

Motivierender Physikunterricht durch fächerübergreifende Beispiele aus Medizin und Biologie

Hartmut Wiesner und Giuseppe Colicchia

1. Gegenwärtige Probleme des Physikunterrichts

Die größten Probleme, vor denen wir derzeit im Physikunterricht stehen, sind

- die didaktische Frage nach dem "Was", also nach den Inhalten und Zielen des Physikunterrichts,
- die Lernschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler speziell bei physikalischen Inhalten und
- das Desinteresse der Schülerinnen und Schüler an unserem Physikunterricht.

Zu keinem dieser drei Probleme gibt es derzeit befriedigende umfassende Lösungen, allerdings inzwischen einige erfolgversprechende Ansätze. In diesem Beitrag soll es nur um den dritten Problemkreis gehen, seine Bedeutung leuchtet unmittelbar ein: Erfolgreicher Physikunterricht setzt eine hohe Lernbereitschaft, also Interesse, voraus (Prenzel 1995). Und die Einstellung zur Physik hängt selbstverständlich davon ab, wie relevant und interessant die Auseinandersetzung mit Physik empfunden wurde.

Eine Reihe von Untersuchungen zum Interesse an Physik in der Schule zeigte, dass dieses innerhalb kurzer Zeit sehr stark abnimmt (Sievers 1999). Physik gehört sehr schnell zu den unbeliebtesten Schulfächern. Besonders ausgeprägt ist die Abneigung bei den Mädchen. Die Untersuchungen des Interesses liefern aber erfreulicherweise auch Hinweise, mit welchen Inhalten der Physikunterricht interessanter wird (Häußler und Hoffmann 1990, 1995). Wir haben als Anregung den Vorschlag aufgegriffen, Physik gelegentlich im Kontext von Medizin und Biologie zu unterrichten. Die bisherigen Ergebnisse belegen, dass dies ein erfolgreicher Weg ist (z.B. Berger 2000). Mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft entwickelten wir eine Reihe von Unterrichtseinheiten und untersuchten ihre Wirkung.

2. Überblick über die Unterrichtsvorschläge

R. Berger entwickelte im Rahmen seiner Dissertation für die Oberstufe je eine Unterrichtseinheit zu den Themen Röntgencomputertomografie und Ultraschalldiagnose, in denen der übliche Schulstoff über Röntgenstrahlen und Wellen abgedeckt wird. Er konnte eine statistisch signifikante Verbesserung der Interessantheit des Unterrichts nachweisen.

Für den Mittelstufenunterricht liegen inzwischen drei ausgearbeitete und erprobte Unterrichtseinheiten vor, die von unserer Homepage abrufbar sind (www.physik.uni-muenchen.de/didaktik):

Hartmut Wiesner und Giuseppe Colicchia, Ludwig Maximilians Universität München, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Schellingstraße 4, D-80799 München, hartmut.wiesner@physik.uni-muenchen.de

- a) Unterrichtseinheiten zur Mechanik:
Hebel und Schwerpunkt am Armgelenk
Belastung der Wirbelsäule
Statik des Kauapparates bei Reptilien und Säugetieren
- b) Unterrichtseinheiten zum Druck
Lernzirkel zur Einführung des Druckes
Atmung und Tauchen
Statische und dynamische Aspekte des Blutdrucks
- c) Unterrichtseinheiten zur Optik
Fehlsichtigkeit
Akkommodationstypen
Sehen unter Wasser
Augenspiegel

Die Unterrichtsvorschläge werden ergänzt durch Hintergrundinformationen für die Lehrkräfte und erste Medien (Interaktive Bildschirmexperimente).

Als Beispiel soll im Folgenden ein Einblick in den Unterrichtsvorschlag "Belastung der Wirbelsäule" gegeben werden, so wie er im Wesentlichen als Word- oder Postscript-Dokument abgerufen werden kann. Die Abbildungen können aus den Dokumenten für das Herstellen von Folien verwendet werden.

3. Unterrichtsvorschlag: Belastung der Wirbelsäule

Als Vorkenntnisse sollten für diese Einheit bereits vorhanden sein: der Begriff des Schwerpunkts und die Bedingungen für Kräfte- und Drehmomentgleichgewichte.

Schritt 1: Hinführung zum Thema:

Vom Lehrer wird einführend darauf hingewiesen (ggf. auf den Biologieunterricht zurückgegriffen), dass ein wesentlicher Schritt im Laufe der Evolution des Menschen der Übergang zum aufrechten Gang war. Die ausschließliche Nutzung der unteren Extremitäten als Träger- und Fortbewegungsorgane des Körpers befreite die Arme von diesen Funktionen und ermöglichte die Entwicklung einer ausgeprägten Feinmotorik. Der Rumpf erhebt sich über den unteren Gliedmaßen und wird zum Träger des Kopfes und der oberen Gliedmaßen. Diese Aufrichtung bedeutet wegen der Schwerkraft eine erhöhte mechanische Beanspruchung der Wirbelsäule, die als zentrale Achse den Oberkörper in Zusammenarbeit mit Muskelsystemen und Nerven senkrecht halten muss. Außerdem muss der Rücken alle Lasten, die wir heben oder stemmen, tragen.

Als Ziel des folgenden Unterrichts wird die Diskussion der Belastungen der Wirbelsäule in verschiedenen Situationen unter physikalischem Aspekt und Auswirkungen auf die Gesundheit formuliert. Als Belastung wird dabei im Wesentlichen das

Zusammenquetschen der Bandscheiben durch die Druckkräfte, die durch die Gewichtskraft und die Muskelkräfte FB und FR (siehe Bild 1) entstehen, verstanden. Hingewiesen werden sollte noch darauf, dass ein gegenseitiges Verkanten der Wirbel zu einer besonders ungünstigen Beanspruchung der Bandscheiben führt.

Schritt 2: Aufbau der Wirbelsäule und Muskulatur

Anhand von Folien nach Bild 1 werden zunächst der prinzipielle Aufbau der Wirbelsäule und die Rumpfmuskulatur und ihre stabilisierende Funktion erläutert. Weiterhin wird mitgeteilt, dass beim Stehen normalgewichtiger Personen mit guter Körperhaltung das Lot des Schwerpunktes nur wenige Zentimeter in Richtung Körperinneres an dem Zentrum der Lendenwirbelscheibe vorbeiläuft.

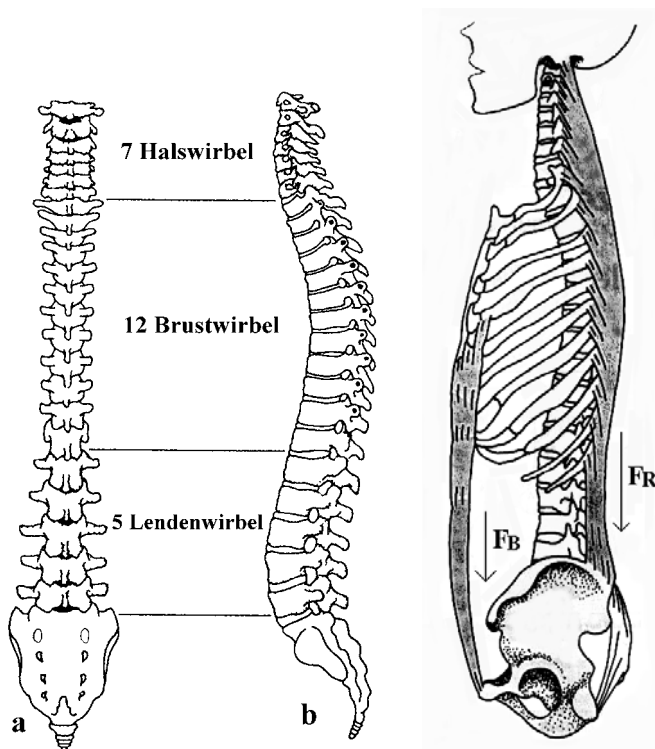


Bild 1: Folienvorschläge zum Aufbau der Wirbelsäule und Muskulatur

Zur Lage des Schwerpunkts beim Menschen

Für die folgenden Themen ist die Lage des Schwerpunktes des Oberkörpers einschließlich des Kopfes und der Arme wichtig. Leider gibt es keine einfache Möglichkeit, diesen Teilschwerpunkt zu bestimmen, erst recht nicht in der Schule. Gleiches gilt für die Abstände der Wirkungslinien von der Schwerkraft und den Kräften durch die Rückenmuskeln von den unteren Lendenwirbeln als Drehpunkt. Als Lösung dieser Schwierigkeit bietet es sich an, den Schülern realistische Werte für die Hebelarme und Massen für die folgenden Abschätzungen der Belastungen mitzuteilen. Die Richtung der Änderung des Schwerpunkts bei Veränderung der Massenverteilung und der Körperhaltung sind durchaus intuitiv nachvollziehbar.

Schritt 3: Die Belastung der Rückenmuskulatur bei unterschiedlicher Lage des Schwerpunkts und aufrechter Körperhaltung

Wie sich das Tragen schwerer Lasten, Übergewicht oder das falsche Heben auf die Belastung der Wirbelsäule auswirkt wird im Folgenden thematisiert.

Anhand der Folien nach Bild 4 und/oder entsprechender Tafelbilder werden Schritt für Schritt die Kräfte- und Drehmomentgleichgewichte aufgestellt und diskutiert.

Durch folgenden Modellversuch kann die höhere Belastung mit wachsendem Bauch zusätzlich noch anschaulicher gemacht werden: In Bild 3a ist ein Modell des oberen Teils eines Menschen dargestellt, das aus einem Holzbrett ausgesägt wurde (Rückansicht s. Bild 2).

In das Brett wird von unten ein Loch gebohrt, so dass ein Stativgelenk befestigt werden kann, damit der Oberkörper nach vorn drehbar ist (vgl. Bild 3).

Die Figur wird passend aus Pappe ausgeschnitten und auf das Brett geklebt. Auf der anderen Seite des Brettes wird ein Rohr befestigt, in dem ein Stab verschoben werden kann (siehe Bild 2). An den Stab wird der verschiebbare Bauch geklebt und als Belastung wird ein Gewichtsstück angehängt.

Die Befestigung des Kraftmessers mit der zugehörigen Umlenkrolle ist in Bild 3 gut zu erkennen.

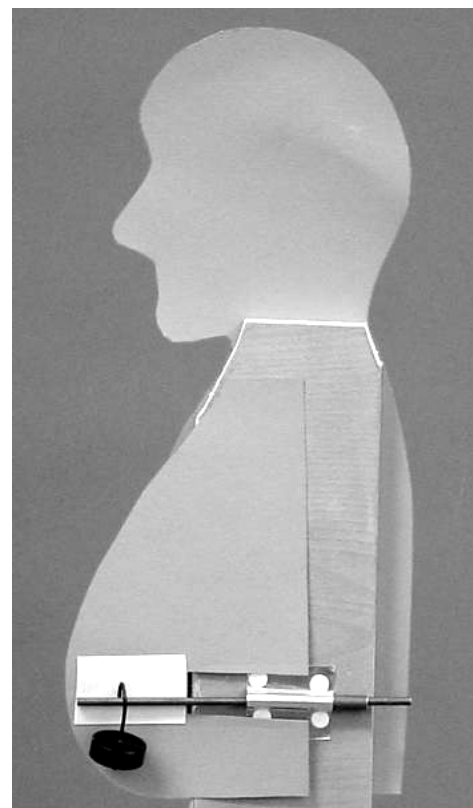


Bild 2: Rückseite des Modells zur Demonstration der Rückenmuskulbelastung bei Übergewicht

Mit Hilfe dieses Modells kann man zeigen, dass bei Normalgewicht praktisch keine Zugkraft notwendig ist, um die aufrechte Haltung beizubehalten (s. Bild 3a). Bei einem realen

Körper in dieser Lage brauchen die Rückenmuskeln also kaum Kräfte auszuüben, um das Gleichgewicht zu halten.

Wenn, wie in Bild 3b, der Modellrumpf einen Bauch bekommt, braucht man eine Kraft F_M um wieder eine aufrechte Haltung herzustellen. Diese Kraft muss bei einem dicken Menschen permanent von den Rückenmuskeln ausgeübt werden, was eine erhebliche Belastung für die Muskulatur und die Wirbelsäule darstellt. Verlagerung des Schwerpunktes nach hinten durch Zurücklehnen reduziert die Belastung, führt aber zu einer anatomisch unnatürlichen Haltung.

Die Schülerinnen und Schüler werden feststellen, dass je weiter der Schwerpunkt S eines Körperteiles (in diesem Fall des Oberkörpers) vom Drehzentrum P entfernt verläuft, um so größer ist die von den Rückenmuskeln auszuübende Kraft.

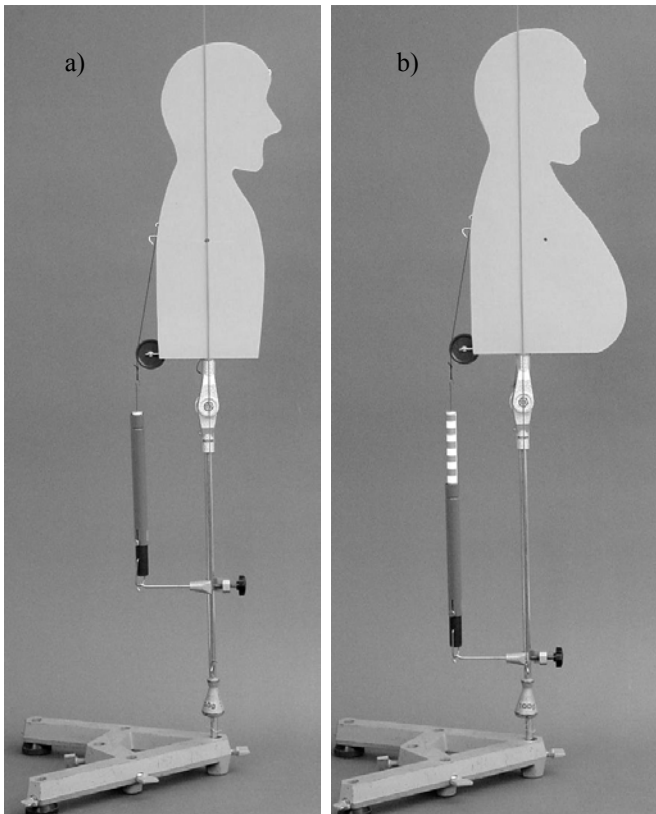


Bild 3: (a) Eine normalgewichtige Person braucht für eine aufrechte Haltung nur eine sehr geringe Zugkraft durch die Rückenmuskeln. (b) stellt einen übergewichtigen Menschen dar, wobei eine kompensierende Kraft durch die Rückenmuskeln erforderlich ist.

Als Anwendung des Hebelgesetzes kann die höhere Belastung bei Übergewicht auch berechnet werden. Bei der normalgewichtigen Person (in den folgenden Aufgaben Herr Müller genannt) können folgende Daten zugrunde gelegt werden: Gewichtskraft des Oberkörpers: 400 N, Abstand der Rückenmuskeln von der Wirbelsäule: 5 cm, Abstand des Schwerpunktes von der Wirbelsäule: 3 cm. Daraus lässt sich die Kraft berechnen, die die Rückenmuskeln im Gleichgewicht bei aufrechter Haltung aufbringen müssen. Die Belastung der Wirbelsäule ergibt sich aus der Summe dieser Kraft und der Gewichtskraft des Oberkörpers (vgl. Bild 4a).

Hat man diese Aufgabe im Klassenverband gelöst, bieten sich als weitere Übung die Berechnungen der Wirbelsäulenbel-

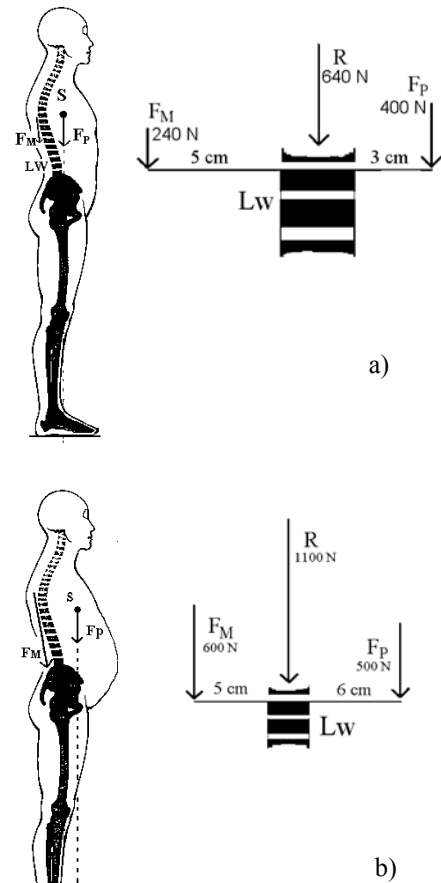


Bild 4: Die Masse des Oberkörpers der Person in b) ist um 10 kg höher als die der Person in a). Dadurch verschiebt sich auch der Schwerpunkt. Die Belastung R der Wirbelsäule ist fast doppelt so groß.

stung bei einer dickbäuchigen Person (Bild 3b und Bild 4b), bzw. einer sitzenden Person, die sich stark nach vorne beugt, an. Eine entsprechende Demonstration für eine dickbäuchige Person würde am Modell so erfolgen, dass bei herausgeschobenem Bauch ein Zusatzgewichtsstück angehängt wird.

Die zugehörigen Aufgaben könnten folgendermaßen lauten:

- Seit Herr Müller keinen Sport mehr treibt und das gute Essen genießt, hat er zugenommen. Die Gewichtskraft seines Oberkörpers beträgt nun 500 N. Mit dem wachsenden Bauch hat sich auch der Schwerpunkt seines Körpers verschoben. Dieser hat nun einen Abstand von 6 cm zur Wirbelsäule. Die Rückenmuskeln greifen nach wie vor in einem Abstand von 5 cm von der Wirbelsäule an.
 - Wie groß ist nun die Belastung der Wirbelsäule?
 - Vergleiche dieses Ergebnis mit der Belastung des normalgewichtigen Herrn Müller. Überlege dir dazu um das Wievielfache die Gewichtskraft gewachsen ist und um das Wievielfache die Belastung der Wirbelsäule.
- Herr Müller ($G = 400 \text{ N}$) hat einen Arbeitsplatz, bei dem er fast nur im Sitzen arbeitet. Dabei achtet er oft nicht darauf, aufrecht zu sitzen, so dass der Schwerpunkt seines Oberkörpers mehr als 3 cm vor der Wirbelsäule liegt. Wie groß ist der Abstand des Schwerpunktes von der Wirbelsäule, wenn die Belastung der Wirbelsäule 1,6 kN beträgt? Schätze ab, wie weit er sich dabei vorbeugen muss.

Hinweis:

Anstelle des Modells oder zur Ergänzung steht ein Interaktives Bildschirmexperiment zur Verfügung, das auf einer CD angefordert werden kann. Damit kann der obige Modellversuch vorgeführt werden und der Begriff des Schwerpunkts an einem Modell des Armgelenks eingeführt werden.

Schritt 4: Belastungen beim Heben eines Gewichtes

In Bild 5a bzw. 5b wird mit Hilfe des Modells die Belastung beim Heben mit hängenden Armen und geraden bzw. gebeugten Beinen gezeigt. Die Schüler erkennen, dass mit gebeugtem Rücken und gestreckten Beinen der Hebelarm l des Oberkörpers bzw. der Last länger als mit geradem Rücken und gebeugten Knien ist. Die kompensierende Kraft, die von den gesamten Rückenmuskeln ausgeübt wird, muss im ersten Fall groß sein und daher wird auch die Belastung der Wirbelsäule sehr hoch.

Mit Hilfe einfacher Rechenbeispiele kann die Belastung der Wirbelsäule beim Heben einer Last, wobei die Person im ersten Fall aufrecht steht und im zweiten Fall Beine und Oberkörper einen Winkel von fast 90° einschließen, verglichen werden. (vergl. Jäger 1990)

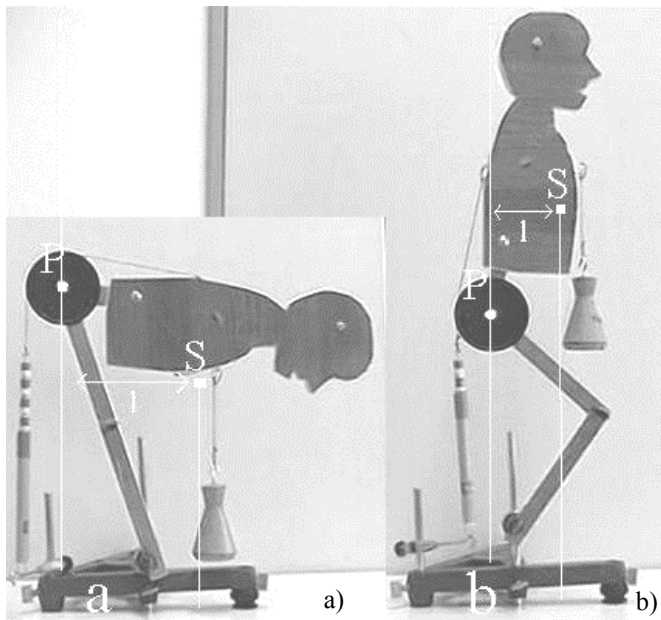


Bild 5: Falsches Heben mit gebeugtem Rücken und gestreckten Beinen (a), richtiges Heben mit geradem Rücken und gebeugten Knien (b).

Schritt 5. Gute und schlechte Körperhaltungen

Die übliche Behandlung des stabilen Gleichgewichts kann durch die folgenden Beispiele für das Gleichgewicht bei Menschen ergänzt werden.

Intuitiv ist den Schülerinnen und Schülern klar, dass der Schwerpunkt bei gerader Haltung im Körperinneren etwa auf Nabelhöhe liegt. Bei einem Körper in aufrechter Position ist das Gleichgewicht stabil, wenn das Lot vom Körperschwerpunkt aus innerhalb der Standfläche liegt (Bild 6). Fällt die Schwerpunktlinie in die Begrenzung der Standfläche, dann besteht ein labiles Gleichgewicht, wobei die geringste horizontal angreifende Kraft den Körper zum Umfallen bringt. Auch die Schülerinnen und Schüler können dies ausprobieren, indem sie sich mit gestrecktem Körper solange nach vorne neigen, bis

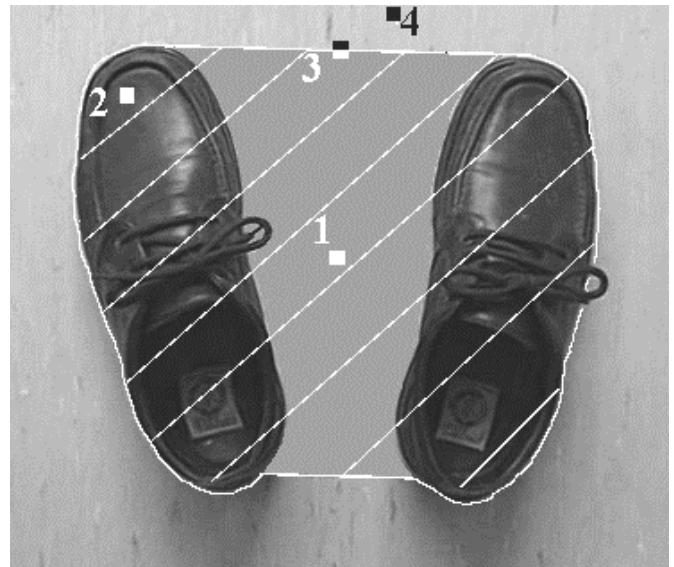


Bild 6: Trifft das Lot des Schwerpunktes an den Stellen 1 oder 2 auf dem Boden auf, ist das Gleichgewicht stabil, bei 4 fällt die Person um, bei 3 liegt ein instabiles Gleichgewicht vor.

sie, wenn die Schwerpunktlinie außerhalb der Standfläche den Boden berührt, umfallen.

Beim Tragen einer schweren Last auf einer Seite wird der Schwerpunkt zur Gegenseite verschoben, damit das Lot des Gesamtschwerpunktes (Körper + Gewicht) noch in die Standfläche hinein fällt. Die Belastung auf die Wirbelsäule ist dabei deutlich höher als bei symmetrischer Verteilung der Last auf beide Seiten (vgl. Lehrerinformation). Die Standfläche und damit die Stabilität beim Stehen kann entweder durch Auseinanderstellen der Füße oder mit einer Gehhilfe (z. B. einem Stock) vergrößert werden. Die Fotos in Bild 7 können als Anregung dienen, zum Abschluss dieses Themas noch über gute und schlechte Körperhaltungen nachzudenken. (Debrunner 1994)

4. Ergebnisse der Evaluation des Unterrichtsvorschlags

Die Erprobung begann am Ende des Schuljahres 1999-2000 und hat insgesamt ein Jahr gedauert. Die Lehrer der Versuchsgruppe hatten keine spezifische Unterrichtserfahrung auf dem Gebiet Physik-Medizin. Es wurde bei der Erprobung versucht, die normale, reale Situation in der Unterrichtsumwelt nicht zu ändern, wobei jeder Lehrer die Verantwortung für die Abänderung des traditionellen Unterrichts allein tragen soll. Die Lehrer hatten von uns zwar Vorschläge zur Durchführung bekommen, aber sie waren ebenso frei ihre persönliche Art und Weise zu unterrichten einzubringen. Dies entspricht u.E. einer realistischen Auffassung über die Adaptation von Unterrichtsmaterialien durch Lehrkräfte.

Die medizinisch orientierten Unterrichtseinheiten über Mechanik wurden in 3 Realschul- und 5 Gymnasialklassen unterrichtet.

Erhebung der Interessen

Die Wirkung der medizinisch orientierten Unterrichtseinheiten auf das Interesse wurde hauptsächlich durch die Analyse der Interessenveränderung an Physik untersucht. Die benutz-

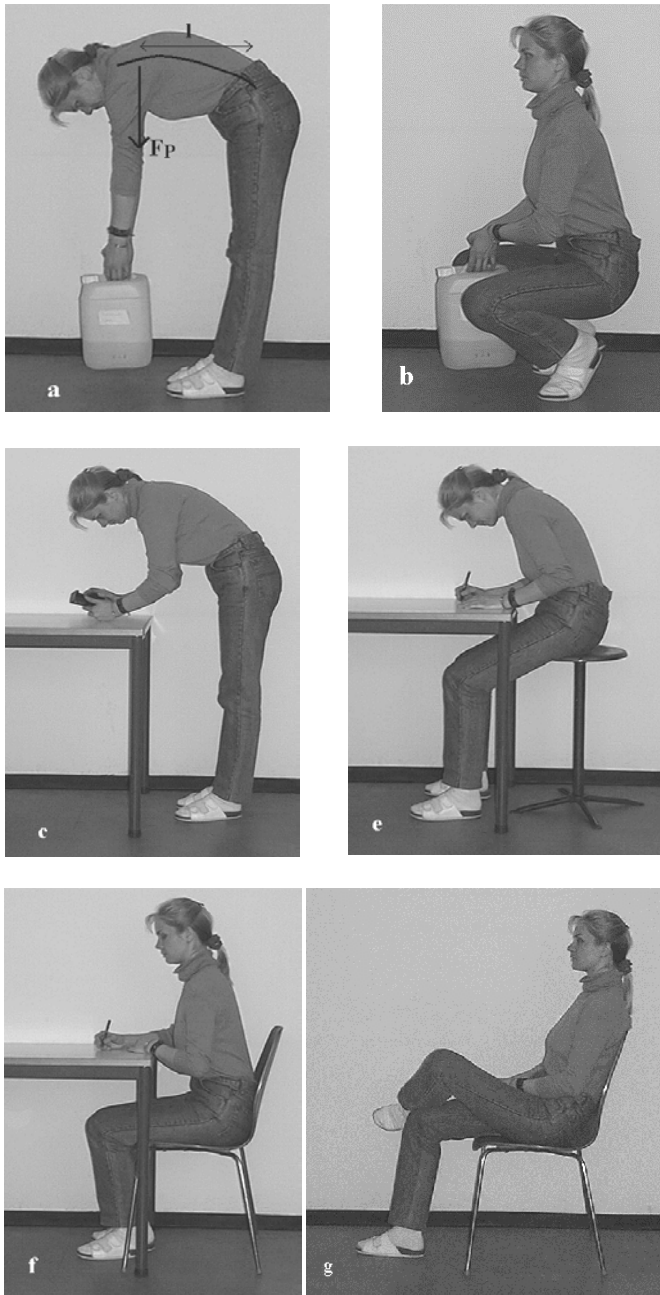


Bild 7: Beispiele für gute und schlechte Körperhaltungen

ten Items bzw. Fragebogen wurden sowohl vor den Unterrichtseinheiten als auch am Ende mittels einer üblichen bipolaren 5-stufigen Ratingskala bewertet. Sie wurden auch in den Kontrollklassen eingesetzt. Die Fragebögen stammen aus Arbeiten von Horstendahl (1999) und aus der IPN-Interessensforschung [Hoffmann et al. (1997)]. Diese Fragebögen eröffnen die Möglichkeit, die Ergebnisse unserer Arbeit mit Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen zu vergleichen. Hier können nur einige wenige Ergebnisse vorgestellt werden. Ausführlich werden sie in Colicchia (2002) beschrieben.

Einstellung der Lehrer

Um die subjektive Sichtweise der Lehrerinnen und Lehrer der Versuchsklassen zu erfassen, wurden sie nach der Durchführung der medizinisch orientierten Unterrichtseinheiten zur Beurteilung des Unterrichts aufgefordert. Die Ergebnisse kann man folgendermaßen zusammenfassen:

Die Lehrer sind überzeugt, dass medizinische Themen hinsichtlich der Interessensteigerung im Physikunterricht erfolgreich eingesetzt werden können. Bezüglich des Lernerfolgs erwarten sie keine Verschlechterung.

Änderung des Interesses

Die Prüfung erfolgte durch Gegenüberstellung der Interessensmittelwerte vor und nach dem medizinisch orientierten Unterricht und durch den Vergleich mit den Kontrollklassen.

a) Fachinteresse

Die Schüler wurden gefragt, wie interessant sie die verschiedenen Unterrichtsfächer finden. Es zeigte sich die übliche, leichte Abfalltendenz der Fachinteressen in den verschiedenen Fächern vom Vortest zum Nachtest, aber bei der Versuchsgruppe gibt es für das Fach Physik eine leichte Steigerung des Fachinteresses.

Das folgende Diagramm (Bild 8) zeigt die Änderung des Fachinteresses in Physik in Vor- und Nachtest. Die Zunahme in der Versuchsgruppe und die Abnahme in der Kontrollgruppe sind hoch signifikant.

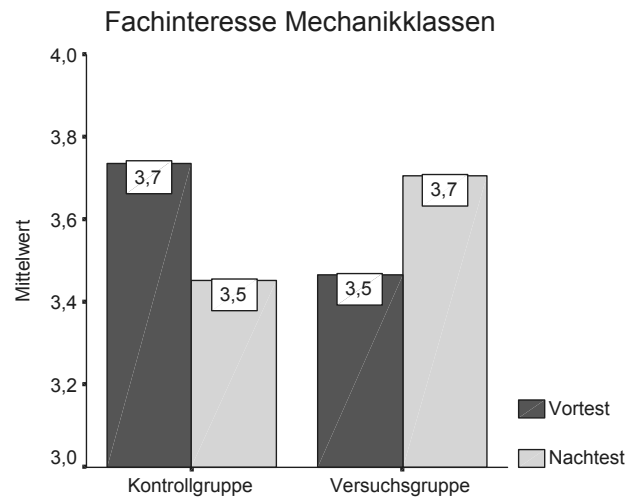


Bild 8: Mittelwerte des Fachinteresses in Physik für Kontroll- und Versuchsgruppe.

Das folgende Diagramm (Bild 9) zeigt die geschlechterspezifischen Änderungen des Interesses am Fach Physik für Kontroll- und Versuchsgruppe. Das Fachinteresse sinkt in der Kontrollgruppe für Jungen und Mädchen, während es für Schülerinnen und Schüler in der Versuchsgruppe in gleichem Maße steigt. Der empirisch begründete Vorschlag [Häußler & Hoffmann (1990, 1995)], durch einen medizinischen Kontext das Interesse auch der Mädchen zu steigern, wird durch dieses Ergebnis bestätigt.

In der Untersuchung von Berger (2000) in der Oberstufe hatte sich, in Gegensatz zu unserer Untersuchung, beim Fachinteresse keine signifikante Überlegenheit der Versuchsgruppe ergeben.

Allgemeines Physikinteresse

Das allgemeine Physikinteresse sinkt bei der Kontrollgruppe signifikant, während es bei der Versuchsgruppe signifikant zunimmt. Die Änderungen sind allerdings nicht sehr groß.

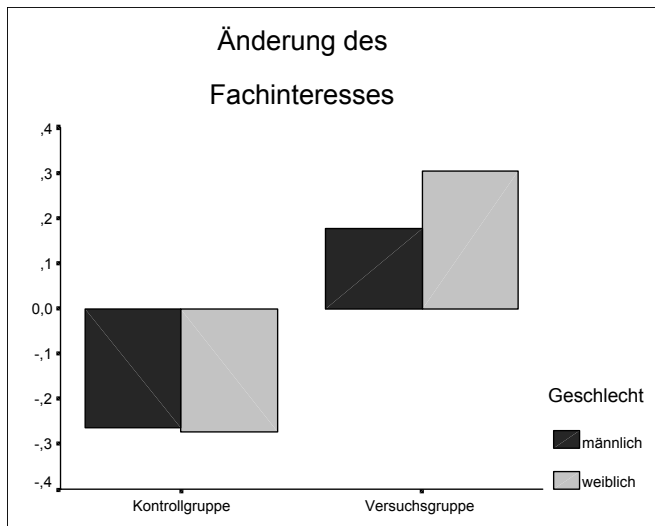


Bild 9: Geschlechterspezifische Änderung des Fachinteresses für Schülerinnen und Schüler in Kontroll- und Versuchsgruppe.

In der Untersuchung von Berger (2000) sinkt das allgemeine Physikinteresse während der zwei medizinischen Unterrichtseinheiten (aber nicht signifikant).

Bild 9 zeigt die Änderung des allgemeinen Physikinteresses geschlechterspezifisch. Man findet in der Kontrollgruppe eine Abnahme sowohl bei Schülerinnen als auch bei Schülern. In der Versuchsgruppe findet man hingegen sowohl für Schüler als auch etwas stärker für die Schülerinnen eine Zunahme.

Interessantheit

Die Interessantheit des Mechanikunterrichts steigt in der Versuchsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe geringfügig (aber statistisch nicht signifikant) an. Dieses Ergebnis war für uns unerwartet - in der Untersuchung von Berger hatten sich hier z.B. deutliche und signifikante positive Veränderungen gezeigt. Eine für uns plausible Erklärung ergab sich aus den Unterrichtsbeobachtungen und den Videoaufzeichnungen. Die von uns zur Verfügung gestellten Unterrichtsmaterialien enthielten keine detailliert ausgearbeiteten Unterrichtsplanungen. Mehrere Lehrkräfte hatten offensichtlich Mühe den für sie neuen Unterrichtsinhalt zusammen mit nicht geläufigen Experimenten so aufzubereiten, dass er aus Sicht der Schüler mit der gewohnten Routine und Sicherheit unterrichtet werden konnte. Die jetzt von uns zur Verfügung gestellten Vorschläge sind deshalb deutlich ausführlicher formuliert.

Auch geschlechterspezifisch haben wir keine Unterschiede in der Bewertung der Interessantheit in Kontroll- und Versuchsgruppe festgestellt.

Bedeutung der Physik

Zur Erfassung der Einschätzung der Bedeutung der Physik wurden sechs Aussagen zur Bewertung der Bedeutung der Physik für den Alltag, den späteren Beruf und für die Gesellschaft vorgelegt. Sowohl in der Kontroll- als auch in der Versuchsgruppe ergibt sich ein geringfügiger Abfall (statistisch nicht signifikant). Die Bedeutung der Physik wird insgesamt recht hoch eingeschätzt. Deswegen waren größere Verbesserungen vom Vortest zum Nachtest nicht zu erwarten. Das gilt auch für die Versuchsgruppe, weil es kein direktes Item zu biologischen oder medizinischen Fragestellungen in dem Frage-

bogen gibt. Auch bei der Untersuchung von Berger (2000) ergeben sich sowohl beim traditionellen als auch beim medizinischen Zugang leichte, aber nicht signifikante Verschlechterungen der Bedeutung der Physik.

Ergebnisse zum Lernerfolg

Zur Bewertung des Lernerfolgs wurden in den Versuchs- und in den Kontrollklassen Lerntests ausgegeben. Alle 6 Items sind ohne Kenntnisse des medizinischen Kontextes zu lösen.

Sowohl die Mädchen als auch die Jungen der Versuchsgruppe haben etwas bessere Lernleistungen in allen sechs Aufgaben als die der Kontrollgruppe. Damit ist die Befürchtung zerstreut, dass ein Unterricht mit Kontext Medizin zwar das Interesse erhöht, aber die Lernleistungen nicht verbessert.

Literatur

- Berger, R. (2000): *Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik - Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*. Dissertation Universität München, Logos Verlag Berlin
- Colicchia, G. (2002): *Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten zur Steigerung des Interesses und für den fachübergreifenden Physikunterricht*. Dissertation, Universität München
- Debrunner, A.M. (1994): *Orthopädie*, Bern, Huber
- Häußler P., Hoffmann L. (1995): Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert, *Unterrichtswissenschaft* N. 2, S. 107-126
- Häußler P., Hoffmann L. (1990): Wie Physikunterricht auch für Mädchen interessant werden kann, *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 1/1, S. 12-18
- Hobbs H., Aurora T. S. (1991): Biomechanics of the spine, *Phys. Educ.*, S. 99-103
- Hohrstandahl, M. (1999): *Motivationale Orientierungen im Physikunterricht*, Berlin: Logos
- Hoffmann L., Häußler P., Peters-Haft S. (1997): *An den Interessen von Mädchen und Jungen orientierter Physikunterricht*, Kiel: IPN
- Jäger M., Lutmann A., Lauriz W. (1990): Die Belastung der Wirbelsäule beim Handhaben von Lasten, *Orthopädie* N. 19, S. 132-139
- Prenzel M. (1995): Zum Lernen bewegen, *Blick in die Wissenschaft* 4 (7), S. 58-66
- Sievers K. (1999): *Struktur und Veränderung von Physikinteressen bei Jugendlichen*, Kiel: IPN 163
- Weineck J. (1984): *Sportanatomie*, Ballingen: Perimed-spitta, Med. Verl. Ges.