

Aufbau physikalischen Wissens

Ralph Schumacher

Wie Schülerinnen und Schüler besser beim Lernen unterstützt werden können

Warum ist es so schwer, die Prinzipien von Newtons Mechanik zu verstehen? Fragt man Schülerinnen und Schüler, ob sich Erde und Mond durch ihre Gravitation gleich oder unterschiedlich stark anziehen, so wird oft geantwortet, dass die Erde den Mond wohl stärker anzieht, weil sie aufgrund ihrer größeren Masse auch eine stärkere Gravitation besitzen wird. Auch wenn diese Antwort intuitiv gut nachvollziehbar ist, hätte sie Newtons Zustimmung nicht erhalten. Denn aus Sicht der Physik sind die Wechselwirkungskräfte zwischen Erde und Mond gleich groß. Erkenntnisse der Unterrichtsforschung des MINT-Lernzentrums an der ETH Zürich.

wissenschaftlich korrekten Konzepte zu ersetzen. Die Lehrpersonen müssen ihre Argumente und Experimente daher so präsentieren, dass die Lernenden bereit sind, vertraute Vorstellungen abzulegen und neues Wissen aufzubauen – und zwar mit Konzepten, die zunächst ihren Intuitionen widersprechen. Dazu muss man ihnen deutlich vor Augen führen, worin die Vorteile der neuen Konzepte liegen – das heißt, dass man mit ihnen Phänomene besser erklären kann als mit ihren Alltagsvorstellungen.

Dies gelingt allerdings nicht immer in dem Umfang, den man sich wünscht. Das Verständnis der Newtonschen Mechanik bereitet auch Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten, die in anderen Fächern sehr gute Leistungen zeigen. Untersuchungen bei Studienanfängern der ETH Zürich haben ergeben, dass vielen von ihnen die Prinzipien der Mechanik nicht in ausreichendem Umfang vertraut waren, obwohl sie sich für technische und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge immatrikuliert hatten. Deshalb stellt sich die Frage, wie sich die knappe Unter-

Dr. Ralph Schumacher
ist Leiter des MINT-
Lernzentrums
der ETH Zürich.



Was dem Verständnis von Newtons Mechanik entgegensteht, ist nicht so sehr das, was uns fehlt: Ideen und Vorstellungen. Vielmehr ist es eher das, was wir bereits haben – nämlich Alltagsvorstellungen, die sich im täglichen Leben bewährt haben, die aber mit den wissenschaftlichen Konzepten unverträglich sind. Das macht den Mechanik-Unterricht so anspruchsvoll. Denn die Lernenden müssen überzeugt werden, ihre Alltagsvorstellungen aufzugeben und durch die

„Während der gängige Unterricht mit dem Focus auf Formalisierung Mädchen eher davon abhält, ihr Potential in den Naturwissenschaften zu entfalten, kann eine stärkere Fokussierung auf konzeptuelles Verständnis hier Abhilfe schaffen.“

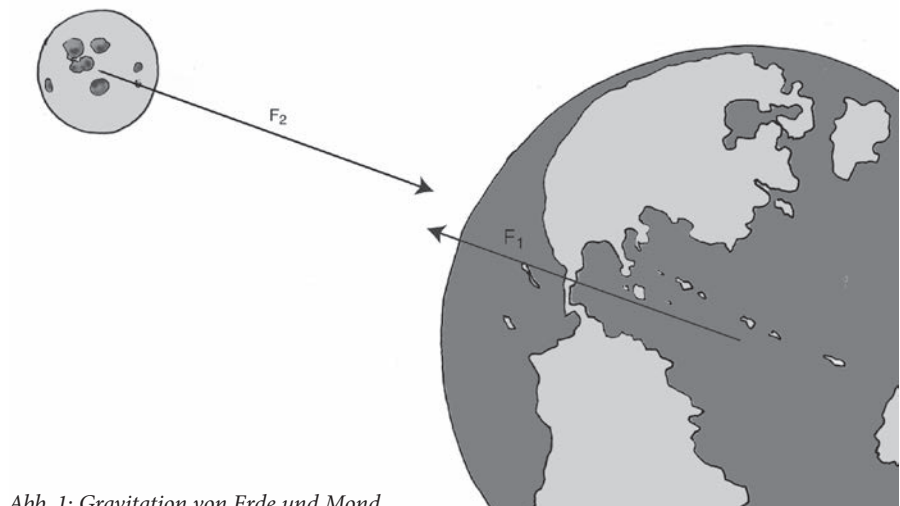


Abb. 1: Gravitation von Erde und Mond.

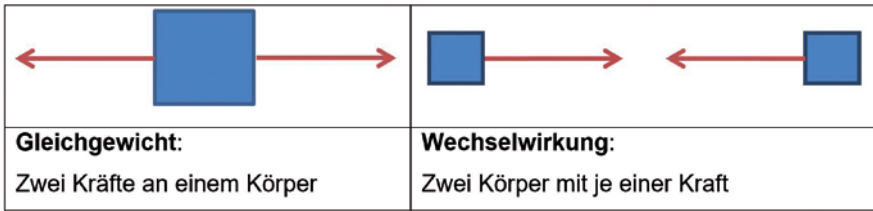


Abb. 2: typische Fehlerquelle im Mechanik-Unterricht

richtszeit besser nutzen lässt, um die Grundkonzepte der Mechanik lernwirksamer und nachhaltiger zu vermitteln. Um dies zu beantworten, hat das MINT-Lernzentrum der ETH Zürich mit 170 Schülerinnen und Schülern von Schweizer Gymnasien untersucht, wie man den Lernerfolg optimieren kann (Hofer, Schumacher, Rubin & Stern, 2018).

Unterstützung mit kognitiv aktivierenden Lernformen

In dieser Studie kamen Lernformen zum Einsatz, die sich in Vergleichsstudien als besonders lernwirksam erwiesen haben. Wir bezeichnen sie als kognitiv aktivierend, weil sie die Lernenden dazu anregen, ihr Begriffswissen aktiv umzugestalten. Dies lässt sich gut am Beispiel von Kontrastierungen veranschaulichen: Ein Körper hängt an einem Seil. Auf diesen Körper wirken zwei Kräfte in entgegengesetzte Richtungen – nämlich die Gewichtskraft, die ihn nach unten zieht, und die Kraft des Seils, die ihn nach oben zieht. Befinden sich beide Kräfte im Gleichgewicht, bleibt der Körper am Seil hängen. Auf den ersten Blick

wirkt es so, als hätte diese Situation: ein Kräfte-Gleichgewicht, viel gemeinsam mit der Situation, die am Anfang beschrieben wurde, in der sich Erde und Mond gegenseitig anziehen. Denn auch in dieser Situation sind die Kräfte gleich groß.

Tatsächlich handelt es sich aus der Sicht der Physik aber um zwei grundverschiedene Situationen. Beim Körper am Seil liegt ein Kräftegleichgewicht vor, bei dem zwei gleich große Kräfte auf einen Körper wirken. In diesem Fall ist es durchaus möglich, dass eine der Kräfte auch größer werden kann, zum Beispiel wenn die Gewichtskraft zunimmt und das Seil reißt. Im anderen Fall mit Erde und Mond handelt es sich hingegen um Wechselwirkungskräfte, die zwischen zwei Körpern wirken. Beide Kräfte treten stets gemeinsam auf und sind stets gleich groß. Das wird in Newtons drittem Axiom beschrieben: Zu jeder Kraft gibt es eine gleich große Wechselwirkungskraft.

Die Verwechslung dieser beiden Situationen ist eine typische Fehlerquelle im Mechanik-Unterricht. In unserer Studie haben wir daher die Lernenden durch

den Einsatz von Kontrastierungen darin unterstützt, beide Situationen auseinanderzuhalten. Dazu haben wir ihnen wiederholt Situationen mit Kräftegleichgewichten und Wechselwirkungskräften vorgegeben und sie aufgefordert zu begründen, um welche Situation es sich jeweils handelt.

Kontrastierungen durch Gleichzeitigkeit
Kontrastierungen eignen sich besonders gut, um Lernenden dabei zu helfen, leicht verwechselbare Konzepte oder Lösungsstrategien zu unterscheiden. Dies wird durch die Untersuchungen von Esther Ziegler und Elsbeth Stern belegt. Sie konnten zeigen (Ziegler & Stern, 2014, 2016), dass auf diese Weise das Verständnis von Additions- und Multiplikationsproblemen im Algebra-Unterricht lernwirksam und nachhaltig gefördert werden kann.

Ausgangspunkt ist die Beobachtung, dass es Schülerinnen und Schülern schwerfällt, die Regeln für die Lösung von Additions- und Multiplikationsproblemen in der Algebra auseinander zu halten. Es wurde vermutet, dass diese Schwierigkeit dadurch begünstigt wird, dass üblicherweise beide Arten von Regeln separat nacheinander unterrichtet werden. Daher wurde die Hypothese aufgestellt, dass es die Häufigkeit von Verwechslungen reduziert, wenn die Jugendlichen beide Arten von Regeln nicht nacheinander, sondern gleichzeitig kennenlernen. Denn unter dieser Bedin-



gung haben sie mehr Gelegenheiten, die verschiedenen Regeln miteinander zu kontrastieren und auf ihre Unterschiede aufmerksam zu werden.

In der ersten Studie (Ziegler & Stern, 2014) wurde diese Hypothese anhand von Selbstlernmaterialien untersucht, die innerhalb der Schulklassen nach dem Zufallsprinzip verteilt wurden. Die Versuchsgruppe erhielt Materialien, mit denen sie die Regeln für Additions- und Multiplikationsprobleme gleichzeitig erarbeitete. Hingegen bekam die Vergleichsgruppe Materialien, mit denen sie beide Arten von Regeln separat nacheinander kennenlernte. Die zweite Studie (Ziegler & Stern, 2016) war völlig analog aufgebaut und unterschied sich von der ersten nur darin, dass an die Stelle der Selbstlernmaterialien Unterricht mit direkter Instruktion trat. In beiden Studien konnte übereinstimmend festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler aus der Versuchsgruppe den Jugendlichen aus der Vergleichsgruppe sowohl unmittelbar nach dem Unterricht als auch noch drei Monate später deutlich überlegen waren. Besonders stark zeigte sich der Unterschied darin, dass die Vergleichsgruppe nach drei Monaten sehr viel mehr Fehler machte als die Versuchsgruppe.

Selbsterklärungsaufträge

Eine weitere bewährte Lernform sind Selbsterklärungs-Aufträge (Berthold & Renkl, 2010). Sie können so formuliert sein, dass die Lernenden wichtige Konzepte noch einmal erklären und sich dabei überlegen, wie sie ihre Erklärung an den Kenntnisstand einer anderen Person anpassen. Nehmen wir als Beispiel die physikalischen Konzepte des Gewichts und der Masse. Im Alltag werden diese Begriffe meist nicht unterschieden. Deshalb ist es hier wichtig, ein Beispiel zu präsentieren, an dem die Unterscheidung der beiden Begriffe bedeutsam wird. Angenommen, ein Astronaut hebt auf dem Mond einen großen Mondstein auf. Er bemerkt, dass der Mondstein wegen der schwächeren Gravitation des Mondes ein geringeres Gewicht als auf der Erde hat. Der Astronaut zieht daraus fälschlich den Schluss, dass sich der Mondstein wohl auch besonders leicht mit dem Fuß wegschießen lässt.

Das wird ihm aber nicht gut bekommen. Denn trotz des geringeren Gewichts besitzt der Mondstein weiterhin die gleiche Masse, die er auch auf der Erde besitzen würde. Der Astronaut wird sich also ordentlich den Fuß anstoßen. Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler besteht darin, sich zu überlegen, wie sie dem Astronauten den Unterschied zwischen Gewicht und Masse erklären können. Auf diese Weise vergewärtigen sie sich diesen wichtigen Unterschied selber noch einmal und vertiefen ihr Wissen.

Ergebnisse und Konsequenzen für den Unterricht

Die Ergebnisse unserer Studie lassen sich in drei Punkten zusammenfassen:

- › Die Schülerinnen und Schüler aus der Versuchsgruppe hatten ein deutlich besseres Verständnis der Grundkonzepte der Mechanik wie Kraft, Trägheit und Wechselwirkung als die Jugendlichen aus der Vergleichsgruppe, die herkömmlichen Unterricht zu den gleichen Inhalten erhalten hatten. Dieser Vorteil blieb über die Zeit stabil und zeigte sich auch im Test drei Monate später.
- › Die rechnerischen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler aus der Versuchsgruppe waren im Nachtest denen der Vergleichsgruppe überlegen, obwohl sie im Unterricht deutlich weniger Zeit für Rechenaufgaben aufgewendet hatten. Ein gutes Verständnis der Grundkonzepte wirkt sich also auch auf die rechnerischen Fertigkeiten positiv aus. Dieser Vorteil blieb aber über die Zeit nicht stabil. Drei Monate später waren die rechnerischen Fähigkeiten beider Gruppen gleich.
- › Überdurchschnittlich intelligente Mädchen haben besonders stark vom Unterricht mit den optimierten MINT-Materialien profitiert. Sie zeigten sowohl beim Verständnis der Konzepte als auch bei den rechnerischen Fertigkeiten sehr viel stärkere Zugewinne als beim herkömmlichen Unterricht. Dies spricht für unsere Vermutung, dass Mädchen eher bereit sind, sich intensiv mit Physikthemen zu beschäftigen, wenn man ihnen zuvor die Grundkon-

zepte gut erklärt. Die übrigen Mädchen hingegen haben unter beiden Bedingungen gleich viel gelernt. Sie wurden also durch die kognitiv aktivierenden Lernformen nicht überfordert. Während die überdurchschnittlich intelligenten Mädchen vom optimierten Unterricht also sehr stark profitierten, hatten die anderen dadurch keine Nachteile.

Kognitiv aktivierende Lernformen sollten daher im naturwissenschaftlichen Unterricht stärker als bisher eingesetzt werden, denn sie fördern das Verständnis von Konzepten und wirken sich darüber auch positiv auf rechnerische Fähigkeiten aus. Darüber hinaus motivieren sie intelligente Mädchen und junge Frauen dazu, ihre Intelligenz in naturwissenschaftliche Fächer zu investieren. Während der gängige Unterricht mit dem Focus auf Formalisierung Mädchen eher davon abhält, ihr Potential in den Naturwissenschaften zu entfalten, kann eine stärkere Fokussierung auf konzeptuelles Verständnis hier Abhilfe schaffen. ■

Literatur

- › Berthold, K., & Renkl, A. (2010). How to foster active processing of explanations in instructional communication. *Educational Psychology Review*, 22, 25 – 40.
- › Hofer, S., Schumacher, R., Rubin, H., Stern, E. (2018). *Enhancing Physics Learning with Cognitively Activating Instruction: A Quasi-Experimental Classroom Intervention Study*. *Journal of Educational Psychology*.
- › Ziegler, E., & Stern, E. (2014). *Delayed benefits of learning elementary algebraic transformations through contrasted comparisons*. *Learning and Instruction*, 33, 131 – 146.
- › Ziegler, E., & Stern, E. (2016). *Consistent advantages of contrasted comparisons: Algebra learning under direct instruction*. *Learning and Instruction*, 41, 41 – 51.