

Dynamischer Mechanikunterricht - Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie

Franz Jetzinger*, Verena Tobias*, Christine Waltner*, Hartmut Wiesner*

*LMU München, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Theresienstr. 37, 80333 München,
franz.jetzinger@campus.lmu.de, verena.tobias@physik.uni-muenchen.de, christine.waltner@physik.uni-
muenchen.de, hartmut.wiesner@physik.uni-muenchen.de

Kurzfassung

Der Beitrag stellt die Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie zum Verständnis Newtonscher Mechanik von Schülerinnen und Schülern vor, die nach dem zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept unterrichtet worden sind.

Nach einer kurzen Einführung über das Design der Studie und die Konzeption des Interviewleitfadens wird eine Auswahl an relevanten Ergebnissen präsentiert und erläutert. Das Hauptaugenmerk liegt auf dem vektoriellen Geschwindigkeitsbegriff, der Beschreibung von Bewegungen mit Geschwindigkeitsänderungen sowie den physikalischen Inhalten und der Anwendung der Newtonschen Bewegungsgleichung in der Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$.

1. Einordnung in die Hauptstudie

An anderer Stelle wurde bereits die Anlage der Vergleichsstudie zum Einfluss des zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzepts auf den Verständniserwerb der Newtonschen Mechanik bei Schülerinnen und Schülern der siebten Jahrgangsstufe des Gymnasiums vorgestellt. [1]

Grundlage für die Studie ist ein Unterrichtskonzept, das ausgehend von zweidimensionalen Bewegungen dynamisch in die Mechanik einführt (s. Anlage zu [2]). Das Konzept wurde auf der Basis von zahlreichen, bekannten innenbedingten Lernschwierigkeiten der Mechanik (s. z.B. [3]) entwickelt, um lehr- und sachbedingte Lernschwierigkeiten [4] zu minimieren. Für die Durchführung wurde ein Design-Based Research-Ansatz gewählt. [5]

Innerhalb der Studie wurden sowohl quantitative Tests, als auch qualitative Instrumente zur Erhebung herangezogen. Folgende Instrumente wurden verwendet: [6]

- a) Fragebogen zum Verständnis und zu nicht kognitiven Fähigkeiten
- b) Lehrerinterviews
- c) Schülerinterviews
- d) Videoanalyse einer zentralen Unterrichtsstunde

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der Schülerinterviews dar. Ergebnisse zu a) – b) siehe [2], zu d) siehe [7].

2. Interviewstudie

2.1 Forschungsfragen

Die Interviewstudie befasst sich innerhalb des qualitativen Teils der Studie mit der Frage, inwieweit die Schülerinnen und Schüler die Inhalte des zweidimensional-dynamischen Konzepts verstanden haben und anwenden können. Insbesondere geht es um das

Verständnis des vektoriellen Geschwindigkeitsbegriffes sowie der Newtonschen Bewegungsgleichung in der Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$. Es soll überprüft werden, inwieweit die Lernenden die in der Gleichung dargestellten Zusammenhänge, insbesondere zwischen Kraft und Bewegungsänderung, verstehen. Weiter wird untersucht, ob sie in der Lage sind, diese, in Je-Desto-Formeln zusammengestellten Beziehungen anzuwenden und ob sie das Konzept der Zusatzgeschwindigkeit erfolgreich übernommen haben. Die Fähigkeit zur Beschreibung von Bewegungen spielt hierbei eine zentrale Rolle. Es wurde weiter untersucht, ob die Schülerinnen und Schüler die rezeptartige Anleitung für die Konstruktionen der End- und Zusatzgeschwindigkeit anwenden können.

2.2 Design

Um diesen Fragestellungen nachzugehen, wurden Schülerinterviews konzipiert. Aus den 13 Treatmentklassen wurden jeweils vier zufällig ausgewählte Schülerinnen und Schüler ca. 40 Minuten nach einem entwickelten Leitfaden persönlich befragt. Die Interviews wurden an den Schulen durchgeführt und auf Video aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte kategorienbasiert.

Bei der zufällig getroffenen Auswahl ergab sich eine ausgewogene Verteilung von männlichen und weiblichen Schülern.

Um zusätzliche Informationen über die Stichprobe zu erhalten, wurden die Lehrkräfte dazu aufgefordert, nach ihrem subjektiven Empfinden das physikalische Verständnis der interviewten Schülerinnen und Schüler auf einer „plus-minus-null-Skala“ einzuschätzen. Bezogen auf diese Einschätzung ergab sich ein ausgewogenes Verhältnis von „guten“ und „schlechten“ Schülerinnen und Schülern.

2.3 Leitfaden

Es wurde ein problemzentriertes Leitfadenterview entwickelt, das stets die Möglichkeit einer spontanen Nachfrage und Vertiefung zulässt. Das Interview bedient sich des Musters „gemeinsam an etwas arbeiten“, das stark dialogisch orientiert ist. [8]

Im ersten Teil des Interviews wird nach dem vektoriellen Geschwindigkeitsbegriff gefragt. Auf die Frage nach den beiden Komponenten der Geschwindigkeit, Richtung und Tempo, folgen Aufgaben zur Anwendung. Die Schülerinnen und Schüler werden gebeten verschiedene Pfeilbilder zu beschreiben, welche die Bewegung eines Autos darstellen sollen. Weiter werden die Interviewten dazu aufgefordert, verschiedene Bewegungen symbolisch mit Pfeilen zu legen. Als Ausgangspunkt dient ein vorgegebener Pfeil, der die momentane Geschwindigkeit eines Autos darstellt. Den Abschluss des Fragenkomplexes zum Geschwindigkeitsbegriff bildet eine Fangfrage, die dazu auffordert, eine Situation zu legen, in der ein Auto um die Kurve fährt, ohne dass sich dabei die Geschwindigkeit ändert.

Ein weiterer Abschnitt befasst sich mit der Durchführung eines Stoßes senkrecht zur Bewegungsrichtung sowie seiner Beschreibung. Zuerst wird nach der Bewegungsrichtung der Kugel nach dem Stoß gefragt. Auf die Durchführung folgt die Aufforderung zur Beschreibung der Vorgänge beim Stoß, Fragen zu den Begriffen Kraft und Zusatzgeschwindigkeit sowie deren Zusammenhang.

Der dritte Abschnitt befasst sich mit Konstruktionen. Es sollen jeweils drei Konstruktionen zu End- und Zusatzgeschwindigkeit gelegt werden. Je eine davon stellt einen eindimensionalen Stoß dar.

Die letzte Komponente des Leitfadens überspannt den Aussagebereich zur Newtonschen Bewegungsgleichung. Zunächst wird offen nach den Abhängigkeiten der Zusatzgeschwindigkeit gefragt, um diese dann durch konkrete Nachfragen in qualitativen Jedesto-Beziehungen festzuhalten. Anschließend soll die Gleichung notiert und ihre Bestandteile erläutert werden. Den Abschluss des Interviews bildet eine Anwendungsaufgabe, in der zwei Autos mit derselben Anfangsgeschwindigkeit vollkommen abgebremst werden - einmal durch einen Reifenstapel, das andere Mal durch eine Betonwand. Gefragt wird, ob es unterschiedliche Auswirkungen auf die Fahrer gibt. Die Schülerinnen und Schüler sollen das Problem erst intuitiv, dann unter Hinzunahme der Bewegungsgleichung lösen.

Der vollständig konzipierte Leitfaden ist im Anhang von [9] zu finden.

3. Ergebnisse

3.1 Vektorieller Geschwindigkeitsbegriff

Tab. 1 zeigt die Auswertung der ersten Frage nach den Komponenten der Geschwindigkeit. Die Kategorien „ohne Begriff“ und „mit Begriff“ geben an,

ob der Begriff Richtung oder Tempo explizit genannt, oder lediglich umschrieben wurde.

	mit Begriff	ohne Begriff
Richtung	71%	2%
Tempo	54%	21%

Tab. 1: richtige Antworten auf die Frage nach den Komponenten der Geschwindigkeit

Beide Teilkategorien zusammengefasst, geben sowohl die Richtung als auch das Tempo über 70 Prozent der Schülerinnen und Schüler an. Die verhältnismäßig häufige Umschreibung des Tempos, zum Beispiel durch die Formulierung „wie schnell das Auto ist“, wirft zwei Fragen auf: Zum einen, ob dem neuen Ausdruck bei der Einführung genügend Rechnung getragen wurde, zum anderen, ob der Begriff Tempo besser durch einen Ausdruck ersetzt werden sollte, den die Schülerinnen und Schüler auch in ihrem alltäglichen Sprachgebrauch verwenden. Ein Beispiel hierfür wäre der Begriff Schnelligkeit. Auf ersteres können nur die Lehrer Einfluss nehmen, letzteres bedeutet lediglich ein „Feintuning“ des Konzepts. Beides ändert nichts an dem Ergebnis, dass der vektorielle Charakter der Geschwindigkeit den meisten Schülerinnen und Schülern verständlich ist.

Nach der Beschreibung von vorgegebenen Situationen sollen die Schülerinnen und Schüler eine Situation legen, in der sich die Geschwindigkeit, jedoch nicht die Richtung ändert. In einer nächsten Frage soll sich die Geschwindigkeit, aber nicht das Tempo ändern. Beide Aufgaben werden von 90 Prozent und mehr der Befragten richtig gelöst (s. Tab. 2).

Richtung	94%
Tempo	90%

Tab. 2: richtige Antworten zum Legen einer Bewegung, bei der sich die Geschwindigkeit, aber nicht der angegebene Aspekt ändert

Das Ergebnis der Fangfrage ist in Tab. 3 dargestellt. Knapp der Hälfte der Schülerinnen und Schüler ist sofort klar, dass die Aufgabe nicht lösbar ist. Der anderen Hälfte wird dies auf Nachfrage klar (s. Tab. 3). Dabei legen 27 Prozent zuerst einen Pfeil, der zwar eine gleiche Geschwindigkeit, aber nicht den Vorgang des „um die Kurve Fahrens“ darstellt. Diese Schülerinnen und Schüler wissen allem Anschein nach, dass die Aufgabe unlösbar ist, suchen aber dennoch nach einer Alternativlösung.

sofort	48%
auf Nachfrage	50%

Tab. 3: richtige Antworten auf die Fangfrage

Diese Ergebnisse lassen zweifelsfrei darauf schließen, dass die Schülerinnen und Schüler ein sehr gutes Verständnis des vektoriellen Geschwindigkeitsbegriffes entwickelt haben. Die Fangfrage zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler nicht an dem alltäglichen Geschwindigkeitsbegriff, der Geschwindigkeit mit Tempo gleichsetzt, festhalten,

sondern die Geschwindigkeit in Folge des Unterrichts als vektorielle Größe sehen. Die Darstellung der Geschwindigkeit mit einem Pfeil unterstützt die zweidimensionale Einführung und ist für die Schülerinnen und Schüler überaus verständlich.

3.2 Bewegungen mit Geschwindigkeitsänderung

Bevor im Interview gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern der Stoß einer Kugel senkrecht zur Bewegungsrichtung durchgeführt wurde, wurden sie gebeten, eine Voraussage über die Bewegung der Kugel nach dem Stoß zu machen. 90 Prozent können die Endgeschwindigkeit der Kugel qualitativ richtig bestimmen.

Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler den Stoß „wie Physiker“ beschreiben. Tab. 4 zeigt einen Auszug der Ergebnisse. Die Begriffe Zusatz-, Anfangs- und Endgeschwindigkeit werden sehr häufig in einem richtigen Zusammenhang zur Beschreibung herangezogen. Weiter nennt über ein Drittel, dass der Stoß zu einer Richtungsänderung führt.

Zusatzgeschwindigkeit	58%
Anfangsgeschwindigkeit	42%
Endgeschwindigkeit	40%
Richtungsänderung	38%

Tab. 4: genannte Begriffe auf die Frage nach der Beschreibung des Stoßes

Dieses Ergebnis ist sicherlich auf das gute Verständnis des Geschwindigkeitsbegriffes im Allgemeinen zurückzuführen, zeigt aber auch, dass die Lernenden die Konzepte von Anfangs-, Zusatz- und Endgeschwindigkeit gut verstanden haben und qualitativ anwenden können. Die konkrete Frage nach der Zusammensetzung der Endgeschwindigkeit unterstützt diese These (s. Tab. 5).

Zusatzgeschwindigkeit	87%
Anfangsgeschwindigkeit	85%

Tab. 5: richtige Antworten auf die Frage nach der Zusammensetzung der Endgeschwindigkeit

Fragt man die Schülerinnen und Schüler wie die Einwirkung physikalisch genannt wird, geben nur 38 Prozent die gewünschte Antwort – Kraft. 30 Prozent nennen anstatt der Kraft die Zusatzgeschwindigkeit (s. Tab. 6). Diese Antwort deutet auf eine Verwechslung von Kraft und Zusatzgeschwindigkeit hin.

Kraft	38%
Zusatzgeschwindigkeit	30%

Tab. 6: Antwortverhalten auf die Frage nach dem physikalischen Begriff für die Einwirkung

Untermauert wird dies durch Schüleraussagen wie „die Zusatzgeschwindigkeit ist der Stoß“ oder „die Zusatzgeschwindigkeit wirkt auf die Kugel“. Dabei ist zunächst unklar, ob die Verwechslung lediglich auf einer sprachlichen Ebene oder bei der physikalischen Konzeptualisierung der Begriffe stattfindet. Auf Nachfrage und an anderer Stelle des Interviews wird deutlich, dass die Verwechslung wohl eher

durch Unsicherheiten in der sprachlichen Verwendung begründet ist. So haben einige Schülerinnen und Schüler beispielsweise die Vorstellung, dass je nach Größe des Tempos, entweder Anfangs- oder Zusatzgeschwindigkeit „mehr Gewicht“ habe bzw. „stärker auf die Kugel wirke“. Die Aussage „die Zusatzgeschwindigkeit wirkt auf die Kugel“ lässt sich demnach umformulieren in „die Zusatzgeschwindigkeit wirkt sich auf die Bewegung der Kugel aus“. Es kann nicht mehr von einem physikalischen Fehler oder der Verwechslung von Zusatzgeschwindigkeit oder Kraft gesprochen werden.

3.3 Konstruktionen

Für die beiden zweidimensionalen Konstruktionen der End- und Zusatzgeschwindigkeit gibt es die Kategorien „auf Antrieb richtig“ und „mit Tipp richtig“. Letztere gibt an, dass der Befragte die Konstruktion erst nach einer kurzen Hilfestellung richtig legen konnte. Tipps waren z.B. der Hinweis auf das Dreieck bei der Konstruktion, auf die Möglichkeit, Geschwindigkeitspfeile zu verschieben oder der Bezug zum dargestellten Stoß. Für den eindimensionalen Spezialfall entfällt die Kategorie „mit Tipp“.

Für die Konstruktionen der Endgeschwindigkeit ergibt sich das in Tab. 7 gezeigte Bild. Die erste Konstruktion lösen 60 Prozent auf Antrieb, weitere 12 Prozent mit einem Tipp.

	auf Antrieb	mit Tipp
Konstruktion 1	60 %	12 %
Konstruktion 2	31 %	19 %
Konstruktion 3	46 %	

Tab. 7: Lösungshäufigkeit der Konstruktionsaufgaben zur Endgeschwindigkeit

Die Konstruktion der Endgeschwindigkeit im eindimensionalen Fall fällt verhältnismäßig gut aus. Vor allem wenn man bedenkt, dass die übliche Konstruktionsanleitung hier nicht mehr funktioniert. Die Geschwindigkeitspfeile müssen aufeinander gelegt, anstatt aneinander gehängt zu werden.

Die erste Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit lösen 52 Prozent auf Antrieb, weitere 15 Prozent mit einem Tipp richtig. Die zweite Konstruktion können 69 Prozent sofort und 21 Prozent mit einem Tipp richtig legen (s. Tab. 8).

	auf Antrieb	mit Tipp
Konstruktion 1	52 %	15 %
Konstruktion 2	69 %	21 %
Konstruktion 3	38 %	

Tab. 8: Lösungshäufigkeit der Konstruktionsaufgaben zur Zusatzgeschwindigkeit

Im Mittel sind etwa die Hälfte der Schülerinnen und Schüler in der Lage, die Konstruktionen richtig zu legen. Bedenkt man, dass die Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe die Vektorrechnung in der Mathematik noch nicht behandelt haben und die Konstruktionen daher nur rezeptartig lernen können, ist dieses Ergebnis beachtlich.

Bei den Konstruktionsaufgaben zeigt sich immer wieder, dass die Schülerinnen und Schüler ein hohes intuitives bzw. physikalisches Verständnis besitzen. Fast alle Schülerinnen und Schüler, die eine Konstruktion nicht lösen, können auf Nachfrage die Bewegung qualitativ beschreiben. Die Umsetzung in eine quantitative Darstellung in der Konstruktion bereitet jedoch teilweise Schwierigkeiten.

3.4 Newtonsche Bewegungsgleichung

Am Anfang des Interviewabschnitts zur Newtonschen Bewegungsgleichung wurden die in der Gleichung enthaltenen Je-Desto-Beziehungen von Kraft, Einwirkungsdauer und Masse zur Zusatzgeschwindigkeit abgefragt. Die Schülerinnen und Schüler sollten angeben, wie sich eine Veränderung der jeweiligen Größe auf die Bahn einer Kugel, sowie auf die Zusatzgeschwindigkeit auswirkt.

Wie Tab. 9 zeigt, ergibt die Auswertung ein sehr positives Bild. Nahezu alle Befragten können die Veränderung von Bahn und Zusatzgeschwindigkeit qualitativ richtig bestimmen.

	Bahn	Δv
F	90%	87%
Δt	96%	96%
m	92%	79%

Tab. 9: richtige Antworten zu den Fragen nach den Je-Desto-Beziehungen

Interessant ist, dass im Vergleich zu Kraft und Einwirkungsdauer die Auswirkungen auf die Zusatzgeschwindigkeit bei einer Veränderung der Masse weniger Schülerinnen und Schüler richtig bestimmen. Etwa 10 Prozent äußern hier die Meinung, bei kleinerer Masse bliebe die Zusatzgeschwindigkeit gleich, wirke aber stärker auf die Kugel. Diese Aussage ist in Zusammenhang mit der bereits oben diskutierten Verwechslung von Kraft und Zusatzgeschwindigkeit zu sehen. Bei Nachfrage bestätigt sich die These, dass die unklare Trennung lediglich auf der sprachlichen Ebene stattfindet.

Die Reproduktion der Newtonschen Bewegungsgleichung gelingt etwa 56 Prozent der Befragten. Für eine reine Reproduktionsaufgabe der einzigen Formel im gesamten Unterrichtskonzept ist dies kein befriedigendes Ergebnis. Es wirft die Frage auf, ob die Bewegungsgleichung zu komplex für die Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe ist. Um dieser Frage nachzugehen, soll die Fähigkeit zur Anwendung der Gleichung untersucht werden.

Nachdem den Schülerinnen und Schülern das Szenario der Anwendungsaufgabe (s. 2.3) geschildert worden ist, erkennen alle bis auf einen Schüler, dass es unterschiedliche Auswirkungen auf die Fahrer gibt. Erstaunlicherweise nennen bereits hier 37 Prozent die Einwirkungsdauer als Ursache für die Unterschiede (s. Tab. 10). Ohne dass eine Erklärung gefordert ist, greift ein verhältnismäßig großer Teil der Schülerinnen und Schüler auf das physikalische Konzept zurück. Die spontanen Begründungen „Rei-

fen sind elastischer“ und „Mauer ist stabiler“ weisen hingegen, obwohl sie implizit auf die Einwirkungsdauer hinführen, noch nicht auf ein physikalisches Konzept hin.

Einwirkungsdauer	37 %
Reifen elastischer	23 %
Mauer stabiler	17 %

Tab. 10: spontane Begründung der unterschiedlichen Auswirkungen in der Anwendungsaufgabe

Nach der Bestimmung der unterschiedlichen Auswirkungen auf die Fahrer wurde in einer nächsten Frage eine physikalische Begründung anhand der Newtonschen Bewegungsgleichung gefordert. Die Antworten wurden zweischrittig ausgewertet. Im ersten Schritt wurde die Antwort der Teilnehmer ohne Hilfe, im zweiten Schritt die Antwort auf Nachfrage gewertet. Für beide Schritte wurden die gleichen vier Unterkategorien gebildet. In den ersten drei Unterkategorien werden die Größen Masse, Zusatzgeschwindigkeit und Einwirkungsdauer aus der Bewegungsgleichung geprüft. Die jeweils vierte Teilkategorie gibt an, ob aus der Formel richtig auf die unterschiedliche Größe der Kraft geschlossen wurde. Befragte, die in diese Kategorie fallen, müssen nicht zwangsläufig in alle ersten drei Teilkategorien fallen. Gewertet wurde auch, wenn nach der Erklärung der drei Größen der Bewegungsgleichung durch den Interviewer von den Schülerinnen und Schülern richtig auf die Kraft geschlossen wurde. Diese Kategorie weist somit auf ein mathematisches Verständnis der Formel hin.

Jeder der vier Aspekte ist nur einmal codiert. Antworten, die bereits im ersten Schritt in einer der Teilkategorien festgehalten worden sind, werden im zweiten Schritt nicht mehr gewertet.

Insgesamt 71 Prozent geben richtig an, dass die Masse der beiden Autos gleich ist, davon 56 Prozent auf Nachfrage. Ein Drittel der Interviewten gibt bei der physikalischen Begründung selbstständig an, dass die Einwirkungsdauer bei einem Reifenstapel länger bzw. bei einer Betonwand kürzer ist. Weitere 27 Prozent erkennen dies auf Nachfrage. Auf Anhieb antworten vier Interviewteilnehmer, dass die Zusatzgeschwindigkeit in beiden Fällen gleich ist. Weitere 52 Prozent geben auf Nachfrage die richtige Antwort. Insgesamt können 41 Prozent der Schülerinnen und Schüler den qualitativen Vergleich der Kraft richtig aus der Formel schließen (s. Tab. 11).

	selbstständig	auf Nachfrage
m gleich	15 %	56 %
Δt länger/kürzer	33 %	27 %
Δv gleich	8 %	53 %
richtig auf F geschlossen	8 %	33 %

Tab. 11: physikalische Begründung der unterschiedlichen Auswirkungen in der Anwendungsaufgabe

Da Transfer nur äußerst bereichsspezifisch auftritt und den Lernenden stets schwerfällt, erstaunt es

nicht, dass nach der Aufforderung, die Situation physikalisch zu erklären, nur wenige Schülerinnen und Schüler auf Antrieb die Newtonsche Bewegungsgleichung selbstständig schlüssig und vollständig anwenden. Dennoch können erstaunlich viele Schülerinnen und Schüler die Größen der Gleichung auf Nachfrage richtig erklären. Sie sind in der Lage die Formelzeichen für Masse, Einwirkungs-dauer und Zusatzgeschwindigkeit auf die reale Situation zu beziehen. Selbst die anschließende mathematische Betrachtung der Formel gelingt auf Nachfrage.

Ein abschließender Interviewausschnitt zeigt beispielhaft, dass es den Lernenden durchaus gelingt, die Aufgabe selbstständig zu lösen. Eine Schülerin antwortet auf die erste qualitative Frage, nach den unterschiedlichen Auswirkungen mit einer vollständigen, physikalischen Begründung:

„Also, bei der Betonmauer wird das Auto sofort abgebremst, das heißt, das ist eine kürzere Einwirkungs-dauer und dadurch ist die Kraft höher. Und bei dem Reifenstapel dauert es länger, bis es vollständig abgebremst ist und dadurch ist die Kraft niedriger, auch von der Gleichung her.“

4. Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass der vektorielle Geschwindigkeitsbegriff den Schülerinnen und Schülern keine Verständnisschwierigkeiten bereitet. Die Lernenden verstehen gut, dass sich die Geschwindigkeit aus den beiden Aspekten Richtung und Tempo zusammensetzt. Ihnen ist klar, dass die Änderung einer Komponente immer eine Geschwindigkeitsänderung bedeutet. Der Geschwindigkeitsbegriff ist soweit verinnerlicht, dass die Anwendung keine Probleme bereitet. Da eine vektorielle Denkweise für den weiteren Verlauf der Newtonschen Mechanik unabdingbar ist, sollte auf keinen Fall auf die vektorielle Einführung der Geschwindigkeit verzichtet werden.

Im Verlauf der Interviews zeigt sich immer wieder, dass die Schülerinnen und Schüler ein hohes intuitives bzw. qualitatives Verständnis von Bewegungen mit Geschwindigkeitsänderungen entwickelt haben. Die Lernenden verstehen, dass eine Einwirkung eine Geschwindigkeitsänderung verursacht und können die Bewegung qualitativ voraussagen. Sie wissen, dass sich die Endgeschwindigkeit aus Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit zusammensetzt.

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass Schülerinnen und Schüler, die eine spezielle Konstruktion beherrschen, in der Folge alle Konstruktionen richtig lösen. Es empfiehlt sich daher im Unterricht vielfach Beispiele einzuüben, um die Konstruktionen zu vertiefen. Es wäre auch denkbar, den algorithmischen Charakter der Konstruktionen, wie bereits im Unterrichtskonzept angedacht, stärker zu betonen. Die Lernenden sollten, sofern sie den mathematischen Hintergrund der Vektorrechnung nicht

beherrschen, bei einer Konstruktion stets dazu aufgefordert werden, die Konstruktionsanleitung zu wiederholen und dementsprechend zu handeln. Ein Weg, dies zu erreichen, führt beispielsweise über das Erlernen von Selbstverbalisierung (s. dazu [10] S. 149ff). Mit Hilfe des qualitativen Verständnisses kann die Konstruktion zusätzlich vorhergesagt oder auf Plausibilität überprüft werden. Eine andere Möglichkeit, die Fähigkeiten zur Konstruktion zu verbessern, wäre die Einführung der Vektorrechnung im Mathematikunterricht vor oder zeitgleich mit dem Mechanikunterricht. Idealerweise müssten sich die Schülerinnen und Schüler die Konstruktionen nicht durch Auswendiglernen einer Anleitung aneignen, sondern könnten die Vektorrechnung anwenden. Bei allen Maßnahmen sollte nicht vergessen werden, dass das primäre Ziel des Mechanikkonzepts und des Physikunterrichts nicht das Erlernen von Konstruktionen ist und auch zukünftig nicht sein soll. Vielmehr sollte der Unterricht ein Verständnis bewirken, mit dem Vorgänge richtig beschrieben und verstanden werden können. Wie die Ergebnisse zeigen erreicht der Unterricht nach dem zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept genau dies, bezogen auf Bewegungen mit Geschwindigkeitsänderungen.

Die Auswertung der Anwendungsaufgabe zeigt, dass von denjenigen Schülerinnen und Schülern, die nach dem zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept unterrichtet worden sind, erwartet werden kann, dass sie die physikalischen Inhalte der Newtonschen Bewegungsgleichung verstehen und anwenden können. Man kann nicht von allen Schülerinnen und Schülern der siebten Jahrgangsstufe fordern, dass sie die mathematische Schlussfolgerung der Gleichung beherrschen.

Aufgrund der Ergebnisse der Interviewstudie kann schlussgefolgert werden, dass das entwickelte Unterrichtskonzept einen äußerst erfolgreichen Weg für die Einführung in die Newtonsche Mechanik darstellt.

Die These, dass Kraft und Zusatzgeschwindigkeit lediglich auf einer sprachlichen Ebene nicht klar unterschieden werden, sollte möglichst in einer erneuten Evaluation überprüft werden.

5. Literatur

- [1] HOPF, Martin et al. (2009):
Konzeption einer Vergleichsstudie zur Mechanik in Jahrgangsstufe 7. In: Höttecke D. (Hg.), Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Schwäbisch Gmünd 2008.
- [2] TOBIAS, Verena et al. (2010) :
Dynamischer Mechanikunterricht – Ergebnisse einer quantitativen Vergleichsstudie, in: Nordmeier, V. (Hg.): CD zur Frühjahrstagung des

- Fachverbands Didaktik der DPG, Berlin;
auch herunterzuladen unter:
<http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de>
- [3] WODZINSKI, Rita (1996):
Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Mechanik im Anfangsunterricht, Münster
- [4] WIESNER, Hartmut (1994):
Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. In: Physik in der Schule 32, S. 123 - 127
- [5] REIMANN, Gabi (2005):
Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft, 33, Heft 1, S. 52–69
- [6] WILHELM, Thomas et al. (2009):
Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht - quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessenentwicklung. In: Nordmeier, V. (Hg.) ; Oberländer, A. (Hg.): Didaktik der Physik - Bochum.
- [7] BAUERNSCHUSTER, Johanna et al. (2010):
Dynamischer Mechanikunterricht – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie, in: Nordmeier, V. (Hg.): CD zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der DPG, Berlin
- [8] HELFFERICH, Cornelia (2005):
Die Qualität qualitativer Daten - Manual für die Durchführung qualitativer Interviews.
- [9] JETZINGER, Franz (2010):
Zweidimensional-dynamischer Mechanikunterricht - Schülerinterviews zum konzeptspezifischen Verständnis, Staatsexamensarbeit in der Physik Didaktik an der LMU München
- [10] MIETZEL, Gerd (2007):
Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens.