

Der produktive Umgang mit Fehlern

Fehler als Lerngelegenheit und Orientierungshilfe

Von Ralph Schumacher

Ich irre, also lerne ich – der Prozess des verstehenden Lernens

Wie lassen sich Fehler beim Aufbau von Wissen nutzen? Um die Bedeutung von Fehlern als Lerngelegenheiten verstehen zu können, muss man sich zuerst den wichtigen Unterschied zwischen bloßer Konditionierung und verstehendem Lernen vergegenwärtigen. Wenn man einen Hund dressiert, indem man ihn belohnt, wenn er auf ein bestimmtes Kommando hin ein bestimmtes Verhalten zeigt, dann handelt es sich um Konditionierung durch einen positiven Reiz. Denn der Hund wird durch die Belohnung dazu gebracht, das gewünschte Verhalten zu zeigen. Konditionierung liegt auch vor, wenn man einer Springmaus beibringt, auf ein bestimmtes Tonsignal hin die Seiten in ihrem Käfig zu wechseln, um auf diese Weise einem für sie unangenehmen leichten Stromschlag zu entgehen. In diesem Fall handelt es sich um Konditionierung durch Vermeidung eines negativen Reizes. Beiden Fällen von Konditionierung ist gemeinsam, dass die Tiere nicht von sich aus durch Überlegung und Einsicht in Gründe, sondern schlicht durch Belohnung oder Bestrafung dazu gebracht werden, ein bestimmtes Verhalten zu zeigen.

Das verstehende Lernen, um das es in der Schule geht, ist davon grundsätzlich verschieden. Denn im Mittelpunkt des Schulunterrichts stehen weitaus anspruchsvollere geistige Leistungen wie das Verstehen von Konzepten, die Einsicht in Gründe und das Verfügen über Erklärungen. Damit wir aber komplexe Zusammenhänge verstehen können, müssen wir sel-

ber in einem Prozess von Versuch und Irrtum – entweder praktisch oder zumindest in Gedankenexperimenten – ausprobieren, welche Optionen funktionieren und welche Möglichkeiten aus bestimmten Gründen ausgeschlossen sind. Denn zum Verstehen gehört nicht nur, dass wir wissen, wie etwas funktioniert, sondern auch, dass wir wissen, aus welchen Gründen es auf andere Weise eben nicht funktioniert. So erwarten wir von jemandem, der zum Beispiel das physikalische Prinzip des Auftriebs verstanden hat, dass er uns nicht nur erklären kann, warum ein Schiff aus Eisen im Wasser schwimmt, sondern auch, warum ein massives Eisenstück im Wasser untergeht.

Das verstehende Lernen ist mit dem Prozess der Theoriebildung in den Naturwissenschaften vergleichbar. Man bemüht sich in einem kontinuierlichen Korrektur- und Revisionsprozess, seine Hypothesen immer besser an die Beobachtungen anzupassen, indem man seine anfänglichen Vermutungen so lange verbessert oder durch neue ersetzt, bis sie schließlich die Wirklichkeit zutreffend darstellen. Da Lernprozesse also ganz wesentlich Prozesse sind, in denen falsche Überzeugungen revidiert und durch neue ersetzt werden, gelangen wir nur über Fehler zu Einsichten in Gründe und Ursachen. Fehler sind deshalb wichtige Lerngelegenheiten, die einem die Möglichkeit bieten, im Zuge der Auseinandersetzung mit Problemen etwas Neues zu lernen.

Wer zum Beispiel das Schwimmen von Schiffen zunächst mit dem falschen Prinzip erklärt, dass die Luft die Schiffe nach oben saugt, der sieht sich schnell mit einer Reihe von Schwierigkeiten konfrontiert (zum Verständnis des Auftriebsprinzips bei Grundschulkindern siehe Hardy et al. 2006). Denn erstens stellt sich die Frage, warum nur hohle Eisenschiffe, aber nicht auch massive Eisenstücke von der Luft nach oben gesaugt werden und im Wasser schwimmen. Zweitens ergibt sich das Problem, dass man mit diesem Prinzip nicht erklären

kann, warum ein Holz- und ein Eisenschiff mit gleichen Abmessungen und gleichem Innenraum trotzdem unterschiedlich tief im Wasser liegen. Gesucht ist also ein neues Prinzip, das diese Fakten besser erklären kann als das anfangs angenommene Prinzip, dass die Luft schwimmende Körper nach oben saugt. Die Auseinandersetzung mit diesen Problemen stellt damit eine Lerngelegenheit dar, die dem Lernenden die spezifischen Anforderungen vor Augen führt, die eine korrekte Erklärung des Schwimmens und Sinkens von Körpern im Wasser erfüllen muss. Auf diese Weise wird schließlich die Einsicht in das korrekte Prinzip des Auftriebs erleichtert. Denn wer dieses Konzept in der Auseinandersetzung mit diesen Problemen erwirbt, der erlangt damit ein tiefer gehendes Verständnis als jemand, dem das Prinzip des Auftriebs nur beschrieben wird. Es ist deshalb keine geeignete Lernstrategie, Fehler beim Aufbau von Wissen zu vermeiden. Dies würde nämlich nur dazu führen, dass wir lediglich Beschreibungen auswendig lernen oder standardisierte Lösungsschemata einüben, ohne dabei ein tiefer gehendes Verständnis zu erwerben.

Fehler als Orientierungshilfen für den Lehrer

Eine weitere Funktion, in der sich Fehler beim Aufbau von Wissen nutzen lassen, betrifft ihre Rolle als Orientierungshilfen für den Lehrenden. Bei den Voraussetzungen für das schulische Lernen handelt es sich in erster Linie um Wissensvoraussetzungen. Um zum Beispiel das physikalische Konzept der Dichte verstehen zu können, muss man bereits wissen, auf welche physikalischen Eigenschaften sich die Begriffe des Gewichts und des Volumens beziehen. Ebenso muss man bereits Kenntnisse über die unterschiedlichen Arten der Fortpflanzung haben, um verstehen zu können, dass Tiere nicht anhand ihres Lebensraumes, son-

— |

— |

dem anhand ihrer Fortpflanzungsweise klassifiziert werden – und dass Delfine und Wale daher nicht zu den Fischen, sondern zu den Säugetieren zählen. Solche Wissensvoraussetzungen muss ein Lehrer kennen, um mit seinem Unterricht optimal an das Vorwissen der Schüler anschließen zu können (zur Bedeutung des Vorwissens für das Lernen siehe Neubauer & Stern 2007 sowie Stern 2001a, 2001b, 2005, 2006).

Als Lehrer muss man daher erstens wissen, welche Anforderungen an das Vorwissen der Schüler mit bestimmten Lernzielen verbunden sind: Über welche Konzepte müssen die Schüler bereits verfügen, und wie muss ihr Wissen organisiert sein, damit sie in der Lage sind, bestimmte Inhalte zu verstehen und bestimmte Probleme zu lösen? Zweitens muss man wissen, wie die Kenntnisse der Schüler tatsächlich beschaffen sind: Was haben sie bereits verstanden, und in welchen Bereichen ist ihr Wissen noch unvollständig oder fehlerhaft? Welche Missverständnisse und Fehler sind zu erwarten, wenn sie mit diesem Wissen versuchen, bestimmte Aufgaben zu bewältigen?

An diesem Punkt zeigt sich die Bedeutung von Fehlern als Orientierungshilfen, die dem Lehrenden Aufschluss darüber geben können, welche Misskonzepte für bestimmte Fehlschlüsse und Leistungsdefizite der Schüler verantwortlich sind. Wenn zum Beispiel ein Schüler immer wieder einen bestimmten Fehler bei der Berechnung der Wasserverdrängung von Körpern macht, dann sollte man überprüfen, ob er den Unterschied zwischen dem Gewicht und der Dichte von Körpern wirklich verstanden hat. Ebenso verhält es sich, wenn Schüler Delfine und Wale zu den Fischen oder Fledermäuse zu den Vögeln rechnen. In diesem Fall sollte man ihnen noch einmal erklären, dass für die Klassifikation von Tieren nicht der Lebensraum, sondern die Art der Fortpflanzung relevant ist. Indem uns Fehler auf diese Weise Informationen über die Denkweisen und die Misskonzepte der Lernenden liefern, stellen sie eine

wichtige Orientierungshilfe für die Unterrichtsgestaltung sowie für die individuelle Förderung dar. Denn um durch gezielte Maßnahmen Abhilfe bei Fehlschlüssen und Leistungsdefiziten schaffen zu können, muss man natürlich zunächst wissen, welche Misskonzepte ihnen im Einzelnen zugrunde liegen. Die Bestimmung und Analyse von Fehlern ist daher eine zentrale Voraussetzung für einen erfolgreichen Unterricht, der sich an dem Vorwissen der Schüler orientiert.

Lernmotivation durch Überwindung von Fehlern

Fehler lassen sich auch dadurch für den Aufbau von Wissen nutzen, dass sich ihre Überwindung positiv auf die Lernmotivation auswirken kann. Lernprozesse sind in mehreren Hinsichten von der Lernmotivation abhängig. Diese erhöht zum Beispiel das Aktivitätsniveau und beeinflusst so den Einsatz und den Zeitaufwand, mit dem sich jemand um das Erreichen eines Lernziels bemüht. Darüber hinaus hängt es von unserer Motivation ab, welche Lernziele wir uns selbst setzen und mit welcher Ausdauer wir diese Ziele auch angesichts von Schwierigkeiten verfolgen (Davis & Thomas 1989, Maehr & Meyer 1997). Grundsätzlich wird zwischen extrinsischer und intrinsischer Motivation unterschieden. Um extrinsische Motivation handelt es sich, wenn der Handlungsanreiz wie zum Beispiel beim Ausfüllen von Einkommenssteuererklärungen außerhalb der betreffenden Tätigkeit liegt. Hingegen spricht man von intrinsischer Motivation, wenn die Tätigkeit wie beim Musizieren oder Segeln selbst die Quelle der Motivation ist.

Die extrinsische Motivation, die sich an äußeren Anreizen wie Schulnoten oder anderen Belohnungen orientiert, ist für das Lernen zwar wichtig, aber sie hat auch ihre Grenzen. Denn Schüler, die in erster Linie eine extrinsische Lernmotivation auf-

weisen, neigen dazu, die Belohnung nach Möglichkeit mit einem Minimum an Aufwand zu erreichen und Lernprozesse abubrechen, sobald der externe Anreiz wegfällt. Sie bereiten sich zum Beispiel auf Klassenarbeiten gerade nur so weit vor, wie es eben nötig ist, um keine schlechte Note zu bekommen, und sie werden sich nicht aus eigenem Antrieb mit dem Unterrichtsstoff auch außerhalb der Schule beschäftigen. Hingegen verfolgen Schüler mit intrinsischer Lernmotivation ein Lernziel aus eigenem Antrieb. Sie sind im Allgemeinen beim Lernen konzentrierter und lassen sich von Misserfolgen weniger leicht vom Lernen abbringen (Spaulding 1992, Stipek 1993). Es stellt sich daher die Frage, mit welchen Mitteln sich die intrinsische Lernmotivation am besten fördern lässt.

Ein geeigneter Weg zur Verstärkung der intrinsischen Lernmotivation ist das Erleben der eigenen Kompetenz. Da Menschen das Grundbedürfnis haben, ihre eigene Kompetenz in der Interaktion mit ihrer Umwelt zu erfahren, lässt sich ihre Motivation durch die Erfahrung ihrer Kompetenz beziehungsweise durch das Erleben von Selbstwirksamkeit verstärken. Einschätzungen der eigenen Fähigkeiten beeinflussen das Verhalten und Erleben in vielfältiger Weise und spielen in schulischen Lernsituationen eine bedeutende Rolle. Viele Untersuchungen belegen die Bedeutung des Erlebens der eigenen Kompetenz für das schulische Lernen. Sie zeigen nämlich, dass bei Schülern mit vergleichbaren geistigen Fähigkeiten diejenigen Schüler, die aufgrund der Erfahrung ihrer Selbstwirksamkeit ein positiveres Konzept ihrer eigenen Fähigkeiten besitzen, im Allgemeinen auch die besseren Leistungen bringen (Schöne et al. 2003).

Praktische Anleitungen zum produktiven Umgang mit Fehlern

Um Fehler im Unterricht als Lerngelegenheiten, als Orientierungshilfen für den Lehrenden sowie zur Förderung der Lernmotivation zu nutzen, sollten daher die folgenden praktischen Anleitungen beachtet werden:

(1) Problemorientierter Unterricht

Im Mittelpunkt des Unterrichts sollte die gemeinsame Suche nach Lösungswegen und die Diskussion von Fehlern und Missverständnissen stehen, um Fehler auf diese Weise als Lerngelegenheiten nutzen zu können. Wenn es zum Beispiel im Mathematikunterricht darum geht, Textaufgaben des folgenden Typs zu lösen „Peter hat 7 Murmeln. Sabine hat 13 Murmeln. Wie viele Murmeln muss Peter noch bekommen, damit er genauso viele Murmeln hat wie Sabine?“, dann könnte sich bei der gemeinsamen Diskussion der Lösungswege herausstellen, dass die Schüler zwei ganz unterschiedliche Strategien anwenden, um zu denselben Ergebnissen zu kommen. Während die einen den Differenzbetrag einfach durch Abzählen ermitteln, errechnen ihn die anderen, indem sie die kleinere Zahl von der größeren abziehen. Da sich nur die zweite Strategie auch auf größere Differenzbeträge effizient anwenden lässt, ist es also wichtig, dass man den Kindern, die bislang der Abzählstrategie gefolgt sind, erklärt, warum die zweite Strategie besser ist. Dieser wichtige Unterschied zwischen zwei Lösungswegen würde jedoch unbemerkt bleiben, konzentrierte man sich im Unterricht ausschließlich auf das Abfragen der Ergebnisse.

Lösungen zu suchen und Lösungswege zu besprechen ist deshalb mindestens so wichtig wie Lösungen zu finden. Nicht die Bestrafung von Fehlern mit schlechten Noten, sondern die Belohnung von Lernerfolgen sollte im Vordergrund stehen. Schließlich lernt man am besten, wenn man Fehler machen

darf und die Möglichkeit erhält, über Versuch und Irrtum forschend tätig zu werden. Eigene Ideen bieten oft mehr Lernmöglichkeiten als übernommene standardisierte Lösungsverfahren. Diese Art des problemorientierten Lernens sollte daher an die Stelle eines ergebnisorientierten Unterrichts treten, der sich in erster Linie auf das Einüben schematisierter Lösungsmethoden und das Abfragen von Ergebnissen konzentriert. Dabei ist es ebenfalls wichtig, den Schülern zu signalisieren, dass in Leistungssituationen mit Fehlern natürlich anders umgegangen wird als in Lernsituationen.

(2) Fehleranalyse als Mittel gegen die Wiederholung von Fehlern Ein weiterer Weg, um Fehler beim Aufbau von Wissen zu nutzen, besteht darin, sie zusammen mit den Schülern eingehend zu analysieren. Ignoriert man Fehler, indem man sich im Unterricht allein darauf konzentriert, dass die Schüler die richtigen Ergebnisse präsentieren, ohne mit ihnen richtige und falsche Lösungswege zu besprechen, so begünstigt man die Wiederholung von Fehlern. Denn diejenigen Schüler, die falsche Ergebnisse präsentiert haben, erhalten auf diese Weise keine klare Rückmeldung darüber, was im Einzelnen an ihrem Lösungsweg falsch war, und sie wissen daher auch nicht, was sie beim nächsten Mal besser machen sollen. Aus diesem Grund ist die Fehleranalyse in Verbindung mit gezielter individueller Instruktion der beste Weg, um die Wiederholung von Fehlern zu verhindern. Wer herausgefunden hat, worin der eigene Fehler bestand, der hat eigene Denkmuster identifiziert und damit die Chance, diese zu verändern. Manche Autoren geben daher den Ratschlag, bei komplexen Inhaltsgebieten die Beschreibung des Lösungswegs zum festen Bestandteil der Aufgabenstellung zu machen sowie Fehlerlisten zu führen, in denen die eigenen Fehler zusammen mit deren Analyse und dem richtigen Lösungsweg aufgezeichnet werden. Auf diese Weise werden die

Unterschiede zwischen den richtigen und den falschen Lösungswegen noch einmal besonders in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der Schüler gerückt.

(3) Fehler als Orientierung für den Lehrenden nutzen

Guter Unterricht zeichnet sich zudem dadurch aus, dass er sich am Vorwissen der Schüler orientiert. Fehler sollten deshalb als wichtige Information für die Planung des Unterrichts sowie für die individuelle Förderung genutzt werden. Auf der Grundlage der Fehleranalyse sollten gezielte Instruktionen zur Beseitigung der Misskonzepte entwickelt werden, die für das Zustandekommen von Fehlern und Leistungsdefiziten verantwortlich sind.

(4) Arbeiten in Fehlergruppen

Die Beschäftigung mit den eigenen Fehlern kann unter Umständen demotivierend wirken. Dies trifft natürlich vor allem auf solche Schüler zu, die viele Fehler machen. Um dieses Problem zu lösen, kann man diese Schüler in Kleingruppen mit gleichartigen Fehlertypen an fremden Fehlern arbeiten lassen, die zum Beispiel aus anonymisiertem Material vorangegangener Übungen übernommen werden. Denn für diese Schüler ist es sehr viel befriedigender, die Fehler anderer Personen aufspüren zu können, als sich mit den eigenen Misserfolgen beschäftigen zu müssen.

(5) Förderung des selbstständigen Korrigierens von Fehlern

Da sich das selbstständige Korrigieren von Fehlern durch das Erleben der eigenen Kompetenz und Lernfortschritte positiv auf das Konzept der eigenen Fähigkeiten sowie auf die Lernmotivation auswirken kann, sollten den Schülern außerdem Strategien vermittelt werden, die sie in die Lage versetzen, selbstständig nach Fehlern zu suchen und diese zu korrigieren. Worin sollen diese Strategien und Kenntnisse im Einzelnen bestehen?

Besonders eingehend wurde bisher von den Psychologen Stellan Ohlsson und Ernest Rees am Beispiel mathematischen Wissens untersucht, welche Art von Verständnis erforderlich ist, um selbstständig nach Fehlern suchen und diese korrigieren zu können (Ohlsson & Rees 1991).

Eine unter Schülern nicht seltene Haltung besteht darin, die Mathematik als eine Ansammlung von mehr oder weniger willkürlichen Regeln und Prinzipien zu betrachten, die man nicht verstehen, sondern bestenfalls auswendig lernen kann. Schüler mit dieser Haltung eignen sich mathematische Lösungsverfahren daher durch Auswendiglernen und nicht durch Einsicht in mathematische Konzepte und Prinzipien an. Sie tendieren folglich dazu, Rechenoperationen weitgehend mechanisch als bloße Verfahren zur Umgruppierung von Symbolen auszuführen, ohne die mathematische Bedeutung der einzelnen Schritte zu erfassen und ohne sie als Operationen zu betrachten, die sich aus den Eigenschaften von Zahlen und ihren Relationen zueinander ergeben.

Im Rahmen der psychologischen Forschung zum Mathematikverständnis hat sich gezeigt, dass Regeln für Rechenoperationen und Lösungsverfahren, die auf diese Weise ohne konzeptuelles Verständnis auswendig gelernt werden, besonders fehleranfällig sind, schnell wieder vergessen werden und sich zudem kaum auf neue Probleme übertragen lassen. Der einzige Weg, um diese Defizite zu beseitigen, besteht nach der Lehr-Lern-Forschung darin, das Auswendiglernen durch konzeptuelles Verstehen von Zahlen und mathematischen Prinzipien zu ersetzen. Denn nur auf diese Weise lässt sich mathematisches Wissen etablieren, das deutlich weniger fehleranfällig ist, länger im Gedächtnis bleibt und zudem auf neue Probleme flexibel anwendbar ist. Hinzu kommt, dass konzeptuelles Verstehen die entscheidende Voraussetzung dafür ist, eigene Fehler selber bemerken und korrigieren zu können.

— | | —

Wodurch zeichnet sich nun das konzeptuelle Verstehen aus, und aufgrund welcher Eigenschaften versetzt es uns in die Lage, Fehler selber zu erkennen und zu korrigieren? Konzeptuelles Verstehen wird als Wissen von Prinzipien charakterisiert. Das zentrale Merkmal dieses Prinzipienwissens besteht darin, dass man weiß, welche mathematischen Operationen zulässig und welche unzulässig sind. Es ist damit in erster Linie ein Wissen über die relevanten Einschränkungen und Möglichkeiten. Wenn man also eine Rechenoperation oder ein Lösungsverfahren mit konzeptuellem Verständnis als Grundlage ausführt, dann bezieht man dabei jeden einzelnen Schritt dieser Operationen und Verfahren auf sein mathematisches Wissen und überprüft, ob diese Schritte mit diesem Wissen übereinstimmen und damit zulässig beziehungsweise korrekt sind.

Es ist nun leicht einzusehen, dass konzeptuelles Verstehen deutlich weniger fehleranfällig ist, als wenn man etwas nur auswendig gelernt hat. Denn wenn man in der Lage ist, sich die Gründe dafür zu vergegenwärtigen, warum man beispielsweise eine Zahl durch einen Bruch dividiert, indem man sie mit dessen Kehrwert multipliziert, dann schlägt sich dieses Verständnis auch in größerer Ausführungssicherheit nieder. Man kommt dann zum Beispiel nicht mehr auf den falschen Gedanken, auch von der ersten Zahl den Kehrwert zu bilden. Außerdem vergisst man eine mathematische Regel, die man konzeptuell verstanden hat, natürlich nicht so leicht, weil sie sich viel besser als auswendig gelernte Regeln an bereits vorhandenes Vorwissen anbinden lässt.

Der entscheidende Punkt betrifft jetzt die Fähigkeit zur selbstständigen Fehlerkorrektur. Wer Rechenoperationen und Lösungsverfahren auf der Grundlage konzeptuellen Verstehens ausführt und in der Lage ist, die einzelnen Schritte auf sein mathematisches Wissen zu beziehen, um ihre Richtigkeit zu kontrollieren, der ist auch in der Lage, sich selber zu korrigieren –

wenn er nämlich bemerkt, dass ein bestimmter Schritt mit seinem mathematischen Wissen unverträglich ist. Wer hingegen Rechenoperationen und Lösungsverfahren nur auswendig gelernt hat, dem fehlt das konzeptuelle Wissen davon, welche Schritte zulässig und welche unzulässig sind. Folglich ist er auch nicht in der Lage, seine einzelnen Rechenschritte auf sein mathematisches Wissen zu beziehen und auf diese Weise auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Aus diesen Gründen sollte ein wichtiges Lernziel im Mathematikunterricht darin bestehen, den Schülern ein konzeptuelles Verständnis zu vermitteln, das ihnen ermöglicht, Rechen- und Lösungsverfahren aus mathematischen Konzepten und Prinzipien herzuleiten, damit sie in der Lage sind, ihre eigenen Rechenschritte mit ihrem mathematischen Wissen zu vergleichen sowie Fehler selbstständig zu entdecken und zu korrigieren.

Fehlerkorrektur und Gedächtnisleistungen

Den bisher dargestellten Überlegungen zum produktiven Umgang mit Fehlern ist die Voraussetzung gemeinsam, dass die Schüler durch ihre Fehler beim Lernen nicht abgelenkt und dauerhaft auf die falsche Spur gebracht werden. Denn nur unter der Voraussetzung, dass die Fehler, die man beim Aufbau von Wissen macht, keinen störenden Einfluss auf die späteren Leistungen haben, lassen sich Fehler in der dargestellten Weise in einem fehlerfreundlichen Lernklima als Lerngelegenheiten und Orientierungshilfen sowie zur Verbesserung der Lernmotivation einsetzen. Aber trifft diese Voraussetzung überhaupt zu? Um diesen Punkt zu klären, soll im Folgenden darauf eingegangen werden, wie sich die Korrektur von Fehlern auf das Wissen und die Leistungen von Schülern tatsächlich auswirkt.

Es gibt eine lange Tradition in der pädagogischen und psychologischen Forschung, der zufolge die beste Lernstrategie darin besteht, Fehler vollständig zu vermeiden. Sie wird unter anderem durch eine Reihe von Untersuchungen gestützt, mit denen gezeigt werden soll, auf welche Weise fehlerhafte oder missverständliche Informationen den Abruf korrekter Antworten und Lösungsstrategien aus dem Gedächtnis erschweren (Anderson & Reder 1999, Ayers & Reder 1998, Wright & Loftus 1998). Diese Beeinträchtigung der Gedächtnisleistung soll vor allem dadurch zustande kommen, dass fehlerhafte und korrekte Informationen im Gedächtnis miteinander konkurrieren und sich so gegenseitig behindern. Eine solche Art der Störung wird auch als Interferenz bezeichnet. Fehlerhafte Information erschwert demnach den Abruf korrekter Information aus dem Gedächtnis, weil sie mit ihr interferiert. Wer nun im Rahmen eines fehlerfreundlichen Lernklimas erst einmal mehrere falsche Lösungswege ausprobiert, bevor er auf die richtige Lösung stößt, der wird nach diesem Modell später beim Abruf der richtigen Antworten und Lösungsstrategien mehr Schwierigkeiten haben als jemand, dem von vorne herein die richtige Lösung präsentiert wurde, und in dessen Kopf sich kein störendes Wissen über falsche Lösungswege befindet.

Erschwerend kommt hinzu, dass Fehlerkorrekturen bislang als besonders schwierig galten, wenn Personen die zu korrigierenden Überzeugungen zunächst mit großer Zuversicht und Gewissheit für wahr halten (VanZandt 2000). Es sollte unter diesen Umständen also besonders schwer sein, die falschen Ansichten durch korrektes Wissen zu ersetzen und dieses dauerhaft im Gedächtnis zu etablieren. Um diesen Zusammenhang genauer zu klären, wurde in der gerade erst veröffentlichten psychologischen Studie von Brady Butterfield und Janet Metcalfe genauer untersucht, wie sich das Vertrauen in eine falsche Überzeugung und die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen

Revision dieser Überzeugung zueinander verhalten (Butterfield & Metcalfe, 2006; siehe auch Butterfield & Metcalfe, 2001). Die Vermutung bestand zunächst natürlich darin, dass falsche Überzeugungen mit einem hohen Grad an Gewissheit schwieriger zu korrigieren sind als Überzeugungen mit einem geringeren Grad an Gewissheit. Tatsächlich zeigte sich in den Untersuchungen aber, dass gerade das Gegenteil der Fall ist! Fehlerhafte Annahmen, die mit großer Überzeugung vertreten wurden, waren deutlich erfolgreicher und nachhaltiger korrigierbar als Ansichten, in die die Versuchspersonen nur geringes Zutrauen hatten. Der Umstand, dass eine fehlerhafte Annahme mit großer Überzeugung vertreten wird, ermöglicht daher die Vorhersage, dass die betreffenden Personen, nachdem sie in einer korrigierenden Rückmeldung die richtigen Informationen erhalten haben, spätere Tests mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit korrekt beantworten werden.

Folglich ist es für die späteren Leistungen nicht schädlich, wenn man sich im Zuge des Aufbaus von Wissen intensiv mit Lösungswegen beschäftigt, die sich später als falsch herausstellen. Stattdessen führt das Fehlermachen sogar dazu, dass die richtigen Lösungen besonders gut im Gedächtnis verankert werden. Diese Ansicht wird auch durch die Überlegungen gestützt, die von den Psychologen, die diese Untersuchung durchgeführt haben, zur Erklärung dieses Effekts angeboten werden. Demnach ist die Rückmeldung, dass eine bestimmte Annahme falsch ist, für die betreffenden Personen weitaus überraschender, wenn diese Annahme von ihnen mit großer Überzeugung für wahr gehalten wurde, als wenn es sich um eine Annahme von geringerem Überzeugungsgrad handelt. Aus diesem Grund reagieren Personen auf korrigierende Rückmeldungen mit besonders großer Aufmerksamkeit, wenn diese Rückmeldungen Ansichten betreffen, die sie bislang mit großer Überzeugung für wahr gehalten haben. Diese deutlich größere Aufmerksam-

keit führt schließlich dazu, dass das korrekte Wissen in diesen Fällen besser im Gedächtnis gespeichert wird als in den Fällen, bei denen es um Ansichten von geringerer Überzeugung geht.

Um diese Erklärung empirisch zu überprüfen, wurde in mehreren Experimenten die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen gemessen, während sie Rückmeldung über die Wahrheit oder Falschheit ihrer Annahmen erhielten. Dazu erhielten sie die Aufgabe, parallel zu den Rückmeldungen auch auf Tonsignale zu achten, die ihnen nach dem Zufallsprinzip innerhalb des gleichen Zeitraums präsentiert wurden. Dabei zeigte sich ein deutlicher positiver Zusammenhang zwischen der Überzeugungsstärke, mit der eine Annahme für wahr gehalten wurde, und der Aufmerksamkeit, die sich auf die für die Versuchspersonen überraschende Rückmeldung richtete, dass die betreffende Annahme falsch sei. Je stärker die Überzeugung war, mit der die Annahme geglaubt wurde, umso geringer war also die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf die Tonsignale. Da sich ihre Aufmerksamkeit in diesen Fällen nämlich überwiegend auf die Rückmeldungen richtete, blieb ihnen für die Tonsignale kaum noch Aufmerksamkeit übrig. Außerdem zeigte sich in anschließenden Tests, dass die Rückmeldungen, auf die mit größerer Aufmerksamkeit geachtet wurde, auch zu besseren Leistungen führten.

Diese Experimente belegen also deutlich, dass sich Fehler beim Aufbau von Wissen nicht nur als Lerngelegenheiten und Orientierungshilfen sowie zur Verbesserung der Lernmotivation produktiv nutzen lassen, sondern dass der Umgang und die Auseinandersetzung mit Fehlern darüber hinaus auch für die Verankerung gelernter Inhalte im Gedächtnis von entscheidender Bedeutung sind. Irren ist also nicht nur menschlich, sondern unter bestimmten Bedingungen tatsächlich auch sehr nützlich!

Die Bedeutung der Selbsterklärung von Fehlern für das Lernen

Die vorangegangenen Überlegungen haben sich in erster Linie mit Fehlern befasst, die Schüler beim Lernen von sich aus machen. Aber wie verhält es sich mit dem didaktischen Nutzen konstruierter Fehler? Lassen sich schulische Lernprozesse fördern, indem man zu diesem Zweck entwickelte Fehler in den Unterricht einbezieht und die Schüler beispielsweise dazu auffordert zu erklären, warum bestimmte Lösungsvorschläge nicht korrekt sind? Eine differenzierte Antwort auf diese Frage geben die Untersuchungen des Entwicklungspsychologen Robert Siegler (2002) zum Einfluss von Selbsterklärungen auf das Lernen, auf die abschließend eingegangen werden soll.

Selbsterklärungen sind Erklärungen, die man sich beim Lernen selbst gibt. Werde ich zum Beispiel im Physikunterricht mit der Tatsache konfrontiert, dass Körper mit ganz unterschiedlicher Masse die gleiche Kraft ausüben können, dann kann ich mir dies erklären, indem ich mir vergegenwärtige, dass Kraft das Produkt aus Masse und Beschleunigung ist und dass aus diesem Grund eine geringere Masse durch eine größere Beschleunigung kompensiert werden kann. Für verschiedene Schulfächer wie Physik, Mathematik und Biologie konnte in mehreren voneinander unabhängigen Untersuchungen gezeigt werden, dass ein positiver Zusammenhang zwischen den Lernleistungen und der Häufigkeit besteht, mit der sich Schüler Zusammenhänge selbst erklären (Chi et al. 1989, Chi et al. 1994, Chi 2000, Ferguson-Hessler & de Jong 1990, Pirolli & Recker 1994, Wood et al. 1990). Schüler mit guten Lernerfolgen unterscheiden sich also von Schülern mit geringeren Lernerfolgen unter anderem darin, wie häufig sie sich selbst erklären, was sie gerade lernen.

Empirische Belege für einen solchen positiven Zusammenhang stützen zunächst natürlich nur die Behauptung, dass gute Lernleistungen und ein hohes Maß an Selbsterklärungen

gemeinsam auftreten. Sie reichen aber noch nicht aus, um die stärkere Behauptung zu rechtfertigen, dass häufigere Selbsterklärungen auch die Ursache für bessere Lernleistungen sind. Es könnte nämlich der Fall sein, dass intelligentere und besser motivierte Kinder mit höheren Lernerfolgen grundsätzlich mehr Zeit mit dem Lernstoff und daher auch mit Selbsterklärungen verbringen als weniger intelligente und geringer motivierte Kinder, die schlechtere Leistungen zeigen. Die darüber hinausgehende kausale Hypothese, dass sich Selbsterklärungen tatsächlich positiv auf den Lernerfolg auswirken und dass ein hohes Maß an Selbsterklärungen die Ursache für bessere Lernleistungen ist, muss daher im Zuge kontrollierter Längsschnittstudien untersucht werden.

Ein erster Hinweis, der für die kausale Hypothese spricht, besteht darin, dass zwar ein positiver Zusammenhang zwischen Lernerfolg und der Häufigkeit von Selbsterklärungen, aber nicht zwischen Lernerfolg und der Dauer der Textlektüre besteht. In einer experimentellen Studie wurden Schüler auf zwei Gruppen verteilt, von denen die einen angeleitet wurden, Selbsterklärungen zu einem bestimmten Thema zu entwickeln, während die anderen die gleiche Zeit mit der wiederholten Lektüre von Texten zum gleichen Thema verbrachten. Dabei zeigten sich bei der Selbsterklärungs-Gruppe deutlich größere Lernerfolge als bei der Lektüre-Gruppe (Chi et al. 1994). Einen weiteren Hinweis zur Stützung der Hypothese über die positiven Wirkungen von Selbsterklärungen liefert die Unterrichtspraxis an Schulen in Japan, bei denen zum Beispiel im Fach Mathematik sehr viel Zeit auf die gemeinsame Suche nach Erklärungen verwendet wird, wodurch bessere Leistungen erzielt werden als an vergleichbaren nordamerikanischen Schulen (Stevenson et al. 1990, Stigler & Hiebert 1999).

Um im Rahmen einer kontrollierten Untersuchung herauszufinden, ob sich Selbsterklärungen tatsächlich positiv auf den

Lernerfolg auswirken, wurde von Robert Siegler in einer experimentellen Studie untersucht, wie sich verschiedene Rückmeldungen und Instruktionen auf den Erwerb mathematischer Kompetenzen bei fünfjährigen Vorschulkindern auswirken (Siegler 1995). Den Kindern wurden Aufgaben gestellt, in denen es darum ging zu beurteilen, ob die Anzahl von Objekten durch verschiedene Operationen wie deren Umgruppierung oder durch das Hinzufügen beziehungsweise Fortnehmen von Objekten verändert wurde oder erhalten blieb. Im Anschluss an die Bearbeitung dieser Aufgaben wurde den Kindern zunächst Rückmeldung darüber gegeben, ob sie die Aufgaben richtig gelöst hatten. Anschließend erhielten sie unterschiedliche Instruktionen: Die Kinder der ersten Gruppe erhielten lediglich die Rückmeldung über die Korrektheit ihrer Antworten und sonst keine weiteren Instruktionen. Die Kinder der zweiten Gruppe wurden darüber hinaus aufgefordert, ihre eigenen Überlegungen, die sie entweder zum richtigen oder zum falschen Ergebnis geführt hatten, zu erklären. Im Unterschied dazu erhielten die Kinder der dritten Gruppe die Instruktion zu erklären, woher der Experimentator die richtige Lösung kennt. Durch die Frage „Was glaubst du, warum ich das weiß?“ wurde die Aufmerksamkeit der Schüler darauf gelenkt, nach Erklärungen für die richtigen Überlegungen zu suchen und die Zusammenhänge korrekt darzustellen.

Es zeigte sich, dass die Kinder aus der dritten Gruppe die besten Lernerfolge erzielten. Folglich spricht dieses Ergebnis dafür, dass Selbsterklärungen einen positiven Einfluss auf die Lernleistungen haben. Außerdem stellte sich heraus, dass die Erklärung der korrekten Überlegungen anderer Personen einen deutlich stärker ausgeprägten positiven Einfluss auf die Lernleistung hat als die Erklärung der eigenen – korrekten oder inkorrekten – Überlegungen der Kinder.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Problemlösungsstrategie angewendet wird, hängt in erster Linie von zwei

Faktoren ab – nämlich davon, dass der betreffenden Person die Effizienz der Strategie bewusst ist, sowie von der Unterdrückung konkurrierender Strategien. Wer zum Beispiel weiß, wie leicht es ist, häufig gebrauchte Rechenergebnisse einfach aus dem Gedächtnis abzurufen, der wird sie nicht jedes Mal umständlich von Neuem berechnen. Der beste Weg, um die Anwendung einer bestimmten Problemlösungsstrategie zu fördern, liegt deshalb darin, die betreffende Strategie zu aktivieren und gleichzeitig konkurrierende oder inkorrekte Strategien aktiv zu unterdrücken. Dies ist genau der Punkt, an dem die Einbeziehung von konstruierten Fehlern in den Unterricht ins Spiel kommt.

Um herauszufinden, ob die Konstruktion von Selbsterklärungen der korrekten sowie der inkorrekten Überlegungen anderer Personen ein geeigneter Weg zur Verstärkung der gewünschten Strategien sowie zur Abschwächung konkurrierender oder inkorrekt Strategien ist, wurde von Robert Siegler in einer weiteren experimentellen Studie untersucht, mit welchen Strategien Dritt- und Viertklässler Mathematikaufgaben wie die folgenden lösen (Siegler 2002):

$$(1) A + B + C = _ + C$$

$$(2) A + B + C = _ + B$$

$$(3) A + B + C = _ + D$$

Bei diesen Aufgaben geht es vor allem um das richtige Verständnis des mathematischen Gleichheitszeichens. Die überwiegende Mehrheit der Dritt- und Viertklässler konnte in Tests vor dem Training diese Aufgaben nicht korrekt lösen. Vielmehr interpretierten sie das Gleichheitszeichen als die Anweisung, die auf der linken Seite stehenden Zahlen zu addieren und das Ergebnis an der Leerstelle einzutragen. Lautete die Aufgabe beispielsweise „ $3 + 4 + 5 = _ + 5$ “, so trugen sie an der Leerstelle die Ziffer „12“ ein. Einige verfolgten die andere, ebenfalls inkor-

rekte Strategie, zu diesem Ergebnis auch noch die rechts vom Gleichheitszeichen stehende Zahl zu addieren. In dem genannten Beispiel hätten sie also „17“ an der Leerstelle eingetragen.

Im Anschluss an diese Vortests erhielten die Schüler ein Training, bei dem sie auf drei verschiedene Gruppen verteilt wurden, die unterschiedliche Instruktionen erhielten. Während die Kinder in der ersten Gruppe nach der Rückmeldung über die Korrektheit ihrer Rechenergebnisse ihre eigenen – korrekten oder inkorrekten – Überlegungen erklären mussten, erhielten die Kinder in der zweiten und dritten Gruppe die Instruktion, die Überlegungen einer anderen Person zu erklären. Die Schüler in der zweiten Gruppe wurden mit der Formulierung „Was glaubst du, warum ich das weiß?“ aufgefordert, die korrekten Überlegungen des Experimentators zu erklären. Hingegen hatten die Schüler in der dritten Gruppe die Aufgabe, sowohl die korrekten als auch die inkorrekten Überlegungen eines anderen hypothetisch angenommenen Kindes zu erklären: Sie sollten also erklären, warum die korrekten Überlegungen dieses Kindes korrekt sind, und warum dessen inkorrekte Überlegungen inkorrekt sind. Die Auswahl der zu erklärenden Fehler, die diesem hypothetischen Kind zugerechnet wurden, richtete sich dabei danach, welche Fehler die Schüler selbst gemacht hatten. Nach den oben dargestellten Überlegungen zur Verstärkung von Problemlösungsstrategien war zu erwarten, dass diese zuletzt beschriebene Art der Selbsterklärung in besonders ausgeprägter Weise dazu führt, dass dadurch die richtigen Strategien aktiviert und die falschen Strategien aktiv unterdrückt werden.

Diese Erwartung wurde tatsächlich bestätigt. Nach dem Training zeigten alle Kinder bessere Leistungen, wobei der Lernerfolg bei den Schülern aus der dritten Gruppe mit 70 Prozent korrekten Antworten deutlich größer war als bei den Schülern aus der ersten und zweiten Gruppe, die nach dem Training nur in 50 Prozent der Fälle korrekte Lösungen präsentierten.

Hinzu kommt, dass die Schüler aus der dritten Gruppe die richtigen Problemlösungsstrategien bereits früher anwenden konnten – und zwar schon beim zweiten Versuch – als die Kinder aus den beiden anderen Gruppen, die dies erst nach dem vierten Versuch konnten. Bei den Kindern aus der ersten und zweiten Gruppe konkurrierten also die inkorrekten Strategien deutlich länger mit den korrekten Strategien, weil die inkorrekten Strategien nicht durch die Selbsterklärung der Fehler, die den hypothetischen Kindern zugerechnet wurden, aktiv unterdrückt wurden.

Die dargestellten Untersuchungen stützen also die Behauptung, dass sich die Selbsterklärung von Fehlern tatsächlich in nennenswertem Umfang positiv auf das schulische Lernen auswirkt. Dabei ist zu beachten, dass dies vor allem für die Selbsterklärung der korrekten und inkorrekten Überlegungen anderer Personen gilt. Denn bei der Selbsterklärung der eigenen korrekten und inkorrekten Schlussfolgerungen traten in Bezug auf die Lernleistungen deutlich schwächere Effekte auf. Dies lässt sich damit erklären, dass die Schüler dann, wenn sie erklären sollen, warum die korrekten Überlegungen anderer Personen korrekt und warum deren inkorrekte Überlegungen inkorrekt sind, eine andere Perspektive einnehmen und sich stärker von den fehlerhaften Überlegungen distanzieren, die sie diesen Personen zurechnen, als wenn sie sich mit ihren eigenen Überlegungen befassen. Dies führt wiederum dazu, dass sie die inkorrekten Strategien auch mit größerem Nachdruck unterdrücken. Schulische Lernprozesse lassen sich also fördern, indem man zu diesem Zweck entwickelte Fehler in der dargestellten Weise in den Unterricht einbezieht und die Schüler auffordert zu erklären, warum bestimmte Lösungsvorschläge korrekt, und warum andere nicht korrekt sind.

Literatur

- Anderson, J. R., & Reder, L. M. (1999). The fan effect. New results and new theories. *Journal of Experimental Psychology*, 128, 186–197.
- Ayers, M. S., & Reder, L. M. (1998). A theoretical review of the misinformation effect: Predictions from an activation-based memory model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5, 1–21.
- Butterfield, B., & Metcalfe, J. (2001). Errors committed with high confidence are hypercorrected. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27 (6), 1491–1494.
- Butterfield, B., & Metcalfe, J. (2006). The Correction of Errors Committed with High Confidence. *Metacognition and Learning*, 1 (1), 69–84.
- Chi, M. T. H. (2000). Self-explaining: The dual processes of generating inference and repairing mental models. In R. Glaser (Hg.), *Advances in instructional psychology: Vol. 5. Educational design and cognitive science*, 161–238. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145–182.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. – H., & LaVanher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439–477.
- Davis, G. A., & Thomas, M. A. (1989). *Effective schools and effective teachers*. Boston: Allyn & Bacon.
- Ferguson-Hessler, M. G. M., & de Jong, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor solvers. *Cognition and Instruction*, 7, 41–54.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Why does a large ship of iron float? Effects of instructional support in constructivist learning environments for elementary school students' understanding of „floating and sinking“. *Journal of Educational Psychology*, 98, 307–326.
- Maehr, M. L., & Meyer, H. A. (1997). Understanding motivation and schooling: Where we've been, where we are, and where we need to go. *Educational Psychology Review*, 9, 371–409.
- Neubauer, A., & Stern, E. (2007). *Lernen macht intelligent. Warum Begabung gefördert werden muss*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Ohlsson, S., & Rees, E. (1991). The Function of Conceptual Understanding in the Learning of Arithmetic Procedures. *Cognition and Instruction*, 8 (2), 103–179.

- Pirolli, P., & Recker, M. (1994). Learning strategies and transfer in the domain of programming. *Cognition and Instruction*, 12, 235–275.
- Schöne, C., Dickhäuser, O., Spinath, B., & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). Skalen zur Erfassung des schulischen Fähigkeitsselbstkonzepts (SESS-KO). Göttingen: Hogrefe.
- Siegler, R. S. (1995). How does change occur: A microgenetic study of number conservation. *Cognitive Psychology*, 28, 225–273.
- Siegler, R. S. (2002). Microgenetic studies of self-explanation. In: Granott, N., & Parziale, J. (Hg.), *Microdevelopment. Transition Processes in Development and Learning*. Cambridge: Cambridge University Press, 31–58.
- Spaulding, C. L. (1992). *Motivation in the classroom*. New York: McGraw-Hill.
- Stern, E. (2001a). Intelligence, prior knowledge, and learning. In: N. J. Smelser & P. B. Baltes (Hg.), *International encyclopedia of the social and behavioural sciences*, Vol. 11, 7670–7674, Oxford: Elsevier Science.
- Stern, E. (2001b). Intelligenz, Wissen, Transfer und der Umgang mit Symbolsystemen. In: E. Stern & J. Guthke (Hg.), *Perspektiven der Intelligenzforschung*, 163–204, Lengerich: Pabst.
- Stern, E. (2005). Knowledge restructuring as a powerful mechanism of cognitive development: How to lay an early foundation for conceptual understanding in formal domains. In: P. D. Tomlinson, J. Dockrell & P. Winne (Hg.), *Pedagogy teaching for learning*, *British Journal of Educational Psychology Monograph Series II*, No. 3, 153–169, Leicester: British Psychological Society.
- Stern, E. (2006). Was wissen wir über erfolgreiches Lernen in der Schule? *Pädagogik*, 58, 45–49.
- Stevenson, J. W., Lee, S. Y., Chen, C., Stigler, J. W., Hsu, C. C., & Kitamura, S. (1990). *Contexts of achievement: A study of American, Chinese, and Japanese children*. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 55 (1–2).
- Stigler, J. W., & Hiebert, J. (1999). *The teaching gap*. New York: The Free Press.
- Stipek, D. J. (1993). *Motivation to learn: From theory to practice*. Boston: Allyn & Bacon.
- VanZandt, T. (2000). ROC curves and confidence judgments in recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 582–600.
- Wood, E., Pressley, M., & Winne, P. (1990). Elaborative interigation effects

on children's learning of factual content. *Journal of Educational Psychology*, 82, 741–748.

Wright, D. B., & Loftus, E. F. (1998). How misinformation alters memories. *Journal of Experimental Child Psychology*, 71, 55–164.