

Kognitiv aktivierende Lernformen greifen

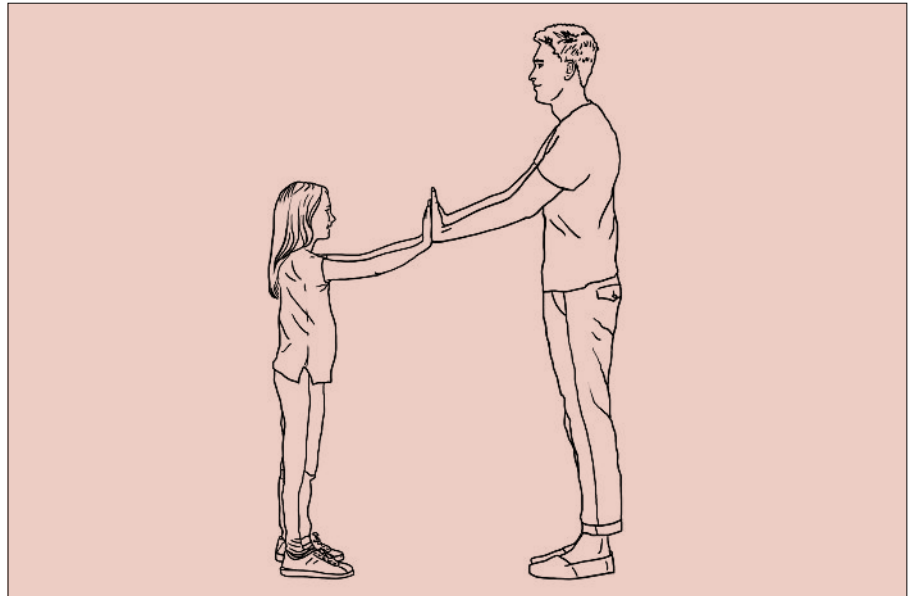
Wie können Schülerinnen und Schüler besser beim Aufbau physikalischen Wissens unterstützt werden? Eine Mechanik-Studie des MINT-Lernzentrums der ETH Zürich zeigt: Lernformen wie Kontrastierungen verhelfen zu einem besseren Verständnis der Grundkonzepte.

Ein kleines Mädchen und ein grosser Mann stehen einander gegenüber und drücken ihre Handflächen kräftig gegeneinander, sodass sie sich im Gleichgewicht befinden. Fragt man Schülerinnen und Schüler, ob die beiden dabei gleich oder unterschiedlich viel Kraft aufwenden, so erhält man häufig die Antwort, das Mädchen brauche mehr Kraft, weil es sich mehr anstrengen müsse als der Mann. Kraft wird im Alltag nämlich oft mit Anstrengung gleichgesetzt. Aus der Sicht von Newtons Mechanik ist diese Antwort allerdings falsch, denn physikalisch gesehen sind die Wechselwirkungskräfte zwischen dem Mädchen und dem Mann gleich gross.

Alltagsvorstellungen beeinflussen uns

Was dem Verständnis von Newtons Mechanik entgegensteht, ist also nicht so sehr das, was uns fehlt, zum Beispiel Ideen und Vorstellungen. Vielmehr ist es das, was wir bereits haben: die Alltagsvorstellungen, die sich im täglichen Leben bewährt haben, aber mit den wissenschaftlichen Konzepten unverträglich sind. Das macht den Mechanikunterricht so anspruchsvoll. Die Lernenden müssen überzeugt werden, ihre Alltagsvorstellungen aufzugeben und sie durch die wissenschaftlich korrekten Konzepte zu ersetzen. Die Lehrpersonen sollten 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. Zentral ist deshalb, dass Lehrende den Lernenden deutlich vor Augen führen, worin die Vorteile der neuen Konzepte liegen: Mit ihnen lassen sich Phänomene besser erklären als mit Alltagsvorstellungen. Im herkömmlichen Unterricht gelingt dies allerdings nicht immer im gewünschten Umfang.

Das Verständnis der Newtonschen Mechanik bereitet aber auch Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten, die in anderen Fächern sehr gute Leistungen zeigen. Zum Beispiel haben Untersuchungen bei Studienanfängerinnen und -anfängern der ETH Zürich ergeben, dass vielen von ihnen die Prinzipien der Mechanik nicht in ausreichendem Mass vertraut sind. Dies, obschon sie sich für technische und



Wer wendet mehr Kraft auf, das Mädchen oder der Mann? Illustration: © MINT-Lernzentrum, ETH Zürich

ingenieurwissenschaftliche Studiengänge immatrikuliert haben. Deshalb stellt sich die Frage, wie sich die knappe Unterrichtszeit 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.

Wirksame Lernformen

In der erwähnten Studie wurden verschiedene kognitiv aktivierende Lernformen eingesetzt, die sich in empirischen Vergleichsstudien als besonders lernwirksam erwiesen haben. Eine dieser Lernformen, der Einsatz von Kontrastierungen, wird im Folgenden exemplarisch vorgestellt. Ein Körper hängt an einem Seil. Auf diesen Körper wirken zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung – 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 die Situation dieses Kräftegleichgewichts viel mit der eingangs geschilderten Situation des Mädchens und des Mannes zu

tu, die ihre Handflächen gegeneinander drücken. 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 handelt es sich um Wechselwirkungs- bzw. Reaktionskräfte, 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 Reaktionskraft.

Die Verwechslung dieser beiden Situationen ist eine typische Fehlerquelle im Mechanikunterricht. In der Studie des Lernzentrums sind die Schülerinnen und Schüler mittels Kontrastierungen darin unterstützt worden, zwischen den Situationen zu differenzieren. Die Forschenden haben den Lernenden dabei wiederholt Situationen mit Kräftegleichgewichten und mit Wechselwirkungskräften vorgegeben und sie aufgefordert zu begründen, um welche Situation es sich handelt.

Kontrastierungen eignen sich besonders gut, um Schülerinnen und Schülern dabei zu helfen, leicht verwechselbare Konzepte oder Lösungsstrategien klar zu unterscheiden. Die Untersuchungen von Esther Ziegler und Elsbeth Stern bestärken diese Methode. Innerhalb zweier Untersuchungen zum Mathematikunterricht zeigen sie auf, dass mittels Kontrastierungen das Verständnis von Additions- und Multiplikationsproblemen im Algebra-Unterricht lernwirksam und nachhaltig gefördert werden kann.

Überdurchschnittlich intelligente Mädchen profitieren

Die Ergebnisse der Studie lassen sich in drei Punkte zusammenfassen:

- Die Schülerinnen und Schüler aus der Versuchsgruppe weisen ein deutlich besseres Verständnis der Grundkonzepte der Mechanik wie Kraft, Trägheit und Wechselwirkung auf als die Jugendlichen aus der Vergleichsgruppe, die herkömmlichen Unterricht zu den gleichen Inhalten erhalten haben. Demnach bewähren sich die kognitiv aktivierenden Lernformen. Das bessere Verständnis der Versuchsgruppe bleibt zudem stabil und zeigt sich auch im Test, der nach drei Monaten erfolgt.
- Neben dem besseren Verständnis sind auch die rechnerischen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler aus der Versuchsgruppe besser, obwohl sie im

Unterricht deutlich weniger Zeit für Rechenaufgaben aufgewendet haben. Dies spricht dafür, dass sich ein gutes Verständnis der Grundkonzepte positiv auf die rechnerischen Fertigkeiten auswirkt. Dieser Vorteil bleibt aber über die Zeit nicht stabil. Drei Monate später sind die rechnerischen Fähigkeiten beider Gruppen gleich.

- Im Hinblick auf die spezifische Förderung von Mädchen hat sich gezeigt, dass überdurchschnittlich intelligente Mädchen besonders stark vom Unterricht mit den optimierten MINT-Materialien profitieren. Sie zeigen sowohl beim Verständnis der Konzepte als auch bei den rechnerischen Fertigkeiten sehr viel stärkere Zugewinne als beim herkömmlichen Unterricht. Dies spricht für die Vermutung, dass Mädchen eher bereit sind, sich intensiv mit Physikthemen zu beschäftigen, wenn man ihnen zuvor die Grundkonzepte gut erklärt. Die übrigen Mädchen lernen hingegen unter beiden Bedingungen gleich viel. Sie wurden durch die kognitiv aktivierenden Lernformen nicht überfordert. Sie haben keine Nachteile, während die überdurchschnittlich intelligenten Mädchen vom optimierten Unterricht sehr stark profitieren.

Was folgt daraus für den naturwissenschaftlichen Unterricht? Kognitiv

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

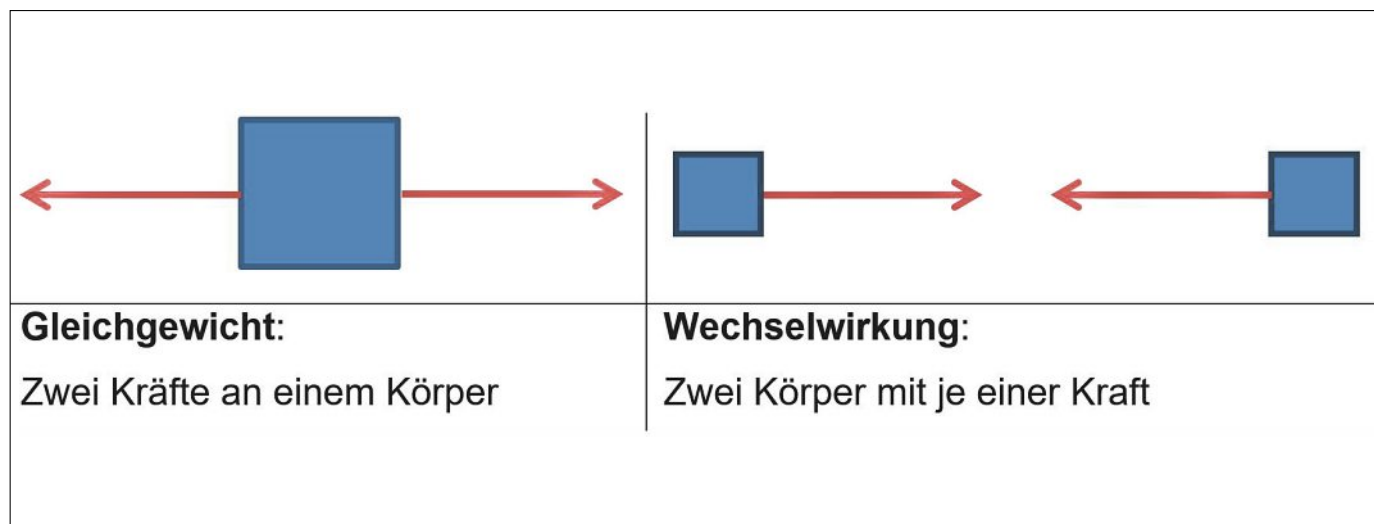
Ralph Schumacher
Leiter MINT-Lernzentrum, ETH Zürich

Weiter im Text

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.



Kontrastierung ist eine bewährte Methode, um zwischen verwechselbaren Konzepten wie zum Beispiel Gleichgewicht und Wechselwirkung zu unterscheiden. Illustration: © MINT-Lernzentrum, ETH Zürich