

Dynamischer Mechanikunterricht - Ergebnisse einer quantitativen Vergleichsstudie

Verena Tobias*, Christine Waltner*, Martin Hopf⁺, Thomas Wilhelm^o, Hartmut Wiesner*

*Universität München, ⁺Universität Wien, ^oUniversität Würzburg

Kurzfassung

Im Rahmen einer Studie mit quantitativen und qualitativen Erhebungen wurde ein Unterrichtskonzept für die 7. Jahrgangsstufe des Gymnasiums evaluiert, welches ausgehend von zweidimensionalen Bewegungen über dynamische Betrachtungen in die Newtonsche Mechanik einführt. In der ersten Kohorte nahmen 10 Lehrpersonen mit 27 Klassen teil. Diese unterrichteten im Sommer 2008 als Kontrollgruppe nach dem herkömmlichen Konzept, und im Sommer 2009 als Treatmentgruppe nach dem zweidimensional-dynamischen Konzept. Innerhalb der quantitativen Erhebung wurde die Wissensentwicklung der Lernenden ebenso untersucht wie der Einfluss auf Interesse, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeit im Bereich der Mechanik. Im Beitrag werden die Ergebnisse dieser quantitativen Vergleichsstudie dargestellt.

1. Einleitung

Dieser Beitrag wird eingeleitet mit Zitaten von Lehrerinnen und Lehrern, Zitaten von Schulpraktikern, die sich - nach einer Lehrplanänderung in Bayern - mit der Forderung konfrontiert sehen, in der siebten Jahrgangsstufe ein ohnehin schwieriges Gebiet, die klassische Mechanik, zu unterrichten. Warum wenden sich diese Lehrerinnen und Lehrer an die Fachdidaktik Physik?

„der erste Durchlauf ... mit diesem ... Schulbuch war eine mittlere Katastrophe ...“ (Lehrperson 1)

„... weil ich ... mit den Lehrbüchern ... nicht 100 % zufrieden war ...“ (Lehrperson 2)

„... weil ich eben nicht ... glücklich damit war, wie das die Bücher so machen, vor allem ... der Beschleunigungsbegriff, ... mit dem sich die Schüler ... schwer tun ...“ (Lehrperson 3)

Diese Zitate schildern sehr authentisch die Dringlichkeit der Situation. Lehrkräfte äußern ihre Unzufriedenheit mit der bestehenden Situation und dem angebotenen Material. Dem korrespondieren die wissenschaftlich wiederholt gut belegten Lernschwierigkeiten in der Mechanik. Nach wie vor verlässt eine Vielzahl der Schülerinnen und Schüler die Schule mit aristotelischen wenn nicht animistischen Ideen zu Bewegungen und Bewegungsänderungen.

2. Interventionsansatz

Es wurden unterschiedliche Ursachen ausgemacht [1]: Ein Teil der Lernschwierigkeiten ist sicherlich sachbedingt, d.h. in der Abstraktion der Lerninhalte von den alltäglichen Erfahrungen begründet.

Ein weiterer Teil sind sogenannte innenbedingte Lernschwierigkeiten, zu denen Interesse und Moti-

vation, ebenso wie die vorunterrichtlichen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zählen.

Ein weiterer Teil sind sogenannte lehrbedingte Lernschwierigkeiten, die durch unangemessene Unterrichtsangebote und Darstellungsformen hervorgerufen werden. So gibt es Hinweise darauf, dass der übliche schulische Zugang über die Kinematik mit starker Betonung statischer Aspekte lernhinderlich wirkt. [2, 3]

Unser Interventionsansatz fußt auf der Ausarbeitung einer geeigneten Sachstruktur, die sowohl vorunterrichtliche Vorstellungen berücksichtigt als auch unangemessene Unterrichtsangebote vermeidet.

Dabei verfolgen wir eine Anknüpfungsstrategie, die der Sichtweise diSessas entspricht: Er geht davon aus, dass die vorunterrichtliche Vorstellungen (p-prims) weitgehend unstrukturiert und unverbunden vorliegen, sowie stark kontextabhängig aktiviert werden. Bei der Konstruktion von Lehr-Lernumgebungen kommt es demnach darauf an, geeignete Vorstellungen zu identifizieren und darauf aufbauend ein konsistentes konzeptuelles Verständnis anzubahnen. “Students have a richness of conceptual resources to draw on. Attend to their ideas and help them build on the best of them.” [4]

3. Konzeption des Lehrgangs

Angeknüpft wird an die allgemein einsichtige Idee: „Von nichts kommt nichts“, oder: „Ohne Einwirkung keine Änderung“, physikalisch gesehen hat die Einwirkung eines Körpers auf einen anderen Körper hat eine Änderung der Geschwindigkeit zur Folge, oder. Dies wird im Lehrgang in folgender Form rekonstruiert: Wenn ein Körper auf einen anderen

Körper eine Kraft ausübt, erhält dieser Körper eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$.

Es werden Je-Desto Beziehungen betrachtet:

- je größer die Einwirkstärke bzw. die Einwirkdauer der Kraft, desto größer das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit,
- je größer die Masse des Körpers, desto kleiner das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit.

Darüber gelangt man zur Newtonschen Bewegungsgleichung in der integralen Form: $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$. Kraft und Geschwindigkeiten werden dabei zweidimensional eingeführt und durch Pfeile dargestellt.

Als Ankerbeispiel dient im Verlauf des Lehrgangs immer wieder die kurzzeitige, senkrechte Einwirkung auf die Bewegung einer rollenden Kugel: Der Körper erhält eine Zusatzgeschwindigkeit in Richtung der Einwirkung, die von Einwirkstärke, Einwirkdauer und der Masse des Körpers abhängt. Aus den Pfeilen der Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit wird graphisch der Pfeil der Endgeschwindigkeit bestimmt. (Eine Simulation zu diesem Ankerbeispiel – mit Möglichkeiten zur Variation von Einwirkungsstärke und –richtung, Einwirkdauer, sowie Masse - findet sich zum Download in [5].)

Für detailliertere Darstellungen des Konzeptes für die siebte Jahrgangsstufe des Gymnasiums in seiner Entwicklung siehe z.B. [6] oder [7].

4. Evaluation des Lehrgangs

Der Interventionsansatz versteht sich als Design-Based-Research Projekt: Ein Ansatz, der den „credibility gap“ zwischen fachdidaktischer Theorie und Praxis zu überbrücken sucht, indem im ingenieurwissenschaftlichen Sinne eine konkrete Problemstellung in enger Zusammenarbeit mit den Anwendern des Produktes, den Lehrkräften, erarbeitet wird. In einer spiralförmigen Entwicklung werden erste Entwürfe der Lernumgebung immer wieder evaluiert und verbessert. Darüber hinaus wird das Design zum Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung der fachspezifischen Lehr-Lerntheorie im Bereich der Newtonschen Mechanik. [8]

Die „konkrete Problemstellung“, die dieses Design-Based-Research Projekt angeht, ist der Anfangsunterricht Mechanik in der siebten Jahrgangsstufe des Gymnasiums. Für diesen Inhaltsbereich sind laut Lehrplan etwa 20 Unterrichtsstunden vorgesehen. An der Hauptstudie nahmen 10 Lehrkräfte mit ihren Klassen teil. Sie unterrichteten im Sommer 2008 nach dem traditionellen Konzept als Kontrollgruppe (14 Klassen), und im Sommer 2009 nach dem zweidimensional-dynamischen Konzept als Treatmentgruppe (13 Klassen), so dass die Konstanz der Lehrpersonen in Kontroll- und Treatmentgruppe gesichert ist. Insgesamt ergab dies eine Stichprobe von N=521 Schülerinnen und Schülern.

Die Lehrpersonen wurden an einem Nachmittag innerhalb weniger Stunden geschult. Sie bekamen den ausgearbeiteten Lehrtext (Abb. 1) als Klassensatz zur Verfügung gestellt. Außerdem erhielten sie eine DVD mit weiteren Materialien, wie Arbeitsblätter, Filmen und einer Simulation, die passend zum zweidimensional-dynamischen Mechanikkonzept ausgearbeitet wurden.

Für die Unterrichtsgestaltung und die Unterrichtszeit wurden den beteiligten Lehrpersonen keinerlei Empfehlungen gegeben.

Durch dieses Design sollte eine Feldstudie in wirklichkeitsnahem Rahmen gewährleistet werden. Eine breite Implementation des Lehrgangs ist - im Erfolgsfall - unter gleichen Bedingungen sehr einfach realisierbar.



Abb.1: Das Titelblatt des Lehrtextes

In der Treatmentgruppe wurde eine qualitative Evaluation des Konzeptes mit Hilfe von Unterrichtsvideos sowie Lehrer- und Schülerinterviews durchgeführt (zu den Ergebnissen der Unterrichtsvideos siehe [9], der Schülerinterviews siehe [10]).

In der Treatment- und in der Kontrollgruppe wurde eine quantitative Erhebung durchgeführt. Zur Parallelisierung kam eine Teilskala des KFT zum räumlichen Vorstellungsvermögen zum Einsatz. Außerdem wurden tabellarische Unterrichtstagebücher und sowie statistische Tests zu kognitiven und nicht-kognitiven Variablen eingesetzt. Auf die Ergebnisse dieser statistischen Tests soll im Folgenden eingegangen werden.

Es wurde jeweils das gleiche Erhebungsinstrument – ein Multiple Choice Test – zu drei Messzeitpunkten als Vortest (Prae - Test) und Nachtest (Post - Test) sowie als zeitverzögerter Nachtest (Follow-Up - Test) eingesetzt, der in [11] veröffentlicht ist. (Der zeitverzögerte Nachtest fand drei Monate nach Abschluss des Unterrichts jeweils zu Beginn der achten Jahrgangsstufe statt.)

Enthalten waren 13 Items zum allgemeinen Mechanik-Grundverständnis, größtenteils dem FCI entnommen, sowie jeweils zwei Items zu spezifischen Inhalten des zweidimensional-dynamischen und des traditionellen Konzeptes, die gesondert ausgewertet wurden.

Außerdem wurden Interesse, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung der Schülerinnen und Schüler nach pisa-ähnlichen Skalen abgefragt.

5. Ergebnisse

Um den Einfluss des Unterrichtskonzeptes, also der Gruppenzugehörigkeit der Lernenden auf den Lernerfolg zu ermitteln, wurde ein Kovarianzanalyse¹ mit Messwiederholung auf zwei Stufen (Post - und Follow-Up - Test) berechnet.

Wenn ein Effekt durch die Gruppenzugehörigkeit festgestellt werden konnte, wurde dann anhand einer univariaten Varianzanalyse² für den Post - Test und für den Follow-Up - Test überprüft, auf welchen Messzeitpunkt diese zurückzuführen ist.

Im Vortest ließen sich bei keiner der drei Aufgaben- gruppen – Grundverständnis, Aufgaben zum zweidimensional-dynamischen Konzept und Aufgaben zum traditionellen Konzept - signifikante Unterschiede zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe feststellen, allerdings traten bei nicht-kognitiven Variablen sowie dem räumlichen Vorstellungsvermögen Unterschiede zu Tage, die mit $p < .10$ mindestens tendenziell signifikant waren. Als Konsequenz wurde bei den weiteren statistischen Analysen jeweils zunächst durch eine Regressionsanalyse ein möglicher Zusammenhang der Kontrollvariablen mit den zu untersuchenden abhängigen Variablen überprüft. Gegebenenfalls wird die entsprechende Kontrollvariable als Kovariate in der Kovarianzanalyse berücksichtigt.

Die deskriptiven Befunde der beiden Nachtests in Kontroll- und Treatmentgruppe sind in Tab. 1. zusammengefasst.

	Kontrollgruppe		Treatmentgruppe	
	M	SD	M	SD
kognitive Variablen im Nachtest				
vergleichbare Aufgaben	4.27	2.02	5.42	2.24
1d Aufgaben	2.10	1.63	2.49	1.77
2d Aufgaben	2.18	1.01	2.93	1.03
Aufgaben zum 2d-dynamischen Konzept	.17	.41	.84	.56
Aufgaben zum traditionellen Konzept	.67	.55	.61	.51
kognitive Variablen im zeitverzögerten Nachtest				
vergleichbare Aufgaben	4.11	2.00	5.06	2.32
1d Aufgaben	1.86	1.55	2.26	1.65
2d Aufgaben	2.25	1.06	2.80	1.07
Aufgaben zum 2d-dynamischen Konzept	.22	.43	.85	.59
Aufgaben zum traditionellen Konzept	.69	.53	.64	.52

Tab.1: Die deskriptiven Befunde der beiden Nachtests in Kontroll- und Treatmentgruppe

Bei den zwei Items zum Unterricht nach zweidimensional-dynamischem Konzept ergab die Kovarianzanalyse (Abb. 2) erwartungsgemäß einen höchst sig-

¹ mit den festen Faktoren Gruppe, Geschlecht und Lehrperson
² mit den festen Faktoren Gruppe und Geschlecht sowie dem Zufallsfaktor Lehrperson

nifikanten Einfluss mit einer großen Effektstärke durch die Gruppenzugehörigkeit der Lernenden: $F(1; 459) = 240.46; p < .001; \text{part}\eta^2 = .34$

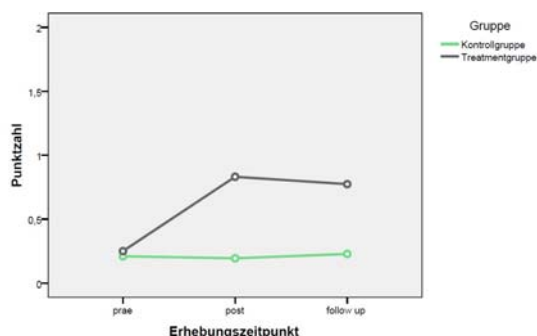


Abb.2: Die Ergebnisse der Items zum zweidimensional-dynamischen Konzept

Im der univariaten Varianzanalyse zeigte sich sowohl im Nachtest als auch im zeitverzögerten Nachtest ein höchst signifikanter Einfluss der Gruppe mit einer großen Effektstärke auf den Lernerfolg (post: $F(1; 9.78) = 90.10; p < .001; \text{part}\eta^2 = .90$; follow up: $F(1; 10.34) = 105.60; p < .001; \text{part}\eta^2 = .91$).

Bei den beiden Items zum Unterricht nach traditionellem Konzept ergab die Kovarianzanalyse (Abb. 3) allerdings keinen signifikanten Einfluss durch die Gruppenzugehörigkeit der Lernenden: $F(1; 449) = 2.50; p = .115; \text{part}\eta^2 = .01$

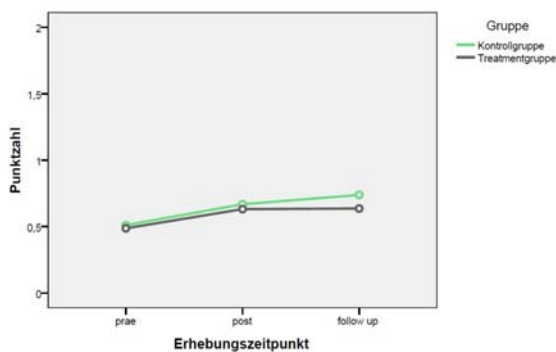


Abb.3: Die Ergebnisse der Items zum traditionellen Konzept

Durch die univariaten Varianzanalysen für beide Messzeitpunkte bestätigt sich dieser Befund (post: $F(1; 9.84) = .32; p = .583; \text{part}\eta^2 = .03$; follow up: $F(1; 10.29) = 2.00; p = .187; \text{part}\eta^2 = .16$).

Bezüglich der Aufgaben zum Grundverständnis (Abb. 4) erwies sich der feste Faktor „Gruppenzugehörigkeit“ als höchst signifikanter Prädiktor mit mittlerer Effektstärke für das Lernergebnis³:

³ Durch die univariate Varianzanalyse bestätigte sich die Gruppenzugehörigkeit als (hoch) signifikanter Prädiktor für den Lernerfolg mit einer großen Effektstärke für beide Messzeitpunkte

$F(1; 449) = 30.86; p < .001; \text{part}\eta^2 = .06$

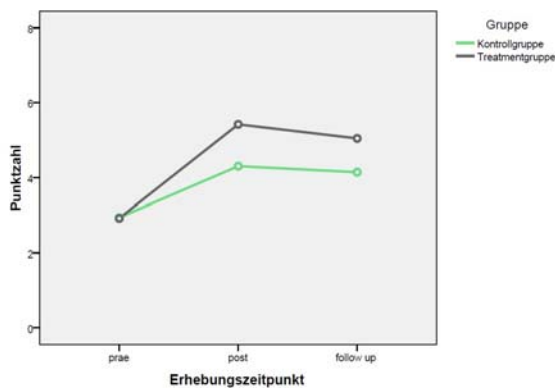


Abb. 4: Die Ergebnisse der Items zu den vergleichbaren Aufgaben

Es ergaben sich außerdem signifikante Effekte mit kleiner Effektstärke durch die Kontrollvariablen Vorinteresse ($F(1; 449) = 4.76; p = .030; \text{part}\eta^2 = .01$) und räumliches Vorstellungsvermögen ($F(1; 449) = 15.73; p < .001; \text{part}\eta^2 = .03$), sowie durch die festen Faktoren Lehrperson ($F(9; 449) = 6.21; p < .001; \text{part}\eta^2 = .11$) und Geschlecht ($F(1; 449) = 10.91; p = .001; \text{part}\eta^2 = .02$).

Außerdem gab es einen kleinen, aber signifikanten Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Geschlecht ($F(1; 449) = 4.00; p = .046; \text{part}\eta^2 = .01$). Dieser Interaktionseffekt soll nun näher beleuchtet werden.

Sowohl in Kontroll- als auch in Treatmentgruppe waren die Jungen den Mädchen in ihrem Vorwissen hoch, bzw. höchst signifikant überlegen.

Während diese Unterschiede nach Unterricht in der Kontrollgruppe bestehen bleiben oder sogar anwachsen, sind nach Unterricht des zweidimensional-dynamischen Konzeptes in der Treatmentgruppe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellbar (Tab. 2). Die Mädchen holen also auf!

Zwischenfazit 1: Bei Unterricht nach zweidimensional-dynamischem Konzept sind im Gegensatz zum Unterricht nach traditionellem Konzept keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern im Lernerfolg feststellbar.

	Kontrollgruppe			Treatmentgruppe		
	Jungen	Mädchen		Jungen	Mädchen	
Vortest	3.18	2.68	**	3.13	2.53	***
Nachtest	4.62	3.94	**	5.57	5.18	n.s.
zeitverzögerter Nachtest	4.58	3.64	***	5.25	4.76	n.s.

Tab.2: Die Mittelwerte zu den Messzeitpunkten in Kontroll- und Treatmentgruppe nach Geschlechtern

(post: $F(1; 9.94) = 15.64; p = .003; \text{part}\eta^2 = .61$; follow up: $F(1; 9.78) = 5.37; p = .044; \text{part}\eta^2 = .35$).

Es konnte außerdem ein weiterer interessanter Zusammenhang zwischen zwei Unterrichtsmerkmalen und dem Lernerfolg in den beiden Gruppen hergestellt werden.

-Zunächst die Anzahl an Lernschwierigkeiten, die die einzelnen Lehrkräfte im Inhaltsbereich der Mechanik kennen:

Das erwartete Ergebnis, dass nämlich die Anzahl bekannter Lernschwierigkeiten positiv mit dem Lernerfolg korreliert, konnte durch Trendanalysen in der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Überraschend war es aber, dass dieser Zusammenhang in der Treatmentgruppe nicht vorlag (Tab. 3).

-Dann die Anzahl an Unterrichtsstunden, die die einzelnen Lehrkräfte für den Inhaltsbereich der Mechanik aufwenden:

Hier konnte das erwartete Ergebnis, dass nämlich die Anzahl gehaltener Unterrichtsstunden positiv mit dem Lernerfolg korreliert, lediglich in der Treatmentgruppe festgestellt werden. In der Kontrollgruppe lag dieser Zusammenhang erstaunlicherweise nicht vor (Tab. 3).

	Kontrollgruppe		Treatmentgruppe	
	LS	US	LS	US
vergleichbare Aufgaben	*	n.s.	n.s.	***
Aufgaben zum 2d-dynamischen Konzept	n.s.	n.s.	n.s.	**
Aufgaben zum traditionellen Konzept	*	n.s.	n.s.	n.s.

Legende
 LS Anzahl bekannter Lernschwierigkeiten
 US Anzahl gehaltener Unterrichtsstunden

Tab.3: Korrelation zwischen dem Lernerfolg und der Anzahl an bekannten Lernschwierigkeiten bzw. der Anzahl an gehaltenen Unterrichtsstunden in Kontroll- und Treatmentgruppe

Diese Ergebnisse bestätigen sich in den Inhaltsbereichen, die in den beiden Gruppen jeweils unterrichtet wurden: In der Kontrollgruppe ist der Einfluss der Anzahl bekannter Lernschwierigkeiten bei den Aufgaben zum traditionellen Konzept signifikant; in der Treatmentgruppe ist die Anzahl gehaltener Unterrichtsstunden bei den Aufgaben zum zweidimensional-dynamischen Konzept signifikant.

Zwischenfazit 2: Bei Unterricht nach zweidimensional-dynamischem Konzept relativiert sich der Einfluss der Anzahl an bekannten Lernschwierigkeiten. Es ergibt sich aber ein Einfluss der Anzahl an gehaltenen Unterrichtsstunden, der beim Unterricht nach traditionellem Konzept nicht nachgewiesen wurde.

6. Schluss

Und wie bewerten die beteiligten Lehrerinnen und Lehrer das zweidimensional-dynamische Unterrichtskonzept? Insgesamt kann man feststellen, dass die Akzeptanz des Konzeptes sehr hoch ist: Alle zehn beteiligten Lehrerinnen und Lehrer geben an,

das Konzept auch zukünftig unterrichten zu wollen – teilweise mit minimalen Modifikationen. Inzwischen fungieren einige Lehrerinnen und Lehrer auch als Multiplikatoren an ihren Schulen. Diese Akzeptanz des Konzeptes drückt sich durch folgende Aussagen aus:

„Das Neue gefällt mir ziemlich gut, weil man die Sachen in so eine Art Ganzheit stellen kann, die dann auch in der 9. und 10. weitergeht. ... Der zweidimensionale Einstieg ist erstmal gut für die Kinder. ... Die Newtonsche Bewegungsgleichung ... finde ich sehr gut ... das haben viele sogar ... benutzt, um immer zu argumentieren.“ (Lehrperson 4)

„Mit der Newtonschen Bewegungsgleichung sind sie eigentlich ganz gut umgegangen. ... da konnten sie Phänomene erklären. ... Also da war ich echt erstaunt ... sehr, sehr gut im Vergleich zu den Klassen vorher ... sogar so gut, dass ich das dann auch in der 10. Klasse mal zerteilt habe - die Beschleunigung - ... das hat auch denen geholfen. ...Prima!“ (Lehrperson 5)

Es konnte also eine nachhaltige Implementation in die Unterrichtspraxis erreicht werden, und zwar durch Wirksamkeitserfahrungen der Lehrerinnen und Lehrer in ihrem Unterricht mit einer nur sehr knappen Fortbildungsmaßnahme.

Außerdem lassen sich durch Sachstrukturen, die die vorunterrichtlichen Vorstellungen anknüpfend berücksichtigen, folgende Ergebnisse erzielen:

Der Einfluss des Unterrichtskonzeptes auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler ist höchst signifikant. Die Lernenden erreichen ein größeres Verständnis der Mechanik, insbesondere erreichen Jungen und Mädchen ein gleich gutes Ergebnis. Die Bereitstellung von funktionierendem Unterrichtsmaterial wirkt direkt auf den Lernerfolg.

Durch die Anknüpfungsstrategie ergibt sich ein Einfluss der Anzahl gehaltener Unterrichtsstunden auf den Lernerfolg. Weiterhin relativiert sich ein Einfluss der Anzahl bekannter Lernschwierigkeiten auf den Lernerfolg. Die dargestellten Ergebnisse suggerieren, dass die übliche Messung der fachdidaktischen Kompetenz durch die Anzahl an bekannten Lernschwierigkeiten und unterrichtlichen Zugängen zu kurz gegriffen ist.

7. Literatur

- [1] JUNG, Walter et al. (1977):
Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6, Frankfurt am Main
- [2] WODZINSKI, Rita (1996):
Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Mechanik im Anfangsunterricht, Münster

- [3] JUNG, Walter et al. (1992):
Untersuchungen von Lernschwierigkeiten, Schülervorstellungen u. Lernprozessen bei der Einführung in die Newtonsche Mechanik, DFG-Abschlussbericht. Frankfurt a.M.
- [4] DISESSA, Andrea (2008):
A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy, in: Vosniadou, S. (Hg.): International Handbook of Research on Conceptual Change, New York
- [5] Download der Simulation unter:
<http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materilien/themen/mechanik/index.html>
- [6] HOPF, Martin et al. (2008):
Dynamischer Zugang zur Mechanik, in: Nordmeier, V. (Hg.): CD zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der DPG, Berlin
- [7] WIESNER, Hartmut et al. (2010):
Dynamik in den Mechanikunterricht, in: Nordmeier, V. (Hg.): PhyDid B, Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der DPG
- [8] REINMANN, Gabi (2005):
Innovation ohne Forschung – Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz, in: Unterrichtswissenschaft 33 (1), S.52-69
- [9] BAUERNSCHUSTER, Johanna et al. (2010):
Dynamischer Mechanikunterricht – Die Umsetzung des Konzeptes durch die Lehrkräfte, in: Nordmeier, V. (Hg.): PhyDid B, Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der DPG
- [10] JETZINGER, Franz et al. (2010):
Dynamischer Mechanikunterricht - Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie, in: Nordmeier, V. (Hg.): PhyDid B, Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der DPG
- [11] WILHELM, Thomas, et al. (2009):
Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht - quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessensentwicklung, in: Nordmeier, V. (Hg.): CD zur Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der DPG, Berlin