

## Mathematische Modellbildung in einer vergleichenden Untersuchung

Jannis Weber\*, Thomas Wilhelm\*

\*Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt a. M.  
[weber@physik.uni-frankfurt.de](mailto:weber@physik.uni-frankfurt.de), [wilhelm@physik.uni-frankfurt.de](mailto:wilhelm@physik.uni-frankfurt.de)

### Kurzfassung

Aufgrund der bekannten Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern in der Mechanik der gymnasialen Oberstufe wird eine Intervention zur Dynamik mithilfe von mathematischer Modellbildung vorgestellt. Ziel ist es dabei, Schülervorstellungen zu den ersten beiden Newton'schen Gesetzen zu korrigieren. Dazu wird die gleichungsbasierte Modellbildungssoftware „Newton-II“ eingesetzt, welche es den Lernenden ermöglicht, Bewegungen durch Eingabe von Kräften, der Masse und den Anfangsbedingungen eigenständig zu modellieren und mit realen Messdaten zu vergleichen.

Ältere Forschungen zu graphischen Modellbildungssystemen haben bereits gezeigt, dass mit mathematischer Modellbildung die Argumentationslogik der Newton'schen Mechanik vermittelt werden kann und dass der Unterricht mit der Software für die Lernenden interessanter gestaltet werden kann, da es möglich ist, auf reale Probleme aus dem Alltag der Lernenden zurückzugreifen. Der Effekt des Einsatzes der graphischen Modellbildungssoftware war allerdings geringer als erwartet, was teilweise mit der schlechten Bedienbarkeit der damals verfügbaren Programme erklärt wurde.

Hier soll untersucht werden, ob der Einsatz von aktueller gleichungsbasierter Modellbildungssoftware, welche einfacher zu bedienen ist, im Unterricht eine Verbesserung des Verständnisses der Newton'schen Mechanik herbeiführen kann. Dies wird durch eine Intervention an der Goethe-Universität Frankfurt im Prä-Post-Test-Design mit Treatment- und Vergleichsgruppe untersucht. Die Intervention und das Studiendesign werden hier vorgestellt.

### 1. Einleitung

In der gymnasialen Oberstufe wird ein großer Teil der Unterrichtszeit in Physik mit dem Erlernen der Kinematik und Dynamik verbracht. Nachdem jedoch in der Einführungsphase in die gymnasiale Oberstufe (E-Phase) ein ganzes Schuljahr die Grundsätze der Mechanik gelehrt werden, ist das Verständnis der Lernenden für die Newton'sche Mechanik trotzdem nicht gut ausgeprägt, obwohl – oder gerade weil – sie in der Lebenswelt der Lernenden verortet ist. Schüler(wohl)vorstellungen sind in diesem Teilgebiet der Physik besonders gut erforscht und es hat sich gezeigt, dass es Schülerinnen und Schülern schwerfällt, sich in die in ihrer Komplexität reduzierten und damit idealisierten Laborsituationen aus dem Schulunterricht hineinzudenken [1], da diese scheinbar nicht mit der Realität vereinbar sind. Die Aufgabe der Mechanik besteht für sie vielmehr darin, reale Abläufe zu beschreiben [2]). Es entsteht eine gefühlte Kluft zwischen Realität und Physikunterricht [3].

Studien, die das grundsätzliche Kraftverständnis von Schülerinnen und Schülern mit Hilfe des FCI-Tests untersucht haben, kamen zu unbefriedigenden Ergebnissen. Besonders schlecht fielen dabei die Subskalen „zweites Newton'sches Gesetz“ und „Superposition“ aus [4]. Die Probleme beim zweiten Newton'schen Gesetz sind dabei vielfältig<sup>1</sup>. So wird die Gleichung

$F = m \cdot a$  als eine von vielen Kraftformeln verstanden und nicht als grundlegender Zusammenhang zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung. Für Lernende gibt es also häufig keinen qualitativen Unterschied zwischen  $F = m \cdot a$  und  $F = m \cdot g$  oder  $F = D \cdot x$ . Auch wird die aus der Gleichung folgende Proportionalität zwischen Kraft und Beschleunigung selten akzeptiert und eher von einer Proportionalität zwischen Kraft und Geschwindigkeit ausgegangen. Oftmals sind Lernende auch nicht in der Lage, mit mehreren Kräften umzugehen. Für sie wird die Bedeutung von Begriffen wie „Resultierende“, „Gesamtkraft“ oder auch „Summe aller Kräfte“ nicht deutlich. Interessante Anwendungen, bei denen deren Notwendigkeit zu Tage treten würde, sind aufgrund ihrer mathematischen Komplexität oft kein Inhalt des Schulunterrichts.

Das erste Newton'sche Gesetz wird häufig so verstanden, dass es nur gilt, wenn gar keine Kraft auf einen Körper wirkt. Dies ist für Schülerinnen und Schüler irrelevant, da es in ihrer Lebenswelt nicht vorkommt. Lediglich durch die Konstruktion von Ebenen, welche senkrecht auf dem Vektor der Gravitationskraft stehen, ist es möglich, in dieser Ebene Kräftefreiheit zu erzeugen. Diese Kräftefreiheit ist aber auch nur bei ruhenden Körpern wirklich korrekt, da Reibungskräfte vorhanden sind, sobald sich ein Körper bewegt. Es

<sup>1</sup> Die nachfolgenden Ausführungen sind an [2] angelehnt.

fehlt die Behandlung von mehreren Kräften, deren Resultierende Null ist, so dass dann das erste Newton'sche Gesetz Anwendung findet und auch eine große Bedeutung für den Alltag hat. Auch diese Fälle sind für den Unterricht mathematisch aber oft zu komplex und werden deshalb nicht thematisiert. Im von Blum [5] postulierten Modellierungskreislauf (Abb. 1), welcher ursprünglich aus der Mathematikdidaktik stammt, entsteht die Schwierigkeit in der Unterrichtspraxis im Physikunterricht also häufig im mathematischen arbeiten. Dieses mathematische Problem im Physikunterricht lässt sich durch den Einsatz von geeigneter Software verringern.

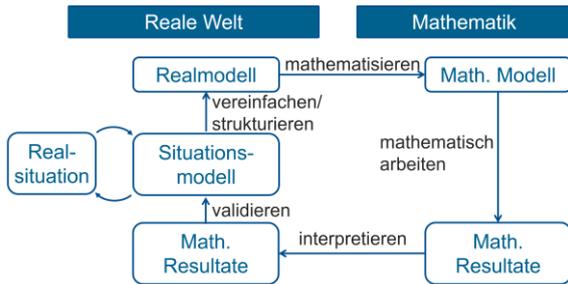


Abb. 1: Modellierungskreislauf angelehnt an [5]

Die Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler führen auch dazu, dass sie davon ausgehen, dass jeder Körper natürlicherweise (also ohne Krafteinwirkung) irgendwann zur Ruhe kommt und andererseits eine Kraft nötig ist, um eine Bewegung aufrecht zu erhalten. Hier ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff „Trägheit“ diese Fehlvorstellung verstärken kann.

Die oben beschriebenen Herausforderungen sind nicht neu und mittlerweile gut erforscht. Vor allem in den 1990er-Jahren wurde als Lösung der genannten Probleme der Einsatz von mathematischer Modellbildung (v. a. graphischer Modellbildungssysteme) postuliert und evaluiert. Die Gründe für den Einsatz der Software und die damit verbundenen Forschungsergebnisse sollen hier dargestellt werden.

### 2. Mathematische Modellbildung

Mathematische Modellbildung bezeichnet die „Konstruktion eines Netzwerks physikalischer Begriffe und Beziehungen, mit denen das Verhalten eines physikalischen Systems beschrieben und vorhergesagt werden kann“ [6]. Als Modellbildungssysteme werden im Allgemeinen Computerprogramme bezeichnet, mit denen dieses Netzwerk physikalischer Begriffe erstellt und mathematisiert werden kann, sodass der Nutzer eine Lösung (bspw. der Newton'schen Bewegungsgleichung) erhält. Dieses Vorgehen, welches je nach gesetztem Schwerpunkt auch Systemdynamik oder „Methode der kleinen Schritte“ genannt wird, ist in verschiedenen Teilgebieten der Physik einsetzbar, wobei sich die folgenden Ausführungen ausschließlich auf die Mechanik beziehen sollen. Hier ist es möglich, aus den wirkenden Kräften, der Masse des Objekts und den Anfangsbedingungen numerisch eine Lösung der Bewegungsgleichung zu erhalten

(Abb. 2), also den Ort in Abhängigkeit der Zeit zu berechnen. Dabei nimmt die Software dem Nutzer einerseits die Mathematik zur Lösung der Differentialgleichungen ab, bietet aber auch die Möglichkeit der vertiefenden Beschäftigung mit der physikalischen Grundstruktur eines Bewegungsproblems.

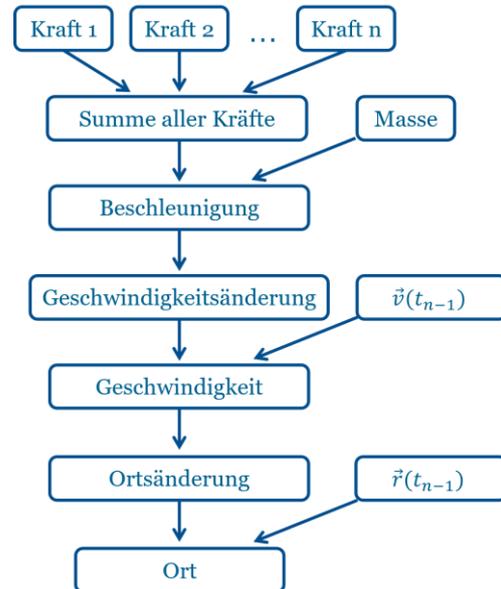


Abb. 2: Struktur der "Newton-Maschine"

Aus den zu einem Zeitpunkt wirkenden Kräften und der Masse kann direkt die Beschleunigung des Objekts bestimmt werden. Über diese Beschleunigung wird eine Geschwindigkeitsänderung im betrachteten Intervall  $\Delta t$  ermittelt, mit der man bei Kenntnis der vorherigen Geschwindigkeit eine neue Geschwindigkeit ermitteln kann. Diese Geschwindigkeit ergibt nun eine Ortsänderung im Intervall  $\Delta t$ , mit der man bei Kenntnis des vorherigen Orts auf den neuen Ort schließen kann. Bei der graphischen Modellbildung muss diese sogenannte Newton-Maschine selbst implementiert werden, was durch die Nutzung verschiedener Variablen (Vorgabegrößen, Zustandsgrößen, Zwischengrößen [7]) möglich ist (Abb. 3).

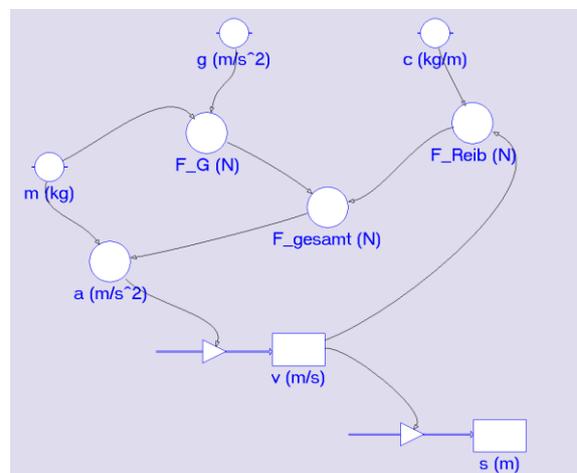


Abb. 3: Fallbewegung in graphischem Modellbildungssystem (hier Coach 6 Studio MV)

Bei dem gleichungsbasierten Modellbildungsprogramm „Newton-II“, das direkt für den Einsatz in der Mechanik konzipiert ist, ist die Newton-Maschine bereits implementiert und der Nutzer modelliert lediglich die Kräfte, Masse und Anfangsbedingungen, um ein Resultat zu erhalten (Abb. 4). Das Erstellen der kinematischen Zusammenhänge gehört also nicht mehr zu den Aufgaben des Nutzers. Damit dies nicht dazu führt, dass ziellos gespielt wird, muss die Vorgehensweise des Programms mit der Lerngruppe thematisiert werden und die zugrundeliegenden Zusammenhänge anhand der thematisierten Versuche immer wieder aufgegriffen werden.

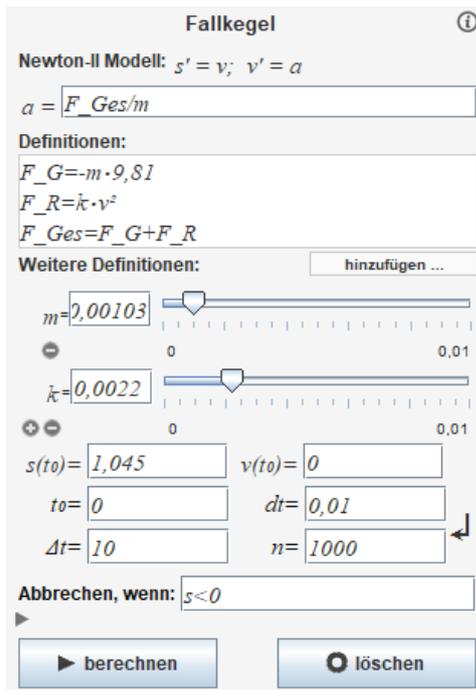


Abb. 4: Bedienfenster in „Newton-II“ als Beispiel für eine gleichungsbasierte Modellbildungssoftware.

Mathematische Modellbildung erscheint vielversprechend, da die Mathematik in den Hintergrund rückt, was die Betonung von physikalischen Strukturzusammenhängen erlaubt [8]. Durch die Struktur der Modellierung wird deutlich, dass zur Beschreibung einer Bewegung alle wirkenden Kräfte relevant sind und auch mehrere wirkende Kräfte zu einer konstanten Geschwindigkeit führen können. Demensprechend ist die Summe aller Kräfte entscheidend für die Beschleunigung.

Die Gleichung  $F = m \cdot a$  wird als

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_n}{m} = \frac{\vec{F}_{ges}}{m} \quad \{1\}$$

zum grundlegenden Zusammenhang einer Bewegung. Spezielle Bewegungsfunktionen wie

$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad \{2\},$$

die nur in gewissen Situation (hier: eindimensionale Bewegung, konstante Beschleunigung,  $v_0 = 0$  und

$x_0 = 0$ ) von Relevanz sind, werden dagegen bewusst nicht thematisiert.

Schülerinnen und Schüler, die mit der Modellbildungssoftware arbeiten, erhalten unmittelbare diagrammbasierte Rückmeldungen auf ihre modellierten Kräfte, wobei sich hier auch ein Vergleich mit Realdaten anbietet. Damit sind mehr Bewegungsphänomene im Unterricht behandelbar [8] und es können auch alltagsnahe und authentische Bewegungen beschrieben werden. Durch den Vergleich mit Realdaten wird der Bezug zum Experiment hergestellt und die wechselseitige Beziehung zwischen Modell und Experiment kann diskutiert werden.

Das Vorgehen kann beispielsweise aussehen wie in Abb. 5 dargestellt. Das Modell wird so lange evaluiert und angepasst, bis es ein zufriedenstellendes Resultat ergibt. Der Nutzer kann den Idealisierungs- und Abstraktionsgrad selbst wählen. Durch Veränderung des Realexperiments kann die Tragfähigkeit des erstellten Modells weiter auf die Probe gestellt werden.

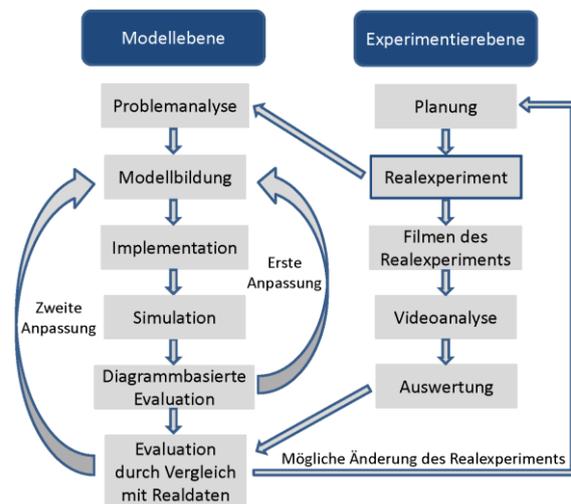


Abb. 5: Verknüpfung von Modellebene und Experimentierebene, erweitert nach [9]

In der hier vorgestellten Studie wird die Videoanalyse des Experiments nicht von den Lernenden durchgeführt. Es werden ihnen aber die Daten zur Verfügung gestellt, die sie als Vergleich zu ihrer Modellierung heranziehen können, um diese daraufhin anzupassen.

### 3. Aktueller Forschungsstand

Der Effekt mathematischer Modellbildung auf den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern und Studierenden in der Mechanik wurde bereits mehrfach untersucht. Dabei konnte herausgearbeitet werden, dass computergestützte Modellbildung generell zur Ausbildung höherer Kompetenz im Bereich Kräfte und Bewegungen führen kann [10]. Es wurde auch festgestellt, dass die grundlegenden, durch die mathematische Modellbildung erlernten Argumentationsmuster auch in anderen Kontexten innerhalb der Mechanik ohne Modellbildung eingesetzt werden konnten [11]. Im systemischen Denken konnte der Einsatz von mathematischer Modellbildungssoftware nicht so überzeugen wie erhofft [11]. Deshalb wird von den

Autoren postuliert: „Modellbildungssysteme bewähren sich im gewählten Unterrichtskonzept als Methoden im engeren Bereich der Förderung physikalischen Verständnisses, nicht jedoch als Mittel zur Förderung übergreifender Kompetenzen“ [11].

Die verstärkte Auseinandersetzung mit den begrifflichen Grundlagen konnte in einer Studie mit Studienanfängern gezeigt werden [12, 13]. Der erhoffte Wechsel zwischen Experimentier- und Modellebene, der durch die Kombination von mathematischer Modellbildung und Realexperiment erreicht werden sollte, konnte nicht beobachtet werden [12, 13]. Ein Erklärungsansatz des Autors ist hier, dass die Lernenden beim Vergleich der Daten auf zwei verschiedene Bildschirme angewiesen waren, was zu einem oberflächlichen Vergleich führte. Auch konnte gezeigt werden, dass das strukturelle Wissen der Schülerinnen und Schüler durch mathematische Modellbildung zunehmen kann und dass sie nach der Nutzung einer mathematischen Modellbildungssoftware eher der Meinung sind, Physik habe etwas mit der Realität zu tun [3].

Die genannten Studien liegen bereits einige Jahre zurück, in denen sich einiges an der verfügbaren Software verändert hat [14]. Die aktuelle Software ist einfacher zu bedienen, was es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, selbstständig statt im Plenum mit der Software zu arbeiten. Zudem gibt es mittlerweile die Möglichkeit, Messdaten in einem Diagramm unmittelbar mit den berechneten Daten zu vergleichen. Die genannten Forschungen bezogen sich zudem auf graphische Modellbildungssoftware, weswegen es lohnend ist zu untersuchen, inwiefern gleichungsbasierte Modellbildungsprogramme wie „Newton-II“ zu einem besseren Verständnis der Newton'schen Mechanik beitragen können.

#### 4. Forschungsfragen

Aus den bisherigen Forschungen und den postulierten Vorteilen der mathematischen Modellbildung leitet sich zunächst eine erste Forschungsfrage ab:

- Kann der Einsatz einer aktuellen Modellbildungssoftware zu einem besseren Verständnis der Newton'schen Mechanik führen?

Dabei soll herausgefunden werden, ob die typischen Fehlvorstellungen zu den ersten beiden Newton'schen Gesetzen durch den Einsatz von Modellbildungssoftware reduziert werden können. Dazu werden Experimente ausgewählt und untersucht, die zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den oben beschriebenen Alltagsvorstellungen führen sollen. Zudem steht weiterhin die Frage im Raum, ob es der Einsatz mathematischer Modellbildungssoftware ermöglicht, eine stärkere Kopplung von Theorie (Modell) und Realität (Experiment) zu schaffen. Von Interesse sind die damit einhergehenden Vorstellungen zum Erkenntnisgewinnungsprozess in der Physik. Weiterhin ist zu untersuchen, ob Schülerinnen und Schüler die Aufgabe der Mechanik, reale Abläufe zu

beschreiben, durch den Einsatz mathematischer Modellbildungssoftware eher erfüllt sehen und ob damit auch ein anderes Interesse einhergeht. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage:

- Führt der Einsatz von mathematischer Modellbildungssoftware zu einem anderen Wissenschaftsverständnis oder Interesse an der Physik?

Zuletzt ist es wichtig, ob die Software auch aus Schülersicht benutzerfreundlich und einfach zu bedienen ist, sodass die Einarbeitungszeit in die Software die ohnehin knappe Unterrichtszeit nicht zu sehr verringert:

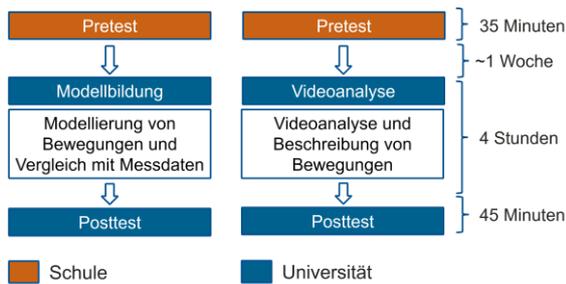
- Welche Schwierigkeiten treten bei der eigenständigen Nutzung der Programme auf?

Die Einarbeitung in eine neue Software ist immer mit einem gewissen Aufwand verbunden. Dieser Aufwand muss aber in einem angemessenen Verhältnis zum Erfolg der Software stehen. Nur wenn dies der Fall ist, ist es zweckmäßig, die Software im Schulunterricht einzusetzen. Um diesen Fragen nachzugehen wurde eine Studie entwickelt, in der Schülerinnen und Schüler mathematische Modellbildung mit der Software „Newton-II“ durchführen.

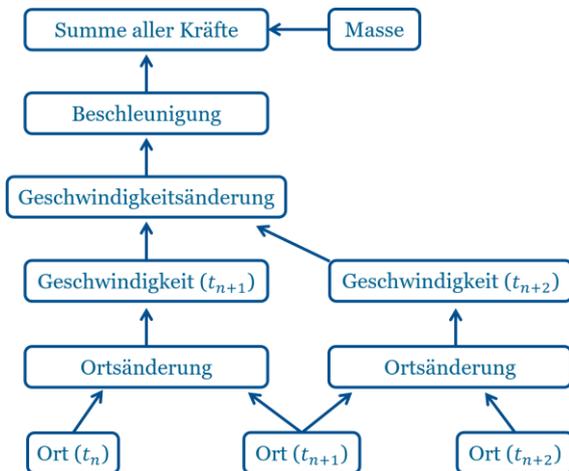
#### 5. Forschungsdesign

Aufgrund der vielversprechenden Eigenschaften der mathematischen Modellbildung und einem Mangel an aktuellen Forschungsergebnissen wird eine Interventionsstudie durchgeführt, die den Einfluss der mathematischen Modellbildung auf den Lernerfolg der Newton'schen Mechanik untersuchen soll. Dazu wurde eine Intervention entwickelt, die Lernende aus der E-Phase (11. Klasse nach G9 bzw. 10. Klasse nach G8) aus hessischen Gymnasien im Schülerlabor der Goethe-Universität in Frankfurt durchführen. Die Schülerinnen und Schüler haben im Schulunterricht zuvor bereits die Newton'schen Gesetze kennen gelernt. Es geht also nicht um eine Einführung, sondern um eine Vertiefung dieser und eine gezielte Verbesserung der Schülervorstellungen.

Vor der Intervention wird ein Vortest in der Schule durchgeführt, um den Leistungsstand der Lernenden zu erfassen, und die Klasse dann geschlossen und randomisiert zur Treatment- oder Kontrollgruppe zugeordnet. Nach der Intervention wird unmittelbar im Anschluss der Nachtest durchgeführt, sodass der Leistungszuwachs im Vortest in beiden Gruppen erfasst wird, um diesen miteinander vergleichen zu können (Abb. 6).


**Abb. 6:** Ablauf der Interventionsstudie

In der Intervention werden dann vier verschiedene Versuche durchgeführt und die Abläufe mit der Software Newton-II modelliert. Als Vergleich zur Treatmentgruppe dient eine Gruppe, die dieselben Versuche mit der Videoanalyse untersucht. Dabei werden alle weiteren Variablen für beide Gruppen möglichst identisch gehalten. Die Videoanalyse steht dabei repräsentativ für ein messendes Verfahren, bei dem die Argumentationslogik andersherum ist als bei der Modellbildung (Abb. 7): Vom gemessenen Ort wird auf die Kräfte geschlossen.

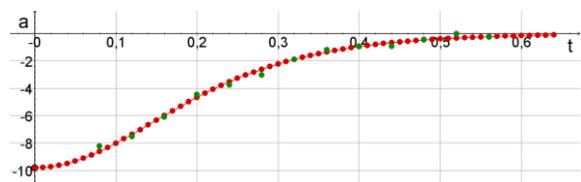

**Abb. 7:** Struktur der Videoanalyse als messendes Vorgehen

Bei der mathematischen Modellbildung wird also ausgehend von Kräften argumentiert, durch die dann schrittweise der Ort des sich bewegenden Objekts erschlossen wird, während bei der Videoanalyse der Ort gemessen und auf die Kräfte zurückgeschlossen wird. Zudem ist die Videoanalyse und die dazu verwendete Software für die Schülerinnen und Schüler ebenso neu, sodass Motivationseffekte durch den Einsatz von Computern und neuartiger Software gleichermaßen auftreten. Der Lernerfolg soll im Prä-Post-Design gemessen und zwischen beiden Gruppen verglichen werden. Dabei werden Items zum Fachwissen, Interesse, Cognitive Load und Wissenschaftsverständnis erhoben.

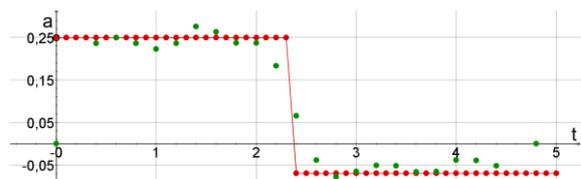
Das Programm „Newton-II“ wurde ausgewählt, da es leicht und intuitiv zu bedienen ist. Dies ist wichtig, da die Lernenden das Programm selbstständig bedienen sollen, ohne dass eine lange Einarbeitungszeit nötig

ist. Als „One-Window-Application“ [15] ist es übersichtlich gehalten und alle wichtigen Funktionen sind direkt in einem Fenster sichtbar. Dabei kann auf der linken Seite die Modellierung der Kräfte, der Anfangs- und Abbruchbedingungen, der Masse etc. erfolgen, während im rechten Teil des Fensters die Ergebnisse der Modellierung graphisch dargestellt werden. Dabei wird sowohl der Forderung nach räumlicher als auch zeitlicher Kontiguität nachgekommen.

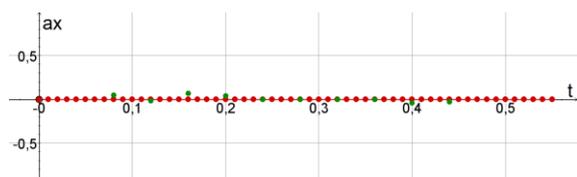
Der Auswahl der Versuche erfolgte so, dass diese mit beiden Methoden gleichermaßen zugänglich sind und zudem die Aussagen der ersten beiden Newton'schen Gesetze dabei in besonderem Maße betonen. Dazu gehören eine Fallbewegung mit Luftreibung, bei der die Summe aller Kräfte gegen Null konvergiert. Die Beschleunigung ist in Abb. 8 dargestellt. Dabei sind die roten Punkte die modellierten Werte und die grünen Punkte die gemessenen Werte.


**Abb. 8:** Gemessene und modellierte Beschleunigung (hier negativ, da positive Koordinatenrichtung nach oben gewählt) bei der Fallbewegung, Modell in rot, Messdaten in grün.

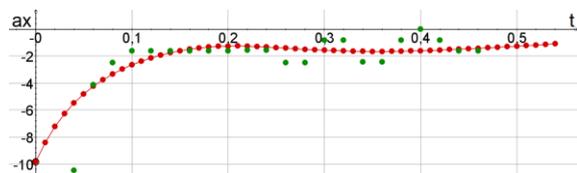
Ein abschnittsweise beschleunigter Wagen, bei dem die Zugkraft nach einer gewissen Zeit durch das Aufkommen des Zuggewichts auf dem Boden auf null zurückgeht, betont die Notwendigkeit einer Kraft für die Geschwindigkeitsänderung eines Objekts (Abb. 9). Es wird dabei über die Güte einer Modellierung und die Notwendigkeit der Beachtung von Reibungseinflüssen diskutiert.


**Abb. 9:** Gemessene und modellierte Beschleunigung beim abschnittsweise beschleunigten Wagen, Modell in rot, Messdaten in grün.

Ein schiefer Wurf thematisiert in erster Linie die Fehlvorstellung, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung nötig sei, um eine Bewegung aufrecht zu erhalten. Zudem wird der Richtungscharakter von Kräften und Beschleunigungen thematisiert. Eine Stahlkugel wird in x-Richtung dabei nicht erkennbar beschleunigt (Abb. 10), eine Kugel aus Styropor hingegen schon (Abb. 11).

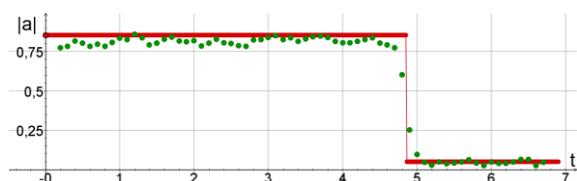


**Abb. 10:** Gemessene und modellierte Beschleunigung in horizontale Richtung beim schiefen Wurf einer Stahlkugel, Modell in rot, Messdaten in grün.



**Abb. 11:** Gemessene und modellierte Beschleunigung (negativ) in horizontale Richtung beim schiefen Wurf einer Styroporkugel, Modell in rot, Messdaten in grün.

Den Abschluss bildet eine Kreisbewegung, bei der zunächst thematisiert wird, dass eine Kraft nach innen zeigt, was auch zu einer nach innen gerichteten Beschleunigung führt. Der Elektromagnet, der die Zentripetalkraft in diesem Beispiel ausübt, wird im Laufe der Bewegung ausgeschaltet, so dass in der Tischebene nur noch Reibungskräfte auf die Kugel wirken (Abb. 12)



**Abb. 12:** Gemessener und modellierter Betrag der Beschleunigung bei der Kreisbewegung mit Abschalten des Elektromagneten, Modell in rot, Messdaten in grün.

Die Intervention stellt also eine vertiefte Auseinandersetzung mit den ersten beiden Newton'schen Gesetzen dar, wobei bei beiden Gruppen der Zusammenhang {1} im Zentrum steht und sich die Intervention in der Art der Software unterscheidet, was zu unterschiedlichen Gesprächen und Denkprozessen führt. Es soll damit ermittelt werden, ob durch die Modellierung von den vorgestellten Bewegungen eine intensivere Auseinandersetzung mit den wirkenden Kräften und damit der Logik der Newton'schen Mechanik zu erreichen ist, welche dann ein besseres Verständnis dieser ermöglicht, oder ob die Videoanalyse als messendes Verfahren mit mehr Möglichkeiten an visuellen Repräsentationen zu einem besseren Verständnis der Newton'schen Mechanik führt.

## 6. (Prä-)Pilotierung

Sowohl die Intervention als auch das dazugehörige Testinstrument wurden zunächst separat präpilotiert. Bei der Intervention wurde darauf geachtet, dass das Niveau der Aufgaben und die Klarheit der Fragestellungen passend zur Zielgruppe sind. Dazu wurde

diese mehrfach mit Klassen durchgeführt und die erhaltenen Rückmeldungen berücksichtigt und eingearbeitet.

Um den Effekt der Intervention in den beiden Gruppen messen zu können, wurde ebenfalls ein für beide Gruppen faires Testinstrument aus bestehenden Tests entwickelt und durch eigene Items ergänzt. Dieses Testinstrument wird ebenfalls mit Studierenden und Schülerinnen und Schülern präpilotiert. Dadurch soll die Reliabilität einzelner Subskalen und des gesamten Tests sichergestellt werden. Nach Abschluss der jeweiligen Präpilotierung wird die Intervention in Kombination mit dem Einsatz des Testinstruments vorher und nachher pilotiert.

## 7. Ausblick

Nach der Pilotierung der Intervention im ersten Halbjahr 2019 werden auf Basis der erhaltenen Ergebnisse letzte Änderungen an der Intervention und dem Testinstrument vorgenommen. Daraufhin wird die Erhebung der Daten beginnen, sobald im nächsten Schuljahr 2019/20 die ersten Klassen die Newton'schen Gesetze thematisiert haben, was erfahrungsgemäß ab Ende des ersten Schulhalbjahres der Fall ist.

## 8. Literatur

- [1] Schecker, H. (1985). Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte, Dissertation. Universität Bremen.
- [2] Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer Spektrum, Berlin.
- [3] Wilhelm, T. (2005). Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 46, Logos-Verlag, Berlin.
- [4] Wilhelm, T. (2005). 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.
- [5] Blum, W. (2010). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht. Herausforderung für Schüler und Lehrer. Praxis der Mathematik, 34(52).
- [6] Schecker, H. (1998). Physik-Modellieren. Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physikunterricht, Klett-Verlag, Stuttgart.
- [7] Bossel, H. (1992): Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum

- Verhalten dynamischer Systeme, Vieweg-Verlag, Braunschweig, Wiesbaden.
- [8] Bethge, T. & Schecker, H. (1990). Software-Werkzeuge zur Modellbildung im Physikunterricht, Konzepte und Erfahrungen. Institut für Didaktik der Physik, Bremen.
- [9] Berger, V. (2006). Mit dem Computer unterrichten. In: Mikelskis, F. Physikdidaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Cornelsen-Verlag, Berlin, S. 142.
- [10] Schecker, H., Bethge, T. & Niedderer, H. (1992). Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs CPU – Abschlußbericht Band IV, Institut für Didaktik der Physik, Bremen.
- [11] Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Ebach, J., Gerdes, J. (1999). Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme, Abschlussbericht zum DFG-Projekt, Institut für Didaktik der Physik an der Universität Bremen und Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin.
- [12] Sander, F. (2000). Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum. Logos-Verlag (Studien zum Physiklernen, Band 13), Berlin.
- [13] Sander, F., Schecker, H. & Niedderer, H. (2001). Wirkungen des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung im physikalischen Praktikum – In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 7.
- [14] Lück, S. & Wilhelm, T. (2011). Modellierung physikalischer Vorgänge am Computer. Modellbildungssysteme als Unterstützung zum Verständnis physikalischer Strukturen. In: Unterricht Physik 22, Heft 122, 2011, S. 26 – 31.
- [15] Wilhelm, T. (2018). Zur Geschichte der mathematischen Modellbildung im Physikunterricht. In: Plus Lucis 04/2018, S. 4 – 10.