

# Physikunterricht als moderierter Dialog

Klaus Albrecht

## Standardantworten auf Standardfragen

Ich behaupte, dass in keinem Unterrichtsfach die Diskrepanz zwischen gelehrtem Stoff und verstandenen Inhalten auf Seiten der Schüler größer ist als in der Physik. Die schlechten Ergebnisse bei TIMSS und die Unbeliebtheit des Physikunterrichts bei Schülern sind Indikatoren für diese Kluft. Auch bei einer sehr gutmütigen Auslegung des Lehrplanes bleibt die Widersprüchlichkeit zwischen den Lernzielen und den vermittelten Einblicken in die Physik eklatant bestehen. Für Physikdidaktiker ist dieser Umstand keine Neuheit. Als Physiklehrer findet man sich mit dieser Tatsache ab - oder man beginnt sich mit der Problematik zu beschäftigen. Solange Lösungen nicht einfach verfügbar sind, wird es weiterhin der gemeinsamen Anstrengung bedürfen, die beunruhigende Situation in der Physikausbildung zu erörtern.

Aufschlussreich wäre hierbei natürlich die Perspektive der Schüler, doch gerade diese bleibt uns Lehrern oft verwehrt. Eine Sternstunde, in der ich in die Rolle eines Schülers schlüpfen konnte und die Physik aus der Sicht eines Prüflings erfuhr, bot sich mir unerwartet im Kreise von Fachkollegen: Bei einer Zusammenkunft von Physikdidaktikern und Physiklehrern wurden den Versammelten einige Physikfragen gestellt. Eine dieser Fragen lautete folgendermaßen:

*In welche Richtung wird sich das abgebildete Boot bewegen?*

- Es wird nach rückwärts fahren.
- Es wird sich gar nicht bewegen.
- Es wird sich nach vorwärts bewegen.



Ich entschied mich für die Vorwärtsrichtung. Zu meinem Erstaunen musste ich aber feststellen, dass das Boot - gemäß der als richtig bewerteten Antwort - die entgegengesetzte Richtung einschlägt. Offensichtlich war das Segel am Boot für die Fragestellung bedeutungslos - und nur mangels eines sorgfältigeren Bildes kam meine anfängliche Verwunderung überhaupt zustande.

Irgendwie erinnerte mich diese Situation an meine Schulzeit und ich hörte das Urteil meines damaligen Physiklehrers: "Falsch, setzen!" So wie damals musste ich meinen leisen Protest unterdrücken, um nicht mit einer Wortmeldung herauszuplatzen: "Aber das hängt doch ganz davon ab ...!" Heute besteht keine Notwendigkeit mehr, dass ich mir all die gewünschten Standardantworten merken müsste. Allerdings drängen sich mir neue Fragen auf:

- Wie oft können Schüler im Unterricht ihre eigene Antwort verteidigen?
- Wie oft setzen Lehrer den Schülern vorgefertigte bzw. nahegelegte Antworten vor, die sie dann bei der Prüfung wieder hören möchten?
- Wie oft bekommen wir lediglich die Standardantworten auf unsere Standardfragen unüberlegt von den Schülern reflektiert?
- Inszenieren wir diese schlechte Nachahmung unserer "richtigen Erklärungen" selbst?

Um mehr Klarheit in diese Angelegenheit zu bringen, müssen wir erst einmal der Frage nachgehen, woher eigentlich die Antworten im Physikunterricht kommen. Zwei bedeutende Lieferanten sind leicht benannt:

1. Der Lehrer ist die Quelle für alle Antworten (auf die von ihm selbst formulierten Fragen). Die Schüler lernen diese Antworten / Sprüche für die nächste Stundenwiederholung auswendig. Dieses Szenario enthält die Wesenszüge des Frontalunterrichts.
2. Die Antworten kommen u.a. auch von den Schülern. (Häufig auch "fragend entwickelnder Unterricht" genannt). Der Lehrer ist der Schiedsrichter über richtige und falsche Antworten.

Dass sich diese beiden Fälle nicht wesentlich unterscheiden, zeigt eine genauere Analyse für den fragend-entwickelnden Unterricht. Mit einigem Aufwand könnte man hier das Unterrichtsgeschehen - ein Schüler antwortet auf die Frage des Lehrers - in folgende Situationen kategorisieren:

1. Die Antwort des Schülers wird vom Lehrer als richtig deklariert. Die dazu notwendigen und unausgesprochenen Überlegungen auf Seiten des Schülers decken sich mit den Vorstellungen des Lehrers.
2. Die Antwort des Schülers wird vom Lehrer als falsch erkannt und die unausgesprochenen Überlegungen, die den Schüler zu dieser Antwort führten, waren irrig.
3. Die Antwort des Schülers wird vom Lehrer als falsch deklariert, obwohl der Schüler aufgrund anderer Voraussetzungen und Überlegungen durchaus zum richtigen Schluss gekommen ist.
4. Die Antwort des Schülers wird vom Lehrer als richtig deklariert, aber die unausgesprochenen Überlegungen, die den Schüler zu dieser Antwort führten, waren falsch.
5. Die Schülerantwort ist richtig bzw. falsch und der Schüler hat sich dazu überhaupt keine Gedanken gemacht.

Der einzig günstige Fall ist hierbei die erste Situation. Alle anderen Situationen behindern die Entwicklung eines physikalisch fundierten Verständnisses. Diese Behauptung möchte ich an einem Beispiel klarer darstellen:

*Lehrer:* "Angenommen, wir lassen zwei Kugeln mit gleicher Größe und gleicher Oberflächenbeschaffenheit aber unter-

Mag. Klaus Albrecht unterrichtet am BG/BRG Reithmannstraße, 6020 Innsbruck

schiedlicher Masse von einem hohen Turm fallen. Welche Kugel wird wohl zuerst am Boden aufschlagen?"

*Schüler* (zaghaft): "Die schwerere Kugel?"

*Lehrer* (freudig erregt): "NEIN! Und dazu machen wir nun ein kleines Experiment ..."

*Lehrer* (erklärt das Laborexperiment): "-----"

Spätestens ab diesem Zeitpunkt kennen viele Schüler auf die obige Frage nur mehr eine (richtige) Standardantwort. Entgegen ihrer Intuition werden die meisten Schüler schon bei der ersten Stundenwiederholung unisono auf die Frage nach der schneller fallenden Kugel antworten: "Die Kugeln sind beide gleich schnell unten!" Das Dilemma der ungläubigen Schüler gründet auf dem Umstand, dass sie nicht in der Lage sind, ihre intuitiven Vorstellungen in - für den Lehrer - begreifliche Formulierungen zu kleiden. Diese "faulen" Schüler werden bald nach den ersten negativen Notenaufzeichnungen des Lehrers sich der "richtigen" Meinung anschließen und sich die Antwort merken. Hierbei spielt es keine Rolle, ob das Turmexperiment etwas anderes (- der Intuition der Schüler näher liegendes -) ergeben würde - was wiederum angesichts des Luftwiderstandes nicht erstaunlich ist.

Selbst wenn der Schüler aufgrund fehlerhafter Schlussfolgerungen zur falschen Antwort gelangte, so wären die (unausgesprochenen) Überlegungen des Schülers für den Lehrer von Bedeutung, um einzelne Misskonzepte auf Seiten der Schüler zu isolieren.

Je schwieriger die Inhalte, desto geistloser werden die Anforderungen an die Schüler bei diesem vorstrukturierten Frage-Antwort-Spiel:

*Lehrer*: "Wer kann aufzählen, was ein Elektron besitzt?"

*Schüler A* (unsicher): "0,5 MeV?"

*Lehrer*: "Ja, aber das habe ich jetzt nicht gemeint."

*Schüler B*: "Es gehört zur Familie der Fermionen."

*Lehrer*: "Gut. Noch etwas anderes?"

*Schüler C*: "Flavor?"

*Lehrer*: "Bravo! Und hat es auch Color?"

*Schüler C* (unsicher): "Nein."

*Lehrer*: "Ausgezeichnet!"

Zu betonen ist, dass die Schüler nichts gegen diese eingeforderten Standardantworten einzuwenden haben und bereitwillig dem Lehrer die Freude machen, je nach Schulwoche und Schuljahr die gewünschten Antworten aufzusagen. Diese Art des "fragend - entwickelnden" Unterrichts begünstigt die Ausbildung einer Symbiose zwischen Lehrer und Schüler. Der Schüler ist bereit die physikalischen Sprüche und die sinnlosen Zeichen zu reproduzieren, solange der Lehrer nicht vom Standardfragenkatalog abweicht. Mit der Zeit lernen die Schüler mit immer größerer Treffsicherheit zu erraten, was der Lehrer gerne hören möchte.

## Physikunterricht als moderierter Dialog

### Warum Alt-Bewährtes ändern?

Wie gefällt Ihnen diese Vorstellung: Ein Großteil der Schüler nutzt die Unterrichtspause, um sich wichtige physikalische Formeln einzuprägen. Zu zweit fragen sie sich die wichtigsten Sätze ab:

*Schüler A* (liest aus seinem Physikheft): "Wie heißt der zweite Hauptsatz?"

*Schüler B*: "Es ist unmöglich eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die nichts bewirkt als die Hebung einer Last und die Abkühlung eines Körpers."

*Schüler A*: "Was ist ein irreversibler Prozess?"

*Schüler B*: "Irreversible Prozesse sind Vorgänge ..."

Andere lernen selbständig mit dem Physikheft:

*Schüler C*: (öffnet sein Physikheft und liest leise): "Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre" (schließt das Heft - ein Finger dient als Lesezeichen - und murmelt leise vor sich hin): "Es ist unmöglich eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die nichts weiter bewirkt als die Hebung einer Last und die Abkühlung eines Körpers."

Da alle Schüler denselben Satz im Heft stehen haben, müssen wir bis zum Unterrichtsbeginn warten, um ein wenig Abwechslung zu erleben ...

*Lehrer*: "Wie heißt der zweite Hauptsatz der Wärmelehre?"

*Schüler D*: "Es ist unmöglich eine Maschine zu bauen, die nichts bewirkt als die Hebung einer Last oder die Abkühlung eines Körpers."

*Lehrer*: "Falsch!"

Leider hapert es hier nicht nur beim zweiten Hauptsatz! Falsch ist vor allem, dass den Schülern der Anreiz geboten wird, Sätze einzulernen.

Die Absicht meiner Bemühungen ist es, eine Methode zu finden, die Schüler daran hindert, Antworten unreflektiert zu kopieren. Diese Bestrebung erweist sich als nicht konform zur gängigen Unterrichtspraxis. Mit Beginn des ersten Schultages werden die Schüler der Versuchung ausgeliefert dem Lehrer mit der gewünschten Antwort eine Freude zu bereiten. Belohnungen dienen hier als Orientierungshilfen, damit Schüler möglichst komplikationslos das "Lernen" erlernen. Hat sich dieses Verhalten aus der Sicht der Schüler erst einmal als erfolgreich etabliert, ist es sehr schwierig, die Schüler wieder zu entwöhnen - so halten selbst unsere Maturanten an dieser Art zu lernen hartnäckig fest. Das Mitdenken im Unterricht mutiert in den höheren Schulklassen häufig zum Erraten dessen, was der Lehrer gerne hören möchte. Positive Mitarbeitsaufzeichnungen erhöhen den Anreiz für die Schüler die vom Lehrer als "richtig" deklarierte Antwort zu finden. Meiner Meinung nach muss man diesen Tendenzen rechtzeitig entgegenwirken, da sich solche schlechten Gewohnheiten bereits in der Pflichtschulzeit einschleifen. Doch die Lernstrategien ändern sich nur, wenn sich die Lehrstrategien zuvor ändern. Aus diesen Zielsetzungen heraus entwickelte sich ein Physikunterricht als "moderierter Dialog".

### Wie sieht ein Physikunterricht als moderierter Dialog aus?

Der Lehrer beginnt den Unterricht mit einer intuitiv verständlichen Frage. Das bedeutet für mich, dass die Schüler die Fragestellung verstehen, ohne diese je zuvor gehört zu haben. Beispiele für diese Art der Fragen wären:

*Beispiel 1:*

Eine mit Luft gefüllte Boje wird mit Hilfe eines Seiles 1 m unter der Wasseroberfläche festgehalten und am Auftauchen gehindert. Benötigt man ein stärkeres Seil, um die Boje tiefer unter der Wasseroberfläche zu fixieren?

*Beispiel 2:*

Drei Lampen werden - wie in der Skizze dargestellt - miteinander und mit einer Batterie verbunden (Anmerkung: die hier nicht abgebildete Skizze zeigt eine Serienschaltung von drei

Glühlampen). Ändert sich die Helligkeit der Lampen, wenn man die erste Lampe bzw. die letzte Lampe in der Reihe mit einem Stück Draht überbrückt (Anmerkung: in einer weiteren Skizze ist diese veränderte Situation dargestellt)?

(Weitere Beispiele für intuitiv zugängliche Fragen liefert die Fachliteratur; eine Referenzliste findet man am Ende dieses Artikels).

Diese Fragestellungen unterscheiden sich klar von jenen, die keinen intuitiven Zugang ermöglichen:

Wie lautet das Wiensche Verschiebungsgesetz? Was versteht man unter sphärischer Aberration? Was ist die Spitzenwirkung? ...

(Wenn Ihnen hier die vertrauten Schülerantworten in den Sinn kommen, wissen Sie, was ich bemängle!)

Doch nicht nur die Art der Fragestellung ist wichtig. Auch die Zeitspanne, die man den Schülern einräumt, um über die Frage nachzudenken, ist entscheidend. Ein rasches Vorgehen im Anfangsstadium würde viele interessante Ansätze und Gedanken im Keim ersticken, die im weiteren Verlauf des moderierten Dialoges nie wieder spontan in dieser Form entstehen könnten. Also erst nach einer angemessenen Nachdenkpause wählt der Lehrer einen Schüler aus (und zwar nicht nur aus der eingeschränkten Menge jener Schüler, die sich durch Handzeichen - oder andere Gestik - freiwillig melden), um sich über dessen Schlussfolgerungen zu informieren. Im weiteren Verlauf werden nun mehrere Schüler vom Lehrer interviewt und auch mit bereits vorgebrachten Argumenten von Mitschülern konfrontiert. Ein oder zwei Schüler führen während dieses Diskurses ein Protokoll über den Verlauf dieser Auseinandersetzung mit der Fragestellung. Dem Lehrer, der diesen Diskurs moderieren soll, fallen hierbei mehrere Aufgaben zu:

1. Der Lehrer darf die Antwort zur gestellten Frage nicht nahe legen, beziehungsweise den Lösungsweg nicht künstlich in eine gezielte Richtung lenken. Das heißt konkret: Falls die Schülermeinungen sich auf das richtige Konzept konzentrieren, wird der Lehrer zum Zweifler und zum Kontrahenten. Wenn aber die Schüler ein falsches Konzept favorisieren, so wirft der Lehrer kritische Fragen ein, die notwendigerweise zu Widersprüchen für die Schüler führen.
2. Der Lehrer achtet darauf, dass sich die Diskussion nicht in viele einzelne Aspekte verliert, sondern fokussiert bleibt. Hierbei wird es häufig notwendig sein, die Aufmerksamkeit der Schüler auf einen beschränkten Umfang des Problems zu konzentrieren, um so die Diskussion zusammenzuhalten.
3. Der Lehrer ortet vertraute Präkonzepte/Fehlkonzepte bei den Schülern und bringt diese verstärkt in die Diskussion ein.
4. Der Lehrer achtet darauf, dass die Protokollführer ihren Job zufriedenstellend erledigen können (in Hinblick auf das Tempo der Diskussion und der Klarheit der Formulierungen).

Eine Anforderung an den moderierten Dialog besteht darin, dass sich der Lehrer während des Diskurses überlegen muss, wie man die Aussagen, Schlussfolgerungen und Behauptungen der Schüler in ergänzende Fragen einbauen kann, um das physikalische Verständnis der Schüler weiter zu entwickeln. Durch diese ständige "Rückkopplung" wird gewährleistet,

dass der Lehrer sich nicht vom aktuellen Verständnis des Lernenden entfernt. Der Lehrer kann somit nicht vorauspreschen und ein Kapitel nach dem anderen abhaken - das Unverständnis der Schüler für die Materie wird zum unüberwindlichen Hindernis bei dieser Lehrmethode. Durch die Orientierung am Wissensstand der Schüler wird die Frustration der Schüler/innen im Unterricht minimiert. Gleichzeitig gewährleistet ein herausfordernder Moderationsstil eine stetige Anforderung an die Schüler. Dies ermöglicht eine graduelle Transformation des vorbelasteten Alltagsvokabulars (Kraft, Beschleunigung,...) der Schüler in die naturwissenschaftliche Verwendung der Begriffe.

Augenfällig wird die Abgrenzung des moderierten Dialoges zu anderen Lehrmethoden (z.B. zum fragend-entwickelnden Unterricht) unter anderem auch bei der Beurteilung der Schülerleistungen und Notengebung: Die gängige Praxis bei Prüfungen an der Schule ist es, bereits Gesagtes einzufordern und zu benoten. Beim moderierten Dialog zählen nicht die reproduzierten Sätze als Leistung, sondern neue und aus naturwissenschaftlicher Sicht vernünftige Beiträge beim Diskurs werden bewertet. Die Methode des moderierten Dialoges kollabiert in dem Augenblick, in dem man bereits gefallene Aussagen bei Prüfungen einfordert und beurteilt. Erst die konsequente Vermeidung der Stundenwiederholungsfragen bringt eine Veränderung im Schülerbewusstsein. Ansonsten werden die Schüler unkritisch die vom Lehrer sanktionierten Standardantworten hervorbringen. Ist man bereit dem gewillten Schüler einfache Regeln ("Die Formel  $v = w \times r$  kann man sich einfach merken: ein richtiger **Verschnitt ist Weißwein gekreuzt mit Rotwein**") anzubieten, dann darf man sich nicht wundern, dass fast alle Schüler sich auf diesen bequemen Weg begeben.

Nun könnte man fälschlicherweise denken, dass bei dieser Methode jeder Schüler die Physik für sich selbst neu entdecken sollte. Doch mehr als bei anderen Methoden ist hier der Lehrer der Lernbegleiter für die Schüler - der Lehrer führt die Schüler durch eine Sequenz von aufeinander abgestimmter Fragen an eine Physik heran, die sich nicht mit oberflächlich eingeübtem Fachjargon zufrieden gibt.

Die angeführten Kriterien - Art der Fragestellung, Geduld des Lehrers - sind nur Attribute einer Methode, die bestimmt nicht als eine Novität gelten kann. Die didaktische Idee, fragend zu antworten, ist untrennbar mit dem Namen Sokrates verbunden und dementsprechend alt. Urteilt man nach dem zeitgemäßen Unterricht, so ist die Methode aber nicht nur alt sondern auch altmodisch. Die Bedeutung der sokratischen Unterrichtsführung ist im heutigen Unterricht gering. Die Ursache dürfte in zwei Forderungen an den Unterricht zu suchen sein:

- Die Unterrichtsmethode muss effizient sein.
- Die Effizienz des Lernprozesses muss (einfach) überprüfbar und messbar sein.

Mit diesen beiden Ansprüchen waren die Mutationen in der Unterrichtsmethodik absehbar:

Die Lehrbuchphysik wurde auf sauber formulierte Sätze und Formeln reduziert und mundgerecht an den Empfänger geliefert. Konnte der Empfänger diese frei reproduzieren, so war der Beweis erbracht, dass er rechtmäßiger Besitzer dieser Weisheiten ist. Es erscheint naheliegend, den unwissenden Schüler einfach zu informieren und ihm die Zusammenhänge

als nicht nötig vorzuenthalten: Warum kompliziert wenn es einfach auch geht? Das zweite Gesetz von Newton konnte so auf einen kompakten Satz mit einem Dutzend Wörter ("die Summe der angreifenden Kräfte ist gleich Masse mal Beschleunigung des Massenmittelpunktes") oder auf eine kurze Formel destilliert werden. Und die Schüler wissen dann die Zusammenhänge - nicht die Zusammenhänge zum physikalischen Umfeld, sondern die Zusammenhänge zu den Schlüsselwörtern in der Frage - und lernen so auf Wiederholungsfragen richtig zu antworten. Die Schüler sind nicht fähig über dieses reproduzierte Wissen frei zu verfügen und begegnen der erlernten Materie völlig unkritisch.

Die sokratische Methode ist die erklärte Absage an diese Oberflächlichkeit und hemmt die Willfährigkeit des Lernenden sich blindgläubig den Lehren einer Autorität anzuvertrauen und diese Dogmen urteilslos zu kopieren. Der moderierte Dialog nutzt die sokratische Methode und die Tatsache, dass wir heute andere technische Mittel zur Hand haben, um einen Diskurs im Klassenraum in der Praxis auch sinnvoll zu führen.

### Über die Praxis des moderierten Dialoges

Der moderierte Dialog wird durch die Art der Fragestellung, der Beharrlichkeit des Fragestellers sowie dessen Fähigkeit, ein geschicktes Frage und Antwort Wechselspiel aufzubauen, getragen. Doch lassen sich aus diesen allgemeinen Formulierungen keine Hilfestellungen für die reale Unterrichtsstunde ableiten. Konkret orientiert sich der "Physikunterricht als moderierter Dialog" an den folgenden Wegmarken:

- Einfach verständliche Frage am Beginn des Unterrichts
- Zur Beantwortung der Frage werden nicht nur Schüler herangezogen, die aufzeigen.
- Über den Verlauf der Diskussion wird ein Protokoll geführt. Die Schüler werden namentlich in diesem Protokoll erwähnt. Die von einem Schüler gegenwärtig erfasste Protokollmitschrift sollte für alle Schüler lesbar zugänglich gemacht werden. Dies ist mit der Hilfe eines Beamers möglich. Ein Schüler verfasst am PC die Protokollierung und diese wird auf eine Wandtafel im Klassenraum projiziert. Für Grafiken und Diagramme eignet sich am Besten der Overhead-Projektor - die Schüler fertigen ihre "grafischen Argumente" auf Overheadfolien an und legen diese dann auf den Projektor.

Die Protokollierung dient hierbei mehreren Zielen: Erstens ermöglicht die Auswertung der Aufzeichnungen eine Leistungsbeurteilung der Schüler. Die Aufzeichnung des Dialoges liefert Auskunft über die Beteiligung und zwingt somit die Schüler, am Diskurs teilzunehmen und in der Folge auch Verantwortung für den Lernfortgang zu übernehmen. Zweitens können sich Schüler und Lehrer mittels des Protokolls auf bereits gefallene Argumente beziehen. In ähnlicher Weise wird die Anknüpfung an die Fragestellung der vorigen Physikstunde ermöglicht. Und Drittens bietet eine umfangreiche Dokumentation auch die Gelegenheit für eine didaktische Evaluierung dieser Methode sowie Rückschlüsse auf typische Denkmuster und Vorkonzepte bei Schülern. Letztendlich eignet sich das Protokoll auch als Grundlage für die von Schülern verfassten Zusammenfassungen größerer Kapitel in der Physik.

### Beispieldialog

*Einleitung: Ein mit Wasser gefülltes Becken steht auf einer Waage. Der Lehrer hält einen Faden in der Hand, an dessen anderem Ende ein Stein angebunden ist.*

*Lehrer: Wenn ich nun diesen Stein ins Wasser absenke, wird sich dann der Zeigerausschlag auf der Waage ändern?*

*Martin: Wenn der Stein mit genügend großer Wucht auf die Wasseroberfläche einschlägt, dann schon.*

*Lehrer: Dann lese ich nun den Wert von der Waage ab und notiere den Wert hier.*

*(Der Lehrer senkt anschließend den Stein langsam ins Wasser ab, sodass dieser vollständig untertaucht aber den Boden nicht berührt und wartet, bis sich die Wasseroberfläche wieder glättet).*

*Lehrer: Lese ich nun einen anderen Wert auf der Anzeige ab, als jenen, den ich hier notiert habe?*

*(Die Schüler können die Anzeige nicht sehen).*

*Gabriel: Solange Sie den Stein noch halten, ändert sich nichts.*

*Lehrer: Andere Meinungen?*

*Philipp: Ich denke die Anzeige hat sich geändert!*

*Lehrer: Warum?*

*Philipp: Alles andere wäre zu unspektakulär.*

*Lehrer: Nun, machen wir einmal eine Umfrage. Wer glaubt, die Anzeige hat sich geändert? - Gut, und wer glaubt, die Anzeige hat sich nicht geändert?*

*(Ergebnis:  $\frac{3}{4}$  sind für unverändert,  $\frac{1}{4}$  für geänderte Anzeige.)*

*Lehrer: Jakob, warum denkst du, dass die Anzeige unverändert ist?*

*Jakob: Warum sollte sie sich ändern? Auf der Waage steht nach wie vor nur das Wasserbecken, den Stein halten ja Sie!*

*Lehrer: Gute Frage! Harald, du denkst, die Anzeige hat sich geändert! Warum?*

*Harald: Der Faden saugt sich mit der Zeit mit Wasser voll.*

*Lehrer: Wird dadurch der angezeigte Wert kleiner oder größer - gegenüber dem notierten Wert? Stefan, was sagst du dazu?*

*Stefan: Größer!*

*Lehrer: Warum?*

*Stefan: Weil der vollgesogene Faden mehr wiegt!*

*Lehrer: Harald, denkst du auch, dass der Wert größer wird?*

*Harald: Nein, da das Wasser ja nun im Faden ist und Sie den Faden aber in der Hand halten geht dieser Anteil für die Waage verloren. Sie zeigt also weniger an.*

*Lehrer: Petra, welches der beiden Argumente macht für dich mehr Sinn?*

*Petra: Das von Harald!*

*Lehrer: Stimmen wir also nochmals ab ....*

*(Ergebnis: 90% denken, die Anzeige hat sich geändert.)*

*Lehrer: Hat jemand eine andere Idee, als die mit dem vollgesogenen Faden?*

*Thomas: Ich glaube, dass die Waage mehr anzeigt, nachdem der Stein ins Wasser eintaucht.*

*Lehrer: Warum?*

*Thomas: Weil ja jeder Stein Unsauberkeiten - Sandkörner und ähnliches - hat und sich die im Wasser lösen und auf den Boden sinken.*

*Lehrer: Maria, wieso sollte sich dieser Effekt auf die Anzeige auswirken? Die Sandkörner waren ja vorhin - bei der ersten Messung, die ich hier notiert habe - ja auch schon dabei. Folglich ist nichts dazugekommen und somit hat sich die Gesamtmasse nicht verändert, oder?*

*Maria:* Aber vorhin haben Sie den Dreck mit dem Stein gehalten und dann nicht mehr!

*Lehrer:* Beide Auswirkungen - der vollgesogene Faden und der absinkende Sand - existieren, sind aber so klein, dass ich die Veränderungen aufgrund dieser Effekte nicht auf der Anzeige ablesen kann. Vergessen wir also einmal diese Effekte. Diese Waage kann solche Feinheiten gar nicht unterscheiden. Ist jemand aber für eine messbare Änderung?

*Lehrer:* Niemand. Gut, dann sehen wir uns nochmals das Statement von Jakob an! (Jakobs Beitrag zur Diskussion wird nochmals vom Protokollführer laut vorgelesen.)

Jakob, ändert sich für dich auch nichts, ob du einen schweren Stein vom Boden eines Schwimmbeckens aufhebst oder ob du denselben Stein herausen aufhebst?

*Jakob:* Doch. Im Wasser geht es leichter!

*Lehrer:* Lisa, gibt es für diese Behauptung einen Grund?

*Lisa:* Im Wasser wiegen die Dinge weniger.

*Lehrer:* Sebastian, ändert sich im Wasser die Masse von den Dingen?!

*Sebastian:* Nein.

*Lehrer:* Das scheint im Widerspruch zur Behauptung von Lisa zu stehen. Gregor, kannst du diesen Widerspruch auflösen?

*Gregor:* Nicht die Masse ändert sich, aber das Gewicht ändert sich!

*Lehrer:* Warum sollte sich das Gewicht ändern, wenn die Masse unverändert bleibt?

*Gregor:* Weil das Wasser auch noch eine Kraft auf den Stein ausübt.

*Lehrer:* In welche Richtung ist diese Kraft gerichtet?

*Gregor:* In Richtung Oberfläche.

*Lehrer:* Die Oberfläche des Steines? Was sagst du dazu, Daniel?

*Daniel:* Ja.

*Lehrer:* Könntest du das einmal schnell zeichnen.

(Der Schüler zeichnet rund um einen Stein Pfeile normal zur Oberfläche ein - die Pfeilspitzen berühren die Steinoberfläche.)

*Lehrer:* So wie ich deine Skizze sehe, drückt das Wasser auf alles. Warum sollte er aber deshalb leichter zum Aufheben sein?

*Daniel:* Keine Ahnung.

*Lehrer:* Anna, hast du eine Erklärung?

*Anna:* Weil das Wasser von unten her mitdrückt!

*Lehrer:* Ja, aber das Wasser von oben drückt wieder nach unten!

*Anna:* Aber von unten drückt es stärker!

*Lehrer:* Stärker als was?

*Anna:* Stärker als von oben!

*Lehrer:* Aber wenn die Kraft nach oben größer ist als die Kraft nach unten, dann müsste der Stein nach oben treiben? Bernhard, was sagst du dazu?

*Bernhard:* Es wirkt ja nicht nur das Wasser auf den Stein ein!

*Lehrer:* Sondern...?

*Bernhard:* Der Boden wirkt auf noch auf den Stein!

*Lehrer:* Und diese Kraft - diese Bodenkraft - verhindert, dass der Stein selbstständig aufsteigt?

*Bernhard:* Ja.

*Lehrer:* In welche Richtung wirkt diese Bodenkraft?

*Bernhard:* Nach unten.

*Lehrer:* Es wird Zeit, dass wir uns sauberer ausdrücken. So wird mir nicht klar, welche Kraft ihr gerade anspricht. Wir werden also wie gehabt bei jeder Kraft dazusagen, auf wel-

chen Körper die Kraft wirkt und wer oder was diese Kraft ausübt. Also sehen wir uns nochmals den Stein an. Wie sieht es nun mit den Kräften auf den Stein aus? Christian wird uns dies in aller Klarheit erklären!

*Christian:* Also zunächst einmal wirkt das Wasser rundum ein...

(Nach weiterem Wortwechsel über die wirkenden Kräfte wurde ein vollständiges Kräftediagramm für den Stein von den Schülern gezeichnet.)

*Lehrer:* Nachdem wir nun die Kräfte auf diesen Stein herausgefunden haben, finden wir vielleicht auch heraus, ob sich die Anzeige auf meiner Waage geändert hat! Was denkst du nun, Florian?

*Florian:* Die Anzeige ist zurückgegangen, weil der Auftrieb im Wasser den Stein leichter macht.

*Lehrer:* Wenn der Stein herausen ist, dann ist er schwerer - und wenn er im Wasser ist, dann ist er leichter. Stimmt das, Michael?

*Michael:* Ja.

*Lehrer:* Und da ich den ersten Wert notierte, als der Stein herausen war, ist dieser anfängliche Wert auch größer. Wenn ich dann den Stein ins Wasser absenke, wird der Stein leichter und somit zeigt dann die Waage weniger an. Stimmt das, Robert?

*Robert:* Ich sehe überhaupt keinen Grund, dass sich die Anzeige ändert, solange Sie den Faden in der Hand halten.

*Lehrer:* Solange ich den Stein herausen halte sehe ich auch keinen Grund. Aber im Wasser fühlt sich der Stein leichter an. Was denkst du, Roland?

*Roland:* Aber das hat nichts mit der Waage zu tun. Sie messen ja nicht die Masse des Steins!

*Lehrer:* Nun gut. Dann stellen wir uns folgende Situation vor: Ich stehe auf einer Personenwaage und neben mir steht Paul auf einer eigenen Personenwaage. Meine zeigt 80 kg an, die von Paul 60 kg. Nun gibt mir jemand eine Breithantel in die Hand und ich halte diese mit beiden Händen über dem Kopf. Meine Waage zeigt nun 150 kg an und die von Paul immer noch 60 kg. Nun fange ich schon unter der Last zu ächzen an und Paul, der nach wie vor auf seiner Waage steht, hilft mir. Ich spüre die Erleichterung - und sehe auf meiner Waage nur noch einen Wert von 120 kg. Blöderweise kann ich die Anzeige von Pauls Waage nicht sehen - wird diese nun auch weniger anzeigen, 40 kg zum Beispiel?

*Gernot:* Nein, die zeigt mehr an!

*Lehrer:* Mehr als was?

*Gernot:* Mehr als 60 kg.

*Lehrer:* Die Hantel fühlt sich leichter an, sobald mir Paul beim stemmen hilft. Auch der Stein am Faden fühlt sich leichter an, sobald mir jemand hilft. Wer hilft mir beim Heben des Steines?

*Michaela:* Das Wasser!

*Lehrer:* Wirkt sich das Helfen auf die Gewichtsanzeige auf Paul's Waage aus? Was sagst du dazu, Werner?

*Werner:* Ja!

*Lehrer:* Und wenn mir nicht Paul hilft sondern das Wasser - würde sich das auf einer Waage, auf dem das Wasser steht, bemerkbar machen?

*Werner:* Wahrscheinlich schon!

*Lehrer:* Und wie ändert sich die Anzeige?

*Werner:* Der Wert wird größer?!

*Lehrer:* Jeder schreibt nun auf, ob der Zeigerausschlag sich je geändert hat. Falls der Zeiger sich bewegte, in welche Rich-

tung erfolgte die Veränderung - zeigt die Waage nun mehr oder weniger an? Und vor allem: Warum hat sich etwas geändert bzw. warum hat sich nichts geändert.

*Lehrer:* Und jetzt sehen wir uns das Ganze nochmals anhand der wirkenden Kräfte an ...

Am Ende der Stunde fordert der Lehrer die Schüler auf, ihre Neugier über die "richtige" Antwort doch selbst durch ein Experiment zu Hause zu stillen. Küchenwaage und Salatschüssel genügen hierfür.

### **Zusammenfassung**

Der moderierte Dialog ist eine Methode, die den Schüler mittels sokratisch formulierter Fragen durch die Unterrichtsstunde führt - und dies in einer strukturierten Art und Weise. Hierbei ist es die Aufgabe des Lehrers eine Vielfalt von Perspektiven offen zu halten, alternative Lösungswege nicht zu blockieren, Schülerantworten im Hinblick auf klare Argumentation und Abgeschlossenheit zu überprüfen und zu kritisieren, sowie den Schüler anzuleiten, konsistente und inkonsistente Erklärungen zu unterscheiden und über diese nachzudenken. Der moderierte Dialog vermeidet es akribisch, dem gewillten Schüler einfache Merkgeregeln zu bieten, da es nicht Sinn des Physikunterrichtes sein kann, dem Schüler bequeme Ausreden für sein "Nichtverstehen" zu unterbreiten.

Überprüft und benotet werden beim moderierten Dialog innovative Schülerbeiträge - übliche Kontrollmechanismen wie Stundenwiederholungen, bei denen bereits beantwortete Fragen wiederholt von Schülern beantwortet werden, entfallen gänzlich.

Durch diesen Zugang zur Physik entwickelt der Schüler einen kritischen Blick für das Erlernete und wird ermutigt, all jene "offiziellen" Erklärungen zu verwerfen, die für ihn nicht ausreichend begründet oder einsichtig sind. Die "privaten" Erklärungen des Schülers müssen der andauernden Rückkopplung mit dem Lehrer zugeführt werden - so kann ein Entwicklungsprozess und ein tieferes Verständnis für physikalische Zusammenhänge eingeleitet werden.

### **Entwicklungsgeschichte**

Rückblickend würde ich drei Schuljahre aufzählen, die es mir erlaubten, Erfahrungen zu sammeln, die letztendlich die hier vorgestellte Unterrichtsmethode entscheidend geprägt haben. Ein chronologischer Abriss spiegelt die unerlässlichen Weiterentwicklungen wider:

Irritiert durch die abwartende Haltung meiner Schüler, sowie geplagt durch einen beunruhigenden Gedanken - nämlich dass viele Schüler es gar nicht wahrnehmen würden, wenn ich ihnen plötzlich einen völligen Blödsinn erzählen würde - lösten bei mir Zweifel über meinen Unterricht aus. So stellte ich meine "Erzählungen" (für mich waren es zu diesem Zeitpunkt noch "Erklärungen") ein und begann die Schüler mit inkonsistenten Behauptungen zu konfrontieren. Dies führte dazu, dass wir tatsächlich leidenschaftlich über Themen der Physik debattierten! Mit einem großen Nachteil: Die Diskussionen wirkten stark selektierend und schon bald trieb die Hingabe und die Beharrlichkeit einiger Weniger einen Keil zwischen diese Schüler und den Rest der Klasse. Ich musste schon bald feststellen, dass dieser trennende Graben mit jeder Unterrichtsstunde alarmierend schnell an Spannweite dazu gewann.

Ernüchtert durch diese Erfahrung kehrte ich im nächsten Jahr zum Standardunterricht zurück und legte den Schwerpunkt der Physikstunde wieder auf Vortrag und Demonstrationsexperimente. Allerdings mit einer Abänderung: Am Ende der Unterrichtsstunde stellte ich eine Frage und verlangte, dass jeder Schüler sich zu Hause darüber Gedanken macht und seine Ideen und Antworten auf einem Blatt Papier festhält. Am Ende der folgenden Unterrichtsstunde nahm ich diese individuellen Schülerantworten mit nach Hause und provozierte durch tieferegreifende Fragen einen Dialog auf diesem Arbeitsblatt. Die Schüler bekamen also ihre Blätter in der nächsten Unterrichtsstunde zurück und reagierten wieder zu Hause auf meine neuen Fragen. So entwickelte sich für jeden Schüler in der Klasse ein eigenständiger Diskurs auf ein paar Bögen Papier, der oft über Monate den Gedankenaustausch zwischen Schüler und Lehrer zu einer einzelnen Fragestellung sicherte. Im folgenden Schuljahr wollte ich die Vorteile der schriftlichen Aufzeichnung der einzelnen Diskussionsbeiträge und die Beteiligung aller Schüler am Diskurs nicht mehr missen, jedoch den enormen Aufwand dieser "Zettelwirtschaft" auf ein vernünftiges Maß eindämmen. Somit kam der Dialog wieder zurück in den Klassenraum. Diesmal jedoch hielt ich die Diskussionsbeiträge während des Unterrichts in schriftlicher Form fest. Auch notierte ich, welcher Schüler die Überlegung lieferte, um regulierend in die Diskussion einwirken zu können und eine gleichmäßige Schülerbeteiligung zu erreichen. Vorerst unbeteiligte Schüler wurden nun von mir angesprochen und aufgefordert, ihre Position zu einer bestimmten Problematik auszudrücken. Mittlerweile führe nicht ich das Protokoll über den Dialog - diese Aufgabe kommt nun Schülern zu, die sich regelmäßig abwechseln. Ich denke es ist entscheidend, dass alle Schüler den Fortgang der Diskussion auch visuell mitverfolgen können. Dies ist mit ein Grund dafür, dass das verfasste Protokoll mit Hilfe eines Beamers auf eine Wandtafel im Klassenraum projiziert wird.

### **Erfahrungsbericht**

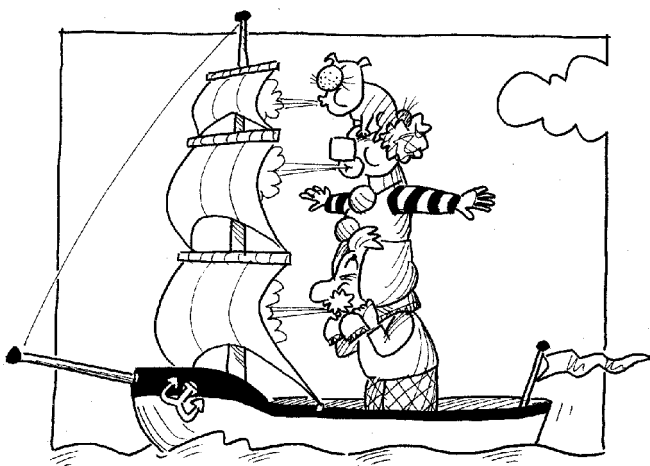
Anfänglich sind viele Schüler verunsichert, wenn der Lehrer keine Einheitssätze mehr einfordert. Je länger ein Schüler in seiner bisherigen Schullaufbahn vorgefertigten, bequemen Sprüchen und Formeln ausgesetzt war, desto schwerer ist es oft, ihn zu entwöhnen. Es ist viel Geduld erforderlich, bis man den Schülern näher bringt, dass ihnen dieser Unterricht keinen Antwortenkatalog bietet, hingegen sogar unüberlegte Antworten wegnimmt. Die Umstellung fällt dem Schüler sicher leichter, wenn der Lehrer anfänglich die Situation entspannt und dem Schüler nicht das Gefühl gibt, jede falsche Aussage könnte später (bei der Notengebung) gegen ihn verwendet werden. Es besteht auch die Gefahr, dass einzelne Schüler mit ihren Wortmeldungen vorderhand naive Beiträge von Mitschülern leichtfertig verwerfen und somit diese Schüler ausgrenzen. In diesem Fall ist es für die betroffenen Schüler ermutigend und für den Diskurs belebend, wenn der Lehrer ihre Partei ergreift und deren Wortmeldung vor einem oberflächlichen und unüberlegten Urteil bewahrt.

Ich konnte innerhalb eines Jahres feststellen, dass die Schüler in ihrer Fähigkeit zu argumentieren und unbegründete Behauptungen zu erkennen gestärkt wurden. Bedingt durch einen Lehrerwechsel wurde mein subjektiver Eindruck von einer Fachkollegin, die nicht über meine Unterrichtsmethode infor-

miert war und die Klasse übernahm, bestätigt. Mehrheitlich hat sich gezeigt, dass die Schüler gerne ihre eigenen Vorstellungen verteidigen und sich freuen, dass ich auf ihre Überlegungen eingehe und nicht nur über ihre Köpfe hinweg den Unterrichtsstoff durchpauke.

### Quellen für "intuitiv zugängliche" Fragestellungen

- 1) Paul G. Hewitt, *Next-Time Questions to accompany Conceptual Physics*, Harper Collins College Publishers
- 2) Lewis Carroll Epstein, *Thinking Physics is GEDANKEN Physics*, Insight Press
- 3) Eric Mazur, *Peer Instruction - A User's Manual*, Prentice Hall
- 4) Arnold B. Arons, *Homework and Test Questions for Introductory Physics Teaching*, John Wiley & Sons
- 5) Jearl Walker, *The Flying Circus of Physics with Answers*, John Wiley & Sons
- 6) A. Goldsworthy, R. Watson, V. Wood-Robinson, *Developing Understanding in Scientific Enquiry*, Association for Science Education (ASE)
- 7) W. J. Leonard, R. J. Dufresne, W. J. Gerace, J. P. Mestre, *Minds on Physics*, Kendall/Hunt Publishing Company
- 8) L. McDermott, *Physics by Inquiry*, John Wiley & Sons
- 9) T. L. O'Kuma, D. P. Maloney, C. J. Hieggelke, *Ranking Task Exercises in Physics*, Prentice Hall



(Quelle: Wolfgang Bürger, *Der Traum des Seglers bei Flaute*, Birkhäuser Basel 1998)

## Der Traum des Seglers bei Flaute

(Professor Wolfgang Bürger behandelt die Quizfrage des vorangegangenen Beitrags in *Der Traum des Seglers bei Flaute*, Birkhäuser Basel 1998. Ein kurzer Ausschnitt sei zitiert.)

*"Da lag der kleine Häwelmann mit offenen Augen in seinem Rollenbett und hielt das eine Beinchen wie einen Mastbaum in die Höhe. Sein kleines Hemd hatte er ausgezogen und hing es wie ein Segel an seiner kleinen Zehe auf; dann nahm er ein Hemdzipfelchen in jede Hand und fing mit beiden Backen an zu blasen. Und allmählich, leise, leise fing es an zu rollen ... "* (aus Theodor Storms Märchen)

[...] Provozierende Frage: Kann ein Segler sein Schiff vorwärtsblasen, indem er vom Heck aus nach vorn in die Segel bläst? Das mag der Traum jedes Seglers bei Windstille sein. Ist es aber möglich, oder stand Münchhausen Pate, [...]

Widersprechende Voraussagen: Da niemand je eine Crew gesehen hat, die ihr eigenes Segelschiff vorwärtsblies, ist die Meinung verbreitet, das sei unmöglich. Auch mancher Ingenieur [...] stimmt in diesen Kanon ein. Und Physiklehrer äußern sich mit Skepsis [...]: Wenn der Segler nach vorn blase, wirke sein Atemstrom wie ein Düsenstrahl in der falschen Richtung, der dem Boot und ihm selbst einen Schub nach hinten gebe. Drücke der Luftstrahl mit der gleichen Kraft gegen das Segel, bleibe alles in Ruhe. [...] Erfolgreicher waren die Zuschauer einer Fernsehsendung ("Knoff-hoff Show" im ZDF), denen wir die Frage als Preisfrage stellten. Weniger von Fachwissen behindert, lösten sie das Problem mit "gesundem Menschenverstand": Hätte es Sinn, eine so provozierende Frage im Fernsehen zu stellen, wenn die richtige Antwort darauf die wäre, die man sowieso erwartet?

Praktische Antwort: Die Lösung lautet also: Man kann sein eigenes Boot vorwärtsblasen - jedenfalls im Prinzip. [...]

Der Impulswagen als Analogie: Versuchen wir jetzt den Vorgang einfacher zu verstehen! Wir ersetzen den Luftstrom (oder Wasserstrahl) durch einen elastischen Ball. Als "Schiff" dient ein leichter Wagen auf Schienen und als "Segel" eine feste Wand [auf dem Wagen], von der der Ball möglichst gut zurückschlägt. Wir stellen uns auf den Wagen und werfen den Ball vorwärts. Leider ist das von Nachteil, denn vom Vorwärtsimpuls  $p$  des Balles bekommen Mann und Wagen einen gleich großen Rückwärtsimpuls,  $-p$  (minus!), der den Wagen rückwärts rollen läßt. Aber da ist ja noch das "Segel". Bei einem perfekten Rückprall von der Wand kehrt der Ball seinen Impuls um, von  $p$  nach  $-p$ . Für den Impulsgewinn von  $-2p$  des Balles beim Rückprall erhält der Wagen den Vorwärtsimpuls  $+2p$ . Die Bilanz für den Wagen ist damit  $-p + 2p = +p$ . Er beginnt vorwärts zu rollen.

Zu diesem Schluß hätte man einfacher gelangen können. Es kommt gar nicht darauf an, ob der Ball auf dem Wagen hin- und hergeworfen wird, sondern nur darauf, daß er am Ende den Impuls  $-p$  wegträgt.