

# BEITRAG AUS DER REIHE:

Karl-Heinz Lotze, Werner B. Schneider (Hrsg.)

## Wege in der Physikdidaktik Band 5 Naturphänomene und Astronomie

ISBN 3 - 7896 - 0666 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 2002

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage

[www.solstice.de](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Helga Stadler

# Ein Unterrichtsmodell zum Thema Schwerelosigkeit

## 1 Ziele des Unterrichts zur Schwerelosigkeit

Filme über das Leben der Astronauten im Weltraum können im Physikunterricht noch immer begeistern. Gleichzeitig gibt es – nicht nur bei Schulkindern – zur Schwerelosigkeit von Astronauten zahlreiche Missverständnisse und Fehlvorstellungen. Eine durch viele Studien belegte und auch durch die Medien immer wieder verbreitete Vorstellung ist jene, dass außerhalb der Erdatmosphäre Schwerelosigkeit herrsche [1], [2], dass es also gravitationsfreie Räume gäbe. Vom Standpunkt der Physik, so lautet eine weitere Fehlvorstellung, trete Schwerelosigkeit nur dann auf, wenn auf einen Körper keine Gravitation mehr wirke. Richtig hingegen ist, dass für einen Beobachter Schwerelosigkeit dann eintritt, wer im freien Fall den Wirkungen eines (homogenen) Schwerfeldes ungehindert folgen kann. Im Unterricht wird das Phänomen Schwerelosigkeit oft darauf zurückgeführt, dass im rotierenden Bezugssystem Gravitations- und Zentrifugalkraft einander gegenseitig aufheben, so dass die Waage nichts mehr anzeigt. Da häufig die Rolle des Bezugssystems bei dieser Argumentation vergessen wird, führt diese Erklärung zu neuen Missverständnissen [3]. Vor diesem Hintergrund haben wir eine Unterrichtseinheit mit folgenden Zielsetzungen konzipiert:

Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre Konzepte zum Thema Schwerelosigkeit überprüfen und in der Folge eine physikalisch korrekte Erklärung entwickeln. Dabei soll der komplexe und leicht zu Irrtümern führende Erklärungsansatz über die Zentrifugalkraft vermieden und Schwerelosigkeit als ein Phänomen betrachtet werden, das in fallenden Körpern (mitbewegtes Bezugssystem) auftritt, wobei das Gravitationsfeld für die Fallstrecke näherungsweise als homogen angenommen wird. (In einem weiteren Schritt, auf dem in der Folge nicht eingegangen wird, könnte dann die Rolle des Bezugssystems und die Rolle des inhomogenen Gravitationsfeldes diskutiert werden). Der Unterricht zielt darauf ab, falsche Konzepte offenzulegen und durch das für die Schüler und Schülerinnen neue Konzept des fallenden Körpers und mitbewegten Bezugssystems zu ersetzen. Einerseits werden damit Schwierigkeiten, die bei der Deutung durch die Gleichsetzung von Zentrifugal- und Gravitationskraft auftreten [3], vermieden; andererseits lassen sich zum Phänomen der Schwerelosigkeit in fallenden Körpern zahlreiche Alltagsphänomene und Experimente in den Unterricht einbeziehen, die zumindest ein intuitives Verständnis ermöglichen. Bei der Neueinführung eines Konzepts müssen die Lernenden ein bislang akzeptiertes Konzept aufgeben und es durch ein anderes ersetzen. Schwierig erscheint dies im Falle des zuerst genannten Misskonzepts, nämlich der Vorstellung, dass die Schwerkraft an die Erdatmosphäre

gebunden sei. Wie auch unsere Untersuchungen [4] ergeben haben, scheinen einige SchülerInnen die Luft als Übertragungsmedium für die Schwerkraft zu betrachten (auch wenn dies nicht immer explizit formuliert wird) und damit die Überzeugung zu gewinnen, dass dort, wo keine Luft ist, auch keine Schwerkraft existiert. Diese Vorstellung wird vermutlich durch Bilder über das Leben der Astronauten im Weltraum verursacht und wird durch die Sprache, etwa durch den Ausdruck „schwerelosere Raum“ gestützt. Zwar wissen auch SchülerInnen im allgemeinen, dass etwa Mond und Erde einander anziehen, doch existiert dafür ein nur unzureichendes Erklärungsmodell, so dass dieses Argument im Zweifelsfall wieder fallengelassen wird.

## 2 Über die Möglichkeit eines Konzeptwechsels

Die Erforschung von Schülerkonzepten nimmt in der fachdidaktischen Literatur einen breiten Raum ein [5]. Wir wissen seit den siebziger Jahren, dass für Naturphänomene die Erklärungsmuster der Schüler von jenen der Physik weitgehend verschieden sind, und dass Physikunterricht mit seinen weitgehend formalen Konzepten - was den Lernerfolg betrifft - zumeist wenig Spuren hinterlässt. Gleichzeitig hat sich eine veränderte Auffassung dessen, was unter Lernen zu verstehen sei, durchgesetzt. Anfang der neunziger Jahre hatte die Debatte um den Konstruktivismus auch die Physikdidaktik erfasst und Lernen als „aktiven Konstruktionsprozess auf der Basis der bereits vorhandenen Vorstellungen“ [6] definiert. Immer stärker trat damit die Frage in den Vordergrund, wie denn Unterricht zu gestalten sei, der dazu beiträgt, dass Lernende die physikalischen Konzepte, die sie in den Unterricht mitbringen, erweitern oder korrigieren. Ein erprobter und in der Literatur häufig beschriebener Weg ist der folgende [7,8]: Nach einer Phase des „Hervorlockens“ von Schülervorstellungen folgt eine Phase der Klärung und des Austauschs. Um die Lernenden davon zu überzeugen, dass es sinnvoll ist, auch andere Sichtweisen in Betracht zu ziehen, führt man sie - z.B. durch das Aufzeigen von Widersprüchen oder durch die Konfrontation mit der Lehrmeinung - in einen kognitiven Konflikt. Diese für den Lernenden unbefriedigende Situation wird zum Ausgangspunkt für die Konstruktion neuer Vorstellungen. Anschließend wird Gelegenheit gegeben, zu prüfen, inwieweit sich die neuen Vorstellungen bewähren.

Interviewt man die Lernenden zum Thema Schwerelosigkeit und Gravitation, so weisen die erhaltenen Antworten darauf hin, dass die Lernenden ein Netz von Vorstellungen entwickelt haben, dessen innere Widersprüche sie kaum wahrnehmen. Wird nun eine Vorstellung verändert, dann reißt dieses scheinbare Netz. Einen Hinweis darauf, wie ein derartiger Vorgang zu denken ist, finden wir in den folgenden Zeilen [9]:

*„Wollen wir einen Konzeptwechsel herbeiführen, dann ist es wichtig, dass wir es unseren Schülerinnen und Schülern ermöglichen, über ihre Vorstellungen und die Bedeutung dieser Vorstellungen für ihr Denken zu diskutieren. Vorstel-*

lungen sind häufig konzeptuell so eng miteinander verknüpft, dass eine Änderung im Status einer Vorstellung zu einem wellenartigen Effekt führt, der auch den Status vieler anderer Vorstellungen verändert. Wollen wir erreichen, dass ein Gedanke für den Lernenden Bedeutung erhält, dann bedeutet dies, dass wir andere weniger fruchtbare Ideen in Frage stellen müssen. ... Dies können wir nur dadurch erreichen, dass wir die Vorstellungen der Lernenden explizit zum Thema wählen und zur Diskussion stellen. Nur so ermöglichen wir es den Lernenden, sich aus der Kenntnis der Sache heraus zu entscheiden.“ [9; übersetzt aus dem Amerikanischen H.St.].

In diesen Ausführungen wird deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler im Allgemeinen nicht so ohne weiteres bereit sind, ihr Wissensnetz aufzugeben. Um dieses Ziel dennoch zu erreichen, muss die neue Erkenntnis auch als echter Gewinn empfunden werden, sei es dadurch, dass sie mit Anstrengungen erkaufte wurde und als Erfolg gewertet wird, sei es, dass der Lernende nun Zusammenhänge besser versteht oder die praktische Relevanz des Gelernten deutlich wird.

Für einen so gestalteten Unterricht braucht es ein Klima des Vertrauens, in dem auch Vermutungen oder Unsicherheiten geäußert werden können. Die Rahmenbedingungen sollten es erlauben, dass Zeit und Gelegenheit gegeben sind, die eingebrachten Vorschläge ausführlich zu diskutieren. Gruppenarbeit ist am ehesten geeignet, die genannten Forderungen zu erfüllen, sie nimmt daher in unserem Unterrichtsmodell einen breiten Raum ein. Zu bemerken ist ferner, dass Unterrichtsmodelle, in denen Schülern und Schülerinnen Raum gegeben wird, über ihre Konzepte zu sprechen und neue Konzepte eigenständig zu entwickeln, vergleichsweise viel Unterrichtszeit beanspruchen. In diesem Fall spricht eine Reihe von Gründen für den Zeitaufwand, insbesondere das hohe Interesse am Thema, die

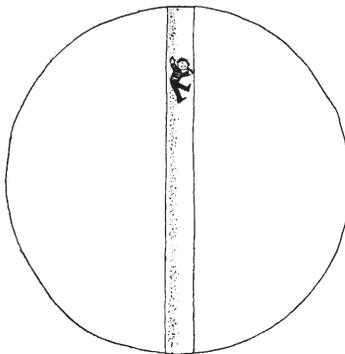


Abb. 1: „The rabbit-hole went straight on like a tunnel for some way, and then dipped suddenly down, so suddenly that Alice had not a moment to think about stopping herself before she found herself falling down a very deep well ...“ [13]

enge inhaltliche und konzeptionelle Verbindung mit einer Reihe weiterer, für den Physikunterricht relevanter Themen und die Möglichkeit des eigenständigen Erkenntnisweges.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Schülerinnen und Schüler dazu anzuregen, über ihre Konzepte zu sprechen. Einfaches Nachfragen ist im Einzelinterview möglich, in der Klassensituation dagegen bedarf es weitergehender Motivation. Die Fragestellung oder die Aufgabe muss zum Nachdenken „verführen“. Aus inhaltlicher Sicht eignen sich dazu vor allem Rätsel, aber auch Geschichten, die - führen sie zu Widersprüchen mit den bisherigen Vorstellungen - das eigene Weltbild in Frage stellen und dazu auffordern, weiter nachzudenken. Ähnlich wie „What happens if ...“-Fragen fordern sie zu eigenständigem Denken heraus [10]. „What happens if ...“-Fragen und Lügengeschichten finden sich in der Literatur - nicht so sehr in der Fachliteratur, sondern eher in der Belletristik. In der deutschsprachigen Literatur sei an dieser Stelle etwa auf die Münchhausengeschichten und auf die Schildbürger verwiesen, in der englischsprachigen auf die Abenteuer von Alice im Wunderland, auf Gullivers Reisen oder etwa auf die gegenwärtige Science Fiction Literatur.

### 3 Beschreibung der einzelnen Unterrichtseinheiten

Im folgenden wird der Stundenablauf zweier Doppelstunden zum Thema Gravitation und Schwerelosigkeit beschrieben. Erprobt wurde der Unterricht in zwei vierten Klassen eines Wiener Gymnasiums (achte Jahrgangsstufe). Üblicherweise wird das Thema Schwerelosigkeit im Physikunterricht im Rahmen der Astronomie oder der Mechanik behandelt.

#### Teil I: Erste Doppelstunde:

- a) Wir konzentrieren unsere Fragen zunächst auf jenen Himmelskörper, der in der esoterischen Literatur derzeit besonders aktuell ist: den Mond. Die Schülerinnen können wählen, ob sie eine Comic-Story zeichnen oder einen Aufsatz mit dem Titel „Wir fahren zum Mond“ schreiben wollen. Dabei soll vor allem das Leben in der Raumkapsel und der Aufenthalt auf dem Mond möglichst genau beschrieben werden.
- b) Die Präsentation der Arbeiten gibt Anlass zu ersten Fragen: Was benötige ich, um am Mond zu überleben? Wie lebt man in der Schwerelosigkeit? Die Lehrkraft notiert alle Fragen auf einem Plakat.
- c) Eine „Lügengeschichte“ zum Thema Mond wirft neue Fragen auf (formuliert nach Gardner [11]). Die Geschichte lautet folgendermaßen:  
 „Die Mondoberfläche lag noch im Licht der untergehenden Sonne. Ein paar Wolken leuchteten im Abendrot. Als der Astronaut aufsaß, staunte er über den pechschwarzen Himmel, auf dem unzählige Sterne blinkten. Den eindrucksvollsten Anblick bot die Erde. Sie war tiefblau und hatte die Form eines Kipferls. Feinster Mondstaub wurde von einer sanften Brise gegen das Glasfenster seines Helms geblasen. Plötzlich hörte er einen lauten Knall. Im ersten Schreck sprang er einen

Meter in die Höhe. Dann atmete er auf, als er sah, dass sein Kollege mit einem Hammer bloß einen der herumliegenden Mondsteine in zwei Stücke zerschlagen hatte“. *Was kommt dir an diesem Bericht glaubwürdig vor? Was nicht?*

- d) Die Schülerinnen und Schüler haben zunächst Gelegenheit, sich in Paaren Antworten auf diese Fragen zu überlegen, dann werden drei Paare zu einer größeren Gruppe zusammengelegt und gemeinsam Antworten formuliert. Die einzelnen Standpunkte sind zu begründen, auftretende Widersprüche zu formulieren. Die Gruppen präsentieren schließlich ihre Ergebnisse, und in einer nachfolgenden Diskussion werden offene Fragen und verbleibende Widersprüche festgehalten.
- e) Die Lügengeschichte gab Anlass, Fragen aus unterschiedlichen Bereichen der Physik aufzuwerfen. Wir konzentrieren nun die Diskussion auf das Thema Gravitation. Die Frage: „Kann man am Mond einen Meter hoch springen“ wird zur ersten Schlüsselfrage. Hat der Mond eine Anziehungskraft? Oder herrscht am Mond Schwerelosigkeit? Gemeinsam werden Argumente und Gegenargumente gesucht und notiert (Tafel, Arbeitsblatt).
- f) Die Lehrkraft zeigt ein Video über Astronauten am Mond. Die Schülerinnen und Schüler kennen zwar derartige Aufnahmen, betrachten sie aber nun unter einem anderen Aspekt. Die auf der Tafel stehenden Argumente werden mit Hilfe der Videoaufnahme nochmals auf ihre Richtigkeit überprüft. Unter anderem wird deutlich, dass der Mondfahrer zwar ersichtlich leichter als auf der Erde ist, aber dass er nicht davonschwebt.



Abb. 2: Illustration zu der Lügengeschichte von Gardner 1980: Ist Superman imstande die Erde auf den Tisch zu legen?

- g) Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine zweite Lügengeschichte (Gardner 1980) vorgelegt: Ist „Superman“ imstande, die Erde auf den Tisch zu legen? Ein fester Tisch hat eine Masse von 100 kg. Stell dir vor, Superman fliegt mit diesem Tisch in den Weltraum. Dann holt er die Erde und legt sie drauf. *Glaubst du, dass der Tisch das aushalten würde? Warum? Oder warum nicht?*

Die nachfolgende Diskussion in Kleingruppen konzentriert sich auf die Frage, ob außerhalb der Erdatmosphäre Schwerelosigkeit herrscht, oder ob die Schwerkraft der Erde auch außerhalb der Atmosphäre wirkt?

Was spricht für die Richtigkeit der jeweiligen Behauptung? Die beiden Fragestellungen werden abermals festgehalten.

- h) Die Argumente werden gesammelt und festgehalten. Die Feststellung einer Schülerin, dass der Mond durch die Anziehungskraft der Erde in seiner Bahn um die Erde gehalten wird, veranlasst die Klasse zu der Annahme, dass die Schwerkraft der Erde auch außerhalb der Lufthülle wirken müsse, dass sie wegen der großen Entfernung von der Erde aber nur noch sehr klein sei. Warum fallen Gegenstände in einer Raumkapsel nicht zu Boden, aber als Meteoriten vom Himmel?

### Teil II: Zweite Doppelstunde

- a) In der folgenden Stunde wird der Stand der Diskussion mit Hilfe der Arbeitsblätter und eines Plakats nochmals festgehalten. Wenn die Schwerkraft auch außerhalb der Erdatmosphäre wirkt und der Mond genauso wie die Erde Körper anzieht: Was ist dann Schwerelosigkeit?
- b) Zunächst wird die Frage geklärt, ob Schwerelosigkeit nur im Weltraum herrscht, oder ob es auch Situationen auf der Erde gibt, in denen Schwerelosigkeit beobachtet wird. Die Schülerinnen und Schüler erhalten Informationen und Anleitungen zu Experimenten, die ihnen bei ihrer Frage weiterhelfen können:
- Stich Löcher in einen Joghurtbecher, fülle ihn mit Wasser und beobachte, was beim Fallen des Bechers geschieht!

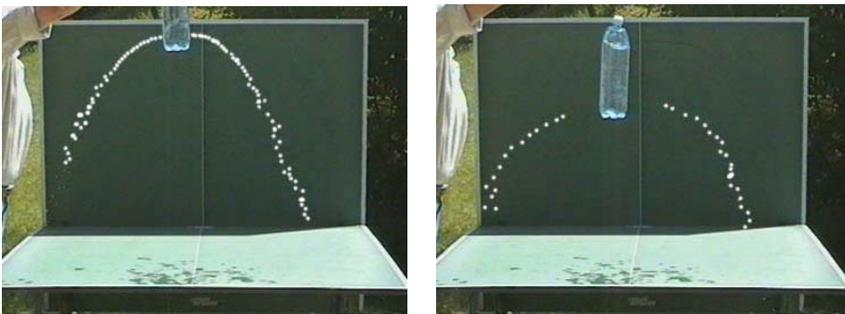


Abb. 3: In eine Flasche werden seitlich Löcher gebohrt. Die Flasche befindet sich im freien Fall. Im Startbild links strömt das Wasser parabelförmig aus den Öffnungen. Die Bilder sind ein Ausschnitt aus einer Folge von Bildern, die im Absatand von  $1/25$  Sekunden aufgenommen wurden. Das zweite Bild zeigt die Flasche nach  $0,2$  s Fallzeit (näheres unter: <http://www.thp.univie.ac.at/local/didactics/freihand/Flaschenfall.html>). Im zweiten Bild strömt kein Wasser mehr aus, und die Wassertropfen aus dem ersten Bild fallen mit der Flasche. (Die Bilder der Wassertropfen wurden nachträglich aufgehellt).

- Lass eine wassergefüllte Kunststoffflasche mit der Öffnung nach unten fallen!
- Nimm eine Personenwaage und bestimme dein Gewicht in einem fahrenden Aufzug. Beobachte, was beim Anfahren und Abbremsen des Aufzugs geschieht!
- Belade eine Personenwaage mit Schulbüchern und lass sie auf eine weiche Unterlage fallen.
- Nimm eine Sprungfeder, lass sie fallen oder wirf sie durch die Luft.
- Lass einen Becher fallen, in dessen Innerem mit elastischen Schnüren Gewichte befestigt sind. Die Gewichte sollen über den Rand des Bechers heraushängen. Lass nun den Becher fallen. Den Schülerinnen und Schülern wird eine Videokamera zur Verfügung gestellt, um ihre Experimente zu filmen. Eine Auswertung der Videoaufnahmen (Einzelbildschaltung!) zeigt deutlich, dass während des freien Falls kein Wasser ausrinnt, die Sprungfeder nicht gedehnt ist etc. .



Abb. 4: Der Fallturm in Bremen: In Bremen ist ein Großlabor, in dem Experimente unter Schwerelosigkeit durchgeführt werden. Für 4,74 Sekunden werden Bedingungen geschaffen, wie sie sonst nur zu wesentlich höheren Kosten im Weltraum realisiert werden können. Mit einem Katapultsystem wird die nutzbare Zeit demnächst auf ca. 9 Sek. verdoppelt.(Näheres unter: [http://www.reproteam-bremen.de/fallturm/idx\\_uebersicht.htm](http://www.reproteam-bremen.de/fallturm/idx_uebersicht.htm))

- Die Schüler erhalten Bilder über Experimente in frei fallenden Flugzeugen, über Falltürme (wo etwa, wie in Huntsville USA, Menschen den freien Fall erleben können) etc. .
- c) Im Plenum werden die in den einzelnen Stationen gewonnenen Erfahrungen aufgearbeitet und die Diskussion führt zu dem Ergebnis, dass in frei fallenden Systemen Schwerelosigkeit herrscht.
- d) Erneut stellt die Lehrkraft die Frage nach der Begründung der Schwerelosigkeit in Satelliten. Die Schülerinnen und Schülern erhalten zu dieser Frage Arbeitsblätter mit der Newtonschen Zeichnung zu den Wurfbewegungen. In der darauf folgenden Kleingruppenarbeit gelingt es den meisten von ihnen, eine Analogie zu den Videoaufnahmen der Flugzeugexperimente herzustellen. Videoszenen über das Leben in einer Satellitenkapsel beenden die Unterrichtseinheit.

Was die Methode betrifft, folgt der Unterricht weitgehend den weiter oben beschriebenen Prinzipien der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie [6]: Nach dem "Hervorlocken" der Schülervorstellungen werden Widersprüche sichtbar gemacht und die Konflikte ausgetragen. Besonders am Beginn dieser Konfrontation ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler in Gruppen arbeiten, da im Plenum nur wenige genügend Selbstbewusstsein haben, sich derartigen Auseinandersetzungen zu stellen. Eine eigene Position vertreten zu müssen erhöht schließlich auch das Interesse daran, diese Position zu verteidigen und sich damit auseinanderzusetzen. Die Erweiterung der Perspektiven (durch Erfahrungen beim Experimentieren, durch genauere Beobachtung von Videoaufnahmen) führt letztlich zu einem für die (meisten) SchülerInnen neuen Erklärungsansatz des Phänomens Schwerelosigkeit. Dieser wird geprüft und zur Klärung der Ausgangsfrage herangezogen. Es ergibt sich ein neues, in sich konsistentes Gesamtbild.

#### **4 Schlussbemerkungen**

Inhaltlich beschränken wir uns im vorliegenden Unterrichtsentwurf auf die Erkenntnis, dass Körper in fallenden Systemen schwerelos sind. Im Unterricht gewann man den Eindruck, dass für die meisten Schülerinnen und Schüler dieser Altersstufe der Erklärungsansatz, dass auf einen Körper, der im freien Fall der Erdanziehungskraft folgt, keine zusätzliche Beschleunigung wirkt, durchaus zufriedenstellend ist. Ein Bezug zur Trägheit der Körper fehlt in dieser Unterrichtssequenz. Es ist für das Verständnis vor allem älterer Schülerinnen und Schüler wichtig, im Zusammenhang mit dem Konzept der Trägheit auf das in der Literatur üblicherweise angeführte "Gleichgewicht" von Zentripetal- und Zentrifugalkräften näher einzugehen und die eingangs erwähnten fehlerhaften Darstellungen in Büchern zu diskutieren.

Die Lernenden haben den beschriebenen Unterricht u. a. deshalb positiv bewertet, weil sie Gelegenheit hatten - ich zitiere die Formulierung einer Schülerin - "selber auf etwas draufkommen zu können" (vgl. auch [12]). Die Verunsicherung, die sich aus der Infragestellung des bisherigen Weltbilds ergab und die Lösungs-

findung sowie das Thema selbst haben auch emotional berührt und bewirkt, dass die im Unterricht angeschnittenen Fragen auch außerhalb der Schule diskutiert wurden. Dennoch: Erste (nicht statistisch erfasste) Erfahrungen zeigen, dass die gewonnenen Erkenntnisse nur wenigen Schülerinnen und Schülern auch später noch zur Verfügung standen, viele griffen ohne nachzudenken wieder auf das alte Modell zurück und erinnerten sich erst nach näherem Befragen an das Erklärungsmodell der fallenden Körper. Es scheint daher auch bei dieser Unterrichtssequenz wichtig, die gewonnenen Erkenntnisse in unterschiedlichen Zusammenhängen zu vertiefen.

## 5 Literaturverzeichnis:

- [1] GUNSTONE, R.F., WHITE, R.T.: *Understanding of Gravity*. In: Science Education 65(3): 291- 299 (1981)
- [2] GALILI, I.: *Students operation with the weight concept*. Science Education: 80(4): 457-487(1996)
- [3] STADLER, H.; *Schwereelosigkeit herrscht dort, wo keine Schwerkraft mehr wirkt. Schülervorstellungen zum Thema Schwerelosigkeit und deren mögliche Ursachen* (in diesem Buch, Wege in der Physikdidaktik V)
- [4] STADLER, H.: *Pupil's conception about gravity*. In: *New ways of teaching physics:proceedings* GIREF /ICPE International conference 1996, Ljubljana.
- [5] PFUNDT, H., DUIT, R. (Eds.): *Bibliographie Schülervorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht* (4. Auflage). Kiel: IPN, 1994
- [6] DUIT, R.: Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In: NiU-Physik 4 (1993), Nr. 16, Seite 4
- [7] DRIVER, R., SCOTT P.: *Schülerinnen und Schüler auf dem Weg zum Teilchenmodell*. In: NiUPhysik 5(1994) Nr. 22, pp 24-31
- [8] DUIT, R.: *An Schülervorstellungen anknüpfend Physik lehren und lernen*. In: NiU Physik 5(1994) Nr. 22, pp 22-23
- [9] HEWSON, P., BEETH, M., THORLEA, R.: *Teaching for conceptual change*. In: Fraser, B., Tobin, K.G (Eds.): *International Handbook on Science Education*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Press 1998, pp.199-218
- [10] WHITE, R., GUNSTONE, R: *Probing Understanding*. London: Falmer Press 1992
- [11] GARDNER, M.: *Mathematische Planetenzaubereien*. Berlin 1980 (vergriffen)
- [12] LABUDDÉ, P.: *Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II*. Bern: Paul Haupt 2000
- [13] CARROLL, L.: *Alice's Adventures in Wonderland*. Penguin Books, London 1994. S 12