

## Ein Dynamik-Lehrgang in der Sekundarstufe II unter Verwendung der Videoanalyse

Sebastian Diehl\*, Thomas Wilhelm\*

\* Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt  
[sebastian.diehl80@gmx.de](mailto:sebastian.diehl80@gmx.de), [wilhelm@physik.uni-frankfurt.de](mailto:wilhelm@physik.uni-frankfurt.de)

### Kurzfassung

„Kraft und Bewegung“ ist das zentrale Thema in der gymnasialen Einführungsphase, aber der Unterricht erreicht nur wenig qualitatives Verständnis. Für die Sekundarstufe I zeigen mehrere Studien, dass mehr Verständnis erreicht werden kann, wenn mit zweidimensionalen Bewegungen begonnen wird. Im Rahmen eines Design-Based-Research-Projektes soll nun ein Unterrichtskonzept für den Mechanikunterricht der Oberstufe mit modernen Mess- und Visualisierungsmöglichkeiten ausgearbeitet werden. Kernideen sind, die kinematischen Grundgrößen anhand allgemeiner zweidimensionaler Bewegungen einzuführen, die Videoanalyse von Bewegungen als durchgehendes Messinstrument zu verwenden sowie insbesondere die mathematisch-quantitative Kinematik erst nach der Behandlung der Newton'schen Axiome zu unterrichten. Auf dem Poster wird das Konzept vorgestellt sowie das Treatment-/ Kontrollgruppendesign einer geplanten Studie, in der im regulären Unterricht mehrere Lehrkräfte unterrichten.

### 1. Motivation

Schulbücher weisen einige fachliche und physikdidaktische Mängel auf [1]. Außerdem werden unrealistische, meist eindimensionale und nicht alltagsnahe Bewegungen betrachtet. Führt man Bewegungen lediglich eindimensional ein, besteht die Gefahr, dass fachliche Begriffe wie z.B. „Beschleunigung“ falsch verstanden werden. Zudem sind Fahrbahnversuche sehr zeitintensiv und bringen nicht immer das gewünschte Ergebnis. Untersuchungen zu Schülervorstellungen belegen, dass Schüler nach dem Mechanikunterricht der Oberstufe nicht sicher über ein Verständnis des Newton'sche Kraftbegriffes verfügen [2-3].

Auf der Schwerpunkttagung „Newton'sche Mechanik“ 2016 der Gesellschaft für Didaktik und Physik haben viele Physikdidaktiker konsensuell Thesen zum Mechanikunterricht verabschiedet [4]. Einige Forderungen sind:

#### a) Dynamik und Statik

- Der Mechanikunterricht beginnt mit der Dynamik.
- Der dynamische Kraftbegriff steht dabei im Mittelpunkt.

#### b) Kinematik

- Der Begriff „Weg“ sollte durch die präziseren Begriffe „Ort“ und „Ortsverschiebung“ (als Grundlage der Geschwindigkeitsdefinition) ersetzt werden.
- Kinematische Größen sollten ausgehend vom Ort anhand zweidimensionaler Bewegungen eingeführt werden.

- Zwischen Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsbetrag (bzw. Tempo bzw. Schnelligkeit) muss im Unterricht klar unterschieden werden.
- In der Sekundarstufe II soll das in der Sekundarstufe I erarbeitete qualitative Verständnis der kinematischen und dynamischen Größen mit mathematischen Formulierungen verknüpft werden.

Aktuell gibt es aber kein Unterrichtskonzept mit Unterrichtsmaterialien, das dies mit aktuellen Möglichkeiten und aktueller Software umsetzt.

### 2. Vorarbeiten

#### 2.1. Klassenstufe 11 Gymnasium in Bayern (G9)

Das Konzept von Wilhelm für die Klassenstufe 11 (Sekundarstufe II; G9) [2] beginnt zunächst ausführlich mit der Kinematik, wobei die Größen Ort, Geschwindigkeit, Schnelligkeit, Geschwindigkeitsänderung und Beschleunigung an allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen eingeführt werden. Dafür wurden Bewegungen mit der PC-Maus und dem Messwerterfassungssystem PAKMA analysiert und alle gemessenen Größen in Echtzeit ikonisch mithilfe von Pfeilen dargestellt. Danach wurden bei eindimensionalen Bewegungen Diagramme und mathematische Berechnungen behandelt.

Die Newton'schen Gesetze wurden im Anschluss anhand von eindimensionalen Bewegungen erarbeitet. Dabei wurden Experimente mit mehreren Kräften durchgeführt und alle gemessenen Größen in Echtzeit ikonisch mithilfe von Pfeilen in PAKMA dargestellt. Dabei wird das zweite Newton'sche Axiom als zentrale Gleichung folgendermaßen definiert:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m_{ges}}$$

Es folgten viele Anwendungen zunächst bei eindimensionalen Bewegungen (auch Fall- und Wurfbewegungen) sowie bei Kreisbewegungen.

Die Software PAKMA ist allerdings auf heutigen Betriebssystemen nicht mehr lauffähig, so dass zur Messwerterfassung und -darstellung eine andere Software verwendet werden muss. Wilhelm schlägt dafür die Videoanalysesoftware „measure Dynamics“ vor [5]. Zudem stellt sich die Frage, ob das quantitative Rechnen in der Kinematik nicht erst dann gemacht werden sollte, wenn die Dynamik behandelt ist, damit den Schülern schon bekannt ist, wie eine Beschleunigung entsteht.

## 2.2. Klassenstufe 7 in Bayern (G8)

Das Konzept für die Jahrgangsstufe 7 (Sekundarstufe I; G8) führt zunächst kinematische Größen (Ort, Tempo, Richtung, Geschwindigkeit und Zusatzgeschwindigkeit; keine Beschleunigung) an zweidimensionalen Bewegungen mithilfe von Pfeildarstellungen ein [6-9]. Auf quantitative Messungen wurde verzichtet und zur Veranschaulichung wurden Stroboskopbilder und Videos verwendet. Es wurden auch keine Diagramme und keine Berechnungen von eindimensionalen Bewegungen vorgenommen. Obwohl das Konzept das Videoanalyseprogramm „measure Dynamics“ verwendet, ist eine Umsetzung des Konzeptes auch ohne Computereinsatz möglich. Im Zentrum des Unterrichtskonzeptes steht das zweite Newton'sche Axiom, das anhand eines senkrechten Stoßes auf eine rollende Kugel eingeführt wird und das als zentrale Gleichung folgendermaßen formuliert wird:

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

Für den Mechanikunterricht der Oberstufe muss das Konzept deutlich erweitert werden.

## 3. Geplantes Forschungsprojekt

### 3.1. Konzept und Forschungsfragen

Ziel des geplanten Forschungsprojektes ist, bestehende Unterrichtsvorschläge weiterzuentwickeln und ein lehrplankonformes Unterrichtskonzept für die Oberstufe (Jahrgangsstufe 10 (G8) oder 11 (G9)) zu erstellen. Die Studie beschäftigt sich somit mit der Konzeption und Evaluation eines Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen unter Verwendung der Videoanalyse „measure Dynamics“ von Bewegungen. Damit kann das Projekt als ein weiterer Zyklus in einem Design-Based-Research-Forschungsprogramm verstanden werden.

Für das Unterrichtskonzept wurden folgende Entscheidungen getroffen:

- Inhaltlich soll das Konzept dem Pflichtstoff aller Bundesländer gerecht werden.
- Erkenntnisse aus der didaktischen Forschung zum Mechanik-Lernen sollen berücksichtigt

werden (insbesondere die Erkenntnisse in Bezug auf die Verwendung der Videoanalyse von Bewegungen).

- Das Konzept richtet sich an normale Klassen der Oberstufe mit „Standard“-Ausrüstung<sup>1</sup>.

Aufgrund der vorherigen Untersuchungen ist das Konzept folgendermaßen aufgebaut:

- Die kinematischen Grundgrößen Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung werden zügig anhand von zweidimensionalen Bewegungen eingeführt. Dabei unterstützt die ikonische Pfeildarstellung das Verständnis bei Schülern.
- Dann folgen die Newton'schen Axiomen, die mithilfe von Experimenten und „measure Dynamics“ behandelt und danach vertieft werden. Dabei wird das zweite Newton'sche Axiom als zentrale Gleichung, wie beim Konzept von Wilhelm [2], folgendermaßen definiert:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m_{ges}}$$

- Erst danach erfolgen die üblichen kinematischen Behandlungen (auch Fall- und Wurfbewegungen) mit Rechnungen und Diagrammen und die Betrachtung eindimensionaler Bewegungen.

Dieses Konzept ist eine deutliche Erweiterung des Konzeptes aus Klassenstufe 7. Gegenüber dem Konzept aus Jahrgangsstufe 11 wird nicht nur das moderne Videoanalyseprogramm „measure Dynamics“ verwendet, es erfolgen auch nach der Dynamik die Berechnungen, so dass schon ein Verständnis für die zentrale Größe „Beschleunigung“ vorhanden ist.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- Inwieweit verändert sich das Verständnis sowie die Schülervorstellung zur Newton'schen Mechanik bei den Schülern im Vergleich zum traditionellen Unterricht?
- Inwieweit verändert sich die Einstellung der Schüler zur Physik und speziell zur Mechanik?
- Wie beurteilen Lehrkräfte das Unterrichtskonzept?

### 3.2. Forschungsdesign

Geplant ist eine quasi-experimentelle Studie im Feld im Treatment-Kontrollgruppen-Design mit einer größeren Anzahl verschiedener Lehrkräfte. Ein fachlicher Verständnistest soll im Pre-Post-FollowUp-Design gestellt werden. Dieser Verständnistest soll Items des FCI-Tests [10] enthalten und mit Items anderer Tests ergänzt werden, z.B. dem Mechanics Baseline Test (MBT) [11], dem Test of Understanding Graphs-Kinematics (TUGK) [12] und einer überarbeiteten Variante des Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) [13]. Ein Intelligenztest

<sup>1</sup> Kameras, Windowsrechner und ein Videoanalyseprogramm wie z.B. measure Dynamics werden zu einer „Standard“-Ausrüstung gezählt.

dient zur Kontrolle der kognitiven Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler.

Zur Kontrolle des durchgeführten Unterrichts werden die Lehrkräfte gebeten, während der Unterrichtsreihe ein knappes Unterrichtstagebuch zu erstellen. Um die Erfahrungen und Ansichten der teilnehmenden Lehrkräfte zu erheben, werden mit allen Lehrkräften leitfadengestützte Interviews geführt und diese mit einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet.

Zeitliche Planung des Forschungsvorhabens:

Schuljahr 2016/2017												
					Versuchsklasse (Unterrichtung einer Klasse mit „measure Dynamics“ innerhalb der gymnasialen Oberstufe einer Gemeinschaftsschule durch S. Diehl)							
8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	

Schuljahr 2018/2019												
Kontrollgruppen (mehrere Klassen, die herkömmlich unterrichtet werden)												
8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	

Schuljahr 2019/2020												
Treatmentgruppe (mehrere Klassen, die nach dem neuen Konzept unterrichtet werden)												
8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	

#### 4. Qualitative Betrachtung relevanter Größen mit measure Dynamics

In der Versuchsklasse wurde in der ersten Doppelstunde das Programm „measure Dynamics“ vorgestellt. Danach hatten die Schüler selbst die Möglichkeit eigene Bewegungen aufzunehmen und zu analysieren. Eine Bewegung war ein hüpfender Ball (s. Abb.1), anhand der die kinematischen Grundgrößen besprochen wurden.



Abb. 1: Stroposkopbild „Hüpfender Ball“

##### 4.1. Ort und Ortsverschiebung

Um Bewegungen von Objekten beschreiben zu können, ist es notwendig deren Ort zu jedem Zeitpunkt zu bestimmen. Measure Dynamics bietet die Mög-

lichkeit den Ursprung des Koordinatensystems nach Bedarf an einem frei wählbaren Ort zu fixieren. In Abb. 2 ist der Ursprung mit „x“ und die Orte des Balls von zwei aufeinanderfolgenden Bildsequenzen ist mit „•“ gekennzeichnet. Für die weitere Betrachtung interessieren die Ortsvektoren, die vom Ursprung aus in Richtung der Orte führen, an denen sich der Ball zu bestimmten Zeitpunkten befunden hat. So bekommt man zwei Pfeile ( $\vec{Ort}_{neu}; \vec{Ort}_{alt}$ ), die die alte und die neu Lage des Balls zu bestimmten Zeitpunkten eindeutig definieren. Es ist auch unschwer erkennbar, dass sich der Ort des Balles verändert hat. Die Schüler konnten ohne Probleme den Pfeil der Ortsveränderung, auch für unbekannte Situationen, vorhersagen, das dann mit Hilfe von measure Dynamics schnell überprüft werden konnte (s. Abb. 2).

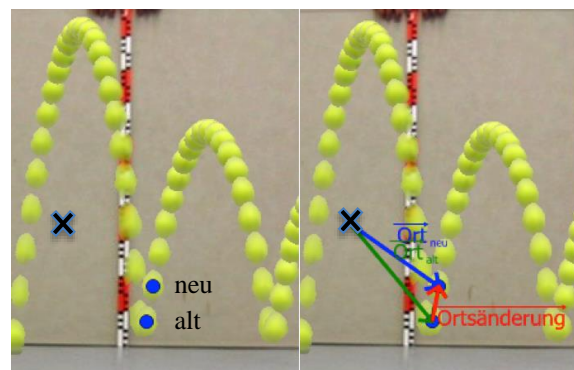


Abb. 2: Zwei Orte und deren Ortsänderung  $\Delta \vec{x}$

Im weiteren Verlauf des Unterrichts wurden neben den Ortsverschiebungen  $\Delta \vec{x}$  auch die Geschwindigkeiten  $\vec{v}$  im Stroboskopbild zu fünf verschiedenen Zeitpunkten eingeblendet (s. Abb. 3).

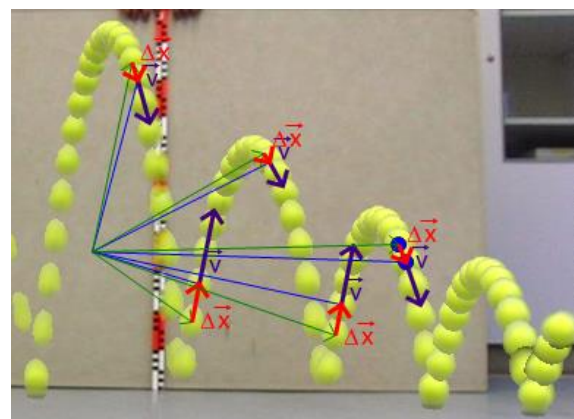


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Ortsänderung  $\Delta \vec{x}$  und Geschwindigkeit  $\vec{v}$

Die Schüler erkannten sofort, dass die Größe Geschwindigkeit in Verbindung mit der Ortsverschiebung steht, da die entsprechenden Pfeile in die gleiche Richtung zeigen. Der einzige Unterschied ist die Länge der Pfeile. Des Weiteren stellten die Schüler folgenden Zusammenhang fest: Je größer der Pfeil der Ortänderung ist, desto größer ist auch der Pfeil der Geschwindigkeit. Dieser Zusammenhang lässt

sich im späteren Verlauf der Unterrichtsreihe aufgreifen, um die Gleichung

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

herzuleiten.

#### 4.2. Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsänderung

Im weiteren Verlauf des Unterrichts wurden nun die Geschwindigkeit zu verschiedenen Zeitpunkten im Stroboskopbild gezeigt (s. Abb. 4). Beim Vergleich der Geschwindigkeiten stellten die Schüler fest, dass der Geschwindigkeitspfeil eine Länge und eine Richtung besitzt. Weiter vermuten sie, dass ein kleiner Pfeil „langsamer“ und ein längerer Pfeil „schneller“ bedeutet, da der Ball kurz vor dem Aufkommen auf dem Boden schnell (langer Pfeil) und im Umkehrpunkt langsam (kurzer Pfeil) ist. Diese Erkenntnisse zeigen, dass die Geschwindigkeit aus einer Richtung und einem Tempo besteht.

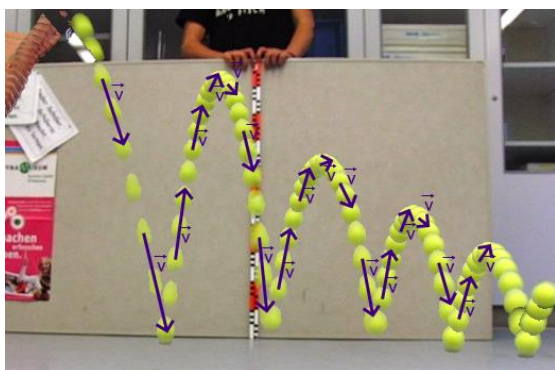


Abb. 4: Geschwindigkeiten an verschiedenen Orten

Wie bei der Ortsänderung auch besteht hier die Möglichkeit sich die Geschwindigkeiten des Balls zweier aufeinanderfolgender Bildsequenzen genauer zu betrachten (s. Abb. 5).

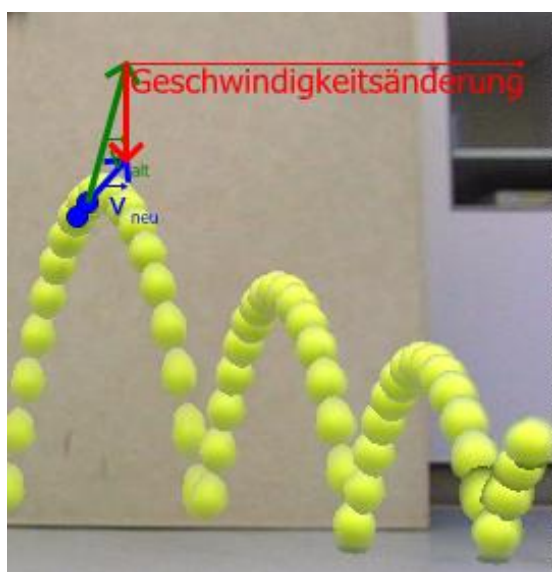


Abb. 5: Zwei Geschwindigkeiten und deren Geschwindigkeitsänderung  $\Delta \vec{v}$

Die Schüler erkennen anhand den Geschwindigkeitspfeilen  $\vec{v}_{alt}$  und  $\vec{v}_{neu}$ , dass eine Geschwindigkeitsänderung stattgefunden hat. Es war für sie auch kein Problem den entsprechenden Pfeil für die Geschwindigkeitsänderung anzugeben. Im weiteren Verlauf wurden die Geschwindigkeitsänderungen  $\Delta \vec{v}$  mit den entsprechenden Beschleunigungen zu verschiedenen Zeitpunkten im Stroboskopbild angezeigt (s. Abb. 6).

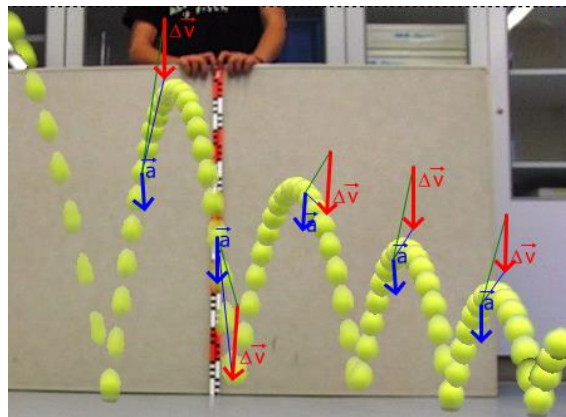


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsänderung  $\Delta \vec{v}$  und Beschleunigung  $\vec{a}$

Die Schüler erkannten auch hier sofort, dass die Beschleunigung  $\vec{a}$  in Verbindung mit der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta \vec{v}$  steht, da die Pfeile in die gleiche Richtung zeigen, aber unterschiedliche Längen aufweisen. Dieser Zusammenhang lässt sich im späteren Verlauf der Unterrichtsreihe aufgreifen, um die Gleichung

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

herzuleiten.

Für die Schüler war es allerdings erstaunlich, dass die Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsänderungspfeile annähernd gleich waren und alle Richtung Boden zeigen. Auf diesen Sachverhalt wurde eingegangen, indem die Beschleunigung separat betrachtet wurde.

#### 4.3. Beschleunigung

Die Beschleunigungen zu verschiedenen Zeitpunkten wurden den Schülern im Stroboskopbild gezeigt (s. Abb. 7). Die Beschleunigungspfeile sind annähernd gleich lang und zeigen alle Richtung Boden. Nach dem Impuls „Welche physikalische Größe zeigt auch Richtung Boden“ kam aufgrund des Vorwissens der Schüler die Gewichtskraft. Ohne Gewichtskraft würde der Ball auch nicht Richtung Boden fallen „wollen“. Somit lässt sich die Gewichtskraft als Ursache für die Beschleunigung des Balls identifizieren. Dieser Sachverhalt ist für den späteren Unterrichtsverlauf wichtig, um das zweite Newton'sch Axiom zu definieren:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m_{ges}}$$



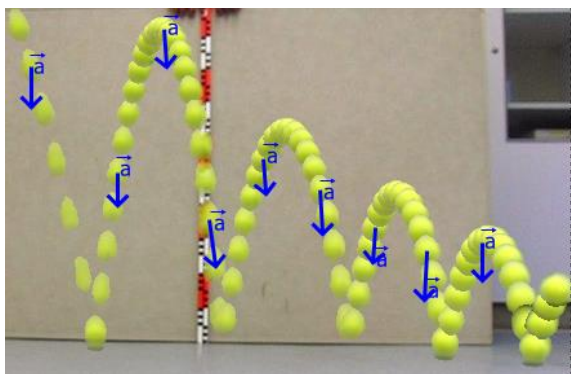


Abb. 7: Beschleunigungen an verschiedenen Orten

## 5. Literatur

- [1] Wilhelm, T. (Hrsg.) (2018): Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen, Aulis/Friedrich, Seelze
- [2] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung (Bd. 46). Berlin: Logos-Verlag.
- [3] Wilhelm, T. (2007): Vektorverständnis und vektoriell Kinematikverständnis von Studienanfängern. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.) Didaktik der Physik - Regensburg 2007, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [4] Wilhelm, T., Hopf, M. (2017): Bericht von der Schwerpunkttagung „Newton'sche Mechanik“ mit Thesen zur Mechanik. In Maurer, Chr. (Hrsg.): Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, Band 37, S. 42-46.
- [5] Wilhelm, T. (2009): Videoanalyse mit unterschiedlichen Darstellungsformen. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung, Jahrestagung der GDCP in Schwäbisch Gmünd 2008, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 29, Lit-Verlag, Münster, 2009, S. 289 – 291.
- [6] Waltner, C., Tobias, V., Wiesner, H., Hopf, M., Wilhelm, T. (2010). Ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Dynamik in der Mittelstufe. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 32 (4), S. 122-127.
- [7] Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M., Wiesner, H. (2011): Zweidimensionaldynamische Mechanik – Ergebnisse einer Studie. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung, Jahrestagung der GDCP in Potsdam 2010, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 31, Lit-Verlag, Münster, 2011, S. 438-440.
- [8] Wodzinski, R. (1996): Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht. Lit-Verlag, Münster.
- [9] Wodzinski, R., Wiesner, H. (1994): Einführung in die Mechanik über die Dynamik. Zusatzbewegung und Newtonsche Bewegungsgleichung. In: Physik in der Schule 32, Nr. 6, S. 202-207
- [10] Hestenes, D., Welles, M., Swackhammer, G. (1992): Force Concept Inventory. In: The physics teacher 30, S. 65-78.
- [11] Hestenes, D., Wells, M. (1992): A mechanics baseline test. In: The physics teacher 30, S.159-166.
- [12] Beichner, R. (1994): Testing student interpretation of kinematics graphs. In: American Journal of Physics, 62(8), S.750-762.
- [13] Thornton, R. K., Sokoloff, D.R. (1998): Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula. In: American Journal of Physics, 66(4), S.338-352.