, da er für die Unterstufe als zu unanschaulich eingeschätzt wird.

Mit Hilfe von dynamisch-ikonischen Repräsentationen wird ein direkter Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung hergestellt (Einheit 7). Unter 3.3.6 wird diese Passage des Unterrichts detaillierter beschrieben. Mit der Erkenntnis des direkten Zusammenhangs von Kraft und Geschwindigkeitsänderung ist ein wesentliches Ziel des Unterrichts erreicht. Nun gilt es, diese Erkenntnis in mehreren Beispielen aus dem Alltag zu festigen, so dass sie den Schülerinnen und Schülern auch gültig für entsprechende Situationen im Alltag erscheint. Erstaunlicherweise existieren bei den Schülerinnen und Schülern nämlich häufig zwei unterschiedliche Erklärungsmuster für ein und denselben Sachverhalt, je nach dem, wo sie sich gerade befinden. So können sie im Physikunterricht ein tragfähiges physikalisches Modell wiedergeben, selbst wenn sie die gleiche Situation im Alltag anders beschreiben würden²³⁸.

Der Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung kann anschließend auf zweidimensionale Bewegungen ausgeweitet werden (Einheit 8). Auch hier benötigt man eine Kraft, wenn sich die Geschwindigkeit in Betrag oder Richtung ändern soll. Man kann mit einem Medizinball, den die Schüler auf einer Kreisbahn halten sollen, die Richtung der Kraft erfahren und mit Papp-Pfeilen legen lassen. Mittels einer Simulation in der PAKMA-Lernumgebung kann der Zusammenhang aber exakter erkannt und beschrieben werden. Eine alternative Übung zur Begegnung mit den Kräften bietet das Rollen eines Balles auf einem großen Fallschirmtuch, an dessen Rand die Schülerinnen und Schüler verteilt stehen und durch Hoch- und Niederhalten des Tuchs den Ball so lotsen können, dass er nicht vom Tuch fällt.

Im Zuge der Beschäftigung mit dem Einfluss von Kräften auf eine Bewegung ist auch die Zeitdauer zu thematisieren, in der die jeweilige Geschwindigkeitsänderung stattgefunden hat (Einheit 9). Man benötigt für die gleiche Geschwindigkeitsänderung eine größere Kraft, wenn die Änderung der Geschwindigkeit in einem kürzeren Zeitintervall stattfinden soll. Die eigentlich interessante Größe ist dann nicht mehr die Geschwindigkeitsänderung alleine, sondern vielmehr die Beschleunigung, die das Verhältnis von Geschwindigkeits-

²³⁶ Wodzinski (1996)

²³⁷ Die Frage lässt sich auf einen Wechsel des Bezugssystems zurückführen, mit dem die Schülerinnen und Schüler aber bei Jung große Schwierigkeiten hatten [vgl. Jung (1977)].

²³⁸ Wodzinski (1996), S. 28ff

änderung zu der Zeitdauer, in der die Änderung stattfand, angibt. Daneben spielt auch die Masse des Körpers, auf den die Kraft wirkt, eine entscheidende Rolle. Die Proportionalität von Kraft und Masse bei konstanter Beschleunigung kann aber in Gedankenversuchen einfach hergestellt und in Experimenten²³⁹ bestätigt werden.

Die umfangreiche Unterrichtssequenz schließt mit einer Formulierung des Newtonschen Gesetzes ab (Einheit 10):

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

Damit soll laut Lehrplan auch die Einheit „Newton“ abgeleitet werden:

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

Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung sind im bisherigen Unterrichtsverlauf bereits mehrfach angesprochen und diskutiert worden. Dabei stand in erster Linie der dynamische Aspekt im Vordergrund: Änderung der Geschwindigkeit aufgrund einer auf den Probekörper wirkenden Kraft. Zusammenfassend sollte man die bewegungsbeschreibenden Größen auch noch einmal in Beziehung zueinander setzen und die entsprechenden Zusammenhänge formulieren. Hier bieten sich Aufgaben aus dem Straßenverkehr und zur Verkehrssicherheit an. Eine Einschränkung auf eindimensionale Bewegungen ist hier nicht erforderlich, da kein explizites Formelwissen und abstraktes Lösen von Gleichungen verlangt wird. Im Hinblick auf den freien Fall sollte dennoch der Spezialfall einer eindimensionalen Bewegung diskutiert werden. Auch die Reibungskraft, die stets entgegen der Bewegungsrichtung wirkt, lässt sich eindimensional einfacher erklären.

Abschließend sollte noch einmal der Einfluss von Kräften auf eine Bewegung betont werden, indem nun auch bisher nur seltener aufgetauchte Kräfte im Unterricht thematisiert werden, wie etwa die magnetische Kraft, die aus dem bisherigen Unterricht zur Elektrizitätslehre bekannt sein müsste.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass in der Studie kein neues Unterrichtskonzept vorgelegt werden sollte. Vielmehr sollte der Frage nachgegangen werden, ob Schülerinnen und Schüler physikalische Zusammenhänge besser verstehen, wenn diese im Unterricht mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen visualisiert werden. Um dies gut kontrollieren zu können, sollen zwei Parallelklassen an einer Schule getestet werden. Während die eine Klasse konventionell unterrichtet wird (Kontrollklasse), werden in der anderen Klasse (DIR-Klasse) an geeigneten Stellen dynamisch-ikonische Repräsentationen eingesetzt. Andere Aspekte des Unterrichts wie die Variation von Methoden (Schülerübungen, Unterrichtseinheit in der Turnhalle) und Sozialformen (Gruppenarbeit, Stillarbeit) sollen dagegen in Absprache weitestgehend gleich gehalten werden.

3.3.6 Einsatz der dynamisch-ikonischen Repräsentationen

Wie beschrieben werden dynamisch-ikonische Repräsentationen in der vorliegenden Untersuchung nicht eingesetzt, um Verbindungen zwischen bewegungsbeschreibenden Größen und ihrer zeitlichen Darstellung in einem Diagramm aufzuzeigen, wie es in den früheren Studien der Fall war. Der Grund ist einfach: Der Lehrplan erwartet die Arbeit mit Diagrammen erst in der neunten Jahrgangsstufe, wenn die entsprechenden Grundlagen aus dem Mathematikunterricht bekannt sind.

Die dynamisch-ikonischen Repräsentationen bieten sich in der Unterrichtskonzeption der siebten Jahrgangsstufe dennoch insbesondere an zwei Stellen an: DIR helfen zum einen bei der Erarbeitung und Veranschaulichung von Änderungen der Geschwindigkeit und zum anderen beim Verdeutlichen des Zusammenhangs von Kraft und Geschwindigkeitsänderung.

²³⁹ Die Linkebene (vgl. Anlage H) schlägt das Anschieben des (leeren bzw. beladenen) Mattenwagens in der Turnhalle vor.

Erarbeitung von Geschwindigkeitsänderungen. Bei anfahrenen Fahrzeugen kann man ohne große Mühe beobachten, dass sich die Geschwindigkeit ändert. Ungleich schwieriger ist es, Änderung des Tempos zumindest in einigermaßen kleinen Zeitintervallen zu erkennen, wenn das Fahrzeug bereits in Bewegung ist. Gerade hier wäre es aber interessant, genaueres über die Geschwindigkeit und ihre Veränderung zu erfahren. Denn die Meinung der Schülerinnen und Schüler ist doch, dass, trotz einer auf einen Körper einwirkenden Kraft, der Körper nach einer gewissen Zeit nicht mehr schneller wird, sondern seine Geschwindigkeit konstant hält.

Um dies zu untersuchen, kann mittels geeigneter Sensoren beispielsweise die Geschwindigkeit eines Gleiters auf der Luftkissenfahrbahn digital erfasst werden. Die Software PAKMA stellt in Echtzeit die erfasste Bewegung auf der Bildschirmoberfläche dynamisch-ikonisch dar, wobei etwa ein Gleiter als Rechteck symbolisiert wird. Zusätzlich werden die Messdaten gespeichert, so dass die aufgenommene Bewegung später in der Reproduktion noch einmal betrachtet werden kann. Ergänzend können weitere dynamisch-ikonische Visualisierungen wie etwa Vektorpfeile eingeblendet werden.

Mit Hilfe der Hard- und Software soll nun die Bewegung eines Luftkissengleiters erfasst werden, an dem ein Gewicht über eine Umlenkrolle eine konstante Kraft ausübt.

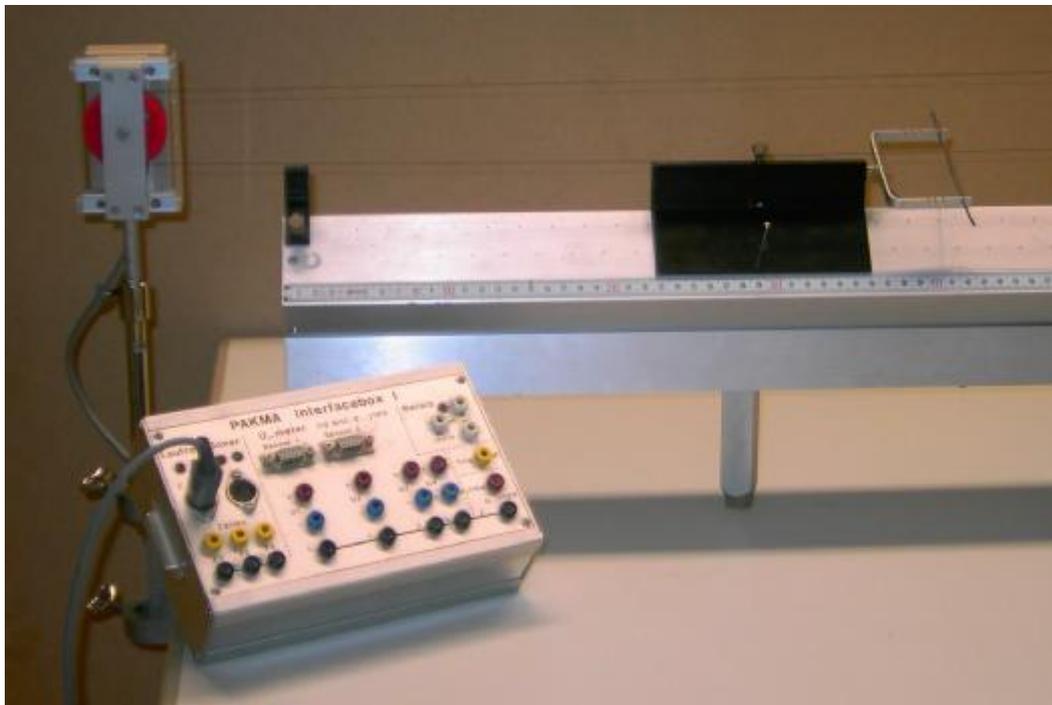


Abbildung 28: Aufnahme des Versuchsaufbaus
„Gleiter auf der Luftkissenfahrbahn“.

Man kann deutlich das Laufrad erkennen, das mit Hilfe eines umlaufenden Fadens Ortsveränderungen des Gleiters erfassen und über die PAKMA-Box (im Vordergrund) an einen Rechner melden kann.

Betrachtet man den in der Animation der Bewegung eingeblendeten Vektorpfeil der Geschwindigkeit, so erkennt man zunächst, dass der Pfeil (bei konstanter Kraftwirkung auf den Gleiter) immer länger wird. Stellt man den Pfeil zusätzlich in einem Stempeldiagramm dar, dann wird deutlich, dass der Zuwachs der Geschwindigkeit während der Kraftwirkung konstant ist: Die Geschwindigkeit ändert sich also innerhalb des (gleich bleibenden) Zeitintervalls zwischen zwei Messungen stets in gleicher Weise.

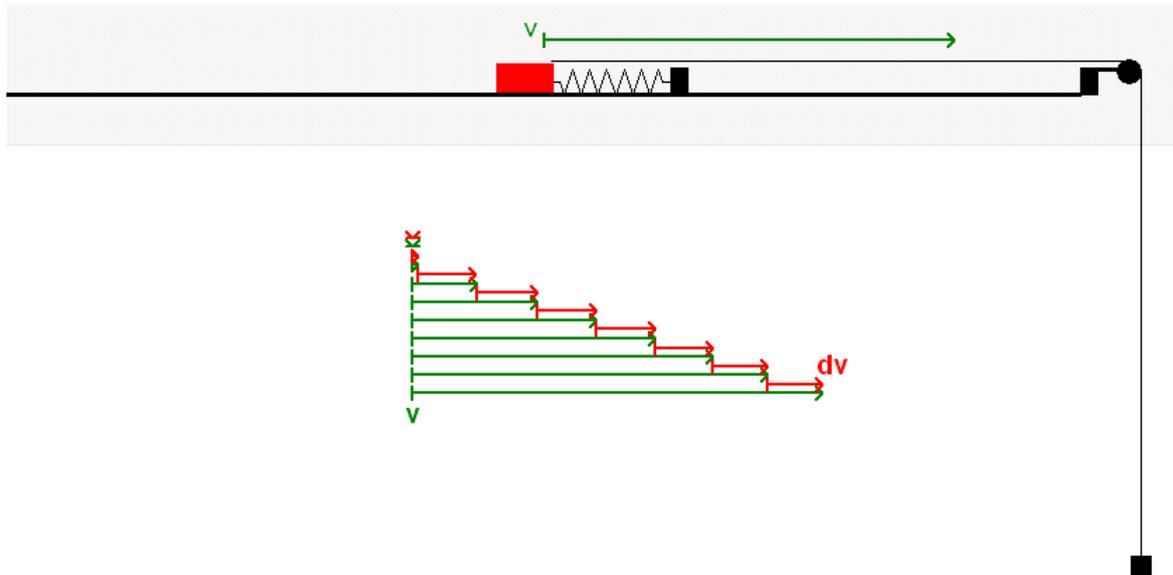


Abbildung 29: Screenshot einer PAKMA-Originalmessung:
„Bewegung eines Gleiters auf der Luftkissenfahrbahn“. Im Stempeldiagramm
erkennt man gut, dass innerhalb gleich bleibender Zeitschritte
die Pfeile der Geschwindigkeit v gleichmäßig zugenommen haben,
dass also die Geschwindigkeitsänderungen dv konstant waren.

Der Vorteil der dynamisch-ikonischen Repräsentationen auf dem Rechner ist nun, dass der Ablauf beliebig oft wiederholt und somit immer wieder –entsprechend dem Lerntempo der Schülerinnen und Schüler– mit einer weiteren Codierung ergänzt werden kann. Auch kann der Ablauf in Zeitlupe betrachtet und angehalten werden. Damit ist es möglich, die Lerner Vermutungen über den weiteren Fortgang (zum Beispiel über die Reflexion des Gleiters am Ende der Fahrbahn) diskutieren zu lassen, bevor der angehaltene Bewegungsablauf wieder aufgenommen wird und mit den Vermutungen verglichen werden kann.

Für die Erarbeitung des Newtonschen Gesetzes ist es nötig, Versuchsparameter zu variieren²⁴⁰. Bei dem gezeigten Versuch kann ohne großen Aufwand die einwirkende Kraft vergrößert werden, indem man die Zugmasse vergrößert (idealerweise verdoppelt oder verdreifacht). Die beschleunigte Masse kann durch Auflegen von Gewichten auf den Gleiter erhöht werden. Das Zeitintervall Δt zwischen zwei Messpunkten kann im Kernprogramm des PAKMA-Projekts vergleichsweise einfach variiert werden. Insgesamt lässt sich der Versuch also ohne komplizierte Veränderungen am Aufbau in seinen wesentlichen Parametern abwandeln, letztlich auch durch den Schüler selbst. Dies fördert bei den Lernenden das Verständnis für den Versuch und damit für die dargestellten Zusammenhänge.

Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Kräfte lassen sich im Alltag nur mit großem Aufwand messen und selten einfach an- oder ausschalten. Gerade das wäre aber im Unterricht hilfreich, wenn man die Wirkungen von Kräften erarbeiten möchte. Hier kann eine Simulation helfen, vorgestellt am Beispiel „Fahrstuhl“.

²⁴⁰ vgl. Anlage J, S. J-10

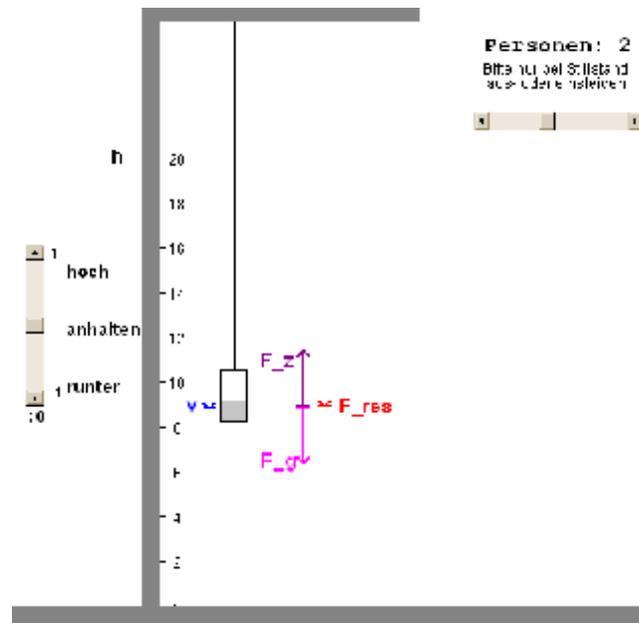


Abbildung 30: Screenshot der Simulation „Fahrstuhl“ (Erläuterung im Fließtext).

Die Simulation beginnt mit dem statischen Fall: Der Aufzug steht bereit, Personen können in die Kabine ein- oder aussteigen - der Anteil der grauen Fläche in der Kabine ist dabei ein Maß für die Personenzahl. Die Pfeile kennzeichnen die wirkenden Kräfte, nämlich die (von der Personenzahl abhängige) Gewichtskraft F_g und die entsprechende Gegenkraft F_z , die das Halteseil aufbringt. Soll sich der Aufzug nun in Bewegung setzen, dann muss eine zusätzliche Kraft wirken, so dass die resultierende Gesamtkraft F_{res} nicht Null ist. Die Zusatzkraft hängt dabei von der Fahrtrichtung ab: Soll der Aufzug beginnen, nach oben zu fahren, dann muss vom Seil eine größere Kraft nach oben auf die Kabine wirken als die Gewichtskraft, die auf die Kabine nach unten wirkt. Soll der Aufzug entsprechend beginnen, nach unten zu fahren, dann muss vom Seil eine kleinere Kraft als die Gewichtskraft ausgeübt werden. Ähnliche Überlegungen für die wirkenden Kräfte gelten auch für das Abbremsen der Kabine. Während der Fahrt sind bei gleich bleibender Geschwindigkeit die beiden wirkenden Kräfte im Gleichgewicht, so dass sich eine Gesamtkraft von Null ergibt.

Den Versuch können Schüler auch mit einem Tau selbst ausprobieren, an das ein schwerer Stein gebunden ist: So ist es möglich, die Kräfte qualitativ zu erfahren.

3.4 Untersuchung der Lernwirksamkeit dynamisch-ikonischer Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors in der siebten Jahrgangsstufe

3.4.1 Gesamtanlage der Untersuchung und Hypothesen

Dynamisch-ikonische Repräsentationen scheinen bei Schülerinnen und Schülern der Oberstufe sinnvoll zum Konzepterwerb eingesetzt werden zu können. Die Fragestellung der vorliegenden Untersuchung ist, ob auch Lernende der Unterstufe in der Lage sind, mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen so zu arbeiten, dass sie konstruktiv zum Wissensaufbau genutzt werden können.

Dazu sollen im regulären Natur- und Technikunterricht der siebten Jahrgangsstufe an geeigneten Stellen dynamisch-ikonische Repräsentationen mit dem Ziel eingesetzt werden, mentale Modelle zu einem besseren Verständnis von Inhalten der Mechanik bei den Schülerinnen und Schülern anzuregen. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf zweidimensionale Bewegungen und das Kraftverständnis gelegt werden.

Da laut Lehrplan dem Mechanikkurs nur ein eng begrenztes Stundenmaß eingeräumt wird und aufgrund der Tatsache, dass die Schülerinnen und Schüler wegen ihrer geringen

mathematischen Vorkenntnisse²⁴¹ zunächst mit (nicht dynamischen) ikonischen Repräsentationen arbeiten müssen, beschränkt sich die Untersuchung auf einfache dynamisch-ikonische Repräsentationen²⁴². Insofern kann diese Arbeit nur als ein erster Schritt zur Entwicklung eines „Fahrplans“ verstanden werden, in dem festgelegt wird, in welchem Alter Schülerinnen und Schüler bestimmte Medienkompetenzen erwerben können. Weitere Schritte sind nicht Bestandteil dieser Untersuchung, wären aber -wie in Abschnitt 4 näher ausgeführt- für die Zukunft wünschenswert.

Die Ergebnisse der Klasse, die mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen unterrichtet wird, sollen mit den Ergebnissen einer Parallelklasse verglichen werden, die mit herkömmlichen Methoden lernt. Während der Zeit, in der sich die Schülerinnen und Schüler der DIR-Klasse mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen auseinandersetzen, vertiefen die Schülerinnen und Schüler der Kontrollklasse das Verständnis von Geschwindigkeit (auch zweidimensional) mit Hilfe von Rechen- und Transferaufgaben. Daneben sollen sie den Film „Newton in Space“²⁴³ sehen und diskutieren, in dem die Newtonschen Gesetze in verschiedenen Versuchen, unter anderem an Bord der ISS, demonstriert werden.

Unsere Hypothese lautete, dass die Probanden keine Nachteile gegenüber anderen Lernenden haben, wenn sie mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen unterrichtet werden. Da diese Repräsentationen insbesondere bei der Erarbeitung des Zusammenhangs von Kraft und Geschwindigkeitsänderung und bei zweidimensionalen Bewegungen eingesetzt werden, sollten die Probanden, die mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen gearbeitet hatten, in den genannten Bereichen ein besseres Verständnis zeigen als die Schülerinnen und Schüler der Kontrollklasse.

Natürlich kann man die in der vorliegenden Feldstudie erhaltenen Ergebnisse nicht direkt auf den Einsatz der dynamisch-ikonischen Repräsentationen zurückführen; andere Parameter wie zum Beispiel die Zusammensetzung der Klasse oder die Lehrerpersönlichkeit beeinflussen das Lernergebnis ebenfalls. Ein abgesichertes Ergebnis könnte man nur dann erhalten, wenn mögliche Parameter gezielt variiert und die Untersuchungen mit anderen Klassen und anderen Lehrern wiederholt werden würden. Im vorliegenden Fall war dies aus organisatorischen Gründen leider nicht möglich. Je deutlicher jedoch Lernunterschiede zwischen der Treatment- und der Kontrollgruppe gerade bei denjenigen Fragen auftreten, deren Beantwortung auf ein gutes Verständnis von DIR schließen lassen, um so mehr ist dies als ein Indiz zu sehen für ein besseres Verständnis physikalischer Zusammenhänge aufgrund der Beschäftigung mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen.

3.4.2 Untersuchungsmethode

An der Untersuchung nahmen Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe teil, die zum ersten Mal nach dem neuen bayerischen G8-Lehrplan von 2004 unterrichtet wurden. Die Probanden befanden sich im regulären Klassenverband, so dass man von einer normalen Auswahl von leistungsstarken und leistungsschwachen, aufmerksamen und desinteressierten, männlichen und weiblichen Schülern ausgehen kann. Da diese Schüler in ihrer gymnasialen Schullaufbahn zum ersten Mal physikalische Inhalte im Rahmen des Natur- und Technikunterrichts hörten und -wie unter 3.2.5 ausgeführt- noch keine für die Untersuchung entscheidenden Mathematikvorkenntnisse²⁴⁴ besaßen, wurden im Unterricht keine fachlichen Inhalte als bekannt vorausgesetzt.

Vortest. Obgleich die Teilnehmer keine Vorkenntnisse aus dem schulischen Unterricht mitbrachten, musste man doch davon ausgehen, dass ihr Vorwissen zum Beispiel aufgrund des Geschlechts oder der persönlichen Interessen unterschiedlich sein könnte. Daher sollte mit einem Physiktest das Vorwissen erfasst werden.

²⁴¹ vgl. 3.2.4

²⁴² im Gegensatz beispielsweise zu den Stempeldiagrammen (vgl. 2.3.3)

²⁴³ ESA (2004)

²⁴⁴ z.B. Vektoren, funktionale Zusammenhänge

Hierfür war uns aber kein klassisches, standardisiertes Testverfahren bekannt, das die interessierenden Bereiche der Mechanik (2D-Bewegung, Kräfte) abdeckt und für Schüler der siebten Jahrgangsstufe konzipiert ist. Daher wurde mit Hilfe verschiedener anderer, bereits in höheren Jahrgangsstufen erprobter Fragebögen ein eigener Physik-Vortest entwickelt. Einige Items wurden dem Mechanikkurs von Jung²⁴⁵ oder dem bekannten FCI²⁴⁶ entnommen. Zudem überprüften einzelne Items gezielt bekannte Präkonzepte, insbesondere zum Kraftverständnis. Beispielsweise findet man bei Wodzinski²⁴⁷ hierzu Anregungen.

Der Test²⁴⁸ arbeitete die einzelnen Gebiete der Mechanik nicht thematisch oder chronologisch geordnet ab. Dies sollte die Schülerinnen und Schüler dazu anregen, bei jeder Aufgabe neu nachzudenken und nicht etwa Antwortschemata anzuwenden. Weiterhin konnten die Aufgaben auf diese Weise leichter zu Aufgabengruppen zusammengefasst werden, die jeweils eine bestimmte Bearbeitungsanweisung erhielten. So wurden neben Multiple-Choice-Aufgaben auch halboffene und offene Fragen gestellt. Die wesentlichen Skalen²⁴⁹ sicherten dabei mehrere Items ab, die -wegen der besseren Auswertbarkeit- meist Multiple-Choice-Aufgaben waren.

Die insgesamt 35 Items des Vortests betrafen in erster Linie die Bereiche Kraftverständnis (15 Items) und zweidimensionale Bewegung (9 Items). Diese beiden Kategorien erschienen für die Untersuchung als wesentlich, da in diesen Unterrichtseinheiten schwerpunktmäßig dynamisch-ikonische Repräsentationen eingesetzt werden sollten. Des Weiteren überprüften sechs Items das Vorwissen im Umgang mit einfachen Graphen. Dies sollte die Erfassung des Lernfortschritts ermöglichen, falls die dynamisch-ikonischen Repräsentationen im Sinne der ersten Untersuchung als Hilfsvisualisierung eingesetzt worden wären. In Anbetracht des engen zeitlichen Rahmens und der großen Stofffülle, wurde bei der Durchführung des Unterrichts aber darauf verzichtet.

Treatmentphase. Die Teilnehmer der Untersuchung wurden im regulären Unterricht „Natur und Technik“ von den gewohnten Lehrkräften mit den entsprechenden Inhalten vertraut gemacht. Beide Lehrkräfte waren männlich, arbeiteten an derselben Schule, hatten die gleiche Amtsbezeichnung, waren in etwa gleich alt und gleich lange im Schuldienst. Daneben waren beide Lehrkräfte jeweils die Klassenleiter ihrer in „Natur und Technik“ unterrichteten Klassen.

Der Unterricht zur Mechanik umfasste einen Zeitraum von insgesamt etwa vier Monaten und wurde in Absprache der beiden Kollegen parallel gehalten. Auch wenn also auf eine weitestgehende Vergleichbarkeit der Treatment- und der Kontrollklasse geachtet wurde, können dennoch Störeffekte nicht ausgeschlossen werden, die auf die Lehrervariable zurückzuführen sind. Daher müssen die Ergebnisse zurückhaltend interpretiert werden. Während die Lehrkraft in der Kontrollklasse auf einen Computereinsatz und damit auf dynamisch-ikonische Repräsentationen verzichtete, wurde diese Repräsentationsform in der anderen Klasse nach dem zuvor vorgestellten Unterrichtskonzept gezielt eingesetzt.

Nachtest. Ein Nachtest²⁵⁰ sollte abschließend den Lernzuwachs der einzelnen Schülerinnen und Schüler feststellen und in der Gesamtheit aller Teilnehmer eventuell vorhandene Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen aufzeigen. Dazu war der Nachtest als erweiterter Paralleltest zum Vortest konzipiert, das heißt er umfasste Fragen, die bereits im Vortest gestellt wurden. Zusätzlich wurden im Nachtest aber auch weitere Fragen gestellt, die die Schülerinnen und Schüler aufgrund ihres fehlenden Vorwissens im Vortest (eigentlich) nicht beantworten konnten und daher dort nur vereinzelt vorkamen. Mit diesen zusätzlichen Fragen konnten jetzt Teilbereiche genauer überprüft und die Testgüte erhöht werden. Im Gegenzug wurde auf die halboffenen und offenen Fragestellungen verzichtet. Sie waren im Vortest von Bedeutung gewesen, da sie weit verbreitete Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler offen legten. Nun wurden diese falschen Konzepte als Antwortmöglichkeiten in den Multiple-Choice-Fragen vorgegeben, um zu

²⁴⁵ Jung (1977)

²⁴⁶ Hestenes (1992; 1995)

²⁴⁷ Wodzinski (1996)

²⁴⁸ vgl. Anlage K

²⁴⁹ Itemsatz, der möglichst homogen ein interessierendes Merkmal misst.

²⁵⁰ vgl. Anlage L

überprüfen, ob die Probanden die Fehlvorstellungen beibehalten hatten. Der Verzicht auf (halb)offene Fragestellungen hatte den Vorteil, dass der Test präziser auszuwerten war.

3.4.3 Auswertung und Ergebnisse

Validität. Da viele Fragen dem FCI von Hestenes, dem Fragebogen von Jung oder Vorschlägen von Wodzinski entnommen sind, scheint bereits eine Inhaltsvalidität gegeben. Eine Kriteriumsvalidität wurde mit Hilfe der Physiknote der Probanden überprüft. Es ergab sich eine signifikante Korrelation von Nachttestergebnis und Physiknote ($r=0.59$): Die Nullhypothese, dass das Nachttestergebnis und die Physiknote unabhängig voneinander sind, konnte mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von über 99 Prozent abgelehnt werden. Somit überprüfte der Test mit großer Wahrscheinlichkeit diejenigen physikalischen Konzepte, die auch für die Bildung der Zeugnisnote von Bedeutung waren.

Reliabilität. Die (korrigierte) Testhalbierungs-Reliabilität beträgt für den Nachttest $Rel=0.81$ ($t=6.12$, $N=47$, $p<0.01$) und kennzeichnet somit einen guten Test mit mittel-mäßiger Reliabilität²⁵¹. Für einen neu entwickelten Test erscheint der Wert wirklich zufriedenstellend.

Itemschwierigkeit. Die Itemschwierigkeit lag für den gesamten Test bei 0,56. In den Teilbereichen Kraftverständnis und zweidimensionale Bewegung waren die Werte nur leicht unterschiedlich (0,52 bzw. 0,60), so dass der Test insgesamt ausgewogen war. Drei Items, deren Schwierigkeitsindex sehr groß war ($>0,9$), beziehungsweise ein Item, das von keinem Probanden richtig gelöst wurde (Schwierigkeitsindex 0), wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt.²⁵²

Mittelwerte. Die deskriptive Statistik des Nachttests liefert die Mittelwerte und zugehörigen Standardabweichungen für die beiden Klassen (vgl. Tabelle 14). Die Modalitäten der Auswertung finden sich in der Anlage L.

	Nachttestergebnis
Kontrollklasse	34,4% ± 15,4%
DIR-Klasse	56,7% ± 12,6%

Tabelle 14: Vergleich der prozentualen Nachttestergebnisse und Standardabweichungen der beiden Klassen.

Da die Untersuchungsteilnehmer in ihren Klassenverbänden unterrichtet wurden, fand auch die Auswertung der Gruppen nach dieser schulorganisatorisch vorgegebenen Einteilung statt. Daher muss das Nachttestergebnis kritisch mit dem Ergebnis des Vortests verglichen werden, da es bereits im Vorfeld (Wissens)Unterschiede zwischen den Klassen gegeben haben könnte. Die Ergebnisse des Vortests sehen wie folgt aus:

	Vortestergebnis
Kontrollklasse	38,9% ± 8,1%
DIR-Klasse	35,4% ± 6,7%

Tabelle 15: Vergleich der Vortestergebnisse der beiden Klassen

Eine Anova ergab keine signifikanten Unterschiede im Vortestergebnis der beiden Klassen ($F=2.57$, $df=1$, 45). Es lässt sich jedoch erkennen, dass die Kontrollklasse im Vortest tendenziell besser abgeschnitten hat als die Treatmentklasse. Umso größer ist der Lernfortschritt der DIR-Klasse im Nachttestergebnis zu bewerten. Es bietet sich daher ein Ver-

²⁵¹ Der Cronbach Alpha beträgt 0,72.

²⁵² vgl. Anlage L

gleich des relativen Lerngewinns an. Der relative Lerngewinn gibt das Verhältnis von absolutem Zugewinn zum noch möglichen Zugewinn an. Für die Auswertung wurden nur die Aufgaben betrachtet, die identisch²⁵³ im Vor- und Nachtest gestellt wurden ($N=13$).

	Vortest	Nachtest	Rel. Lerngewinn
Kontrollklasse	20,9% ± 6,1%	44,7% ± 16,5%	30,1% ± 17,6%
DIR-Klasse	19,7% ± 4,5%	66,5% ± 12,6%	58,3% ± 13,4%

Tabelle 16: Mittlerer relativer Lerngewinn vom Vortestergebnis auf das Nachtestergebnis. Die Werte von Vor- und Nachtest unterscheiden sich von den in Tabelle 14 und Tabelle 15 genannten, da die Itemanzahl eingeschränkt wurde ($N=13$).

Der Tabelle 16 ist zu entnehmen, dass die Schülerinnen und Schüler der DIR-Klasse im Mittel einen etwa doppelt so großen relativen Lerngewinn erzielt haben wie die Schülerinnen und Schüler der Kontrollklasse. Mit dem relativen Lerngewinn errechnet sich die große Effektstärke von 0,94. Das bedeutet, dass der Unterschied der beiden Gruppen etwa einer gemittelten Standardabweichung entspricht.

Varianzanalyse. Wie man bei den Betrachtungen der Mittelwerte bereits vermuten konnte, zeichnet sich ein signifikanter Unterschied der beiden Klassen bezüglich des Nachtestergebnisses ab ($F=45.36$, $df=1, 45$, $p<0.01$).

Auch bei der Bildung von Unterskalen schneidet die DIR-Klasse besser ab. So unterscheiden sich die Nachtestergebnisse bei den Fragen zur zweidimensionalen Bewegung ($F=4.03$, $df=1, 6$, $p<0.05$) und zu Kraft ($F=9.06$, $df=1, 12$, $p<0.01$) jeweils signifikant. Bezüglich des Geschwindigkeitskonzepts kann kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten belegt werden. In der nachfolgenden Abbildung sind die Skalen-Mittelwerte mit ihren Standardabweichungen veranschaulicht:

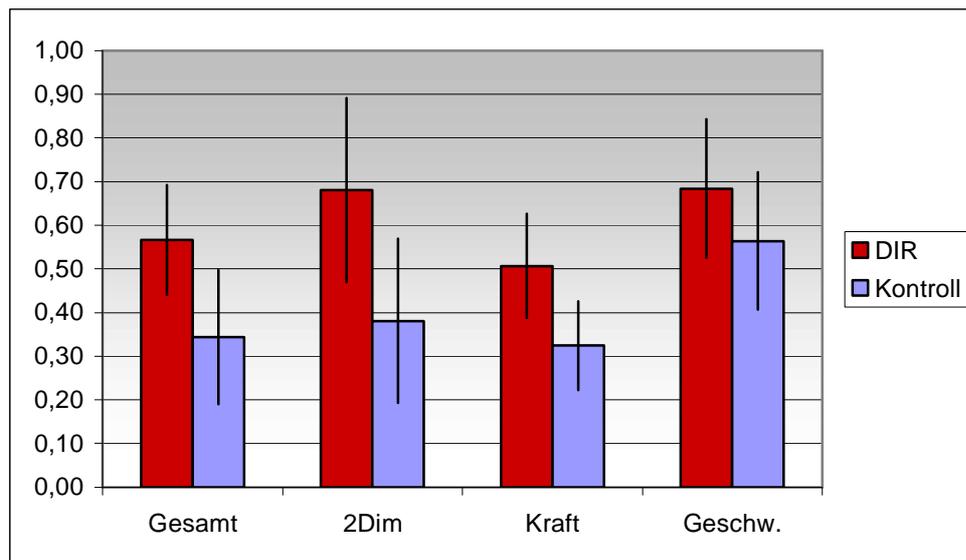


Abbildung 31: Mittelwerte und Standardabweichungen für das Nachtestergebnis und die Skalen „Zweidimensionalität“, „Kraft“ und „Geschwindigkeit“.

Analyse einzelner Items. Einige Fragen des Vor- und Nachtests sind dem FCI²⁵⁴ entnommen. Die Ergebnisse können nun mit Testwerten verglichen werden, die Wilhelm mit

²⁵³ abgesehen von Änderungen der Anordnung der Antworten innerhalb eines Items

²⁵⁴ vgl. Hestenes (1992)

Schülerinnen und Schülern der elften Jahrgangsstufe in verschiedenen Untersuchungen ermittelt hat²⁵⁵.

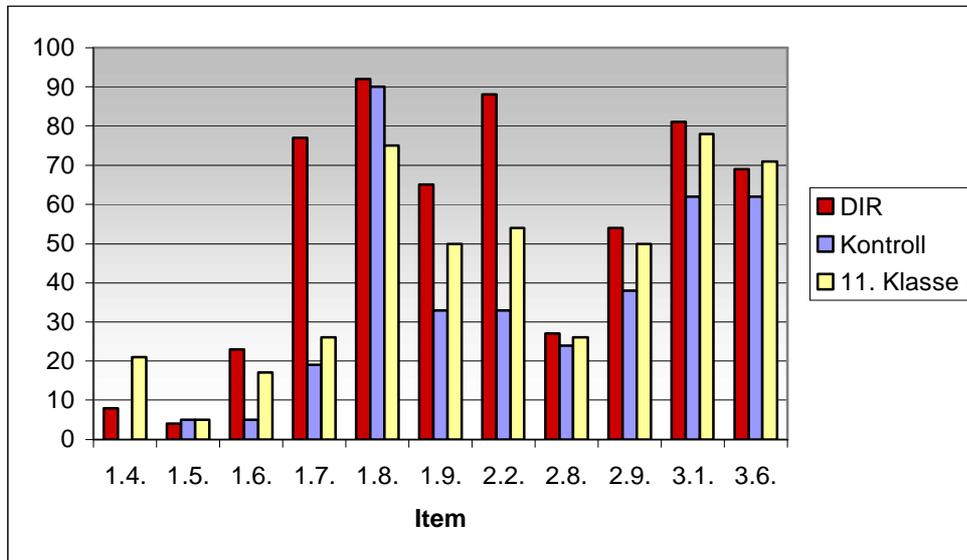


Abbildung 32: Vergleich der relativen Häufigkeit richtiger Beantwortung einzelner Items des Nachtests²⁵⁶ von DIR-Klasse, Kontrollklasse und dem Mittelwert mehrerer elften Klassen.

Es kann festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler der DIR-Klasse in den meisten Fragestellungen mindestens so gut wie die Schülerinnen und Schüler der elften Jahrgangsstufen waren, wohingegen die Teilnehmer aus der Kontrollklasse fast immer hinter den Ergebnissen zurückbleiben. Folgende Items fallen dabei besonders ins Auge: Die Aufgaben 1.4 und 1.5 wurden in allen Gruppen vergleichsweise schlecht gelöst. Die Items 1.7, 1.9 und 2.2 wurden von den Schülerinnen und Schülern der DIR-Klasse auffallend gut und jeweils signifikant ($p < 0.05$) besser als in der Kontrollklasse beantwortet. In der Tabelle sind diese Items noch einmal kurz beschrieben:

²⁵⁵ Wilhelm (2005)

²⁵⁶ vgl. Anlage L

Item	Beschreibung	DIR	Kontroll	11. Jgst.
1.4	Kräfte beim Zusammenstoß zweier unterschiedlich schwerer Fahrzeuge	0,08	0,00	0,21
1.5	Kräfte auf eine nach oben geworfene Kugel	0,04	0,10	0,05
1.7	Kräfte bei einem Aufzug, der sich mit konstanter Geschw. nach oben bewegt	0,77	0,19	0,26
1.9	Geschwindigkeitsvergleich mit Hilfe einer Stroboskopaufnahme	0,65	0,33	0,50
2.2	Kräfte auf ein Buch, das auf einem Tisch liegt	0,88	0,33	0,53

Tabelle 17: Fünf auffällige Items des Nachtest mit ihrem Thema und der mittleren richtigen Beantwortung in der DIR-Klasse, der Kontrollklasse und den elften Klassen²⁵⁷.

Über die Gründe für eine gute oder schlechte Beantwortung eines Items können nur Vermutungen angestellt werden, dennoch erscheint mir eine Diskussion aufschlussreich. Bei Aufgabe 1.4 denken die meisten Schüler, dass eine größere Masse auch eine größere Kraft impliziert. Hier wird Kraft mit Impuls oder Energie verwechselt²⁵⁸.

Viele Schüler offenbaren weiterhin bei der Beantwortung von Item 1.5 ihre Impetusvorstellung: Ein sich bewegender Körper führt eine Kraft mit sich, die er nach und nach abgibt oder verbraucht. Deswegen wird der Körper auch immer langsamer. Dieses Präkonzept wird wohl insgesamt zu wenig im Unterricht aufgegriffen, meist stehen doch eher Stoßsituationen im Vordergrund, bei denen beide Wechselwirkungspartner bekannt sind. Dagegen wird das gewöhnliche Ausrollen oder Gleiten eines Körpers nur bei der Einführung der Reibung thematisiert und mittels der unanschaulichen Reibungskraft erklärt. Der Prozess des Ausrollens erscheint aber vielen Schüler auch mit der Impetustheorie logisch. Dementsprechend hat sich (auch in der Untersuchung) das Festhalten am Impetusgedanken durch den Unterricht nicht verbessert. So wurden im Vortest von den sieben Items, die das Fehlkonzept „Impetus“ überprüften, von den Schülerinnen und Schülern im Mittel 3,8 fälschlicherweise als richtig angenommen (Quote: 54%), im Nachtest waren es 3,5 von sechs Items (Quote: 58%).

Die Aufgabenstellung 1.7 wird vermutlich deswegen so außergewöhnlich gut in der DIR-Klasse beantwortet, weil der Aufzug bei der Erarbeitung des Zusammenhangs von Kraft und Geschwindigkeitsänderung als Simulation verwendet wurde.²⁵⁹ Offensichtlich konnten die Schülerinnen und Schüler von den eingesetzten dynamisch-ikonischen Repräsentationen profitieren, wenn sie eine entsprechende Aufgabe auch noch mehrere Wochen nach der Behandlung im Unterricht richtig lösten.

Auch für die gute Bearbeitung von Item 1.9 spricht wohl der Einsatz der dynamisch-ikonischen Repräsentationen. Die schrittweise Betrachtung einer Bewegung unter PAKMA entspricht prinzipiell der Stroboskopaufnahme einer Bewegung. Auch das Stempeldiagramm hält die Geschichte einer Bewegung in Etappen auf ähnliche Weise fest, wie es die Stroboskopaufnahme macht.

Warum allerdings die Standardaufgabe 2.2 von der DIR-Gruppe so viel besser gelöst wird als von den anderen beiden Gruppen, erschließt sich mir nicht so leicht. Vermutlich fördert die Beschäftigung mit den Pfeilen in einer Simulation die mentale Verankerung des Pfeilmodells²⁶⁰ und erleichtert damit ein besseres Verständnis auch der statischen Pfeile wie in der Abbildung 33.

²⁵⁷ vgl. Wilhelm (2005), S. 192

²⁵⁸ vgl. 3.2.3

²⁵⁹ vgl. 3.3.6

²⁶⁰ vgl. 1.3.2

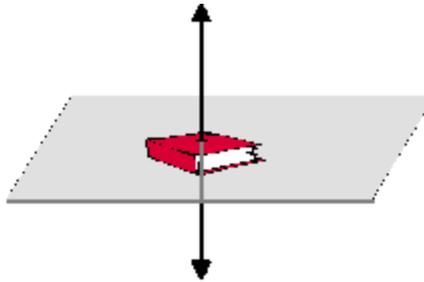


Abbildung 33: Übliche Darstellung des Kräftegleichgewichts für ein Buch, das auf einem Tisch liegt.

Nachhaltigkeit. Nach etwa einem Jahr wurde den Schülerinnen und Schülern der Kontroll- und der DIR-Klasse ein Kurztest vorgelegt mit dem Ziel, die Nachhaltigkeit des Gelernten zu überprüfen. Dieser bestand aus denjenigen Fragen, die von den Teilnehmern der DIR-Gruppe im damaligen Nachtest auffallend gut beantwortet worden waren. Dadurch sollte ausgeschlossen werden, dass die Schülerinnen und Schüler damals nur Oberflächenmerkmale von Bildern oder Repräsentationen reproduziert hatten, ohne die Konzepte, die damit vermittelt werden sollten, tatsächlich verstanden zu haben²⁶¹. Die Ergebnisse des Kurztests werden in der folgenden Abbildung aufgezeigt:

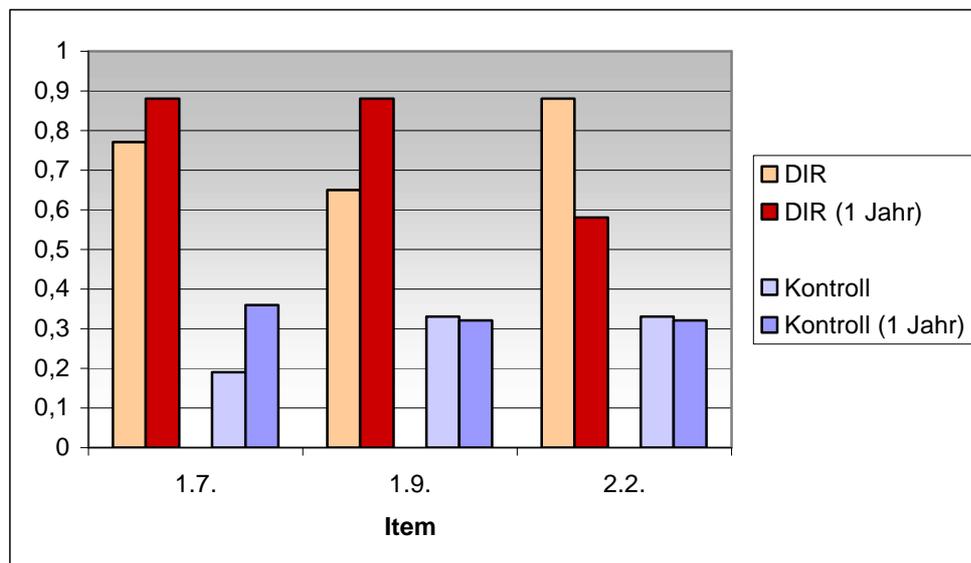


Abbildung 34: In der Graphik werden die Mittelwerte des Kurztests nach etwa einem Jahr (Items vgl. Tabelle 17) mit den entsprechenden Ergebnissen des Nachtests direkt im Anschluss an die Treatmentphase verglichen. Die Resultate der DIR-Gruppe stehen dabei denen der Kontrollgruppe gegenüber.

Obwohl im Physikunterricht seit dem letzten Schuljahr Kräfte nicht explizit thematisiert wurden, bestätigten die Gruppen ihre früheren Ergebnisse. Teilweise schnitten die Schülerinnen und Schüler sogar besser ab als am Ende des damaligen Unterrichts. Insbesondere konnten die Teilnehmer der DIR-Gruppe ihr vormals hohes Niveau beibehalten, so dass von einer guten Verankerung der gelernten Konzepte ausgegangen werden kann. Auffällig ist, dass Zuwächse bei den beiden Items 1.7. und 1.9. beobachtet werden können; das sind die Items, die sich auf das Lernen mit den dynamisch-ikonischen Repräsentationen beziehen. Beim Item 2.2. hingegen reduziert sich der Grad der richtigen Beantwortung um dreißig Prozentpunkte auf ein im Vergleich zur Kontrollklasse und zur elften Klasse (vgl. Abbildung 32) immer noch gutes Maß.

²⁶¹ vgl. 1.4.1

3.4.4 Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung scheint sich die Hypothese zu bestätigen, dass dynamisch-ikonische Repräsentationen in der siebten Jahrgangsstufe zur Erarbeitung von Inhalten aus der Mechanik ein geeignetes Hilfsmittel sind. Die Schülerinnen und Schüler, die unter Zuhilfenahme dieser Repräsentationsform lernten, zeigten im Vergleich zur Parallelklasse signifikant bessere Ergebnisse im Nachtest. In den Aufgaben, in denen ein Vergleich mit Schülern der elften Jahrgangsstufe möglich war, schnitten die Schüler der DIR-Klasse ebenfalls fast immer besser, in manchen Fällen sogar überdurchschnittlich besser als die älteren Schüler ab.

Aus den Ergebnissen kann man zwei Schlussfolgerungen ziehen: Zum einen konnten die Schülerinnen und Schüler offensichtlich mit den eingesetzten dynamisch-ikonischen Repräsentationen umgehen und die gezeigten Zusammenhänge verstehen. Das heißt, dass diese Art der Codierung für diese Altersstufe grundsätzlich geeignet erscheint und nicht als zu anspruchsvoll abgelehnt werden kann. Dies wird durch die gute Beantwortung derjenigen Fragen bestätigt, die sich auf im Unterricht gezeigte Versuche beziehen.

Daneben scheinen die DIR nicht nur für die Beantwortung von Reproduktionsaufgaben genutzt zu werden, sondern ebenso die Transferleistung zu verbessern, was sich darin äußert, dass die Schülerinnen und Schüler auch die Fragen gut meisterten, die im Unterricht nicht thematisiert worden waren. Diese Tatsache spricht dafür, dass die dynamisch-ikonischen Repräsentationen von den Schülerinnen und Schülern auch zum Aufbau adäquater mentaler Modelle herangezogen wurden. Voraussetzung dafür ist aber, dass der Umgang mit der neuen Repräsentationsform sorgfältig vorbereitet und geübt wurde.

Wie bereits erwähnt, können die Ergebnisse sicherlich nicht ausschließlich auf den Einsatz der DIR zurückgeführt werden. Doch scheint die gute Beantwortung derjenigen Items, die sich auf die dynamisch-ikonischen Repräsentationen beziehen, als ein Indiz dafür gewertet werden zu können, dass diese einen maßgeblichen Anteil am Lernerfolg haben.

4 Gesamtbewertung der Ergebnisse

4.1 Zusammenfassung

Im Physikunterricht wurde lange Zeit die Bedeutung quantitativer Zusammenhänge für das Physiklernen überbewertet, qualitative Zusammenhänge spielten dagegen eine eher untergeordnete Rolle. Dies führte dazu, dass das Wissen der Schüler zumeist oberflächlich blieb und nicht auf neue Situationen angewendet werden konnte. TIMSS und Pisa offenbarten diese Schwierigkeiten. In den Abschlussberichten wurde kritisiert, dass die Schülerinnen und Schüler kaum in der Lage seien, Lernstoff zu transferieren oder problemlösend zu denken.

Um physikalische Abläufe deuten und entsprechende Probleme lösen zu können, ist qualitativ-konzeptuelles Wissen nötig. Dieses kann, wie Forschungsergebnisse belegen, am besten durch die konstruktivistisch motivierte Gestaltung von Lernsituationen sowie durch die Integration externer Repräsentationen von Versuchsaussagen in den Schulunterricht erreicht werden. Eine konkrete Umsetzung dieser Bedingungen stellt der Einsatz rechnergestützter Experimente dar, der heutzutage ohne allzu großen technischen Aufwand realisiert werden kann. Diese Experimente erleichtern es dem Lernenden, durch den direkten Umgang mit realen Abläufen, physikalische Konzepte zu erschließen und somit qualitative Zusammenhänge zu verstehen.

Während man lange Zeit von einer grundsätzlichen Lernwirksamkeit animierter Lernumgebungen ausging, zeigen dagegen neuere Untersuchungen eher Gegenteiliges auf. Schülerinnen und Schüler müssen offensichtlich erst lernen, wie mit multicodierten Repräsentationen zu arbeiten ist. Die vorliegende Arbeit will einen Beitrag dazu leisten, herauszufinden, wie lernwirksam sogenannte dynamisch-ikonische Repräsentationen (DIR) sind, die physikalische Größen vor dem Hintergrund konkreter Versuchsabläufe visualisieren.

Dazu bearbeiteten im Rahmen einer DFG-Studie insgesamt 110 Schülerinnen und Schüler jeweils 16 Projekte, in denen mechanische Konzepte (Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft) aufgegriffen wurden. Es zeigte sich, dass die Probanden mit den eingesetzten dynamisch-ikonischen Repräsentationen nicht erfolgreicher lernen konnten als vergleichbare Schülerinnen und Schüler, die die gleichen Lerninhalte ohne die Unterstützung der dynamisch-ikonischen Repräsentationen erarbeiteten. Im Gegenteil: Schülerinnen und Schüler mit einem geringen visuellen Vorstellungsvermögen schnitten aufgrund der Darbietung einer zusätzlichen Codierung schlechter ab als ihre Mitschüler.

Andererseits belegen Untersuchungen von Blaschke, dass solche Repräsentationen in der Erarbeitungsphase einer neu entwickelten Unterrichtskonzeption auch und gerade von schwächeren Schülerinnen und Schülern konstruktiv zum Wissenserwerb genutzt werden konnten.

Es scheint also, dass die Lerner zunächst Hilfe beim Umgang mit neuartigen Repräsentationsformen benötigen, bevor sie diese für den weiteren Aufbau adäquater physikalischer Modelle nutzen können. Eine experimentelle Untersuchung mit Schülerinnen und Schülern der zehnten Jahrgangsstufe (Gymnasium) bestätigte diese Vermutung. Hier lernten 24 Probanden in zwei Gruppen die mechanischen Konzepte zu Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung kennen, bevor sie im Unterricht behandelt wurden. Während die Teilnehmer der ersten Gruppe nur die Simulationen von Bewegungsabläufen und die zugehörigen Liniendiagramme sahen, wurden für die zweite Gruppe unterstützend dynamisch-ikonische Repräsentationen eingesetzt, die den Zusammenhang von Bewegungsablauf und Liniendiagramm veranschaulichen sollten. In beiden Gruppen war es den Probanden möglich, Fragen zu stellen und Hilfe von einem Tutor zu erhalten. Die Ergebnisse zeigten auf, dass es den Schülerinnen und Schülern durch diese Maßnahme ermöglicht wurde, die dynamisch-ikonischen Repräsentationen erfolgreich zum Wissenserwerb einzusetzen und signifikant besser abzuschneiden als die Teilnehmer in der Kontrollgruppe.

In einer weiteren Untersuchung wurde abschließend der Frage nachgegangen, ob dynamisch-ikonische Repräsentationen unter Anleitung eines Tutors eventuell bereits in der

Unterstufe sinnvoll eingesetzt werden können. Ausgangspunkt dieser Überlegung war die Tatsache, dass mit der Einführung des neuen bayerischen G8-Lehrplans wesentliche Inhalte, die Bestandteil der vorherigen Untersuchungen waren, aus dem Physikunterricht der elften Jahrgangsstufe in die siebte Jahrgangsstufe verlegt wurden. So bot es sich an, mit den Inhalten auch die dynamisch-ikonischen Repräsentationen in der Unterstufe einzusetzen. Die Untersuchungen einer quasiexperimentellen Feldstudie in zwei siebten Klassen belegten, dass die betrachteten Repräsentationen beim Aufbau entsprechender Konzepte keinesfalls hinderlich, sondern sogar förderlich sein dürften. Denn die Schülergruppe, die mit Hilfe der dynamisch-ikonischen Repräsentationen lernte, schnitt im direkten hypothesenprüfenden Vergleich mit der Kontrollklasse deutlich besser ab. Ein Kurztest, der die Nachhaltigkeit des Gelernten nach etwa einem Jahr überprüfen sollte, zeigte zudem auf, dass die Schülerinnen und Schüler der DIR-Gruppe die Konzepte, die unter Zuhilfenahme der dynamisch-ikonischen Repräsentationen erarbeitet wurden, im Vergleich zu Schülern der Kontrollklasse und zu Schülern aus elften Klassen insgesamt überraschend gut verstanden und behalten hatten.

Damit soll diese Arbeit einen Beitrag zum besseren Verständnis im Umgang mit multimedialen Lernumgebungen im Physikunterricht leisten: Nicht das Medium an sich vermag sinnstiftendes Lernen zu instruieren. Vielmehr bedarf es eines gut strukturierten und am besten frühzeitig beginnenden Prozesses, der die Schülerinnen und Schüler anleitet, mit den diversen Codierungen bewusst umzugehen. Nur dann können die vielfältigen Möglichkeiten effektiv genutzt werden, die uns die heutige informationstechnologische Zeit beispielsweise in Form multimedialer Welten oder multicodierter Lernumgebungen bietet.

4.2 Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse scheinen im Einklang mit Ergebnissen anderer neuerer Untersuchungen²⁶² zu stehen, nach denen die Lernenden (ohne lenkenden Tutor) im Allgemeinen eher oberflächlich mit multicodierten Anwendungen arbeiten und die Potenziale solcher Lernprogramme nicht nutzen. Dies könnte insbesondere daran liegen, dass Schülerinnen und Schüler während ihrer Schullaufbahn den Umgang mit dynamisch-interaktiven Visualisierungen (noch) nicht gelernt haben.

Auch wenn vieles, das über das Lernen mit Multimedia theoretisch zusammengetragen wurde, bisher so allgemein gehalten ist, dass es in der Praxis kaum eine Anwendung finden kann, sollte dennoch gerade in der heutigen Zeit der sinnvolle Umgang mit den Medien und das Arbeiten in multimedialen Lernumgebungen intensiv geschult werden. Die Schülerinnen und Schüler sind nämlich in ihrem Alltag in immer stärkerem Maße den Medien ausgesetzt: Werbung prasselt in allen Formen auf die Kinder ein, im Unterricht sollen die Schüler verschiedenste Repräsentationen zueinander in Beziehung setzen und darin enthaltene Informationen entnehmen, Arbeitgeber erwarten von ihren Mitarbeitern eine umfassende mediale Grundbildung. Gerade die Vermittlung einer Medienkompetenz sollte die Schule als eine ihrer Aufgaben ansehen und die Kinder in diesem Bereich schulen und fördern.

Natürlich finden sich in den Lehrplänen Maßgaben, die zu einem fachgerechten Einsatz von Medien und zu einer umfassenden Medienbildung anregen sollen. Im Deutsch-Lehrplan des bayerischen G8 der fünften Jahrgangsstufe sollen die Schülerinnen und Schüler beispielsweise den Umgang mit visuellen Darstellungen üben. Konkret wird hierzu genannt: „Bilder und Zeichnungen betrachten, beschreiben und anfertigen; nach Bildern erzählen“. In der sechsten Jahrgangsstufe soll darauf aufgebaut werden: „Bilder und Zeichnungen betrachten, genau beschreiben und anfertigen“. In Jahrgangsstufe 7 sollen die Schülerinnen und Schüler dann bekannte Medien nutzen und zunehmend effektiv verwenden, um sich Wissen anzueignen und Ergebnisse zu präsentieren.

Wenn man Medienkompetenz vermitteln will, ist es sicherlich sinnvoll, Bilder zunächst nur zu betrachten und nach subjektiven Kriterien zu beschreiben. Doch fehlen meines Erachtens nach diesem ersten einfachen Kontakt mit den Bildern viele wesentliche Schritte, bis die Schülerinnen und Schüler in der siebten Jahrgangsstufe die Medien dann

²⁶² Bodemer (2004); Plötzner (2004); Yeo (2004)

plötzlich „nutzen und zunehmend effektiv verwenden“ können. So wird etwa keine Aussage über Text-Bild-Interaktionen gemacht, was sicherlich gerade im Deutschunterricht gelehrt werden könnte. Auch die Ausweitung in der siebten Jahrgangsstufe vom Bild hin zu Medien allgemein, wird im Lehrplan „Deutsch“ nur wenig vorbereitet.

Abgesehen von der fragwürdigen Stringenz innerhalb des Faches Deutsch, werden auch keine Verweise auf andere Fachrichtungen gegeben. Dabei lassen sich doch große Unterschiede zwischen der eher subjektiven Betrachtung einer Bildergeschichte im Fach Deutsch und der eher objektiven Informationsentnahme aus einer wissenschaftlichen Abbildung festmachen. Die Maßgaben im Fach Deutsch erscheinen also isoliert, eine Vernetzung mit anderen Bereichen findet nicht statt.

Die Ergebnisse einer Arbeitstagung²⁶³, an der neun verschiedene Fachrichtungen teilnahmen, zeigten ebenfalls deutlich auf, dass über die Fachgruppen hinweg den Bildern ganz unterschiedliche Bedeutungen zugemessen werden. An dieser Stelle seien nur die Beispiele „Gottesbild“ (Religion) und „Abbild der Wirklichkeit“ (Erdkunde) genannt. Schülerinnen und Schüler müssen in der Schule über diese verschiedenen Bedeutungen aufgeklärt werden, um mit den Bildern in den jeweiligen Fächern sinnvoll arbeiten zu können.

Was hier knapp für „Bilder“ gesagt wurde, gilt in viel stärkerem Maße für andere Repräsentationsformen, die teilweise überhaupt nicht im Lehrplan erwähnt sind.

Insgesamt stellt sich die Frage, ob es nicht an der Zeit wäre, eine Art „Medienkompetenz-Lehrplan“ zu entwickeln. Dessen Umsetzung ist sicherlich sehr schwierig, denn der Ansatz muss interdisziplinär und unter Einbeziehung psychologischer Aspekte erfolgen. Doch kann der Umgang mit multimedialen Anwendungen nicht losgelöst von den Inhalten geübt werden, so dass wir uns doch wieder innerhalb des bekannten Fächerkanons befinden würden. Leider findet sich in der didaktischen Forschung bisher noch kein mir bekannter Ansatz, der in diese Richtung denkt. Wünschenswert wäre es sicherlich – auch für den Physikunterricht!

Der Ruf nach einem Medienkompetenz-Lehrplan wird beispielsweise durch die Untersuchung aus Kapitel 3.4. gestützt: Schülerinnen und Schüler scheinen bereits im Physikunterricht der siebten Jahrgangsstufe in der Lage zu sein, dynamisch-ikonische Repräsentationen, also eine insgesamt recht anspruchsvolle Codierung, sinnvoll in einen Lernprozess zu integrieren. Die Konzentration im Physikunterricht auf die wesentlichen Aspekte der Repräsentation würde den Schülerinnen und Schülern leichter fallen, wenn die Grundlagen über das Arbeiten mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen bereits außerhalb des Fachunterrichts erarbeitet wurden. Denn dann könnten die physikalischen Konzepte wieder stärker in den Vordergrund rücken, die extrinsische Belastung²⁶⁴ wäre reduziert.

Insofern gibt diese Arbeit auch einen Anstoß, sich intensiver mit dem Lernen mit Multimedia zu befassen und Kompetenzen zu benennen, die notwendig für den sinnvollen und konstruktiven Umgang mit Medien sind. Einen wesentlichen Beitrag zur Kompetenzschulung sollte dabei auch die Physik leisten, da hier für ein effektives Lernen die vielfältigsten Repräsentationsformen wie Text, Formel, Bild, Video, Simulation, dynamisch-ikonische Repräsentation oder Modellbildung eingesetzt und miteinander verknüpft werden müssen.

²⁶³ ISB-Arbeitstagung „Wissensgenese an Schulen – Beiträge zu einer Bilddidaktik“
(Veröffentlichung in Vorbereitung)

²⁶⁴ vgl. 1.2.1

4.3 Abstract

For a long time the significance of quantitative interrelations for the acquisition of physics has been overestimated in physics education while qualitative interrelations have been considered of less importance. This has resulted in the students' knowledge most often remaining superficial and not suited to be adapted to new situations. *TIMSS* and *Pisa* have revealed these difficulties, criticizing the conventional physics education for demanding too little transfer achievements and not preparing students to solve physical problems on their own by thinking constructively.

To be able to solve physical problems and interpret physical processes, qualitative-conceptual knowledge is vital. According to results of the latest research this can be achieved most efficiently by creating constructivist learning situations as well as integrating external representations of conclusions from experiments. A concrete way to reach these envisaged aims is the application of PC-assisted experiments, which can be put in practise without an exceeding technical effort. These experiments enable the students - by being directly confronted with a realistic process - to get insight into physical concepts and thus to understand qualitative interrelations.

For a long time a basic learning efficiency of animated learning environments was assumed, more recent research, however, has rather pointed in the opposite direction. Obviously students must first learn how to work with multi-coded representations. This paper is intended to contribute to the exploration of the efficiency of the so-called dynamic-ionic representations (DIR), which visualize physical values against the background of concrete test procedures.

For this purpose 110 students have covered 16 projects each within a DFG study, in which mechanical concepts (place, velocity, acceleration and force) are dealt with and developed further. As it turned out, students working with the dynamic-ionic representations did not learn more efficiently than those working without the assistance of the dynamic-ionic representations. On the contrary: students with a less distinct visual-spatial ability did worse than their fellow-students, obviously due to the presentation of yet another encoding.

On the other hand research by Blaschke has proven that such representations can be used constructively to gain knowledge especially by the inefficient students during the acquisition stages of a (newly-developed) teaching conception.

Consequently, it seems that students must first receive some sort of assistance with handling novel forms of representation before being able to use them for getting to know about the further construction of physical models. An experimental study with participants from tenth-grade high school classes has confirmed this assumption.

Another study dealt with the question as to whether dynamic-ionic representations can already be applied expediently in the lower grade. It was performed because significant contents of the physics year 11 curriculum had been moved to year 7 with the introduction of the new Bavarian *G8* (eight-year high school) curriculum. Thus it seemed advisable to apply the dynamic-ionic representations along with the contents in the lower grade.

The research done in a quasi experimental field study has shown that the representations in question are by no means obstructive, but in parts conducive to the students' ability to develop corresponding conceptions. This can be seen from the fact that the group of students learning with the assistance of dynamic-ionic representations did indeed considerably better than the 'control group'.

With its results this paper is supposed to contribute to a better understanding of the application of multimedia learning environments. The medium alone cannot induce meaningful learning processes – these processes must be well-structured and start as soon as possible, so that they can teach the students to deal with the different encodings sensibly. I am convinced that this is the only way the various possibilities our current IT age offers us with its multimedia worlds or multi-coded learning environments can be used efficiently.

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. (1999): *The functions of multiple representations*.
In: Computers & Education 33. S. 131-152
- Ainsworth, S.; van Labeke, N. (2004): *Multiple forms of dynamic representation*.
In: Learning and Instruction 14(3). S. 241-255
- Arons, A. (1981): *Thinking, reasoning and understanding in introductory physics courses*.
In: The Physics Teacher 19. S. 166-172
- Aufschnaiter, C.v. (2005): *Von Fehlvorstellungen und fehlenden Erfahrungen: Konzeptentwicklung im Physik-Unterricht*.
In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik der DPG – Berlin 2005.
Berlin: Lehmanns Media.
- Bader, F.; Dorn, F. (1998): *Physik 11*.
Hannover: Schroedel.
- Ballstaedt, S. (1997): *Wissensvermittlung*.
Weinheim: Beltz.
- Bambey, J.; Brauner, R.; Dmoch, N. et al. (1980): *Grundzüge der Physik. Teilband: Elektrik 1, Elektrik 2, Atomistik, Mechanik 2, Schwingungen und Wellen*.
Frankfurt: Verlag Moritz Diesterweg.
- Barbeau, A. (2006): *Medien und Schule*.
In: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.): Lehrerinfo 3/06. Donauwörth: Ludwig Auer. S. 5-8
- Baumert, J. et al (1997): *Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des naturwissenschaftlichen Unterrichts“*.
Bonn: Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK- Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, Heft 60).
- Baumert, J.; Klieme, E.; Bos, W. (2001): *Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn – Die Herausforderung von TIMMS für die Weiterentwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts*.
In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): TIMMS – Impulse für Schule und Unterricht. München: Mediahaus Biering. S. 11-41
- Bayer, R. et al. (1998): *Impulse Physik 2*.
Stuttgart: Klett.
- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.) (2004): *Lehrplan für das Gymnasium in Bayern*.
Wolnzach: Kastner.
- Behrendt, H. (2004): *Kinematik – Langweilige Pflichtübung oder Chance für den interessanten Physikunterricht?*
In: Unterricht Physik 83(15). S. 4-9
- Beichner, R.J. (1994): *Testing students interpretation of kinematics graphs*.
In: American Journal of Physics 62. S. 750-762

- Berg, C.A.; Smith, P. (1994): *Assessing students' abilities to construct and interpret line graphs: Disparities between multiple-choice and free-response instruments.*
In: Science Education 78. S. 527-554
- Blaschke, K. (1999): *Dynamik-Lernen mit multimedial experimentell unterstütztem Werkstatt (MEW)-Unterricht – Konzepte, Umsetzung, Evaluierung.*
Dissertation, Universität Würzburg.
- Blaschke, K.; Heuer, D. (2000): *Dynamik-Lernen mit multimedial-experimentell unterstütztem Werkstattunterricht. Erfahrungen mit einem Unterrichtskonzept.*
In: Physik in der Schule 38(2). S. 86-91
- Bodemer, D.; Plötzner, R.; Feuerlein, I.; Spada, H. (2004): *The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations.*
In: Learning and Instruction 14(3). S. 325-341.
- Bolte, C.; Schanze, S.; Thormählen, M.; Saballus, U. (2005): *Naturwissenschaftlich-chemische Modellvorstellungen – Entwicklung und Erprobung eines Fragebogens zur Analyse epistemologischer Überzeugungen.*
In: Pitton, A. (Hrsg.): Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Jahrestagung der GDCP in Berlin 2005. Münster: LIT. S. 430-432
- Bortz, J.; Döring, N. (1995): *Forschungsmethoden und Evaluation.*
Berlin: Springer.
- Busse, A. (2003): *Mechanik und Verkehr – Ein Projekt zur Entwicklung multimedialer Lernsoftware zur Verkehrserziehung.*
In: Physik in der Schule 52(3). S. 29-34
- Chandler, P. (2004): *The crucial role of cognitive processes in the design of dynamic visualizations.*
In: Learning and Instruction 14(3). S. 353-357
- Christl, M.; Fösel, A.; Hilscher, H.; Thanner, A.; Vitz, S.; Wörlen, F. (2005): *Natur und Technik 7 – Gymnasium Bayern.*
Berlin: Cornelsen.
- Clement, J. (1982): *Students' preconceptions in introductory mechanics.*
In: American Journal of Physics 50. S. 66-71
- De Jong, T.; van Joolingen, W. (1998): *Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains.*
In: Review of Educational Research 68(2). S. 179-201
- Dittmann, H.; Näpfel, H.; Schneider, W. (1989): *Die zerrechnete Physik.*
In: Schneider, W. (Hrsg.): Wege in der Physikdidaktik. Erlangen: Palm und Enke.
- Dobson, M. (1999): *Information enforcement and learning with interactive graphical systems.*
In: Learning and Instruction 9(4). S. 365-390
- Dorn, F.; Bader, F. (1998): *Physik 11.*
Hannover: Schroedel Verlag
- Duit, R. (1992): *Vorstellung und Physiklernen – Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten.*
In: Physik in der Schule 30(9). S. 282-285.
- Dykstra, D.I.; Boyle, C.F.; Monarch, I.A. (1992): *Studying conceptual change in learning physics.*
In: Science Education 76(6). S. 615-652.

- Elby, A. (2001): *Helping physics students learn how to learn.*
In: American Journal of Physics 69(7). S. 54-64
- Elschenbroich, H.-J. (2005): *Bildungsstandards und Neue Medien im Mathematikunterricht.*
In: Praxis der Mathematik 4(47). S. 43- 45
- ESA (2004): *Project: Zero Gravity. Mission I: Newton in Space.*
In: ISS Education Office (Hrsg.): ISS Education Program. DVD: Space for learning. Agtel.
- Feldner, P. (1996): *Zur Sprachgestaltung von Physikschulbüchern.*
Schriftliche Hausarbeit für die erste Staatsprüfung für das Lehramt am Gymnasium. Würzburg.
- Fuchs, T.; Wöbmann, L. (2005): *Computer können das Lernen behindern.*
In: ifo-Schnelldienst 18 (58). S. 3-10
- Fuster, J.M. (2003): *Cortex and Mind.*
Oxford: Oxford University Press.
- Galmbacher, M.; Heuer, D.; Lippitsch, S.; Plötzner, R.; Scherrer, S. (2005b): *Lernen mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen in Abhängigkeit von Lernvoraussetzungen beim Schüler.*
In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik der DPG – Berlin 2005.
Berlin: Lehmanns Media.
- Galmbacher, M.; Heuer, D.; Lippitsch, S.; Scherrer, S.; Plötzner, R. (2005a): *Erwerb qualitativ physikalischer Konzepte durch dynamisch-ikonische Repräsentationen von Strukturzusammenhängen.*
In: Pitton, A. (Hrsg.): Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Jahrestagung der GDCP in Heidelberg 2004.
Münster: LIT.
- Girwidz, R. (2002a): *Neues Lernen mit neuen Medien?*
In: Unterricht Physik 13 (69). S. 4-6
- Girwidz, R. (2002b): *Multimedialität im Physikunterricht.*
In: Unterricht Physik 13 (69). S. 7-10
- Girwidz, R.; Rubitzko, T. (2003): *Entwicklung und Evaluation von Multimediaanwendungen für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht.*
In: Nordmeier, V. (Hrsg.): Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik der DPG – Augsburg 2003. Berlin: Lehmanns Media.
- Girwidz, R.; Rubitzko, T.; Spannagel, C. (2004): *Animationen in multimedialen Lernumgebungen.*
In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik der DPG – Düsseldorf 2004.
Berlin: Lehmanns Media.
- Goldman, S.R. (2003): *Learning in complex domains: when and why do multiple representations help?*
In: Learning and Instruction 13(2). S. 239-244
- Große, W.; Sander, F.; Lisson, H. (2002): *Medienfestival „Bilder aus der Physik“ – über Medien aus der Wissenschaft.*
In: Pitton, A. (Hrsg.): Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie. Jahrestagung der GDCP in Flensburg 2002. Münster: LIT. S. 96-98

- Hake, R.R. (1998): *Interactive engagement versus traditional methods: A six-thousand-students-survey of mechanics test data for introductory physics courses.*
In: American Journal of Physics 66. S. 67-74
- Hammer, A.; Knauth, H.; Kühnel, S. (1989): *Physik - Mechanik Fundamentum.*
München: Oldenbourg.
- Hammer, H.; Hammer, K. (1994): *Physikalische Formeln und Tabellen.*
München: J. Lindauer Verlag.
- Hammer, K. (1989): *Grundkurs der Physik 1.*
München: Oldenbourg
- Hartley, J. (1978): *Designing instructional text.*
London: Page.
- Häußler, P.; Bündler, W.; Duit, R.; Gräber, W.; Mayer, J. (1998): *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung - Perspektiven für die Unterrichtspraxis.*
Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Häußler, P.; Hoffmann, L. (1994): *Durchführung und Ergebnisse der Kieler Interessenstudie Physik.*
In: Behrendt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie – Probleme und Perspektiven. Jahrestagung der GDCP in Freiburg 1994.
Alsbach: Leuchtturm-Verlag. S. 292-294
- Hegarty, M. (2004): *Dynamic visualization and learning: getting to the difficult questions.*
In: Learning and Instruction 14(3). S. 343-351
- Heller, K.A.; Kratzmeier, H.; Lengfelder, A. (1998): *Matrizen-Test-Manual: Handbuch zu den Advances Progressive Matrices von J.C. Raven.*
Göttingen: Beltz-Test GmbH.
- Hepp, R. (2004): *Mit dem freien Fall beginnen – Ein Vorschlag für Unterricht zum Thema „Beschleunigung“.*
In: Unterricht Physik 83(15). S. 23-26
- Hermann, F. (1995): *Der Karlsruher Physikkurs.*
Köln: Aulis.
- Hestenes, D.; Halloun, I. (1995): *Interpreting the Force Concept Inventory.*
In: The Physics Teacher 33. S. 502-506
- Hestenes, D.; Wells, M; Swackhamer, G. (1992): *Force Concept Inventory.*
In: The Physics Teacher 30. S. 141-158
- Heuer, D. (2003): *Physikunterricht, gestaltet mit Multimedia-Elementen.*
In: Praxis der Naturwissenschaften 52(3). S. 2-15
- Heuer, D.; Wilhelm, T. (1997): *Aristoteles siegt immer noch über Newton. Unzulängliches Dynamikverstehen in Klasse 11.*
In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 50(5). S. 280-285.
- Issing, L. (1994): *Wissenserwerb mit bildlichen Analogien.*
In: Bernd Weidenmann (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Bern: Huber Verlag.
S. 149-176

- Jäger, R. (1996): *Konzept eines rechnerunterstützten Dynamikunterrichts zur Bildung adäquater mentaler Modelle.*
Schriftliche Hausarbeit nach der LPO I. Unveröffentlicht.
- Jäger, R. (1999): *Das Modell des harmonischen Oszillators im Physikunterricht der 11. Jahrgangsstufe – Modellbildung und experimentelle Überprüfung durch den Einsatz des Computers.*
Schriftliche Hausarbeit nach der LPO II. Unveröffentlicht.
- Jung, W.; Reul, H.; Schwedes, H. (1977): *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6.*
Frankfurt: Diesterweg.
- Jung, W.; Wiesner, H.; Engelhardt, P. (1981): *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik.*
Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Kail, R.; Pellegrino, J.W. (1989): *Menschliche Intelligenz.*
Heidelberg: Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft.
- Kant, I. (1783): *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können.*
In: Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Kant's Werke. Berlin: Reimer. S. 253-380
- Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (2000): *Physikdidaktik – Eine Einführung.*
Braunschweig: Vieweg.
- Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (2007): *Physikdidaktik – Theorie und Praxis.*
Berlin: Springer.
- Kirstein, J.; Rothenhagen, A. (2002): *Bildschirmexperimente – Beispiele für die Einbettung neuer Medien in den experimentellen Unterricht.*
In: Unterricht Physik 69(13). S. 20-22
- Klieme, E.; Baumert, J. (2001): *Einleitung: TIMSS als Startpunkt für Qualitätssicherung und Qualitätsentwicklung im Bildungswesen.*
In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): TIMSS – Impulse für Schule und Unterricht. München: Mediahaus Biering. S. 5-9
- Kozhevnikov, M.; Hegarty, M.; Mayer, R.E. (2002): *Revising the visualizer-verbalizer dimension: Evidence for two types of visualizers.*
In: Cognition and Instruction 20(1). S. 47-77.
- Kunze, H. (1988): *Vom Bild im Buch.*
München: Saur.
- Landsberg-Becher, J.W. (1987): *Optische Täuschungen.*
In: Unterricht Biologie 130(11). S. 37-41
- Leinhardt, G.; Zaslavsky, O.; Stein, M.K. (1990): *Functions, graphs and graphing: Tasks, learning and teaching.*
In: Review of Educational Research 60. S. 1-64.
- Leisen, J. (2004): *Kinematik ohne Dynamik?*
In: Unterricht Physik 83(15). S. 10-11
- Lewalter, D. (1997): *Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen.*
In: Unterrichtswissenschaft 25. S. 207-222

- Lewalter, D. (2003): *Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals*.
In: Learning and Instruction 13(2). S. 177-189
- Lowe, R.K. (1993): *Constructing a mental representation from an abstract technical diagram*.
In: Learning and Instruction 3(3). S. 157-179
- Lowe, R.K. (1998): *Verarbeitungsanforderungen beim Verstehen komplexer animierter Bilder*.
In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 12 (2/3). S. 125-134
- Lowe, R.K. (1999): *Extracting information from an animation during complex visual learning*.
In: European Journal of Education 14(2). S. 225-244
- Lowe, R.K. (2003): *Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics*.
In: Learning and Instruction 13(2). S. 157-176
- Lowe, R.K. (2004): *Interrogation of a dynamic visualization during learning*.
In: Learning and Instruction 14(3). S. 257-274
- Malle, G. (2005). *Schwierigkeiten mit Vektoren*.
In: mathematiklehren 133. S. 16-19
- Mayer, R. (2003): *The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media*.
In: Learning and Instruction 13(2). S. 125-139
- McDermott, L.C.; Rosenquist, M.L.; van Zee, E.H. (1987): *Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics*.
In: American Journal of Physics 55. S. 503-513
- Merzyn, G. (1982): *Das Zusammenwirken von Bild und Text im Schulbuch*.
In: Scharmann, A.; Hofstaetter, A.; Kuhn, W. (Hrsg.): Deutsche Physikalische Gesellschaft. Fachausschuss Didaktik der Physik. Vorträge der Frühjahrstagung 1982 in Gießen. S. 366-371
- Mietzel, G. (1993): *Psychologie in Unterricht und Erziehung*.
Göttingen: Hogrefe.
- Mikelskis, H. (2003): *Multimedialernen im naturwissenschaftlichen Unterricht 1: Ansätze eines Forschungsparadigmas zwischen Fachdidaktik und Psychologie*.
In: Pitton, A. (Hrsg.): Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Jahrestagung der GDCP in Berlin 2003.
Münster: LIT. S. 108-110
- Osborne, R. (1985): *Building on children's intuitive ideas*.
In: Osborne, R.; Freyberg, P. (Hrsg.): Learning in Science. Auckland: Heinemann.
S. 41-50
- Park, O.C.; Hopkins, R. (1993): *Instructional conditions for using dynamic visual displays: a review*.
In: Instructional Science 21. S. 427-449
- Plötzner, R.; Lowe, R.K. (2004): *Dynamic visualisations and learning*.
In: Learning and Instruction 14(3). S. 235-240
- Plötzner, R.; Lippitsch, S.; Galmbacher, M.; Heuer, D. (2006): *Students' Difficulties in Learning Physics from Dynamic and Interactive Visualizations*.
In: Barab, S.A.; Hay, K.E.; Hickey, D.T. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Conference of the Learning Sciences. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates. S. 550-556

- Popp, M. (1991): *Einführung in die Grundbegriffe der allgemeinen Psychologie*. München: Reinhardt.
- Porter, P.B. (1954): *Another Puzzle-Picture*.
In: American Journal of Psychology 67. S. 550-551
- Prenzel, M.; Baumert, J. et al. (2005): *PISA 2003. Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland – Was wissen und können Jugendliche?*
Münster: Waxmann.
- Raven, J.C. (1980): *Raven-Matrizen-Test: Advanced progressive matrices*. Weinheim: Beltz.
- Redish, E.; Saul, J.; Steinberg, R. (1997): *On the effectiveness of active-engagement in microcomputer-based laboratories*.
In: American Journal of Physics 65. S. 45-54
- Redish, E.; Saul, J.; Steinberg, R. (1998): *Students expectations in Introductory Physics*.
In: American Journal of Physics 66. S. 212-224
- Reif, F.; Allen, S. (1992): *Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration*.
In: Cognition and Instruction 9. S. 1-44
- Renkl, A. (2002): *Lehren und Lernen*.
In: Tippelt, R. (Hrsg.): Handbuch der Bildungsforschung.
Opladen: Leske + Budrich. S. 589-602
- Rentschler, I. (2006): *In Bildern denken, mit Bildern lernen*.
In: Kahlert, J.; Binder, S.; Lieber, G. (Hrsg.): Ästhetische Bildung in der Grundschule. Zugänge zum begegnungsintensiven Lernen. Braunschweig: Westermann.
- Reusch, W. (1997): *Lernerfahrungen mit 2-dimensionalen Bewegungen*.
In: Behrendt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven. Jahrestagung der GDCP in Bremen 1996. Alsbach: Leuchtturm-Verlag. S. 195-197
- Reusch, W.; Heuer, D. (2000): *Zweidimensionale Kinematik und Dynamik – ein Zugang mit rechnerunterstützten „Experimenten“*.
In: Brechel, R. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven. Jahrestagung der GDCP in München 1999. Alsbach: Leuchtturm-Verlag. S. 349-351
- Rhöneck, C.v. (1983): *Der Geschwindigkeitsbegriff von Fünftklässlern und didaktische Hilfen auf dem Weg zu $v=s/t$* .
In: Scharmann, A.; Hofstaetter, A.; Kuhn, W. (Hrsg.): Deutsche Physikalische Gesellschaft. Fachausschuss Didaktik der Physik. Vorträge der Frühjahrstagung 1982 in Gießen. S. 232-237
- Rieber, L. (1991): *Effects of visual grouping strategies of computer-animated presentations on selective attention in science*.
In: Educational Technology Research & Development 39(4). S. 5-15
- Rieber, L. (2002): *Supporting discover-based learning within simulations*.
Invited Presentation at the International Workshop on dynamic visualization and learning. Knowledge Media Research, Tübingen, 2002.
Quelle: <http://it.coe.uga.edu/~lriever/publications.html>
- Rieber, L.; Tzeng, S.; Tribble, K. (2004): *Discovery learning, representation and explanation within a computer-based simulation: finding the right mix*.
In: Learning and Instruction 14(3). S. 307-323

- Rubitzko, T.; Girwidz, R. (2005): *Kognitive Flexibilität in der Wärmelehre – Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung*.
In: Pitton, A. (Hrsg.): Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Jahrestagung der GDGP in Berlin 2005. Münster: LIT. S. 378-380.
- Ruprecht, E.; Schedl, E. (1977): *Mechanik*.
München: bsv.
- Salomon, G. (1983): *The differential investment of mental effort in learning from different sources*.
In: Educational Psychologist 18(1). S. 42-50
- Salomon, G. (1994): *Interaction of media, cognition and learning*.
Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Scanlon, E. (1998): *How beginning students use graphs of motion*.
In: Van Someren, M.W.; Reimann, P.; Boshuizen, H.P.A.; de Jong, T. (Hrsg.): Learning with multiple representations. Amsterdam: Pergamon Press. S. 67-86.
- Schecker, H. (1985): *Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte*.
Dissertation, Universität Bremen.
- Schecker, H. (2001a): *TIMMS – Konsequenzen für den Physikunterricht*.
In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): TIMMS – Impulse für Schule und Unterricht. München: Mediahaus Biering. S. 85-97
- Schecker, H. (2001b): *Mehr Denken, weniger Rechnen*.
In: Physikalische Blätter 57(7/8). S. 113-117
- Schell, N.; Wiedemann, A. (2005): *Impulse Natur + Technik – Schwerpunkt Physik 7*.
Stuttgart: Klett.
- Schenk-Danzinger, L. (1988): *Entwicklungspsychologie*.
Wien: Österreichischer Bundesverlag für Unterricht.
- Schnotz, W. (2002): *Wissenserwerb mit Diagrammen und Texten*.
In: Issing, L.; Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Beltz. S. 65-81
- Schnotz, W.; Bannert, M. (1999): *Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen*.
In: Zeitschrift für Experimentelle Psychologie 46(3). Göttingen: Hogrefe. S. 217-236
- Schnotz, W.; Bannert, M. (2003): *Construction and interference in learning from multiple representations*.
In: Learning and Instruction 13(2). S. 141-156
- Schnotz, W.; Lowe, R. (2003): *External and internal representations in multimedia learning*.
In: Learning and Instruction 13(2). S. 117-123
- Schopenhauer, A. (1858): *Kritik an der Kantischen Philosophie*.
In: Löhneysen, W. (Hrsg.): Die Welt als Wille und Vorstellung, Band I. Stuttgart: Cotta.
- Schwarze, H. (2003): *Elektrische Schaltungen in der Simulation – Das Programm Crocodile Physics als methodische Alternative*.
In: Physik in der Schule 52(7). S. 19-26.

- Seufert, T. (2000): *Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit multiplen Repräsentationen*.
In: Leutner, D., Brünken, R. (Hrsg.): *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung*. Münster: Waxmann Verlag. S. 65-74.
- Seufert, T. (2003): *Supporting coherence formation in learning from multiple representations*.
In: *Learning and Instruction* 13(2). S. 227-237.
- Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung (2001): *Neue Schwerpunktsetzung in der Aufgabenkultur*.
Wolnzach: Druckhaus Kastner.
- Stachowiak, H. (1973): *Allgemeine Modelltheorie*.
Wien: Springer.
- Starauschek, E.; Rabe, T. (2003): *Multimedialernen im naturwissenschaftlichen Unterricht 3: Bemerkungen zu kognitionspsychologischen Lerneffekten multimedialer Wissensrepräsentation beim Physiklernen*.
In: Pitton, A. (Hrsg.): *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Jahrestagung der GDCP in Berlin 2003*. Münster: LIT.
- Suleder, M.; Heuer, D. (2004): *Neue Medien als Werkzeug*.
In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): *Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik der DPG – Düsseldorf 2004*. Berlin: Lehmanns Media.
- Sumfleth, E.; Telgenbüscher, L. (2000a): *Zum Einfluss von Bildmerkmalen und Fragen zum Bild beim Chemielernen mit Hilfe von Bildern – Beispiel Massenspektrometrie*.
In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 6. S. 59-78
- Sumfleth, E.; Telgenbüscher, L. (2000b): *Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung – Beispiel Additionsreaktionen*.
In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 6. S. 97-113
- Sumfleth, E.; Tiemann, R. (2000c): *Bilder und Begriffe – Repräsentieren sie ähnliche Inhalte?*
In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 6. S. 115-127
- Sweller, J. (1994): *Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design*.
In: *Learning and Instruction* 4(4). S. 295-312.
- Sweller, J.; van Merriënboer, J.; Paas, F. (1998): *Cognitive Architecture and Instructional Design*.
In: *Educational Psychology Review* 10(3). S. 251-296
- Trowbridge, D.; McDermott, L. (1981): *Investigation of student understanding of the concept of acceleration*.
In: *American Journal of Physics* 49(3). S. 242-253
- Weidenmann, B. (1989): *When good pictures fail: An information processing approach to the effect of illustrations*.
In: Mandl, H.; Levin, J.R. (Hrsg.): *Knowledge acquisition from text and pictures*. Amsterdam: Elsevier. S. 157-170
- Weidenmann, B. (1991): *Lernen mit Bildmedien*.
In: Will, H. (Hrsg.): *Mit den Augen lernen*. Weinheim: Beltz.

- Weidenmann, B. (1994): *Informierende Bilder*.
In: Weidenmann, B. (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern*. Bern: Huber Verlag.
S. 9-58
- Weidenmann, B. (2002): *Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess*.
In: Issing, L.; Klimsa, P. (Hrsg): *Information und Lernen mit Multimedia*.
Weinheim: Beltz. S. 45-62
- Wiesner, A. (1994): *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik.
Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Folgerungen*.
In: *Physik in der Schule* 32(4). S. 122-127
- Wilhelm, T. (2005): *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur
Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer
Repräsentationen und graphischer Modellbildung*.
Berlin: Logos.
- Willberg, H. (1980): *Bücher – Träger des Wissens*.
Raubling: PWA.
- Wodzinski, R. (1996): *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher
Dynamik im Anfangsunterricht*.
Münster: LIT.
- Wodzinski, R.; Wiesner, A. (1994): *Einführung in die Mechanik über die Dynamik:
Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen*.
In: *Physik in der Schule* 32(5). S. 164-169
- Yeo, S.; Loss, R.; Zadnik, M.; Harrison, A.; Treagust, D. (2004): *What do students
really learn from interactive multimedia? A physics case study*.
In: *American Journal of Physics* 72(10). S. 1351- 1358
- Zeier, E. (1991): *Kurzweil durch Physik*.
Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Zimmer, H. (1983): *Sprache und Bildwahrnehmung: Die Repräsentation sprachlicher
und visueller Informationen und deren Interaktion in der Wahrnehmung*.
Frankfurt (Main): Haag+Herchen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Menschen bedanken, die mich in der Zeit meiner Promotion begleitet und unterstützt haben.

Zunächst gilt besonderer Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. Dieter Heuer, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und durch vielfältige Anregungen und Vorschläge zu weiterführenden Fragestellungen die Arbeit bereicherte.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Rolf Plötzner bedanken, mit dem ich im Rahmen des DFG-Projekts etliche interessante Diskussionen führen durfte, die häufig Struktur in meine Gedanken brachten.

Dr. Thomas Wilhelm, der sich in seiner Dissertation ebenfalls mit dynamisch-ikonischen Repräsentationen beschäftigte, danke ich für die vielen Gespräche. Sie waren mir eine große Hilfestellung.

Prof. Dr. Raimund Girwidz und Prof. Dr. Karl Mannheim danke ich für die Übernahme von Gutachter- und Prüfertätigkeiten, obwohl ihr Terminkalender sicherlich eine solche zusätzliche Arbeit nicht zugelassen hätte.

Mein Dank gilt auch den vielen Lehrkräften und Schulleitern, die es mir erst ermöglichten, die Untersuchungen an den jeweiligen Schulen durchzuführen. Sie installierten unter anderem die Physiksoftware PAKMA auf schuleigenen Rechnern und gestatteten die Durchführung der Voruntersuchungen während des Physikunterrichts. Natürlich auch ein herzliches Dankeschön an alle Schülerinnen und Schüler, die ernsthaft und ausdauernd die Projekte und die sich anschließenden Fragen bearbeiteten.

Letztlich möchte ich ganz besonders meiner Frau danken, die mir während der „heißen Phase“ den Rücken frei hielt und sich um Haus und Kinder kümmerte.

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage A: Ergänzung zum Kapitel 1.3.1 Bilder im Gehirn
- Anlage B: Vortest der zweiten Untersuchung (incl. Lösungen)
- Anlage C: Ablaufschema der zweiten Untersuchung
- Anlage D: Begleitbogen der zweiten Untersuchung
- Anlage E: Nachtest der zweiten Untersuchung (incl. Lösungen)
- Anlage F: Kategorien und Skalen des Nachtests der zweiten Untersuchung
- Anlage G: Beurteilungsbogen der zweiten Untersuchung
- Anlage H: Unterrichtskonzept (Linkebene des ISB)
- Anlage J: Artikulationsschemata der Unterrichtskonzeption der dritten Untersuchung
- Anlage K: Vortest der dritten Untersuchung (incl. Lösungen)
- Anlage L: Nachtest der dritten Untersuchung (incl. Lösungen)

Ergänzung zum Kapitel 1.3.1 Bilder im Gehirn

Nach dem Betrachten der folgenden Abbildung erkennt man auch in Abbildung 5 aus Kapitel 1.3.1 den bärtigen Mann wieder:

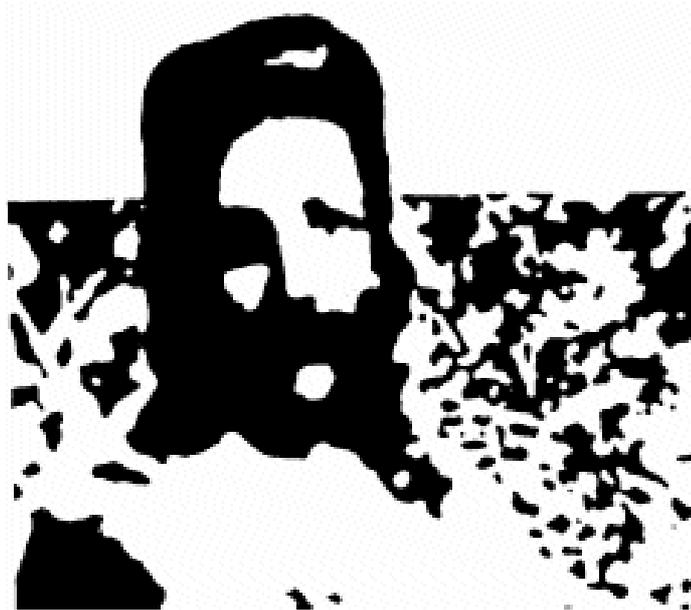
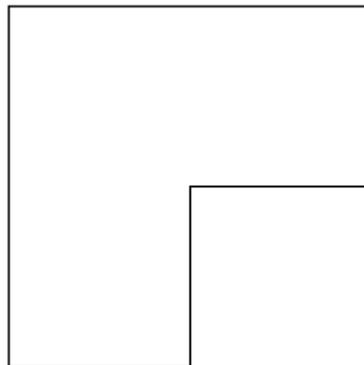


Abbildung 5a: Bärtiger Mann.²⁶⁵

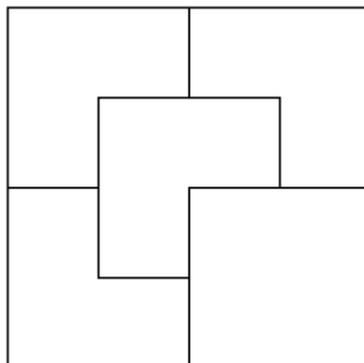
Insofern spielen Erfahrung und Erwartung eine entscheidende Rolle für die Wahrnehmung. Vorwissen lenkt die Wahrnehmung, kann sie aber auch verzerren, wie folgendes Beispiel verdeutlichen soll.



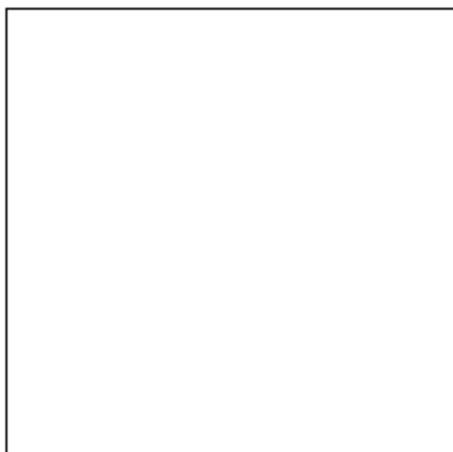
Versuchen Sie die vorgegebene Fläche in vier identische (kongruente) Teilflächen zu zerlegen. Die nicht triviale Lösung mit der anschließenden Aufgabenstellung findet sich auf der nächsten Seite.

²⁶⁵ Entnommen: Porter (1954)

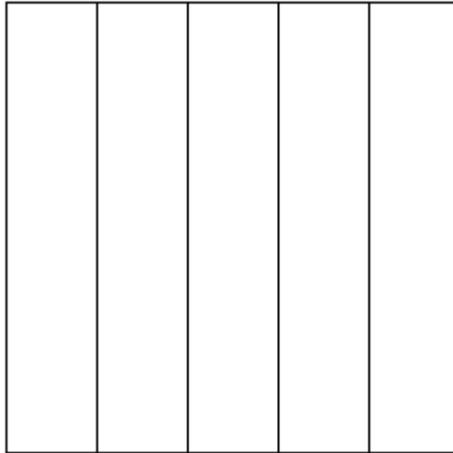
Die Lösung der Aufgabenstellung sieht folgendermaßen aus:



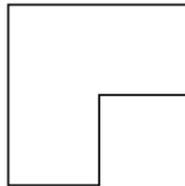
Mit Hilfe dieses Vorwissens können Sie vielleicht die Lösung für das folgende Problem finden. Zerlegen Sie die unten abgebildete Fläche in fünf kongruente Teilflächen:



Die Lösung der gestellten Aufgabe ist eigentlich trivial. Sie wird durch die Interferenz mit der vorhergehenden Problemstellung und der aufgezeigten Lösung aber eher erschwert:



Diese Aufgabe wurde in der hier gezeigten Abfolge etwa 80 Hochschul- und Gymnasiallehrern gestellt. Wie sich herausstellte, dachte jeder, der diese Aufgabe nicht bereits kannte, viel zu kompliziert. Es wurde versucht, die zuvor gesehene Fläche in das Quadrat zu integrieren:



Dieser Versuch schlägt aber fehl. Erst wenn man sich von dem zuvor gesehenen Vorschlag losmacht, gelingt die einfache Lösung mit den Längs- (oder Quer)streifen.

DFG-Projekt HE 2550/3-1

Untersuchung 2

Vortest Physik

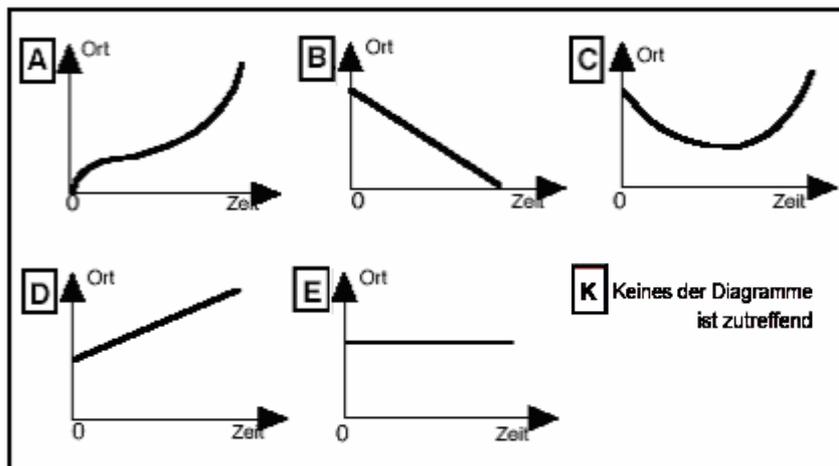
Kennwort: _____

Geschlecht: " männlich " weiblich

Ich kann am: " 30.04. " 14.05.

- 1) Wähle das passende Zeit-Orts-Diagramm zu jeder der folgenden Fragen aus. Jedes Diagramm darf mehrfach genannt werden oder auch überhaupt nicht.

Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter der Fragestellung an! Hältst Du keines der Diagramme für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!



- a) Welches Zeit-Orts-Diagramm zeigt die Bewegung eines Gegenstands, der seine Bewegungsrichtung umkehrt?

A q B q C q D q E q K q

- b) Nenne ein Zeit-Orts-Diagramm, das die Bewegung eines Gegenstands zeigt, der sich mit gleich bleibender Geschwindigkeit vorwärts bewegt!

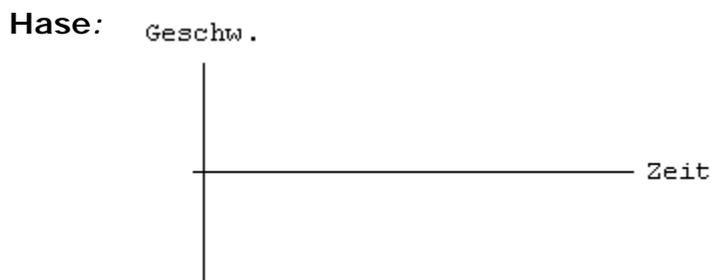
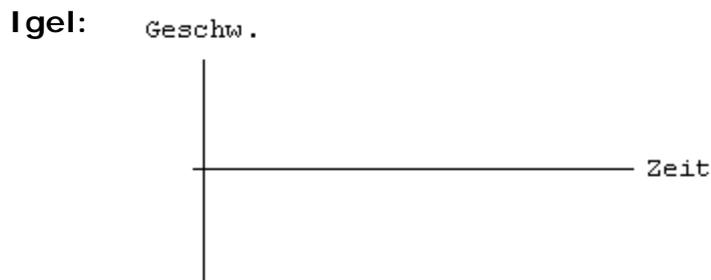
A q B q C q D q E q K q

2) Ein Hase und ein Igel machen ein Wettrennen.

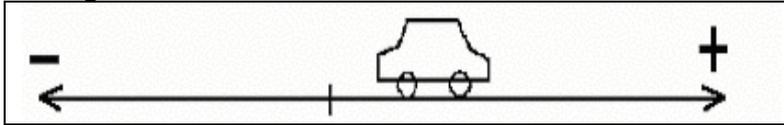
Der Igel läuft 1 Minute lang mit gleich bleibender Geschwindigkeit.

Der Hase bewegt sich ganz anders: Erst läuft er 20 Sekunden lang mit größerer, gleich bleibender Geschwindigkeit, dann macht er 20 Sekunden Pause und läuft dann die letzten 20 Sekunden wieder mit derselben Geschwindigkeit weiter.

Skizziere die Bewegungen von Hase und Igel in jeweils einem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm!



- 3) Ein Spielzeugauto kann sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen.



Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den Buchstaben (A bis H) des Zeit-Geschwindigkeits-Graphen, der zu der Bewegung des Autos passt, die in der jeweiligen Angabe beschrieben ist.

Hinweis: Jeder Graph darf mehrfach genannt werden oder auch überhaupt nicht. Hältst Du keinen der Graphen für zutreffend, so kreuze K an!

- a) Nenne alle Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme, die zeigen, dass sich das Auto beschleunigt bewegt!

A q B q C q D q E q F q G q H q K q

- b) Das Auto bewegt sich nach rechts mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.

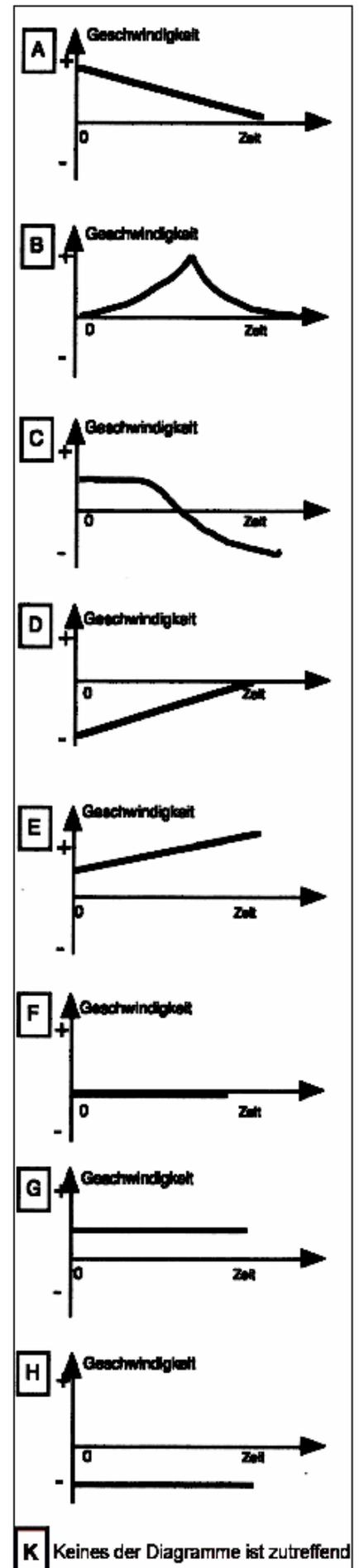
A q B q C q D q E q F q G q H q K q

- c) Das Auto ändert seine Bewegungsrichtung.

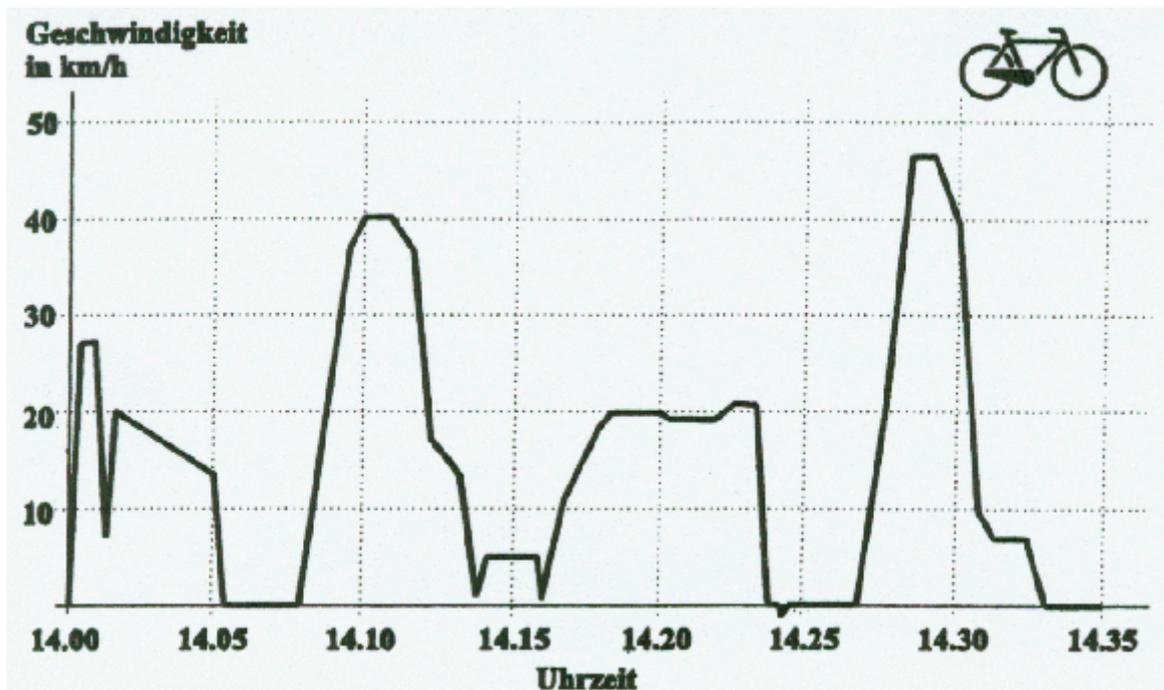
A q B q C q D q E q F q G q H q K q

- d) Die Geschwindigkeit nach rechts nimmt gleichmäßig ab.

A q B q C q D q E q F q G q H q K q



- 4) Das Diagramm gibt Werners Geschwindigkeit auf seiner letzten Fahrradtour wieder.



- a) Wie lang ist Werner etwa gestanden?

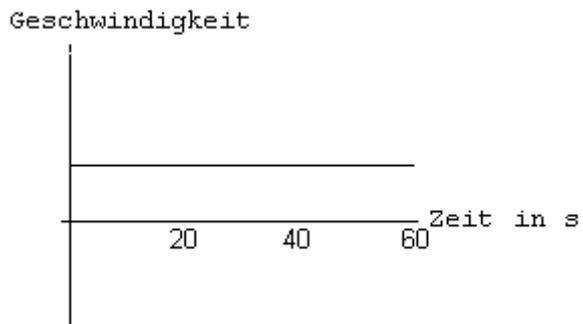
- b) Schätze Werners Durchschnittsgeschwindigkeit.

- c) Wie viele Kilometer ist Werner in den ersten 5 Minuten etwa gefahren?

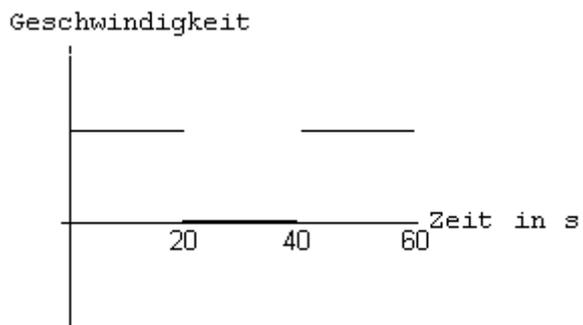
Vortest Physik - Lösungen

P1a C
P1b D

P2a Igel:



P2b Hase:



Anmerkung: y-Abschnitt (Laufgeschwindigkeit) des Hasen muss größer sein als der y-Abschnitt des Igels.

P3a A, B, C, D, E
P3b G
P3c C
P3d A

P4a $6\text{min} \pm 1\text{min}$
P4b $17\text{km/h} \pm 3\text{km/h}$
P4a $2\text{ km} \pm 1\text{km}$

Ablaufschema „Ort“

1-1 Springender Flummi (L)²⁶⁶

- Bewegung beobachten
 - Verlauf des t-x-Graphen vermuten
 - t-x-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
 - Bewegung stoppen, Ortskoordinaten notieren bzw. vergleichen
- ∅ Vermeiden: Entfernung vom Nullpunkt (zu verwandt mit dem Vektorgedanken), stattdessen Koordinaten (z.B. zum Zeitpunkt 1s beträgt die Ortskoordinate 10cm)

1-2 Läufer mit veränderbarer Rücklaufgeschwindigkeit (P)

- Bewegung beobachten und verschiedene Rücklaufgeschwindigkeiten einstellen
 - Verlauf des t-x-Graphen vermuten, dazu Wertepaare ablesen
 - Einfluss der Rücklaufgeschwindigkeit auf den Graphen notieren (Steigung)
 - t-x-Diagramm für verschiedene Rücklaufgeschwindigkeiten betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ Ausblick: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über die Steigung des Graphen
- ∅ Vermeiden: Ortsveränderungen als Einflussnahme der Geschwindigkeit auf das t-x-Diagramm

1-3 Springender Flummi mit Anstoß an Decke (E)

- Bewegung beobachten
 - Verlauf des t-x-Graphen vermuten, dazu Wertepaare ablesen
 - t-x-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Eintragen von Ortskoordinaten in das t-x-Diagramm
- ∅ Ausblick: Was bedeutet ein Knick im t-x-Graphen? (Plötzliche Geschwindigkeitsänderung)

1-4 Läufer mit verschiedenen Laufgeschwindigkeiten (E)

- Bewegung beobachten
 - Verlauf des t-x-Graphen vermuten, dazu Wertepaare ablesen
 - t-x-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Eintragen von Ortskoordinaten in das t-x-Diagramm

²⁶⁶ L: Erarbeitung zusammen mit dem Lehrer, P: Partnerarbeit, E: Einzelarbeit

Ablaufschema „Geschwindigkeit“

2-1 Anfahrendes und bremsendes Auto (L)

- Bewegung beobachten, t-x-Diagramm beobachten
 - Verlauf des t-v-Graphen vermuten
 - t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über die Steigung des Graphen
- ∅ Vermeiden: Ortsveränderungen als Einflussnahme der Geschwindigkeit auf das t-x-Diagramm, Ortsveränderungen als Grundlage einer Definition für die Geschwindigkeit

2-2 Überholvorgang (konst. Geschwindigkeit) (P)

- Bewegung beobachten und Unterschiede in der Bewegung von PKW und LKW feststellen, t-x-Diagramm beobachten
 - Einfluss der Geschwindigkeit auf den t-x-Graphen notieren (Steigung) und t-v-Diagramm vermuten
 - t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über die Steigung des Graphen

2-3 Überholvorgang (beschleunigte Bewegung) (E)

- Bewegung beobachten und Unterschiede in der Bewegung von Läufer und Bus feststellen, t-x-Diagramm beobachten
 - Verlauf des t-v-Graphen vermuten
 - t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ Ausblick: Was bedeutet eine Kurve mit veränderlicher Steigung im t-v-Graphen? (Beschleunigte Bewegung)

2-4 PKW-Fahrt mit Richtungsumkehr (E)

- Bewegung beobachten, t-x-Diagramm beobachten
 - Verlauf des t-v-Graphen vermuten
 - t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über die Steigung des Graphen
- ∅ Negative Geschwindigkeit bei negativer Steigung

Ablaufschema „Beschleunigung“

3-1 Fallschirmspringer (L)

- Bewegung beobachten, t-x-Diagramm beobachten
 - t-v-Diagramm betrachten
 - Physikalische Größe „Beschleunigung“ beschreiben
 - Verlauf des t-a-Graphen vermuten
 - t-a-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Veränderliche Steigung im t-v-Diagramm
- ∅ Vermeiden: Geschwindigkeitsveränderungen als Grundlage einer Definition für die Beschleunigung

3-2 Federpendel (P)

- Bewegung beobachten, t-x-Diagramm beobachten
 - t-v-Diagramm betrachten
 - Erarbeitung des t-a-Graphen ausgehend vom t-v-Diagramm beschreiben, t-a-Diagramm vermuten
 - t-a-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t-v-Diagramm über die Steigung des Graphen

3-3 Anfahrendes und bremsendes Auto (E)

- Bewegung beobachten und Bewegungsphasen unterscheiden, t-x-Diagramm beobachten
 - t-v-Diagramm betrachten
 - Verlauf des t-a-Graphen vermuten
 - t-a-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t-v-Diagramm über die Steigung des Graphen

3-4 Boot auf dem Wasser (E)

- Bewegung beobachten und Bewegungsphasen unterscheiden, t-x-Diagramm beobachten
 - t-v-Diagramm betrachten
 - Verlauf des t-a-Graphen vermuten
 - t-a-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t-v-Diagramm über die Steigung des Graphen

Ablaufschema „Ort“

1-1 Springender Flummi (L)²⁶⁷

- Bewegung beobachten
- Verlauf des t-x-Graphen vermuten
- Hilfsgröße „Ortsvektor“ einführen
- Zeitliche Veränderung des Ortsvektors aufzeigen
- t-x-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen

∅ Wiederholt aufgreifen: Entfernung vom Nullpunkt als Länge des Vektorpfeils.
Dessen zeitlicher Verlauf liefert t-x-Graph

1-2 Läufer mit veränderbarer Rücklaufgeschwindigkeit (P)

- Bewegung beobachten und verschiedene Rücklaufgeschwindigkeiten einstellen, Ortsvektor einblenden
- Verlauf des t-x-Graphen vermuten, Pfeilvorstellung ansprechen
- Die zeitliche Veränderung des Ortsvektors beobachten, Drehung des Koordinatensystems nachvollziehen
- Einfluss der Rücklaufgeschwindigkeit auf den Graphen notieren (Steigung)
- t-x-Diagramm für verschiedene Rücklaufgeschwindigkeiten betrachten und mit Vermutung vergleichen

∅ Ausblick: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über die Änderungen des Ortsvektors in einem bestimmten Zeitintervall (Steigung des Graphen)

1-3 Springender Flummi mit Anstoß an Decke (E)

- Bewegung beobachten, Ortsvektor einblenden
- Verlauf des t-x-Graphen vermuten, dazu Ortsvektor betrachten
- Die zeitliche Veränderung des Ortsvektors beobachten
- t-x-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen

∅ WH: Eintragen von Vektorpfeilen in das t-x-Diagramm

∅ Evtl.: Was bedeuten die Spitzen im t-x-Graphen? (Argumentation mit Änderung des Ortsvektors, → plötzliche Geschw.änderung)

1-4 Läufer mit verschiedenen Laufgeschwindigkeiten (E)

- Bewegung beobachten, Ortsvektor einblenden
- Verlauf des t-x-Graphen vermuten, dazu Ortsvektor betrachten
- Die zeitliche Veränderung des Ortsvektors beobachten
- t-x-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen

∅ WH: Geschwindigkeit als Änderung des Ortsvektors in einem bestimmten Zeitintervall (große vs. kleine Geschwindigkeit)

²⁶⁷ L: Erarbeitung zusammen mit dem Lehrer, P: Partnerarbeit, E: Einzelarbeit

Ablaufschema „Geschwindigkeit“

2-1 Anfahrendes und bremsendes Auto (L)

- Bewegung beobachten, Ortsvektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Ortsvektors und t-x-Diagramm beobachten
 - Verlauf des t-v-Graphen vermuten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über Änderungen des Ortsvektors. Dazu: Projekt 2-1 Lehrerversion, bei der Δt groß ist und somit der Δx -Vektor „sichtbar“ ist.

2-2 Überholvorgang (konst. Geschwindigkeit) (P)

- Bewegung beobachten und Unterschiede in der Bewegung von PKW und LKW feststellen, Ortsvektoren einblenden, deren zeitliche Veränderung und t-x-Diagramm beobachten
 - Einfluss der Geschwindigkeit auf den t-x-Graphen notieren (Steigung bzw. in gleichen Zeitintervallen größere Ortsänderungen) und t-v-Diagramm vermuten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über Änderungen des Ortsvektors.

2-3 Überholvorgang (beschleunigte Bewegung) (E)

- Bewegung beobachten und Unterschiede in der Bewegung von Bus und Läufer feststellen, Ortsvektoren einblenden, deren zeitliche Veränderung und t-x-Diagramm beobachten
 - Verlauf des t-v-Graphen vermuten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ Ausblick: Was bedeutet eine Veränderung des Geschw.vektors? (Beschleunigung)

2-4 PKW-Fahrt mit Richtungsumkehr (E)

- Bewegung beobachten, Ortsvektor einblenden, dessen zeitliche Veränderung und t-x-Diagramm beobachten
 - Verlauf des t-v-Graphen vermuten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t-v-Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem t-x-Diagramm über Änderungen des Ortsvektors
- ∅ Negative Geschwindigkeit bei negativen Ortsänderungen

Ablaufschema „Beschleunigung“

3-1 Fallschirmspringer (L)

- Bewegung beobachten, zeitliche Entwicklung des Ortsvektors bzw. t - x -Diagramm beobachten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t - v -Diagramm beobachten
 - **Physikalische Größe „Beschleunigung“ beschreiben**
 - **Verlauf des t - a -Graphen vermuten**
 - Beschl.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Beschl.vektors und t - a -Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t - v -Diagramm über Änderungen des Geschw.vektors. Dazu: Projekt 3-1 Lehrerversion, bei der Dt groß ist und somit der Dv -Vektor „sichtbar“ ist.

3-2 Federpendel (P)

- Bewegung beobachten, zeitliche Entwicklung des Ortsvektors bzw. t - x -Diagramm beobachten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t - v -Diagramm beobachten
 - Vektor dv einblenden
 - **Erarbeitung des t - a -Graphen ausgehend vom t - v -Diagramm bzw. von Vektor dv beschreiben, t - a -Diagramm vermuten**
 - Beschl.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Beschl.vektors und t - a -Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t - v -Diagramm über Änderungen des Geschw.vektors (Ebene 10)

3-3 Anfahrendes und bremsendes Auto (E)

- Bewegung beobachten, zeitliche Entwicklung des Ortsvektors bzw. t - x -Diagramm beobachten
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t - v -Diagramm beobachten
 - Vektor dv einblenden
 - **Verlauf des t - a -Graphen vermuten**
 - Beschl.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Beschl.vektors und t - a -Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t - v -Diagramm über Änderung des Geschw.vektors (Ebene 10).

3-4 Boot auf dem Wasser (E)

- Bewegung beobachten, Ortsvektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Ortsvektors und t - x -Diagramm beobachten (evtl. abkürzen)
 - Geschw.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Geschw.vektors und t - v -Diagramm beobachten
 - Vektor dv einblenden
 - **Verlauf des t - a -Graphen vermuten**
 - Beschl.vektor einblenden, zeitliche Entwicklung des Beschl.vektors und t - a -Diagramm betrachten und mit Vermutung vergleichen
- ∅ WH: Bestimmung der Beschleunigung aus dem t - v -Diagramm über Änderung des Geschw.vektors

DFG-Projekt HE 2550/3-1

Untersuchung 2

Begleitbogen Gruppe 1

Kennwort: _____

Im Folgenden findest du zu den einzelnen Projekten kurze Aufgabenstellungen, die du bearbeiten sollst. Dadurch soll ein gegliederter Durchgang durch die Untersuchung gewährleistet werden. Deshalb solltest du die Aufgaben der Reihe nach bearbeiten und nicht etwa erst die folgenden Aufgabenstellungen durchlesen oder vorarbeiten.

Auf die Bearbeitung werden keine „Punkte“ vergeben, es kommt also nicht darauf an, dass du alle Aufgaben richtig gelöst hast. Deswegen musst du auch nicht falsche Vermutungen durchstreichen und im Nachhinein durch vermeintlich richtige ersetzen. Vielmehr ist es wichtig, dass du Fehler, die du gemacht hast, erkennst und notierst. So kannst du vielleicht verhindern, dass du in den nachfolgenden Projekten und dem Nächstest dieselben Fehler noch einmal machst.

Und nun viel Spaß und Erfolg beim Arbeiten mit dem Computer...

1-1 Springender Flummi (L)²⁶⁸

Vermute den Verlauf des t-x-Graphen:



Notiere dir den Ort des Flummis zu bestimmten Zeitpunkten und vergleiche mit deinem gezeichneten Graphen:

Zeitpunkt 0,5s 1,0s
Ort

1-2 Läufer mit veränderbarer Rücklaufgeschwindigkeit (P)

Stelle eine bestimmte Rücklaufgeschwindigkeit ein und setze dann das Projekt durch Betätigen des „weiter“-Buttons fort.

Vermute den Verlauf des t-x-Graphen.

Notiere dir dazu einige Wertepaare von Zeit und Ort (vgl. Projekt 1.1)



Wiederhole den Projektdurchlauf mit verschiedenen Rücklaufgeschwindigkeiten. Welchen Einfluss nimmt die Rücklaufgeschwindigkeit auf den t-x-Graphen?

Gehe nun eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-x-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

²⁶⁸ L: Erarbeitung zusammen mit dem Lehrer, P: Partnerarbeit, E: Einzelarbeit

1-3 Springender Flummi 2 (E)

Vermute den Verlauf des t-x-Graphen:

Notiere dir dazu einige Wertepaare von Zeit und Ort



Gehe nun eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-x-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

Du kannst einen Knick im t-x-Diagramm erkennen.

Was geschieht zu diesem Zeitpunkt?

1-4 Läufer 2 (E)

Vermute den Verlauf des t-x-Graphen:

Notiere dir dazu einige Wertepaare von Zeit und Ort



Gehe nun eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-x-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

2-1 Anfahrendes und bremsendes Auto (L)

Vermute den Verlauf des t-v-Graphen:



2-2 Überholvorgang (konst. Geschwindigkeit) (P)

Beobachte den Bewegungsablauf.

Gehe anschließend eine Ebene weiter und beobachte die Entwicklung des t-x-Graphen.

Wie kannst du –ausgehend vom t-x-Diagramm- den Verlauf des t-v-Graphen von PKW bzw. LKW einzeichnen?

Vermute den Verlauf des t-v-Graphen von LKW und PKW.

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Steigung des t-x-Graphen und dem Verlauf des t-v-Graphen.



Gehe nun noch eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-v-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

2-3 Überholvorgang (beschleunigte Bewegung) (E)

Beobachte den Bewegungsablauf.

Gehe anschließend eine Ebene weiter und beobachte die Entwicklung des t-x-Graphen.

Welcher Unterschied besteht in der Bewegung von Fußgänger und Bus?

Vermute den Verlauf des t-v-Graphen von Läufer und Bus.

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Steigung des t-x-Graphen und dem Verlauf des t-v-Graphen.



Gehe nun noch eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-v-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

2-4 PKW-Fahrt mit Richtungsumkehr (E)

Beobachte den Bewegungsablauf.

Gehe anschließend eine Ebene weiter und beobachte die Entwicklung des t-x-Graphen.

Vermute den Verlauf des t-v-Graphen:

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Steigung des t-x-Graphen und dem Verlauf des t-v-Graphen.



Gehe nun noch eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-v-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

3-1 Fallschirmspringer (L)

Vermute den Verlauf des t-a-Graphen:



3-2 Federpendel (P)

Beobachte den Bewegungsablauf.

Gehe anschließend eine Ebene weiter und beobachte die Entwicklung des t-x-Graphen.

Gehe noch eine Ebene weiter. Du siehst die Entwicklung des t-v-Graphen.

Wie kannst du –ausgehend vom t-v-Diagramm- den Verlauf des t-a-Graphen des Federpendels einzeichnen?

Vermute den Verlauf des t-a-Graphen.

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Steigung des t-v-Graphen und dem Verlauf des t-a-Graphen.



Gehe nun wiederum eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-a-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

3-3 Anfahrendes und bremsendes Auto (E)

Beobachte den Bewegungsablauf.

Gehe anschließend eine Ebene weiter und beobachte die Entwicklung des t-x-Graphen.

Gehe noch eine Ebene weiter. Du siehst die Entwicklung des t-v-Graphen.

Vermute den Verlauf des t-a-Graphen.

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Steigung des t-v-Graphen und dem Verlauf des t-a-Graphen.



Gehe nun noch eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-a-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

3-4 Boot auf dem Wasser (E)

Beobachte den Bewegungsablauf.

Gehe anschließend eine Ebene weiter und beobachte die Entwicklung des t-x-Graphen.

Gehe noch eine Ebene weiter. Du siehst die Entwicklung des t-v-Graphen.

Vermute den Verlauf des t-a-Graphen:

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Steigung des t-v-Graphen und dem Verlauf des t-a-Graphen.



Gehe nun noch eine Ebene weiter und vergleiche den angezeigten t-a-Graphen mit dem, den du gezeichnet hast.

Wo hast du einen Fehler gemacht?

DFG-Projekt HE 2550/3-1

Untersuchung 2

Begleitbogen Gruppe 2

Kennwort: _____

Im Folgenden findest du zu den einzelnen Projekten kurze Aufgabenstellungen, die du bearbeiten sollst. Dadurch soll ein gegliederter Durchgang durch die Untersuchung gewährleistet werden. Deshalb solltest du die Aufgaben der Reihe nach bearbeiten und nicht etwa erst die folgenden Aufgabenstellungen durchlesen oder vorarbeiten.

Auf die Bearbeitung werden keine „Punkte“ vergeben, es kommt also nicht darauf an, dass du alle Aufgaben richtig gelöst hast. Deswegen musst du auch nicht falsche Vermutungen durchstreichen und im Nachhinein durch vermeintlich richtige ersetzen. Vielmehr ist es wichtig, dass du Fehler, die du gemacht hast, erkennst und notierst. So kannst du vielleicht verhindern, dass du in den nachfolgenden Projekten und dem Nächstest dieselben Fehler noch einmal machst.

Und nun viel Spaß und Erfolg beim Arbeiten mit dem Computer...

1-1 Springender Flummi (L)

Vermute den Verlauf des t - x -Graphen!

Zeichne dazu in das t - x -Diagramm auch einige Ortsvektoren des Flummis, die den Abstand vom Boden zu bestimmten Zeiten angeben!



1-2 Läufer mit veränderbarer Rücklaufgeschwindigkeit (P)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf! Stelle nach Aufforderung eine bestimmte Rücklaufgeschwindigkeit ein und setze das Projekt durch Betätigen des „weiter“-Buttons fort!

Ebene 2: Der Ortsvektor des Läufers wird eingeblendet. Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte Veränderungen des Ortsvektors!

Vermute den Verlauf des t - x -Graphen!

Zeichne dazu in das Diagramm einige Ortsvektoren des Läufers zu verschiedenen Zeitpunkten!



Ebene 3: Der Ortsvektor wird in seiner zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt. Dadurch treten Veränderungen des Ortes deutlicher hervor. Wiederhole den Projektdurchlauf mit verschiedenen Rücklaufgeschwindigkeiten!

Vermute, welchen Einfluss die Rücklaufgeschwindigkeit auf den Verlauf des t - x -Graphen nimmt!

Ebene 4: Nach einem Neustart siehst du hier nochmals ein Stempeldiagramm des Ortsvektors dargestellt, allerdings um 90° gedreht. Dies führt zu der gewohnten Ausrichtung der Zeitachse nach rechts.

Ebene 5: Die Pfeilspitzen der einzelnen Ortsvektoren werden verbunden. Dadurch erhält man den t - x -Graphen, der die zeitliche Veränderung des Ortes beschreibt.

Ebene 6: Hier ist noch einmal der t - x -Graph der Bewegung -allerdings ohne die Ortsvektoren- zu sehen.

Vergleiche den angezeigten t - x -Graphen mit deinen Vermutungen!
Wo hast du einen Fehler gemacht?

1-3 Springender Flummi 2 (E)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf!

Ebene 2: Der Ortsvektor des Flummis wird eingeblendet. Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte Veränderungen des Ortsvektors!

Vermute den Verlauf des t - x -Graphen!

Zeichne dazu in das Diagramm einige Ortsvektoren des Flummis zu verschiedenen Zeitpunkten!



Ebene 3: Der Ortsvektor wird in seiner zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 4: Die Pfeilspitzen der einzelnen Ortsvektoren werden verbunden. Dadurch erhält man den t - x -Graphen, der die zeitliche Veränderung des Ortes beschreibt.

Ebene 5: Hier ist noch einmal der t - x -Graph der Bewegung ohne Ortsvektoren zu sehen.

Vergleiche den angezeigten t - x -Graphen mit deiner Vermutung!
Wo hast du einen Fehler gemacht?

1-4 Läufer 2 (E)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf!

Ebene 2: Der Ortsvektor des Flummis wird eingeblendet. Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte Veränderungen des Ortsvektors!

Vermute den Verlauf des t - x -Graphen!

Zeichne dazu in das Diagramm einige Ortsvektoren des Läufers zu verschiedenen Zeitpunkten!



Ebene 3: Der Ortsvektor wird in seiner zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 4: Nach einem Neustart siehst du hier nochmals ein Stempeldiagramm des Ortsvektors dargestellt, allerdings um 90° gedreht.

Ebene 5: Die Pfeilspitzen der einzelnen Ortsvektoren werden verbunden. Dadurch erhält man den t - x -Graphen, der die zeitliche Veränderung des Ortes beschreibt.

Ebene 6: Hier ist noch einmal der t - x -Graph der Bewegung ohne Ortsvektoren zu sehen.

Vergleiche den angezeigten t - x -Graphen mit deiner Vermutung!
Wo hast du einen Fehler gemacht?

2-1 Anfahrendes und bremsendes Auto (L)

Vermute den Verlauf des t - v -Graphen!

Zeichne dazu in das t - v -Diagramm auch einige Geschwindigkeitsvektoren, die die Geschwindigkeit des Autos zu bestimmten Zeiten angeben!



2-2 Überholvorgang (konst. Geschwindigkeit) (P)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf!

Ebene 2: Die Ortsvektoren von PKW und LKW werden eingeblendet. Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte Veränderungen der Ortsvektoren!

Ebene 3: Die Ortsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 4: Du siehst die Entwicklung des t - x -Graphen.

Wie kannst du –ausgehend vom t - x -Diagramm- den Verlauf des t - v -Graphen von PKW bzw. LKW zeichnen?

Vermute den Verlauf des t - v -Graphen von LKW und PKW!

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Geschwindigkeit und der Änderung des Ortsvektors (bzw. des Verlaufs des t - x -Graphen)!



Ebene 5: Starte den Bewegungsablauf und beobachte die Geschwindigkeitsvektoren! Sie geben die Geschwindigkeit von PKW bzw. LKW zum momentanen Zeitpunkt an.

Ebene 6: Die Geschwindigkeitsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 7: Nach einem Neustart siehst du die Entwicklung des t - v -Graphen. Der Graph entsteht durch das Verbinden der Pfeilspitzen der Geschwindigkeitsvektoren.

Ebene 8: Hier ist noch einmal der t - v -Graph der Bewegung ohne Vektoren zu sehen.

Vergleiche den angezeigten t - v -Graphen mit dem, den du gezeichnet hast!
Wo hast du einen Fehler gemacht?

2-3 Überholvorgang (beschleunigte Bewegung) (E)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf!

Ebene 2: Die Ortsvektoren von Läufer und Bus werden eingeblendet. Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte Veränderungen der Ortsvektoren!

Ebene 3: Die Ortsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 4: Du siehst die Entwicklung des t - x -Graphen.

Vermute den Verlauf des t - v -Graphen von Läufer und Bus!

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Geschwindigkeit und der Änderung des Ortsvektors (bzw. des Verlaufs des t - x -Graphen)!



Ebene 5: Starte den Bewegungsablauf und beobachte die Geschwindigkeitsvektoren!

Ebene 6: Die Geschwindigkeitsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 7: Nach einem Neustart siehst du die Entwicklung des t - v -Graphen. Der Graph entsteht durch das Verbinden der Pfeilspitzen der Geschwindigkeitsvektoren.

Wechsle zur Ebene 8 und vergleiche den angezeigten t - v -Graphen mit dem, den du gezeichnet hast! Wo hast du einen Fehler gemacht?

2-4 PKW-Fahrt mit Richtungsumkehr (E)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf!

Ebene 2: Der Ortsvektor des PKW wird eingeblendet. Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte Veränderungen des Ortsvektors!

Ebene 3: Der Ortsvektor wird in seiner zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 4: Du siehst die Entwicklung des t - x -Graphen.

Vermute den Verlauf des t - v -Graphen!

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Geschwindigkeit und der Änderung des Ortsvektors (bzw. des Verlaufs des t - x -Graphen)!



Ebene 5: Starte den Bewegungsablauf und beobachte den Geschwindigkeitsvektor!

Ebene 6: Der Geschwindigkeitsvektor wird in seiner zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 7: Nach einem Neustart siehst du die Entwicklung des t - v -Graphen.

Wechsle zur Ebene 8 und vergleiche den angezeigten t - v -Graphen mit dem, den du gezeichnet hast! Wo hast du einen Fehler gemacht?

3-1 Fallschirmspringer (L)

Vermute den Verlauf des t - a -Graphen!

Zeichne dazu in das t - a -Diagramm auch einige Beschleunigungsvektoren, die die Beschleunigung des Fallschirmspringers zu bestimmten Zeiten angeben!



3-2 Federpendel (P)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf und die Veränderungen des Ortsvektors!

Ebene 2: Du erkennst die Entwicklung des t - x -Graphen.

Ebene 3: Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte den Geschwindigkeitsvektor!

Ebene 4: Die Geschwindigkeitsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 5: Du siehst die Entwicklung des t - v -Graphen.

Wie kannst du –ausgehend vom t - v -Diagramm- den Verlauf des t - a -Graphen des Federpendels einzeichnen?

Ebene 6: Im t - v -Diagramm werden die Veränderungen des Geschwindigkeitsvektors von einem Zeitpunkt zum nächsten orange angetragen.

Vermute den Verlauf des t - a -Graphen!

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Beschleunigung und der Änderung des Geschwindigkeitsvektors (bzw. des Verlaufs des t - v -Graphen)!



Ebene 7: Starte den Bewegungsablauf und beobachte den Beschleunigungsvektor!

Ebene 8: Die Beschleunigungsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 9: Nach einem Neustart siehst du die Entwicklung des t - a -Graphen.

Wechsle zur Ebene 10 und vergleiche den angezeigten t - a -Graphen mit dem, den du gezeichnet hast! Wo hast du einen Fehler gemacht?

3-3 Anfahrendes und bremsendes Auto (E)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf und die Veränderungen des Ortsvektors!

Ebene 2: Die Ortsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt. Zudem erkennst du die Entwicklung des t - x -Graphen.

Ebene 3: Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte den Geschwindigkeitsvektor!

Ebene 4: Die Geschwindigkeitsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 5: Du siehst die Entwicklung des t - v -Graphen.

Ebene 6: Im t - v -Diagramm werden die Veränderungen des Geschwindigkeitsvektors von einem Zeitpunkt zum nächsten orange angetragen.

Vermute den Verlauf des t - a -Graphen!

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Beschleunigung und der Änderung des Geschwindigkeitsvektors (bzw. des Verlaufs des t - v -Graphen)!



Ebene 7: Starte den Bewegungsablauf wieder und beobachte den Beschleunigungsvektor!

Ebene 8: Die Beschleunigungsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 9: Nach einem Neustart siehst du die Entwicklung des t - a -Graphen.

Wechsle zur Ebene 10 und vergleiche den angezeigten t - a -Graphen mit dem, den du gezeichnet hast! Wo hast du einen Fehler gemacht?

3-4 Boot auf dem Wasser (E)

Ebene 1: Beobachte den Bewegungsablauf und die Veränderungen des Ortsvektors!

Ebene 2: Die Ortsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt. Zudem erkennst du die Entwicklung des t - x -Graphen. Da die Ortsvektoren in diesem Projekt sehr lang sind, wurden sie maßstäblich verkürzt.

Ebene 3: Starte den Bewegungsablauf erneut und beobachte den Geschwindigkeitsvektor!

Ebene 4: Die Geschwindigkeitsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 5: Du siehst die Entwicklung des t - v -Graphen.

Ebene 6: Im t - v -Diagramm werden die Veränderungen des Geschwindigkeitsvektors von einem Zeitpunkt zum nächsten orange angetragen.

Vermute den Verlauf des t - a -Graphen!

Verdeutliche dir dazu noch einmal den Zusammenhang von Beschleunigung und der Änderung des Geschwindigkeitsvektors (bzw. des Verlaufs des t - v -Graphen)!

Beschl .



Ebene 7: Starte den Bewegungsablauf wieder und beobachte den Beschleunigungsvektor!

Ebene 8: Die Beschleunigungsvektoren werden in ihrer zeitlichen Abfolge im Stempeldiagramm dargestellt.

Ebene 9: Nach einem Neustart siehst du die Entwicklung des t - a -Graphen.

Wechsle zur Ebene 10 und vergleiche den angezeigten t - a -Graphen mit dem, den du gezeichnet hast. Wo hast du einen Fehler gemacht?

DFG-Projekt HE 2550/3-1

Untersuchung 2

Testbogen Physik

Kennwort: _____

Geschlecht: männlich weiblich

Gruppe: _____

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielen Dank für deine Teilnahme an dieser Untersuchung. Sie wird durchgeführt vom Institut der Didaktik der Physik von der Universität Würzburg und ist eingebunden in ein physikdidaktisches Forschungsprojekt mit dem Titel „Dynamisch-ikonische Repräsentationen“.

Alle Angaben werden streng vertraulich behandelt, ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet und nicht an Dritte weitergegeben. Solltest du Fragen zur Durchführung der Untersuchung, zum zugrunde liegenden wissenschaftlichen Konzept oder zur Verwendung deiner Daten haben, wende dich bitte an folgende Personen:

StR Matthias Galmbacher

Didaktik der Physik

Am Hubland, 97074 Würzburg

galmbacher@physik.uni-wuerzburg.de

Prof. Dr. D. Heuer

Didaktik der Physik

Am Hubland, 97074 Würzburg

heuer@physik.uni-wuerzburg.de

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!

Frageblock 1: Zeit-Orts-Diagramme

1) Im Folgenden sind fünf Fragen gestellt. Wähle aus den unten angegebenen Diagrammen (A – F) dasjenige aus, das zu der jeweiligen Frage passt. Jedes Diagramm darf mehrfach genannt werden. Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter der Fragestellung an! Hältst Du keines der Diagramme für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!

1.1) Welches Zeit-Orts-Diagramm beschreibt die Bewegung eines Gegenstands, der sich in gleichen Zeitabschnitten um gleiche Strecken vom Ursprung wegbewegt?

A B C D E F K

1.2) Welches Zeit-Orts-Diagramm beschreibt einen Gegenstand, der ruht?

A B C D E F K

1.3) Welches Zeit-Orts-Diagramm beschreibt die Bewegung eines Gegenstands, der sich in gleichen Zeitabschnitten um gleiche Strecken dem Ursprung nähert?

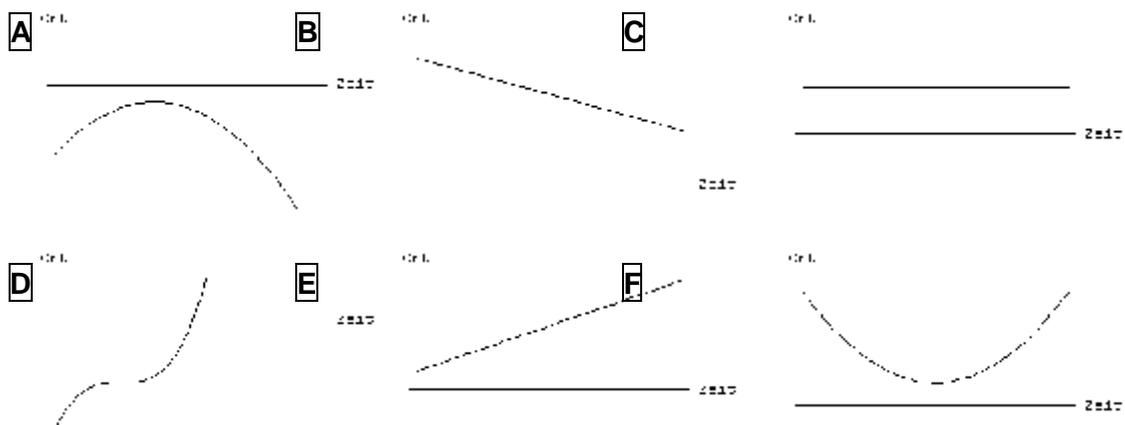
A B C D E F K

1.4) Wähle ein Zeit-Orts-Diagramm, das die Bewegung eines Gegenstands zeigt, der seine Bewegungsrichtung umkehrt!

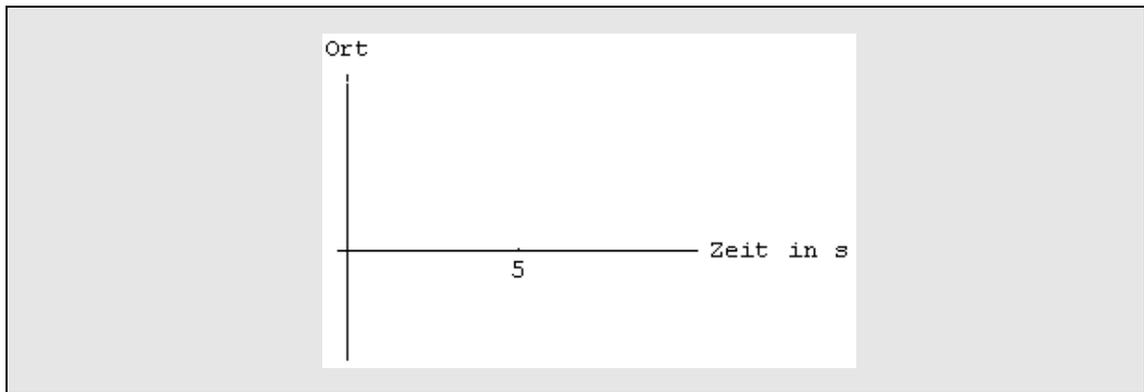
A B C D E F K

1.5) Welches Zeit-Orts-Diagramm beschreibt die Bewegung eines Gegenstands, der zwar seine Bewegungsrichtung beibehält, aber seine Geschwindigkeit ändert?

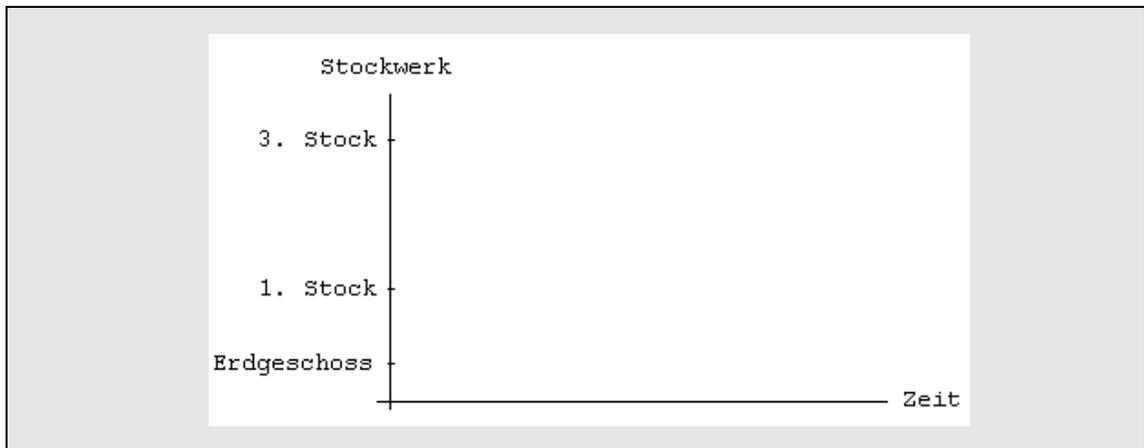
A B C D E F K



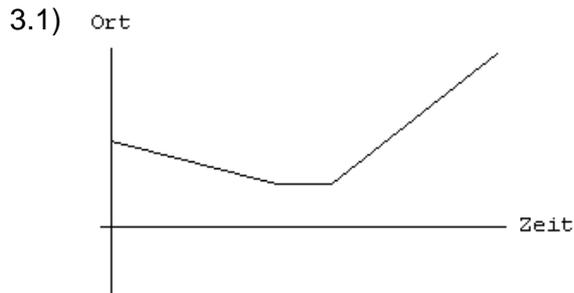
- 2.1) Zeichne ein qualitatives Zeit-Orts-Diagramm eines Pkws, der zunächst seinen Abstand vom Ursprung (in negativer Richtung) vergrößert und nach 5 s stehen bleibt.



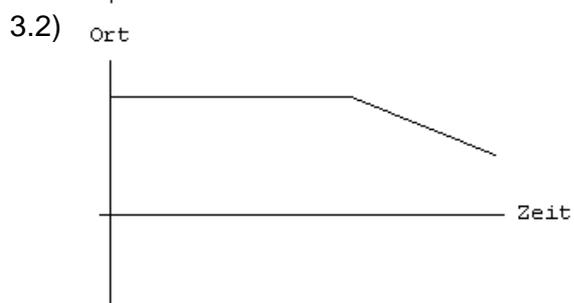
- 2.2) Zeichne ein qualitatives Zeit-Orts-Diagramm eines Aufzugs, der vom Erdgeschoss in den dritten Stock fährt, dort kurz wartet und anschließend in den ersten Stock zurückfährt.



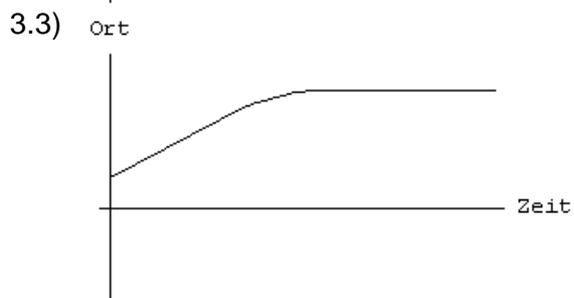
3) Im Folgenden sind drei Diagramme gegeben. Mache dir zuerst klar, wie die Bewegung abläuft, die durch den Graphen angegeben wird und wähle anschließend aus den unten angegebenen Situationsbeschreibungen (A – F) diejenige Beschreibung aus, die zu dem vorgegebenen Zeit-**Orts**-Diagramm passt. Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter dem Diagramm an. Hältst Du keine Situationsbeschreibung für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!



- A B C
 D E F K



- A B C
 D E F K

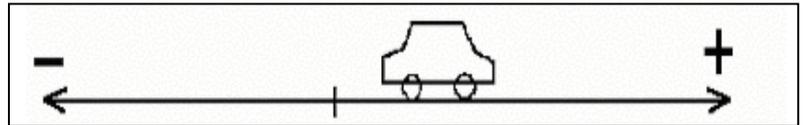


- A B C
 D E F K

- A Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Fußgängers, der in gleichen Zeitabschnitten gleiche Strecken in positive Richtung zurücklegt.
- B Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Autos, das zunächst langsam rückwärts fährt, kurz stehen bleibt und anschließend schnell vorwärts fährt.
- C Das Diagramm zeigt die Bewegung einer Lokomotive, die zunächst langsam vorwärts fährt, kurz stehen bleibt und anschließend schneller als zuvor vorwärts fährt.
- D Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Radfahrers, der zunächst in gleichen Zeitabschnitten gleiche Strecken zurücklegt, anschließend abbremst und schließlich stehen bleibt.
- E Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Rennwagens, der mit hoher Geschwindigkeit an eine Kurve kommt, vor der Kurve stark abbremst und anschließend wieder auf seine ursprüngliche Geschwindigkeit beschleunigt.
- F Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Lastwagens, der zunächst steht und anschließend langsam rückwärts in eine Garage fährt.
- K Keine der Situationsbeschreibungen ist richtig.

Frageblock 2: Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme

- 1) Ein Spielzeugauto kann sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen.



Im Folgenden sind fünf Fragen gestellt. Wähle aus den unten angegebenen Diagrammen (A – F) dasjenige aus, das zu der jeweiligen Frage passt. Jedes Diagramm darf mehrfach genannt werden. Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter der Fragestellung an! Hältst Du keines der Diagramme für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!

- 1.1) Das Auto bewegt sich nach links mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.

A B C D E F K

- 1.2) Die Geschwindigkeit ändert ihr Vorzeichen.

A B C D E F K

- 1.3) Die Geschwindigkeit des Autos nimmt gleichmäßig zu.

A B C D E F K

- 1.4) Die Geschwindigkeit des Autos ist kleiner als Null und verändert sich nicht.

A B C D E F K

- 1.5) Die Geschwindigkeit nach rechts nimmt gleichmäßig ab.

A B C D E F K

- 2.1) Das Auto steht.

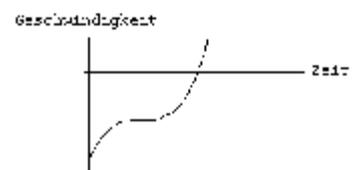
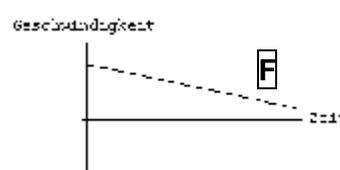
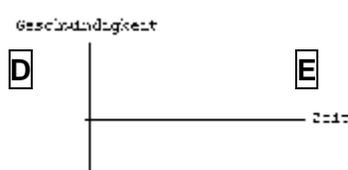
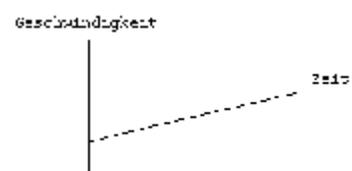
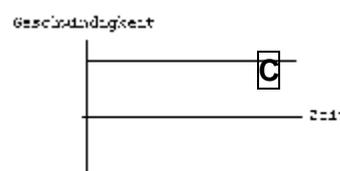
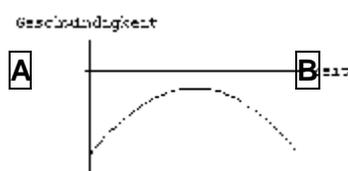
A B C D E F K

- 2.2) Die Ortskoordinate des Autos wird größer und verändert sich in gleichen Zeitabschnitten stets um denselben Wert.

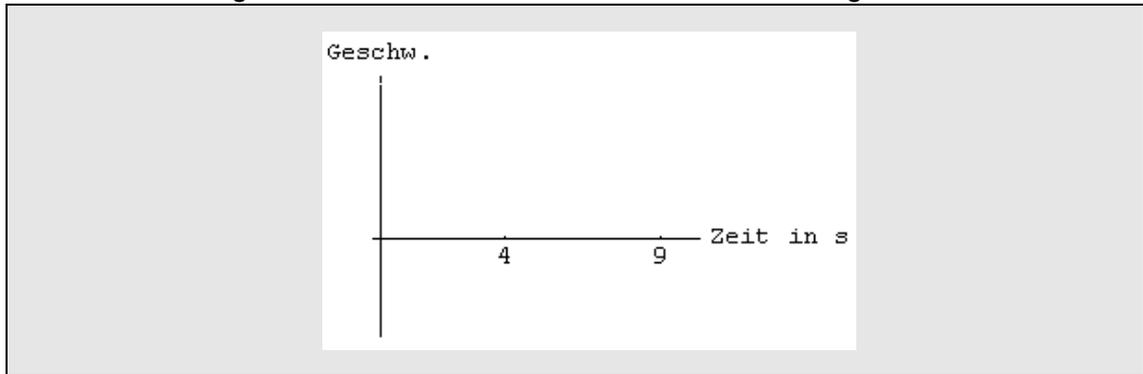
A B C D E F K

- 2.3) Das Auto fährt rückwärts und vorwärts.

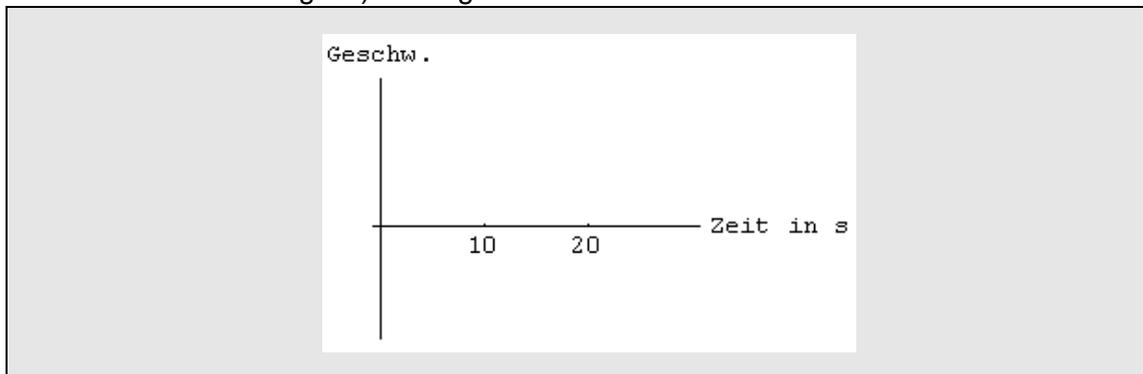
A B C D E F K



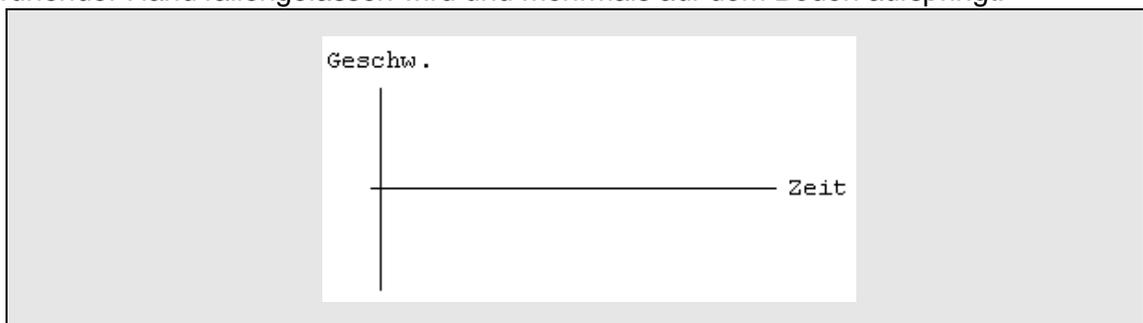
- 3.1) Zeichne qualitativ das Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm eines Pkws, der sich zunächst 4 s lang mit gleich bleibender Geschwindigkeit bewegt und anschließend seine Geschwindigkeit innerhalb von 5 s bis zum Stillstand verringert.



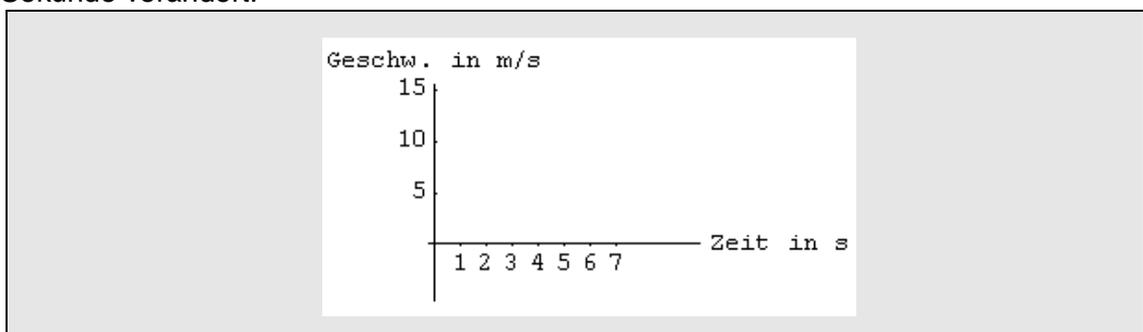
- 3.2) Zeichne qualitativ das Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm eines Fußgängers, der zunächst 10 s lang mit gleich bleibender Geschwindigkeit rennt, dann kurz (10 s) stehen bleibt, um zu verschrauben und anschließend gemütlich (wiederum mit gleich bleibender Geschwindigkeit) weitergeht.



- 4.1) Zeichne qualitativ das Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm eines Gummiballes, der aus ruhender Hand fallengelassen wird und mehrmals auf dem Boden aufspringt.

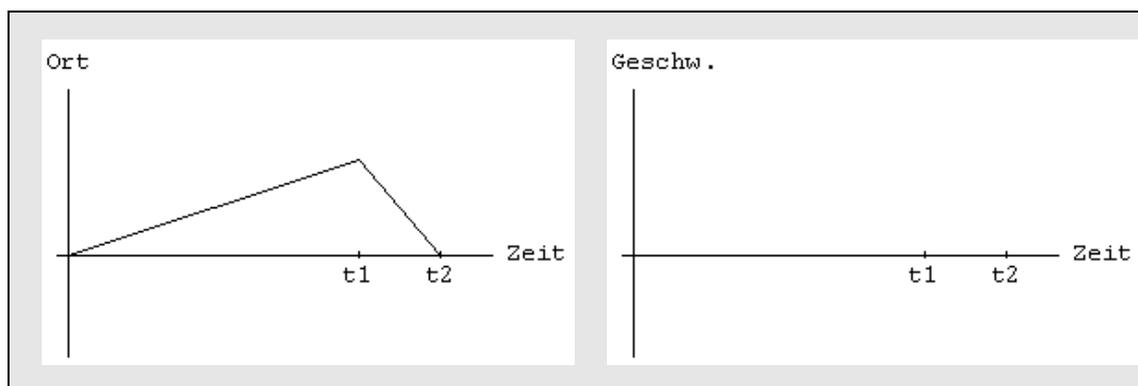


- 4.2) Zeichne das Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm eines Autos, das die ersten 4 s seinen Ort nicht ändert und anschließend seinen Ort jeweils um 5 m (in positiver Richtung) pro Sekunde verändert.

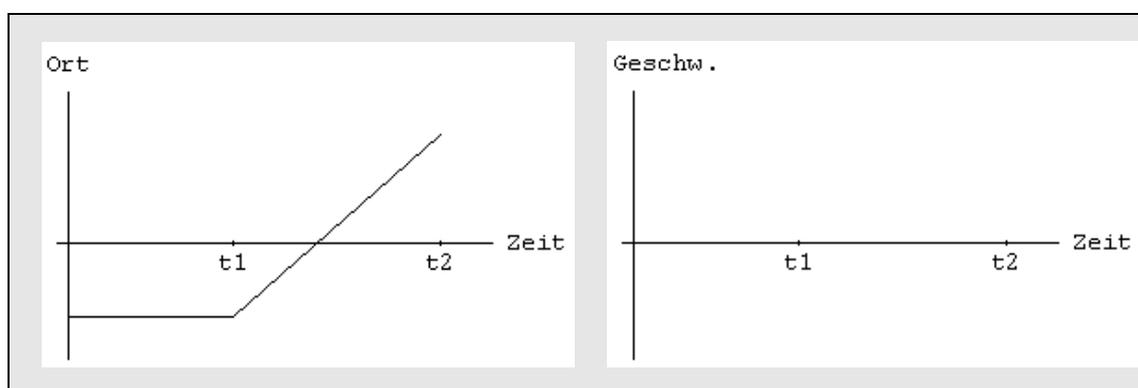


- 5) Ein Fußgänger bewegt sich jeweils wie in dem Zeit-Orts-Diagramm dargestellt. Zeichne das zugehörige Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm! Beachte dabei die Zeitpunkte t_1 und t_2 !

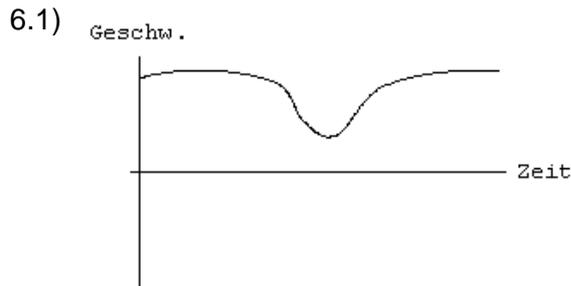
5.1)



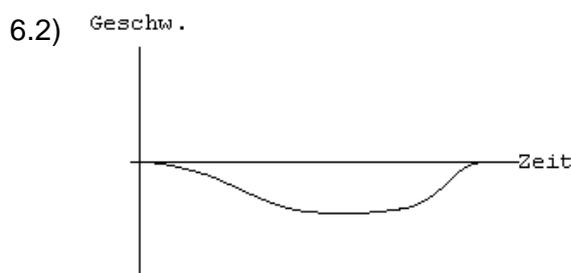
5.2)



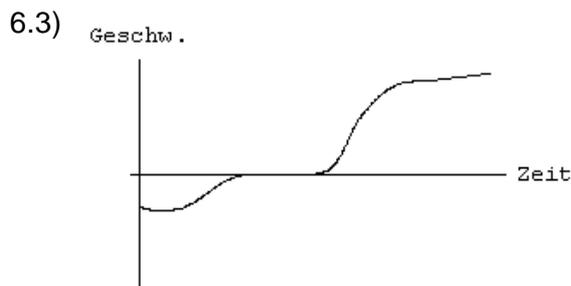
6) Im Folgenden sind drei Diagramme gegeben. Mache dir zuerst klar, wie die Bewegung abläuft, die durch den Graphen angegeben wird und wähle anschließend aus den unten angegebenen Situationsbeschreibungen (A – F) diejenige Beschreibung aus, die zu dem vorgegebenen Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm passt. Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter dem Diagramm an. Hältst Du keine Situationsbeschreibung für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!



- A B C
 D E F K



- A B C
 D E F K

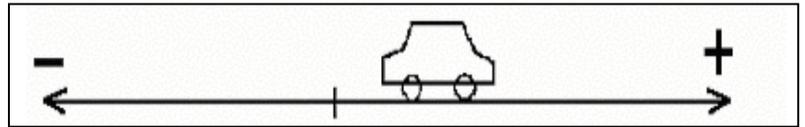


- A B C
 D E F K

- A Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Fußgängers, der sich mit gleich bleibender Geschwindigkeit vorwärts bewegt.
- B Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Autos, das zunächst langsam rückwärts fährt, kurz stehen bleibt und anschließend schnell vorwärts fährt.
- C Das Diagramm zeigt die Bewegung einer Lokomotive, die zunächst langsam vorwärts fährt, kurz stehen bleibt und anschließend mit einer größeren Geschwindigkeit als zuvor vorwärts fährt.
- D Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Radfahrers, der zunächst mit gleich bleibender Geschwindigkeit fährt, anschließend abbremst und schließlich stehen bleibt.
- E Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Rennwagens, der mit hoher Geschwindigkeit an eine Kurve kommt, vor der Kurve stark abbremst und anschließend wieder auf seine ursprüngliche Geschwindigkeit beschleunigt.
- F Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Lastwagens, der zunächst steht und anschließend langsam rückwärts in eine Garage fährt.
- K Keine der Situationsbeschreibungen ist richtig.

Frageblock 3: Zeit-Beschleunigungs-Diagramme

- 1) Ein Spielzeugauto kann sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen.



Im Folgenden sind fünf Fragen gestellt. Wähle aus den unten angegebenen Diagrammen (A – F) dasjenige aus, das zu der jeweiligen Frage passt. Jedes Diagramm darf mehrfach genannt werden. Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter der Fragestellung an! Hältst Du keines der Diagramme für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!

- 1.1) Das Auto fährt nach rechts und wird gleichmäßig immer schneller.

A B C D E F K

- 1.2) Das Auto fährt mit gleich bleibender Geschwindigkeit nach rechts.

A B C D E F K

- 1.3) Das Auto fährt nach links und wird gleichmäßig immer schneller.

A B C D E F K

- 2.1) Das Auto fährt nach links (in negative Richtung) und beschleunigt nicht.

A B C D E F K

- 2.2) Das Auto fährt nach rechts und hat eine konstante negative Beschleunigung.

A B C D E F K

- 2.3) Das Auto fährt nach rechts ohne zu beschleunigen.

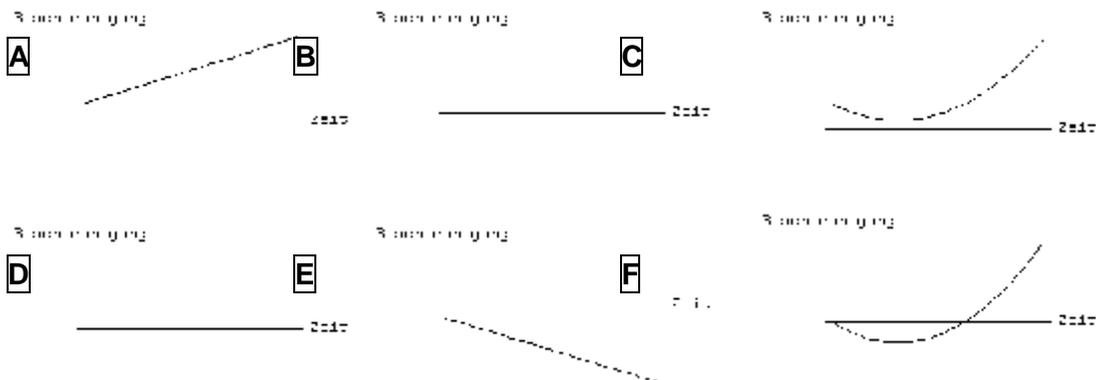
A B C D E F K

- 2.4) Das Auto fährt nach links und hat eine gleichmäßig positive Beschleunigung.

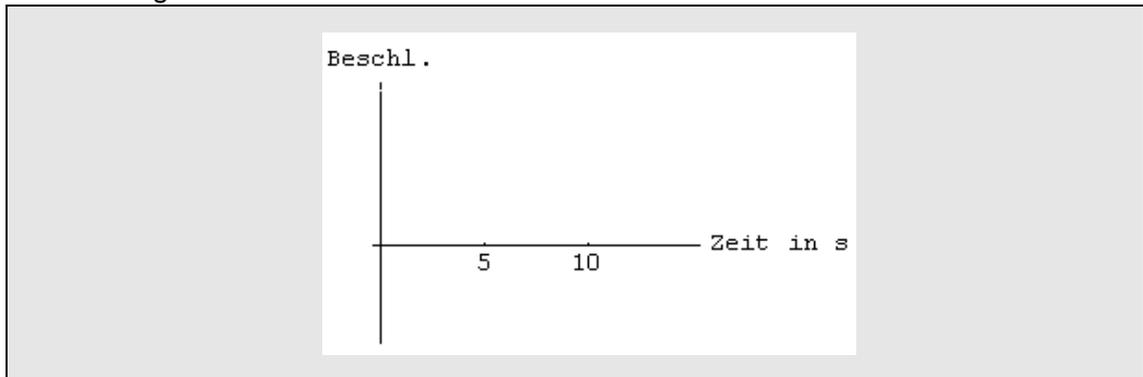
A B C D E F K

- 2.5) Das Auto fährt nach rechts und bremst ein wenig. Anschließend beschleunigt es wieder positiv.

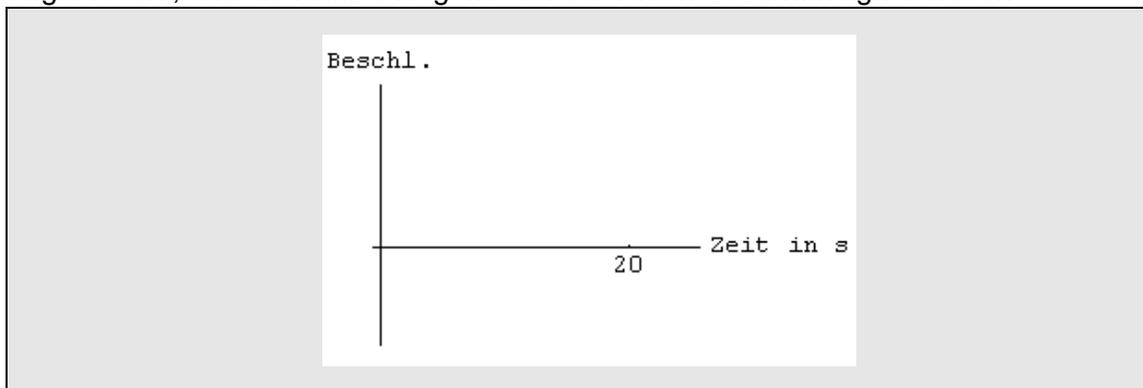
A B C D E F K



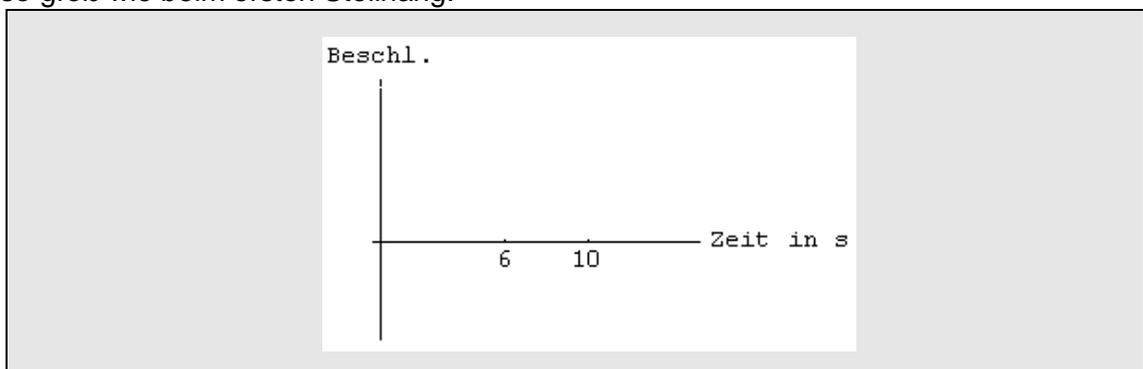
- 3.1) Zeichne das Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm für folgende Situation: Eine Lokomotive, die zunächst still steht, beschleunigt (ab dem Zeitpunkt 0 s) in positive Richtung, nach 5 Sekunden hört sie auf zu beschleunigen und fährt mit der erreichten Geschwindigkeit weiter. Nach weiteren 5 Sekunden bremst die Lokomotive ab.



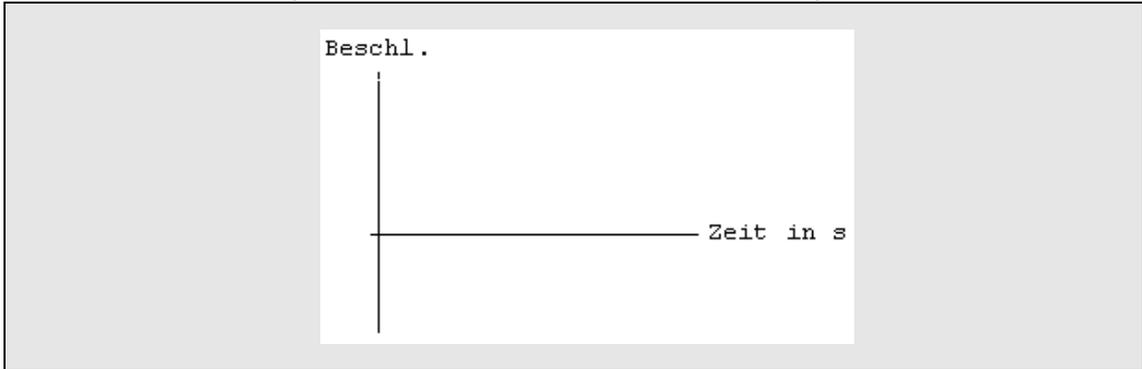
- 3.2) Zeichne das Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm für die Situation eines Raketenstarts: Zum Zeitpunkt 0 wird die erste Raketenstufe gezündet, die eine (positive) Beschleunigung der Rakete hervorruft. Da die Masse der Rakete durch das Verbrennen von Treibstoff kleiner wird, wird die Rakete beim Verbrennen von Stufe 1 immer stärker beschleunigt. Nach 20 Sekunden ist die erste Stufe vollständig aufgebraucht, und die Rakete fliegt mit der erreichten Geschwindigkeit weiter.



- 4.1) Zeichne das Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm für folgende Situation: Ein Skifahrer fährt in einem Rennen die Piste hinunter. Die ersten 6 Sekunden erhöht er sehr schnell seine Geschwindigkeit, weil die Piste sehr steil ist. Auf dem anschließenden langen geraden Stück wird er für 4 s wieder langsamer, bevor er im nächsten Steilhang seine Geschwindigkeit wieder vergrößert; die Beschleunigung hier ist allerdings nicht mehr so groß wie beim ersten Steilhang.

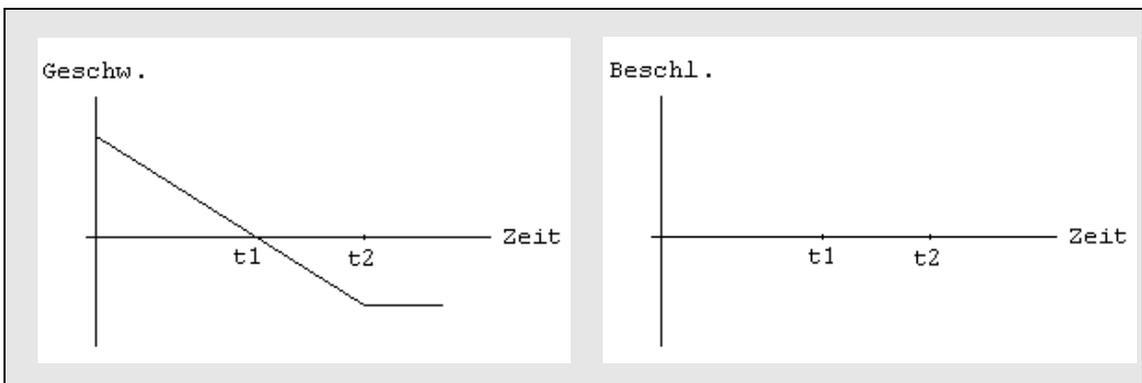


- 4.2) Zeichne das Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm für folgende Situation: Ein Fallschirmspringer springt in 2000 m Höhe aus dem Flugzeug. Zunächst vergrößert sich seine Geschwindigkeit im freien Fall bis er –auf Grund der Luftreibung- eine gleich bleibende Geschwindigkeit erreicht hat. Mit dieser Geschwindigkeit fällt er weiter.

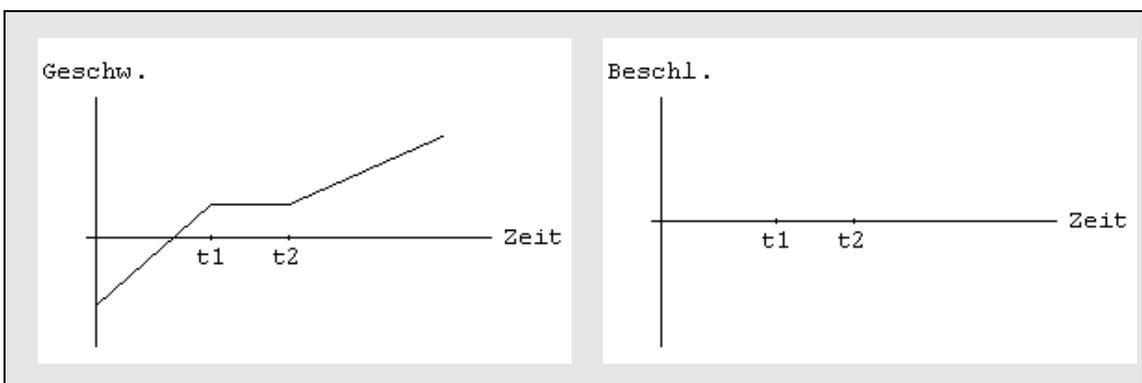


- 5) Eine Lokomotive bewegt sich jeweils wie in dem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm dargestellt. Zeichne das zugehörige Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm! Beachte dabei die Zeitpunkte t_1 bzw. t_2 !

5.1)

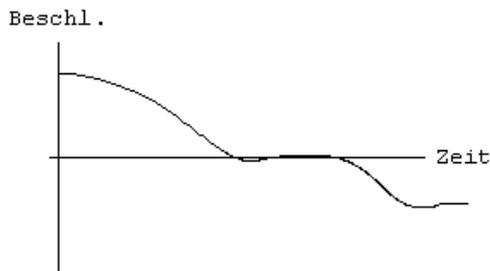


5.2)



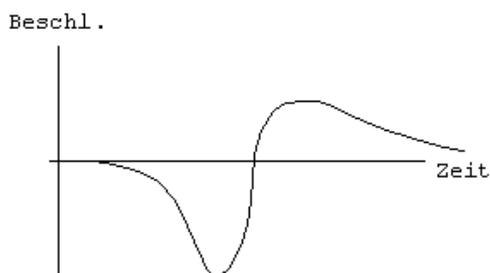
6) Im Folgenden sind drei Diagramme gegeben. Mache dir zuerst klar, wie die Bewegung abläuft, die durch den Graphen angegeben wird und wähle anschließend aus den unten angegebenen Situationsbeschreibungen (A – F) diejenige Beschreibung aus, die zu dem vorgegebenen Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm passt. Kreuze den entsprechenden Buchstaben hinter dem Diagramm an. Hältst Du keine Situationsbeschreibung für zutreffend, so kreuze den Buchstaben K an!

6.1)



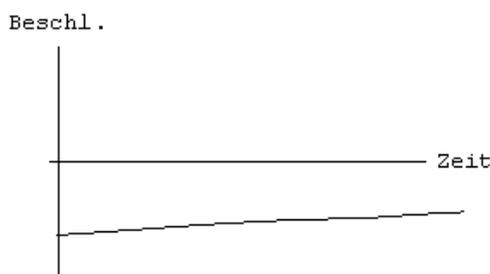
A B C
 D E F K

6.2)



A B C
 D E F K

6.3)



A B C
 D E F K

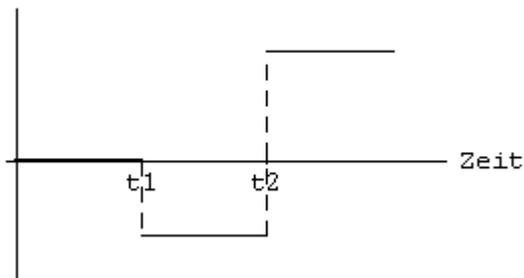
- A Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Fußgängers, der sich mit nahezu gleich bleibender Geschwindigkeit bewegt.
- B Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Autos, das aus dem Stand bis zum Erreichen der (End)Geschwindigkeit 100 km/h gleichmäßig beschleunigt und schließlich mit dieser Endgeschwindigkeit weiter fährt.
- C Das Diagramm zeigt die Bewegung einer Lokomotive, die zunächst positiv beschleunigt, kurze Zeit mit konstanter Geschwindigkeit fährt und anschließend negativ beschleunigt.
- D Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Radfahrers, der zunächst mit nahezu gleich bleibender Geschwindigkeit fährt, anschließend abbremst und schließlich stehen bleibt.
- E Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Rennwagens, der auf einer langen Geraden mit einer hohen Geschwindigkeit fährt. Weil eine Warnlampe blinkt, bremst der Fahrer kurz ab und beschleunigt aber gleich wieder auf seine ursprüngliche Geschwindigkeit, weil er über Bordfunk Entwarnung erhält.
- F Das Diagramm zeigt die Bewegung eines Steins, der aus großer Höhe fallengelassen wurde und im freien Fall immer schneller wird.
- K Keine der Situationsbeschreibungen ist richtig.

Frageblock 4: Kombination von Diagrammen

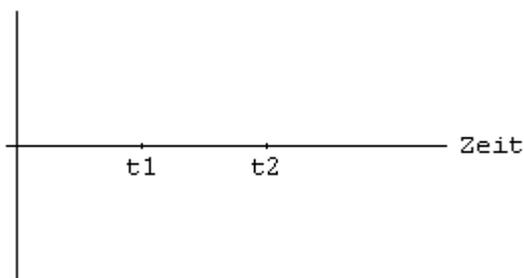
- 1) Gegeben ist das Zeit-**Beschleunigungs**-Diagramm der Bewegung einer Lokomotive, die zum Zeitpunkt 0 s am Ort 0 m aus der Ruhe startet.

Zeichne ausgehend von dem Zeit-Beschleunigungs-Diagramm das Zeit-Geschwindigkeits- und das Zeit-Orts-Diagramm der Bewegung. Die Startwerte von Ort und Geschwindigkeit der Lokomotive zum Zeitpunkt 0 s sind in den Diagrammen bereits markiert.

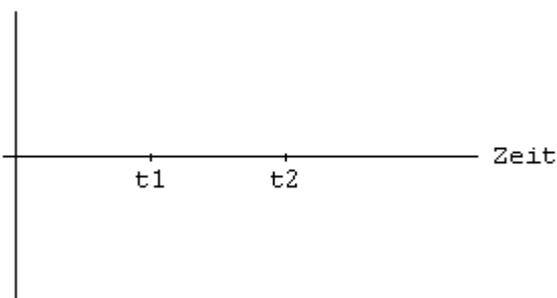
Beschl.



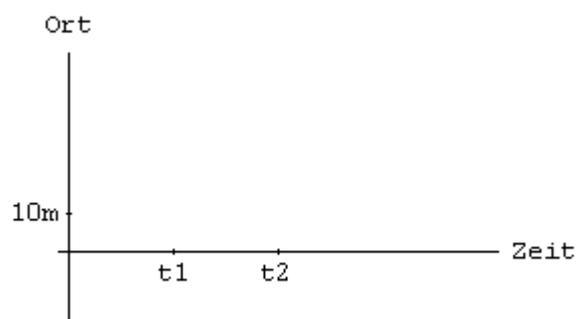
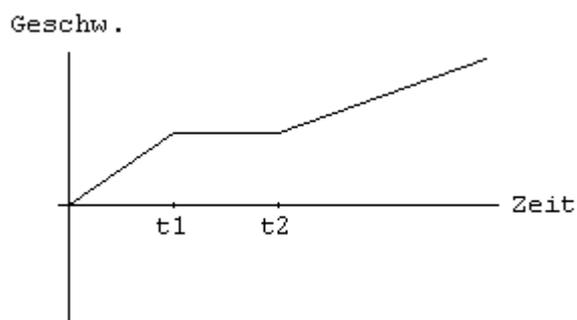
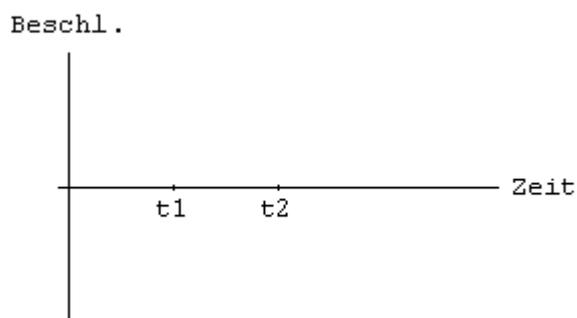
Geschw.



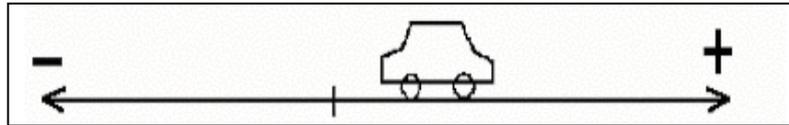
Ort



- 2) Gegeben ist das Zeit-**Geschwindigkeits**-Diagramm der Bewegung eines Pkws.
Zeichne ausgehend von dem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm das Zeit-
Beschleunigungs- und das Zeit-Orts-Diagramm der Bewegung. Der Startort des Pkws
(10 m) ist bereits markiert.



3)



Eine Lokomotive fährt auf einem langen geraden Gleisstück nach links (in negative Richtung) und beschleunigt dabei positiv.

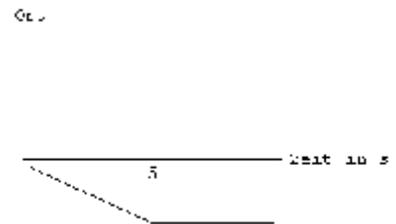
Beschreibe und begründe, wie das Zeit-Geschwindigkeits-Verhalten der Bewegung der Lokomotive aussieht.

Lösungen Physik NT

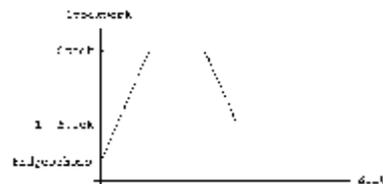
Ort

- 1.1 E
- 1.2 C
- 1.3 B
- 1.4 A oder F
- 1.5 D

- 2.1 a) 1. Phase (0s–5s): abfallende Kurve (nicht unbedingt eine Gerade!)
 b) 2. Phase (ab 5s): Parallele zur t -Achse



- 2.2 a) Startpunkt: Erdgeschoss
 b) 1. Phase: ansteigende Gerade (bis 3. Stock)
 c) 2. Phase: Parallele zur t -Achse
 d) 3. Phase: abfallende Gerade (bis 1. Stock), Steigung etwa den gleichen Betrag wie in b)



- 3.1 B
- 3.2 F
- 3.3 D

Geschwindigkeit

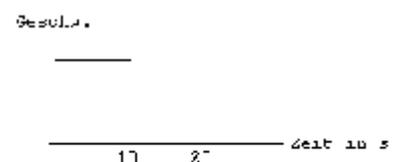
- 1.1 D
- 1.2 F
- 1.3 C
- 1.4 D
- 1.5 E

- 2.1 K
- 2.2 B
- 2.3 F

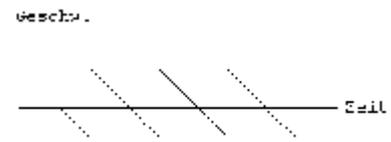
- 3.1 a) 1. Phase (0s-4s): Parallele zur t -Achse
 b) 2. Phase (4s-9s): Bis auf Geschwindigkeit Null abfallende Gerade
 Reale *Kurvenverläufe* sind erlaubt.



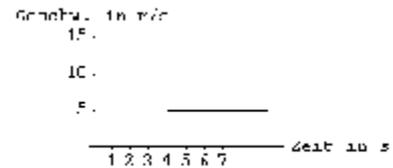
- 3.2 a) 1. Phase (0s-10s): Parallele zur t -Achse (nicht Null)
 b) 2. Phase (10s-20s): Nulllinie
 c) 3. Phase (ab 10s): Parallele zur t -Achse zwischen den Linien von 1. und 2. Phase.
 Reale *Kurvenverläufe* sind erlaubt.



- 4.1 a) Start: Nullpunkt
 b) 1. Phase: abfallende Gerade
 c) 2. Phase: Sprung auf den positiven Wert mit etwa dem gleichen Betrag. Spiegelung an t -Achse ist erlaubt.



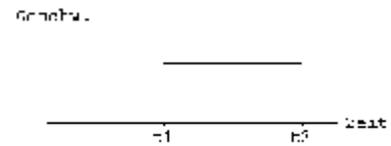
- 4.2 a) 1. Phase (0s-4s): Nulllinie
 b) 2. Phase (ab 4s): Parallele zur t -Achse mit Geschw. 5m/s
 Reale Kurvenverläufe sind erlaubt.



- 5.1 a) 1. Phase ($0-t_1$): Parallele zur t -Achse im positiven Bereich
 b) 2. Phase (t_1-t_2): Parallele zur t -Achse im negativen Bereich, wobei der Geschw.betrag größer als in der 1. Phase ist



- 5.2 a) 1. Phase ($0-t_1$): Nulllinie
 b) 2. Phase (t_1-t_2): Parallele zur t -Achse im positiven Bereich

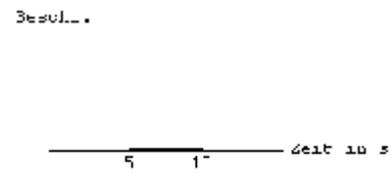


- 6.1 E
 6.2 F
 6.3 B

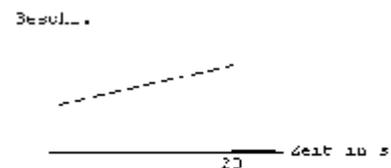
Beschleunigung

- 1.1 D
 1.2 K
 1.3 B
 2.1 K
 2.2 B
 2.3 K
 2.4 D
 2.5 F

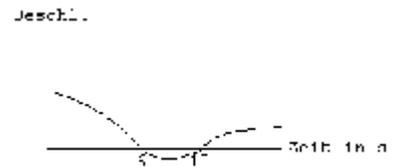
- 3.1 a) Start: Im positiven Bereich
 b) 1. Phase (0s-5s): Positiver Bereich
 c) 2. Phase (5s-10s): Nulllinie
 d) 3. Phase (ab 10s): Negativer Bereich
 1. und 3. Phase müssen keine Geradenabschnitte sein



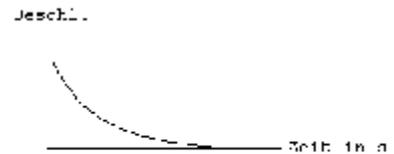
- 3.2 a) Start: Im positiven Bereich
 b) 1. Phase (0s-20s): Steigender Kurvenverlauf
 c) 2. Phase (ab 20s): Nulllinie
 1. Phase muss keine Gerade sein



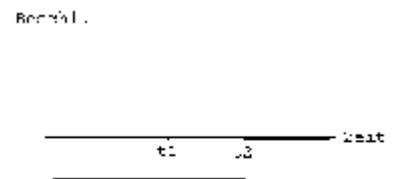
- 4.1 a) Start: Im positiven Bereich
 b) 1. Phase (0s-6s): Positiver Bereich
 c) 2. Phase (6s-10s): Negativer Bereich
 d) 3. Phase (ab 10s): Positiver Bereich, aber kleinere Beträge als in Phase 1



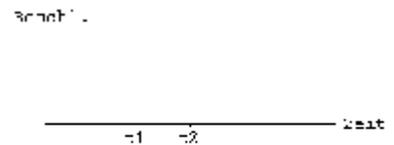
- 4.2 a) Start: Im positiven Bereich
 b) 1. Phase: Abfallende Kurve
 c) 2. Phase: Nulllinie
 Spiegelung an t -Achse ist erlaubt.



- 5.1 a) 1. Phase (0- t_1): Parallele zur t -Achse
 b) 2. Phase (t_1 - t_2): Wie 1. Phase
 c) 3. Phase (ab t_2): Nulllinie



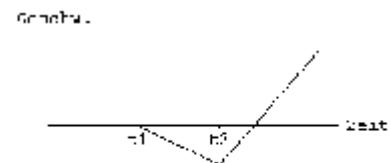
- 5.2 a) 1. Phase (0- t_1): Parallele zur t -Achse
 b) 2. Phase (t_1 - t_2): Nulllinie
 c) 3. Phase (ab t_2): Parallele zur t -Achse zwischen den Linien der 1. und 2. Phase



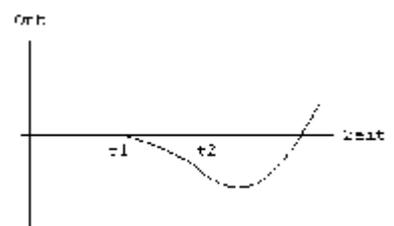
- 6.1 C
 6.2 E
 6.3 F

Kombination von Diagrammen

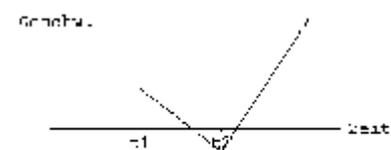
1.
 1a) 1. Phase (0- t_1): Nulllinie
 1b) 2. Phase (t_1 - t_2): Fallende Gerade
 1c) 3. Phase (ab t_2): Steigende Gerade mit größerer Steigung (Betrag) als in 2. Phase



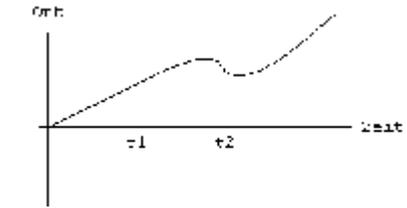
- 2a) 1. Phase (0- t_1): Nulllinie
 2b) Übergang: Keine Knicke
 2c) 2. Phase (t_1 - t_2): Rechtsgekrümmte Kurve
 2d) 3. Phase (ab t_2): Linksgekrümmte Kurve



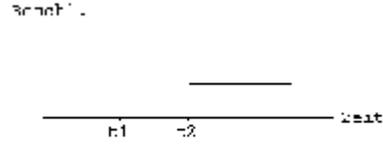
- Alternativ:
 1a) 1. Phase (0- t_1): Parallele zur t -Achse
 1b) 2. Phase (t_1 - t_2): Fallende Gerade
 1c) 3. Phase (ab t_2): Steigende Gerade mit größerer Steigung (Betrag) als in 2. Phase



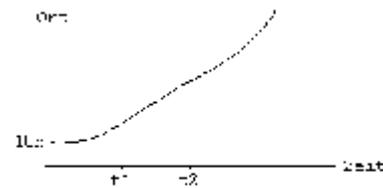
- 2a) 1. Phase (0- t_1): Steigende Gerade
- 2b) Übergang: Keine Knicke
- 2c) 2. Phase (t_1 - t_2): Rechtsgekrümmte Kurve
- 2d) 3. Phase (ab t_2): Linksgekrümmte Kurve



- 2. 1a) 1. Phase (0- t_1): Parallele zur t -Achse
- 1b) 2. Phase (t_1 - t_2): Nulllinie
- 1c) 3. Phase (ab t_2): Parallele zur t -Achse zwischen den Geraden von 1. und 2. Phase



- 2a) 1. Phase (0- t_1): Linksgekrümmte Kurve
- 2b) Übergang: Keine Knicke
- 2c) 2. Phase (t_1 - t_2): Steigende Gerade
- 2d) 3. Phase (ab t_2): Linksgekrümmte Kurve



- 3. Die Lok wird in ihrer Bewegung nach links langsamer und kehrt dann ihre Bewegungsrichtung um. Anschließend wird sie in ihrer Bewegung nach rechts schneller.

Kategorien und Skalen des Physik-Tests

Ort

Phänomen – Graph interpretierend			
<u>1.1</u> 1, 2, 3, 4, 5	MC ²⁶⁹	5 Items	
Phänomen – Graph generierend			
<u>1.2</u> 1, 2	offen	2 Items	
Graph – Phänomen interpretierend			
<u>1.3</u> 1, 2, 3	MC	3 Items	

Ort - Geschwindigkeit

Phänomen – Graph interpretierend			
<u>2.2</u> 1, 2, 3	MC	3 Items	
Phänomen – Graph generierend			
<u>2.4</u> 1, 2	offen	2 Items	
Graph – Graph generierend			
<u>2.5</u> 1, 2	offen	2 Items	

Geschwindigkeit

Phänomen – Graph interpretierend			
<u>2.1</u> 1, 2, 3, 4, 5	MC	5 Items	
Phänomen – Graph generierend			
<u>2.3</u> 1, 2	offen	2 Items	
Graph – Phänomen interpretierend			
<u>2.6</u> 1, 2, 3	MC	3 Items	

Geschwindigkeit - Beschleunigung

Phänomen – Graph interpretierend			
<u>3.1</u> 1, 2, 3	MC	3 Items	
Phänomen – Graph generierend			
<u>3.4</u> 1, 2	offen	2 Items	
Graph – Graph generierend			
<u>3.5</u> 1, 2	offen	2 Items	

Beschleunigung

Phänomen – Graph interpretierend			
<u>3.2</u> 1, 2, 3, 4, 5	MC	5 Items	
Phänomen – Graph generierend			
<u>3.3</u> 1, 2	offen	2 Items	
Graph – Phänomen interpretierend			
<u>3.6</u> 1, 2, 3	MC	3 Items	

²⁶⁹ MC: Multiple Choice

Erläuterungen:

Phänomen – Graph interpretierend:

Ausgehend von einer Situationsbeschreibung soll aus einer vorgegebenen Auswahl von Diagrammen das richtige herausgefunden werden.

Phänomen – Graph generierend:

Ausgehend von einer Situationsbeschreibung soll das zugehörige Diagramm selbst erstellt werden.

Graph – Phänomen interpretierend:

Einem vorgegebenen Diagramm soll aus einer vorgegebenen Auswahl von Situationsbeschreibungen die passende Beschreibung zugeordnet werden.

Graph – Graph generierend:

Ausgehend von einem vorgegebenen Zeit-Weg- oder Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm soll das zugehörige Zeit-Geschwindigkeits- oder Zeit-Beschleunigungs-Diagramm selbst erstellt werden.

Zuordnung der Items zu den Skalen:

Phänomen – Graph interpretierend (21 Items, 21 Punkte):

1.1, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2

Phänomen – Graph generierend (10 Items, 30 Punkte):

1.2, 2.3, 2.4, 3.3, 3.4

Graph – Phänomen interpretierend (9 Items, 9 Punkte):

1.3, 2.6, 3.6

Graph – Graph generierend (4 Items, 10 Punkte):

2.5, 3.5

DFG-Projekt HE 2550/3-1

Untersuchung 2

Beurteilungsbogen

Kennwort: _____

In diesem Bogen sollst du die Untersuchung beurteilen. Dies kann helfen, spätere Untersuchungen zu optimieren. Entscheide spontan, ohne allzu lange über die Beantwortung nachzudenken. Die Skala bedeutet in etwa:

1 à „Ich stimme voll zu“

...

5 à „Ich stimme überhaupt nicht zu“

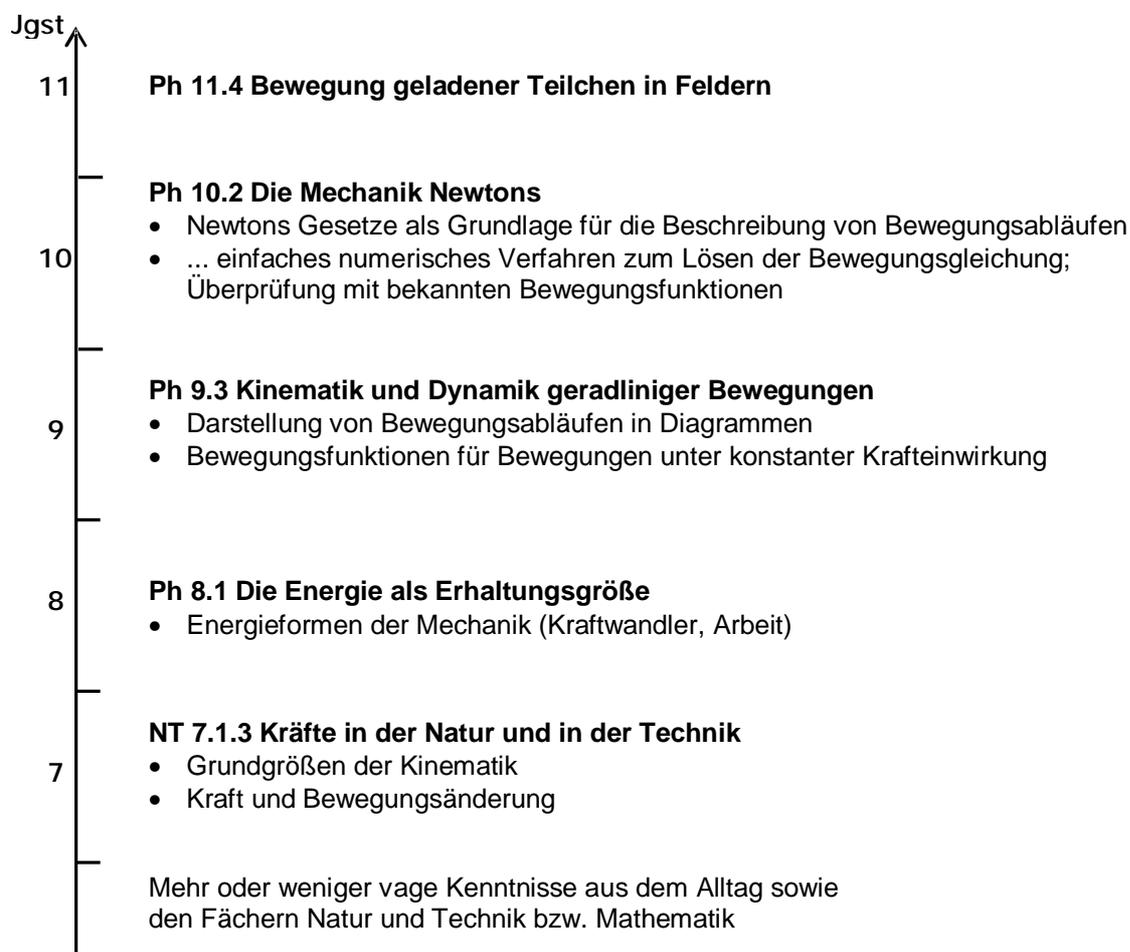
	1	2	3	4	5
Ich habe in dieser Untersuchung neues gelernt	<input type="checkbox"/>				
Die Arbeit mit dem Computer fiel mir leicht	<input type="checkbox"/>				
Die Projektbeschreibung war verständlich	<input type="checkbox"/>				
Ich konnte mit der Software PAKMA gut umgehen	<input type="checkbox"/>				
Mein Verständnis von „Bewegung“ hat sich verbessert	<input type="checkbox"/>				
Ich fand die Arbeit mit dem Computer interessant	<input type="checkbox"/>				
Die Partnerarbeit war hilfreich für das Verständnis	<input type="checkbox"/>				
Ich habe mich bei der Beantwortung des Fragebogens sicher gefühlt	<input type="checkbox"/>				
Die Erklärungen der Lehrkraft waren ausreichend	<input type="checkbox"/>				
Der Computer sollte im Unterricht häufiger eingesetzt werden	<input type="checkbox"/>				
Ich habe nun eine klare Vorstellung vom Beschleunigungsbegriff	<input type="checkbox"/>				
Ich arbeite lieber alleine als mit einem Partner	<input type="checkbox"/>				

Einführung der Größen „Beschleunigung“ und „Kraft“ in der 7. Jahrgangsstufe²⁷⁰

Die Einführung der Beschleunigung und des dynamischen Kraftbegriffs in der 7. Jahrgangsstufe unterscheidet sich methodisch grundsätzlich von der Vorgehensweise in der gymnasialen Oberstufe bei der Erarbeitung dieser Themenbereiche. Die folgenden Erläuterungen stellen eine Möglichkeit dar, keineswegs jedoch die einzige – sie sollen vielmehr als Angebot verstanden werden und Anregungen geben. Ziel ist es, die Lehrer in ihren methodischen und didaktischen Freiheiten – verbunden mit einer individuellen Schwerpunktsetzung – zu unterstützen, keinesfalls jedoch einzuengen.

Einbettung in den Lehrplan – Kumulative Entwicklung

Die physikalischen Größen Kraft und Beschleunigung erstrecken sich – einhergehend mit den zunehmenden Abstraktionsfähigkeiten und mathematischen Kenntnissen der Schüler – über mehrere Jahrgangsstufen, wobei das wiederholte Aufgreifen und die sukzessive Vertiefung der Begriffe die Chance zur kumulativen Vertiefung bietet. Es besteht in keiner Hinsicht die Notwendigkeit, abstrakte Begriffe und mathematisch ausgefeilte Methoden bereits in der 7. Jahrgangsstufe zu verwenden. Einen Überblick gibt die folgende Graphik:



²⁷⁰ entnommen der Homepage des ISB: Linkebene zum Lehrplan „Natur und Technik 7“ des G8

Einführung der Beschleunigung

In der 7. Jahrgangsstufe steht die Einführung der Kraft als Ursache für Bewegungsänderungen im Vordergrund. Hierzu sollen die Schüler zunächst die kinematischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung an einfachen Bewegungen kennen lernen. Lebensnahe Beispiele mit geringem mathematischen Anforderungsniveau bilden den Einstieg.

Vorkenntnisse:

Die Begriffe Zeit, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung kennen die Schüler aus dem Alltag sowie den Fächern Mathematik bzw. Natur und Technik der vorherigen Jahrgangsstufen, jedoch teilweise noch auf einem vagen und unpräzisen Niveau. Rechnungen mit Geschwindigkeiten sollten sie bereits im Mathematikunterricht der vorherigen Jahrgangsstufen durchgeführt haben.

Vor der Behandlung der Beschleunigung wurde bereits die Geschwindigkeit als Quotient aus Wegabschnitt und Zeitabschnitt eingeführt. Um eine Vorstellung für Geschwindigkeitswerte zu bekommen, und um eine einfache Umrechnungsmöglichkeit zwischen km/h und m/s zu haben, wurde das Beispiel $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ behandelt.

Vorgehen im Unterricht:

Die Geschwindigkeit wird in gewohnter Weise definiert. Diese Definition stellt zur intuitiven Vorstellung der meisten Schülerinnen und Schüler keinen Gegensatz dar:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg}}{\text{dafür benötigte Zeit}} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Als Maßeinheit für die Geschwindigkeit ergibt sich: $[v] = \left[\frac{\Delta s}{\Delta t} \right] = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Anhand mehrerer Beispiele z. B. aus der Autowerbung kann der Begriff der Beschleunigung mittels Angaben wie „von 0 auf 100 in 12 s“ motiviert und beschrieben werden.

Die Beschleunigung wird dann analog zu Geschwindigkeit definiert als:

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Änderung der Geschwindigkeit}}{\text{dafür benötigte Zeit}} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Als Maßeinheit für die Beschleunigung ergibt sich: $[a] = \left[\frac{\Delta v}{\Delta t} \right] = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Die nachfolgenden Übungsbeispiele zur Festigung sollten so gewählt werden, dass keine übermäßigen algebraischen Umformungen nötig sind (siehe unten).

Möglichkeiten und Einschränkungen:

Die Definition lässt es auch zu, dass sich bei Bremsvorgängen negative Werte für die Beschleunigung ergeben. Die Behandlung solcher Beispiele in einfachen Fällen ist ohne Überbetonung des Formalen möglich.

Auf die implizierte Mittelwertbildung bei Messungen über ein ganzes Zeitintervall (mittlere Geschwindigkeit, mittlere Beschleunigung) kann hingewiesen werden, ist aber nicht notwendig und sollte nicht eigens behandelt werden. Selbstverständlich darf die Grenzwertproblematik nicht thematisiert werden.

Aufgabenbeispiele und experimentelle Möglichkeiten:

- Beschleunigung eines Autos (siehe Link-Ebene 7.1.3 „Beschleunigung eines Autos“)
- Abschätzungen der Startbeschleunigung eines 100-m-Läufers (evtl. auch experimentell mit mehreren Stoppuhren am Sportplatz (siehe Link-Ebene 7.1.3 „Geschwindigkeitsprofil“))
- Beschleunigung eines Flohs (Kontaktzeit ca. 2 ms, Absprunggeschwindigkeit ca. 2,5 m/s)
- freier Fall (Verdunkelungszeit einer Lichtschranke)
- Tropfenwagen (ein Wagen mit Tropfvorrichtung fährt eine schiefe Ebene hinab und hinterlässt eine Tropfenspur; anhand der Tropfenabstände lassen sich Geschwindigkeiten und Beschleunigungen berechnen)

Einführung der Kraft

Zur Einführung der Kraft soll im Sinne Newtons die Beschleunigung herangezogen werden. Die Schüler werden also nicht über den Umweg eines statischen Kraftbegriffs zu einer dynamischen Vorstellung geführt, sondern direkt dorthin.

Vorkenntnisse:

Die Schüler kennen aus dem bisherigen Unterricht die Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung. Die Masse ist dagegen eine Größe, von der sie aus dem Alltag häufig nur ungenaue oder gar falsche Vorstellungen haben. Sie wird pragmatisch als Körpereigenschaft eingeführt, die nicht weiter problematisiert werden sollte. Dass große Massen sehr träge sind, kann bereits frühzeitig angesprochen werden, da dies mit der naiven Vorstellung von Masse vereinbar ist. Eventuell vorhandene Fehlvorstellungen im Zusammenhang mit Gewicht sollen in angemessenem Umfang korrigiert werden. Da Gewicht sowohl als Synonym für den Betrag der Gewichtskraft als auch umgangssprachlich für die Masse Verwendung findet, empfiehlt es sich abzuwägen, den Begriff „Gewicht“ im Physikunterricht vollständig zu vermeiden.

Vorgehen im Unterricht:

Bei der Einführung der Kraft sollte deren beschleunigende Wirkung auf Körper hervorgehoben werden. Da in der Newton'schen Massenpunktmechanik keine Verformung existiert, sind Kräfte immer durch die Änderung der Geschwindigkeit beschreib- und messbar. Vom Trägheitssatz ausgehend kommt man über dessen positive Formulierung zu der Erkenntnis, dass Kräfte offensichtlich Geschwindigkeitsänderungen – Betrag oder Richtung – verursachen, im einfachsten Fall, der hier im Vordergrund stehen sollte, also eine geradlinige Beschleunigung.

Der nun nahe liegenden Fehlvorstellung, Kräfte seien mit Beschleunigungen identisch, kann wirkungsvoll durch einfache Experimente begegnet werden. Beispielsweise kann ein Schüler mit seiner Muskelkraft erst einen leeren Mattenwagen, darauffolgend einen beladenen Mattenwagen mit mehreren darauf sitzenden Schülern beschleunigen. Den Schülern wird klar, dass die Beschleunigung bei gleicher Kraft umso größer ist, je kleiner die zu beschleunigende Masse ist. So wird an dieser Stelle das als Definitionsgleichung zu betrachtende 2. Newton'sche Gesetz $F = m \cdot a$ den Schülern plausibel. Einige einfache Rechenbeispiele festigen das Erlernete. Die skizzierten Überlegungen lassen sich zudem durch die Animation „Kräfte messen / Vergleich bei Beschleunigung“ der CD-ROM „Kraftstudio“ des ISB vertiefen.

Zwar ist das 2. Newton'sche Gesetz mit der Alltagserfahrung verträglich, doch kann es bei entsprechendem Unterrichtsverlauf durchaus angebracht sein, seine innere Konsistenz (z. B. $1\text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,5\text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) experimentell zu überprüfen. Hierzu benötigt man eine – auch für Schüler –

offensichtlich konstante Kraft: Ein über eine Rolle laufendes Gewichtsstück stellt eine solches „Zugpferd“ dar. Die zu beschleunigende Masse, z. B. ein kleiner Wagen, dessen Masse mit einer gewöhnlichen Waage bestimmt wird, kann nun variiert werden. Dass das „Zugpferd“ mitbeschleunigt wird, sollte angesprochen werden – der zentrale Unterrichtsgegenstand ist es an dieser Stelle nicht. Der beschleunigte Wagen durchläuft zwei Lichtschranken und schattet diese z. B. durch einen Pappstreifen bekannter Breite ab, woraus sich eine Geschwindigkeitsdifferenz errechnen lässt. Alternativ können die Geschwindigkeiten auch mit (mittlerweile preiswerten) Fahrradcomputern und am Wagen angebrachten Magneten mit gemessen werden (Siehe Link-Ebene „Geschwindigkeitsmessung mit Fahrradcomputern“). Das zugehörige Zeitintervall zur Berechnung der Beschleunigung ermittelt man in jedem Fall aus einer Messung mit zwei Lichtschranken. Im Rahmen der Messgenauigkeit erhält man für $m \cdot a$ einen konstanten Wert. Diese Konstante ist identisch mit der Kraft. Die Kräfteinheit 1 N ergibt sich als direkte Folge der Definition der Kraft über $F = m \cdot a$:

$$[F] = [m \cdot a] = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Als unmittelbare Konsequenz hat man auf diese Weise ein dynamisches, wenn auch umständliches Messverfahren für Kräfte erschlossen. Wird der Wagen nun durch die Dehnung einer Feder in Ruhe gehalten, herrscht nach dem Trägheitssatz offensichtlich Kräftegleichgewicht, d. h. die Feder wird durch eine betragsmäßig gleich große, entgegengesetzte Kraft gedehnt. Nach entsprechender Skalierung dient demnach eine Feder als Kraftmesser, der deutlich einfacher zu handhaben ist. Erscheint diese Variante zu aufwändig, kann auch auf eine experimentelle Bestätigung verzichtet werden. Die Gleichung $F = m \cdot a$ wird dann ohne Konsistenzprüfung als reine Definitionsgleichung verwendet. Der Übergang von der Beschleunigungsmessung zur statischen Kraftmessung erfolgt wie oben erläutert über den Trägheitssatz und eine gedehnte, geeichte Feder. Allerdings kann in diesem

Fall der Wagen eine schiefe Ebene hinabrollen. Die Schwierigkeit, dass auch das „Zugpferd“ mitbeschleunigt werden muss, entfällt.

Der bisher übliche Weg der Definition der Kräfteinheit 1N über den Ortsfaktor ist damit hinfällig. Typische Fehlvorstellungen wie die Verwechslung von Masse und Gewichtskraft werden vermieden, ebenso die Schwierigkeit, die Identität von Ortsfaktor und Erdbeschleunigung zu erkennen. Die künstliche Hilfskonstruktion Ortsfaktor wird nicht mehr benötigt und die Gewichtskraft wird nach der beschriebenen Vorgehensweise wie alle anderen Kräfte über $F = m \cdot a$ definiert. Wie bereits beschrieben, lässt sich auch die Gewichtskraft mit Hilfe einer geeichten Feder und des Trägheitssatzes messen, die Erdbeschleunigung kann berechnet werden.

Der außergewöhnlichen Tatsache, dass alle Körper an einem bestimmten Ort der Erde die gleiche Beschleunigung erfahren, wird Rechnung getragen, indem man dieser Beschleunigung ein eigenes Symbol zuordnet und Beschleunigungen oft als Bruchteile oder Vielfache dieser Beschleunigung angibt; man benutzt 1 g als Einheit. An dieser Stelle sollte das bekannte Experiment mit Feder und Bleikugel in der evakuierten Glasröhre nicht fehlen.

Möglichkeiten und Einschränkungen:

In der Folge sollten vielfältige Beispiele diskutiert und einfache Berechnungen durchgeführt werden. Der mathematische Zusammenhang zwischen Ort, Geschwindigkeit und Zeit von konstant beschleunigten Körpern soll in dieser Jahrgangsstufe aber ausdrücklich nicht behandelt werden – dies ist Lehrinhalt der 9. Jahrgangsstufe.

Aufgabenbeispiele und experimentelle Möglichkeiten:

- Als Rechenaufgaben eignen sich prinzipiell alle Aufgaben aus dem Abschnitt „Beschleunigung“ unter der Angabe von Massen
- Ermittlung der Beinkraft einer Sprinters beim Start (experimentell oder durch Vorgabe plausibler Werte) – Ermittlung der Beinkraft durch Anheben eines Gewichtstücks
- Messung der Erdbeschleunigung auf herkömmliche Art – Bestimmung der Erdbeschleunigung durch Kraftmessung und Massenbestimmung im Schülerexperiment – Vergleich

1. Unterrichtseinheit: Präkonzepte „Kraft“ aufgreifen (1 Stunde)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Brainstorming: Schüler notieren Begriffe, Assoziationen, Redewendungen etc., die ihnen zum Begriff „Kraft“ einfallen auf kleinen Zetteln.	Zettel, Stifte
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Diffuses Kraftverständnis erkennen.</u> Die Zettel werden thematisch geordnet an die Tafel geheftet und vorgelesen. Die Schüler erkennen, dass die meisten Kategorien physikalisch unbrauchbar sind.	Tafel
Sicherung	Überblick über die Kategorien des Kraftverständnisses im Alltag.	Heft, Tafel
2. Teilziel	<u>Was ist Kraft im physikalischen Sinn?</u> Die Schüler sollen (jeder für sich) zwei Zettel mit der für sie „besten“ Beschreibung des physikalischen Kraftbegriffs mit jeweils einem Klebepunkt versehen. Im Klassengespräch werden die am meisten bepunkteten Zettel hinsichtlich des physikalischen Gehalts diskutiert.	Tafel, Klebepunkte
Sicherung	Was ist für mich Kraft im physikalischen Sinn?	Heft

2. Unterrichtseinheit: Physikalischer Kraftbegriff (2 Stunden)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Die Schüler stellen „ihr“ Verständnis eines physikalischen Kraftbegriffs vor.	Heft
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Physikalischen Kraftbegriff erarbeiten.</u> Ausgehend von den Schüleräußerungen werden wesentliche Bestandteile eines Kraftbegriffs erarbeitet. Die Schüler erkennen, dass sich Kräfte über ihre Wirkungen (Veränderung von Bewegungszuständen, Verformung) äußern.	
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
2. Teilziel	<u>Bedeutung der Kraftkomponenten (Betrag, Richtung und Angriffspunkt) erfahren.</u> In kleinen Handexperimenten erkennen die Schüler, dass die Veränderung einer einzelnen Kraftkomponente die Auswirkung verändert.	Holzklötzchen, Garnrolle ²⁷¹ , Wägeln
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
3. Teilziel	<u>Kraftpfeil kennen lernen.</u> Die Schüler erfassen, dass sich ein Pfeil als Veranschaulichung einer Kraft anbietet, da er alle drei Komponenten der Kraft visualisiert.	
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
Übung	Kraftpfeile im Alltag.	Heft, Schulbuch

²⁷¹ Vgl. Zeier (1991), S. 53

3. Unterrichtseinheit: Kräfte im Gleichgewicht (2 Stunden)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Wiederholung: Kraftpfeil als Veranschaulichung.	Heft
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Viele Kräfte sind unsichtbar.</u> Die Schüler erkennen in Alltagssituationen, dass Körper Kräfte auf andere Körper auch dann ausüben, wenn wir keine Wirkung beobachten können. Jeder Mensch erfährt beispielsweise eine Gegenkraft durch die „Verbiegung“ des Bodens, sichtbar gemacht mit einem dünneren Holzbrett, das auf zwei Klötzen aufliegt.	Stein, Holzbrett, Klötzchen,
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
2. Teilziel	<u>Kräftegleichgewicht.</u> Im Gedankenversuch erfahren die Schüler, dass ein Körper dann in Ruhe bleibt, wenn sich alle auf den Körper einwirkenden Kräfte gegenseitig aufheben.	Stein, Holzbrett, Klötzchen, Kraftpfeile aus Pappe
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
Transfer	Kräftegleichgewicht bei einem Federkraftmesser.	Federkraftmesser (Schülerübung)
Sicherung	Bau eines einfachen Kraftmessers gemäß Anleitung aus dem Schulbuch.	Einmachgummi, Pappe, Schulbuch

4. Unterrichtseinheit: Das Gesetz von Hooke (1 Stunde)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Die Schüler stellen ihre selbst gebauten Kraftmesser vor.	Selbst gebaute Kraftmesser
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Normierung der Kraftmesser.</u> Die Schüler erkennen, dass man sich zum Vergleich verschiedener Kräfte auf eine Einheit verständigen muss (Newton).	Selbst gebaute Kraftmesser
Sicherung	Die Schüler eichen ihre eigenen Kraftmesser mit Hilfe eines genormten Federkraftmessers.	Federkraftmesser (Schülerübung)
2. Teilziel	<u>Gesetz von Hooke.</u> Unter Anleitung (Arbeitsblatt) messen die Schüler Kraft-Auslenkungspaare und tragen gemessene Werte in ein Diagramm ein. Sie erkennen, dass bei Stahlfedern die Auslenkung proportional zur Zugkraft ist.	Schülerübung (Kasten und Arbeitsblatt)
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
<u>Sicherung</u>	Arbeit mit Kraft-Auslenkungs-Diagrammen.	Heft, Schulbuch

5. Unterrichtseinheit: Addition von Kräften (2 Stunden)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Anhand eines Fotos des Olympiastadions in München erarbeiten die Schüler, dass an einem Stützmast viele Kräfte angreifen, die alle im Gleichgewicht stehen müssen.	Fotografie
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Addition von Kräften.</u> Mit Hilfe von zwei und mehr Kraftmessern, die alle an einem Punkt angreifen, lernen die Schüler die Addition von Kräften kennen. Sie konstruieren (mit Hilfe eines Parallelogramms) die Ersatzkraft von zwei und mehr Kräften.	Federkraftmesser (Schülerübung)
Sicherung	Wiederholung und Beschreibung des Vorgehens an der Magnettafel.	Magnettafel mit Federkraftmesser
Wiederholung	Im statischen Fall müssen sich alle an einem Körper angreifenden Kräfte zu Null addieren.	
2. Teilziel	<u>Zerlegung einer Kraft.</u> An einem Beispiel sollen die Schüler die Zerlegung einer Kraft in zwei Komponenten mit auffinden.	Magnettafel mit Federkraftmesser
Sicherung	Durchführung einer Kräftezerlegung.	Heft, Schulbuch
Übung	Addition und Zerlegung von Kräften.	Heft, Schulbuch

6. Unterrichtseinheit: Kräfte im Ungleichgewicht (1 Stunde)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Handexperiment: Kräfte an einer ruhenden „Aufzugskabine“.	Kraftmesser, schwere Masse
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Auswirkung von Kräften im Ungleichgewicht.</u> Mit Hilfe des Handexperiments erkennen die Schüler, dass sich ein Körper in Bewegung setzt, wenn eine Zusatzkraft auf ihn wirkt. In der PAKMA-Simulation „Aufzug“ wird ein Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung hergestellt.	Kraftmesser, schwere Masse, PAKMA-Simulation („Aufzug“)
Sicherung	Hefteintrag.	Heft, Tafel
2. Teilziel	<u>Vorstellung des Grundlagenversuchs „Luftkissenfahrbahn“.</u> Die Luftkissenfahrbahn mit Zählradsensor wird vorgestellt und erste einfache Abläufe (konstante Geschwindigkeit, evtl. Reflexion) gemessen. Dabei wird zum einen der Geschwindigkeitsbegriff gefestigt und zum anderen werden die Elemente auf der PAKMA-Oberfläche erarbeitet (bis hin zum Stempeldiagramm der Geschwindigkeitsvektoren).	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
Transfer	Vermutungen über den Bewegungsablauf und entsprechende Pfeilbilder bei konstanter Kraftwirkung. Vermutetes Geschwindigkeits-Stempeldiagramm für Bewegungsablauf bei konstanter Kraftwirkung zeichnen.	

**7. Unterrichtseinheit: Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung
 (2 Stunden)**

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Wiederholung: Versuchsaufbau (Luftkissenfahrbahn). Aufgreifen der Vermutungen über das Stempeldiagramm bei konstanter Kraftwirkung.	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeit beobachten.</u> An den Gleiter der Luftkissenfahrbahn wird über eine Umlenkrolle ein Massestückchen befestigt. Im Stempeldiagramm erkennen die Schüler, dass der Geschwindigkeitspfeil gleichmäßig länger wird.	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
Sicherung	Die Schüler notieren ihre Beobachtungen auf dem Arbeitsblatt mit dem kopierten Versuchsaufbau.	Arbeitsblatt, Heft
2. Teilziel	<u>Geschwindigkeitsänderung einführen.</u> Die Schüler erkennen im Stempeldiagramm, dass sich der Geschwindigkeitsvektor gleichmäßig verändert. Die Geschwindigkeitsänderung als Unterschied zwischen den Pfeilspitzen des alten und neuen Geschwindigkeitsvektors wird als Hilfsgröße ermittelt.	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
Sicherung	Auf dem vorbereiteten Arbeitsblatt zeichnen die Schüler Geschwindigkeitsänderungen ein.	Arbeitsblatt, Heft
Transfer	In welcher Weise ändert sich das Stempeldiagramm, wenn eine größere Zugmasse den Gleiter beschleunigt? Die Vorstellung wird im Experiment überprüft.	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
3. Teilziel	<u>Direkte Proportionalität von Kraft und Geschwindigkeitsänderung erkennen.</u> Die Schüler erkennen aus den vorherigen Beispielen durch Vergleich der Vektoren der Geschwindigkeitsänderung, dass sich die Geschwindigkeit direkt proportional zur Zugkraft verändert.	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
Sicherung	Hefteintrag	Tafel, Heft

8. Unterrichtseinheit: Zweidimensionale Bewegung (2 Stunden)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Wiederholung des Zusammenhangs von Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Wiederholung der Konstruktion von Geschwindigkeitsänderungen im eindimensionalen Fall.	
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Geschwindigkeitsänderung bei einer zweidimensionalen Bewegung.</u> Die Schüler erarbeiten die Geschwindigkeitsänderung bei einer 2D-Bewegung anhand eines Arbeitsblattes.	PAKMA-Projekt („Maus“), Arbeitsblatt
Übung	Konstruktion von Vektoren der Geschwindigkeitsänderung.	Arbeitsblatt
Sicherung	Hefteintrag.	Heft
Transfer	Die Schüler äußern Vermutungen über die Kraftwirkung bei einer Kurvenfahrt.	
2. Teilziel	<u>Zusammenhang von Geschwindigkeitsänderung und Kraft bei einer Kurvenfahrt.</u> Die Bewegung einer Computermaus wird über PAKMA aufgenommen. Für bestimmte Zeitpunkte dieser Bewegung werden schrittweise die Geschwindigkeit, die Geschwindigkeitsänderung und die (daraus resultierende) Kraft erarbeitet.	PAKMA-Projekt („Maus“)
Anwendung	Die Schüler erfahren die zuvor für sie eher theoretisch abgeleitete Kraft bei einer Kurvenfahrt taktil, indem sie einen schweren Ball durch Stöße auf einer Kreisbahn halten sollen. Die Schüler legen entsprechend ihrer Stoßrichtung Papp-Kraftpfeile auf den Boden.	Ball, Papp-Pfeile
Sicherung	Hefteintrag.	Heft

9. Unterrichtseinheit: Beschleunigung (1 Stunde)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Wiederholung: Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeitsänderung	
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Beschleunigungsbegriff.</u> Die Schüler versuchen den Mattenwagen auf eine möglichst große Geschwindigkeit zu bringen. Sie erkennen, dass sie mehr Kraft benötigen, wenn die Geschwindigkeitsänderung in einem kurzen Zeitintervall erfolgen soll. Dies regt die Einführung des Beschleunigungsbegriffs an.	Mattenwagen (Turnhalle)
Anwendung	Beschleunigungen beim PKW.	
2. Teilziel	<u>Zeitdauer, in der eine Geschwindigkeitsänderung stattfindet und ihr Einfluss auf die Kraft.</u> Wie zuvor gesehen, hängt die benötigte Kraft von der erzielten Beschleunigung ab.	
Sicherung	Die Schüler nennen „Je-desto“-Beziehungen, in der Form: „Je weniger Zeit ich für eine Geschwindigkeitsänderung benötige, desto größer ist die Kraft, die ich ausüben muss.“	
3. Teilziel	<u>Einfluss der Masse auf die Geschwindigkeitsänderung (bei gleich bleibender Kraft).</u> Die Schüler erfahren beim Anschieben, beim Abbremsen oder bei der Kurvenfahrt eines beladenen bzw. leeren Mattenwagens die qualitativen Zusammenhänge von Kraft, Masse und Beschleunigung.	Mattenwagen (Turnhalle)
Sicherung	Die Schüler nennen weitere „Je-desto“-Beziehungen und notieren sie in ihr Heft.	Heft

10. Unterrichtseinheit: Gesetz von Newton (1 Stunde)

Artikulation	Stoffliches Verhalten	Medien
<u>Einstieg</u>		
	Wiederholung: Zusammenhang von Kraft, Masse und Beschleunigung mit Hilfe der notierten „Je-desto“-Beziehungen.	Heft
<u>Erarbeitung</u>		
1. Teilziel	<u>Konkretisierung der gefundenen Beziehungen im Experiment.</u> Die genannten „Je-desto“-Beziehungen werden an der Luftkissenfahrbahn (durch entsprechende Variation des Aufbaus bzw. des PAKMA-Projekts) überprüft. Hierbei erkennen die Schüler die direkten bzw. indirekten Proportionalitäten zwischen einzelnen Größen.	PAKMA-Projekt („LKF“), Luftkissenfahrbahn
Sicherung	Notieren von Proportionalitäten in der Form: „Kraft und Masse sind direkt proportional zueinander: Bei gleicher Beschleunigung benötigt man für die doppelte Masse die doppelte Kraft.“	Tafel, Heft
2. Teilziel	<u>Formulierung des Newtonschen Gesetzes.</u> Durch Bündelung der zuvor notierten Proportionalitäten erhalten die Schüler das Newtonsche Gesetz in der Form $F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \cdot a .$ Hieraus wird die Einheit „Newton“ abgeleitet.	Tafel, Heft
Sicherung	Erste Einsetzaufgaben. Formulierung des Trägheitssatzes.	Schulbuch, Heft
Übung	Rechen- und Verständnisaufgaben zum Newtonschen Gesetz	Schulbuch, Heft

11. Unterrichtseinheit: Kräfte im Alltag (Verkehrserziehung) (1 Stunde)

12. Unterrichtseinheit: Der freie Fall, Fallbeschleunigung (2 Stunden)

13. Unterrichtseinheit: Weitere Kräfte (1 Stunde)

14. Unterrichtseinheit: Wechselwirkungsgesetz (1 Stunde)

Forschungsvorhaben zum DFG-Projekt HE 2550/3-1

Vortest Physik

Name: _____

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Dieser Physiktest wird durchgeführt vom Institut der Didaktik der Physik von der Universität Würzburg und ist eingebunden in ein physikdidaktisches Forschungsprojekt mit dem Titel „Dynamisch-ikonische Repräsentationen“.

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!

Beantworte die folgenden Fragen jeweils durch Ankreuzen \checkmark ! Beachte, dass auch mehrere Antworten auf eine Frage richtig sein können. Kreuze in diesem Fall bitte alle richtigen Antworten an!

1.1 Ein Wirtshauschild hängt -wie in nebenstehender Abbildung zu erkennen- an einer Wand.

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

- Die Gesamtkraft, d.h. die Summe aller Kräfte, die auf das Schild wirken, ist Null.
- Es gibt die Gewichtskraft, die an dem Schild nach unten zieht.
- Es gibt die Haltekraft der Stangen, die dafür sorgt, dass das Schild nicht nach unten fällt.



1.2 Tim möchte einen LKW anschieben. Er stemmt sich mit aller Macht gegen den LKW, schafft es aber nicht, ihn vorwärts zu bewegen.

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

- Die Gesamtkraft auf den LKW ist Null, weil der LKW in Ruhe bleibt.
- Die Gesamtkraft auf den LKW ist nicht Null, reicht aber noch nicht aus, um ihn anzuschieben.
- Der LKW übt aufgrund seiner Haftreibung eine Gegenkraft auf Tim aus, wenn sich Tim gegen ihn stemmt. Tim schafft es nicht, die maximale Haftreibungskraft des LKW zu überwinden.

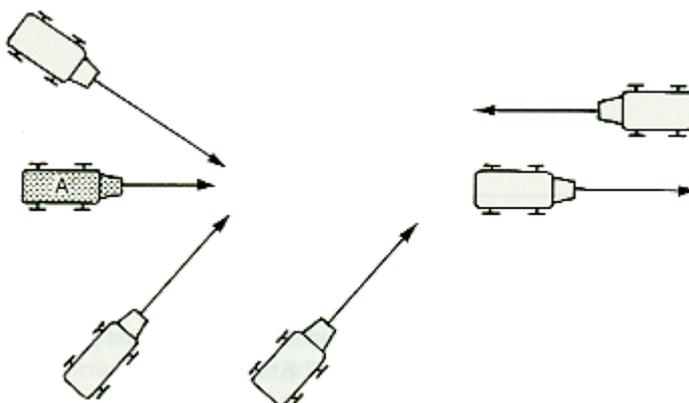
- 1.3 Tim wirft einen Ball senkrecht nach oben in die Luft.
Kreuze alle Aussagen an, die deiner Meinung nach richtig sind:
- Im höchsten Punkt (Umkehrpunkt) ist die auf den Ball wirkende Kraft Null.
 - Der Ball wird auf seinem Flug nach oben immer langsamer, weil die Kraft aufgebraucht wird, die Tim dem Ball mitgegeben hat.
 - Die auf den Ball wirkende Kraft ist während der gesamten Aufwärts- und Abwärtsbewegung des Balls nahezu gleich.
 - Auf dem Weg nach unten gewinnt der Ball die Kraft wieder zurück, die er beim Hochfliegen verloren hat.

- 1.4 Tims Vater behauptet: Ich kann meinen Wagen beschleunigen, ohne das Gas zu verändern. Ich fahre ...
- einen Berg hinab.
 - einen Berg hinauf.
 - durch die Kurve.
- Kreuze alle Aussagen an, die deiner Meinung nach richtig sind!

- 1.5 Tim wirft einen Tennisball auf eine Wand. Während der Tennisball auf der Wand aufprallt...
- wirkt vom Tennisball eine Kraft auf die Wand.
 - wirkt von der Wand eine Kraft auf den Tennisball.
 - wirkt von Tim eine Kraft auf die Wand, die von Tims Wurfkraft abhängt und dem Ball mit auf den Weg gegeben wurde.
 - wirken keine Kräfte.

- 1.6 Ein Buch liegt auf einem Tisch.
Kreuze alle Einzelkräfte aus der folgenden Liste an, die auf das Buch wirken:
- Eine nach unten gerichtete Kraft durch die Gravitation.
 - Eine nach oben gerichtete Kraft durch den Tisch.
 - Eine nach oben gerichtete Gesamtkraft durch den Luftdruck.
 - Eine nach unten gerichtete Gesamtkraft durch den Luftdruck.
 - Da sich das Buch in Ruhe befindet, wirkt auch keine Kraft.

- 1.7 Ein Auto A fährt, wie es der Pfeil zeigt.
Kreuze alle Autos an, die deiner Meinung nach ungefähr in die gleiche Richtung wie A fahren:



Beantworte jeweils die folgenden Fragen durch Ankreuzen und gebe eine knappe Begründung deiner Antwort!

- 2.1 Vor einer Ampel, die auf Rot schaltet, nimmt der Fahrer eines Wagens seinen Fuß vom Gas und lässt den Wagen ausrollen.
Wirkt auf den Wagen während des Ausrollens eine Kraft?

- Ja
 Nein

Begründe deine Meinung kurz!

- 2.2 Tim lässt zwei Kugeln aus Metall gleichzeitig vom Dach eines eingeschossigen Gebäudes fallen. Beide Kugeln sind äußerlich gleich beschaffen, insbesondere haben sie den gleichen Radius. Allerdings ist die eine Kugel doppelt so schwer wie die andere.
Für die Zeit bis zum Auftreffen gilt:

- Die schwere Kugel braucht etwa die halbe Fallzeit der leichten Kugel.
 Die leichte Kugel braucht etwa die halbe Fallzeit der schweren Kugel.
 Beide Kugeln brauchen etwa die gleiche Fallzeit.
 Die schwere Kugel braucht deutlich weniger Zeit, aber nicht unbedingt nur die halbe Zeit.
 Die leichte Kugel braucht deutlich weniger Zeit, aber nicht unbedingt nur die halbe Zeit.

Begründe deine Meinung kurz!

- 2.3 Tim fährt in einem Aufzug mit gleich bleibender Geschwindigkeit nach oben.
Wirkt auf Tim währenddessen eine Kraft?

- Ja
 Nein

Begründe deine Meinung kurz!

- 2.4 Wie sieht es aus, wenn der Aufzug mit gleich bleibender Geschwindigkeit nach unten fährt?
Wirkt jetzt eine Kraft auf Tim?

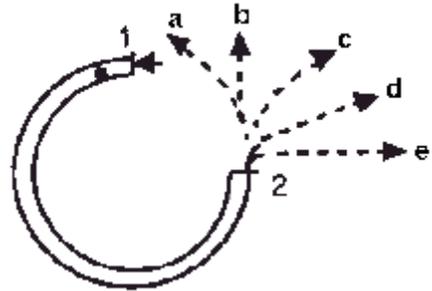
- Ja
 Nein

Begründe deine Meinung kurz!

In den folgenden Fragen ist nach dem Ablauf von Bewegungen gefragt. Kreuze den Lösungsvorschlag an, der deiner Meinung nach den erwarteten Bewegungsablauf am besten beschreibt!

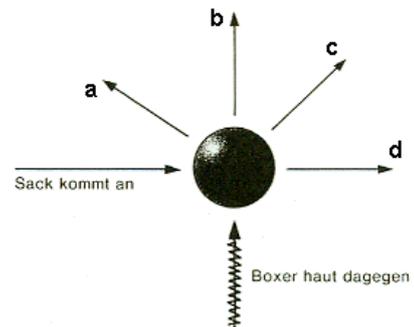
- 3.1 Die Abbildung zeigt einen von oben betrachteten kreisförmigen Kanal, der in der horizontalen Ebene fest auf dem Tisch verankert ist. Ein Ball tritt bei „1“ in den Kanal ein und verlässt ihn bei „2“. Welche der in der Abbildung gezeigten Bahnkurven beschreibt am besten den Weg des Balls, wenn er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

- a
- b
- c
- d
- e

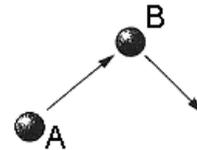


- 3.2 Ein Boxer haut gegen einen schweren Ledersack (Punch), der quer vor ihm vorbei schwingt. Kreuze an, wie sich der Sack nach dem Stoß weiterbewegt! Situation von oben betrachtet:

- a
- b
- c
- d



- 3.3 Eine Kugel rollt auf einem Tisch von A nach B. An der Stelle B soll die Kugel einen Stoß erhalten, so dass sie in der eingezeichneten neuen Richtung weiterrollt: Wie muss man in B gegen die Kugel stoßen, damit sie den gewünschten Knick macht? Kreuze die richtige Antwort an!



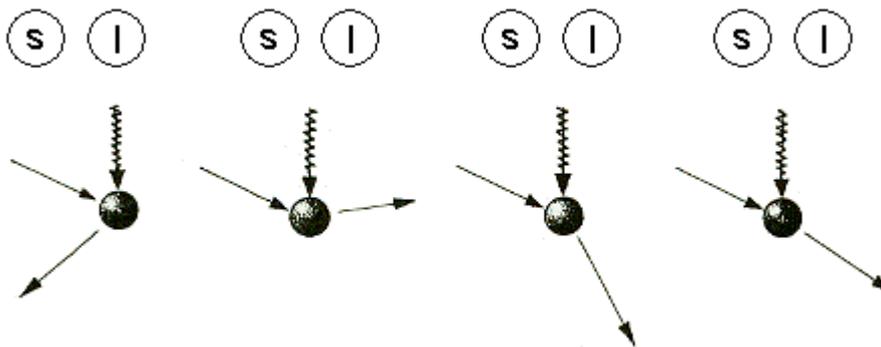
- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

3.4 Kugeln mit sehr unterschiedlichem Gewicht rollen mit gleichem Tempo von A nach B.

In B erhalten sie den gleichen Stoß in diese Richtung:

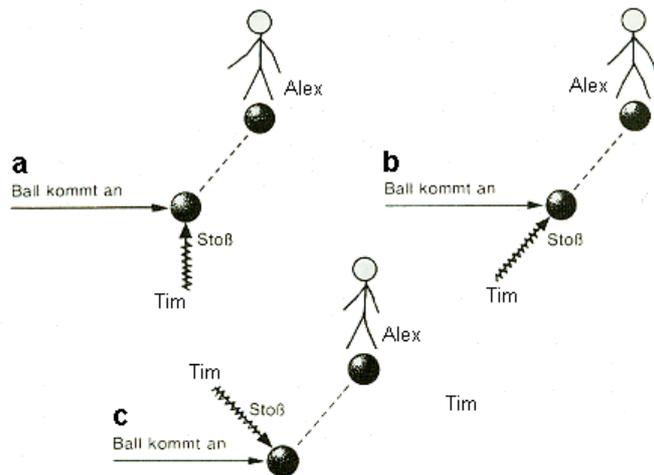


Welche Kurve beschreibt die Bahn der schweren Kugel, welche Kurve die der leichten Kugel? Kreuze 'S' für die Bahn der schweren Kugel und 'I' für die Bahn der leichten Kugel an! Wenn du meinst, dass sich die beiden Bahnen nicht unterscheiden, kreuze entsprechend 'S' und 'I' an!



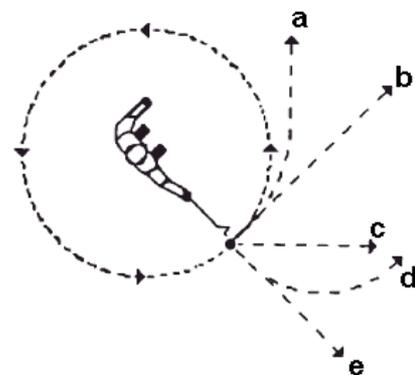
3.5 Tim möchte beim Fußballspielen den Ball an seinen Freund Alex weitergeben. Wie muss Tim gegen den Ball treten, damit dieser bei Alex ankommt?

- q a
- q b
- q c



3.6 Ein schwerer Ball ist am Faden befestigt und wird, wie in der Abbildung gezeigt, im Kreis horizontal herum geschwungen. An dem gekennzeichneten Punkt reißt plötzlich der Faden. Der Vorgang wird von oben betrachtet: Welchen Weg nimmt der Ball, nachdem der Faden gerissen ist?

- q a
- q b
- q c
- q d
- q e



Mit welcher der folgenden Antworten stimmst du am ehesten überein?
Kreuze eine Antwort an!

- 4.1 Tim stößt mit einem Billardqueue auf die weiße Kugel. Welche der folgenden beiden Aussagen beschreibt den Sachverhalt am besten?
- Der Queue überträgt Kraft auf die weiße Billardkugel.
 - Der Queue übt eine Kraft auf die weiße Billardkugel aus, überträgt aber keine Kraft auf die Kugel.

- 4.2 Wie schätzt du die folgende Aussage ein: „Mit einer kleinen Kraft kann ein Körper keine große Geschwindigkeit erreichen.“
- Der Aussage stimme ich zu.
 - Das hängt von der Masse des Körpers ab. Ein schwerer Körper kann mit einer kleinen Kraft keine große Geschwindigkeit erreichen.
 - Die Aussage ist im Allgemeinen falsch.

- 4.3 Ein Magnet und ein Eisenstab liegen jeweils auf einem kleinen Wagen, die sich (wie in der Abbildung zu sehen) gegenüber stehen.
- Magnet**



Eisen



Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Situation am besten:

- Der Magnet zieht das Eisen an.
 - Das Eisen zieht den Magneten an.
 - Es hängt von der Polung des Magneten ab, ob das Eisen vom Magneten angezogen oder abgestoßen wird.
 - Magnet und Eisen ziehen sich gegenseitig an.
- 4.4 Welche der folgenden Kugeln besitzt die größte Kraft?
- Eine schnelle, leichte Kugel.
 - Eine langsame, schwere Kugel.
 - Eine schnelle, schwere Kugel.
 - Eine langsame, leichte Kugel.
 - Kugeln „besitzen“ keine Kraft.
- 4.6 Ein Fallschirmspringer springt aus dem Flugzeug. Er wird immer schneller und erreicht nach kurzer Zeit seine Endgeschwindigkeit, mit der der Springer zur Erde hinunter fällt.
- Wann ist die wirkende (Gesamt)Kraft auf den Fallschirmspringer am größten?
- Kurz nach dem Absprung (wenn der Fallschirmspringer immer schneller wird).
 - Kurz vor dem Öffnen des Fallschirms (wenn der Fallschirmspringer mit großer Geschwindigkeit fällt).
 - Die Gesamtkraft auf den Springer ist während des Fallens immer gleich.

- 4.7 Stelle dir einen Frontalzusammenstoß zwischen einem Lastwagen (LKW) und einem Kleinwagen (PKW) vor. Für den Zeitraum des Zusammenpralls gilt:
- q Der LKW übt eine größere Kraft auf den PKW aus als der PKW auf den LKW.
 - q Der PKW übt eine größere Kraft auf den LKW aus als der LKW auf den PKW.
 - q Die beiden Fahrzeuge üben keine Kräfte aufeinander aus. Der PKW wird einfach deshalb zerdrückt, weil er dem LKW im Wege ist.
 - q Der LKW übt eine Kraft auf den PKW aus, aber der PKW übt keine Kraft auf den LKW aus.
 - q Der LKW übt die gleiche Kraft auf den PKW aus wie der PKW auf den LKW.
 - q Da die Geschwindigkeiten von LKW und PKW nicht bekannt sind, kann man keine allgemeine Aussage über die wirkenden Kräfte treffen.

Beantworte die folgenden Fragen jeweils mit einem Satz!

5.1 Wie definierst du den Begriff „Geschwindigkeit“?

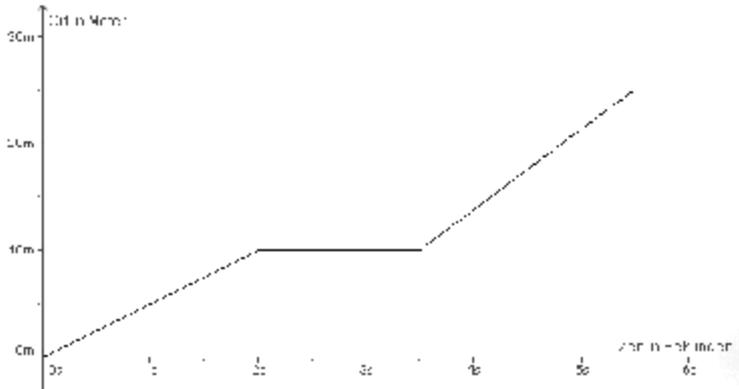
5.2 Wie definierst du den Begriff „Beschleunigung“?

5.3 Was bedeutet für dich der Begriff „Kraft“ im Alltag?

5.4 Was bedeutet für dich der Begriff „Kraft“ im physikalischen Sinn?

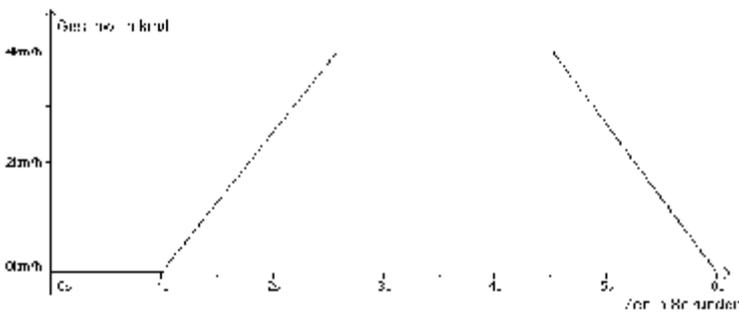
Betrachte bei den folgenden Aufgaben die gegebenen Diagramme und versuche die anschließenden Fragen mit Hilfe der Diagramme zu beantworten!

6.1 Im folgenden Diagramm ist dargestellt, wie sich der Ort von Tim mit der Zeit verändert:



- q Wie viele Sekunden ist Tim gestanden? _____
- q Wie viele Meter ist Tim insgesamt gelaufen? _____
- q In welchem Zeitabschnitt besaß Tim die größte Geschwindigkeit? _____

6.2 Im folgenden Diagramm ist dargestellt, wie sich die Geschwindigkeit von Tim mit der Zeit verändert.



- q Was ist die größte Geschwindigkeit, mit der Tim gelaufen ist? _____
- q Welche Geschwindigkeit besaß Tim zum Zeitpunkt 2s? _____
- q Wie viele Sekunden ist Tim gestanden? _____

Wie sicher bist du dir, dass du die Fragen in diesem Fragebogen richtig beantwortet hast?

- q Sehr sicher.
- q Meist sicher, nur bei den Fragen _____ nicht so ganz.
- q Eher unsicher.
- q Ich bin mir sehr unsicher und habe fast nur geraten.

Lösungen und Transkriptionen Physik VT

Aufgabengruppe 1

- 1.1 a, b, c
- 1.2 a, c
- 1.3 c
- 1.4 a, b, c
- 1.5 a, b
- 1.6 a, b
- 1.7 d

Bei den Aufgaben der Aufgabengruppe 1 konnten die Schülerinnen und Schüler mehrere Antworten als richtig ankreuzen. Das bedeutet, dass eine nicht angekreuzte Frage (in aller Regel) bewusst nicht angekreuzt wurde, so dass auch damit ein richtiges Verständnis überprüft werden kann. Dementsprechend sollten die Schülerinnen und Schüler auch Bewertungseinheiten auf (richtigerweise) nicht angekreuzte Antworten erhalten. Da sich manche Antworten aber wechselseitig bedingen oder ausschließen, sollten nicht alle Antworten gleich stark bepunktet werden, um das Ergebnis nicht zu verzerren. Die Gewichtung ist je nach Wertigkeit der Antwort gewählt, dennoch konnte auf die Beantwortung eines Items (wie bei den anderen Items auch) insgesamt maximal 1BE erreicht werden, nämlich dann, wenn alle Antworten richtig angekreuzt bzw. richtigerweise nicht angekreuzt wurden: Die Bepunktung auf die einzelne Aufgabe setzt sich dann zusammen aus der Summe der erreichten BE dividiert durch die maximal möglichen BE.

	a	b	c	d	e	Summe
1.1	2	1	1			4
1.2	1	2	1			4
1.3	2	1	2	1		6
1.4	0	1	1			2
1.5	1	2	2	0		5
1.6	1	2	0	1	0	4
1.7	1	1	1	0	0	3

Aufgabengruppe 2 (incl. Transkriptionen)

2.1 a

- (1) Reibung, Gegenwind
- (2) Luftdruck
- (3) Erdanziehung
- (4) Schwung wirkt nach
- (5) Beschleunigungskraft, Motorkraft wirkt nach
- (6) Kein Bremsen, nur Ausrollen → Keine Kraft
- (7) Kraft, da sonst keine Geschwindigkeit

2.2 c

- (1) Anziehung, Kraft unabhängig von Masse (alle Dinge fallen gleich schnell)
- (2) Schwere Kugel → Größere Anziehung(kraft)
- (3) Größere Dichte → Größere Anziehung(kraft)
- (4) Schwere Kugel überwindet Luftwiderstand leichter
- (5) Schwere Kugel wird zwar doppelt so stark angezogen, Reibung verhindert aber das Ankommen in der halben Zeit
- (6) Leicht → schnellere Beschleunigung
- (7) Wegen Fallversuch von Galileo

2.3 b

- (1) Kräftegleichgewicht bzw. zwei entgegen gesetzte Kräfte
- (2) (Kraft) des Aufzugs schiebt
- (3) Erdanziehungskraft, Gravitation, Schwerkraft
- (4) Luftwiderstand, Luftdruck
- (5) Die Kraft wirkt nur auf den Aufzug, im Inneren dagegen nicht

2.4 b

vgl. 2.3 mit den folgenden Ergänzungen

- (1) Kräftegleichgewicht bzw. zwei entgegen gesetzte Kräfte
- (2) (Kraft) des Aufzugs schiebt (Unterscheidung von Auf- und Abwärtsbewegung)
- (3) Erdanziehungskraft, Gravitation, Schwerkraft
- (4) Luftwiderstand, Luftdruck (Richtung des Luftwiderstands ändert sich)
- (5) Die Kraft wirkt nur auf den Aufzug, im Inneren dagegen nicht
- (6) Gefühl beim Herunterfahren

Aufgabengruppe 3

- 3.1 b
3.2 c
3.3 c
3.4s d
3.4l c
3.5 a
3.6 b

Aufgabengruppe 4

- 4.1 b
4.2 c
4.3 d
4.4 e
4.5 a
4.6 e

Aufgabengruppe 5

5.1

- (1) Wegstrecke pro Zeit
- (2) Schnelligkeit, Tempo
- (3) Bewegung
- (4) Antriebskraft, Schubkraft

5.2

- (1) Geschwindigkeitsänderung pro Zeit
- (2) Geschwindigkeitsänderung
- (3) Geschwindigkeitszunahme, Schneller werden
- (4) Kraft, damit Geschwindigkeit größer wird (auch größer werdende Kraft)
- (5) Luftdruck überwinden

5.3

- (1) Bewirkt Geschwindigkeitsänderung oder Verformung
- (2) Bewirkt Geschwindigkeitsänderung
- (3) (allgemeine) Wirkung
- (4) Stärke, Muskelkraft
- (5) Widerstand, Druck
- (6) Beispielkraft, z.B. Anziehungskraft, Magnetkraft, ...
- (7) Bewegung
- (8) Energie, Antrieb

5.4 vgl. 5.3

Aufgabengruppe 6

- 6.1a 1,5s
6.1b 25m
6.1c 3,5s -5,5s
6.2a 4km/h
6.2b Wert zwischen 2,5km/h und 3,0km/h
6.2c 1s

Folgende Items wurden aus der Bewertung genommen, da ihre Schwierigkeit zu gering war (Itemschwierigkeit > 0,9):

1.4a; 1.5d; 1.6c; 1.6e; 1.7d; 1.7e;

Die folgenden Items wurden nur von sehr wenigen Schülern (Itemschwierigkeit < 0,1) richtig gelöst und könnten deswegen auch aus der Bewertung genommen werden (sind aber wegen eventuell interessanten Effekten und Schlussfolgerungen bzgl. Nachtest im Test belassen worden):

1.2a; 1.4b; 2.3;

Forschungsvorhaben zum DFG-Projekt HE 2550/3-1

Nachtest Physik

Name: _____

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Dieser Physiktest wird durchgeführt vom Lehrstuhl für die Didaktik der Physik von der Universität Würzburg und ist eingebunden in ein physikdidaktisches Forschungsprojekt mit dem Titel „Dynamisch-ikonische Repräsentationen“.

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!

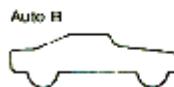
Welche der Antworten ist die jeweils richtige?
Kreuze eine Antwort an!

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



Welche Aussage ist richtig:

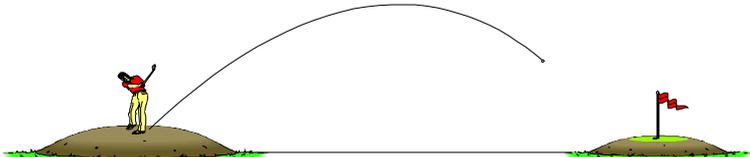
- Auto A fährt schneller als Auto B.
- Auto B fährt schneller als Auto A.
- Beide Autos fahren gleich schnell.



- 1.2 Vor einer Ampel, die auf rot schaltet, nimmt der Fahrer eines Wagens seinen Fuß vom Gas und lässt den Wagen ausrollen.

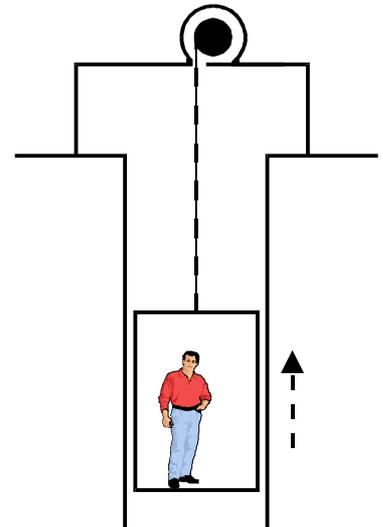
Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Situation am besten?

- Der Wagen besitzt Schwung, der nun langsam verbraucht wird.
- Die Luftreibung bremst den Wagen ab, ohne Reibung würde er mit gleich bleibender Geschwindigkeit weiter rollen.
- Der Motor reagiert nicht so schnell, wenn der Fahrer seinen Fuß vom Gas nimmt. Deswegen fährt der Wagen noch langsam weiter.
- Auf den Wagen wirkt keine Kraft mehr, deswegen versucht er seinen gewohnten Zustand der Ruhe anzunehmen.
- Der Wagen rollt mit gleich bleibender Geschwindigkeit weiter, bis der Fahrer anfängt zu bremsen.

- 1.3 Ein Fallschirmspringer springt aus dem Flugzeug. Er wird immer schneller und erreicht nach kurzer Zeit seine Endgeschwindigkeit, mit der der Springer dann zur Erde hinunter fällt. Wann ist die wirkende (Gesamt)Kraft auf den Fallschirmspringer am größten?
- Kurz nach dem Absprung (wenn der Fallschirmspringer immer schneller wird).
 - Kurz vor dem Öffnen des Fallschirms (wenn der Fallschirmspringer mit großer Geschwindigkeit fällt).
 - Die Gesamtkraft auf den Springer ist während des Fallens immer gleich.
 - Es wirkt keine Kraft auf den Springer. Er fällt zur Erde, weil das seinem natürlichen Verhalten entspricht.
- 1.4 Stelle dir einen Frontalzusammenstoß zwischen einem Lastwagen (LKW) und einem Kleinwagen (PKW) vor. Welche der folgenden Aussagen gilt für den Zeitraum des Zusammenpralls?
- Der PKW übt eine größere Kraft auf den LKW aus als der LKW auf den PKW.
 - Der LKW übt eine größere Kraft auf den PKW aus als der PKW auf den LKW.
 - Der LKW übt die gleiche Kraft auf den PKW aus wie der PKW auf den LKW.
 - Der LKW übt eine Kraft auf den PKW aus, aber der PKW übt keine Kraft auf den LKW aus.
 - Da die Geschwindigkeiten von LKW und PKW nicht bekannt sind, kann man keine allgemeine Aussage über die wirkenden Kräfte treffen.
 - Die beiden Fahrzeuge üben keine Kräfte aufeinander aus. Der PKW wird einfach deshalb zerdrückt, weil er dem LKW im Wege ist.
- 1.5 Anton wirft eine Stahlkugel senkrecht nach oben. Alle Effekte von Luftreibungskräften sollen außer Acht gelassen werden. Welche Kraft bzw. Kräfte wirken auf die Kugel während ihrer Flugphase, also **nachdem** sie die Hand von Anton verlassen hat und bevor sie auf den Boden trifft? Auf die Kugel wirkt ...
- das Gewicht der Kugel senkrecht nach unten, zusammen mit einer stetig abnehmenden nach oben gerichteten Kraft.
 - nur eine gleich bleibende nach unten gerichtete Gravitationskraft.
 - eine gleich bleibende nach unten gerichtete Gravitationskraft, zusammen mit einer nach oben gerichteten Kraft, die stetig abnimmt, bis die Kugel ihren höchsten Punkt erreicht. Danach wirkt nur die gleich bleibende nach unten gerichtete Gravitationskraft.
 - eine stetig abnehmende nach oben gerichtete Kraft für den Zeitraum nach dem Verlassen der Hand bis zum höchsten Punkt. Danach wirkt eine stetig zunehmende Gravitationskraft nach unten, wenn sich das Objekt der Erde nähert.
 - keine der genannten Kräfte. Die Kugel fällt zur Erde zurück, weil das ihrem natürlichen Verhalten entspricht.
- 1.6 Ein Golfball bewegt sich längs eines „Fairway“ mit folgender Flugbahn durch die Luft (vgl. Abbildung). Welche Kraft wirkt, bzw. welche Kräfte wirken während der gesamten Flugphase auf den Ball, also **nachdem** der Ball den Schläger verlassen hat?
- 
- die Gravitationskraft
 - die Gravitationskraft und die Abschlagskraft
 - die Gravitationskraft, die Abschlagskraft und die Luftwiderstandskraft
 - die Gravitationskraft und die Luftwiderstandskraft
 - die Abschlagskraft und die Luftwiderstandskraft

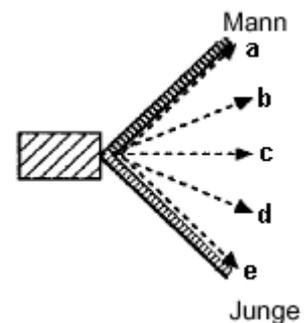
1.7 Bei dieser Aufgabe soll davon ausgegangen werden, dass etwaige **Reibungskräfte** aufgrund von Luftwiderstand so gering sind, dass sie **vernachlässigt** werden können.

Ein Fahrstuhl wird in einem Fahrstuhlschacht über ein Stahlseil heraufgezogen. Die Kabine bewegt sich während des Heraufziehens mit **konstanter Geschwindigkeit**. Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung korrekt?



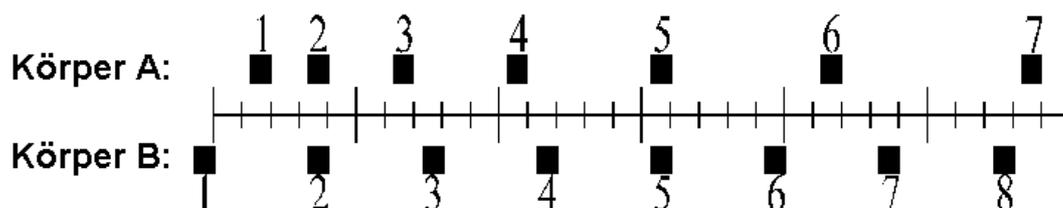
- q Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist größer als die nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- q Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist genauso groß wie die nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- q Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist kleiner als die nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- q Die Kabine bewegt sich nach oben, weil das Seil kürzer wird; nicht etwa weil das Seil eine Kraft auf die Kabine ausübt.
- q Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist größer als die nach unten gerichtete Kombination aus der Gravitationskraft und dem Effekt des Luftdrucks.

1.8 Zwei Personen, ein großer, sehr **kräftiger Mann** und ein **kleiner Junge**, ziehen so kräftig wie sie können an zwei Seilen, die an einer Kiste befestigt sind (s. Abbildung, Sicht von oben). Welche der Bahnen a-e beschreibt den Weg der Kiste am besten, während die beiden ziehen?



- q a
- q b
- q c
- q d
- q e

1.9 Die Abbildung zeigt die Positionen zweier Körper im zeitlichen Abstand von jeweils 0,2s. Die Körper bewegen sich nach rechts.



Haben die beiden Körper irgendwann einmal die gleiche Geschwindigkeit?

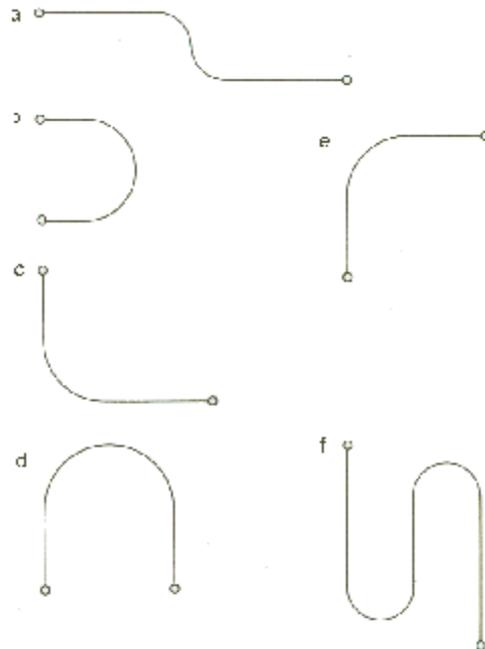
- q Nein
- q Ja, zum Zeitpunkt 2
- q Ja, zum Zeitpunkt 5
- q Ja, zu den Zeitpunkten 2 und 5
- q Ja, irgendwann im Zeitintervall von 3 und 4

Im Folgenden können auch mehrere Antworten auf eine Frage richtig sein. Kreuze in diesem Fall bitte alle richtigen Antworten an!

- 2.1 Ein Auto soll mit **derselben** Geschwindigkeit (im physikalischen Sinn) aus einer Kurve heraus fahren, mit der es hinein gefahren ist.

Kreuze an, bei welchen Kurven das möglich ist!

- a
 b
 c
 d
 e
 f

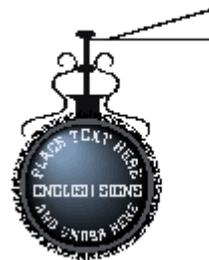


- 2.2 Ein Buch liegt auf einem Tisch. Kreuze **alle** richtigen Aussagen an. Auf das Buch wirkt ...

- keine Kraft, da sich das Buch in Ruhe befindet.
 eine nach oben gerichtete Kraft durch den Tisch.
 eine nach unten gerichtete Kraft durch die Gravitation.
 eine nach oben gerichtete **Gesamtkraft** durch den Luftdruck.
 eine nach unten gerichtete **Gesamtkraft** durch den Luftdruck.

- 2.3 Ein Wirtshauschild hängt an einer Wand (vgl. Abbildung). Kreuze alle Aussagen an, die deiner Meinung nach richtig sind:

- Es gibt die Gewichtskraft, die an dem Schild nach unten zieht.
 Es gibt die Haltekraft der Stangen, die dafür sorgt, dass das Schild nicht nach unten fällt.
 Die Gesamtkraft, d.h. die Summe aller Kräfte, die auf das Schild wirken, ist Null.



- 2.4 Anton wirft einen Ball senkrecht nach oben in die Luft. Kreuze alle Aussagen an, die deiner Meinung nach richtig sind:

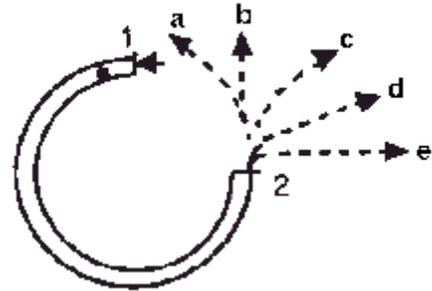
- Der Ball wird auf seinem Flug nach oben immer langsamer, weil die Kraft aufgebraucht wird, die Anton dem Ball mitgegeben hat.
 Im höchsten Punkt (Umkehrpunkt) ist die auf den Ball wirkende Kraft Null.
 Auf dem Weg nach unten gewinnt der Ball die Kraft wieder zurück, die er beim Hochfliegen verloren hat.
 Die auf den Ball wirkende Kraft ist während der gesamten Aufwärts- und Abwärtsbewegung des Balls nahezu gleich.

- 2.5 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!
- 2.6 Anton möchte einen LKW anschieben. Er stemmt sich mit aller Macht gegen den LKW, schafft es aber nicht, ihn vorwärts zu bewegen.
Kreuze alle Aussagen an, die deiner Meinung nach richtig sind:
- Die Gesamtkraft auf den LKW ist Null, weil der LKW in Ruhe bleibt.
 - Die Gesamtkraft auf den LKW ist nicht Null, reicht aber noch nicht aus, um ihn anzuschieben.
 - Der LKW übt aufgrund seiner Haftreibung eine Gegenkraft auf Anton aus, wenn sich Anton gegen ihn stemmt. Anton schafft es nicht, die maximale Haftreibungskraft des LKW zu überwinden.
- 2.7 Anton schießt einen Fußball an eine Wand. Während der Fußball auf der Wand aufprallt...
- wirkt vom Ball eine Kraft auf die Wand.
 - wirkt von der Wand eine Kraft auf den Ball.
 - wirkt von Anton eine Kraft auf die Wand, die von Antons Schusskraft abhängt und dem Ball mit auf den Weg gegeben wurde.
 - wirken keine Kräfte.
- 2.8 Anton zieht eine Kiste mit gleich bleibender Geschwindigkeit von 2 m/s über den ebenen Boden. Was weißt du aufgrund dieser Aussage über die Kräfte, die auf die Kiste wirken?
- Wenn die Kraft auf die Kiste verdoppelt wird, erhöht sich die Geschwindigkeit auf 4 m/s.
 - Der Betrag der Kraft, die bei konstanter Geschwindigkeit auf die Kiste ausgeübt werden muss, muss größer sein als der Betrag der Gewichtskraft.
 - Der Betrag der Kraft, die bei konstanter Geschwindigkeit auf die Kiste ausgeübt werden muss, muss gleich dem Betrag der Reibungskräfte sein.
 - Der Betrag der Kraft, die bei konstanter Geschwindigkeit auf die Kiste ausgeübt werden muss, muss größer sein als der Betrag der Reibungskräfte, die der Bewegung entgegenstehen.
 - Es gibt zwar eine Kraft, die aufgebracht werden muss, um die Kiste zu bewegen, aber die externen Kräfte, wie z.B. die Reibung, sind keine „realen“ Kräfte. Sie leisten lediglich Widerstand gegen die Bewegung.
- 2.9 Anton hört nun plötzlich auf, die Kiste (s. vorherige Aufgabe) zu ziehen. Dann wird die Kiste...
- sofort stillstehen.
 - sich für eine sehr kurze Zeit mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegen und schließlich zum Halten kommen.
 - sofort langsamer werden.
 - sich mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegen.
 - für eine sehr kurze Zeit an Geschwindigkeit zunehmen und schließlich zum Stehen kommen.

In den folgenden Fragen ist nach dem Ablauf von Bewegungen gefragt. Kreuze den Lösungsvorschlag an, der deiner Meinung nach den erwarteten Bewegungsablauf am besten beschreibt!

3.1 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?

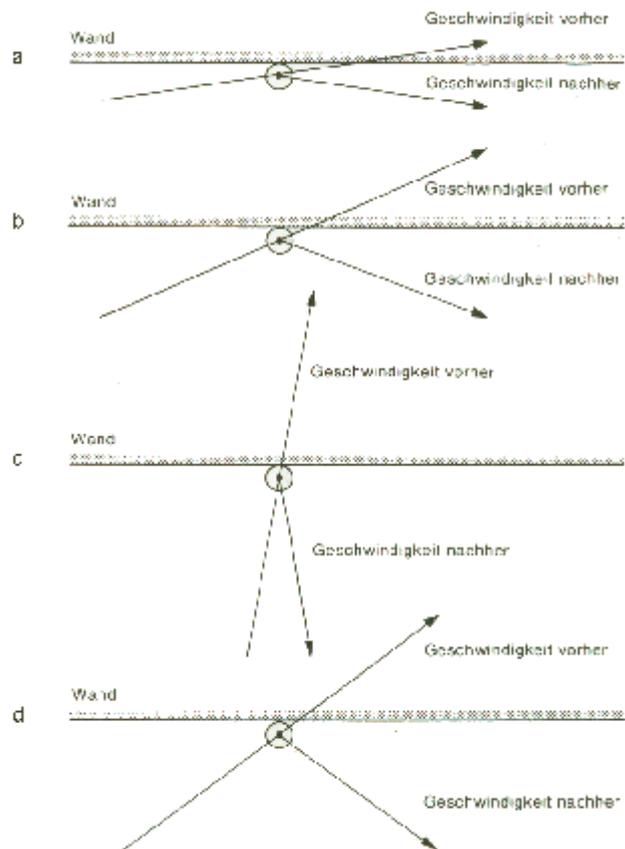
- q a
- q b
- q c
- q d
- q e



3.2 Ein Tennisball wird an einer Wand reflektiert und erhält dadurch genau diese Zusatzgeschwindigkeit:

Zu welchem Bild gehört diese Zusatzgeschwindigkeit? Kreuze an!

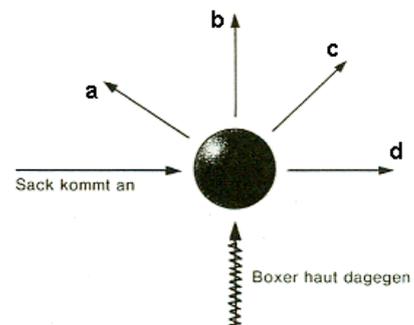
- q a
- q b
- q c
- q d
- q e



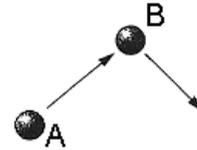
3.3 Ein Boxer haut gegen einen schweren Ledersack (Punch), der quer vor ihm vorbei schwingt. Kreuze an, wie sich der Sack nach dem Stoß weiterbewegt!

Situation von oben betrachtet:

- q a
- q b
- q c
- q d

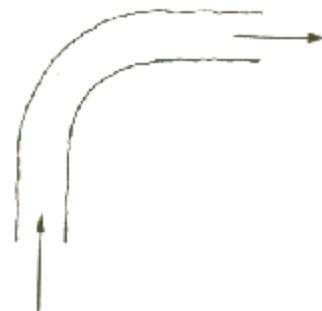


3.4 Eine Kugel rollt auf einem Tisch von A nach B.
 An der Stelle B soll die Kugel einen Stoß erhalten, so dass sie in
 der eingezeichneten neuen Richtung weiterrollt:
 Wie muss man in B gegen die Kugel stoßen, damit sie den
 gewünschten Knick macht? Kreuze die richtige Antwort an!



- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

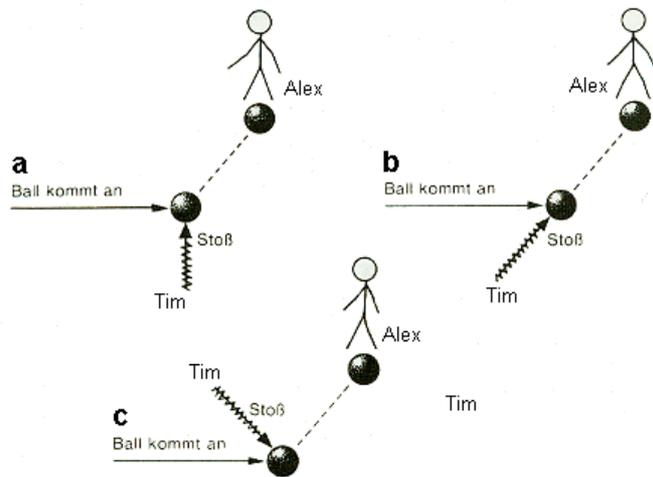
3.5 Ein Auto fährt so in die Kurve hinein: , und so kommt es
 wieder heraus: .
 Welche **Zusatz**geschwindigkeit hat es bekommen? Kreuze
 die richtige Antwort an!



- a) Keine
- b)
- c)
- d)
- e)

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

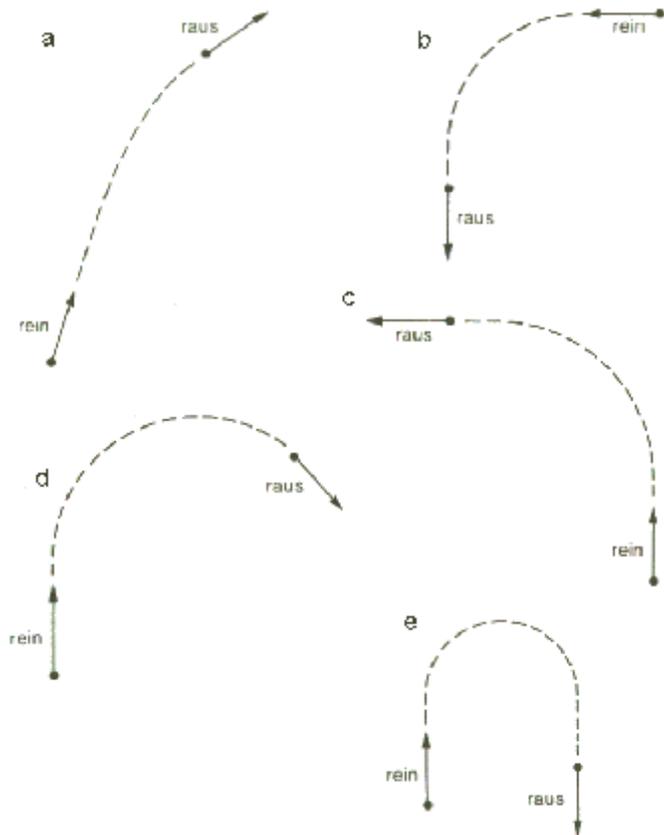
- q a
- q b
- q c



3.7 Ein Auto fährt mit gleichem Tempo durch die folgenden Kurven. In welcher Kurve erhält es diese

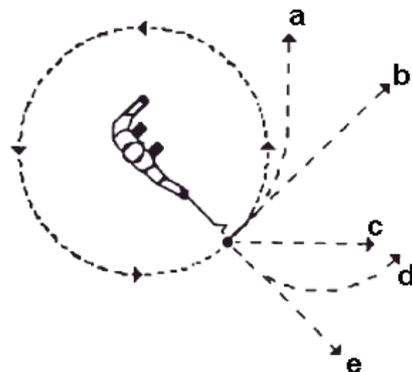
Zusatzgeschwindigkeit: ?
 Kreuze die richtige Antwort an!

- q a
- q b
- q c
- q d
- q e



3.8 Ein schwerer Ball 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?

- q a
- q b
- q c
- q d
- q e



Lösungen Physik NT

Aufgabengruppe 1

- 1.1 b
- 1.2 b
- 1.3 a
- 1.4 c
- 1.5 b
- 1.6 d
- 1.7 b
- 1.8 b
- 1.9 e

Aufgabengruppe 2

- 2.1 a, f
- 2.2 b, c
- 2.3 a, b, c
- 2.4 d
- 2.5 a, b, c
- 2.6 a, c
- 2.7 a, b
- 2.8 c
- 2.9 c

Eine Schwierigkeit bei der Bestimmung des Mittelwerts bestand in der Auswertung derjenigen Fragen, bei denen auch mehrere (Multiple-Choice-)Antworten richtig sein konnten. In diesem Fall sollten die Schülerinnen und Schüler alle richtigen Antworten ankreuzen und die falschen Vorschläge nicht ankreuzen. Das bedeutet, dass eine nicht angekreuzte Frage (in aller Regel) bewusst nicht angekreuzt wurde, so dass auch damit ein richtiges Verständnis überprüft werden kann. Dementsprechend sollten die Schülerinnen und Schüler auch Bewertungseinheiten auf (richtigerweise) nicht angekreuzte Antworten erhalten. Da sich manche Antworten aber wechselseitig bedingen oder ausschließen, sollten nicht alle Antworten gleich stark bepunktet werden, um das Ergebnis nicht zu verzerren. Die Gewichtung ist je nach Wertigkeit der Antwort gewählt²⁷², dennoch konnte auf die Beantwortung eines Items (wie bei den anderen Items auch) insgesamt maximal 1BE erreicht werden, nämlich dann, wenn alle Antworten richtig angekreuzt bzw. richtigerweise nicht angekreuzt wurden: Die Bepunktung auf die einzelne Aufgabe setzt sich dann zusammen aus der Summe der erreichten BE dividiert durch die maximal möglichen BE.

	a	b	c	d	e	f	Summe
2.1	1	1	1	1	1	1	6
2.2	0	2	0	1	1		4
2.3	1	0	2				3
2.4	1	2	1	2			6
2.5	0	1	1				2
2.6	0	2	1				3
2.7	1	0	2	0			3
2.8	0	0	2	1	0		3
2.9	1	1	2	0	0		4

²⁷² vgl. unten: Itemschwierigkeit

Aufgabengruppe 2

- 3.1 b
- 3.2 a
- 3.3 c
- 3.4 c
- 3.5 b
- 3.6 a
- 3.7 c
- 3.8 b

Folgende Items wurden aus der Bewertung genommen, da ihre Schwierigkeit zu gering war ($>0,9$)

- 1.1; 1.8;
- 2.2a; 2.2c; 2.3b; 2.5a; 2.7b; 2.7d; 2.8a; 2.8b; 2.8e; 2.9d; 2.9e;
- 3.3;

Das Item 2.6a wurde von keinem Schüler richtig gelöst und wird deswegen auch aus der Bewertung genommen.

Lebenslauf

gemäß § 5 Abs. 2 Ziff. 7 der Promotionsordnung
der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Würzburg

Name: Matthias Reinfried Galmbacher

Beruf: Gymnasiallehrer, StR

Geburtsdatum: 13.04.1972

Geburtsort: Miltenberg

Familienstand: verheiratet, 3 Kinder

Werdegang:

1978 - 1982	Grundschule Großheubach
1982 - 1991	Johannes - Butzbach - Gymnasium Miltenberg
1991 - 1992	Wehrdienst in Heidenheim / Hahnenkamm
1992 - 1998	Studium an der Maximilians - Universität Würzburg mit der Fächerverbindung Mathematik und Physik für das Lehramt an Gymnasien
04.08.1998	Zeugnis über die Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien
1998 - 2000	Referendariat am Röntgen-Gymnasium Würzburg
29.06.2000	Zeugnis über die Zweite Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien
2000 - 2002	Studienrat z.A. am Wirsberg - Gymnasium Würzburg
seit 2002	Studienrat am Wirsberg - Gymnasium Würzburg
2003 - 2005	Teilabordnung an die Maximilians - Universität Würzburg zur Durchführung eines DFG - Projekts