

# "Schwereelosigkeit herrscht dort, wo keine Schwerkraft mehr wirkt"

Helga Stadler

Eines der wichtigsten Konzepte der Physik ist das Konzept der Gravitation. Die Frage, wie und warum ein Gegenstand zu Boden fällt, war eine der zentralen Fragen der Physikgeschichte und ist dies - in einer viel umfassenderen Form - bis heute geblieben. Zugleich ist das Phänomen Gravitation, daß Gegenstände zu Boden fallen oder daß wir sie halten müssen, damit sie nicht fallen, so selbstverständlich in unserem Leben, daß ich z.B. als Lehrerin nie gefragt wurde, warum Gegenstände eigentlich zu Boden fallen. Gravitation wird für Schüler erst dort interessant, wo sie scheinbar nicht existiert, im Weltraum.

Über die Vorstellungen von Kindern zur Gravitation gibt es zahlreiche Forschungsarbeiten (Gunstone&White 1981; Watts 1982, Galili 1995). Sie zeigen, daß Schülerinnen und Schüler durchwegs der Meinung sind, daß außerhalb der Erdatmosphäre Schwerelosigkeit herrscht. Eine in Österreich durchgeführte Untersuchung (Stadler 1996) bestätigte dieses Bild und zeigte darüber hinaus, daß diese Vorstellung vermutlich nicht isoliert zu sehen, sondern in ein Rahmenkonzept eingebettet ist.



Abb. 1: Als der Astronaut vorsichtig über die holprige Mondoberfläche ging, schaute er auf und sah Tausende hell funkelnde Sterne am schwarzen Nachthimmel. Im Westen schwebten ein paar zerzauste Wolken am Himmel, und eine sanfte Brise blies Mondstaub gegen das Glasfenster seines Helmes. Ein lautes, knallendes Geräusch ließ ihn sich umschauen, um zu sehen, was geschehen war. Sein Kamerad hatte nur einen großen Mondstein in zwei Teile zerlegt, indem er mit einem Hammer dagegen geschlagen hatte. Vor lauter Schreck sprang er einen Meter in die Höhe.

Ausgangspunkt der in Wien und Niederösterreich durchgeführten Untersuchung waren etwa 30 qualitative problemzentrierte Interviews mit 13-16jährigen Schülerinnen und Schülern aus unterschiedlichen Schultypen. Den Schülern und Schülerinnen wurden zwei "Lügendgeschichten" von M.Gardner (1980) vorgelegt. Die Geschichten erinnern an den Vorschlag, Schüler mit "What happens if - " Fragen zu eigenen

Hypothesen anzuregen und dabei gleichzeitig ihre eigenen, alternativen Konzepte offenzulegen (White & Gunstone 1992). Ähnlich wie die von Lewis Carroll in "Alice in Wonderland" erzählte Geschichte: "Was geschieht, wenn ein Mensch in ein Kaninchenloch hineinfällt, das quer durch die Erde führt?", eigenen sich auch diese beiden kurzen Geschichten von Gardner nicht nur zur Erforschung von Schülervorstellungen, sondern können auch unmittelbar im Unterricht eingesetzt werden.

Die erste davon ist eine Geschichte über den Mond. (Warum gerade über den Mond? Die Auslagen der Buchgeschäfte sind derzeit voll mit Büchern über den Mond, es gibt eine Art Renaissance des Glaubens an die Kraft des Mondes, die sich auch in den Aussagen der Schüler widerspiegelt.) Nachfolgend sind jene Ausschnitte der Geschichte von Gardner wiedergegeben, die sich auf die Frage der Gravitation im Zusammenhang mit dem Mond beziehen.

*Die Mondoberfläche lag noch im Licht der untergehenden Sonne. ... 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.*

Die Schüler und Schülerinnen wurden gefragt, was ihnen an diesem Bericht glaubwürdig vorkomme und was nicht. Wie sieht es auf dem Mond aus?<sup>\*)</sup> "Es ist hügelig und ganz kahl. Dunkel und kalt." Praktisch alle befragten SchülerInnen entwerfen dieses Bild des düsteren, kalten Mondes. Daß wir den Mond hell am Himmel sehen, daß er von der Sonne beschienen wird, ist keinem der Schüler aufgefallen. Zu diesem Bild paßt auch, daß es, wie die Schüler immer wieder erwähnen, am Mond nur Staub und Steine, aber kein Leben gibt. Und auch keine Atmosphäre: "Und zwar deshalb, weil man mit Sauerstoffmasken herumläuft."

Beinahe alle Schüler sind der Überzeugung, daß der Mond keine eigene Anziehungskraft hat. In der Meinung der Interviewten ist es einem Astronauten nicht möglich, auf dem Mond einen Meter hoch zu springen: "Wenn er einen Meter in die Höhe springt, dann kommt er sicher nicht mehr zurück. Weil keine Schwerkraft ist. Er fliegt dann davon, wenn er nicht angebunden ist." (Vgl. auch Summers et al. 1988; Watts 1982). Den Grund für die am Mond herrschende Schwerelosigkeit glauben manche der Schüler in der fehlenden Atmosphäre zu erkennen: "Der Mond hat eigentlich gar keine Gravitation. Er hat keine Sphäre." Oder ein anderer Jugendlicher:

<sup>\*)</sup>Aus Platzgründen können in den folgenden Abschnitten nur einzelne Aussagen von Schülern und Schülerinnen wiedergegeben werden. Inhaltlich handelt es sich dabei nicht um Einzeläußerungen, sondern um Belege für Tendenzen in den Vorstellungen der Jugendlichen, wie sie sich in der Mehrzahl der durchgeführten Interviews finden lassen

"Wenn es keine Luftschichten auf der Erde gäbe, würden die Sachen so wie am Mond schweben. Der Mond hat keine Luftschicht, daher schweben die Sachen." Warum die Astronauten dennoch nicht davonschweben? Die Schüler in dieser Untersuchung finden eine Lösung, die international zu sein scheint (Vgl. auch Watts 1982): *"In die Höhe springen kann er schon, weil er mit den Mondschuhen wieder zurückkommt. Die Mondschuhe sind sehr schwer, aus einem bestimmten Metall. Wenn sie aus Plastik wären, dann würde er weiterfliegen."*

Die genannten Vorstellungen decken sich mit den Eindrücken, die die Jugendlichen aus den flüchtigen Bildern der Medien gewonnen haben, z.T. auch mit mystischen Vorstellungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Die Konzepte der Kinder und Jugendlichen sind daher, international betrachtet, einander sehr ähnlich. Auftretende Widersprüche (etwa haben viele der Jugendlichen im Unterricht gelernt, daß die Anziehungskraft des Mondes etwa ein Sechstel jener der Erde beträgt) werden erst wahrgenommen, wenn die Interviewten direkt darauf hingewiesen werden. Um Genaueres über die Konzepte der befragten Jugendlichen zu erfahren, wurde den Schülern auch eine zweite Geschichte vorgelegt (nach Gardner 1980):

*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?*

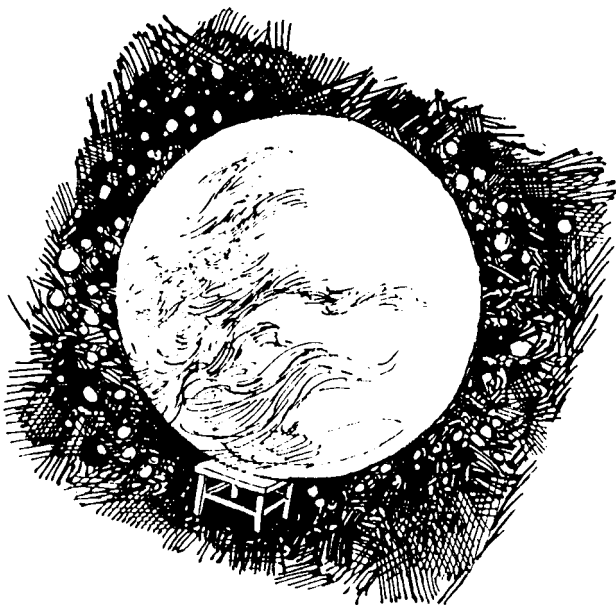


Abb. 2: Ein fester Tisch hat eine Masse von hundert Kilogramm. Stell dir vor, Superman fliegt mit diesem Tisch in den Weltraum. Dann holt er die Erde und legt sie drauf.

Ein Schüler: *"Ich glaube schon, denn im Weltraum ist der Tisch schwerelos ..."* Und etwas später im selben Interview: *"Im Weltraum ist die Anziehungskraft der Erde nicht so groß und der Tisch unterliegt gleichzeitig der Schwerelosigkeit, oder?"* Im Weltraum "herrscht Schwerelosigkeit", neben einer schwächer gewordenen Gravitationskraft "unterliegen" die Körper der Schwerelosigkeit. Fehlkonzepte wie diese finden sich auch noch bei Physikstudenten. Das folgende Interview wurde von einem Physik- Lehramtsstudenten im 7. Semester geführt. Auch dieser (einen Schüler interviewende) Student meint, daß im Weltall die Körper "der Schwerelosigkeit unter-

liegen", obwohl er weiß, daß zwischen den Körpern Gravitationskräfte wirken:

Schüler: *"Der Tisch wird nicht zerquetscht, weil im Weltraum Schwerelosigkeit herrscht. Und weil darum Erde und Tisch schweben und das Gewicht gar nicht auf dem Tisch lastet."*

Student: *"Ja, das ist die richtige Antwort. Als Zusatzfrage, mit welcher Kraft ziehen sich die beiden an? Oder sind sie komplett schwerelos, so daß keine Kraft zwischen den beiden wirkt?"*

Schüler: *"Ich würde sagen, je schwerer einer von den beiden ist, desto stärker ziehen sie sich an. Das hängt mit der Masse zusammen."*

Student: *"Richtig."*

In Übereinstimmung mit den bisherigen Forschungsergebnissen, geben auch die in dieser Studie befragten Schüler an, daß erst die Existenz der Atmosphäre die Anziehungskraft der Erde ermögliche. Dies entspricht einerseits den Bildern aus den Medien: Raumfahrer befinden sich (sichtbar) außerhalb der Erdatmosphäre und sind zugleich schwerelos. Darüber hinaus gibt es noch einen tieferliegenden Grund: Die Schüler betrachten die Luft als Übertragungsmedium für die Schwerkraft, wobei auch Übertragungsmodelle entwickelt werden, wie sie ähnlich in der Geschichte der Physik zu finden sind. Ein Schüler meint dazu: *"Da sind Luftschichten mit Wellen dazwischen, da muß es durch und dann fällt es hinunter. Die Wellen bewirken, daß es runterfällt."*

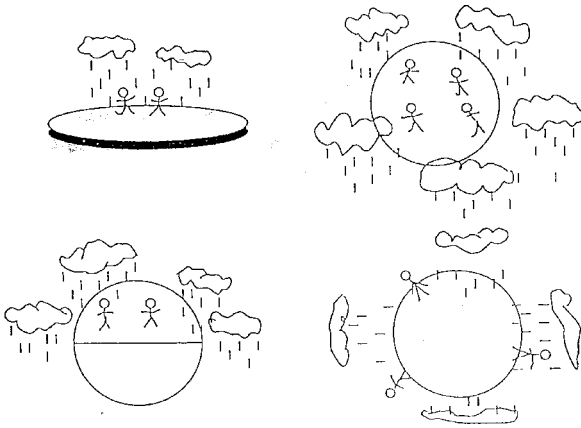
Die Schwerkraft ist an die Erde und ihre Atmosphäre gebunden, dies ist durchaus in manchen Fällen auch in Verbindung mit geozentrischen Vorstellungen zu sehen. Einige Schüler vertreten die Ansicht, daß, wenn man die Erde aus ihrer derzeitigen Lage entfernen würde, sie die Fähigkeit, Körper anzuziehen, verlieren würde. Auch die Schwierigkeit der Befragten mit den Begriffen "oben" und "unten" kann als Ergebnis einer geozentrischen Sichtweise interpretiert werden, wie die nachfolgende Aussage belegt: *"Alle sagen, das schwebt ja. Aber ich kann mir das nicht vorstellen. Der Tisch muß dann ja auch irgendwie schweben. ... Ich weiß nicht, ob da unten ein Polster ist, ähnlich wie am Boden, wo das drauf stehen kann. ... Ich glaube, daß irgendetwas unter dem Tisch sein kann. Denn wenn nur Luft wäre, dann müßte der Tisch die ganze Zeit nur runterfallen, und die Erde auch."* (Vgl. auch Baxter 1995).

Die Frage, warum Körper von der Erde angezogen werden, wird von allen Interviewten ähnlich beantwortet: *"Vielleicht ist da drinnen ein Magnet, ein ganz großer."* Oder eine andere Schülerin: *"Da ist so ein Magnet, der alles anzieht. Auch Plastik. Der Mond kann das nicht."*

Die hier beschriebenen Konzepte sind im wesentlichen unabhängig vom Alter und der schulischen Vorbildung der befragten Jugendlichen. Nur selten verweisen die Jugendlichen auf ihre in der Schule erworbenen Kenntnisse, wo Astronomie und Gravitation im allgemeinen Unterricht der 10-14jährigen kaum eine Rolle spielt. Einen wesentlichen größeren Stellenwert bei der Ausbildung der Konzepte nehmen einerseits die Massenmedien, andererseits die peer-group des Jugendlichen, insbesondere die Familie ein. Die Schüler haben aus den so gewonnenen Eindrücken ein im wesentlichen konsistentes Bild der gravitativen Umgebung der Erde entworfen und Widersprüche werden nur in scheinbar unwichtigen Details sichtbar. Diese Widersprüche stören die Schüler in den Interviews erst

dann, wenn man sie direkt darauf hinweist (Vgl. u.a. Duit 1993).

Es regnet.



Eine Studie aus dem englischsprachigen Raum zeigt, daß nur wenige Schüler und Schülerinnen eine korrekte Vorstellung von der Gravitation der Erde gewinnen. Der Großteil der Schülerinnen und Schüler erreicht nur Vorstellung 3 und hat auch nach dem 15. Lebensjahr noch Schwierigkeiten mit den Begriffen "oben" und "unten".

Die bisherigen Ergebnisse zur Interpretation von Mißkonzepten zur Schwerelosigkeit wurden durch die vorliegende Untersuchung bestätigt. Galili (1995) versucht sie als Kausalkette, ausgehend von der Feststellung "Weightlessness is a satellite reality", zu interpretieren. Eine weitere Ursache, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, sieht Galili in Mißkonzepten zum Begriff Gewicht (Galili 1996). Insbesondere was den deutschsprachigen Raum betrifft, lassen sich noch weitere Ursachen ausmachen:

- Sprachliche Ungenauigkeiten, wie "schwerelosier Raum", in dem die Körper "der Schwerelosigkeit unterliegen", wo "Schwerelosigkeit herrscht", finden sich nicht nur in der Alltagssprache, sondern auch in der Fachliteratur. Der Begriff "Schwerelosigkeit" kann sprachlich bedeuten, daß es Räume oder einen Zustand gibt, in dem die Schwerkraft nicht wirkt oder Körper nicht "schwer" sind. Der Schluß, daß es Räume gibt, in denen keine Schwerkraft wirkt, wird der zweiten möglichen Bedeutung des Wortes - daß es einen Zustand gibt, in dem Körper nicht schwer sind - offensichtlich vorgezogen. Die Verwendung des Begriffs des "schwerelosen Raums" impliziert, daß es einen solchen Raum tatsächlich gibt, unter Außerachtlassung der sprachlichen Ungenauigkeit in der Verwendung der Begriffe Schwere und Gewicht.
- Die falsche oder zumindest mißverständliche (und, wie Befragungen von Studenten zeigen, auch mißverstandene) grafische Darstellung der Schwerelosigkeit als Ergebnis der Kompensation von Zentripetal- und Zentrifugalkraft unter Vernachlässigung des Unterschieds zwischen der Betrachtung des Gesamtsystems und des mitrotierenden Systems. (Zu beachten ist in diesem Zusammenhang das schlechte Abschneiden von Österreich und Deutschland bei Fragen der TIMS-Studie zur Zentripetalkraft.) Aus der Summe der resultierenden Mißverständnisse ergeben sich hin und wieder kuriose Formulierungen, wie die folgende: *Schwerelosigkeit ist dann gegeben, wenn die Resultierende aus der tangential zur Flugbahn gerichteten Geschwindigkeit und*

*der senkrecht zur Flugbahn wirkenden Zentrifugalkraft die zum Erdmittelpunkt verlaufende Gravitationskraft nach Größe und Richtung aufhebt.*" (Meyer-Nachschlagwerke 1978).

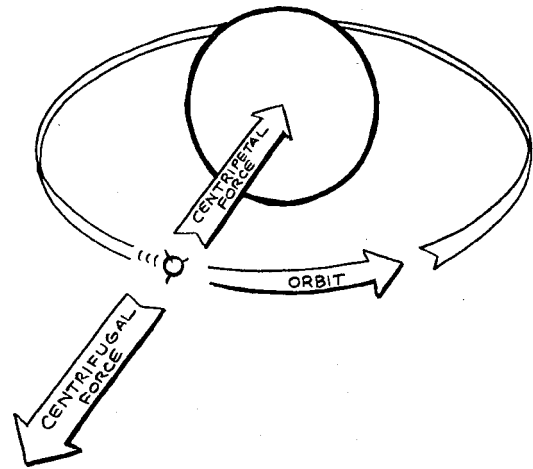
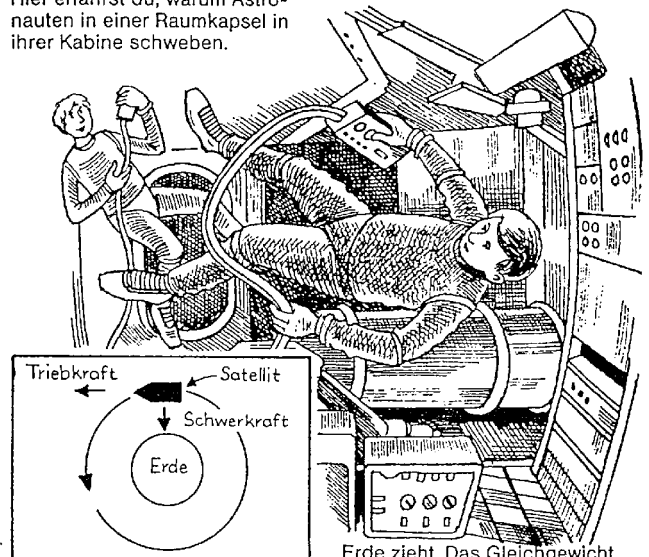


Abb. 4: Die Zeichnungen stammen aus einem Jugendbuch zum Thema Raumfahrt. In der Literatur lassen sich viele ähnliche Abbildungen finden: Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft sind im Gleichgewicht. Man gewinnt den Eindruck, daß es sich um real am Satelliten angreifende Kräfte handelt. Da sich der Satellit in einem solchen Fall gleichförmig geradlinig bewegen müßte, benötigt man eine zusätzliche Antriebskraft, wie sie hier durch den Orbitpfeil nur angedeutet wird.

### Wie Astronauten ihr Gewicht verlieren

Hier erfährst du, warum Astronauten in einer Raumkapsel in ihrer Kabine schweben.



Ein Satellit bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit, weil es keine Luft gibt, die ihn abbremsst. Diese Bewegung nennt man Triebkraft. Sie treibt den Satelliten vorwärts, während ihn die Schwerkraft beständig zur

Erde zieht. Das Gleichgewicht zwischen diesen beiden Kräften hält den Satelliten in der Umlaufbahn um die Erde.

Abb. 5: In welche Schwierigkeiten dieses Konzept führt, zeigt dieses Bild und der dazugehörige Textabschnitt: Schwerelosigkeit ist dann gegeben, wenn die Resultierende aus der tangential zur Flugbahn gerichteten Geschwindigkeit und der senkrecht zur Flugbahn wirkenden Zentrifugalkraft die zum Erdmittelpunkt verlaufende Gravitationskraft nach Größe und Richtung aufhebt. (Aus: Meyer-Nachschlagwerke, Bibliographisches Institut: Wie funktioniert das? Die Technik im Leben von heute.)

Den genannten Verständnisschwierigkeiten wird auch im Unterricht an den Schulen, aber auch an den Universitäten kaum Rechnung getragen. Eine Reihe von weiteren didaktischen Schwierigkeiten vertiefen das Gesamtproblem. So wird etwa auch auf universitärer Ebene den Verständnisschwierigkeiten der Studenten in bezug auf das dritte Newtonsche Axiom zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Auf Schulebene wird der grundlegenden Frage des Übertragungsmechanismus der Kräfte zu wenig oder kein Raum gegeben.

Nachfolgend wird eine Unterrichtseinheit skizziert, in der versucht wird, einen Konzeptwechsel einzuleiten (Glynn & Duit 1995). Der Unterricht ist für 14-jährige Schülerinnen und Schüler konzipiert.

Nach einer Einstimmung - einem Comic oder einem Aufsatz zum Thema "Wir fahren zum Mond" - wird die erste der oben genannten Lügengeschichten erzählt. Die Diskussion konzentriert sich um die Frage: "Kann man am Mond einen Meter hoch springen?" Unterschiedliche Meinungen werden geäußert, Widersprüche und Argumente notiert. Eine zweite Geschichte ("Superman legt die Erde auf einen Tisch") wird den Schülern und Schülerinnen vorgelegt. Auf einem Plakat werden alle Argumente gesammelt. Experimente mit fallenden Körpern (z.B. mit wassergefüllten Dosen, in die Löcher gebohrt wurden) und Experimente mit der Personenwaage im Aufzug erweitern den Erfahrungshorizont der Schüler und Schülerinnen. Newtons Zeichnung zu den Wurfparabeln hilft den Schülern und Schülerinnen, eine Analogie zwischen der Bewegung von Satelliten und den Beobachtungen an fallenden Körpern zu sehen. Filme über Experimente in Flugzeugen, Material zum Fallturm etc. ermöglichen einen weiteren Transfer des Gelernten.

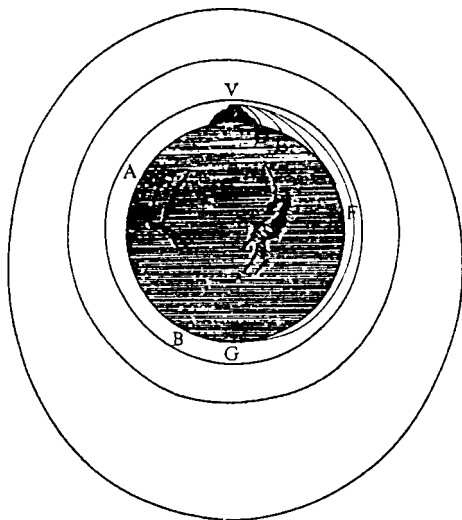


Abb. 6: In frei fallenden Systemen herrscht Schwerelosigkeit: in einem Satelliten genauso wie in einer frei fallenden mit Wasser gefüllten Flasche.

## Literatur

- Baxter, J., *Children's Understanding of Astronomy and the Earth Sciences*. In: Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice. Ed. by Glynn, S., Duit, R., Mahwah, New Jersey 1995
- Carroll, L.: *Alice im Wunderland*. Frankfurt am Main 1963
- Duit, R.: *Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen*. In: NiU-Physik 4 (1993), Nr. 16, Seite 4
- Galili, I.: *Interpretation of Students' Understanding of the Concept of Weightlessness*. In: Research in Science Education, 1995, 25(1), 51-74
- Galili, I.: *Students' Operations with the Weight Concept*. Science Education: 80(4): 457-487(1996)
- Gardner, M.: *Mathematische Planetenzaubereien*. Berlin 1980
- Glynn, S.M. & Duit, R.: *Learning Science Meaningfully: Constructing Conceptual Modells*. In: Learning Science in the Schools. Research Reforming Practice. Eds. Glynn, S.M. & Duit, Mahwah, New Jersey 1995
- Gunstone, R.F., White, R.T.: *Understanding of Gravity*. In: Science Education 65(3): 291-299 (1981)
- Meyer-Nachschlagwerke aus dem Bibliographischen Institut: *Wie funktioniert das? Die Technik im Leben von heute*. 2.Aufl. Hrsg. von der Redaktion Naturwissenschaft und Technik des Bibliographischen Instituts Mannheim / Wien / Zürich, 2.Aufl. 1978
- Stadler, H.: *Pupil's Conception About Gravity*. In: New ways of teaching physics:proceedings / GIREF /ICPE International conference 1996, Ljubljana.
- Summers, M., Palacio, D., Kruger, C.: *Some primary school teacher's understanding of the concepts force and gravity*. Oxford 1988
- Watts, M.: *Gravity - Don't take it for granted!* Physics Education 17, 1982
- White, R., Gunstone, R., *Probing Understanding*. London 1992

