

Vorhersagen – ein Mittel zur Intensivierung von Lernprozessen

Thomas Wilhelm, Dieter Heuer

1. Vorhersagen – Anstöße zum Lernen

Damit Schüler eigene physikalische Sichtweisen aufbauen, ist es notwendig, dass sie sich aktiv mit den behandelten Fragen, Sachverhalten und Aussagen auseinandersetzen. Das wird sowohl von der Lernpsychologie als auch von empirischen Erhebungen zum Physiklernen bestätigt. Ein Zeigen und Erklären durch den Lehrer reicht nicht aus.

Um diese Auseinandersetzung anzustoßen, sollten Schüler aufgefordert werden, vor der Durchführung von Versuchen und vor dem Ablauf einer Simulation genaue Vorhersagen zu machen. Durch die Vorhersagen können sich die Schüler ihrer eigenen Ideen und Vorstellungen bewusst werden, insbesondere wenn sie alternative Deutungen ihrer Mitschüler hören. Bei dem anschließenden Ablauf eines Experimentes oder einer Simulation werden die Schüler ihre Aufmerksamkeit besonders auf die Dinge richten, die unterschiedlich vorhergesagt wurden. Ebenso fördert die Diskrepanz zwischen Vorhersagen und Abläufen die Aufmerksamkeit. Hätten die Schüler keine Vorhersagen gemacht, würden sie sich kaum über den Versuchsablauf wundern. So aber wird bei Schülern häufig der Wunsch geweckt, den Vorgang zu verstehen.

Dazu ist es nötig, dass der Lehrer nicht sagt, ob die Vorhersage richtig oder falsch ist, auch nicht indirekt durch Bemerkungen wie „*Bist du dir da sicher?*“ oder „*Denk' doch noch 'mal genau darüber nach!*“ Die Vorhersagen sollten also vor dem Ablauf des Experimentes bzw. der Simulation weder bewertet noch hinterfragt werden, sondern vom Lehrer sollten nur verschiedene Vorhersagen gesammelt und vergleichend nebeneinander gestellt werden. Besonders die Unterschiede zwischen verschiedenen Vorhersagen sollten vom Lehrer aufgezeigt werden. Dazu muss der Lehrer eine Atmosphäre schaffen, in der sich die Schüler trauen, das zu sagen, was sie denken - ohne Angst haben zu müssen, verlacht zu werden. Das spricht auch gegen eine Benotung dieser Vorhersagen.

Für Schüler kann es durchaus motivierend sein, wenn sie erleben, dass sie zu falschen Voraussagen kommen, obwohl die entsprechenden physikalischen Gesetze bereits gelernt wurden. Das Infragestellen der eigenen Vorstellung passiert evtl. auch erst nach mehreren solchen Erfahrungen. Außerdem besteht durch dieses Vorgehen die Möglichkeit, die dazugehörigen Schülervorstellungen zu thematisieren. Dann aber ist zu analysieren, wieweit die Schülervorstellungen die experimentellen Befunde erklären und wie mit alternativen Vorstellungen umfassendere Erklärungen möglich sind, die dann im Vergleich zu bewerten sind.

2. Vorteile des Computereinsatzes bei Vorhersagen

Für Vorhersagen eignen sich unterschiedliche Versuchsarten, zum einen qualitative Versuche, wie Freihandversuche, bei denen man nach dem auftretenden Effekt bzw. Ablauf fragt: Was passiert? Was ist zu sehen?

Zum anderen kann bei Messungen und Simulationen auch nach dem quantitativen Verlauf der Größen gefragt werden. Beispiele hierzu wären die Form eines Graphen, das Vorzeichen bzw. die Richtung einer Größe oder auch die Größenordnung einer Größe. Die Form eines Orts-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsgraphen ist neben den bekannten Spezialfällen vor allem dann interessant, wenn Bewegungen mit veränderlichen Kräften vorliegen. Solche Bewegungen wären z.B. Schwingungen, ein Trampolinsprung [1], eine Kette, die einen Wagen auf der Luftkissenfahrbahn beschleunigt, oder eine Bewegung mit Luftreibung beim Fahrrad [2, S. 18] oder beim Fallkegel [3].

Bei realen Experimenten ist eine Messwerterfassung mit dem PC hilfreich, damit nach Abschluss der Vorhersagen schnell ein Ergebnis präsentiert werden kann. Müssen Messwerte erst sukzessive ermittelt und danach die Graphen gezeichnet werden, vergeht zu viel Zeit zwischen Vorhersage und Präsentation des Ergebnisses. Von Vorteil ist, wenn die Graphen zu einer Messung oder Simulation nicht als Ganzes ausgegeben werden, sondern langsam gezeichnet werden, damit auch während dieses Zeichnens der Ablauf unterbrochen und gefragt werden kann, wie es weiter geht.

Weitere Möglichkeiten für Vorhersagen ergeben sich, wenn physikalische Größen bei Messungen und Simulationen am Computer ikonisch dargestellt, etwa mit Flächen, Vektoren oder Verbindungslinien. Wenn sich solche Darstellungen mit dem Ablauf verändern, werden sie auch als dynamisch ikonischer Repräsentationen bezeichnet. Findet die Darstellung eines Ablaufs nur mittels Graphen statt, können außer der Form des Graphen nicht viele Vorhersagen verlangt werden. Bei der Nutzung solcher dynamisch ikonischer Repräsentationen ist das anders. Für jede Phase des Ablaufs kann nach der Form und Lage der Repräsentation jeder einzelnen Größe und evtl. ihrer Änderung gefragt werden. Beispielsweise kann man nach Richtung, Länge und Änderungsverhalten des Geschwindigkeitspfeiles, des Beschleunigungspfeiles oder verschiedener Kraftpfeile fragen. Zeigt ein bestimmter Pfeil, der eine bestimmte Größe repräsentiert, in einer bestimmten Situation nach rechts oder links, wird länger oder kürzer? Interessant ist auch, wie Pfeile für verschiedene Größen zueinander liegen oder wie die vektorielle Summe von Pfeilen, z.B. von verschiedenen Kräften, aussieht.

Von Vorteil beim Einsatz des Computers ist, dass der Lehrer die Prognosen der Schüler nicht beurteilen muss. Die Schüler sehen es selbst am Computer, wenn der Ablauf nicht ihren Vorhersagen entspricht. Da sie quasi von einer dritten Instanz von ihrem „Fehler“ erfahren, belastet dies nicht das Schüler-Lehrer-Verhältnis.

3. Beispiele für Computereinsatz mit Vorhersagen

Als Beispiele seien verschiedene Phasen bei der Bewegung bei einem einfachen Trampolinsprung betrachtet, die sowohl simuliert als auch mittels Videoanalyse gemessen werden kann [1]. Ein analoger Vorgang wäre ein Wagen, der auf einer schiefen Ebene gegen eine Feder fährt, oder ein Sprung eines Bungee-Springers.

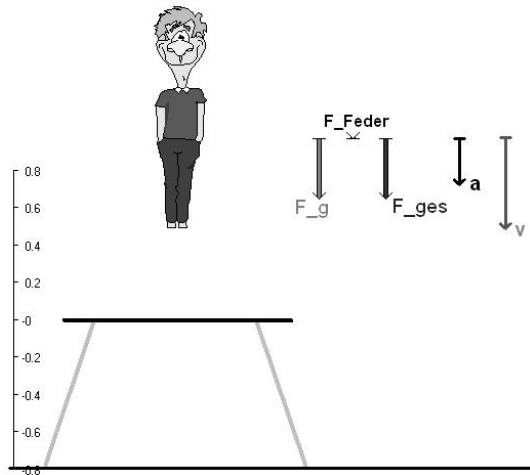


Abb. 1: Simulation eines Trampolinsprungs, festgehalten wurde die Abwärtsbewegung

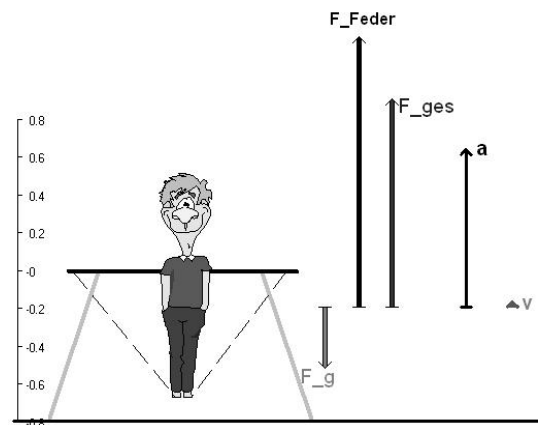


Abb. 2: Simulation eines Trampolinsprungs, festgehalten wurde der tiefste Punkt

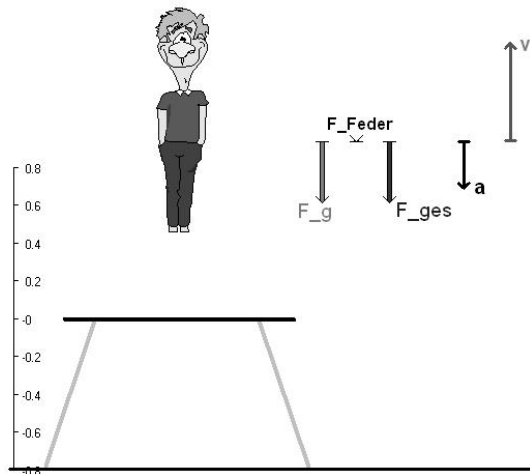


Abb. 3: Simulation eines Trampolinsprungs, festgehalten wurde die Aufwärtsbewegung

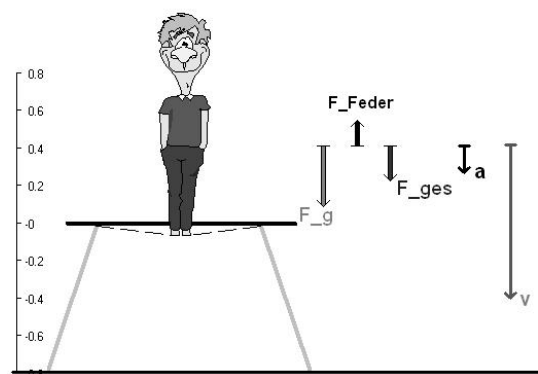


Abb. 4: Simulation eines Trampolinsprungs, kurz nach Berühren des Trampolins

Recht einfach ist es noch, für die Abwärtsfallbewegung die Richtung der verschiedenen Größen vorherzusagen (Abb. 1). Schwieriger ist es, die Größen am tiefsten Punkt vorherzusagen (Abb. 2), da sich viele Schüler damit schwer tun, dass eine Beschleunigung vorhanden ist, wenn die Geschwindigkeit Null ist. Bei der Aufwärtsbewegung (Abb. 3) ist die Schwierigkeit eine Beschleunigung gegen die Bewegungsrichtung anzugeben. Eine besondere Herausforde-

rung ist es jedoch, sich die Situation sehr kurz nach Berühren des Trampolins zu überlegen (Abb. 4). Spontan nimmt fast jeder an, dass sofort eine Abbremsung stattfindet, obwohl sich die Hookesche Federkraft von der Auslenkung abhängt.

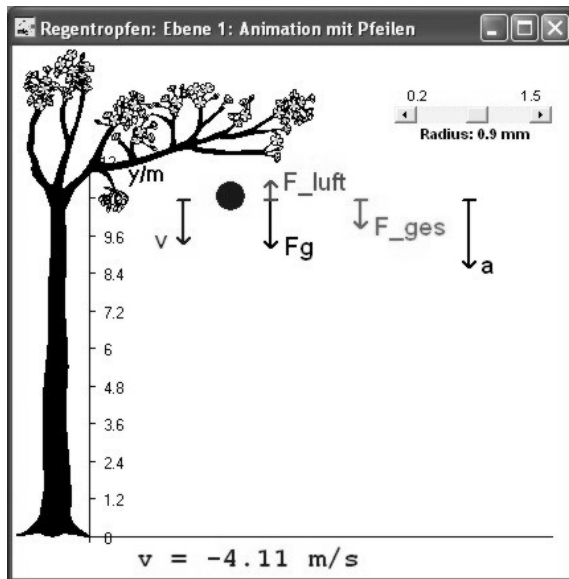


Abb. 5: Simulation eines fallenden Regentropfens, festgehalten kurz nach Start

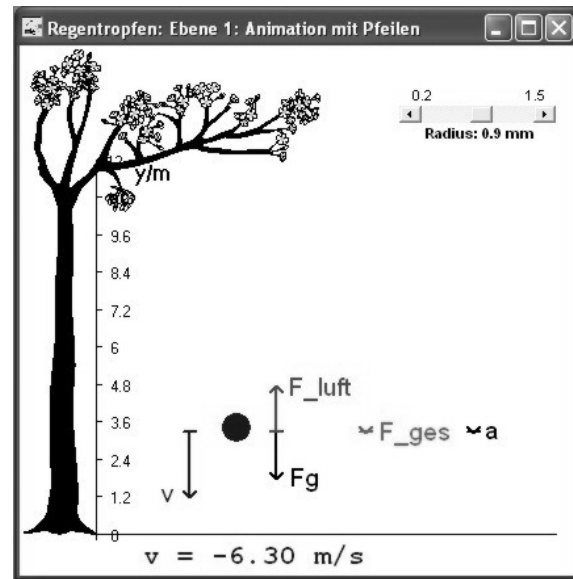


Abb. 6: Simulation eines fallenden Regentropfens, festgehalten beim „Endzustand“

Als weiteres Beispiel sei eine Bewegung mit Luftreibung betrachtet, hier in einer Simulation eines von einem Baum fallenden Regentropfens [4] (Die Bewegung eines Fallkegels könnte auch per Videoanalyse gemessen werden). Hier wird bereits einiges Verständnis gefordert, um für den Start (Abb. 5) und den Endzustand (Abb. 6) die Kräfte und Beschleunigungen richtig vorherzusagen.

4. Vorgehen beim computerunterstützten Lernen mit Vorhersagen

Im Detail können folgende Schritte bei der unterrichtlichen Behandlung eines Experiments oder einer Simulation mit Vorhersagen durchlaufen werden:

1. Der Lehrer zeigt den Versuch als qualitativen Versuch, d.h. ohne Messwerterfassung mit dem Computer, oder beschreibt, was beim Versuch gemacht wird.
2. Die Schüler machen (evtl. schriftlich auf einem vorbereiteten Antwortbogen) Vorhersagen zu typischen Situationen.
3. Der Lehrer sammelt die Vorhersagen der Schüler und stellt sie vergleichend nebeneinander.
4. Der Lehrer führt das Experiment mit dem Computer durch oder zeigt die Simulation.
5. Die Schüler vergleichen dabei das Ergebnis mit ihren Vorhersagen.
6. Einzelne Schüler beschreiben den Ablauf und den Unterschied zu ihrer Vorhersage.
7. Im Klassengespräch wird eine Erklärung für den Ablauf und die unzutreffenden Vorhersagen gesucht (Dabei werden auch unterschiedliche Erklärungen gefunden und gegeneinander abgewägt).

Diese Schritte werden evtl. mehrfach durchlaufen, wobei unterschiedliche Vorhersagen gefordert werden, z.B. zu verschiedenen Phasen des Ablaufs, bezüglich verschiedener Startwerte oder insbesondere bezüglich verschiedener, im System vorkommender Konstanten. Außerdem können beim gleichen Ablauf auch Vorhersagen zu verschiedenen Repräsentationen der gleichen Größe eingefordert werden, z.B. zur Darstellung durch dynamisch ikonische Repräsentationen und durch Graphen. Danach sollten auch Versuchsvarianten behandelt oder analoge Situationen diskutiert werden.

Ein ähnliches Vorgehen beschreiben für die Schule BLASCHKE und HEUER [5, S. 88] und für Vorlesungen SOKOLOFF und THORNTON [6, S. 340], wobei sie jeweils zusätzlich an unterschiedlichen Stellen Kleingruppenarbeit einsetzen.

5. Umgang mit Konflikten

Mit solchen Vorhersagen werden bei den Schülern auch kognitive Konflikte ausgelöst. Das heißt der Lernende sieht bei einem Experiment oder einer Simulation eine deutliche Diskrepanz zwischen seinen Vorhersagen aufgrund seiner Vorstellung und dem tatsächlich eingetretenen Ergebnis sehen. Der Lehrer versucht diesen Konflikt dann aufzulösen. „*Dies ist ein diskontinuierlicher Weg, der manches mit Revolution im Sinne von Kuhn (1976) gemein hat*“ [7, S. 191].

Kognitive Konflikte können sowohl zwischen Schülervorstellungen und dem Ablauf eines Experimentes bzw. einer Simulation als auch zwischen verschiedenen, nebeneinander bestehenden Schülervorstellungen entstehen. Dabei muss man sich den nicht unerheblichen Problemen dieser Strategie bewusst sein. Es muss vor Durchführung des Experiments bzw. vor Ablauf einer Simulation klar herausgearbeitet werden, was die Schüler denken, was sie vorhersagen. Damit die Schüler später ihre Voraussagen nicht verdrängen oder leugnen können, ist es sinnvoll, diese schriftlich festzulegen.

Eine andere Frage dabei ist, ob die Schüler auch wirklich den Unterschied zwischen Experiment und ihren Vorhersagen erkennen oder ob sie ihre Vorstellungen in das Experiment „hineinsehen“. Aus der Literatur ist bekannt, dass Schüler behaupten, dass ein Experiment, das beobachtet wurde, nach ihrer Vorhersage ablief, obwohl dies nicht der Fall war (Beispiele wurden u.a. beschrieben zum Stromkreis [8, S. 37 oder 9, S. 283], zu Bewegungen [9, S. 283 und 8, S. 37 f.] oder zu einem glühenden Draht [10, S. 77]). Hier ist die Darstellung des Versuchsablaufs oder Simulationsablaufs entscheidend. Das Ergebnis sollte jeweils so eindeutig sein, dass man nicht seine Vorhersage hineinsehen kann. Hierfür sind Messwerte oder ikonische Darstellungen physikalischer Größen geeigneter als die direkte Beobachtung des Experiments oder einer reinen Animation.

Aber selbst wenn die Schüler sehen, dass ein einziger Versuchsausgang ihren Vorstellungen widerspricht, ändern sie deshalb noch nicht ihre Sichtweise [11, S. 5]. Dieses Verhalten, von den vorhandenen Ansichten und Bewertungen nicht vorschnell abzuweichen, ist im Alltag häufig angemessen. Deshalb reicht es nicht, nur einen Ablauf zu betrachten, sondern es müssen mehrere, durchaus unterschiedliche Abläufe betrachtet und analysiert werden, die das

gleiche physikalische Konzept verdeutlichen und bei denen immer wieder die Schülervorstellungen in Frage gestellt werden. Auch dieses Vorgehen wird durch den Computer entscheidend erleichtert, häufig überhaupt erst ermöglicht.

Problematisch ist allerdings, wenn Schüler in Bereichen, in denen sie kaum Vorstellungen haben, dazu aufgefordert werden, ihre Vorstellungen ausführlich explizit zu formulieren und damit erst einmal eine Theorie zu konstruieren. Während sie vorher nur eine Präferenz für die Einordnung des Phänomens haben, werden explizit formulierbare Fehlvorstellungen erst erzeugt. So schreibt WIESNER zum Optikunterricht: *„Haben die Schüler ihre 'Fehlvorstellungen' im Verlauf der Diskussion erst einmal zu einer gewissen Reife gebracht, ist eine Widerlegung der unerwünschten bzw. die Akzeptanz der physikalischen Vorstellungen schon aus Zeitgründen erheblich erschwert“* [12, S. 290]. Daraus folgt: *„Die Methode des Hervorlockens von Schülervorstellungen am Anfang der Unterrichtseinheit ist nicht in allen Gebieten der Schulphysik sinnvoll“* [13, S. 365]. Sie ist sinnvoll, wenn die Schüler - wie z.B. in der Mechanik - bereits viele, konkrete und im Alltag bewährte Vorstellungen haben, aber nicht zu empfehlen, wenn wenig konkrete Vorstellungen vorliegen.

Hier wird nicht für eine generelle Konfliktstrategie plädiert. Aber auch wenn man eine bruchlose Aufbaustrategie wählt, ist es sinnvoll, nach der Erarbeitung des physikalischen Gesetzes, das Verständnis mithilfe von Vorhersagen zu testen, zu üben und zu vertiefen, was zu kognitiven Konflikten führen kann.

6. Erfahrungen

In einem von der Heraeus-Stiftung geförderten Forschungsprojekt wurde ein veränderter Kinematik-/Dynamikkonzept entwickelt und getestet [14-18]. Dabei wurden intensiv dynamisch ikonische Repräsentationen, also piktogrammartigen Darstellungen wie Vektoren und Verbindungslinien eingesetzt, die physikalische Größen und ihre Zusammenhänge zeigen, um diese leichter erschließbar zu machen. Nach dem entwickelten Konzept haben insgesamt 13 Lehrer in 17 bayerische Klassen (ganze Klassen ohne Kurssystem) der elften Jahrgangsstufe unterrichtet, für die eine vorbereitende und begleitende Fortbildung angeboten wurde. Außerdem wurden viele Unterrichtsmaterialien erstellt, in die Lehrerwünsche einfließen.

Den Lehrern wurde in der Schulung deutlich gemacht, dass ein wichtiges Prinzip dieses Unterrichtskonzeptes ist, von den Schülern konkrete Vorhersagen zu den PAKMA-„Projekten“ zu fordern, insbesondere über relevante Größen und über die sie darstellenden Pfeile mit ihren Richtungen und ihren Änderungen. Die meisten Lehrer gaben nachher an, dass sie diese Vorhersagen auch verlangten. Anfangs waren die Schüler hier anscheinend zögerlich, was sich aber während des Lehrgangs änderte. So wurde festgestellt, dass Schüler in der Schule leider dahin erzogen wurden, nichts Falsches zu sagen und es deshalb Zeit brauchte, eine Veränderung zu bewirken. Häufig bildeten sich in den Klassen dann zwei Lager mit zwei unterschiedlichen Vorhersagen. Nach Ablauf eines PAKMA-„Projektes“ waren die Prognosen dann eine gute Grundlage für angeregte Diskussionen. Nach Lehrerangaben habe das Angeben von Vorhersagen den Schülern gefallen, wodurch ein Wettbewerbsaspekt hinzukam.

Bemerkung:

Die Software PAKMA 2002 zum Messen mit PC-Maus unter Windows 95/98/ME befindet sich auf der CD-ROM „PAKMA 2002“ im Schroedel-Verlag, ISBN: 3-507-10729-5. Dort findet man auch viele Simulationen und aufgenommene Messungen, die sich für Vorhersagen eignen. Weitere Informationen unter: <http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de>.

Eine genaue Beschreibung des erwähnten Unterrichts, eine Handreichung für Lehrer sowie die Materialien dazu können gegen einen Unkostenbeitrag beim Autor unter wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de angefordert werden.

Literatur:

- [1] *Suleder, M.; Wilhelm, T.; Heuer, D.* (2004): Neue Möglichkeiten durch Kombination von Videoanalyse und Modellbildung – In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): *Didaktik der Physik. Beiträge der Frühjahrstagung – Düsseldorf 2004*, Berlin
- [2] *Heuer, D.; Voß, B.; Geßner, T.* (2002): Anfahren, Rollen und Bremsen eines Fahrrades – Experimente mit Datenerfassung über Handfunkgerät und Modellbildung – In: *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 51, Heft 5, S. 14 – 19
- [3] *Wilhelm, T.* (2000): Der alte Fallkegel - modern behandelt - In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* 49, Nr. 7, S. 28 – 31
- [4] *Heuer, D. et al.* (2003): *Dorn.Bader Physik Sek II. PAKMA 2002*, CD-ROM, Schroedel-Verlag, Hannover, ISBN : 3-507-10729-5
- [5] *Blaschke, K.; Heuer, D.* (2000): Dynamik-Lernen mit multimedial-experimentell unterstütztem Werkstatt-Unterricht. Erfahrungen mit einem Unterrichtskonzept –In: *Physik in der Schule* 38, Nr. 2, S. 86 – 91
- [6] *Sokoloff, D.; Thornton, R.* (1997): Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment – In: *The Physics Teacher* 35, S. 340 – 347
- [7] *Duit, R.* (1993): Schülervorstellungen und neue Unterrichtsansätze - In: Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), *Fachausschuß Didaktik der Physik* (Hrsg.): *Didaktik der Physik: Vorträge - Physikertagung 1993 - Esslingen*, S. 183 – 194
- [8] *Duit, R.* (1989): Vorstellung und Experiment – von der eingeschränkten Überzeugungskraft experimenteller Beobachtungen – In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie* 37, Nr. 48, S. 37 (319)- 39 (321)
- [9] *Duit, R.* (1992): Vorstellung und Physiklernen - Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten - In: *Physik in der Schule* 30, Nr. 9, S. 282 – 285
- [10] *Schlichting, H. J.* (1991): Zwischen common sense und physikalischer Theorie – wissenschaftstheoretische Probleme beim Physiklernen – In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 44, S. 74 - 80
- [11] *Duit, R.* (1993): Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen – In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik* 4, Nr. 16, S. 4 – 10
- [12] *Wiesner, H.* (1992): Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Optik (1). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten - In: *Physik in der Schule* 30, Nr. 9, S. 286 - 290
- [13] *Grob, K.; Menschel, H.; Reiche, H.; Rhöneck, C. v.; Schreier, U.* (1993): Schülervorstellungen und neue Ansätze für den Physikunterricht - In: *Physik in der Schule* 31, Nr. 11, S. 362 – 368
- [14] *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
- [15] *Wilhelm, T.; Heuer, D.* (2004): Implementation eines innovativen Kinematik-/Dynamik-Unterrichtskonzeptes - In: *Pitton, A.* (Hrsg.): *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung, Jahrestagung der GDCP in Berlin 2003*, Reihe: *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik*, Band 24, Lit-Verlag, Münster, S. 203 - 205
- [16] *Wilhelm, T.; Heuer, D.* (2002): Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung - In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 51, Nr. 7, S. 29 - 34
- [17] *Wilhelm, T.; Heuer, D.* (2002): Interesse fördern, Fehlvorstellungen abbauen - dynamisch ikonische Repräsentationen in der Dynamik - In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 51, Nr. 8, S. 2 – 11
- [18] *Wilhelm, T.; Heuer, D.* (2004): Experimente zum dritten Newtonschen Gesetz zur Veränderung von Schülervorstellungen - In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 53, Nr. 3, S. 17 – 22

Anschrift der Verfasser:

StR Dr. *Thomas Wilhelm*, Prof. em. Dr. *Dieter Heuer*, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de