

Schülervorstellungen zur Beschleunigung nach der hessischen E-Phase

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik, eingereicht dem Landesschulamt
– Prüfungsstelle Frankfurt am Main – .

Thema:	Schülervorstellungen zur Beschleunigung nach der hessischen E-Phase
Verfasserin:	Beyhan Gemici
Gutachter:	Prof. Dr. Thomas Wilhelm
Abgabedatum:	10.11.2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Schülervorstellungen	4
2.1. Der Begriff „Schülervorstellungen“	4
2.2. Ursprünge von Schülervorstellungen.....	5
2.3. Arten von Schülervorstellungen	5
2.4. Lehrervorstellungen über Schülervorstellungen	7
2.5. Folgen von Schülervorstellungen	8
2.6. Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht.....	10
2.7. Schülervorstellungen zur Mechanik	12
2.7.1. Geschwindigkeit	13
2.7.2. Beschleunigung	13
2.8. Unterrichtskonzepte	15
3. Die Untersuchung	18
3.1. Die Aufgaben	19
3.1.1. Aufgabe 1: Geschwindigkeits-Zeit-Graphen.....	20
3.1.2. Aufgabe 2: Der Münzwurf	21
3.1.3. Aufgabe 3: Beschleunigungs-Zeit-Graphen	21
3.1.4. Aufgabe 4: Stroboskopbild	22
3.1.5. Aufgabe 5: Klotz auf der Rampe.....	23
3.1.6. Aufgabe 6: Rennstrecke.....	24
3.1.7. Aufgabe 7: Hügelfahrt.....	24
3.1.8. Aufgabe 8: Mond um die Erde	25
3.2. Quellen und Verwendungen der Aufgaben.....	26
3.3. Der Lehrerfragebogen	31
4. Auswertung	31
4.1. Ergebnisse aller Fragebögen	33
4.1.1. Zu Aufgabe 1: Geschwindigkeits-Zeit-Graphen	33
4.1.2. Zu Aufgabe 2: Der Münzwurf	35
4.1.3. Zu Aufgabe 3: Beschleunigungs-Zeit-Graphen.....	39
4.1.4. Zu Aufgabe 4: Stroboskopbild	43
4.1.5. Zu Aufgabe 5: Klotz auf der Rampe	44
4.1.6. Zu Aufgabe 6: Rennstrecke	48
4.1.7. Zu Aufgabe 7: Hügelfahrt.....	54

4.1.8. Zu Aufgabe 8: Mond um Erde.....	56
4.1.9. Zusammenfassung aller Ergebnisse.....	57
4.1.10. Ergebnisse aus älteren Studien	59
4.2. Ergebnisse der Lehrerfragebögen	64
4.3. Zusammenhänge zwischen den Lehrer- und Schülerantworten	67
4.3.1. Abweichende Reihenfolge der Unterrichtsthemen.....	68
4.3.2. Vergleich zweier Klassen derselben Lehrkraft.....	70
4.3.3. Einfluss der Lehreransichten	72
5. Verbesserungsvorschläge zur Erhebung	74
6. Abschließende Betrachtung	76
7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	78
8. Literatur	80
Anhang.....	82

1. Einleitung

Die Schülerinnen und Schüler besitzen bereits vor der Einführung im Unterricht Vorstellungen zu physikalischen Begriffen und Phänomenen. Diese Vorstellungen entstehen meistens durch Alltagserfahrungen und sind tief im Denken der Schülerinnen und Schüler verankert. Sie bringen die Vorstellungen aus dem Alltag mit in den Unterricht und verarbeiten dort auf Grundlage dessen die neuen Inhalte, die sie im Unterricht lernen. Dadurch unterscheiden sich die Bedeutungen der Inhalte aus Schüler- und Lehrersicht. Dies kann zu möglichen Lernschwierigkeiten führen. Der Lehrkraft muss deshalb bewusst sein, dass solche Schülervorstellungen existieren und sie sollte diese im Unterricht berücksichtigen.

Wie zu erkennen ist, wurde das Gebiet der Schülervorstellungen bereits gut erforscht, wodurch unter anderem die Ursachen, Eigenschaften und Folgen von solchen Vorstellungen bekannt sind. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden zahlreiche Vorgehensweisen für den Unterricht entwickelt. Es gibt allgemeine Ratschläge zum Umgang mit Schülervorstellungen, aber auch ganze Unterrichtskonzepte, die diese berücksichtigen. Zu vielen Themengebieten der Physik sind die typischen Schülervorstellungen, die häufig auftreten, bereits bekannt. Ein gutes Beispiel dafür ist das Gebiet der Kinematik. Zu den Grundbegriffen Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft haben die Schülerinnen und Schüler neben der physikalischen Vorstellung noch weitere Vorstellungen, die sich in ihrem alltäglichen Leben problemlos bewährt haben.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Untersuchung der Schülervorstellungen zur Beschleunigung. Der Schwerpunkt liegt auf der Frage, welche der typischen Schülervorstellungen zur Beschleunigung in welchem Ausmaß bei hessischen Schülerinnen und Schülern vertreten sind. Zu diesem Zweck wurden 346 Schülerinnen und Schüler, die die Einführungsphase des Gymnasiums besuchten, getestet. Der Test besteht aus acht Single-Choice-Aufgaben, die das Verständnis zur Beschleunigung in eindimensionalen und zweidimensionalen Bewegungen prüfen. Ferner erhielten die Lehrkräfte einen Fragebogen, der sich auf den Unterricht und die Ansichten der Lehrperson in Bezug auf die Beschleunigung bezieht. Damit sollten neben dem Schwerpunkt dieser Arbeit zusätzlich mögliche Zusammenhänge zwischen den Lehreransichten und den Schülerantworten hergestellt werden.

In dieser Arbeit wird zunächst der theoretische Hintergrund zu den Schülervorstellungen dargestellt, um einen Überblick zu erhalten, was bereits zu dem Thema bekannt ist.

Danach werden die Rahmenbedingungen der Untersuchung, der Schülertest und der Lehrerfragebogen vorgestellt, um davon ausgehend die Ergebnisse auszuwerten. Die Auswertung ist der Hauptteil dieser Arbeit und beinhaltet verschiedene Fragestellungen. Zum einen werden die Antworten aller Schülerinnen und Schüler detailliert analysiert und zum anderen die Antworten der ausgefüllten Lehrerfragebögen vorgestellt. Diese werden dann unter Betrachtung einiger Fragestellungen mit einzelnen Klassenergebnissen in Bezug gesetzt. Zum Schluss folgen Verbesserungsvorschläge zur Erhebung und die Untersuchung wird abschließend betrachtet.

2. Schülervorstellungen

2.1. Der Begriff „Schülervorstellungen“

Der zentrale Begriff, um den es sich in dieser Arbeit handelt, ist der der „Schülervorstellungen“. Dieses Thema wird im Bereich der Physik bereits seit den 70er Jahren erforscht und in den verschiedenen Untersuchungen unterschiedlich benannt. Neben „Schülervorstellungen“ werden ebenfalls die Begriffe „Alltagsvorstellungen“, „Präkonzepte“ oder „Vorverständnis“ verwendet. Am häufigsten sind die beiden erst genannten zu finden. Trotz der unterschiedlichen Akzentsetzungen, zeigt sich in allen Untersuchungen eine Gemeinsamkeit: Es geht um die bereits vorhandenen Vorstellungen zu Begriffen, Phänomenen und Prinzipien der Physik, die die Schülerinnen und Schüler in den Unterricht mitbringen. Die Lehrperson darf die Schülerinnen und Schüler also nicht wie ein leeres Blatt behandeln, auf dem sie den neuen Lehrstoff schreibt (vgl. Jung in Müller et al., 2011, S. 15). Da die vorhandenen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler meistens nicht mit den physikalischen Vorstellungen übereinstimmen, wird hier oft von „Fehlvorstellungen“ gesprochen.

Der Begriff der Schülervorstellung bezieht sich auf den ersten Blick auf Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern. Jedoch sind solche Vorstellungen zu physikalischen Begriffen oder Phänomenen unabhängig vom Alter, wodurch sie auch bei Erwachsenen oder Vorschulkindern zu finden sind (vgl. Wilhelm, 2005A, S. 5).

Der in dieser Arbeit verwendete Begriff der „Schülervorstellungen“ soll keine abwertende Bewertung haben. In der Untersuchung geht es um die Vorstellungen, die die Schülerinnen und Schüler am Ende der Einführungsphase zu einem kinematischen Be-

griff haben. Sie wurden daher bereits mit den physikalischen Vorstellungen konfrontiert und sollten diese im besten Falle anwenden können.

2.2. Ursprünge von Schülervorstellungen

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, stammen die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zunächst aus ihren alltäglichen Erfahrungen. Sie haben bereits physikalische Phänomene im Alltag kennengelernt und dazu Gedanken, Verknüpfungen und Bewertungen entwickelt (vgl. Wilhelm, 2005A, S. 6). Aus den vielfältigen Alltagserfahrungen sind beispielsweise verschiedene Bewegungen oder der Begriff der Wärme oder des Lichts bekannt. Mit diesen Vorerfahrungen ist es für die Schülerinnen und Schüler möglich, außerhalb der Schule mit anderen über solche Themen zu sprechen. Dabei verwenden sie ihre Alltagssprache, die die Vorstellungen stützt (vgl. Häußler et al., 1998, S. 176). Es werden Begriffe verwendet, die dem physikalischen Sinn teilweise oder sogar ganz widersprechen, im Gespräch jedoch für alle Beteiligten verständlich sind. Dies passiert unter anderem bei den Begriffen „Geschwindigkeit“ oder „Kraft“.

Desweiteren entstehen die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler im Umgang mit Medien, wie beispielsweise Filme, Bücher oder Zeitungen. Durch das Lesen von Science-Fiction-Büchern zum Beispiel werden die naturwissenschaftlichen Denkweisen beeinflusst (vgl. Wilhelm, 2005A, S. 7).

Ebenfalls ist es möglich, dass die Schülervorstellungen durch den vorangegangenen Unterricht entwickelt wurden. Die dort entstandenen Schülervorstellungen entsprechen dabei nicht immer den zu lernenden Vorstellungen, die von der Lehrperson beabsichtigt waren. Darauf im folgenden Unterricht aufzubauen, führt sowohl bei den Lehrkräften, als auch bei den Schülerinnen und Schülern zu Schwierigkeiten.

2.3. Arten von Schülervorstellungen

Wenn von Schülervorstellungen gesprochen wird, muss man beachten, dass es verschiedene Arten von Vorstellungen gibt.

Zum einen existieren Vorstellungen, die von den Schülerinnen und Schülern ad-hoc konstruiert werden. Treffen sie im Unterricht auf noch unbekannte Phänomene, über die sie keine Vorstellungen besitzen, so werden spontan welche konstruiert. Diese ad-hoc-Vorstellungen können im Unterricht meistens leichter beeinflusst und verändert werden. Zum anderen haben Schülerinnen und Schüler allgemeine Vorstellungen zu physikalischen Gebieten, die sich im Vergleich zu den ad-hoc-konstruierten Vorstellungen nicht so leicht ändern lassen (vgl. Häußler et al., 1998, S. 177). Sie sind tief verankert und

resistent gegenüber Veränderungen. Die allgemeinen Vorstellungen stammen aus den Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler, die sie bereits vor dem Physikunterricht erlebt haben.

Obwohl die Schülervorstellungen für den Lehrenden im Unterricht dann nicht immer sinnvoll erscheinen, sind sie jedoch nicht falsch. Für die Schülerinnen und Schüler haben sie eine innere Logik. Dies wird dadurch bestärkt, dass sie alltägliche Situationen mit ihren Vorstellungen bestens bewältigen können. Ein Beispiel hier für ist das „Geben-Schema“ im elektrischen Stromkreis: Schülerinnen und Schüler denken, dass die Batterie etwas an das angeschlossene Gerät weitergibt. Im Alltag kommen sie mit dieser Vorstellung gut zurecht, jedoch ist es für den elektrischen Stromkreis im Unterricht nicht passend. Auch die Verbrauchervorstellung passt nicht zum physikalischen Konzept. In Alltagsgesprächen wird beispielsweise „Strom verbraucht“, was in der Physik nicht richtig ist (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 34).

Zu den allgemeinen Vorstellungen gehören neben den Alltagsvorstellungen auch die Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler über die Naturwissenschaft haben. Häußler et al. (1998) beziehen sich diesbezüglich auf N.G. Lederman (1992): Sowohl in der Sekundarstufe I, als auch in der Sekundarstufe II seien Schülerinnen und Schüler „naive Realisten“, denen nicht bewusst ist, dass naturwissenschaftliches Wissen passend zur Wirklichkeit von den Menschen konstruiert wird. Sie sehen es eher als „getreues Abbild der Wirklichkeit“ (S. 177).

Ferner ist die Sichtweise der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf das Lernen sehr wichtig. Das Lernen im Unterricht wird durch die Einstellung der Schülerinnen und Schüler zu den behandelten Themen beeinflusst. Viele denken, dass eine passive Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsinhalt ausreicht. Dabei stellen sie sich auf Auswendiglernen und Anwenden von Formeln und Gleichungen ein. Der von der Lehrkraft vorgegebene Inhalt wird dabei weder reflektiert, noch kritisch hinterfragt. Um jedoch sinnvoll und langanhaltend zu lernen, ist es nötig, sich mit dem Inhalt aktiv auseinanderzusetzen, es zu verarbeiten und mit dem vorhandenen Vorwissen zu verknüpfen (vgl. Wilhelm, 2005A, S. 24f.).

Neben den beschriebenen „allgemeinen, übergreifenden Vorstellungen“ gibt es auch spezifische Vorstellungen, die sich auf einen bestimmten Inhalt, beziehungsweise auf ein bestimmtes Phänomen beziehen. Sie sind, wie die ad-hoc-konstruierten Vorstellungen, leichter zu verändern, als die allgemeinen Vorstellungen, da es sich hierbei nicht

um eine ganze Vernetzung von verschiedenen Gebieten handelt. Als Beispiel dient die Streuung und Reflexion von Licht. Schülerinnen und Schüler stellen sich vor, dass nur ein Spiegel Licht zurückwerfen kann, während das für andere Gegenstände, wie beispielsweise Bekleidungen oder Wände nicht möglich ist (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 35). Dies widerspricht erneut der physikalischen Erklärung.

2.4. Lehrervorstellungen über Schülervorstellungen

Für den Unterricht ist nicht nur die oben beschriebene Schülersicht sehr wichtig, sondern auch die Vorstellungen der Lehrerinnen und Lehrer über die vorhandenen Schülervorstellungen. Über dieses Gebiet gibt es relativ wenige Untersuchungen. Man kann jedoch sagen, dass sich die Lehrkräfte kaum vorstellen können, welche Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler über die Physik haben. Die meisten (83%) stimmen jedoch zu, wenn die Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler Ausgangspunkt für physikalisches Denken sein sollen. Wilhelm führte dazu im Jahr 2007 eine Untersuchung an 41 Gymnasien mit 244 unterfränkischen Gymnasiallehrern durch. Dabei stellte sich unter anderem heraus, dass Lehrerinnen und Lehrer das Auftreten von Schülervorstellungen seltener vermuten, als es tatsächlich der Fall ist. Über die Hälfte der Lehrkräfte kennt typische Schülervorstellungen, es werden jedoch auch sinnlose Aussagen für wahrscheinlich gehalten. Besonders die jüngeren Lehrerinnen und Lehrer, also diejenigen unter zehn Dienstjahren können dies gut einschätzen. Sie zeigen auch mehr Interesse an Fortbildungen zu Schülervorstellungen.

Außerdem zeigte die Untersuchung, dass die Lehrkräfte von der Effektivität des Physikunterrichts sehr überzeugt sind. Sie meinen, dass der Unterricht die Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler behebt und ihnen die Themen klarer werden. Eine Aufgabe zu Beschleunigungsgraphen bei eindimensionalen Bewegungen zeigt zum Beispiel, dass 50% der Lehrerinnen und Lehrer denken, dass etwa die Hälfte aller Schülerinnen und Schüler diese Aufgabe nach dem Unterricht richtig bearbeiten. Allerdings taten dies tatsächlich weniger Schülerinnen und Schüler. Das Ausgehen von besseren Ergebnissen zeigt sich ebenfalls bei Aufgaben zu zweidimensionalen Bewegungen in Kurvenfahrten mit gleichbleibendem Tempo. Die Lehrkräfte haben also kaum Vorstellungen über Schülervorstellungen, weshalb dies ein wichtiges Thema für zukünftige Lehrerfortbildungen sein sollte. Hierbei können zusätzlich die Lehrervorstellungen zu fachlichen Inhalten thematisiert werden, die teilweise (wie bei den Schülerinnen und Schülern) fehlerbehaftet sind und ebenfalls die Sichtweisen der Lehrerinnen und Lehrer

bezüglich des Lernens. Diese Sicht stimmt mit der zuvor beschriebenen Schülervorstellung überein (vgl. Wilhelm, 2008, S. 44ff.).

2.5. Folgen von Schülervorstellungen

Der Lernprozess der Schülerinnen und Schüler wird von ihren vorunterrichtlichen Vorstellungen bestimmt. Sie sehen das Neue im Unterricht nur „durch die Brille des bereits Bekanntem und Vertrautem“. Wenn diese Vorstellungen dann nicht mit den physikalischen, von der Lehrkraft beabsichtigten Vorstellungen übereinstimmen, kommt es zu Lernschwierigkeiten. Deshalb gelingt der Übergang von der Alltagsvorstellung zur physikalischen Sicht nicht. Auch wenn es zu kleinen Fortschritten kommt, werden diese nach dem Unterricht meistens komplett vergessen (vgl. Duit in Müller et al., 2011, S. 3). Die entstehenden Lernschwierigkeiten lassen sich in drei Kategorien einordnen: sachbedingte, lehrbedingte und innenbedingte Lernschwierigkeiten.

Die sachbedingten Lernschwierigkeiten beziehen sich auf die Lerninhalte. Sie ergeben sich, wenn die behandelten Inhalte zu komplex oder abstrakt sind. Die Schülerinnen und Schüler verstehen beispielsweise das Konzept der Beschleunigung als Grenzfall der Geschwindigkeitsänderung pro Zeiteinheit nicht. Wenn es dann um die Beschleunigung in einem bestimmten Zeitpunkt geht, können sie sich dies nicht vorstellen.

Die lehrbedingten Lernschwierigkeiten entstehen dadurch, dass der Lehrende als Mittler wichtige Schlüsselideen oder –phänomene nicht ausreichend betont, unter anderem also keine optimale Elementarisierung vorliegt. Außerdem mangelt es an fachdidaktischen Überlegungen und an angemessenen fachlichen Darstellungen. Dadurch beschränkt sich zum Beispiel die Vorstellung der Schülerinnen und Schüler zur Beschleunigung auf das Schnellerwerden. Die Schlüsselidee, dass die Geschwindigkeitsänderung mit der Krafteinwirkung verknüpft ist, wird aufgrund der genannten Mängel nicht verstanden. Auch der Einstieg in ein Themengebiet ist ausschlaggebend. Wird der Mechanikunterricht mit der Statik begonnen, entwickeln die Schülerinnen und Schüler mögliche Lernschwierigkeiten, die die Behandlung der Dynamik erschweren. Diese Reihenfolge kann eine langfristige Blockierung bewirken (vgl. Wiesner, 1994, S.16).

Zur letzten Kategorie, den innenbedingten Lernschwierigkeiten gehören Probleme, die Lernende haben, wenn sie neue Informationen aufnehmen und verarbeiten sollen. Wie zuvor beschrieben, verknüpfen sie die neuen Informationen mit ihrem Vorwissen.

Dabei werden die neuen Informationen gekürzt oder ergänzt. Die Schülerinnen und Schüler filtern die für wichtig erachteten Teile heraus und ordnen sie möglicherweise anders ein, als beabsichtigt wurde. Dies führt dann zu Schwierigkeiten beim Lernen (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 35ff.).

Die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler haben außerdem einen starken Einfluss auf die Beobachtungen, die sie im Unterricht machen. Sie sehen dadurch nur das, was sie sehen wollen, beziehungsweise aufgrund ihrer Vorstellungen sehen können. Während die Beobachtung eines Experiments für die Lehrperson klar und eindeutig ist, fällt den Schülerinnen und Schülern nur das auf, was ihre Vorstellungen ihnen erlauben. Daher unterscheiden sich die gemachten Beobachtungen für ein Experiment. Passiert jedoch etwas, das für sie unerwartet ist und nicht mit den Vorstellungen übereinstimmt, versuchen die Schülerinnen und Schüler dies „wegzudiskutieren“. Sie finden ad-hoc-Argumentationen, mit denen das Beobachtete begründet werden kann. Meistens wird damit argumentiert, dass es sich bei dem Experiment um einen Spezialfall handelt (vgl. Duit in Müller et al., 2011, S. 6). Die Schülerinnen und Schüler halten an ihren Vorstellungen fest und lassen sich nicht durch ein einziges Gegenbeispiel überzeugen. Dafür sind eher viele Gegenbeispiele und die Einsicht, dass eine andere Vorstellung (die physikalische) in einigen Bereichen sinnvoller ist, nötig (vgl. Duit in Müller et al., 2011, S. 20).

Die Kommunikation zwischen Lehrkraft und Schülerinnen und Schülern leidet ebenfalls unter den Vorstellungen. Duit beschreibt dabei folgende Situation: Die Lehrperson redet, macht Gesten oder demonstriert den Schülerinnen und Schülern den Sachverhalt durch einen Text oder eine Abbildung. Dies hat für ihn bestimmte Bedeutungen. Die Sinnesdaten werden von der Schülerin oder dem Schüler aufgenommen und basierend auf die vorhandenen Vorstellungen interpretiert. Dabei findet eine Reduktion der Sinnesdaten statt. Es wird nur das aufgenommen, was dem Empfänger wichtig erscheint. Dementsprechend gibt die Schülerin oder der Schüler den Gesten, Texten, Abbildungen oder Sätzen der Lehrkraft eine andere Bedeutung. Umkehrt geschieht genau derselbe Vorgang. Beide Akteure können sich daher nicht „richtig“ verstehen und reden aneinander vorbei (vgl. Duit in Müller et al., 2011, S. 10).

2.6. Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht

Wiesner et al. (2011) zitieren folgende Aussage von Jung aus dem Jahr 1986 (S. 29):

„Der Zuhörer muss dem, was er hört und dem, was er sieht, einen Sinn geben. Und das ist nur möglich, indem er Verbindungen mit schon bekanntem herstellt, also konstruiert. ... In einem gewissen Sinn wird die Information vom Aufnehmenden konstruiert, indem er schon gespeicherte Vorstellungen aktiviert, in die er die Eingabe einordnet.“

Was Jung in diesem Zitat anspricht, wurde bereits in den vorherigen Abschnitten thematisiert. Es geht darum, dass die Schülerinnen und Schüler die Inhalte des Unterrichts, die für sie neu sind, mit ihrem vorhandenen Vorwissen verknüpfen und verarbeiten. Der Unterricht muss daher auf vorhandene Schülervorstellungen eingehen, damit Lernschwierigkeiten vermieden werden. Dabei hat die Lehrkraft eine zentrale Rolle. Sie unterstützt die Schülerinnen und Schüler beim Lernen, bietet passende Lernmöglichkeiten an, die interessant und sinnvoll für die Lernenden erscheinen und versucht, die Schülervorstellungen unter anderem durch geeignete Aufgaben oder gezielte Fragen im Unterricht herauszufinden (vgl. Duit in Müller et al., 2011). Die Lehrkraft muss im Unterricht die Schülervorstellungen berücksichtigen und mit und an ihnen arbeiten. Außerdem ist dann eine bessere Kommunikation zwischen den Beteiligten möglich, da die Lehrkraft den Schüleraussagen eine Bedeutung zuordnen kann. Der Lehrperson muss jedoch bewusst sein, dass das Lernen von wissenschaftlichen Vorstellungen ein langandauernder Prozess ist und nicht durch eine einzige Erklärung angeeignet wird. Deswegen sollten die Schülervorstellungen des Öfteren im Unterricht angesprochen werden.

Häußler et al. (1998) nennen nach Jung drei Möglichkeiten, wie man im Unterricht mit den vorunterrichtlichen Erfahrungen umgehen kann. Zwei Möglichkeiten, das Anknüpfen und das Umdeuten beinhalten einen kontinuierlichen Übergang von den Alltagsvorstellungen zur physikalischen Sicht. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die beiden Vorstellungen kaum oder gar nicht voneinander abweichen. Bei der dritten Möglichkeit, dem Konfrontieren kommt es zu einem „Bruch“, da die beiden Vorstellungen entgegengesetzt sind. Beim Anknüpfen geht man auf Aspekte der Schülervorstellung ein, die sich leicht zur physikalischen Vorstellung erweitern lassen. Das Anknüpfen an Erfahrungen ermöglicht einen bruchlosen Übergang. Der zweite Lernweg des Umdeutens benutzt ebenfalls Erfahrungen als Ausgangspunkt. Hierbei werden diese jedoch umfassend umstrukturiert, das heißt die vorhandene Alltagsvorstellung wird physikalisch neu

gedeutet. Bei diesem bruchlosen Übergang ist hervorzuheben, dass die Schülerinnen und Schüler keine falschen Vorstellungen haben, sondern dass die physikalische Vorstellung einen anderen Schwerpunkt besitzt.

Sind die Schülervorstellungen und die physikalischen Vorstellungen jedoch zu unterschiedlich, kann der Lehrende mit der Konfrontationsstrategie arbeiten. Dabei bringt er die Schülerinnen und Schüler in einen kognitiven Konflikt, indem er mit Aspekten beginnt, die den Schülervorstellungen komplett widersprechen. Sie sollen von der naturwissenschaftlichen Sichtweise überzeugt werden. Es gibt zwei Möglichkeiten, dies zu erreichen: Entweder lässt die Lehrkraft die Klasse Voraussagen zu einem Experiment machen und nimmt diese dann als Ausgangspunkt für eine Diskussion danach, wenn die Beobachtungen nicht mit den Vermutungen übereinstimmen oder sie setzt konträre Vorstellungen gegeneinander und verdeutlicht, was sich widerspricht (vgl. Häußler et al., 1998, S. 212ff.). Bei solch einer Konfrontationsstrategie ist zu beachten, dass die Schülerinnen und Schüler erst offen über ihre eigenen Vorstellungen sprechen, wenn sie sich im Unterricht wohl und ernst genommen fühlen. Keiner wird etwas erzählen, wenn er dafür von der Lehrkraft oder den Mitschülerinnen und Mitschülern verurteilt wird. Ferner ist es möglich, dass das Herausfinden und Besprechen der Schülervorstellungen in einigen Fällen zur stärkeren Überzeugung führt, die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellungen stärker ausbauen und verteidigen und diese dadurch nicht mehr verändert werden können (vgl. Duit, 1994, S. 4). Es sind verschiedene Ansichten zu den drei Möglichkeiten vorhanden: Während Wiesner nach einigen Untersuchungen auf ein bruchloses Lernen setzt, erstellte Driver ein Konzept, welches die Konfrontationsstrategie aufgreift (vgl. Häußler et al., 1998, S. 214ff.).

Duit spricht von einem „Konzeptwechsel“, der im Unterricht stattfinden muss: Der Unterricht soll dafür sorgen, dass die Schülerinnen und Schüler Schritt für Schritt von ihren Schülervorstellungen zur physikalischen Sichtweise wechseln, denn die Alltagsvorstellungen können nicht sofort durch die physikalischen ersetzt werden. Wichtig ist dabei die Einsicht, dass die physikalischen Vorstellungen in einigen Situationen passender und hilfreicher sind, als die vorhandenen Alltagsvorstellungen. Um diesen Konzeptwechsel zu realisieren, nennt Duit fünf Schritte für Unterrichtsstrategien. Als erstes müssen die Schülerinnen und Schüler mit den Phänomenen vertraut gemacht werden. Danach folgt die Behandlung der Schülervorstellungen. Nachdem die Lehrkraft anschließend die für die Schülerinnen und Schüler neue physikalische Sichtweise einge-

führt hat, wird diese im Unterricht angewendet. Zum Schluss findet ein Rückblick auf den Lernprozess statt (vgl. Duit in Müller et al., 2011, S. 268).

Für diesen Abschnitt lässt sich zusammenfassen, dass die Schülervorstellungen bei der Planung und Durchführung des Unterrichts berücksichtigt werden müssen. Der Lernerfolg wird dadurch gesteigert, dass der Lehrende die Schülervorstellungen kennt, sie ernst nimmt, Zeit und Geduld für die Entwicklung des Verständnisses besitzt und zum eigenständigen Auseinandersetzen mit dem Thema anregt (vgl. Häußler et al., 1998, S. 196). Zudem sollten die Vorzüge der physikalischen Sichtweise im Vergleich zu den Alltagsvorstellungen aufgezeigt werden. Auch wenn es nicht gelingt, die Schülerinnen und Schüler von den physikalischen Vorstellungen zu überzeugen, sollten sie im Unterricht die Fähigkeit erlangen, die Welt mit ihren Phänomenen durch eine „physikalische Brille“ zu sehen und diese zu verstehen (vgl. Jung et al., 1981, S. 10).

Für ein besseres Verständnis der physikalischen Begriffe und Phänomene helfen bereits kleinere Maßnahmen. Dafür eignen sich neue Unterrichtsmedien, wie zum Beispiel neue Experimente oder Computerprogramme und neue Unterrichtsstrategien. Einige vorhandene Unterrichtskonzepte werden in einem der folgenden Abschnitte vorgestellt. Ferner wurden bereits Lehrbücher für die Sekundarstufe I entwickelt, die sich auf Schülervorstellungen beziehen. Das Ziel dieser Physiklehrbücher ist die Auseinandersetzung mit den neuen physikalischen Vorstellungen und die Erweiterung der tief verankerten Alltagserfahrungen (vgl. Duit, 1994, S. 5).

2.7. Schülervorstellungen zur Mechanik

Die Mechanik ist ein wichtiges Gebiet in der Schulphysik, da sie viele Phänomene beinhaltet, die den Schülerinnen und Schülern oft im Alltag begegnen und ihnen daher schon vor dem Unterricht bekannt sind. Sie haben bereits Vorstellungen zu den Kernbegriffen Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft. Diese werden in der Alltagssprache oft benutzt, jedoch entspricht die gegebene Bedeutung meistens nicht dem physikalischen Sinn. Viele verwechseln beispielsweise die Begriffe Weg und Ort, Geschwindigkeit und Schnelligkeit oder Beschleunigung und Schnellerwerden miteinander. Dies stellt in alltäglichen Gesprächen jedoch kein Problem dar. Es ist ebenfalls möglich, dass eine Schülerin oder ein Schüler zu einer physikalischen Situation mehrere widersprüchliche Vorstellungen besitzt. Dies zeigt sich, wenn sie Aufgaben mit physikalisch ähnlichen Situationen bearbeiten müssen. Die Schülervorstellungen sind also kontextabhängig (vgl. Wiesner et al., 2011, S. 46).

Im Folgenden werden typische Schülervorstellungen zur Geschwindigkeit und zur Beschleunigung beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf den Vorstellungen zur Beschleunigung liegt.

2.7.1. Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist eine vektorielle Größe, die neben dem Betrag auch eine Richtung besitzt. Wird diese zweidimensionale Definition auf eine eindimensionale Bewegung reduziert, so gibt das Vorzeichen die Richtung der Geschwindigkeit an. Da dann nur noch zwei Richtungen übrig bleiben, ist das Vorzeichen entweder positiv (+) oder negativ (-). Im Alltag von -100km/h zu sprechen, ist für Schülerinnen und Schüler allerdings sinnlos. Deshalb wird die Geschwindigkeit im Alltagsgebrauch nur auf eine positive skalare Größe beschränkt. Den meisten Schülerinnen und Schülern ist bewusst, welche Bedeutung die Ausdrücke „schneller“ und „langsamer“ haben. Diese Vorstellung aus dem Alltag entspricht meistens sogar der physikalischen Vorstellung.

Im Unterricht zeigt sich, dass eine typische Schülervorstellung zur Geschwindigkeit die Reduktion auf die Schnelligkeit ist. Für Schülerinnen und Schüler mit dieser Vorstellung ist die Geschwindigkeit lediglich eine Zahl, der im Unterricht zwar eine Richtung hinzugefügt, diese jedoch nicht richtig verinnerlicht wird. Bei Bewegungen mit konstanten Geschwindigkeiten, zum Beispiel einer gleichförmigen Kreisbewegung ist die Änderung Geschwindigkeit nach dieser Schülervorstellung dann null und es gibt keine Beschleunigung. Ihnen ist nicht klar, dass die Geschwindigkeit zusätzlich durch ihre Richtung definiert wird.

Desweiteren verwenden viele Schülerinnen und Schüler zur Berechnung der Geschwindigkeit die Formel $v = \frac{s}{t}$ ohne zu wissen, dass sie nur für einen Spezialfall, nämlich für eine Bewegung mit einer konstanten Geschwindigkeit ohne Anfangsgeschwindigkeit gilt. Die allgemeine Formel $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$ wird von vielen eher gemieden. Möglicherweise erscheint sie ihnen aufgrund der Änderung und dem Rechnen mit Differenzen zu kompliziert (vgl. Wilhelm et al., 2002, S. 1f.).

2.7.2. Beschleunigung

Im Vergleich zur Geschwindigkeit ist die Beschleunigung für viele Schülerinnen und Schüler schwieriger zu verstehen. Die Beschleunigung ist der Quotient aus der Änderung des Geschwindigkeitsvektors durch die dazugehörige Änderung der Zeit. Sie ist wie die Geschwindigkeit eine vektorielle Größe mit einem Betrag und einer Richtung. Der Beschleunigungsvektor kann in einen senkrechten Anteil, der Normalbeschleuni-

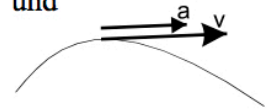
gung und in einen tangentialen Anteil, der Tangentialbeschleunigung aufgeteilt werden. Bei einer eindimensionalen Bewegung beschreibt das Vorzeichen der Beschleunigung die Richtung. Wenn die Bewegung schneller wird, so haben die Geschwindigkeit und die Beschleunigung die gleiche Richtung und deshalb das gleiche Vorzeichen. Entgegengesetzte Richtungen haben die beiden Größen bei einer langsamer werdenden Bewegung. Die Vorzeichen im Koordinatensystem sind unterschiedlich (vgl. Wilhelm, 2002, S. 8).

Im Alltag werden die Verben „beschleunigen“ und „schnellerwerden“ oft gleichgesetzt und große Beschleunigungen mit großen Endgeschwindigkeiten verbunden. Sie wird also nicht als Quotient verstanden, sondern eher als Bilanzgröße. Dadurch gibt es in der Alltagsvorstellung die Beschleunigung nur in einem großen Zeitintervall und nicht zu einem Zeitpunkt.

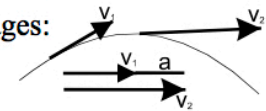
Es gibt vier verschiedene typische Schülervorstellungen zur Beschleunigung, die sich im Unterricht zeigen. Neben der physikalischen Vorstellung äußern sich die anderen drei Schülervorstellungen durch eine Reduktion des Beschleunigungsbegriffs. Die größte Reduktion findet statt, wenn Schülerinnen und Schüler die Beschleunigung der Geschwindigkeit gleichsetzen. Dabei ist eine beschleunigte Bewegung lediglich eine schnelle Bewegung. Mit solch einer Schülervorstellung werden Aufgaben zur Beschleunigung so beantwortet, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt. Einen Unterschied zwischen diesen beiden kinematischen Begriffen gibt es hierbei nicht. Etwas mehr Verständnis zeigt die nächste Schülervorstellung. Die Schülerinnen und Schüler reduzieren die Beschleunigung nicht auf die Geschwindigkeit, sondern auf die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages. Dabei wird aus der vektoriellen Größe eine Zahl. Die positive Beschleunigung beschreibt das Schnellerwerden und die negative Beschleunigung das Langsamerwerden beziehungsweise das Bremsen. Bei dieser Reduktion kann man zwischen der absoluten Änderung des Geschwindigkeitsbetrages und einer relativen Änderung unterscheiden. Letztere bezieht sich auf ein bestimmtes Zeitintervall und stellt die dritte typische Schülervorstellung dar. Die zweite und dritte Schülervorstellung zur Beschleunigung sind in der Schule oft unproblematisch, da dort meistens nur eindimensionale Bewegungen in positive Richtung betrachtet werden. Dafür passt die oben genannte Vorstellung des Schneller- und Langsamerwerdens.

Sie eignet sich jedoch nicht für eine Bewegung in negative Richtung. Fährt nämlich ein Auto in negative Richtung und wird dabei schneller, dann ist die Beschleunigung entgegen des „Schneller-/Langsamerwerden“-Konzepts negativ. Mit diesen Schülervorstellungen wird auch das Verstehen von zweidimensionalen Bewegungen erschwert. Besonders bei Kreisbewegungen oder Kurvenfahrten sind die Schülerinnen und Schüler nicht in der Lage, die Richtung der Beschleunigung anzugeben. Kreisbewegungen mit konstanten Geschwindigkeiten haben dann fälschlicherweise keine Be-

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

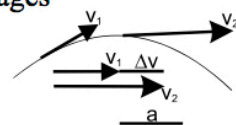


⊖ Beschleunigung ist Änderung des Geschwindigkeitsbetrages: $a = \Delta|\vec{v}|$ ist eine Zahl



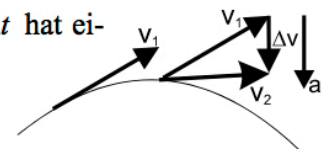
(positive) Beschleunigung = schnellerwerden
negative Beschleunigung = langsamerwerden

⊖ Beschleunigung ist Änderung des Geschwindigkeitsbetrages pro Zeit: $a = \Delta|\vec{v}| / \Delta t$ ist eine Zahl



(positive) Beschleunigung = schnellerwerden
negative Beschleunigung = langsamerwerden

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



schleunigung und Kurvenfahrten mit veränderlichen Geschwin-

Abbildung 1: Typische Schülervorstellungen zur Beschleunigung (aus Wilhelm et al., 2002, S. 6)

digkeiten besitzen nur eine Beschleunigung, die tangential zur Bewegung verläuft. Um solche Aufgaben richtig und vollständig zu bearbeiten, benötigen Schülerinnen und Schüler eine physikalische Vorstellung der Beschleunigung, die vierte Schülervorstellung. Die Beschleunigung muss als vektorielle Größe verstanden werden, die sich aus der Änderung des Geschwindigkeitsvektors und dem dazugehörigen Zeitintervall zusammensetzt und eine Richtung besitzt (vgl. Wilhelm et al., 2002, S. 5ff.).

2.8. Unterrichtskonzepte

Um den Schülerinnen und Schülern die physikalische Vorstellung zu den Begriffen und Phänomenen der Mechanik im Unterricht näher zu bringen, gibt es verschiedene Maßnahmen. Wichtige Aspekte sind dabei der Zeitpunkt der behandelten Inhalte und die Art des Unterrichts.

Für die Sekundarstufe entwickelte Wodzinski bereits vor über 20 Jahren ein Unterrichtskonzept für die Newtonsche Mechanik. Ihr Ziel war es, die Mechanik über die Dynamik einzuführen. Im Mittelpunkt des Unterrichtskonzepts steht der Zusammenhang zwischen der Kraft und der Geschwindigkeitsänderung. Im Unterricht soll zunächst die Newtonsche Bewegungsgleichung

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

eingeführt und verstanden werden, um dies als Ausgangspunkt für weitere Zusammenhänge zu verwenden. Die Geschwindigkeitsänderung beziehungsweise die Zusatzgeschwindigkeit ist hierbei eine vektorielle Größe. Deshalb werden vor der Newtonschen Bewegungsgleichung unter anderem die Geschwindigkeit mit der Pfeilnotation, die Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit, die Änderung der Geschwindigkeit aufgrund von Einwirkungen, die Zusatzgeschwindigkeit in Sonderfällen und die geometrische Vektoraddition behandelt. Nach der Newtonschen Bewegungsgleichung folgenden Beispiele für Kraftfunktionen, das Wechselwirkungsprinzip und die Impulserhaltung. Erst danach wird die Statik thematisiert, die im klassischen Unterricht eine große Rolle einnimmt (vgl. Wodzinski et al., 1994, S. 164).

Wodzinski hat ein Unterrichtskonzept entwickelt, das durch die Einführung und Vertiefung der Zusatzgeschwindigkeit komplett auf den Begriff der Beschleunigung verzichtet. Die Beschleunigung ist jedoch ein wichtiger kinematischer Begriff, den die Schülerinnen und Schüler aus ihrem Alltag bereits vor der Einführung im Unterricht kennen. Durch ihre Alltagserfahrungen haben sie auch schon Vorstellungen zur Beschleunigung, die mehr oder weniger den physikalischen Vorstellungen entsprechen (siehe Abschnitt 2.7.2.). Deshalb sollte die Beschleunigung ein Teil des Unterrichts sein.

Ein interessantes Unterrichtskonzept, das neben der Geschwindigkeit auch die Beschleunigung thematisiert, wurde von Wilhelm und Heuer entwickelt und in zahlreichen Klassen durchgeführt. Es bezieht sich auf den Unterricht der elften Jahrgangsstufe und beabsichtigt, durch den Einsatz des Computers, Fehlvorstellungen zur Mechanik zu vermeiden oder zu verändern.

Nach diesem Konzept werden in der Kinematik zunächst zweidimensionale Bewegungen betrachtet und sowohl die Geschwindigkeit, als auch die Beschleunigung zweidimensional eingeführt (vgl. Wilhelm, 2005A, S. 85). Danach lernen die Schülerinnen und Schüler eindimensionale Bewegungen als Spezialfälle der zweidimensionalen Bewegungen kennen. Dies widerspricht dem herkömmlichen Vorgehen im Unterricht, in

dem zunächst eindimensionale Bewegungen und im Anschluss erst die zweidimensionalen Bewegungen behandelt werden. Die Beschleunigung wird bei solch einer Vorgehensweise anhand von eindimensionalen Bewegungen eingeführt. Ebenfalls findet eine Beschränkung der Bewegung in positive Richtung statt. Diese Elementarisierungen sollen den Schülerinnen und Schülern den Einstieg in das Thema erleichtern. Jedoch entstehen dann Schwierigkeiten bei der Erweiterung des Begriffs, die für zweidimensionale Bewegungen nötig ist (vgl. Wilhelm, 2006, S. 7).

Um dieser Problematik zu entgehen, führen Wilhelm und Heuer zunächst den Begriff der Geschwindigkeit durch die Betrachtung einer Fahrradfahrt ein. Der zurückgelegte Weg und die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt können an einem Computer dargestellt werden. Jedoch fehlt dabei die Ortsangabe. Mit einer Computermouse lässt sich ebenfalls eine Bahnkurve erstellen, durch die zum einen der Unterschied zwischen „Ort“ und „Weg“ und zum anderen der Ortsänderungsvektor verdeutlicht werden. Betrachtet man den Ortsänderungsvektor in einem bestimmten Zeitintervall, so beschreibt der Quotient der beiden Größen die Durchschnittsgeschwindigkeit. Sie ist ebenfalls eine vektorielle Größe, die bei eindimensionalen Bewegungen nur zwei Richtungen hat.

Analog wird über den Geschwindigkeitsänderungsvektor die Beschleunigung als vektorielle Größe eingeführt. Durch die Vektoraddition beziehungsweise –subtraktion gilt für den Geschwindigkeitsänderungsvektor:

$$\vec{v}_{neu} = \vec{v}_{alt} + \Delta\vec{v} \quad \text{bzw.} \quad \Delta\vec{v} = \vec{v}_{neu} - \vec{v}_{alt}$$

In diesem Konzept legen die Entwickler viel Wert auf das Verstehen der Begriffe und verwenden daher wenige Formeln und Rechenaufgaben (vgl. Wilhelm, 2002, S.7ff.). Außerdem werden Lehrerschulungen, fertige Materialien und schriftliche Unterrichtsbeschreibungen zur Orientierung angeboten.

Die beiden vorgestellten Unterrichtskonzepte von Wodzinski und Wilhelm und Heuer wurden für den Unterricht in der Sekundarstufe I und II entwickelt. Jedoch kann es auch nützlich und hilfreich sein, die Inhalte vereinfacht schon vorher im Unterricht einzuführen. Jung, Reul und Schwedes veröffentlichten bereits im Jahr 1977 die Ergebnisse ihrer Untersuchung, in der die traditionellen Inhalte der Mechanik auf einem elementaren Niveau in den Klassenstufen drei bis sechs behandelt wurden. Dabei wollten sie herausfinden, wie die kinematisch-dynamischen Begriffe in diesen Klassen gelernt werden und welche Lernangebote und Lerngelegenheiten hilfreich sein können. Sie führten vor und nach Abschluss der Lernsequenz einen Mechaniktest durch und berücksichtigen

dabei auch Intelligenzfaktoren. Die Studie zeigte, dass es sinnvoll ist, schon früh passende Vorstellungen im Unterricht aufzubauen. Um im Unterricht nicht gegen gefestigte Schülervorstellungen arbeiten zu müssen, werden vielfältige Bewegungen behandelt, bevor die Schülerinnen und Schüler damit selbst Erfahrungen im Alltag machen. Dadurch werden ein späteres Umlernen der Begriffe und die entstehenden Lernschwierigkeiten verhindert. Besonders in der vierten Klasse zeigte sich bei vielen ein großer Lernerfolg. Dort war es sogar für die schlechtesten Schülerinnen und Schüler möglich, die behandelten Inhalte noch gut zu lernen. Nach Jung et al. sollte der Mechanikunterricht daher früher als in der Mittelstufe, am besten bereits in der Grundschule auf elementaren Niveau stattfinden (vgl. Jung et al., 1977).

3. Die Untersuchung

Seit ungefähr 50 Jahren untersuchen verschiedene Arbeitsgruppen Schülervorstellungen zu unterschiedlichen Themengebieten der Physik. Im Bereich der Mechanik gehört die Beschleunigung zu diesen Themengebieten. Bis jetzt fanden sie heraus, welche typischen Schülervorstellungen es zur Beschleunigung gibt und es wurden Unterrichtskonzepte entwickelt, die den Schülerinnen und Schülern die passende physikalische Vorstellung näherbringen.

Das Ziel der hier durchgeführten Erhebung ist zu untersuchen, ob und in welchem Ausmaß die typischen Schülervorstellungen zur Beschleunigung aus Abschnitt 2.7.2. bei Schülerinnen und Schülern an hessischen Schulen auftreten. Neben diesem Schwerpunkt stellte sich außerdem die Frage, ob die Schülervorstellungen mit der Reihenfolge der behandelten Themen im Unterricht und den Ansichten der Lehrerinnen und Lehrer zusammenhängt. Aufgrund dessen wurden insgesamt 346 Schülerinnen und Schüler aus 20 Klassen an 13 hessischen Gymnasien getestet. Die Gymnasien befinden sich in und in der Umgebung von Frankfurt am Main. Die Schülerinnen und Schüler besuchten zu dem Zeitpunkt der Untersuchung die Einführungsphase der hessischen Oberstufe. Für die Erhebung eignete sich das Ende des zweiten Schuljahres, also kurz vor den Sommerferien, da dort die meisten Klassen die Kinematik und Dynamik behandelt hatten. Die Einführungsphase beinhaltet unter anderem folgende Themen: gleichförmige und beschleunigte Bewegungen, die im eindimensionalen und zweidimensionalen Fall betrachtet werden, sowie den senkrechten und waagerechten Wurf.

Die Untersuchung war anonym und wurde schriftlich in Form eines Ankreuztests durchgeführt. Dieser besaß acht Aufgaben, die bereits vorherige Untersuchungen ver-

wendeten. Bei jeder Aufgabe sollten sich die Schülerinnen und Schüler zwischen den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten entscheiden und immer nur eine, ihrer Meinung nach die richtige Antwort ankreuzen. Es handelt sich also um Single-Choice-Aufgaben, ein Spezialfall von Multiple-Choice-Aufgaben. Solche Aufgaben haben immer eine Aufgabenstellung als Stamm und anschließend eine Auswahl an vorgegebenen Antworten. Gehören zu mehreren Aufgabenstellungen dieselben Antwortmöglichkeiten, so handelt es sich um Zuordnungsaufgaben, einer Variante der Multiple-Choice-Aufgaben. Der Ersteller der Aufgaben und der Antwortmöglichkeiten muss beachten, dass diese nicht zu abwegig klingen und sie ebenfalls nicht durch anderes Wissen aus den Naturwissenschaften beantwortet werden können.

Um die richtige Antwort zu geben, benötigen die Schülerinnen und Schüler ein gewisses Verständnis des physikalischen Konzepts. Jedoch besteht die Möglichkeit, bei solchen Aufgabentypen die richtige Antwort zu erraten, worunter die Reliabilität leidet. Um dies zu umgehen, sollten möglichst viele Antworten zur Auswahl stehen und die Aufgabe am besten zweistufig aufgebaut sein. Das bedeutet, dass neben der Ankreuzaufgabe eine Begründung verlangt wird. Dadurch kann man bei der Auswertung nachvollziehen, wieso diese eine Antwort gewählt wurde (vgl. Häußler et al., 1998, S. 74ff.).

Für die hier durchgeführte Untersuchung wurde bewusst diese Art der Aufgaben im Hinblick auf die Auswertung gewählt. Somit konnte eine gewisse Objektivität bei der Auswertung der Fragebögen gewährleistet werden. Sie wurden mit der webbasierten Software „EvaSys“ erstellt. Dort können die Fragebögen automatisch ausgewertet werden, was sich aufgrund der hohen Teilnehmeranzahl anbot. Dafür mussten jedoch einige Aufgaben geändert werden. Bei Aufgaben, in denen in der Originalversion die Lösung eingezeichnet werden sollte, zum Beispiel die Richtung der Beschleunigung, wurden in diesem Test verschiedene Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Die Schülerinnen und Schüler mussten sich für eine vorgegebene Möglichkeit entscheiden, auch wenn sie selbst bei offenen Aufgaben eine andere Antwort gegeben hätten. In jeder Aufgabe besteht als letztes immer die Möglichkeit, keine der dargestellten Antworten zu wählen.

3.1. Die Aufgaben

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Aufgaben vorgestellt. Die Aufgaben 1 bis 4 beziehen sich auf eindimensionale Bewegungen während die Aufgaben 5 bis 8 auch zweidimensionale Bewegungen behandeln.

3.1.1. Aufgabe 1: Geschwindigkeits-Zeit-Graphen

Zunächst wird in dieser Aufgabe die Situation geschildert. Ein Spielzeugauto bewegt sich entlang einer horizontalen Linie nach rechts oder nach links. Dabei ist rechts die positive und links die negative Richtung.

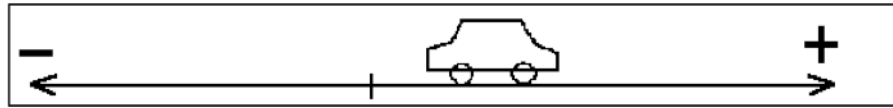


Abbildung 2: Mögliche Fahrtrichtungen des Autos in Aufgabe 1 (Geschwindigkeits-Zeit-Graphen)

Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler ist nun, zu den sechs gegebenen Geschwindigkeits-Zeit-Graphen das passende Vorzeichen der Beschleunigung zu bestimmen. Neben jedem Graphen stehen rechts die Antwortmöglichkeiten. Für das Vorzeichen der Beschleunigung stehen „negativ“, „null“, „positiv“ und „weder noch“ zur Verfügung. Folgende Graphen sollten bearbeitet werden:

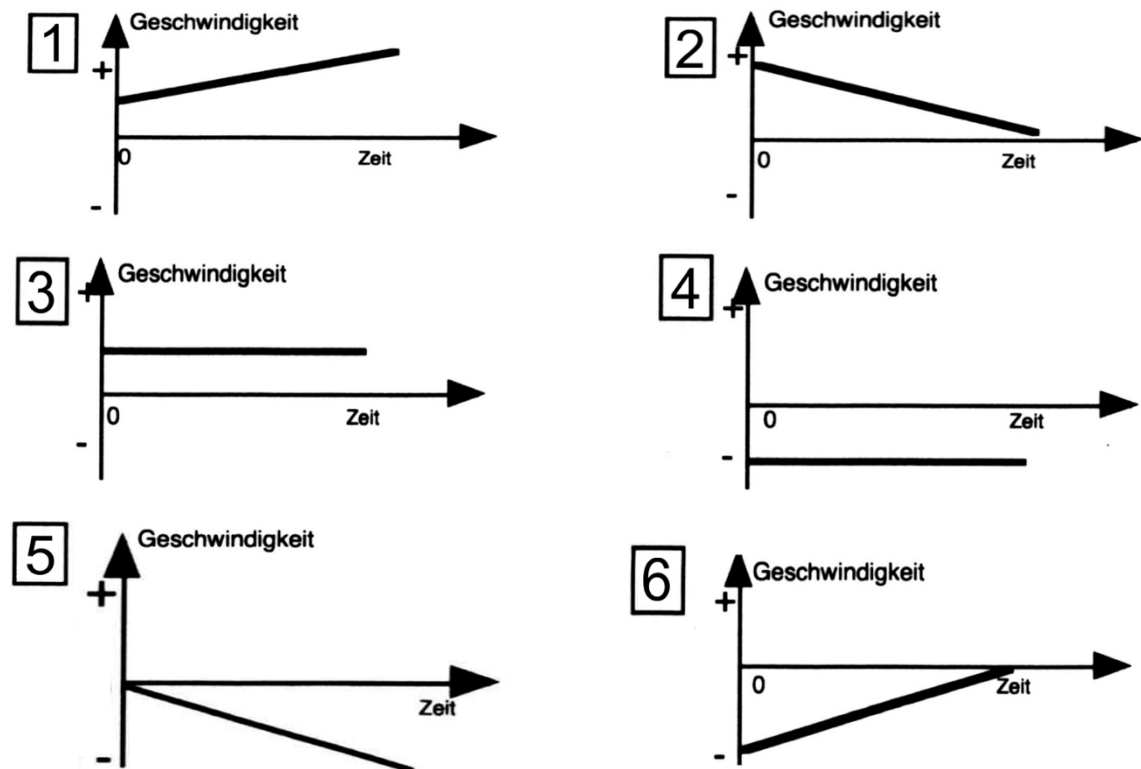


Abbildung 3: Vorgegebene Geschwindigkeits-Zeit-Graphen in Aufgabe 1

Während die Diagramme 1 und 6 eine positive Beschleunigung haben, ist sie bei den Diagrammen 3 und 4 null und bei den Diagrammen 2 und 5 negativ.

3.1.2. Aufgabe 2: Der Münzwurf

Die Situation ist folgende: Eine Münze wird gerade hoch in die Luft geworfen. Sie bewegt sich also nach dem Loslassen hoch, erreicht ihren höchsten Punkt und fällt anschließend herunter. Die Aufgabe besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil ist nach dem Vorzeichen der Beschleunigung der geworfenen Münze für die drei Fälle „aufwärts“, „Umkehrpunkt“ und „abwärts“ gefragt. Hierbei ist aufwärts die positive Richtung. Als Antwortmöglichkeiten erhielten die Schülerinnen und Schüler „negativ“, „positiv“, „null“ und „Keine der Möglichkeiten“. Im zweiten Teil der Aufgabe soll die Richtung der Beschleunigung bestimmt werden. Für die drei beschriebenen Fälle stehen erneut vier Antwortmöglichkeiten zur Verfügung. Diesmal sind es zwei Pfeile, von denen einer senkrecht

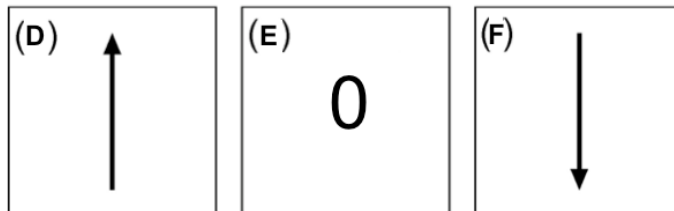


Abbildung 3: Vorgegebene Antwortmöglichkeiten für die Richtung der Beschleunigung in Aufgabe 2 (Münzwurf)

nach oben und der andere senkrecht nach unten zeigt und die Null für keine Richtungsangabe. Die vierte Möglichkeit ist wie im ersten Teil „Keine der Möglichkeiten“.

3.1.3. Aufgabe 3: Beschleunigungs-Zeit-Graphen

Analog zur ersten Aufgabe bezieht sich diese Aufgabe auf ein Spielzeugauto, das sich nur nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie bewegt.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten in den einzelnen Teilaufgaben Beschreibungen unterschiedlicher Bewegungen des Autos, denen sie einen passenden Beschleunigungs-Zeit-Graphen zuordnen sollen. Die sechs Teilaufgaben sind unabhängig voneinander zu bearbeiten und stellen jeweils eine andere Bewegung des Autos dar.

Den Schülerinnen und Schülern stehen insgesamt acht vorgegebene Beschleunigungs-Zeit-Graphen zur Verfügung. Jeder einzelne Graph darf mehrmals oder auch gar nicht ausgewählt werden. Finden sie keinen passenden Graphen, so gibt es die Möglichkeit, „Keiner der Graphen“ anzukreuzen.

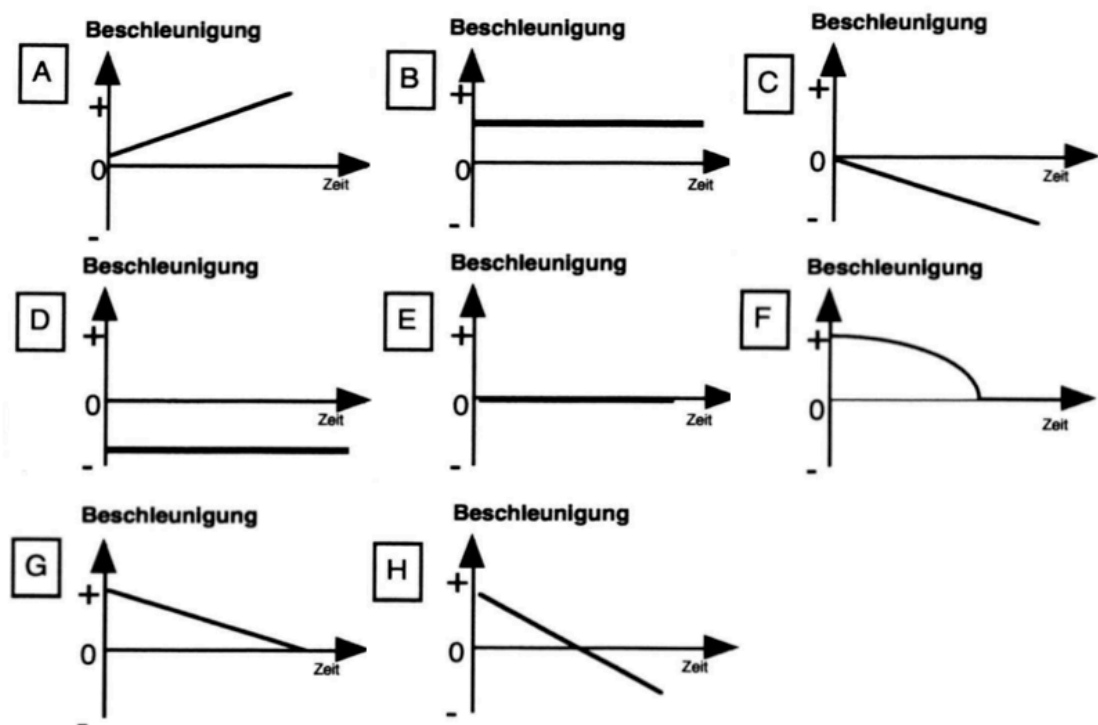


Abbildung 4: Vorgegebene Beschleunigungs-Zeit-Graphen in Aufgabe 3

In den ersten drei Teilaufgaben bewegt sich das Auto nach rechts, also in positive Richtung und in den letzten drei Teilaufgaben in negative Richtung, also nach links. Dabei fährt es jeweils im ersten Fall mit einer konstanten Geschwindigkeit, im zweiten Fall wird es gleichmäßig immer schneller und im dritten Fall gleichmäßig immer langsamer.

3.1.4. Aufgabe 4: Stroboskopbild

In dieser Aufgabe wird folgendes Bild gezeigt:

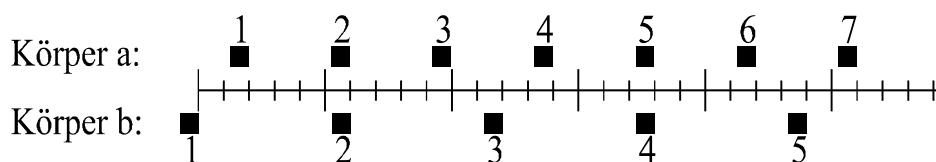


Abbildung 5: Stroboskopbild

Es werden die Positionen von Körper a und Körper b, die sich nach rechts bewegen, in gleichen zeitlichen Abständen dargestellt. Die Schülerinnen und Schüler sollen die Beschleunigungen der beiden Körper miteinander vergleichen und entscheiden, in welchem Zusammenhang sie stehen. Fünf Antwortmöglichkeiten sind gegeben:

1. Die Beschleunigung von „a“ ist größer als die Beschleunigung von „b“.
2. Die Beschleunigung von „a“ ist gleich der Beschleunigung von „b“. Beide sind größer als $0 \frac{m}{s^2}$.
3. Die Beschleunigung von „b“ ist größer als die Beschleunigung von „a“.
4. Die Beschleunigung von „a“ und die Beschleunigung von „b“ sind gleich $0 \frac{m}{s^2}$.
5. Die Informationen reichen für eine Antwort nicht aus

3.1.5. Aufgabe 5: Klotz auf der Rampe

Ein Klotz rutscht entlang einer reibungslosen Rampe. In der vorhandenen Graphik werden drei Positionen des Klotzes dargestellt und mit I, II und III benannt. Daneben befinden sich in Form eines Sterns die Pfeile A bis H.

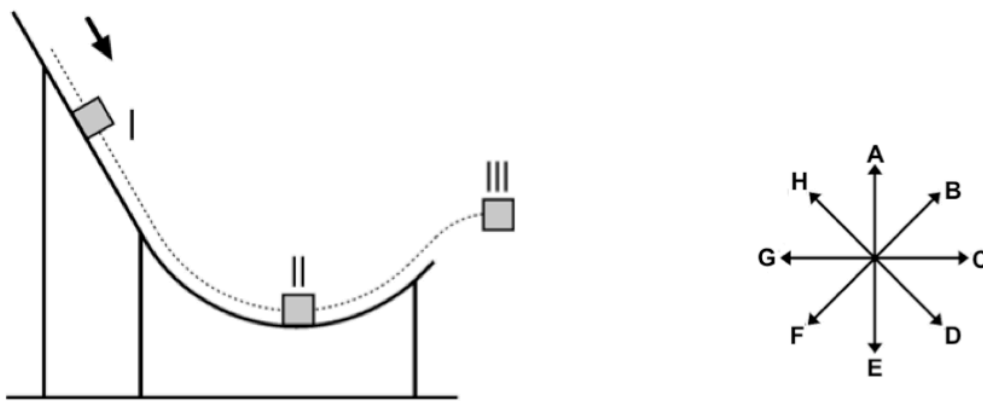


Abbildung 7: Positionen des Klotzes auf der Rampe (links), vorgegebene Pfeilmöglichkeiten (rechts)

In den drei Teilaufgaben sollen die Schülerinnen und Schüler einen Pfeil auswählen, der jeweils die Richtung der Beschleunigung des Klotzes in Position I, II und II am besten vertritt. Die Antworten wurden für jede Teilaufgabe bewusst auf sechs Möglichkeiten beschränkt. Dies sind Pfeile, die am ehesten den Antworten von Schülerinnen und Schülern mit typischen Schülervorstellungen entsprechen. Für Position I sind die Pfeile A,B,D,E und H angegeben, für Position II A,B,C,E und G und für Position III B,C,D,E und G. Als sechste Antwortmöglichkeit steht zusätzlich „Keinen der Pfeile, die Beschleunigung ist 0“ zur Verfügung.

3.1.6. Aufgabe 6: Rennstrecke

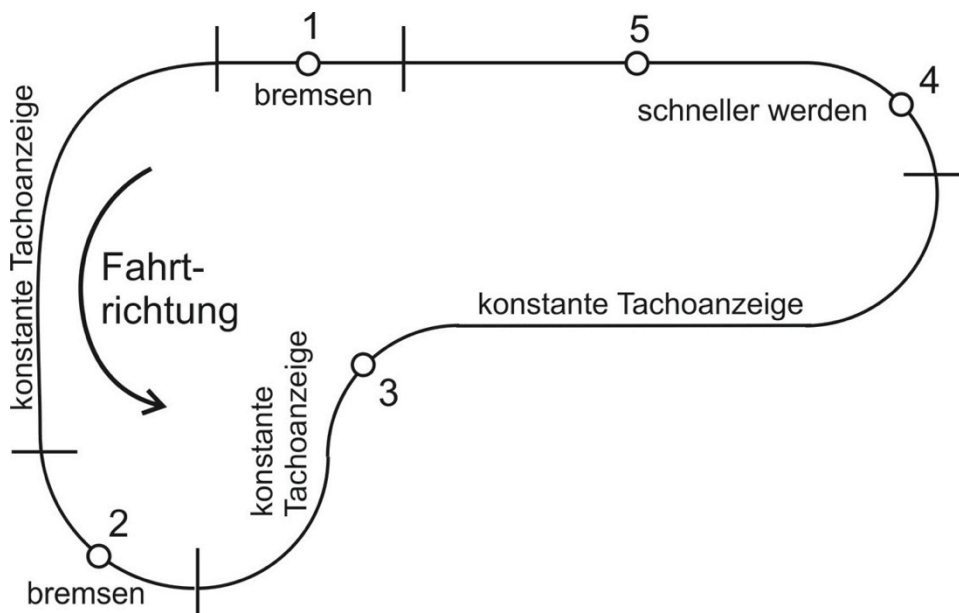


Abbildung 8: Rennstrecke

Ein Auto fährt auf einer Rennstrecke, wird dort schneller, bremst ab und fährt auch in bestimmten Bereichen mit konstanter Geschwindigkeit. Auf der abgebildeten Rennstrecke sind die einzelnen Streckenabschnitte, die Fahrweise des Autos und die Ortspunkte 1 bis 5 markiert. Die Aufgabe ist nun, für jeden der Ortspunkte einen Pfeil zu finden, der die Beschleunigung dort am besten darstellt. In der Aufgabe befindet sich neben der Rennstrecke der Stern bestehend aus den möglichen Pfeilen aus Aufgabe 5. Jedoch ist die Auswahl der Pfeile für jeden Ortspunkt wieder beschränkt:

- Ortspunkt 1: Pfeile C,D,E,F,G
- Ortspunkt 2: Pfeile A,B,C,D,H
- Ortspunkt 3: Pfeile B,C,D,F,H
- Ortspunkt 4: Pfeile D,E,F,G,H
- Ortspunkt 5: Pfeile C,E,F,G,H

Für jeden Ortspunkt kann außerdem wieder „Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0“ angekreuzt werden.

3.1.7. Aufgabe 7: Hügelfahrt

Ein Auto fährt über den Scheitelpunkt eines Hügels und bremst danach ab, wendet aber nicht. In dieser Aufgabe ist nach der ungefähren Richtung der Beschleunigung zu dem dargestellten Zeitpunkt des Autos gefragt. Zur Auswahl stehen fünf Pfeile, die passend

zu den Antworten nach typischen Schülervorstellungen gewählt wurden und die Antwort „Keiner der Pfeile“.

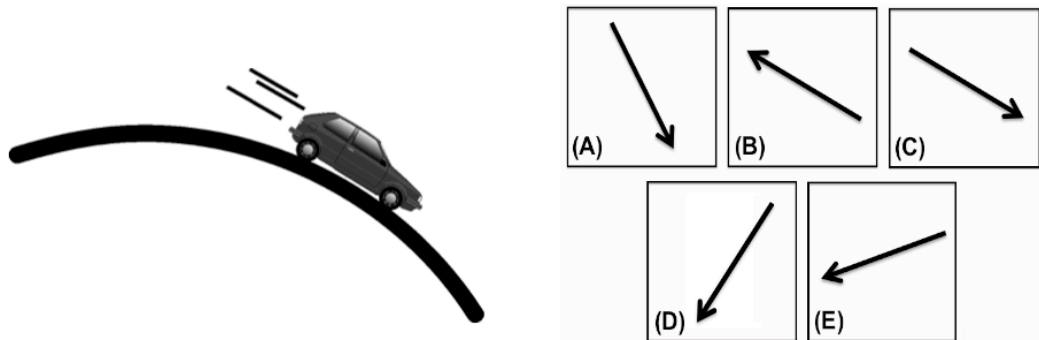


Abbildung 9: Hügelfahrt des Autos (links), vorgegebene Antwortmöglichkeiten für die Richtung der Beschleunigung (rechts)

3.1.8. Aufgabe 8: Mond um die Erde

In dieser Aufgabe geht es um die Geschwindigkeit des Mondes, der sich um die Erde bewegt. Die linke Abbildung zeigt den Ort des Mondes zu zwei Zeitpunkten. Diese Zeitpunkte liegen ungefähr sieben Tage auseinander.

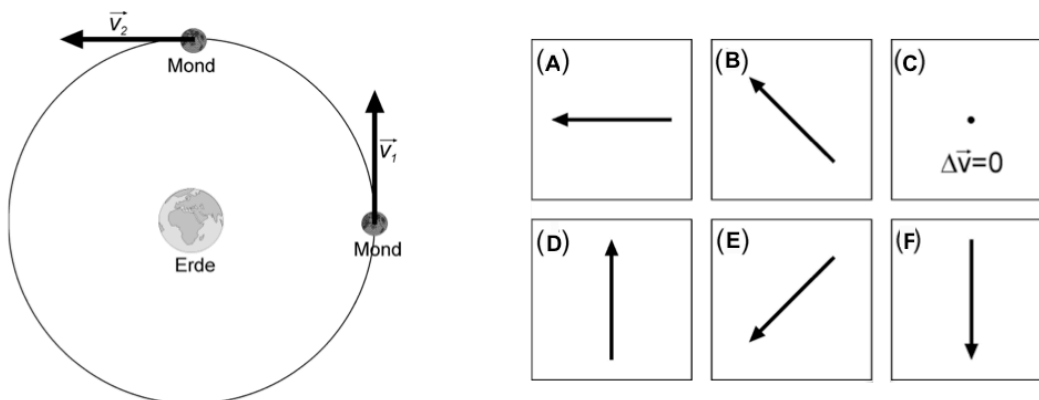


Abbildung 10: Bewegung des Mondes (links), vorgegebene Antwortmöglichkeiten für die Änderung der Geschwindigkeit (rechts)

Die Schülerinnen und Schüler sollen eine der vorgegebenen Wahlmöglichkeiten wählen, die die Änderung der Geschwindigkeit des Mondes in dem oben genannten Zeitintervall am besten darstellt.

3.2. Quellen und Verwendungen der Aufgaben

Die im Test verwendeten Aufgaben wurden bereits in älteren Untersuchungen eingesetzt. Einige dieser Untersuchungen werden hier kurz beschrieben und deren Ergebnisse nach der Auswertung der hier durchgeführten Erhebung in 4.1.10 vorgestellt. Wenn im Folgenden die Jahreszahlen von Untersuchungen genannt werden, so sind es die Jahre, in denen die Ergebnisse schriftlich veröffentlicht wurden. Die Untersuchungen selbst müssen dabei nicht in diesen Jahren stattgefunden haben.

Aufgabe	Treffer (1989/ 1990)	Hestenes, Wells (1992)	Wilhelm (1994)	Flores et al. (2004)	Wilhelm (2005A)	Wilhelm (2005B)	Wilhelm (2007)	FCI
1								
2	X		X		X		X	
3	X		X		X			
4					X	X		X
5		X					X	
6					X		X	
7				X			X	
8				X			X	

Tabelle 1: Verwendung der Aufgaben in älteren Studien. Die Aufgaben des Tests wurden von den Studien mit dem fettgedruckten Kreuz übernommen.

Die erste Aufgabe zu den Geschwindigkeits-Zeit-Graphen wurde noch in keiner älteren Untersuchung verwendet, da Wilhelm sie 2016 in Anlehnung an die dritte Aufgabe erstellte. Ziel dieser Aufgabe war es, die Schülerinnen und Schüler mit einer einfachen Aufgabe zu Beginn des Tests für die kommenden Aufgaben zu motivieren.

Die Münzwurf-Aufgabe stammt so, wie sie in diesem Test eingesetzt wurde, von Wilhelm. Im Jahr 2005 verwendete er die Aufgabe in verschiedenen Tests für Schülerinnen und Schüler, die die Einführungsphase des Gymnasiums besuchten. Es gab Vor- und Nachtests für Versuchs- und Vergleichsklassen. Die Versuchsklassen wurden nach einem Unterrichtskonzept für den Kinematik- und Dynamikunterricht unterrichtet, das den Schülerinnen und Schülern das Verstehen der Newtonschen Mechanik erleichtern sollte. Dafür wurden geeignete bildliche Repräsentationen im Unterricht verwendet. 13 Lehrerinnen und Lehrer verwendeten in 17 Klassen im Schuljahr 2002/2003 dieses Unterrichtskonzept. Die dazu durchgeführten Tests beinhalteten Aufgaben zur zweidimen-

sionalen Kinematik, die Kinematik und Dynamik zu eindimensionalen Bewegungen und Aufgaben des FCI-Tests. Je nach Test gab es 10 bis 18 Vergleichsklassen, die traditionell, also nicht nach dem Unterrichtskonzept unterrichtet wurden (vgl. Wilhelm, 2005A).

Desweiteren verwendete Wilhelm 2007 die Münzwurf-Aufgabe in einem Test für Studentinnen und Studenten zur Untersuchung der grundlegenden Fähigkeiten in Mathematikvorkursen der Universität Würzburg. Da der Test aus zwei Teilen bestand, zum einen aus mathematischen Aufgaben und Aufgaben mit physikalischen Kontexten und zum anderen aus Aufgaben, bei denen das vektorielle Verständnis der Beschleunigung in der Kinematik und Dynamik im Vordergrund standen, wurde im Jahr 2005 der erste Teil bei 239 Teilnehmerinnen und Teilnehmern eingesetzt und der zweite Teil ein Jahr später bei 251 Studentinnen und Studenten (vgl. Wilhelm, 2007).

Bereits 1994 kam die Münzwurf-Aufgabe in einer Untersuchung von Wilhelm zur Vorstellung zum ersten und zweiten Newtonschen Gesetz vor, die Schülerinnen und Schüler der elften Jahrgangsstufe nach dem Dynamikunterricht hatten. Im Schuljahr 1994/1995 wurden dafür unter anderem 188 Schülerinnen und Schüler aus zehn konventionell unterrichteten Klassen von ober- und unterfränkischen Gymnasien getestet (vgl. Heuer et al., 1997 und Wilhelm, 2005A).

Die Formatierung der Aufgabe sah damals jedoch folgendermaßen aus:

Situation: Die Fragen 26-28 beziehen sich auf eine Münze, die gerade hoch in die Luft geworfen wurde. Nachdem sie losgelassen wurde, bewegt sie sich hoch, erreicht ihren höchsten Punkt und fällt wieder herunter.
Aufgabe: Wähle eine der folgenden Möglichkeiten (A bis C), um das Vorzeichen der Beschleunigung der Münze für jeden der unten beschriebenen Fälle zu zeigen. Nimm aufwärts als die positive Richtung. Antworte mit J, wenn Du denkst, daß keine der Möglichkeiten A bis C richtig ist.
 Markiere zusätzlich auf dem Antwortblatt mit einem Pfeil ($\downarrow$, 0, $\uparrow$) die Richtung der Beschleunigung.

Die Beschleunigung ist	A. negativ
	B. null
	C. positiv

- ☞ 26. Die Münze bewegt sich aufwärts, nachdem sie losgelassen wurde.
- ☞ 27. Die Münze ist an ihrem höchsten Punkt.
- ☞ 28. Die Münze bewegt sich abwärts.

Abbildung 11: Münzwurf-Aufgabe aus dem Test von Wilhelm (1994)

Es gibt keine Bilder, die zum Verstehen der Aufgabe helfen könnten und der Text wirkt zusammengedrückt, was das Lesen der Aufgabe erschwert. Im Vergleich dazu ist die Aufgabe aus dem Test von 2005 viel übersichtlicher und enthält Bilder. Daher wurde für den hier verwendeten Test die Version der Münzwurf-Aufgabe von 2005 übernommen.

Der erste Teil der Münzwurf-Aufgabe, also nur die Bestimmung des Vorzeichens der Beschleunigung, wurde ebenfalls von Treffer im Jahr 1988 eingesetzt. Er testete den Lernerfolg in der Mechanik an 426 Schülerinnen und Schülern in 18 Klassen der elften Jahrgangsstufe mithilfe von Multiple-Choice-Aufgaben und kleinen Teilen, in denen Diagramme gezeichnet werden sollten. Die Untersuchung fand an acht Gymnasien aus dem unterfränkischen Raum zwei bis vier Wochen nach dem Unterricht statt. Der Test beinhaltete neben dem ersten Teil der Münzwurf-Aufgabe unter anderem auch Aufgaben zu Orts-Zeit-, Geschwindigkeits-Zeit- und Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen (vgl. Treffer, 1989/1990). Die Aufgabe zu den Beschleunigungs-Zeit-Diagrammen ähnelt der dritten Aufgabe des hier verwendeten Tests.

Die Aufgabe zu den Beschleunigungs-Zeit-Graphen dieses Tests ist ebenfalls von Wilhelm. Sie wurde in derselben Form aus dem Test der Studie von 2005 übernommen. Allerdings gibt es in der Aufgabe von Wilhelm zwei Teilaufgaben (Aufgabe 7 und 8 der zweiten Aufgabe), die in diesem Test weggelassen wurden. Er überarbeitete die Originalaufgabe, die von Thornton stammt (vgl. Wilhelm, 2005A). Auf seine Studien wird hier nicht weiter eingegangen, da die überarbeitete Aufgabe vom Original abweicht und nur ein Vergleich zu den Ergebnissen aus 2005 stattfinden soll. In Deutschland verwendete wie erwähnt Treffer die Aufgabe in seinem Test. Jedoch weicht sowohl die Formulierung der Aufgabe und die vorgegebenen Beschleunigungs-Zeit-Graphen, als auch die Formulierung der Aufgabenstellung und der Situationsbeschreibungen von der Version aus 2005 ab (vgl. Treffer, 1990). Anders ist es bei der Aufgabe von Wilhelm im Test von 1994. Seine Versionen aus den Jahren 1994 und 2005 weichen nur minimal voneinander ab. Es wurden zwei weitere Aufgabenteile hinzugefügt und neben einigen Beschleunigungs-Zeit-Graphen wurde auch die Platzierung der Graphen verändert.

Die vierte Aufgabe mit dem Stroboskopbild ist die 21. Aufgabe des FCI-Tests. Der „Force Concept Inventory“-Test ist ein standardisiertes Diagnoseinstrument, das in den USA weit verbreitet ist. Es wurde von Hestenes, Wells und Swackhamer entwickelt und im Jahr 1992 vorgestellt. Der Test soll durch Denkaufgaben das qualitative Verständnis der Newtonschen Mechanik an High-Schools, Colleges und Universitäten bestimmen. Zunächst bestand der Test aus 29 Multiple-Choice-Aufgaben mit je fünf vorgegebenen Antwortmöglichkeiten. Im Jahr 1997 wurde er überarbeitet und auf 30 Items erweitert. Die Aufgaben beziehen sich inhaltlich auf die Kinematik, das erste, zweite und dritte

Newtonsche Axiom, die Superposition und die Kraftarten (vgl. Härtig, 2014, S. 1). Die vorgegebenen Antwortalternativen wurden anhand von typischen Schülervorstellungen gewählt und beabsichtigen bewusst eine Entscheidung zwischen dem Newtonschen Konzept und den Alltagsvorstellungen. Im Jahr 1992 wurde der englische FCI-Test in die deutsche Sprache übersetzt und in verschiedenen Untersuchungen eingesetzt. Beispielsweise setzte Wilhelm den deutschen FCI-Test als Vor- und Nachtest bei 13 herkömmlich unterrichteten elften Klassen aus fünf bayerischen Gymnasien im Schuljahr 2003/2004 ein und Vergleich die Ergebnisse 2005 mit den Klassen, die nach seinem Unterrichtskonzept unterrichtet wurden (vgl. Wilhelm, 2005B).

Hestenes und Wells entwickelten 1992 einen Test, der das Verständnis von Schülerinnen und Schülern über die grundlegenden Konzepte der Mechanik prüft. Diesen Test nannten sie aufgrund dessen „Mechanics Baseline Test“ (MBT). Er folgt als nächster Schritt nach dem FCI-Test. Während der FCI-Test Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag durch Aufgaben, die ohne formale Übung gelöst werden können, untersucht, ist beim MBT dies nicht möglich. Zur Bearbeitung der Aufgaben benötigen die Testpersonen ein bestimmtes Wissen über die Mechanik. Der MBT besteht wie der FCI-Test auch aus Multiple-Choice-Aufgaben und es gibt dort keine Aufgaben, die nur durch Einsetzen von Zahlen in Formeln gelöst werden können. Es soll nämlich das qualitative Verständnis untersucht werden. Die Aufgabe mit dem Klotz auf der Rampe ist eine dieser Aufgaben in dem Test, die zum Lösen ein qualitatives Verständnis benötigen. Auch Studentinnen und Studenten wurden von Hestenes und Wells untersucht. Die Testpersonen zeigten einige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgaben, was nach den Autoren auf Defizite im Verständnis der grundlegenden Konzepte der Mechanik hinweist (vgl. Hestenes, 1992). In Deutschland wurde die „Klotz auf der Rampe“-Aufgabe von Wilhelm in seiner Untersuchung aus dem Jahr 2007 verwendet. Im Vergleich zu dieser Untersuchung weicht die Aufgabe in dem hier verwendeten Test ab. Die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten wurden teilweise verändert und jede Unteraufgabe mit einer weiteren Antwortmöglichkeit ergänzt.

Die sechste Aufgabe des Tests, bei der die Richtung der Beschleunigung an den markierten Ortspunkten der Rennstrecke angegeben werden soll, war Teil des Tests von Wilhelm aus dem Jahr 2005. Er verwendete sie ebenfalls in seiner Untersuchung im Jahr 2007. Die Rennstreckenaufgabe aus dem hier eingesetzten Test weicht von der

Originalaufgabe ab, da verschiedene Antwortmöglichkeiten bereits gegeben sind und keine Pfeile, wie es im Original die Aufgabe war, eingezeichnet werden müssen. Auch die Ecke vom Ortspunkt 2 wurde so angepasst, dass einer der acht Pfeile aus dem abgebildeten „Pfeilstern“ die Richtung der Beschleunigung angibt. Ohne diese Anpassung würde der richtige Pfeil zwischen zwei angegebenen Pfeilen aus dem Stern liegen.

Sowohl die „Hügelfahrt“-, als auch die „Mond um die Erde“-Aufgabe stammen von Flores, Kanim und Kautz. In deren Untersuchung wurde getestet, ob sich Studentinnen und Studenten das zweite Newtonsche Gesetz als eine Gleichung aus Vektoren vorstellen und damit umgehen können. Die Hauptfragen dabei waren, ob Studentinnen und Studenten merken, dass sich das zweite Newtonsche Gesetz auch auf die Richtung der Kraft und der Beschleunigung bezieht, ob sie das Vorgehen bei der Vektoraddition und -subtraktion verstehen und ob sie die Kraft und die Beschleunigung als vektorielle Größen erörtern können. Flores et al. verglichen in ihrer Untersuchung drei verschiedene Arten von Unterricht miteinander: es gab die traditionell unterrichteten Kurse, in denen keine Anpassung des Inhalts oder der Stunden vorgenommen wurden, Kurse, in denen neben der Vorlesung auch ein Tutorium stattfand und Kurse, die bewusst den Schwerpunkt auf das Verstehen von und den Umgang mit Vektoren legten. Im Tutorium der zweiten Unterrichtsart gab es keinen speziellen Schwerpunkt. Diese Unterrichtarten wurden in Einführungskursen der Physik in der University of Washington, Syracuse University und New Mexico State University durchgeführt. Nach den Kursen wurden die Studentinnen und Studenten zu verschiedenen Aufgaben befragt. Die „Hügelfahrt“- und „Mond um die Erde“-Aufgabe gehören zu dem Bereich, der das Verstehen von Vektoren in kinematischen Kontexten testet.

In deutschen Untersuchungen fanden die beiden Aufgaben Verwendung in dem zuvor beschriebenen Test von Wilhelm im Jahr 2007.

Bei der „Hügelfahrt“-Aufgabe, die in dem hier verwendeten Test eingesetzt wurde, musste die Richtung der Beschleunigung nicht wie in den Originalaufgaben per Hand eingezeichnet werden, sondern es wurden sechs Antwortalternativen vorgegeben. Dies kann das Antwortverhalten der Schülerinnen und Schüler verändern.

3.3. Der Lehrerfragebogen

Neben den Schülervorstellungen zur Beschleunigung sollte zusätzlich untersucht werden, ob diese von den Ansichten der Lehrerinnen und Lehrer und der gewählten Reihenfolge der Unterrichtsthemen abhängen. Dafür erhielten die Lehrkräfte einen Fragebogen, der vier Fragen beinhaltete.

Zunächst war nach der Reihenfolge der behandelten Themen im Unterricht gefragt. Dafür sollten die Lehrkräfte die vorgegebenen Themen durchnummerieren.

..... Eindimensionale Kinematik
..... Wurfbewegungen
..... Zweidimensionale Kinematik bzw. Kreisbewegung
..... Eindimensionale Dynamik bzw. Kräfte bei eindimensionalen Bewegungen
..... Kräfte bei zweidimensionalen Bewegungen
..... Impuls
..... Energie

Abbildung 12: Themen der Mechanik. Im Lehrerfragebogen zur Bestimmung der Reihenfolge der Themen im Unterricht vorgegeben.

Als nächstes wurde gefragt, was den Lehrerinnen und Lehrern beim Unterrichten der Beschleunigung wichtig ist. In den letzten beiden Fragen ging es darum, welche Schwierigkeiten sie für Schülerinnen und Schüler in Bezug auf das Verstehen und Lernen der Beschleunigung sehen und wie sie die Beschleunigung in ihrem Unterricht eingeführt beziehungsweise wiederholt haben.

4. Auswertung

Während der Erhebung wurde sichergestellt, dass die Schülerinnen und Schüler ausreichend Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben hatten. Sie hatten keinen Zeitdruck und durften so lange an den Aufgaben arbeiten, bis sie fertig waren. Dadurch wurde versucht zu verhindern, dass die Schülerinnen und Schüler die Aufgaben unüberlegt beantworten, ohne sie sich im Detail durchzulesen oder die letzten Aufgaben aus zeitlichen Gründen unbeantwortet lassen. Anhand von nicht bearbeiteten Aufgaben kann man daher vermuten, dass die Schülerinnen und Schüler überfragt waren und keine Vorstellungen zu den Inhalten der Aufgabe hatten.

Desweiteren wurden die Schülerinnen und Schüler während der Erhebung gebeten, nicht von ihren Nachbarn abzuschreiben oder sich über die Aufgaben auszutauschen, da

hier die eigenen Vorstellungen im Vordergrund stehen und es dadurch keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten gibt. Bei Fragen zu den Aufgaben wurden keine Hilfen gegeben. Die Schülerinnen und Schüler sollten die Aufgabenstellung erneut lesen und so antworten, wie sie es für richtig halten. Für die Lehrperson waren die Aufgaben ebenfalls unbekannt, wodurch sie keine Hilfestellungen geben konnte.

Die Auswertung der Fragebögen erfolgt anhand der gegebenen Antworten der Schülerinnen und Schüler. Da es sich bei den Aufgaben um Single-Choice-Aufgaben handelt, die nicht begründet werden mussten, wurden bei der Auswertung nur die Antworten miteinbezogen, bei denen die Schülerinnen und Schüler eindeutige Kreuze gesetzt haben. Wenn keine, zwei oder mehrere Antwortmöglichkeiten ausgewählt wurden, fielen diese Antworten in die Kategorie „unbeantwortet“. Das Evaluationsprogramm „EvaSys“ liest aus den eingescannten Fragebögen die angekreuzten Felder eigenständig heraus. Nur bei einigen Aufgaben mussten aufgrund von undeutlichen Kreuzen die Antworten per Hand eingegeben werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Aufgaben vorgestellt. Durch die Diagramme und Tabellen sollen sowohl die Häufigkeiten der Antworten, als auch die damit verbundenen Schülervorstellungen zur Beschleunigung dargestellt werden. Bei den ersten vier Aufgaben wird eine weitere Schülervorstellung betrachtet, bei der die Beschleunigung lediglich dem Tempo entspricht. In den weiteren Aufgaben wird sie jedoch nicht mehr erwähnt, da Aufgaben, die nach der Richtung der Beschleunigung fragen für Schülerinnen und Schüler mit dieser Vorstellung theoretisch nicht lösbar sind. Für sie hat die Beschleunigung keine Richtung.

Im Anschluss folgen die Auswertung der Lehrerfragebögen und der Bezug zu den Ergebnissen der einzelnen Klassen.

4.1. Ergebnisse aller Fragebögen

4.1.1. Zu Aufgabe 1: Geschwindigkeits-Zeit-Graphen

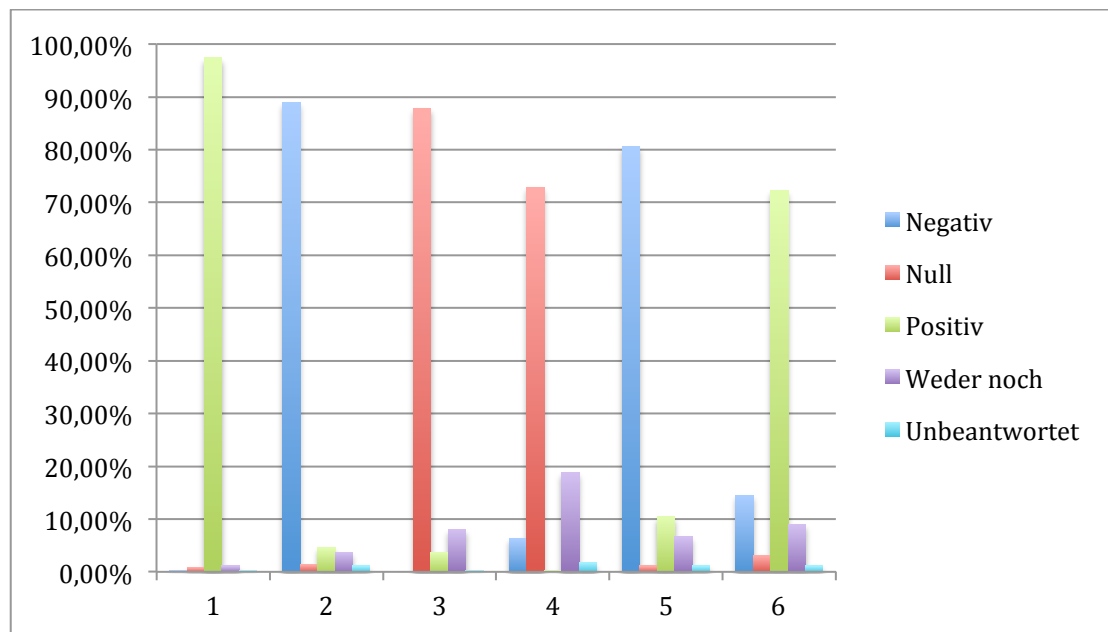


Abbildung 13: Häufigkeiten der Antworten zu den Unteraufgaben in Aufgabe 1 (Geschwindigkeits-Zeit-Graphen)

Die Häufigkeiten der gegebenen Antworten bei allen sechs Geschwindigkeits-Zeit-Graphen sind in diesem Diagramm abgebildet.

Die erste Teilaufgabe, in der die Beschleunigung im dargestellten Geschwindigkeits-Zeit-Graph positiv ist, wurde von 97,4%, also fast allen richtig beantwortet. Die restlichen 2,6% entschieden sich für eine der anderen Antwortalternativen, was keiner typischen Schülervorstellung zugeordnet werden kann, da in dieser Unteraufgabe alle Schülerinnen und Schüler mit den bekannten Schülervorstellungen mit „positiv“ antworten müssten. Jedoch ist die relative Häufigkeit der richtigen Antworten hier am höchsten. Die zweite und dritte Teilaufgabe wurden von knapp 90% der Schülerinnen und Schüler richtig beantwortet. Bei den letzten drei Teilaufgaben fällt auf, dass es immer noch viele, aber im Vergleich zu den ersten Teilaufgaben weniger richtige Antworten gegeben wurden. Die Häufigkeit der richtigen Antworten ist bei Aufgabe 1.6 am niedrigsten. 72,25% beantworteten die Aufgabe richtig, während sich die restlichen 27,75% auf die anderen Antwortalternativen aufteilen. Am häufigsten wurden dabei mit 14,45% „negativ“ und mit 8,96% „weder noch“ gewählt. In der vierten Teilaufgabe entschieden sich fast 20% für die Antwort „weder noch“, was im Vergleich zu den anderen Teilaufgaben sehr viele sind.

Die folgende Tabelle zeigt, wie viele Schülerinnen und Schüler mit welcher Schülervorstellung in den einzelnen Teilaufgaben geantwortet haben. Nebeneinanderliegende Spalten, die die gleiche Antwort beinhalten, wurden miteinander zu einem Feld verbunden.

Aufgabe	Beschleunigung wird aufgefasst als:			
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit (mit Richtung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/langsamer)	$\vec{v}$ Geschwindigkeit	$ \vec{v} $ Tempo
1.1	97,4%			
1.2	89,02%		4,62%	
1.3	87,86%		3,76%	
1.4	72,83%		6,36%	0,29%
1.5	80,64%	10,4%	80,64%	10,4%
1.6	72,25%	14,45%		72,25%

Tabelle 2: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 1 (Geschwindigkeits-Zeit-Graphen)

Wie zuvor beschrieben gaben 97,4% der Schülerinnen und Schüler die Antwort „positiv“. Hier kann jedoch nicht unterschieden werden, wer welche Vorstellung besitzt. Auch bei den restlichen Teilaufgaben fällt es schwer zu entscheiden, welche Antwort zu welcher Schülervorstellung gehört, da dieselben Antwortmöglichkeiten zu verschiedenen Vorstellungen gehören. 72,83% bis 89,02% der Schülerinnen und Schüler antworten bei den Aufgaben 1.2, 1.3 und 1.4 nach den Vorstellungen, dass die Beschleunigung der Änderung der Geschwindigkeit und der Änderung des Tempos entspricht. Im Vergleich dazu gibt ein kleiner Teil der Schülerinnen und Schüler eine Antwort, die der Geschwindigkeit oder dem Tempo entspricht. In Aufgabe 1.5 und 1.6 wiederholen sich aufgrund der gleichen Antwortmöglichkeiten für die verschiedenen Vorstellungen jeweils die Prozentzahlen in den Spalten.

Weiterhin wurde untersucht, wie viele Schülerinnen und Schüler bei dieser Aufgabe durchgehend nach einer festen Schülervorstellung antworteten. Fast die Hälfte der befragten Schülerinnen und Schüler konnte zu jedem Geschwindigkeits-Zeit-Graphen das Vorzeichen der Beschleunigung richtig angeben. 7,51% bearbeiteten die Teilaufgaben durchgehend nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos

entspricht. Kaum eine Schülerin oder ein Schüler antwortete bei jeder Teilaufgabe durchgängig so, als wäre nach der Geschwindigkeit oder dem Tempo gefragt.

Insgesamt konnten alle Schülerinnen und Schüler die Aufgabe gut lösen. Da sie als einfache Einstiegsaufgabe zur Motivation gewählt wurde, waren solche guten, wenn nicht sogar bessere Ergebnisse zu erwarten. Zur Untersuchung der Schülervorstellungen eignet sich diese Aufgabe jedoch nicht, da die Antworten nicht eindeutig zu den Vorstellungen zugeordnet werden können.

4.1.2. Zu Aufgabe 2: Der Münzwurf

Die Münzwurf-Aufgabe besteht aus zwei Teilen: zum einen wird nach dem Vorzeichen der Beschleunigung gefragt und zum anderen nach der Richtung. Bei der Auswertung werden dann die Antworten für die drei beschriebenen Fälle (aufwärts, Umkehrpunkt und abwärts) für jeden der beiden Teile zusammen betrachtet.

Schülerinnen und Schüler mit typischen Schülervorstellungen zur Beschleunigung haben vier Möglichkeiten zur Beantwortung der Frage nach dem Vorzeichen des Münzwurfs. Hier wurde eine weitere Möglichkeit, die fast-richtige Lösung miteinbezogen. Diese Antwort stimmt bis auf den Umkehrpunkt mit der richtigen Lösung überein. Am Umkehrpunkt wird für das Vorzeichen der Beschleunigung „null“ gewählt, was eher eine statische Sichtweise aufzeigt. Da jedoch die Vorzeichen der restlichen Fälle passen, wird die Antwort „ABA“ als fast-richtig gezählt.

Die folgende Tabelle zeigt die Häufigkeiten der Antworten nach den typischen Schülervorstellungen:

Antworten	Häufigkeiten
Richtige Lösung	1,16%
Fast-richtige Lösung	2,89%
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	26,59%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	46,53%
Nach: $ \vec{v} $ Tempo	11,27%
Sonstige	11,56%

Tabelle 3: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen zum Vorzeichen in Aufgabe 2 (Münzwurf)

Nur 1,16% aller Schülerinnen und Schüler konnten mit der Antwort „AAA“ für alle drei Fälle das richtige Vorzeichen der Beschleunigung angeben. Mehr als doppelt so viele waren in der Lage, die Aufgabe fast-richtig zu beantworten. Zusammen sind es trotzdem nur ungefähr 4% aller Schülerinnen und Schüler, die bei dieser Aufgabe eine angemessene Vorstellung zur Beschleunigung zeigen. Im Vergleich dazu antworteten 26,59% nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht (ABC) und sogar 46,53% nach Schülervorstellung, die die Beschleunigung mit der Geschwindigkeit gleichsetzt (CBA). Die Antwortmöglichkeit „CBC“, die das Tempo anstelle der Beschleunigung beschreibt, wurde von 11,27% der Schülerinnen und Schüler gewählt. Der Rest entschied sich für eine andere Vorzeichen-Kombination oder gab eine unvollständige Antwort, in der mindestens einer der drei Fälle fehlte.

Im zweiten Teil der Aufgabe wird nach der Richtung der Beschleunigung in den drei Fällen gefragt. Für Schülerinnen und Schüler, die die Beschleunigung als Tempo oder als Änderung des Tempos verstehen, dürfte diese Aufgabe nicht lösbar sein, da für sie die Beschleunigung lediglich eine Zahl ist und keine Richtung hat. Deshalb wurde für die „Tempo“-Vorstellung erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler in allen drei Fällen mit „Keine der Möglichkeiten“ antworten. Dies gilt auch für die Vorstellung mit der Änderung des Tempos. Für diesen Fall wurde jedoch ebenfalls angenommen, dass die Schülerinnen und Schüler analog zum Vorzeichen der Beschleunigung antworten, also mit der Kombination „FED“.

Antworten	Häufigkeiten
Richtige Lösung	2,02%
Fast-richtige Lösung	5,78%
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	6,07%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	75,72%
Nach: $ \vec{v} $ Tempo	-
Sonstige	10,41%

Tabelle 4: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen zur Richtung in Aufgabe 2 (Münzwurf)

Es wurden ähnliche Häufigkeiten wie beim ersten Teil der Aufgabe erwartet. Jedoch liegt hier bei der Richtung der Beschleunigung der Anteil der richtigen und fast-richtigen Antworten mit zusammen fast 8% doppelt so hoch als beim Vorzeichen. Ferner antworteten nur 6,07% der Schülerinnen und Schüler nach der Vorstellung, bei der die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht ($\downarrow 0 \uparrow$). Keiner gab in allen drei Fällen durchgehend „Keine der Möglichkeiten“ an. Dreiviertel aller Befragten beantworteten die Frage nach der Richtung der Beschleunigung so, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt ($\uparrow 0 \downarrow$). Die restlichen 10,41% wählten andere, für die Auswertung vernachlässigbare Antwortmöglichkeiten.

Hier wird besonders deutlich, dass viele Schülerinnen und Schüler die Vorstellung besitzen, dass die Beschleunigung und die Geschwindigkeit die gleiche physikalische Bedeutung haben. Während fast ein Drittel der Befragten bei dem Vorzeichen der Beschleunigung noch ein gewisses Verständnis zur Beschleunigung zeigt, ändert sich dies bei der Frage nach der Richtung. Dort sind es knapp 14%. Dieser Unterschied lässt vermuten, dass diejenigen Schülerinnen und Schüler, die im ersten Teil mit der „schneller/langsamer“-Vorstellung geantwortet haben, Probleme bei der Bestimmung der Richtung hatten und deshalb ihre Vorstellung für den zweiten Aufgabenteil änderten.

Dies visualisiert die folgende Tabelle:

Vorzeichen Richtung	richtig (AAA)	fast- richtig (ABA)	„schneller/ langsamer“ (ABC)	$\vec{v}$ statt $\vec{a}$ (CBA)	Keine oder sonstige Antwort	Summe
Richtig ($\downarrow\downarrow\downarrow$)	1,16%	0,29%	0,58%	-	-	2,02%
Fast-richtig ($\downarrow 0 \downarrow$)	-	0,58%	4,05%	0,58%	0,57%	5,78%
„schneller/ langsamer“ ($\downarrow 0 \uparrow$)	-	-	4,91%	0,87%	0,29%	6,07%
$\vec{v}$ statt $\vec{a}$ ($\uparrow 0 \downarrow$)	-	0,87%	15,9%	42,77%	16,18%	75,72%
Keine oder sonstige Ant- wort	-	1,15%	1,15%	2,31%	5,79%	10,41%
Summe	1,16%	2,89%	26,59%	46,53%	22,83%	100%

Tabelle 5: Kombinationshäufigkeiten (Vorzeichen und Richtung) zu Aufgabe 2 (Münzwurf)

Die Tabelle zeigt, in welchem Zusammenhang die Antworten der beiden Aufgabenteile stehen. Die auffälligsten Zahlen sind in der Tabelle fett hervorgehoben. Alle Schülerinnen und Schüler, die das Vorzeichen der Beschleunigung richtig bestimmt haben, wussten dazu auch die Richtung der Beschleunigung in den drei Fällen. Bei den fast richtigen Antworten zum Vorzeichen fand keine analoge Beantwortung bei der Richtung statt. Lediglich 0,58% antworteten neben „ABA“ im zweiten Aufgabenteil auch mit „↓ 0 ↓“, während 0,29% die richtige Antwort gaben, 0,87% die Richtung der Geschwindigkeit und 1,15% andere Möglichkeiten auswählten. Auch bei den Schülerinnen und Schülern, die das Vorzeichen nach der „schneller/langsamer“-Vorstellung bestimmten, zeigte sich dieser Effekt. Die Richtung der Beschleunigung wurde wie zuvor vermutet nicht analog zum Vorzeichen angegeben. Nur 4,91% wählten sowohl „ABC“, als auch „↓ 0 ↑“. Erstaunlich ist, dass 15,9% zuvor nach der „schneller/langsamer“-Vorstellung antworteten und danach die Richtung der Beschleunigung analog zur Geschwindigkeit bestimmten. Sie konnten vermutlich die Aufgabe nicht mit ihrer vorhandenen Vorstellung lösen, da die Beschleunigung für sie nur eine Zahl ist und wechselten deshalb intuitiv zu einer anderen Vorstellung.

Fast alle Schülerinnen und Schüler, die beim Vorzeichen „CBA“ ankreuzten, antworteten analog dazu bei der Richtung auch mit „↑ 0 ↓“. Diese Antwort wurde ebenfalls von Schülerinnen und Schülern gewählt, die beim Vorzeichen nach keiner typischen Schülervorstellungen geantwortet haben (16,18%).

Anhand dieser Betrachtungen konnte der Unterschied zwischen den beiden Teilaufgaben geklärt werden. Durch die Münzwurf-Aufgabe zeigte sich, dass die meisten Schülerinnen und Schüler die Vorstellung besitzen, dass die Beschleunigung gleich der Geschwindigkeit ist. Es werden abhängig vom Kontext der Aufgaben verschiedene Vorstellungen verwendet.

4.1.3. Zu Aufgabe 3: Beschleunigungs-Zeit-Graphen

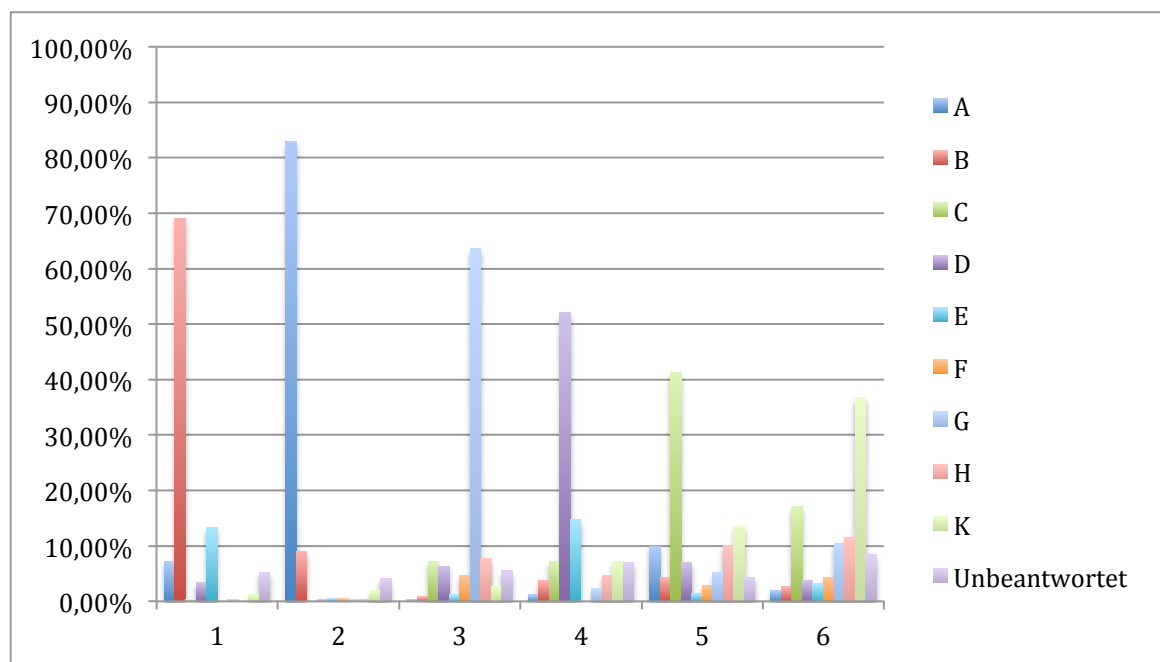


Abbildung 14: Häufigkeiten der Antworten zu den Unteraufgaben in Aufgabe 3. A bis H sind die vorgegebenen Beschleunigungs-Zeit-Graphen, K ist die Antwortalternative 'Keine der Möglichkeiten'.

In diesen sechs Teilaufgaben sollten zu verschiedenen Bewegungen eines Autos die passenden Beschleunigungs-Zeit-Graphen ausgewählt werden. In den ersten drei Teilaufgaben bewegt sich das Auto nach rechts und in den letzten drei Teilaufgaben nach links. Zu Beginn ist noch eindeutig erkennbar, welcher Beschleunigungs-Zeit-Graph von den meisten Schülerinnen und Schülern als der richtige gewählt wurde. Besonders bei Aufgabe 3.2 sticht die Antwort „A“ mit 82,95% heraus. Daneben entschieden sich 8,96% für den Graphen B und 4,05% ließen die Aufgabe unbeantwortet. Die restlichen Graphen werden hier mit unter 2% nicht berücksichtigt. Bei den nachfolgenden Aufgaben gibt es zwar immer eine Antwort, die im Vergleich zu den anderen Antwortmöglichkeiten überwiegt, jedoch verteilen sich die restlichen Prozentzahlen gleichmäßig auf die übrigen neun Alternativen. Bereits in Aufgabe 3.3, wo sich das Auto nach rechts bewegt und dabei langsamer wird, zeigt sich dieser Effekt. 63,58% der Schülerinnen und Schüler wählten dort den Beschleunigungs-Zeit-Graphen „G“, der Rest teilte sich unter anderem mit 7,8%, 7,23% und 6,36% auf die Graphen „H“, „C“ und „D“ auf. 5,49% ließen diese Teilaufgabe unbeantwortet. In den Aufgaben 3.4, 3.5 und 3.6 sinkt zudem der Prozentsatz des am häufigsten gewählten Graphen. In der letzten Unteraufgabe, bei der das Auto in negative Richtung langsamer wird, antworteten 36,71% der Schülerinnen und Schüler mit „Keine der Möglichkeiten“ und 8,38% gaben gar keine

Antwort. Diese Unteraufgabe hat im Vergleich zu allen anderen Aufgaben des ganzen Tests die höchste Anzahl an Schülerinnen und Schülern, die die Aufgabe unbeantwortet ließen. Die restlichen 63,29% verteilen sich wieder einigermaßen gleichmäßig auf die anderen Beschleunigungs-Zeit-Graphen. Darunter wählten 17,05% den Graphen „C“, 11,56% den Graphen „H“ und 10,4% den Graphen „G“. Die Schülerinnen und Schüler besitzen also verschiedene Vorstellungen zu den gleichen Aufgaben, die zu unterschiedlichen Antworten führen. Besonders bei den Bewegungen nach links gibt es große Unterschiede.

Unteraufgaben	Beschleunigung wird aufgefasst als:			
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Ge- schwindig- keit (mit Rich- tung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/ langsamer)	$\vec{v}$ Geschwin- digkeit	$ \vec{v} $ Tempo
v konstant, nach rechts	13,29%		69,08%	
v konstant, nach links	14,74%		52,02%	3,76%
schnellerwerdend, nach rechts	8,96%		82,95%	
schnellerwerdend, nach links	6,94%	4,34%	41,33%	9,83%
langsamerwerdend, nach rechts	6,36%		63,58%	
langsamerwerdend, nach links	2,6%	3,76%	36,71%	10,4%

Tabelle 6: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 3 (Beschleunigungs-Zeit-Graphen)

Um die Schülervorstellungen bei dieser Aufgabe zu untersuchen, wurden zunächst die Bewegungen anhand der Veränderung der Geschwindigkeit geordnet. In den ersten zwei Zeilen ist die Geschwindigkeit für beide Richtungen konstant. Führt das Auto in diesen Fall nach rechts, wäre die richtige Antwort der Beschleunigungs-Zeit-Graph „E“. 13,29% der Schülerinnen und Schüler konnten hier richtig antworten. Jedoch wird die Antwort auch gewählt, wenn bei ihnen die Vorstellung vorhanden ist, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht. Die meisten Befragten (69,08%) zeigten durch die Wahl der Antwortmöglichkeit „B“, dass sie die Beschleunigung mit der Geschwindigkeit oder dem Tempo gleichsetzen. Dies ist auch bei der Bewegung nach links mit konstanter Geschwindigkeit sichtbar: 14,74% entschieden sich für den Graphen „E“, der hier zur beschriebenen Bewegung passt, mehr als die Hälfte (52,02%)

wählten mit der Antwort „D“ den Geschwindigkeits-Zeit-Graphen anstelle des Beschleunigungs-Zeit-Graphen und 3,76% antworteten nach der „Tempo“-Vorstellung.

Als nächstes werden die Bewegungen betrachtet, in denen das Auto schneller wird. Nach den vier Schülervorstellungen gibt es bei der Bewegung nach rechts nur zwei Antwortmöglichkeiten, die gewählt werden können: Besitzen die Schülerinnen und Schüler die Vorstellung, dass die Beschleunigung der Änderung der Geschwindigkeit oder der Änderung des Tempos entspricht, so ist der Beschleunigungs-Zeit-Graph „B“ zu erwarten. 8,96% zeigten durch ihre Antwort diese Vorstellung. Wenn sie sich allerdings vorstellen, dass die Beschleunigung gleich der Geschwindigkeit oder dem Tempo ist, dann wählen sie den Graphen „A“, was von 82,95% der Schülerinnen und Schüler getan wurde. Bei der Bewegung nach links kann jeder Schülervorstellung eine eindeutige Antwort zugeordnet werden. 6,94% der Schülerinnen und Schüler waren in der Lage, für die Bewegung den richtigen Beschleunigungs-Zeit-Graphen (Graph D) auszuwählen, während 4,34% sich für den Graphen entschieden, der die Änderung des Tempos beschreibt. Die meisten Schülerinnen und Schüler (41,33%) zeigten hier erneut die Vorstellung, dass es keinen Unterschied zwischen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung gibt. Diese Häufigkeit wiederholt sich ebenfalls bei den Bewegungen, bei denen das Auto in negative und positive Richtung langsamer wird, nur mit 36,71% und 63,58%, wobei sich der letzte Wert aus den Antworten der „Geschwindigkeits“- und „Tempo“-Vorstellung zusammensetzen. Nur 6,36% der Schülerinnen und Schüler lösten diese zwei Unteraufgaben mit der physikalischen Vorstellung oder der „schneller/langsamer“-Vorstellung.

Bewegung nach...	Beschleunigung wird aufgefasst als:			
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit (mit Richtung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/ langsamer)	$\vec{v}$ Geschwindigkeit	$ \vec{v} $ Tempo
rechts	5,78%		52,02%	
links	1,73%	2,31%	20,81%	1,45%

Tabelle 7: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen zu den Kategorien 'rechts' und 'links' in Aufgabe 3 (Beschleunigungs-Zeit-Graphen), erstellt durch Zusammenfassung passender Bewegungen

Zur Untersuchung der beiden Bewegungsrichtungen wurden die Antworten für die Bewegung nach rechts und für die Bewegung nach links zusammen ausgewertet. Die oben

beschriebenen sechs Fälle reduzieren sich durch die Zusammenfassung von jeweils drei Bewegungen zu zwei Fällen. Bei der Bewegung in positive Richtung entschieden sich mehr als die Hälfte der Schülerinnen und Schüler für die Beschleunigungs-Zeit-Graphen in der Reihenfolge „BAG“, was die Lösung für die Frage nach dem Tempo oder der Geschwindigkeit wäre. Lediglich 5,78% wählten für die ersten drei Unteraufgaben die richtigen Graphen, wobei hier nicht unterschieden werden kann, ob die Schülerinnen und Schüler die physikalische Vorstellung besitzen oder die Beschleunigung als Änderung des Tempos auffassen. Bei den Bewegungen nach links können jedoch die Antwortmöglichkeiten den verschiedenen Schülervorstellungen zugeordnet werden. Hier fällt erneut auf, dass die meisten Schülerinnen und Schüler die Beschleunigung und die Geschwindigkeit gleichsetzen, allerdings sind es im Vergleich zu den Bewegungen nach rechts viel weniger Antworten (20,81%). Die richtigen Graphen für alle drei Bewegungen nach links wählten nur 1,73%.

Werden die Bewegungen in beide Richtungen miteinander verglichen und jeweils zwei Vorstellungen bei der Bewegung nach links wie in der Zeile für die Bewegung nach rechts zusammengefasst, erkennt man, dass viel weniger Schülerinnen und Schüler im zweiten Fall nach einer der typischen Schülervorstellungen antworten. Mehr als 60% aller Befragten entschieden sich im Fall der negativen Richtung für andere Kombinationen der Antwortmöglichkeiten.

Eine Betrachtung auf die komplette Aufgabe zeigt, dass 19,36% der Schülerinnen und Schüler durchgängig in jeder Teilaufgabe so geantwortet haben, als wäre nach der Geschwindigkeit und nicht nach der Beschleunigung gefragt. Im Vergleich dazu werden die anderen drei Schülervorstellungen von sehr wenigen konsequent zur Beantwortung verwendet. Nur 2,31% aller Schülerinnen und Schüler geben bei allen sechs Unteraufgaben eine Antwort, die Vorstellung entspricht, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht, 1,16% denken immer an das Tempo und nur 1,45% konnten überall den passenden Beschleunigungs-Zeit-Graphen zuordnen.

Insgesamt beantworten die meisten Befragten die Teilaufgaben so, als wäre nicht nach der Beschleunigung gefragt, sondern nach der Geschwindigkeit. Wie viel Prozent es jeweils sind, lässt sich nicht eindeutig sagen, da hier wieder verschiedene Schülervorstellungen dieselbe Antwort geben. Die einzigen Teilaufgaben, bei denen dies gut zu beurteilen ist, sind Aufgabe 3.5 und 3.6.

Während es den Schülerinnen und Schülern in Aufgabe 1 leicht fiel, das Vorzeichen der Beschleunigung zu abgebildeten Graphen zu bestimmen, stellt die umgekehrte Aufgabe, zu einer Bewegung einen passenden Graphen auszuwählen, wohl ein Problem dar. Dies deutet auf einen Mangel an der Fähigkeit, zwischen sprachlich und graphisch dargestellten Bewegungen zu wechseln. Es wurden vor der Erhebung bessere Ergebnisse für die jeweils richtigen Antworten erwartet, zumindest bei den Bewegungen in positive Richtung, die in der Schule stärker im Mittelpunkt stehen.

4.1.4. Zu Aufgabe 4: Stroboskopbild

In der vierten Aufgabe des Tests war nach dem Vergleich der Beschleunigung von zwei Körpern gefragt. Die Lösung ergibt sich unter anderem durch folgendes Vorgehen: Man betrachtet zunächst den Körper a, vergleicht die Abstände der Punkte der Positionen 1 bis 7 miteinander und stellt fest, dass diese immer gleich sind. Das Gleiche wird für den Körper b durchgeführt. Da sowohl die Abstände der Punkte, als auch die zeitlichen Abstände für beide Körper gleich sind, gibt es keine Geschwindigkeitsveränderung. Dementsprechend ist die Beschleunigung beider Körper gleich null und die vierte der vorgegebenen Antworten richtig. Es sind zwar einige Überlegungen nötig, die Schritt für Schritt zur Lösung der Aufgabe führen, allerdings können sie mit einem gewissen Verständnis der Beschleunigung durchgeführt werden. Deshalb wurde vor der Erhebung erwartet, dass verglichen mit den anderen Aufgaben hier mehr Schülerinnen und Schüler die richtige Antwort wählen.

Nur 13,01% beantworteten die Aufgabe mit „Beschleunigung von „a“ = Beschleunigung von „b“ = 0 m/s^2 “. Schülerinnen und Schüler zeigen mit dieser Antwort die richtige physikalische Vorstellung zur Beschleunigung, jedoch geben auch diejenigen dieselbe Antwort, die die Beschleunigung als Änderung des Tempos auffassen.

Die bevorzugte Antwortmöglichkeit ist bei 42,29% der Befragten, dass die Beschleunigung des Körpers a kleiner ist als die Beschleunigung des Körpers b. Dies wäre die richtige Antwort auf die Frage nach dem Vergleich der Geschwindigkeiten oder dem Tempo der beiden Körper. Hier können die Antworten nicht eindeutig den typischen Schülervorstellungen zugeordnet werden. Dennoch liegt aufgrund der Auswertung der vorherigen Aufgaben die Vermutung nahe, dass die meisten Schülerinnen und Schüler wieder nach der Geschwindigkeit anstelle der Beschleunigung antworteten.

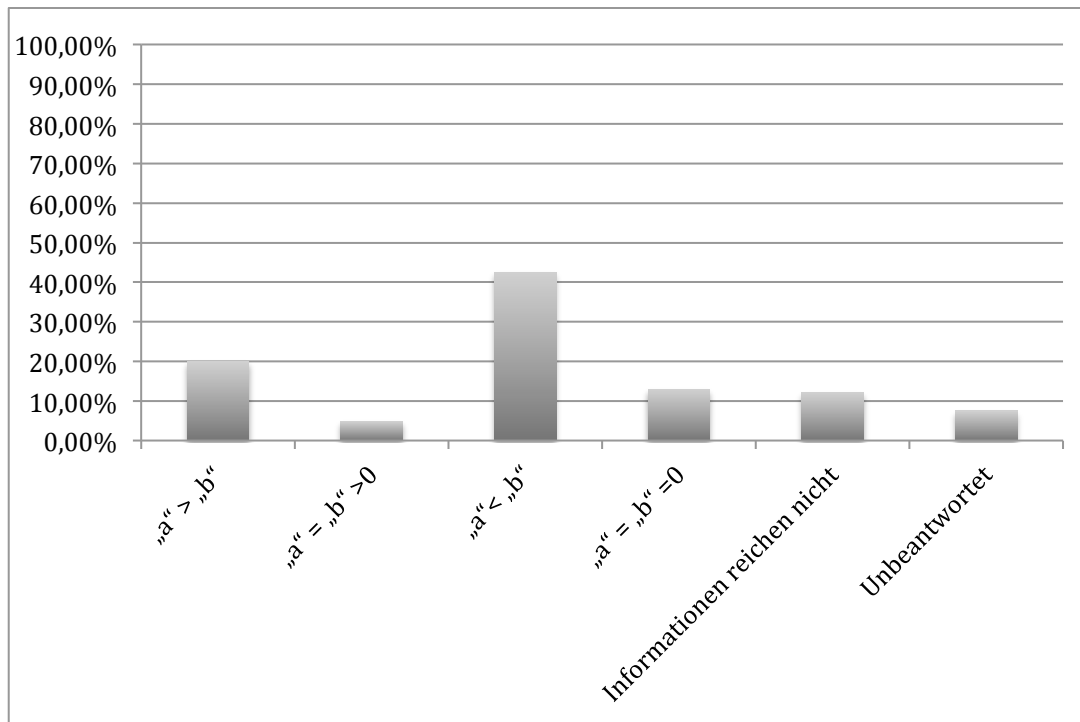


Abbildung 15: Häufigkeiten der Antworten in Aufgabe 4 (Stroboskopbild)

Ferner fällt auf, dass knapp ein Fünftel der Befragten eine andere Antwortmöglichkeit wählten: 19,94% waren der Ansicht, dass die Beschleunigung von Körper a größer ist als die Beschleunigung des Körpers b. Da dies keiner Antwort nach einer typischen Schülervorstellung entspricht, müssen die Schülerinnen und Schüler den Vergleich auf eine andere Weise vollzogen haben. Denkbar ist dabei die Überlegung, dass bei Körper a mehr Punkte als bei Körper b abgebildet sind und der Körper deswegen „schneller“ ist. Während Körper b noch bei Position 5 ist, befindet sich Körper a ungefähr auf gleicher Höhe auf Position 7. Allerdings ist dies nur eine Annahme, die genauer durch zum Beispiel Schülerinterviews geprüft werden müsste.

12,14% der Schülerinnen und Schüler, fast genauso viele wie diejenigen, die richtig antworteten, entschieden sich für die Möglichkeit, dass die Informationen für eine Antwort nicht ausreichen und 7,51% kreuzten gar nichts an.

4.1.5. Zu Aufgabe 5: Klotz auf der Rampe

Die Aufgabe 5 setzt sich aus drei Teilaufgaben zusammen, in denen jeweils nach der Richtung der Beschleunigung zu drei verschiedenen Positionen des Klotzes auf der Rampe gefragt ist. Da zu jeder der drei Unteraufgaben unterschiedliche Antwortmöglichkeiten vorgegeben waren, folgt zuerst die Auswertung für die einzelnen Positionen

und im Anschluss eine zusammenfassende Betrachtung bezüglich der Schülervorstellungen.

Für die Richtung der Beschleunigung in Position I wurde erwartet, dass alle Schülerinnen und Schüler mit dem Pfeil „D“ antworten, da alle drei betrachteten Auffassungen der Beschleunigung diesen Pfeil als den richtigen erachten. Die Vorstellung, dass die Beschleunigung dem Tempo entspricht, wurde ab dieser Aufgabe vernachlässigt.

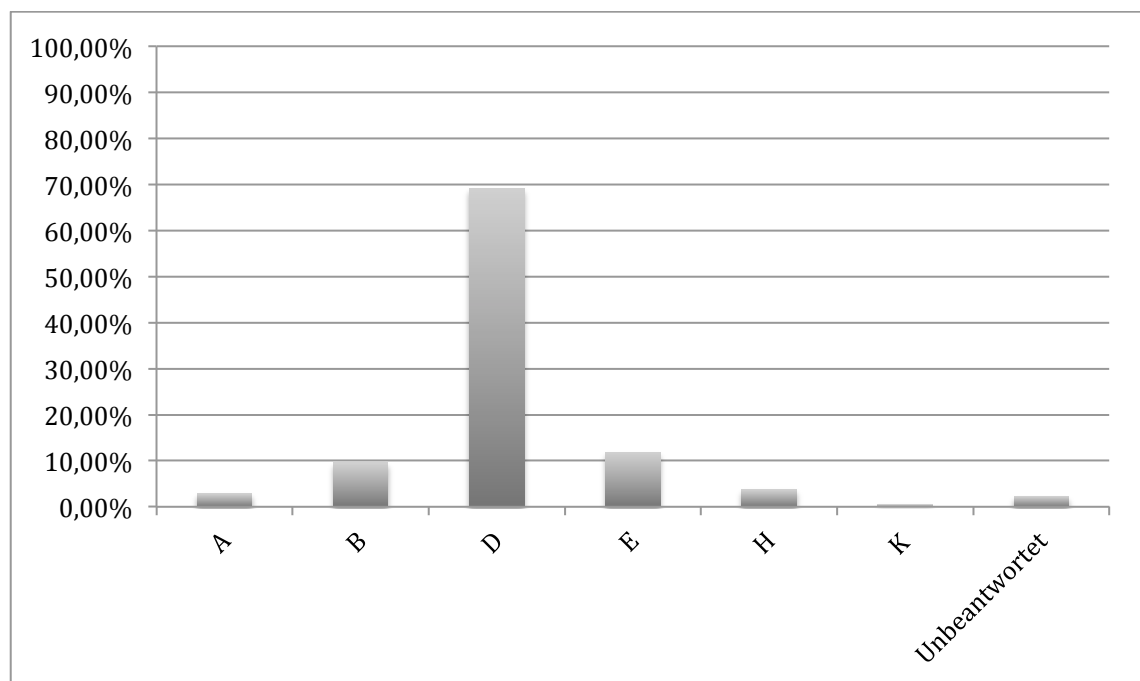
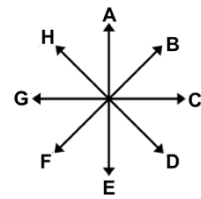


Abbildung 16: Häufigkeiten der Antworten zu Position I in Aufgabe 5.

Tatsächlich entschieden sich die meisten für den Pfeil „D“, jedoch nur knapp 70%. Die restlichen 30% teilten sich größtenteils auf die Pfeile „B“ und „E“ mit 9,54% und 11,85% auf.

Für die Richtung der Beschleunigung an der zweiten Position des Klotzes wählten 40,17% den Pfeil „C“, 12,14% den Pfeil „B“ und nur 1,73% den Pfeil „A“, der hier tatsächlich die Richtung der Beschleunigung darstellt. Fast ein Drittel der Schülerinnen und Schüler dachten jedoch, dass der Klotz in dieser Position nicht beschleunigt ist und deshalb keiner der Pfeile passt.

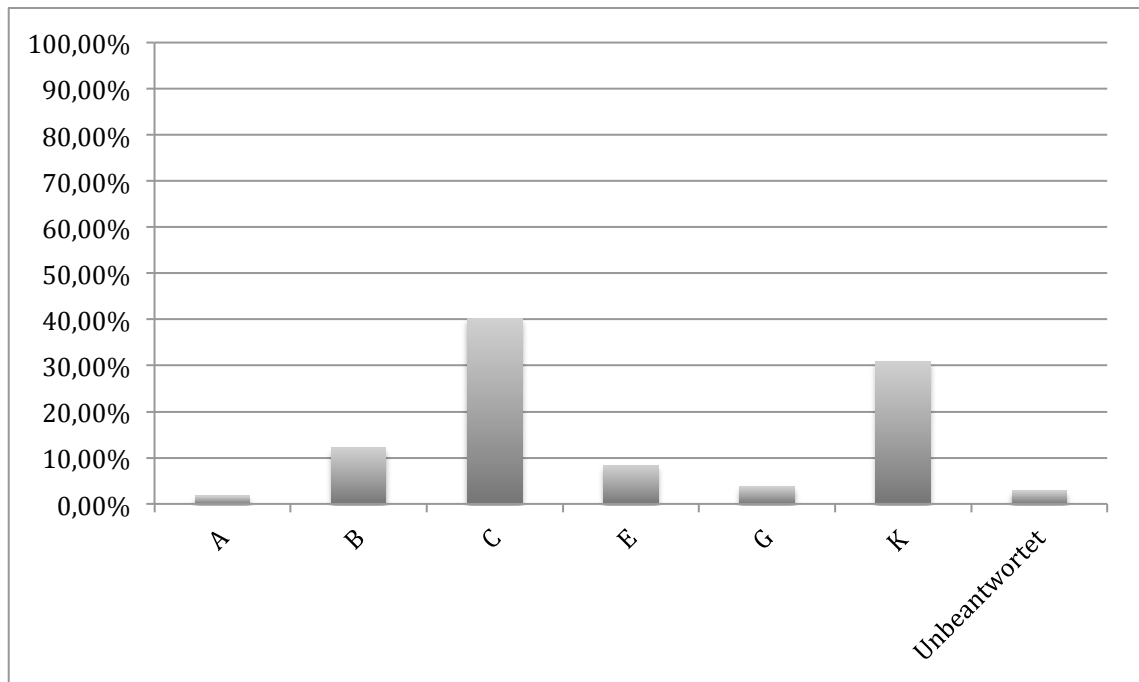


Abbildung 17: Häufigkeiten der Antworten zu Position II in Aufgabe 5.

Im Vergleich zu den ersten beiden Positionen des Klotzes auf der Rampe gibt es für die Position III keine eindeutige Antwortmöglichkeit, die neben den anderen eindeutig hervorsteicht.

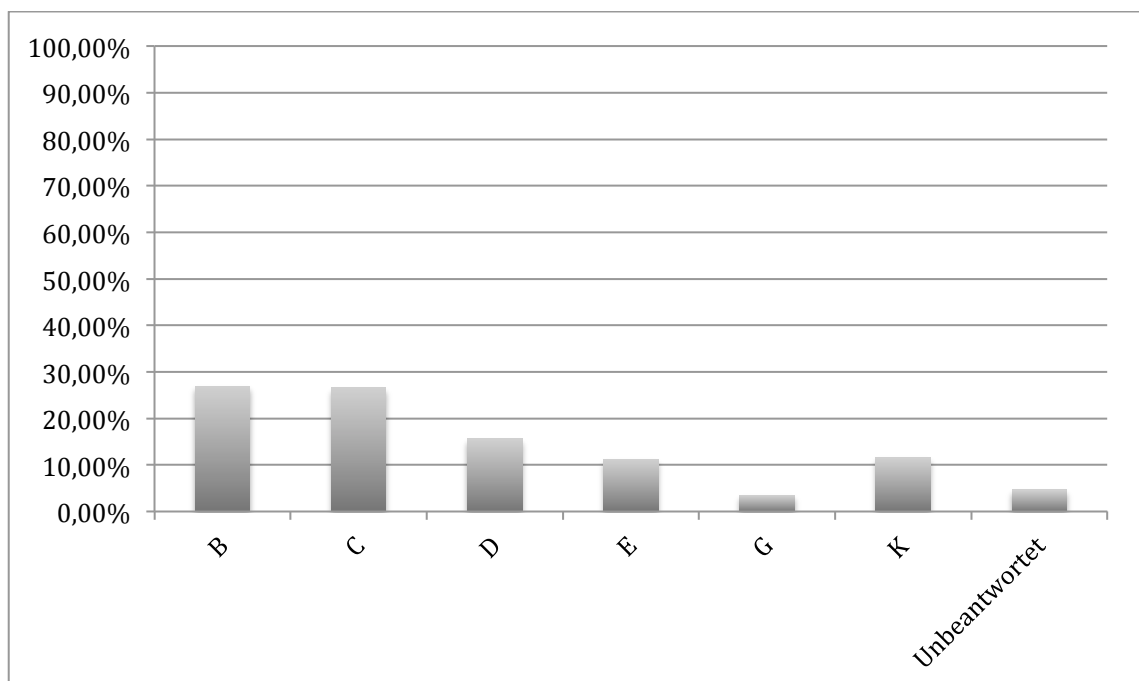


Abbildung 18: Häufigkeiten der Antworten zu Position III in Aufgabe 5.

Die Pfeile „B“ und „C“ wurden ungefähr von gleich vielen Schülerinnen und Schülern gewählt. Jedoch sind das mit 26,88% und 26,59% nicht besonders viele. Danach folgen

die Antworten „D“ mit 15,61%, „Keinen der Pfeile, die Beschleunigung ist 0“ mit 11,56% und der Pfeil „E“ mit 11,27%.

Um die verschiedenen Antworten in den drei Unteraufgaben zu deuten, werden die Schülervorstellungen zur Beschleunigung betrachtet.

Aufgaben	Beschleunigung wird aufgefasst als:		
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit (mit Richtung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/ langsamer)	$\vec{v}$ Geschwindigkeit
5.1	69,08%		
5.2	1,73%	30,92%	40,17%
5.3	11,27%	11,56%	26,59%

Tabelle 8: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 5 (Klotz auf der Rampe)

Wie zuvor erwähnt, wurde erwartet, dass alle Schülerinnen und Schüler, die die Beschleunigung nach mindestens einer der drei Schülervorstellungen auffassen, den Pfeil „D“ für die Richtung in Position I wählen. Dies taten auch tatsächlich 69,08%. Für Schülerinnen und Schüler mit der Vorstellung, dass die Beschleunigung die Änderung des Tempos ist, kommt neben der Antwortmöglichkeit „D“ ebenfalls die Antwort „keiner der Pfeile“ in Frage, die es in dieser Form nicht gab. Sie hätten die Aufgabe unbeantwortet lassen oder raten müssen, da die Beschleunigung für sie keine Richtung hat und die Frage daher sinnlos ist. Jedoch waren es nur 2,31%, die keine Möglichkeit ankreuzten. Der Anteil der geratenen Antworten kann nicht festgestellt werden.

Die Pfeile „B“ und „C“, für die sich auch mehrere Schülerinnen und Schüler entschieden, passen zwar zu keiner typischen Schülervorstellung, aber könnten damit erklärt werden, dass die Befragten durch den Pfeil „B“ die Normalkraft und mit dem Pfeil „E“ die Gewichtskraft an dem Punkt darstellten.

In Aufgabe 5.2 sind es sehr wenige Schülerinnen und Schüler, die die Aufgabe mit der physikalischen Vorstellung zur Beschleunigung bearbeitet haben. Im Vergleich dazu zeigten 30,92% mit der Antwort „Keinen der Pfeile, die Beschleunigung ist 0“ die Vorstellung, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht. Für diese Schülerinnen und Schüler findet aufgrund des Tiefpunkts der Rampe keine Geschwindigkeitsänderung statt, womit es auch keine Beschleunigung gibt. Sogar 40,17% wählten den Pfeil „C“, der die Richtung der Geschwindigkeit angibt. Auffällig ist außerdem, dass 12,14% sich für den Pfeil „B“ entschieden, der zu keiner der typischen Schülervorstellungen

lungen zugeordnet werden kann. Der Pfeil zeigt annähernd entlang der Bewegungsrichtung des Klotzes auf der Rampe auf die nächste Position. 8,38% der Schülerinnen und Schüler stellten bei dieser Aufgabe mit der Antwort „E“ wahrscheinlich wieder an die Gewichtskraft dar.

In Aufgabe 5.3 ist die Verteilung der gegebenen Antworten sehr verwunderlich. Ganze 11,27% der Befragten konnten für die Richtung der Beschleunigung den richtigen Pfeil „E“ zuordnen. Dies sind fast zehn Mal so viele als in der vorherigen Aufgabe. Dafür waren es deutlich weniger Schülerinnen und Schüler, die nach den anderen beiden Vorstellungen geantwortet haben. Nur 11,56% dachten, dass die Beschleunigung in dieser Position null ist und 26,59% gaben mit dem Pfeil „C“ die Richtung der Geschwindigkeit an. Wieso sich 15,61% für den Pfeil „D“ und sogar 26,88% der Schülerinnen und Schüler für die Möglichkeit „B“ entschieden, kann nur vermutet werden. Vorstellbar sind die Überlegungen, dass der Pfeil „B“ die Änderung der Bewegungsrichtung von Position II zu Position III und der Pfeil „D“ die danach folgende Bewegungsrichtung des Klotzes darstellt.

Bei der Betrachtung aller drei Unteraufgaben antworten 11,27% der Schülerinnen und Schüler konsequent nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung der Geschwindigkeit entspricht. Wäre in den Aufgaben nach der Richtung der Geschwindigkeit gefragt, so hätten sie in allen drei Positionen die richtige Antwort gegeben. Nur 2,89% verwenden durchgängig die „schneller/langsamer“-Vorstellung. Bei der Auswertung dieser Vorstellung wurde angenommen, dass die Schülerinnen und Schüler in Aufgabe 5.1 mit dem Pfeil „D“ antworten. Kaum jemand konnte bei allen drei Positionen die physikalische Vorstellung der Beschleunigung beibehalten. Nur 0,29% wussten jedes Mal, dass die Beschleunigung die Änderung der Geschwindigkeit ist und eine Richtung hat.

4.1.6. Zu Aufgabe 6: Rennstrecke

Bei dieser Aufgabe wurde nach der Richtung der Beschleunigung für die fünf verschiedenen Ortspunkte gefragt. Da bewusst verschiedene Antwortmöglichkeiten für jeden einzelnen Ortspunkt vorgegeben wurden und nicht alle Pfeile frei wählbar waren, werden die Häufigkeiten der Antworten für alle Unteraufgaben separat dargestellt.

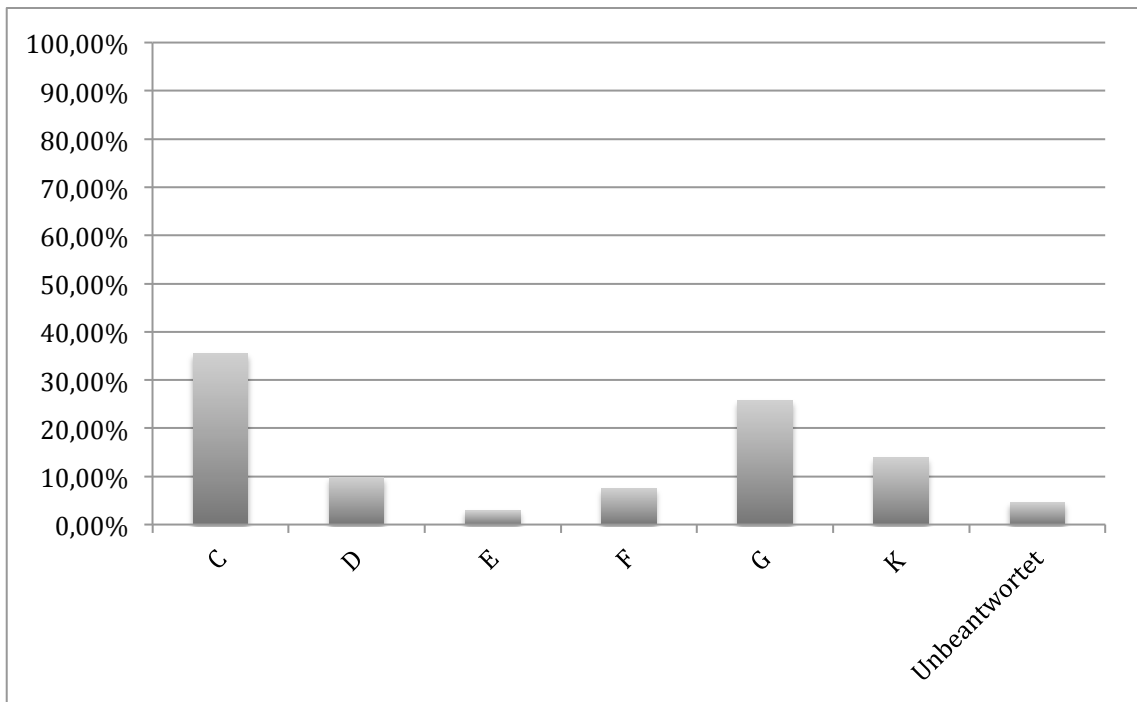


Abbildung 19: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 1 in Aufgabe 6.

Am ersten Ortspunkt fährt das Auto geradeaus und bremst dabei ab. Mehr als ein Drittel der Schülerinnen und Schüler entschieden sich hier zur Darstellung der Beschleunigung für den Pfeil „C“. 25,72% wählten den Pfeil „G“, der genau in die entgegengesetzte Richtung von „C“ zeigt. 13,87% wählten die Möglichkeit „Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0“, 9,83% den Pfeil „D“ und 7,51% den Pfeil „F“.

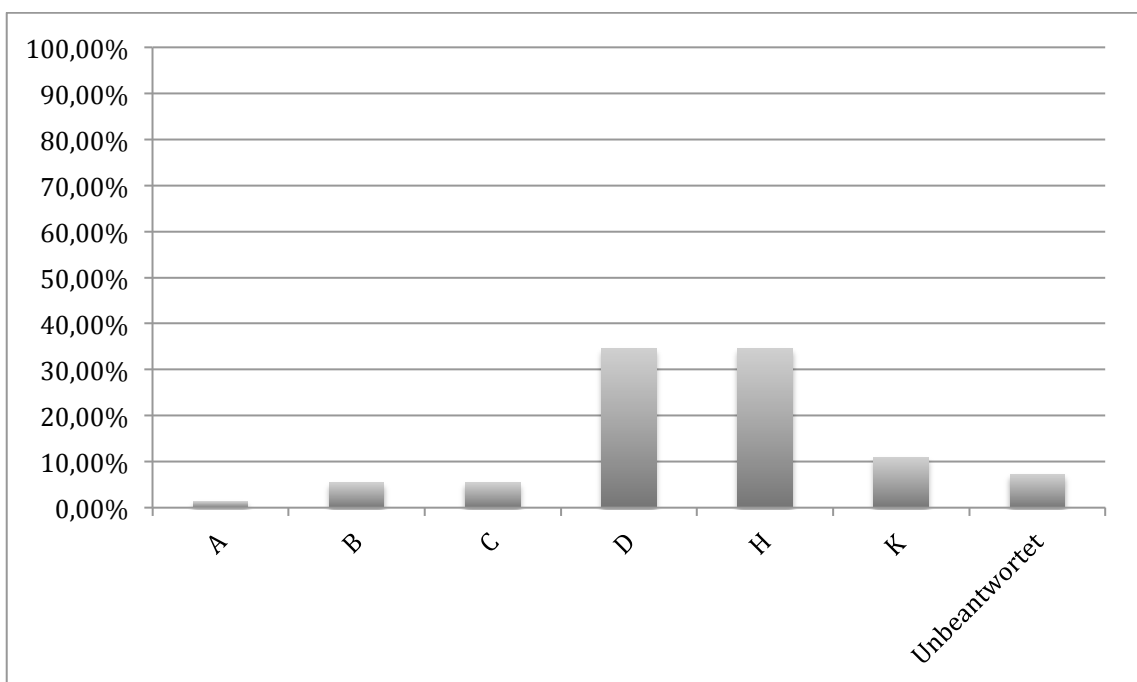


Abbildung 20: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 2 in Aufgabe 6.

Ortspunkt 2 stellt eine abbremssende Kurvenfahrt dar. Sowohl der Pfeil „D“, als auch der Pfeil „H“ wurden von 34,68% der Schülerinnen und Schüler gewählt. Dies sind zwei tangentielle Pfeile, die jedoch in entgegengesetzte Richtungen zeigen. 10,98% waren der Meinung, dass die Beschleunigung an dem Punkt null ist und jeweils 5,49% gaben die Antwort „B“ oder „C“. Diese Unteraufgabe wurde im Vergleich zu den anderen Unteraufgaben von den meisten Schülerinnen und Schülern unbeantwortet gelassen (7,23%).

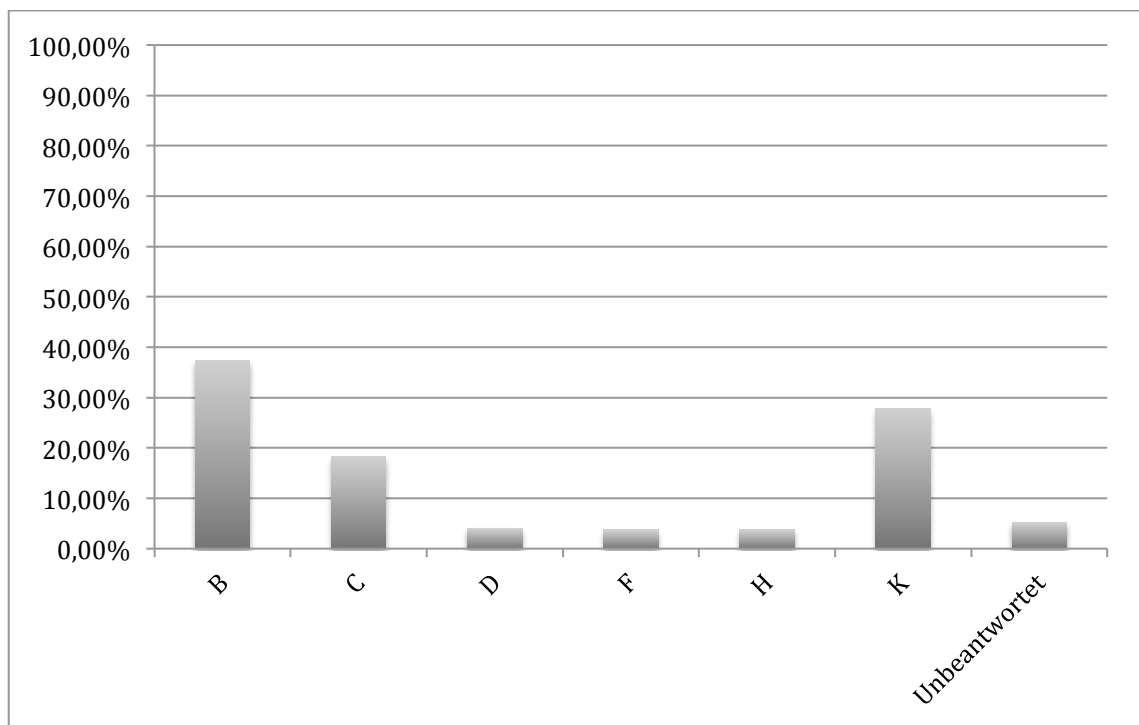


Abbildung 21: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 3 in Aufgabe 6.

Das Auto fährt bei Ortspunkt 3 entlang einer Kurve mit konstanter Tachoanzeige. Der Pfeil „B“, der den tangentialen Anteil der Beschleunigung darstellt, wurde von 37,28% der Schülerinnen und Schüler zur Darstellung der Beschleunigung gewählt. 27,75% kreuzten „Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0“ an und 18,21% nahmen den Pfeil „C“. Die restlichen Alternativen bleiben mit unter 5% eher unauffällig.

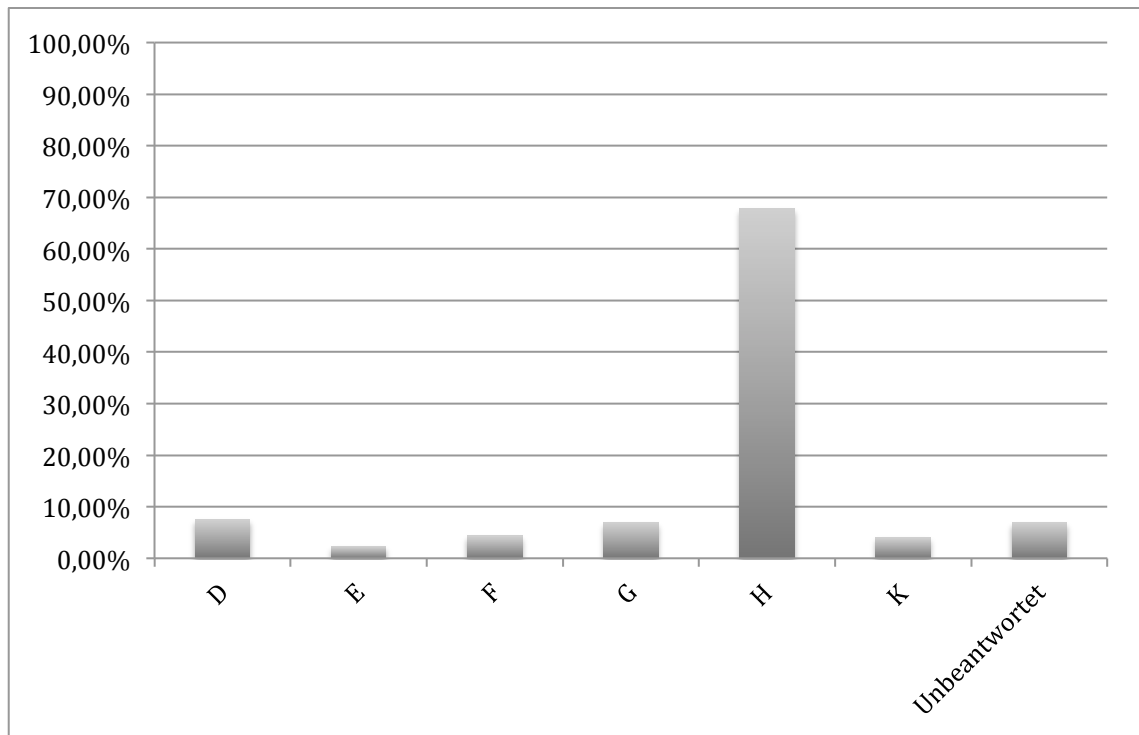


Abbildung 22: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 4 in Aufgabe 6.

Bei Ortspunkt 4, wo das Auto in der Kurve schneller wird, stimmten die meisten Schülerinnen und Schüler (67,92%) für den Pfeil „H“. Für jede andere Antwortalternative entschieden sich weniger als 10%. Beispielsweise antworteten 7,51% mit „D“, 6,94% mit „G“ und genauso viele gaben gar keine Antwort.

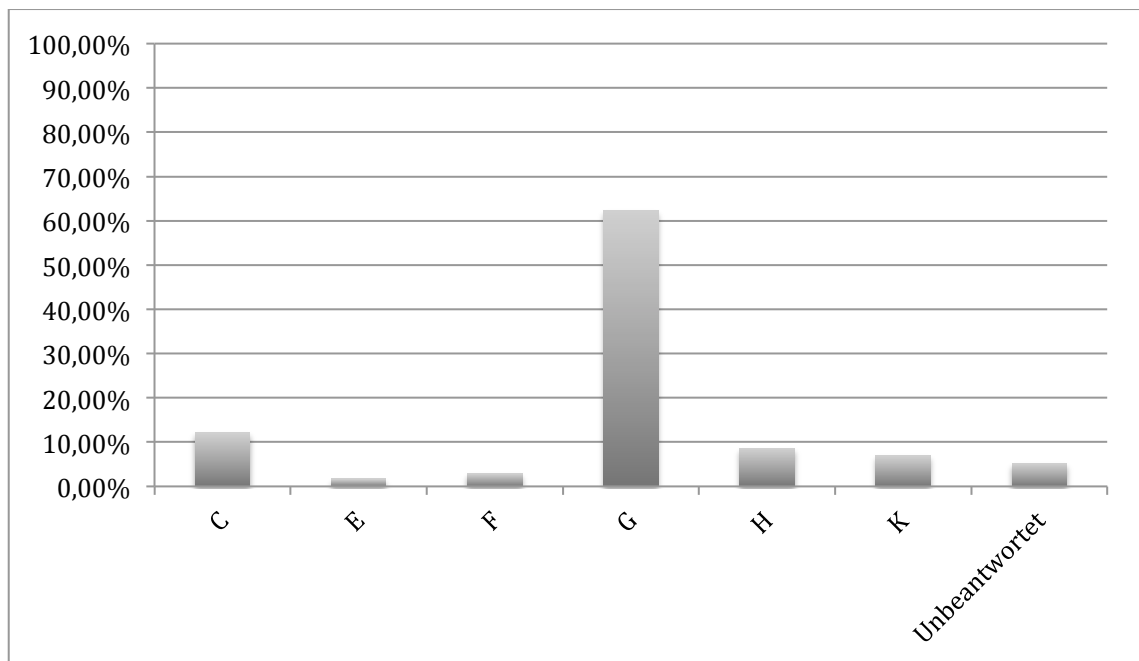


Abbildung 23: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 5 in Aufgabe 6.

Am fünften Ortspunkt fährt das Auto wieder geradeaus und wird schneller. 62,43% der Schülerinnen und Schüler wählten zur Darstellung der Beschleunigung den Pfeil „G“, während 12,14% den Pfeil in die entgegengesetzte Richtung nahmen. Für den Pfeil „H“ entschieden sich 8,67% und 6,94% aller Schülerinnen und Schüler nahmen hier eine unbeschleunigte Bewegung an.

Viele dieser Antworten lassen sich auf die typischen Schülervorstellungen zur Beschleunigung zurückführen. Die folgende Tabelle zeigt, wie viele der befragten Personen nach welcher Vorstellung in den einzelnen Unteraufgaben geantwortet haben.

Unteraufgaben	Beschleunigung wird aufgefasst als:		
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit (mit Richtung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/ lang- samer)	$\vec{v}$ Geschwindigkeit
geradeaus, bremsend	35,55%		25,72%
geradeaus, schneller werdend	62,43%		
Kurvenfahrt, konstantes Tempo	4,05%	27,75%	37,28%
Kurvenfahrt, schneller werdend	6,94%	67,92%	
Kurvenfahrt, bremsend	1,45%	34,68%	34,68%

Tabelle 9: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 6 (Rennstrecke)

Eine eindeutige Zuordnung der Antworten zu den Schülervorstellungen findet nur bei Aufgabe 6.2, der Kurvenfahrt, in der das Auto abbremst und bei Aufgabe 6.3, der Kurvenfahrt mit konstantem Tempo statt. In den beiden Unteraufgaben ist erkennbar, dass relativ wenige Schülerinnen und Schüler eine physikalische Vorstellung zur Beschleunigung besitzen und die meisten eher an die Änderung des Tempos oder nur an die Geschwindigkeit denken. Bei der Kurvenfahrt, in der das Auto bremst, sind die beiden zuletzt genannten Vorstellungen gleichermaßen vertreten (Pfeil „D“ und Pfeil „H“ mit jeweils 34,68%), während bei der Kurvenfahrt mit konstantem Tempo (Ortspunkt 3) mehr Schülerinnen und Schüler die Beschleunigung mit der Geschwindigkeit gleichsetzen. Beim Ortspunkt 3 ziehen 18,21% einen Pfeil in Erwägung, der mit keiner der Vorstellungen begründet werden kann. Es ist der Pfeil „C“, der parallel zur nachfolgenden geraden Strecke verläuft. Im dritten Fall der Kurvenfahrt, in dem das Auto schneller wird, antworteten 6,94% nach der physikalischen Vorstellung und 67,92% nach den anderen beiden Schülervorstellungen.

Für die Situation, dass das Auto geradeaus fährt und abbremst, wählten 35,55% die richtige Richtung der Beschleunigung. Es kann allerdings nicht festgestellt werden, ob diese Schülerinnen und Schüler auch die richtige Vorstellung zur Beschleunigung oder eine reduzierte Version davon besitzen. Ein Viertel der Befragten entschied sich hier für den Pfeil, der in diesem Abschnitt in Fahrtrichtung zeigt und damit die Richtung der Geschwindigkeit angibt. Fährt das Auto geradeaus und wird dabei schneller, so erhält man für alle drei Schülervorstellungen dieselbe Antwort, nämlich den Pfeil „G“, der in Fahrtrichtung zeigt. Deshalb wurde vor der Erhebung erwartet, dass alle Schülerinnen und Schüler für diesen Ortspunkt den Pfeil „G“ angeben. Es waren aber nur 62,43%. Es lässt sich keine plausible Erklärung dafür finden, dass beispielsweise 12,14% der Befragten den Pfeil wählten, der in die entgegengesetzte Fahrtrichtung zeigt oder 8,67% den Pfeil „H“ als passende Darstellung für die Beschleunigung annahmen. Dies können die geratenen Antworten der Schülerinnen und Schüler sein, für die die Beschleunigung keine Richtung hat.

Es wurde jedes Mal von den Antworten der Schülerinnen und Schüler gesprochen, die die Vorstellung besitzen, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht. Da für diejenigen die Beschleunigung eine Zahl ist und in der Aufgabe immer nach der Richtung gefragt wurde, müssten sie Probleme beim Bearbeiten der Aufgabe haben. Es kann daher sein, dass sich unter denjenigen, die die Aufgabe unbeantwortet ließen, Schülerinnen und Schüler mit dieser Vorstellung befinden. Zu den fünf Unteraufgaben gaben zwischen 4,62% und 7,23% keine Antwort.

Weiterhin wurden die beiden Gruppen „geradeaus“ und „Kurvenfahrt“ untersucht. Dies sind lediglich Zusammenfassungen der einzelnen beschriebenen Fälle.

Fahrtrichtung	Beschleunigung wird aufgefasst als:		
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit (mit Richtung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/ langsamer)	$\vec{v}$ Geschwindigkeit
geradeaus	30,06%		17,05%
Kurvenfahrt	0,29%	15,32%	16,76%

Tabelle 10: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen zu den Kategorien 'geradeaus' und 'Kurvenfahrt' in Aufgabe 6 (Rennstrecke), erstellt durch Zusammenfassung passender Bewegungen

Die Prozentzahlen zur Gruppe „geradeaus“ geben an, wie viele Schülerinnen und Schüler in den Aufgaben 6.1 und 6.5 nach den Vorstellungen geantwortet haben. Bei der Kurvenfahrt werden die Antworten aus Aufgabe 6.2, 6.3 und 6.4 zusammengefasst.

Für die beiden Fällen, in denen das Auto geradeaus fährt, antworteten 30,06% nach den Vorstellungen, dass die Beschleunigung die Änderung der Geschwindigkeit oder die Änderung des Tempos ist. Hingegen gaben 17,05% für beide Fälle die Richtung der Geschwindigkeit an. Bei der Kurvenfahrt konnte kaum jemand durchgängig nach der physikalischen Vorstellung antworten. Es waren nur 0,29%. Die Verwendung der „schneller/langsamer“-Vorstellung in allen drei Fällen zeigte sich bei 15,32%, während 1,44% mehr immer nach der Geschwindigkeit antworteten. Für beide Fahrtrichtungen gaben jeweils 2,89% gar keine Antwort.

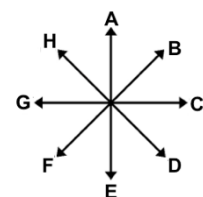
Interessant ist es noch zu untersuchen, wie viele Schülerinnen und Schüler in allen Unteraufgaben eine Schülervorstellung konsequent beibehalten haben.

Während bei den anderen Aufgaben des Tests immer die „Geschwindigkeits“-Vorstellung überwiegte, ist dies hier anders. Es sind nur 8,38% der befragten Personen, die an allen Ortspunkten die Richtung der Geschwindigkeit anstelle der Beschleunigung angaben. Dieses Mal sind es mehr Schülerinnen und Schüler, die die Aufgaben durchgängig nach der Vorstellung der Beschleunigung als Änderung des Tempos beantworteten, nämlich 11,56%. Im Gegensatz dazu zeigten nur 0,29% eine konsequente physikalische Vorstellung.

4.1.7. Zu Aufgabe 7: Hügelfahrt

Diese Aufgabe fragt nach der Richtung der Beschleunigung eines Autos, das während des Passierens eines Hügels abbremst. Die Schülerinnen und Schüler konnten sich zwischen folgenden Antwortmöglichkeiten entscheiden: Ein Pfeil beschreibt den tangentialen Anteil der Beschleunigung in Fahrtrichtung (C) und einen den tangentialen

Teil entgegen der Fahrtrichtung (B), ein Pfeil zeigt den senkrechten Teil (D), einer in Fahrtrichtung (A) und ein Pfeil stellt die tatsächliche Richtung der Beschleunigung dar (E).



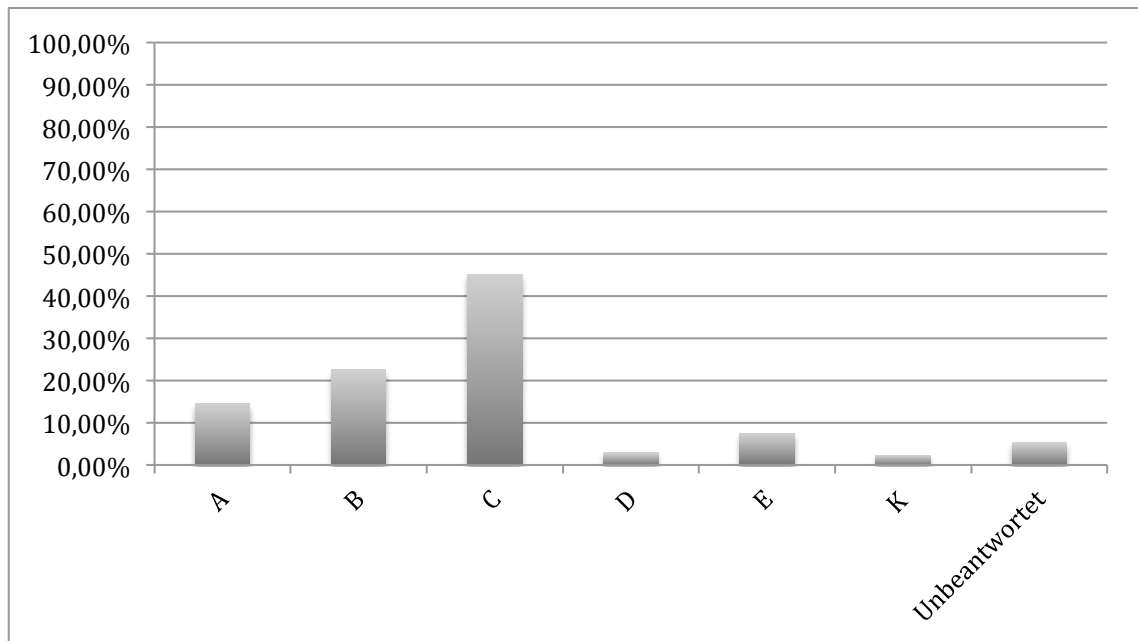


Abbildung 24: Häufigkeiten der Antworten in Aufgabe 7. A bis E sind die vorgegebenen Pfeile für die Richtung der Beschleunigung, K ist 'Keiner der Pfeile'.

Von den vorgegebenen Pfeilen wurde der Pfeil „C“ von den meisten Schülerinnen und Schülern bevorzugt. Danach folgen der Pfeil „B“ mit 22,54%, der Pfeil „A“ mit 14,45% und der Pfeil „E“ mit 7,51%. Die Möglichkeit „Keiner der Pfeile“ wurde von 2,31% gewählt, während mehr als doppelt so viele die Aufgabe komplett unbeantwortet ließen.

Antworten	Häufigkeiten
Richtige Lösung	7,51%
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	22,54%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	45,09%

Tabelle 11: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen in Aufgabe 7 (Hügel-fahrt)

Der Pfeil „E“ als richtige Lösung wurde wie erwähnt von 7,51% der Schülerinnen und Schüler gewählt. 22,54% zeigten durch die Wahl des Pfeils „B“, dass sie die Aufgabe nach der „schneller/langsamer“-Vorstellung beantworteten. Das ist die zweithäufigste Antwort. Für die Schülerinnen und Schüler mit dieser Vorstellung gibt es hier wieder das Problem, dass die Beschleunigung für sie keine Richtung hat und sie deswegen möglicherweise auf anderen Antwortmöglichkeiten ausweichen.

Die Antwort, die hier am häufigsten ausgewählt wurde (Pfeil „C“), entspricht der Richtung der Geschwindigkeit und nicht der Richtung der Beschleunigung. Die 14,45%, die mit „A“ antworteten, gaben dadurch nur die Fahrtrichtung an.

Diese Aufgabe kann erst durch mehrere Überlegungen gelöst werden. Dazu gehören das Erkennen des tangentialen und senkrechten Anteils der Beschleunigung und das Herausfinden der Richtung der Beschleunigung durch die Vektoraddition. Da nur 7,51% aller Befragten diese Aufgabe richtig lösen konnten, hatten die anderen Schülerinnen und Schüler wohl Probleme beim Durchführen der Überlegungen.

4.1.8. Zu Aufgabe 8: Mond um Erde

Die letzte Aufgabe bezog sich ebenfalls auf die Richtung der Beschleunigung, jedoch wurde hier nach der Änderung der Geschwindigkeit in einem Zeitintervall gefragt.

Die Antwortmöglichkeiten „A“ und „D“ sind identisch zu den Pfeilen aus der Abbildung, die die Richtungen der zwei Geschwindigkeiten darstellen. Der Pfeil „B“ ergibt sich aus der Vektoraddition und „E“ aus der Vektorsubtraktion der beiden Geschwindigkeitspfeile. Die Möglichkeit „C“ besagt, dass die Änderung der Geschwindigkeit 0 ist und „F“ zeigt senkrecht nach unten.

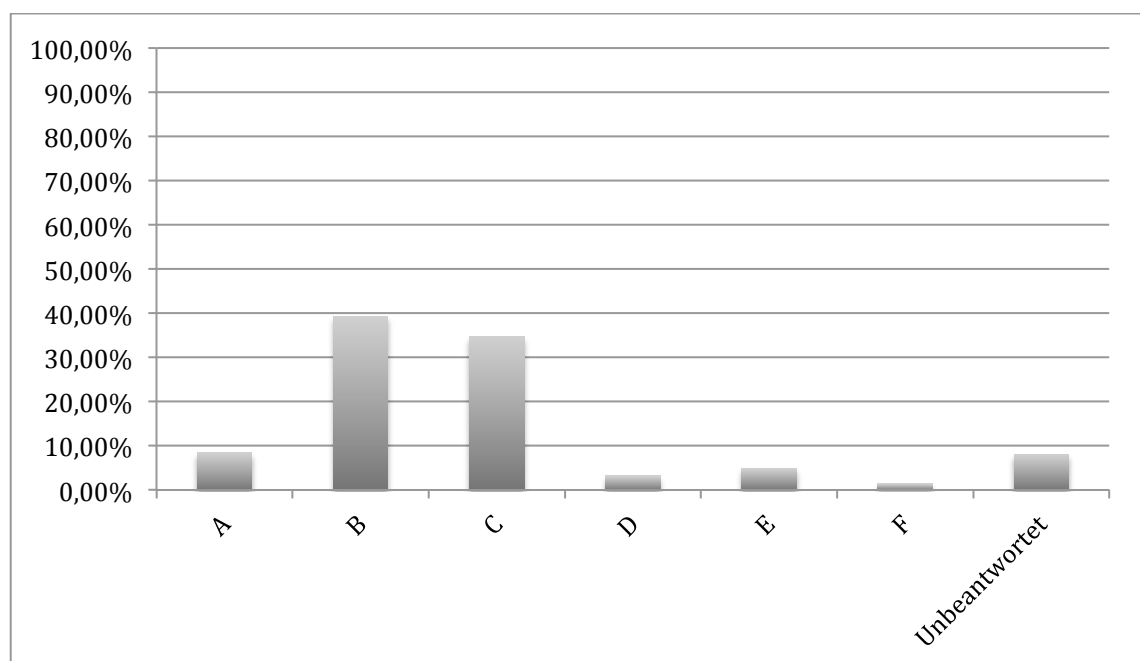


Abbildung 25: Häufigkeiten der Antworten in Aufgabe 8. A bis F sind die vorgegebenen Pfeile für die Änderung der Geschwindigkeit

Die Häufigkeiten der Antworten für die Pfeile „B“ und „C“ unterscheiden sich nur um knapp 5%. Während sich 39,41% der Schülerinnen und Schüler für „B“ entschieden, wählten 34,68% den Pfeil „C“. Nur 8,38% gaben „A“ an und 8,09% antworteten gar nicht. Im Vergleich zu allen anderen Aufgaben sind dies sehr viele. Nur die Aufgabe 3.6 wurde von mehr Schülerinnen und Schülern nicht beantwortet.

Antworten	Häufigkeiten
Richtige Lösung	4,91%
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	34,68%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	39,31%

Tabelle 12: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen in Aufgabe 8 (Mond um die Erde)

Die beiden am häufigsten gewählten Antworten lassen sich zwei Schülervorstellungen zuordnen. Demnach bearbeiteten 34,68% der Schülerinnen und Schüler die Aufgabe nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung die Änderung des Tempos ist und dass diese hier null ist. 39,31% gaben das Ergebnis der Vektoraddition, in dem Fall die Richtung der Geschwindigkeit an. Nur 4,91% aller Schülerinnen und Schüler konnten die Änderung der Geschwindigkeit des Mondes in dem gegebenen Zeitintervall bestimmen. Überraschend ist außerdem, dass 8,38% den Pfeil wählten, der die Richtung der Geschwindigkeit beim zweiten Zeitpunkt angibt.

In dieser Aufgabe zeigt sich erneut, dass viele Schülerinnen und Schüler die Vorstellung besitzen, dass die Beschleunigung der Geschwindigkeit entspricht. Hier antworten allerdings auch viele nach der „schneller/langsamer“-Vorstellung, wobei diese Vorstellung auch zu keiner Antwort führen kann.

4.1.9. Zusammenfassung aller Ergebnisse

Um einen Überblick über die Häufigkeit der Antworten nach den typischen Schülervorstellungen zu erhalten, wurden diese für jede einzelne Aufgabe in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Aufgabe	Beschleunigung wird aufgefasst als:			
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit (mit Richtung)	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos (= schneller/ langsamer)	$\vec{v}$ Geschwindigkeit	$ \vec{v} $ Tempo
1	49,42%	7,51%	0,29%	0%
2	1,73%	4,91%	42,77%	-
3	1,45%	2,31%	19,36%	1,16%
4	13,01%		42,49%	
5	0,29%	2,89%	11,27%	-
6	0,29%	11,56%	8,38%	-
7	7,51%	22,54%	45,09%	-
8	4,91%	34,68%	39,31%	-

Tabelle 13: Häufigkeiten der durchgängig verwendeten Schülervorstellungen in jeder Aufgabe

Da die Aufgaben 1, 2, 3, 5 und 6 aus mehreren Unteraufgaben bestehen, wurden sie zur besseren Übersicht zusammengefasst. Die Prozentzahlen in den einzelnen Feldern geben an, wie viele Schülerinnen und Schüler alle Unteraufgaben einer Aufgabe konsequent nach einer bestimmten Schülervorstellung beantwortet haben. Bei den Aufgaben 4, 7 und 8 gab es immer nur eine Aufgabe, die zu lösen war. Die Zahlen in der Spalte der Vorstellung, dass die Beschleunigung die Änderung des Tempos ist, beinhalten hier nicht, dass bei der Frage nach der Richtung die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe unbeantwortet lassen.

Insgesamt fällt auf, dass immer sehr wenige Schülerinnen und Schüler die Aufgaben physikalisch richtig lösen könnten. Aufgabe 1 ist dabei mit fast 50% die Ausnahme. Jedoch wurde erwartet, dass sie als einfache Einstiegsaufgabe von mehr Schülerinnen und Schüler richtig gelöst wird, da nur nach dem Vorzeichen der Beschleunigung gefragt war. Die restlichen Aufgaben, die aus mehreren Unteraufgaben bestehen, konnten nur 0,29% bis 1,73% durchgängig richtig beantworten. Im Vergleich dazu zeigten deutlich mehr Schülerinnen und Schüler eine physikalische Vorstellung zur Beschleunigung bei den Aufgaben ohne Unteraufgaben. Dies ist auch bei den anderen Schülervorstellungen zu erkennen. Besonders die Häufigkeiten der Antworten zu Aufgabe 3, 5 und 6 sind niedriger als bei den Aufgaben 7 und 8. Die Schülerinnen und Schüler änderten bei der Bearbeitung der Unteraufgaben, die sich meistens nur durch eine Veränderung unterscheiden, ihre Vorstellung zur Beschleunigung. Die durchgängige Anwendung der vorhandenen Vorstellung gelingt nicht mehr.

In fast allen Aufgaben verwendeten die meisten Schülerinnen und Schüler die Vorstellung, dass die Beschleunigung der Geschwindigkeit entspricht und gaben deshalb immer die Lösung für die Geschwindigkeit an. Nur bei der Aufgabe mit den Geschwindigkeits-Zeit-Graphen und der Aufgabe mit der Rennstrecke überwiegte eine der anderen typischen Vorstellungen.

Ferner wurde untersucht, ob es Schülerinnen und Schüler gibt, die durchgehend bei allen Aufgaben eine Vorstellung zur Beschleunigung behielten. Es gab jedoch keinen einzigen der Befragten, der dies tat. Dies deutet darauf hin, dass verschiedene Vorstellungen nicht miteinander vernetzt sind, sondern zu einzelnen Gebieten separat existieren. Durch das inkonsequente Antworten bei allen Aufgaben zeigt sich, dass die Antworten kontextabhängig sind.

4.1.10. Ergebnisse aus älteren Studien

In den folgenden Tabellen werden die Ergebnisse der einzelnen Aufgaben von älteren Studien dargestellt. Diese Studien wurden bereits in Abschnitt 3.2. genauer erläutert. Es findet allerdings kein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen der angegebenen Studien statt, da die Untersuchungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden. Zum Beispiel unterscheiden sich die Schulformen und die Länder, in denen die Studien stattfanden. Die Anzahl der getesteten Personen ist auch überall unterschiedlich. Ferner stimmen die Aufgaben, die in diesem Test verwendet wurden und die aus den älteren Studien nicht immer überein. Die Unterschiede sind im Abschnitt 3.2. genauer beschrieben. Deshalb handelt es sich hierbei nur um einen kurzen Überblick der Ergebnisse. Die erste Aufgabe des Tests wurde zuvor in keiner Untersuchung getestet, weshalb auch keine Ergebnisse vorliegen.

Die vorliegenden Ergebnisse der Studien von Treffer (1989/1990) und Wilhelm (1994, 2005) wurden von Wilhelm (2005A, S. 162 - 187) übernommen. Die Ergebnisse zum Unterrichtskonzept von Wilhelm (2005) sind aus derselben Quelle. Die restlichen Daten zur Untersuchung von Wilhelm (2007, 2005B), Flores et al. (2004) und Hestenes et al. (1992) stammen aus den gleichnamigen Quellen.

- Aufgabe 2: Münzwurf

Antworten	Treffer (1989/1990), n=426	Wilhelm (1994), n=188	Unterricht nach Konzept, Wilhelm (2005), n=151	Wilhelm (2007), n=251 Studenten
Vorzeichen				
Richtige Lösung	3%	7%	39%	34%
Fast-richtige Lösung	3%	10,1%	10%	-
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	34%	36,2%	14%	18%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	55%	41%	25%	24%
Sonstige	5%	5,9%	12%	-
Richtung				
Richtige Lösung	-	9%	42%	37%
Fast-richtige Lösung	-	18,6%	18%	-
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	-	3,7%	7%	4%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	-	62,2%	27%	33%
Sonstige	-	8,5%	6%	-

Tabelle 14: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 2 (Münzwurf)

Die Frage nach dem Vorzeichen wurde bei den ersten beiden Studien von den meisten nach der „Geschwindigkeits“-Vorstellung beantwortet. Zu beachten ist hierbei, dass sich die Anzahlen der befragten Personen unterscheiden. Weniger, aber immer noch viele Schülerinnen und Schüler entschieden sich dort für eine Antwort entsprechend der Änderung des Tempos. Bei der Untersuchung von 1994 wählten bezüglich der Richtung auch viele die Antwort für die Geschwindigkeit, erstaunlich ist hier ebenfalls, dass 18,6% die fast-richtige Lösung angaben. Die Schülerinnen und Schüler, die nach dem Unterrichtskonzept von Wilhelm unterrichtet wurden, zeigten deutlich bessere Ergebnisse. Knapp 40% konnten beide Teilaufgaben richtig beantworten. Auch viele der Studentinnen und Studenten aus der Untersuchung von 2007 gaben richtige Antworten. 34% konnten das Vorzeichen richtig bestimmen und 37% die Richtung der Beschleunigung.

- Aufgabe 3: Beschleunigungs-Zeit-Graphen

Unteraufgaben	Treffer (1989/1990), n=426	Wilhelm (1994), n=188	Unterricht nach Konzept, Wilhelm (2005), n=211
v konstant, nach rechts	47%	64%	72%
v konstant, nach links	22%	57%	52%
schnellerwerdend, nach rechts	28%	58%	54%
schnellerwerdend, nach links	12%	40%	40%
langsamerwerdend, nach rechts	21%	37%	37%
langsamerwerdend, nach links	-	28%	28%

Tabelle 15: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 3 (Beschleunigungs-Zeit-Graphen)

Hier werden die Häufigkeiten der richtigen Antworten zu den verschiedenen Bewegungen angegeben. Wie in der Auswertung der Aufgabe in dieser Arbeit erwähnt, können bei einigen Unteraufgaben die Antworten nicht eindeutig den Schülervorstellungen zur Beschleunigung zugeordnet werden. Bei der Untersuchung von Treffer sticht die Häufigkeit der richtigen Antworten zur Bewegung nach rechts mit konstanter Geschwindigkeit hervor. Die restlichen Bewegungen wurden von deutlich weniger Schülerinnen und Schülern richtig beantwortet. Hingegen wurden im Jahr 1994 die Unteraufgaben von relativ vielen richtig bearbeitet. Mit 28% wurde der Bewegung nach links, bei der das Auto langsamer wird, von den wenigsten Schülerinnen und Schülern der richtige Beschleunigungs-Zeit-Graph zugeordnet. Dies zeigt sich auch bei der Untersuchung mit dem Unterrichtskonzept.

- Aufgabe 4: Stroboskopbild

Die Aufgabe aus dem FCI-Test wurde von Wilhelm (2005B) in einem Vor- und Nachtest eingesetzt. Im Vortest konnten 15% der Schülerinnen und Schüler die Beschleunigung der beiden Körper richtig vergleichen. Mehr als doppelt so viele (33%) wussten nach dem herkömmlichen Unterricht im Nachtest die richtige Antwort.

- Aufgabe 5: Klotz auf der Rampe

Aufgabe	Hestenes, Wells (1992)		Wilhelm (2007), n=251 Studenten
	High School	Universität	
5.1	80% - 94%	67% - 86%	73%
5.2	1% - 40%	12% - 72%	3%
5.3	44% - 73%	53% - 96%	57%

Tabelle 16: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 5 (Klotz auf der Rampe)

Hestenes und Wells ließen unter anderem die „Klotz auf der Rampe“-Aufgabe von Schülerinnen und Schülern aus fünf High Schools und Studentinnen und Studenten aus drei Universitäten bearbeiten. Die Häufigkeiten der richtigen Antworten von den verschiedenen Gruppen liegen zwischen den angegebenen Grenzen. Der niedrigste, aber auch der größte Bereich ist bei den richtigen Antworten zur Aufgabe 5.1.

In der Untersuchung aus dem Jahr 2007 wurde ebenfalls die Aufgabe 5.1 von den wenigsten richtig beantwortet. Vergleichend dazu konnten 73% und 57% der Studentinnen und Studenten an den Positionen I und III die richtige Richtung der Beschleunigung angeben.

- Aufgabe 6: Rennstrecke

Unteraufgaben	Wilhelm (2005), n=217	Unterricht nach Konzept, Wilhelm (2005), n=35	Wilhelm (2007), n=251 Studenten
geradeaus, bremsend	88%	97%	91%
geradeaus, schneller werdend	93%	97%	93%
Kurvenfahrt, konstantes Tempo	12%	86%	19%
Kurvenfahrt, schneller werdend	9%	66%	15%
Kurvenfahrt, bremsend	6%	80%	15%

Tabelle 17: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 6 (Rennstrecke)

In allen drei Studien, in denen diese Aufgabe eingesetzt wurde, zeigten sich sehr hohe Werte für die richtigen Antworten bei den Bewegungen, in denen das Auto geradeaus fährt. Fährt das Auto entlang einer Kurve, so geben weniger Schülerinnen und Schüler beziehungsweise Studentinnen und Studenten den richtigen Pfeil für die Richtung der Beschleunigung an. Bei den Untersuchungen mit traditionellen Klassen fielen die Häu-

figkeiten der richtigen Antworten unter 20%. Bei den Antworten der Schülerinnen und Schüler, die nach dem Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, ist der Unterschied zwischen den verschiedenen Bewegungen nicht so groß.

- Aufgabe 7: Hügel Fahrt

Aufgabe	Flores et al. (2004)			Wilhelm (2007), n=251 Studenten
	Traditionelle Kurse, n=132	Kurse mit Tutorien, n=272	Kurse mit Schwerpunkt, n=100	
Richtige Lösung	15%	50%	90%	12%
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	50%	35%	-	39%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	25%	10%	-	12%

Tabelle 18: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 7 (Hügel Fahrt)

Flores et al. ließen diese Aufgabe von 132 Studentinnen und Studenten bearbeiten, die traditionelle Kurse besuchten, 272 nahmen an Kursen mit Tutorien teil und 100 an Kursen mit dem Schwerpunkt auf Vektoren. Aus dem traditionellen Kurs konnten 15% der Studentinnen und Studenten die Aufgabe richtig lösen, während die Hälfte nach der Änderung des Tempos antwortete und ein Viertel nach der Geschwindigkeit. Hingegen gaben 50% der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Kurse mit Tutorien die richtige Lösung an und 35% antworteten nach der „schneller/langsamer“-Vorstellung. Nur 10% gaben die Richtung der Geschwindigkeit an. In den Kursen mit dem Schwerpunkt wussten sogar 90% die richtige Lösung.

Die Studentinnen und Studenten aus der Untersuchung von 2007 zeigten eine ähnliche Verteilung wie die traditionellen Kurse. 39% wählten die Antwort nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht und jeweils 12% eine Antwort passend zu den anderen Vorstellungen.

- Aufgabe 8: Mond um die Erde

Aufgabe	Flores et al. (2004)		Wilhelm (2007), n=251 Studenten
	Kurse mit Tutorien, n=248	Kurse mit Schwerpunkt, n=75	
Richtige Lösung	50%	70%	33%
Nach: $\Delta \vec{v} $ (= schneller/ langsamer)	25%	-	30%
Nach: $\vec{v}$ Geschwindigkeit	-	-	31%

Tabelle 19: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 8 (Mond um die Erde)

Bei den Untersuchungen von Flores et al. zeigt sich, dass die gezielten Unterrichtsmethoden in den Kursen zu vielen richtigen Antworten für diese Aufgabe führen. Zum einen sind es 50% der Studentinnen und Studenten aus den Kursen mit Tutorien und zum anderen 70% aus den Kursen mit dem Schwerpunkt.

Die Häufigkeiten der Antworten von den Studentinnen und Studenten aus der Untersuchung von 2007 teilen sich gleichmäßig auf. Jede typische Schülervorstellung zur Beschleunigung wird in dieser Aufgabe von knapp 30% der Befragten vertreten.

4.2. Ergebnisse der Lehrerfragebögen

Der Schwerpunkt dieser Erhebung lag auf der Untersuchung der Schülervorstellungen zur Beschleunigung. Es bat sich an, den Lehrerinnen und Lehrern, die die jeweilige Klasse in diesem Schuljahr unterrichteten, auch einige Fragen in Form eines einseitigen Fragebogens zu stellen. Die meisten füllten ihn aus, während die Schülerinnen und Schüler den Test bearbeiteten. Zwei der Lehrerinnen und Lehrer wollten sich dafür mehr Zeit nehmen und reichten ihn einige Tage später nach. Insgesamt liegen die Antworten von zwölf Lehrkräften vor. Die Antworten der Lehrerinnen und Lehrer zu jeder Frage werden in den folgenden Absätzen genannt.

Die erste Frage bezog sich auf die Reihenfolge der behandelten Themen im Unterricht. Von zwölf Lehrerinnen und Lehrern gaben elf an, dass die als erstes mit der eindimensionalen Kinematik beginnen. Eine Lehrperson stieg hingegen mit den Kräften bei zweidimensionalen Bewegungen ein. Die Reihenfolge dieser Lehrkraft wird im nächsten Abschnitt gesondert betrachtet, da sie sich im Vergleich zu den anderen deutlich

unterscheidet. Die meisten Lehrkräfte, die mit der eindimensionalen Kinematik beginnen, behandeln anschließend die Wurfbewegungen. Diese beiden Themen werden also als Einstieg in die Mechanik eingesetzt. Zu den Anfangsthemen gehört ebenfalls die eindimensionale Dynamik beziehungsweise gehören die Kräfte bei eindimensionalen Bewegungen dazu. Meistens folgt dieses Thema den Wurfbewegungen.

Es lässt sich zusätzlich verallgemeinern, dass die zweidimensionale Kinematik, also die Kreisbewegung an das Ende der Mechanik gestellt und daher als letztes thematisiert wurde. Auch der Impuls liegt bei fast allen Lehrerinnen und Lehrern unter den drei zuletzt behandelten Themen. Die übrigen zwei Bereiche, die Kräfte bei zweidimensionalen Bewegungen und die Energie wurden sehr durchmischt entweder direkt nach dem Einstieg und der eindimensionalen Dynamik oder erst ganz zum Schluss erarbeitet.

Des Weiteren wurde im Lehrerfragebogen gefragt, was ihnen beim Unterrichten der Beschleunigung wichtig ist. Die Lehrerinnen und Lehrer nannten viele verschiedene Aspekte, die nach Überthemen geordnet wurden.

Für den Unterricht erscheint vielen sehr wichtig, die Definition und die Eigenschaften der Beschleunigung hervorzuheben. Die Beschleunigung soll dabei als vektorielle Größe verstanden werden, die neben dem Betrag auch eine Richtung besitzt. Bei eindimensionalen Bewegungen ist die Beschleunigung positiv oder negativ. Die Schülerinnen und Schüler sollen diesen Unterschied und die Deutung der beiden Vorzeichen besonders im Alltag kennen. Auch die Geschwindigkeit soll als vektorielle Größe verstanden werden. Im Unterricht soll nämlich gezeigt werden, dass sich nicht nur der Betrag der Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung durch die Beschleunigung ändert.

Die Behandlung der Grundgleichung der Mechanik

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

wird ebenfalls als wichtig erachtet. Eine Lehrkraft nannte die „mathematische Definition“ $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ und die Formel $s(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0$. Die Beschleunigung als Quotientenbegriff solle damit hervorgehoben werden.

Die Zusammenhänge zwischen der Beschleunigung und anderen Grundbegriffen der Mechanik ist den Lehrerinnen und Lehrern wichtig. Die genannte Grundgleichung der Mechanik stellt solch einen Zusammenhang dar. Sie zeigt, in welcher Beziehung die Größen Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft stehen. Eine Lehrkraft formulierte „der Zusammenhang zwischen beschleunigter Kraft und Beschleunigung mit beschleu-

nigter Masse/Trägheit als Proportionalitätsfaktor“. Neben den Zusammenhängen solle zusätzlich eine Abgrenzung der beiden Größen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ im Unterricht stattfinden.

Ferner legen die Lehrkräfte viel Wert auf Veranschaulichungen und passende Beispiele für die Beschleunigung. Mit Veranschaulichungen sind Diagramme gemeint, deren Umgang im Unterricht gefördert werden soll. Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme stellen eine graphische Lösung mit der Steigung und dem Flächeninhalt dar. Es wird beabsichtigt, dass Schülerinnen und Schüler solche Diagramme verstehen, selbst darstellen und die abgebildeten Bewegungen interpretieren können. Zusätzlich soll auch der Umgang mit Texten gestärkt werden. Dazu zählt das Erkennen von beschleunigten Bewegungen und der Änderung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit in Texten.

Das experimentelle Arbeiten und das Finden von Problemlösungsansätzen werden von einer Lehrkraft als wichtig empfunden. Außerdem sollten Beispiele für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen im Unterricht behandelt werden.

Die dritte Frage des Lehrerfragebogens bezog sich auf mögliche Schwierigkeiten, die die Schülerinnen und Schüler mit der Beschleunigung aus der Sicht der Lehrkräfte haben. Jede Lehrperson nannte hierbei verschiedene Probleme.

Laut einigen Lehrpersonen können Schwierigkeiten aufgrund der Einstellung der Schülerinnen und Schüler entstehen. Sie sehen keine Notwendigkeit darin, sich mit dem Thema zu beschäftigen und zeigen mangelndes Interesse. Auch die Herangehensweise der Schülerinnen und Schüler an beispielsweise Texte wird kritisiert. Sie würden die Texte und Aufgaben nur oberflächlich lesen.

Ferner werden Schwierigkeiten bezüglich des Verständnisses des Begriffs genannt. Durch die Alltagserfahrungen denken die Schülerinnen und Schüler bei beschleunigten Bewegungen nur an schnellere Bewegungen. Sie sehen die Beschleunigung als besondere Art der Geschwindigkeit an und unterscheiden diese beiden Größen besonders in Anwendungsaufgaben nicht. Aus der Lehrersicht haben die Schülerinnen und Schüler ebenfalls Probleme beim Erkennen, dass es sich bei der Beschleunigung um die Änderung der Geschwindigkeit, also die Änderung einer Änderung handelt, dass die Beschleunigung eine Richtung hat und dass für die Änderung der Richtung der Geschwindigkeit auch eine Beschleunigung benötigt wird. Eine Lehrkraft nennt die Schwierigkeit, die negative Geschwindigkeit und Beschleunigung zu verstehen.

Weitere Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler beziehen sich auf die mathematischen Fähigkeiten. Dazu gehören Verständnisprobleme bei der mathematischen Beschreibung der Beschleunigung als zweite Ableitung. Ebenfalls vermuten die Lehrkräfte, dass die Schülerinnen und Schüler am Verstehen der Formel $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ aufgrund des Symbols Δ scheitern. Das Umrechnen von Einheiten und Unterscheidung zwischen Formelzeichen, Formeln und Einheiten stellen weitere Probleme dar.

Am Ende des Fragebogens wurde nach der Einführung der Beschleunigung im Unterricht gefragt. Der Schwerpunkt der meisten Einführungen lag dabei auf einer experimentellen Vorgehensweise. Die Einführung mithilfe der Luftkissenfahrbahn war dabei sehr beliebt. Es wurden computergestützte Messungen von der Bewegung des Gleiters auf der Luftkissenfahrbahn, Schülerexperimente und quantitative, sowieso qualitative Messungen mit der Fahrbahn durchgeführt. In einer Klasse führten die Schülerinnen und Schüler selbst Experimente zur Bewegung an der schiefen Ebene durch. Das Beispiel des 100m-Laufes bei einem Wettkampf wurde ebenfalls eingesetzt.

Verschiedene Diagramme fanden ebenfalls Verwendung bei der Einführung. Während eine Lehrkraft mit Freihandexperimenten ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellte und dadurch die Beschleunigung vertiefte, verwendete ein anderer zur Kinematik ein Weg-Zeit-Diagramm. Eine Lehrkraft ging den Weg über die Änderung der Geschwindigkeit in einem vorgegebenen Beispiel und ließ die Schülerinnen und Schüler an einem Diagramm den Grenzwertprozess „von der Sekante zur Tangente“ durchführen.

Dies zeigt, dass viele Lehrerinnen und Lehrer mit Experimenten und Beispielen gearbeitet haben. Auch Simulationen wie „Der bewegte Mann“ wurden verwendet.

4.3. Zusammenhänge zwischen den Lehrer- und Schülerantworten

Die Auswertung der Schülerfragebögen zeigte, welche Schülervorstellung bei der Bearbeitung der Aufgaben am häufigsten auftritt. In sechs von acht Aufgaben antworteten die Schülerinnen und Schüler nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung der Geschwindigkeit entspricht. Bei der Auswertung der Lehrerfragebögen konnten Verallgemeinerungen in Bezug auf die Reihenfolge der behandelten Themen vorgenommen werden. Dies lässt vermuten, dass es in dieser Erhebung einen Zusammenhang zwischen den gezeigten Schülervorstellungen und der Reihenfolge der Unterrichtsthemen gibt. Beginnt der Unterricht mit der eindimensionalen Kinematik, den Wurfbewegungen

und der eindimensionalen Dynamik und endet mit der zweidimensionalen Kinematik, so wird bei den Schülerinnen und Schülern die Vorstellung gefördert, dass die Beschleunigung das Gleiche wie die Geschwindigkeit ist. Hingegen müssten Schülerinnen und Schüler, die im Unterricht zuerst zweidimensionale und danach eindimensionale Bewegungen kennengelernt haben, die physikalische Vorstellung zur Beschleunigung besitzen. In der Erhebung gibt es eine Lehrperson, die ihren Unterricht in dieser Reihenfolge gehalten hat. Demnach müsste diese Klasse gute Ergebnisse erzielt haben. Dies wird im nächsten Abschnitt genauer betrachtet.

Des Weiteren werden anhand der vorliegenden Daten zwei weitere interessante Fragen untersucht: Inwiefern unterscheiden sich die Ergebnisse zweier Klassen, die in dem Schuljahr von derselben Lehrkraft in Physik unterrichtet wurden und beeinflussen sich die Einstellungen der Lehrerinnen und Lehrer die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler? Diese Fragen beziehen sich immer nur auf einzelne Klassen, da sie sich erst während beziehungsweise nach der Erhebung ergeben haben. Es wurde für diesen Zweck eine Auswertung der Ergebnisse für jede einzelne Klasse durchgeführt.

4.3.1. Abweichende Reihenfolge der Unterrichtsthemen

Die Lehrperson, die sich von den anderen Lehrerinnen und Lehrern aufgrund der Reihenfolge der Unterrichtsthemen unterscheidet, begann mit den Kräften bei zweidimensionalen Bewegungen. Die Reihenfolge sah folgendermaßen aus:

1. Kräfte bei zweidimensionalen Bewegungen
2. Eindimensionale Kinematik
3. Eindimensionale Dynamik bzw. Kräfte bei eindimensionalen Bewegungen
4. Wurfbewegungen
5. Zweidimensionale Kinematik bzw. Kreisbewegungen
6. Energie
7. Impuls

Die Lehrkraft ergänzte zu den vorgegebenen Themen noch die Planetensysteme, die Keplerschen Gesetze und die Gravitation. Sie behandelte diese Themen zwischen den Wurfbewegungen und der zweidimensionalen Kinematik. Nach eigenen Angaben entspricht dieses Vorgehen dem Unterrichtskonzept von Wilhelm.

Wichtig beim Unterrichten war der Lehrperson, dass die Schülerinnen und Schüler den Unterschied zwischen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung kennen, ihnen der

Richtungscharakter, die Parallelität zur Kraft und der Beschleunigungs-Kraft-Zusammenhang („keins von beiden ohne das andere“) bewusst ist. Mögliche Schwierigkeiten sieht die Lehrkraft in der Abgrenzung der Beschleunigung gegenüber der Geschwindigkeit, beim Verstehen des Richtungscharakters beziehungsweise der Vektoreigenschaft und dem Vorzeichen der Beschleunigung. Die Einführung der Beschleunigung ist dieser Klasse erfolgte über den Quotienten aus dem Vektor der Geschwindigkeitsänderung und der Änderung der Zeit. Vorher fand zufällig eine eindimensionale Einführung durch einen Schüler in einem Referat statt.

Aufgrund dieser Angaben wurde erwartet, dass die Klasse im Test besser abschneidet als die anderen Klassen. Insgesamt zeigte sich bei der Auswertung dieser Klasse, dass die meisten die Aufgaben so beantworten, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt und nicht nach der Beschleunigung. Die Ergebnisse der einzelnen Klassen werden kurz dargestellt:

In Aufgabe 1 sinkt der Anteil der richtigen Antwort mit jeder folgenden Unteraufgabe. Während zu Beginn noch alle das Vorzeichen der Beschleunigung beantworten können, sind es in Aufgabe 1.6 nur noch 59%. Bei der Münzwurf-Aufgabe wählt die Hälfte der Klasse das Vorzeichen für die Geschwindigkeit und sogar 77,27% der 22 Schülerinnen und Schüler die Richtung der Geschwindigkeit. Darunter befinden sich 22,73%, die beim Vorzeichen nach der „schneller/langsamer“-Vorstellung geantwortet haben. Keiner konnte das Vorzeichen richtig oder zumindest fast-richtig bestimmen und nur einer wusste die Richtung der Beschleunigung „fast-richtig“. Bei der Aufgabe, in der zu den beschriebenen Bewegungen passende Beschleunigungs-Zeit-Graphen zugeordnet werden sollten, gaben nur zwei Teilnehmer zur Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit nach links und nur ein Teilnehmer zur schnellerwerdenden Bewegung nach links die richtige Lösung. Die restlichen Bewegungen wurden von niemandem richtig beantwortet. Zwischen 31,82% und 81,82% der Schülerinnen und Schüler zeigten die „Geschwindigkeit statt Beschleunigung“-Vorstellung. In der Aufgabe zum Stroboskopbild gaben erneut 50% die Antwort für die Geschwindigkeit beziehungsweise für das Tempo. Nur zwei Schülerinnen und Schüler wählen die richtige Antwort. Dagegen konnten in Aufgabe 5.1 77,27% die richtige Richtung bestimmen. Keiner tat dies in Aufgabe 5.2 und nur 18,18% in Aufgabe 5.3. Besonders in der zweiten Position wählten 68,18% die Richtung der Geschwindigkeit. Die Aufgabe 6 konnte kaum jemand richtig beantworten. Bei den Kurvenfahrten entschieden sich durchgehen 22,73% für die Richtung der

Geschwindigkeit und auf den geraden Strecken 13,64%. Die Aufgaben 7 und 8 wurden von 27,27% und 36,36% der Schülerinnen und Schüler nach der Vorstellung beantwortet, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht. Deutlich mehr antworteten nach der „Geschwindigkeits“-Vorstellung (36,36% und 50%).

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler dieser Klasse nicht wie erwartet besser als die anderen Befragten abgeschnitten haben. Es gab selten Aufgaben, die von einigen nach der physikalischen Vorstellung gelöst wurden. Demnach muss die zuvor aufgestellte Annahme für diesen Fall verworfen werden. Der Beginn mit den zweidimensionalen Bewegungen hatte hierbei keinen Einfluss auf die Schülervorstellungen. Jedoch konnte nicht festgestellt werden, ob die Lehrkraft tatsächlich nach dem erwähnten Konzept unterrichtete oder welche Abweichungen es gab. Deshalb wird hier keine verallgemeinernde Aussage gemacht.

4.3.2. Vergleich zweier Klassen derselben Lehrkraft

An der Erhebung nahmen zwei Klassen teil, die in dem Schuljahr von derselben Lehrkraft unterrichtet wurden. Dies waren die Klassen 10 und 15 in der Auswertung bestehend aus 24 und 17 Schülerinnen und Schülern. Interessant schien es daher, die Ergebnisse der beiden Klassen miteinander zu vergleichen. Vor der Auswertung wurde nämlich vermutet, dass sich die Ergebnisse der beiden Klassen nicht deutlich unterscheiden, wenn die Lehrkraft beide Klassen gleichermaßen unterrichtet hat.

Die Lehrperson gab beim Lehrerfragebogen folgende Angaben zur Reihenfolge der behandelten Themen:

1. Eindimensionale Kinematik
2. Wurfbewegungen
3. Eindimensionale Dynamik bzw. Kräfte bei eindimensionalen Bewegungen
4. Energie
5. Impuls
6. Zweidimensionale Kinematik bzw. Kreisbewegung
7. Kräfte bei zweidimensionalen Bewegungen

Beim Unterrichten der Beschleunigung ist ihm wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler experimentell arbeiten und Problemlöseansätze kennenlernen. Schwierigkeiten

können dabei bei den Alltags- beziehungsweise Intuitionswahrnehmungen auftreten. Die Schülerinnen und Schüler sehen keine Notwendigkeit, sich mit dem Thema zu beschäftigen und empfinden es als nichts „Geheimnisvolles“. Es fehlt die Problemstellung. Die Lehrkraft führte die Kinematik in den Klassen experimentell am Orts-Zeit-Diagramm ein und die Dynamik experimentell mit einer Geschichte durch die Variation von Massen beziehungsweise Kräften.

Die Ergebnisse der beiden Klassen werden hier nicht im einzelnen vorgestellt, sondern nur anhand von interessanten Auffälligkeiten miteinander verglichen. Viele Schülerinnen und Schüler aus beiden Klassen beantworten die Aufgaben nach der Vorstellung, dass die Beschleunigung der Änderung des Tempos entspricht und zeigen damit ein gewisses Verständnis. In einigen Aufgaben unterscheiden sich allerdings die Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen.

Bei der Münzwurf-Aufgabe wählten 54,17% aus Klasse 10 und 47,06% aus Klasse 15 die Antwort für das Vorzeichen entsprechend der „schneller/langsamer“-Vorstellung. Erstaunlich ist bei der Aufgabe, dass es mehr Schülerinnen und Schüler gibt, die die Richtung der Münze richtig oder fast-richtig bestimmt haben, als bei der Frage nach dem Vorzeichen. In Aufgabe 6 ist das Antwortverhalten der Klassen ähnlich. Besonders bei der Kurvenfahrt mit konstantem Tempo und der Kurvenfahrt, in der das Auto abbremsst, treten mehr Antworten entsprechend der Änderung des Tempos auf, als nach der „Geschwindigkeits“-Vorstellung. In Klasse 10 sind es jeweils um die 50%.

Die Ergebnisse der restlichen Aufgaben sind relativ verschieden. Bei der Aufgabe mit dem Beschleunigungs-Zeit-Graphen gibt es zwar viele, die die Aufgabe so bearbeiten, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt (in Aufgabe 3.5 beispielsweise 41,67%), allerdings gibt es auch Schülerinnen und Schüler, die ein gewisses Verständnis der Beschleunigung zeigen und auch richtig antworten. Dies lässt sich von Klasse 15 sagen. In dieser Aufgabe ist der Anteil der Antworten nach der Geschwindigkeit viel größer als in den vorherigen Aufgaben. Deutliche Unterschiede zeigen sich ebenfalls in den Aufgaben 4, 7 und 8. In Aufgabe 4 geben fast 50% der Schülerinnen und Schüler aus Klasse 10 eine richtige Antwort, während 60% der Klasse 15 die Geschwindigkeiten der beiden Körper miteinander vergleichen. Auch in Aufgabe 7 liegt der Anteil der richtigen Antworten aus Klasse 10 höher als in Klasse 15. Dies ändert sich in Aufgabe 8. Die „Mond um die Erde“-Aufgabe wurde in Klasse 15 von 29,41% der Schülerinnen und Schüler richtig und von 29,41% nach der Änderung des Tempos beantwortet, während keiner

aus Klasse 10 eine richtige Antwort geben konnte, aber ganze 83,33% ein reduziertes Verständnis der Beschleunigung (als Änderung des Tempos) zeigten.

Im Vergleich zu den allgemeinen Ergebnissen von allen besitzen viele Schülerinnen und Schüler aus diesen beiden Kursen die Vorstellung, dass die Beschleunigung die Änderung des Tempos ist. Dies weicht zwar bei einigen Aufgaben ab, jedoch zeigen sie ein gewisses Verständnis der Beschleunigung. Da die zweidimensionalen Bewegungen in den Klassen gegen Ende des Schuljahres thematisiert wurden und die Erhebung zu dieser Zeit stattfand, lassen sich die hohen Anteile der richtigen Antworten möglicherweise dadurch erklären, dass dieses Thema noch „frisch“ vorhanden ist. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Klassen zeigen jedoch auch, dass der Unterricht trotz derselben Lehrkraft nicht der Gleiche war. Die Lehrkraft setzte womöglich verschiedene Schwerpunkte, was allerdings aufgrund von fehlenden Daten nicht eindeutig gesagt werden kann.

4.3.3. Einfluss der Lehreransichten

Während der Auswertung der Lehrerfragebögen stach eine Lehrkraft mit ihren Antworten heraus. Ihr war es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler die Beschleunigung als vektorielle Größe verstehen und sie von der Geschwindigkeit abgrenzen können. Außerdem nannte sie die Richtung der Beschleunigung und das Verständnis der Beschleunigung als zeitliche Änderung der Geschwindigkeit (Quotientenbegriff) als wichtige Aspekte. Da die genannten Punkte zu der physikalischen Vorstellung zur Beschleunigung gehören, wurde anhand der Ergebnisse des Schülerfragebogens dieser Klasse untersucht, ob sich solch eine Einstellung der Lehrkraft auf die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler auswirkt. Es wurde angenommen, dass wenn eine Lehrkraft viel Wert auf bestimmte Schwerpunkte legt, dass sie diese auch im Unterricht umsetzt und dadurch die physikalische Vorstellung der Schülerinnen und Schüler fördert. Diese Untersuchung bezieht sich wie die vorherigen Fragen natürlich nur auf eine Klasse (mit 12 Schülerinnen und Schülern), weshalb die Resultate wieder nicht verallgemeinert werden.

Aus der Sicht der Lehrkraft entstehen Schwierigkeiten beim Unterrichten der Beschleunigung durch die Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler, die eine beschleunigte Bewegung mit einer schnellen Bewegung gleichsetzen. Diese Vorstellung führe dazu, dass der Zeitraum des „Schnellerwerdens“ nicht angegeben oder verstanden wird.

Die Beschleunigung sei eine besondere Art der Geschwindigkeit. Die Einführung der Beschleunigung im Unterricht erfolgte über eine Simulation.

Die Lehrkraft unterrichtete die Themen der Mechanik in folgender Reihenfolge:

1. Eindimensionale Kinematik
2. Wurfbewegungen
3. Eindimensionale Dynamik bzw. Kräfte bei eindimensionalen Bewegungen
4. Kräfte bei zweidimensionalen Bewegungen
5. Energie
6. Impuls
7. Zweidimensionale Kinematik bzw. Kreisbewegung

In den meisten Aufgaben zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler eine Antwort zur Geschwindigkeit anstelle zur Beschleunigung gaben. Besonders bei den Aufgaben 2, 3, 7 und 8 tritt diese Vorstellung öfter auf als die anderen. 50% der Schülerinnen und Schüler bestimmten das Vorzeichen der Geschwindigkeit beim Münzwurf und sogar 75% gaben dort die Richtung der Geschwindigkeit an. In Aufgabe 3.5 ordneten 50% statt dem Beschleunigungs-Zeit-Graphen den passenden Geschwindigkeits-Zeit-Graphen zur beschriebenen Bewegung zu. 66,67% der Schülerinnen und Schüler zeigten sowohl in Aufgabe 7, als auch in Aufgabe 8 die „Geschwindigkeits“-Vorstellung. Die Aufgaben 1 und 5.1 wurden hingegen von den meisten nach der physikalischen Vorstellung beantwortet. Die Beantwortung der Aufgabe 6 fiel sehr durchmischt aus: Bei einigen Bewegungen gaben 25% der Schülerinnen und Schüler die richtige Richtung an, während bei anderen Bewegungen dieser Anteil sank und dafür die anderen Schülervorstellungen häufiger vertreten waren.

Trotz der beschriebenen Einstellung der Lehrkraft, sind die meisten Schülerinnen und Schüler dieses Kurses nicht in der Lage, an die Aufgaben mit der physikalischen Vorstellung heranzugehen. Die Lehrperson gab unter anderem an, dass ihr die Abgrenzung zwischen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung wichtig beim Unterrichten ist, allerdings zeigt sich anhand der Ergebnisse, dass dies im Unterricht nicht an die Schülerinnen und Schüler weitergegeben werden konnte. Viele sehen keinen Unterschied zwischen den beiden Größen, zumindest nicht während der Bearbeitung der Testaufgaben. Da hier jedoch kein detaillierter Unterrichtsverlauf vorliegt, ist es denkbar, dass die

Lehrkraft im Unterricht andere Schwerpunkte setzte, als die, die sie im Fragebogen für wichtig erachtete.

5. Verbesserungsvorschläge zur Erhebung

Während der Untersuchung fielen einige Aspekte des Tests auf, die zwecks der Verbesserung zukünftiger Erhebungen solcher Art verändert werden können. Für die Erhebung im Rahmen dieser Arbeit konnten diese Veränderungen nicht umgesetzt werden.

Im Test wurden die Aufgaben als Single-Choice-Aufgaben gestellt, um die Auswertung zu erleichtern und objektiv durchzuführen. Dies lag an der Menge der getesteten Schülerinnen und Schüler. Durch Ankreuzaufgaben ist es allerdings schwieriger zu interpretieren, mit welcher Begründung die Schülerinnen und Schüler eine der Antworten wählten. Dafür sollten zu den Aufgaben Begründungen erfragt werden. Entweder geschieht dies durch eine Zusatzaufgabe, in der in einigen Sätzen die Wahl der Antwortmöglichkeit begründet werden soll oder durch Interviews. Die letztere Methode ist deutlich zeitaufwändiger, da mit jeder einzelnen Schülerin und jedem einzelnen Schüler Gespräche geführt werden müssen. Im Vergleich dazu ist die Ergänzung einer Zusatzaufgabe weniger zeitaufwändig. Die beiden Optionen wirken sich jedoch auf die Objektivität der Auswertung aus, da jeder Satz der Schülerinnen und Schüler möglicherweise anders interpretiert wird, als der- beziehungsweise diejenige es beabsichtigte.

Ferner muss die Auswertung nicht unbedingt mit einer Umfrage-Software durchgeführt werden. Wird der Test nur in einigen Klassen eingesetzt, kann die Auswertung auch per Hand mit einem Tabellenkalkulationsprogramm erfolgen. Dadurch ist es möglich, im Test Aufgaben zu verwenden, in denen die Schülerinnen und Schüler beispielsweise selbst Pfeile einzeichnen oder einen passenden Graphen erstellen sollen. In den Originalversionen einiger Aufgaben des Tests war dies gefordert. Durch die Anpassung der Aufgaben zu Multiple-Choice-Aufgaben ging die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit älteren Ergebnissen verloren.

Außerdem fiel während der Erhebung in einigen Klassen auf, dass die Schülerinnen und Schüler die Aufgaben nicht richtig durchlesen, sondern nur grob überfliegen und dadurch anders verstehen. Es wurde befürchtet, dass das mangelnde Textverständnis das Antwortverhalten beeinflusst und separat überprüft werden müsste. Allerdings waren alle Aufgaben bereits Teil von mehreren Studien und wurden deutlich überarbeitet, um

dieses Problem zu vermeiden. Bei Bedarf können zum Beispiel die Situationsbeschreibungen in Aufgabe 1, 2 und 3 gekürzt oder anders formuliert werden.

Möchte eine Lehrkraft im Unterricht die vorhandenen Schülervorstellungen untersuchen, so eignen sich dafür nicht alle Aufgaben aus dem hier verwendeten Test. In der Auswertung konnten die Antworten nämlich nicht immer eindeutig einer Schülervorstellung zugeordnet werden. Für diesen Zweck sind die Münzwurf-Aufgabe, die Aufgaben 3.5 und 3.6 zu den Beschleunigungs-Zeit-Graphen, fast alle Ortspunkte der Rennstrecken-Aufgabe (Aufgabe 6), die Hügelfahrt (Aufgabe 7) und die Mond-Aufgabe (Aufgabe 8) gut geeignet. Mit den restlichen Aufgaben ist es sinnvoller zu untersuchen, wie viele Schülerinnen und Schüler die Aufgabe richtig beantwortet haben. Besonders die erste Aufgabe des Tests zum Vorzeichen der Beschleunigung sollte nicht zur Bestimmung der Schülervorstellungen verwendet werden. Sie eignet sich jedoch gut als motivierende Einstiegsaufgabe mit vielen richtigen Antworten.

Ein weiterer Punkt, der in künftigen Untersuchungen beachtet werden sollte, ist der gewählte Zeitpunkt für den Besuch in den Klassen. In einigen Klassen wurde der Test in Schulstunden durchgeführt, in denen die Schülerinnen und Schüler keinen Physikunterricht hatten. Sie waren also nicht darauf eingestellt, dass sie ihr physikalisches Wissen anwenden müssen und gaben intuitive Antworten, die meistens den Vorstellungen aus dem Alltag entsprechen. Die Schülerinnen und Schüler aktivieren bei der Bearbeitung der Aufgaben nicht gezielt ihre physikalische Vorstellung. Deshalb sollte der Test in den Physikunterricht eingebettet werden.

Der letzte genannte Vorschlag bezieht sich auf den Lehrerfragebogen. Dort wurde nur nach einer groben Ordnung der Reihenfolge von den vorgegebenen Unterrichtsthemen und einigen Ansichten zur Beschleunigung gefragt. Möchte man jedoch die Zusammenhänge zwischen den Lehrer- und Schüleransichten vertiefter untersuchen, bieten sich unter anderem die Frage nach einem detaillierteren Unterrichtsverlauf und mehreren Fragen zu den Ansichten an. Da dies jedoch nicht der Schwerpunkt dieser Arbeit war, fand eine Beschränkung auf die vier gestellten Fragen statt.

6. Abschließende Betrachtung

Schülervorstellungen, die die Schülerinnen und Schüler bereits mit in den Unterricht bringen, sind wichtig für die Verarbeitung von neuen Inhalten. Dabei muss die vorhandene Vorstellung nicht mit der physikalischen Vorstellung übereinstimmen. Neue Themen werden mit den vorhandenen Schülervorstellungen verknüpft und dadurch anders verstanden, als die Lehrkraft es beabsichtigte. Dies führt zu möglichen Lernschwierigkeiten. Deshalb muss der Unterricht die bekannten Schülervorstellungen aufgreifen und den Schülerinnen und Schülern die physikalische Vorstellung näherbringen.

Das Ziel der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung war es herauszufinden, welche Schülervorstellungen zu einem der kinematischen Grundbegriffe, der Beschleunigung bei Schülerinnen und Schüler aus den hessischen Einführungsphasen verbreitet sind. Dafür wurden 346 Schülerinnen und Schüler aus 20 hessischen Klassen getestet, die bereits im Unterricht sowohl eindimensionale, als auch zweidimensionale Bewegungen behandelt haben und dadurch in der Lage sind, die acht Single-Choice-Aufgaben des Tests zu bearbeiten. Diese acht Aufgaben beziehen sich auf ein- und zweidimensionale Bewegungen, in denen unter anderem das Vorzeichen und die Richtung der Beschleunigung bestimmt und zu beschriebenen Bewegungen passende Beschleunigungs-Zeit-Graphen zugeordnet werden sollen. Die Auswertung der Fragebögen zeigte sich deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler auch nach dem Unterricht über eine von der physikalischen Vorstellung abweichende Vorstellung zur Beschleunigung verfügen und öfter anwenden. In vielen Aufgaben zeigen die meisten Schülerinnen und Schüler die Vorstellung, dass die Beschleunigung der Geschwindigkeit entspricht und keine Abgrenzung der beiden Größen vornehmen. Der Anteil derjenigen, die die Aufgaben nach der Vorstellung beantworten, dass die Beschleunigung die Änderung des Tempos ($\Delta|\vec{v}|$) ist, ist zwar relativ hoch, aber in den meisten Aufgaben tritt diese Vorstellung seltener auf als die „Geschwindigkeits“-Vorstellung. Dies zeigt eine reduzierte, aber einigermaßen noch verständnisvolle Vorstellung zur Beschleunigung. Die wenigsten Schülerinnen und Schüler antworten nach der physikalischen Vorstellung, dass die Beschleunigung die Änderung der Geschwindigkeit beschreibt. Ein auffälliges Beispiel dafür ist die Münzwurf-Aufgabe, die lediglich von 4 Schülerinnen und Schüler (1,16%) richtig beantwortet wurde. Sie wussten sowohl das Vorzeichen, als auch die Richtung der Beschleunigung in allen drei Fällen.

Werden die Ergebnisse in Bezug auf eine durchgängige Verwendung einer typischen Schülervorstellung in allen Aufgaben untersucht, so fällt auf, dass keiner der 346 Schü-

lerinnen und Schüler in der Lage war, konsequent bei einer Vorstellung zu bleiben. Sie besitzen also mehrere Vorstellungen zu einem Begriff, die sie je nach dem gefragten Kontext anwenden. Die Vorstellungen sind insgesamt nicht alle miteinander vernetzt. Wenn die Schülerinnen und Schüler die Aufgaben ein weiteres Mal bearbeiten, werden sie also nicht die gleichen Antworten geben wie zuvor.

Aus den eingesetzten Lehrerfragebögen ergab sich, dass fast alle Lehrkräfte ihren Unterricht in der Einführungsphase mit der eindimensionalen Kinematik und den Wurfbewegungen begonnen und mit der zweidimensionalen Kinematik beendet haben. Wilhelm (2005A) zeigte allerdings, dass die Umkehrung dieser Reihenfolge durch den Einsatz von dynamisch ikonischen Repräsentationen das physikalische Verständnis von Schülerinnen und Schülern zu Grundbegriffen der Kinematik besser fördert. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit exemplarisch anhand von einer Klasse nicht bestätigt werden. In der Klasse einer Lehrkraft, die nach eigenen Angaben nach dem Konzept unterrichtete, war am häufigsten die Vorstellung vertreten, dass die Beschleunigung der Geschwindigkeit entspricht.

Im Unterricht sollte die Lehrkraft deshalb mehr Wert auf das Verstehen der Begriffe, hier bezogen auf die Beschleunigung, anstelle von Rechenfertigkeiten legen. Des Weiteren ist der Vektorcharakter der Beschleunigung sehr wichtig. Den Schülerinnen und Schülern sollte bewusst sein, dass die Beschleunigung neben dem Betrag auch eine Richtung besitzt. Ebenfalls muss der Unterschied zwischen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung verstanden werden, um Aufgaben, wie sie im verwendeten Test eingesetzt wurden, mit der physikalischen Vorstellung lösen zu können.

7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Typische Schülervorstellungen zur Beschleunigung.....	15
Abbildung 2: Mögliche Fahrtrichtungen des Autos in Aufgabe 1.....	20
Abbildung 3: Vorgegebene Geschwindigkeits-Zeit-Graphen in Aufgabe 1	20
Abbildung 4: Vorgegebene Antwortmöglichkeiten für die Richtung der Beschleunigung in Aufgabe 2	21
Abbildung 5: Vorgegebene Beschleunigungs-Zeit-Graphen in Aufgabe 3.....	22
Abbildung 6: Stroboskopbild.....	22
Abbildung 7: Positionen des Klotzes auf der Rampe (links), vorgegebene Pfeilmöglichkeiten (rechts).....	23
Abbildung 8: Rennstrecke	24
Abbildung 9: Hügelfahrt des Autos (links), vorgegebene Antwortmöglichkeiten für die Richtung der Beschleunigung (rechts).....	25
Abbildung 10: Bewegung des Mondes (links), vorgegebene Antwortmöglichkeiten für die Änderung der Geschwindigkeit (rechts)	25
Abbildung 11: Münzwurf-Aufgabe aus dem Test von Wilhelm (1994)	27
Abbildung 12: Themen der Mechanik	31
Abbildung 13: Häufigkeiten der Antworten zu den Unteraufgaben in Aufgabe 1	33
Abbildung 14: Häufigkeiten der Antworten zu den Unteraufgaben in Aufgabe 3	39
Abbildung 15: Häufigkeiten der Antworten in Aufgabe 4	44
Abbildung 16: Häufigkeiten der Antworten zu Position I in Aufgabe 5.....	45
Abbildung 17: Häufigkeiten der Antworten zu Position II in Aufgabe 5.....	46
Abbildung 18: Häufigkeiten der Antworten zu Position III in Aufgabe 5.	46
Abbildung 19: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 1 in Aufgabe 6.	49
Abbildung 20: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 2 in Aufgabe 6.	49
Abbildung 21: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 3 in Aufgabe 6.	50
Abbildung 22: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 4 in Aufgabe 6.	51
Abbildung 23: Häufigkeiten der Antworten zu Ortspunkt 5 in Aufgabe 6.	51
Abbildung 24: Häufigkeiten der Antworten in Aufgabe 7	55
Abbildung 25: Häufigkeiten der Antworten in Aufgabe 8	56

Tabelle 1: Verwendung der Aufgaben in älteren Studien.....	26
Tabelle 2: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 1	34
Tabelle 3: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen zum Vorzeichen in Aufgabe 2	35
Tabelle 4: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen zur Richtung in Aufgabe 2.....	36
Tabelle 5: Kombinationshäufigkeiten (Vorzeichen und Richtung) zu Aufgabe 2	37
Tabelle 6: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 3	40
Tabelle 7: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen zu den Kategorien 'rechts' und 'links' in Aufgabe 3	41
Tabelle 8: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 5	47
Tabelle 9: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen in Aufgabe 6	52
Tabelle 10: Häufigkeiten der auftretenden Schülervorstellungen zu den Kategorien 'geradeaus' und 'Kurvenfahrt' in Aufgabe 6	53
Tabelle 11: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen in Aufgabe 7.55	
Tabelle 12: Häufigkeiten der Antworten nach den Schülervorstellungen in Aufgabe 8.57	
Tabelle 13: Häufigkeiten der durchgängig verwendeten Schülervorstellungen in jeder Aufgabe.....	58
Tabelle 14: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 2.....	60
Tabelle 15: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 3.....	61
Tabelle 16: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 5.....	62
Tabelle 17: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 6	62
Tabelle 18: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 7.....	63
Tabelle 19: Ergebnisse aus älteren Studien zu Aufgabe 8.....	64

8. Literatur

- Duit, R. (1994):** *An Schülervorstellungen anknüpfend Physik lehren und lernen.* In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 5. Nr. 22. S. 4-5.
- Flores, S.; Kanim, S.; Kautz, C. (2004):** *Student use of vectors in introductory mechanics* - In: American Journal of Physics 72. Nr. 4. S. 460 – 468.
- Härtig, Hendrik (2014):** *Das Force Concept Inventory: Vergleich einer offenen und einer geschlossenen Version.* In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid 1/13. 2014. S. 53 – 61.
- Häußler, P.; Bündler, W.; Duit, R.; Gräber, W.; Mayer, J. (1998):** *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis.* IPN. Köln
- Hestenes, D.; Wells, M. (1992):** *A Mechanics Baseline Test.* In: The physics teacher 30. S. 159 – 166.
- Heuer, D.; Wilhelm, T. (1997):** *Aristoteles siegt immer noch über Newton. Unzulängliches Dynamikverstehen in Klasse 11.* In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 50. Nr. 5. S. 280 – 285.
- Jung, W.; Reul, H.; Schwedes, H. (1977):** *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6. Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik.* Verlag Moritz Diesterweg. Frankfurt am Main, Berlin, München.
- Jung, W.; Wiesner, H.; Engelhardt, P. (1981):** *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik: empirische Untersuchungen und Ansätze zu didaktisch-methodischen Folgerungen.* Didaktischer Dienst Franzbecker. Bad Salzdetfurth.
- Mikelskis, H.F. (Hrsg.) (2010):** *Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II.* Cornelsen Verlag Scriptor.
- Müller, R.; Wodzinski, R.; Hopf, M. (Hrsg.) (2011):** *Schülervorstellungen in der Physik.* Aulis Verlag. Köln.
- Treffer, R. (1989):** *Schülerexperimente zur Kinematik mit dem Computer, Bericht über erste Testergebnisse und Art des Unterrichts.* In: Kuhn, W. (Hrsg.): Didaktik der Physik, Vorträge Physikertagung 1989 Bonn (Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Fachausschuß Didaktik der Physik). S. 229 – 235.
- Treffer, R. (1990):** *Fehlkonzepte erkennen durch Faktoranalyse von Multiple-Choice-Fragen - Eine schnelle Möglichkeit zur Kontrolle von Lernerfolgen.* In: Wiebel, K. H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perspektiven, Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Kassel, September 1989. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), Leuchtturm-Verlag, S. 314 – 316

- Wiesner, H. (1994):** *Zum Einführungsunterricht in die Mechanik: Statisch oder dynamisch? Fachmethodische Überlegungen und Unterrichtsversuche zur Reduzierung von Lernschwierigkeiten.* In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 5. Nr. 22. S. 16 – 23.
- Wiesner, H.; Schecker, H.; Hopf, M. (Hrsg.) (2011):** *Physikdidaktik kompakt.* Aulis Verlag
- Wilhelm, T.; Heuer, D. (2002):** *Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden – durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung.* In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 51. Nr. 7. S. 29 – 34.
- Wilhelm, T. (2005A):** *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Studien zum Physik- und Chemielernen.* Band 46. Logos-Verlag. Berlin.
- Wilhelm, T. (2005B):** *Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern - Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht.* In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid 2/4. 2005. S. 47 – 56.
- Wilhelm, T. (2006):** *Zweidimensionale Bewegungen – Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes.* In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): Didaktik der Physik – Kassel 2006. Lehmanns Media. Berlin.
- Wilhelm, T. (2007):** *Vektorverständnis und vektoriell Kinematikverständnis von Studienanfängern.* In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebach, H. (Hrsg.): Didaktik der Physik - Regensburg 2007. Lehmanns Media. Berlin.
- Wilhelm, T. (2008):** *Vorstellungen von Lehrern über Schülervorstellungen.* In: Höttecke, D. (Hrsg.): Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Essen 2007. Band 28. Lit-Verlag. Münster. S. 44 – 46.
- Wilhelm, T.; Tobias, V.; Waltner, C.; Hopf, M.; Wiesner, H. (2011):** *Zweidimensionale-dynamische Mechanik – Ergebnisse einer Studie.* In: Höttecke, D. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Potsdam 2010. Band 31. Lit-Verlag. Münster. S. 438 – 440.
- Wodzinski, R.; Wiesner, H. (1994):** *Einführung in die Mechanik über die Dynamik: Beschreibung von Bewegungen und Geschwindigkeitsänderungen.* In: Physik in der Schule 32. Nr. 5. S. 164 – 169.

Anhang

- Datenträger (CD)

Die CD beinhaltet den Schülerfragebogen, den Lehrerfragebogen, eine Tabelle mit den Antworten nach den typischen Schülervorstellungen zur Beschleunigung für jede Aufgabe und die Auswertung der einzelnen Klassen. Die Ergebnisse der einzelnen Klassen wurden analog zur allgemeinen Auswertung dargestellt.

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwandt und diejenigen Elemente, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Frankfurt, den 10.11.2016

Beyhan Gemicci