

Lernen

In diesem Kapitel geht es um die psychologischen Grundlagen des Lernens.

Nach einer allgemeinen Definition des Lernens, die auf alle Lebewesen zutrifft, werden die Besonderheiten des menschlichen Lernens mit einem Schwerpunkt auf schulisches Lernen behandelt. Dabei wird die zentrale Rolle des Arbeitsgedächtnisses diskutiert. Anschließend wird der Frage nachgegangen, wie Wissen im Gedächtnis organisiert und repräsentiert sein muss, damit es für weiteres Lernen und Problemlösen optimal genutzt werden kann. Es wird behandelt, welche schulischen Lernformen dies unterstützen können. Im Abschnitt zu Intelligenz und Hochbegabung werden Ursachen für Unterschiede im Lernfortschritt diskutiert.

1 Grundbegriffe

Unter Lernen versteht man die relativ stabile Veränderung des Verhaltens eines Lebewesens in Abhängigkeit von seiner Erfahrung. Von Lernen spricht man also nicht bei zufällig auftretendem Verhalten, sondern nur bei einer gerichteten Veränderung, die allerdings von Rückschlägen begleitet sein kann. Ob gelernt wurde, kann man ausschließlich am Verhalten erkennen, wozu natürlich auch das Lösen von Testaufgaben gehört. Lernen entsteht aus der Interaktion zwischen einem Individuum und seiner Umgebung. Lernen ermöglicht es allen Lebewesen, die im jeweiligen Lebensumfeld gestellten Anforderungen zunehmend besser zu bewältigen.

Viele Formen des Lernens laufen bei Menschen und Tieren vergleichbar ab. Dazu gehören Konditionierungsprozesse, die darin bestehen, dass Reize und Reaktionen, die vorher unverbunden waren, im Gedächtnis gekoppelt werden. Bei der klassischen Konditionierung steuern die Reize das Verhalten: Es geht um die Identifikation von Merkmalen aus der Umwelt, die auf positive oder negative Konsequenzen hinweisen und dem Individuum damit einen Verhaltensvorteil verschaffen können. Hinweise auf Gefahren ermöglichen eine rechtzeitige Flucht und Hinweise auf Ressourcen erschaffen einen Vorsprung vor Konkurrenten. Beim operanten Konditionieren kann ein Individuum durch sein Verhalten das Auftreten von Reizen steuern. Folgt auf ein Verhalten eine positiv erlebte Konsequenz, wird es erneut gezeigt, folgt hingegen eine als Strafe erlebte Konsequenz, wird es unterlassen.

Konditionierung spielt auch beim schulischen Lernen eine nicht zu unterschätzende Rolle und kann so manches Desaster auslösen, wenn die Lehrpersonen die Mechanismen nicht durchschaut. So muss man wissen, dass Strafreize grundsätzlich unangeeignet sind, den Aufbau von erwünschtem Verhalten zu fördern, weil sie Flucht- und Vermeidungsverhalten auslösen. Werden beispielsweise Hausaufgaben als Strafe angedroht, muss damit gerechnet werden, dass sie nur sehr oberflächlich ausgeführt werden. Möchte man, dass sich ein schwächerer Schüler am Unterrichtsgeschehen beteiligt, reicht es nicht, ihn für das Schwatzen zu bestrafen, sondern man muss parallel dazu erwünschtes Verhalten belohnen. Bei Felten und Stern (2012) kann ausführlich nachgelesen werden, wie ein angemessenes Verständnis des Lernens durch Konditionierung Lehrpersonen die Klassenführung erleichtern kann.

Beim schulischen Lernen steht der Erwerb von Wissen im Mittelpunkt, welches über Symbolsysteme wie Sprache, Schrift und mathematische Zeichen vermittelt wird. Auch Schulstoff kann durch Konditionierung erworben werden, zum Beispiel das Einmaleins oder die Vokabeln einer Fremdsprache. Wer die Aufgabe „ $7 \times 3 =$ “ richtig mit „21“ beantwortet, wird gelobt. Auch einen Grundwortschatz englischer Vokabeln kann man so erwerben. Wenn aber im Kopf des Lernenden lediglich von außen gesteuerte Assoziationen aufgebaut werden, dann wird nur weitgehend unbrauchbares Wissen erworben. Bei Schülerinnen und Schülern, die das kleine Einmaleins durch Verstärkung der richtigen Antwort auswendig gelernt haben, kommt die Antwort auf „ $4 \times 8 =$ “ wie aus der Pistole geschossen, aber sie wissen nicht, dass man die Zahl nur verdoppeln muss, wenn man „ $4 \times 16 =$ “ ausrechnen soll. Wenn man im Gedächtnis Assoziationen wie „Stuhl – chair, Tisch – table oder Teppich – carpet“ gespeichert hat, dann bedeutet das nicht automatisch, dass man diese Vokabeln auch nutzt, um englische Sätze zu bilden. Die besondere geistige Kompetenz des Menschen besteht aber gerade darin, nicht nur rein assoziativ zu lernen, das heißt nicht nur Verbindungen im Gedächtnis aufzubauen, die von außen gesteuert werden, sondern Wissen aktiv und ohne äußeren Anstoß so umzustrukturieren, dass es auch zur Bewältigung neuer Anforderungen herangezogen werden kann.

In der Schule geht es darum, Kindern bei der Rekonstruktion von im kulturellen Kontext entstandenem Wissen zu unterstützen. Sie müssen die Schrift, die Mathematik oder naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten zwar nicht entdecken – das haben kluge Menschen vor ihnen getan –, aber sie müssen sie für sich entdecken und rekonstruieren.

Anders als andere Lebewesen haben Menschen im Laufe ihrer Geschichte die Welt aktiv verändert. Die genetische Grundausstattung, die unsere Gehirnfunktionen steuert, hat sich in den letzten 40 000 Jahren, nach allem, was wir bisher wissen, nicht wesentlich verändert; die Welt, in der wir leben, hingegen schon. Obwohl Menschen Jahrtausende brauchten, um Schriften zu entwickeln, können die meisten Kinder nach wenigen Monaten Schulbesuch lesen. Auch wenn das arabische Zahlensystem erst vor etwa 1 200 Jahren entwickelt wurde, kön-

nen die meisten Grundschul Kinder dividieren und verstehen, dass die Null keine Zahl ist. Wollen wir den Erwerb solcher Kompetenzen verstehen, müssen wir den Lernbegriff erweitern: Es geht nicht nur um Verhaltensänderung, sondern auch um Wissenskonstruktion.

Abbildung 1 stellt ein Modell des menschlichen Lernens dar, in dem die Interaktion zwischen Gedächtnisprozessen, Wissen und den Produkten geistiger Leistung dargestellt ist. Lernen kann demnach verstanden werden als eine relativ stabile Veränderung des Wissens eines Menschen in Abhängigkeit von seiner Erfahrung.

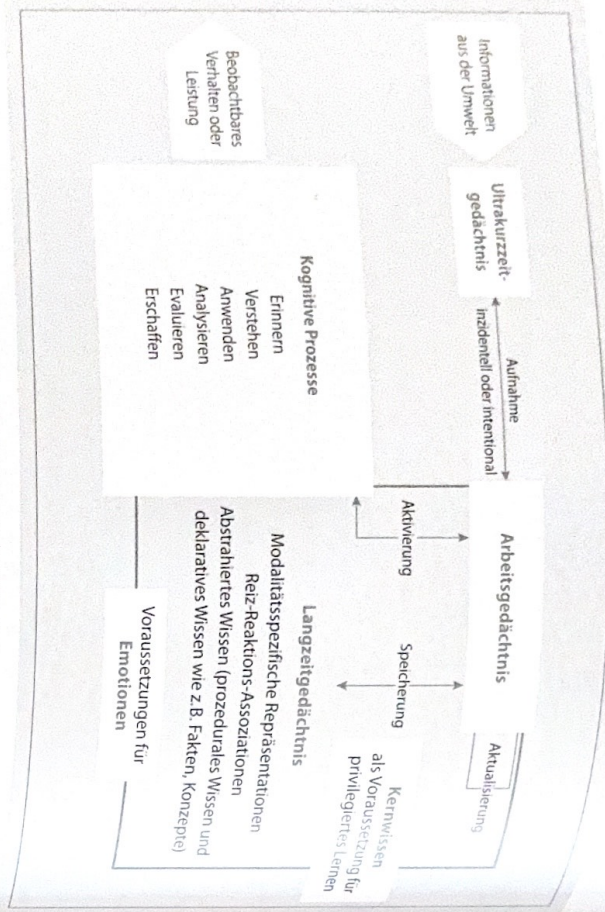


Abb. 1: An menschlichem Lernen beteiligte Gedächtnisprozesse und geistige Ressourcen

2 Keine Wissenskonstruktion ohne Arbeitsgedächtnis

Dass Lernen ein Langzeitgedächtnis voraussetzt, geht schon aus der im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Definition hervor: Erfahrung muss gespeichert werden. Das gilt für die Ameise wie auch für den Menschen: Die Gehirne eines jeden Lebewesens sind flexibel genug für den Aufbau neuer Reiz-Reaktions-Verbindungen im Langzeitgedächtnis. Gleichzeitig ist das Gehirn eines Lebewesens bei seiner Geburt kein völlig unbeschriebenes Blatt, sondern enthält bereits Information, welche die Anpassung an die zukünftige Umwelt erleichtert. Dass Tiere

mit Instinkten geboren sind, wird seit langem akzeptiert. Seit einigen Jahrzehnten wissen wir aber auch, dass Menschen nicht völlig unvorbereitet auf die Welt kommen, sondern mit Grundlagen, „Kernwissen“ genannt, ausgestattet sind, die eine Anpassung an die zu erwartende soziale und physische Umgebung erleichtern. Aus den Blickbewegungen von Säuglingen lässt sich ableiten, dass sie der Sprache, Mengenveränderungen im kleineren Bereich und Bewegungen von Objekten besondere Aufmerksamkeit schenken (Pauen 2012). Auf der Grundlage dieses Kernwissens lernen Kinder beispielsweise ohne professionelle Instruktion sprachliche Kommunikation und das Zählen von diskreten Mengen. Zudem haben sie eine Vorstellung davon, wie sich in der physikalischen Welt feste Gegenstände zueinander verhalten. So reagieren bereits wenige Monate alte Kinder mit weit aufgerissenen Augen auf physikalisch unmögliche Szenarien, in denen beispielsweise ein fester Gegenstand ohne Halt in der Luft zu hängen scheint, was z. B. erklärt, warum Kinder von Mobiles fasziniert sind. Wie genau das angeborene Kernwissen für das weitere Lernen genutzt wird, wird noch kontrovers diskutiert (mehr dazu bei Pauen 2012), aber es ist unbestritten, dass Menschen auf der Grundlage des Kernwissens manches ohne große Anstrengung lernen können.

Auch muss jedes Lebewesen mit einem Ultrakurzzeitgedächtnis ausgestattet sein, das zunächst einmal alle eingehenden Sinnesreize aufnimmt. Dieses Gedächtnis ist artenspezifisch, da sich unterschiedliche Spezies in ihrem Wahrnehmungsspektrum unterscheiden. Das Spektrum an wahrnehmbaren Tönen ist beispielsweise bei Hunden größer als bei Menschen, während diese visuelle Reize differenzierter wahrnehmen können. Für alle Spezies gilt: Von den eingehenden Sinnesreizen wird nur ein Bruchteil weiter verarbeitet. Welcher Reiz das Rennen macht, hängt von der Intensität der eingehenden Reize sowie vom Motivzustand des Lebewesens ab. Gefahren signalisierende Reize werden wahrgenommen, und ein hungriges Lebewesen wird Hinweise auf Nahrung bevorzugt weiter verarbeiten.

Wie wird ausgewählt, welchen Reizen im Ultrakurzzeitgedächtnis Aufmerksamkeit geschenkt wird und ob sie in das Langzeitgedächtnis gelangen? Die hierfür zuständige Instanz wird Arbeitsgedächtnis genannt und ist das wichtigste Konstrukt der wissenschaftlichen Psychologie, das so zentral ist wie das Atom in der Chemie. Während davon ausgegangen werden muss, dass alle Lebewesen eine Instanz haben, die zwischen Ultrakurzzeit- und dem Langzeitgedächtnis vermittelt, spricht vieles dafür, dass Struktur und Funktion des Arbeitsgedächtnisses ganz wesentlich für die Unterschiede im Gehirn zwischen Menschen und anderen Lebewesen verantwortlich sind. Ein Indikator ist, dass das Frontallhirn als Teil des Cortex, der die Besonderheit des menschlichen Gehirns ausmacht, an Arbeitsgedächtnisfunktionen maßgeblich beteiligt ist.

Kern der Arbeitsgedächtnisfunktionen ist es, eingehende Information in das bestehende Wissen zu integrieren und daraus Handlungen zu initiieren, welche die Bewältigung der gerade anstehenden Anforderungen ermöglichen. Um handlungsfähig zu bleiben, muss jedes Individuum aus der großen Flut an ein-

gehenden Reizen eine Auswahl treffen. Die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist deshalb höchst funktional, stellt aber für das Lernen eine besondere Herausforderung dar. Aus Abbildung 1 geht hervor, dass der Zugang vom Ultrakurzzeitgedächtnis zum Arbeitsgedächtnis „inzidental“ oder „intentional“ gesteuert sein kann. Bei intentional gesteuerten Prozessen verfolgt das Individuum ein Ziel. Es wird deshalb bevorzugt eine Information auswählen, die dessen Erreichen unterstützt. Hat sich ein Lerner entschieden, den Inhalt eines Textes zu verstehen, wird er nicht auf die Farbe der Buchstaben achten. Die Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses ermöglicht die Konzentrationsfähigkeit. Allerdings hätte kein Lebewesen eine Überlebenschance, wenn das Arbeitsgedächtnis völlig „dicht“ machen könnte. Für Hinweise auf drohende Gefahren sowie auch auf besondere Belohnungen muss ein Weg offenbleiben. Unerwartete und besonders intensive Informationen werden weitergeleitet. So wird man sich als konzentrierter Leser vielleicht nicht daran erinnern, ob die Schrift eines Textes blau oder schwarz war. Sind die Buchstaben hingegen in leuchtendem pink, wird dies auch dem Leser auffallen, der sich ganz auf den Inhalt konzentrieren kann. Neben dem intentionalen wird es also immer auch den inzidentellen Weg geben, über den Informationen in das Arbeitsgedächtnis gelangen.

Illustrieren wir die Funktion des Arbeitsgedächtnisses bei einer Person mit eigenem Laienverständnis von Physik mit der Aufgabe:

Beispiel

Eine Aufgabe, die das Arbeitsgedächtnis auf vielfältige Weise fordert
Hier ist die Definition von „Maschine“. Darunter versteht man in der Physik eine Vorrichtung, welche Ansatzpunkt, Richtung oder Größe einer Kraft verändert, um die vorhandene Kraft möglichst zweckmäßig zur Verrichtung von Arbeit einzusetzen.
Ist nach dieser Definition eine Holzschraube eine Maschine?

Um diese Frage korrekt zu beantworten, muss die Person zunächst die Definition lesen. Hier kommt die *Speicherfunktion* des Arbeitsgedächtnisses zum Tragen: Begriffe wie z. B. Maschine, Größe oder Arbeit beanspruchen Gedächtniskapazität. Aus früherer Erfahrung sind diese Begriffe mit Bedeutungen versehen, die im Langzeitgedächtnis abgelegt sind. Jetzt kommt die *Aktivierungsfunktion* des Arbeitsgedächtnisses ins Spiel: Bereits verfügbares Wissen muss in das Arbeitsgedächtnis geladen werden. Die genannten Begriffe haben aber eine vielfältige Bedeutung und können dementsprechend viele Assoziationen auslösen. Bei Maschine könnte man an Krach, bei Größe an Zentimeter und bei Arbeit an Geld denken. Die Aktivierung dieser Bedeutungen ist jedoch in dem Aufgabenkontext eher störend und lenkt vom Ziel ab, weshalb das Arbeitsgedächtnis auch eine *Hemmungsfunktion* benötigt: Wissen, das nichts zur Bewältigung der Anforderung beiträgt, muss deaktiviert werden.

jedes größere Ziel lässt sich in Unterziele aufgliedern, die abgearbeitet werden müssen, ohne dass das übergeordnete Ziel aus den Augen verloren wird. Dank seiner Aktualisierungsfunktion koordiniert das Arbeitsgedächtnis wechselnde Ziele. Bei der Aufgabe (siehe oben) darf beispielsweise die Beantwortung der abschließenden Frage nach der Schraube nicht vergessen werden, nachdem die Definition von Maschine im Sinne der Mechanik verstanden wurde.

Die Menschen verdanken ihre Fähigkeit, sich abstrakten Inhalten und komplexen Problemen hinzugeben, im Wesentlichen den genannten Arbeitsgedächtnisfunktionen. Allerdings darf man nicht vergessen, dass sich die Architektur unseres Gehirns – und das impliziert auch das Arbeitsgedächtnis – vor mehr als 40000 Jahren herausgebildet hat, also lange bevor die ersten menschlichen Kulturen entstanden. Damals diente das Arbeitsgedächtnis dem nackten Überleben, und dabei spielten Emotionen eine entscheidende Rolle. Wie in Abbildung 1 dargestellt, werden sie als Teil der Grundausstattung des menschlichen Gehirns angesehen. Das Empfinden von Ärger, Ekel, Furcht, Freude, Traurigkeit und Überraschung ist von Anfang an überlebenswichtig und deshalb haben Emotionen einen privilegierten Zugang zum Arbeitsgedächtnis. Beim akademischen Lernen und dem Umgang mit abstraktem Material hingegen können die Emotionen die genannten Arbeitsgedächtnisfunktionen stören, weshalb hier ein mittleres Aktivierungsniveau wünschenswert ist. Zu starke Emotionen lenken ab, weshalb Emotionskontrolle ein wichtiges Erziehungsziel in unserer Gesellschaft ist (mehr dazu im Kapitel zur Motivation).

3 Intelligente Wissensrepräsentation im Langzeitgedächtnis als Schlüssel zum Können

Lernen heißt, die bestehende Wissensbasis so zu verändern, dass auf dieser Basis eine bessere Anpassung an die Erfordernisse der Umgebung ermöglicht wird. Im vorangegangenen Abschnitt wurde der Aktivierung von Inhalten im Langzeitgedächtnis – also Wissen – eine zentrale Rolle zugeschrieben. In diesem Abschnitt wird gezeigt, dass es von der Repräsentation des Wissens im Langzeitgedächtnis abhängt, wie effizient die Arbeitsgedächtnisfunktionen für das Lernen und Problemlösen genutzt werden. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist zwar begrenzt, aber wenn Wissen effizient im Langzeitgedächtnis gespeichert ist, können größere Mengen aktiviert werden. Dies setzt allerdings vorangegangene Lernprozesse voraus, in denen prozedurales und deklaratives Wissen aufgebaut wird. Prozedurales Wissen wird auch als „Wissen wie“ verstanden, also automatisiertes Handlungswissen, das durch Wiederholung entsteht und zumindest im Detail nicht kommuniziert werden kann. Wir können niemandem das Lesen, das Schreiben oder das Fahrradfahren so genau erklären, dass er es auf Anhieb kann.

Prozeduralisierung kann als Verdichtung verstanden werden: Einzelne Wissensenselemente werden zu größeren Einheiten zusammengefasst. Wer die Zahlen

911.9893101990 hört, wird sich diese kaum merken können. Im Allgemeinen kann sich der Mensch nur sieben bis neun Ziffern merken. Sagt man hingegen, dass es sich bei den Zahlen um zwei wichtige Daten der jüngsten deutschen Geschichte handelt, nämlich den Tag der Mauerfalls und den Tag der Wiedervereinigung, kann man die Zahlenreihe problemlos noch Jahre später reproduzieren (vgl. 9.11.1989, 3.10.1990). In der Psychologie wird diese Vergrößerung der Gedächtniskapazität durch Komprimierung des Wissens als „chunking“ (Bündelung) bezeichnet.

Unserer Fähigkeit zur Prozeduralisierung verdanken wir es, dass wir in Sekundenschneile das Wort Mississippidampfschiffahrtsgesellschaftskapitän lesen können. Geübte Leser erkennen Buchstaben auf einen Blick und haben so enge Assoziationen zwischen Buchstaben und Lauten aufgebaut, dass beides zusammen aktiviert wird. Ein im Lesen ungeübter Mensch hingegen muss jeden Buchstaben in einen Laut übertragen und daraus mühsam ein Wort konstruieren. Es wird Arbeitsspeicherkapazität gebunden, die für das Sinnverständnis nicht mehr zur Verfügung steht. Die obenstehenden Physikaufgabe kann nur von Menschen gelöst werden, die die Worterkennung prozeduralisiert haben, sodass die vier Arbeitsgedächtnisfunktionen voll für das Inhaltsverständnis genutzt werden können. Prozeduralisierung von Teilen des Wissens ist in allen Inhaltsbereichen Voraussetzung für höhere geistige Tätigkeiten. Das gilt für Mathematik wie auch für das Lernen von Fremdsprachen. Wer die binomischen Formeln als Muster abgespeichert hat, wird beim Auflösen einer algebraischen Gleichung auf einen Blick erkennen, was man vereinfachen kann. Wer Vokabeln einer Fremdsprache gelernt hat, kann sich bei der Konstruktion eines Satzes auf die Grammatikregeln konzentrieren.

Dass wir das geschriebene Wort „Maschine“ auf einen Blick erkennen, ist unser prozeduralen Wissen geschuldet. Dass wir anderen Menschen erklären können, was eine Maschine ist, basiert auf deklarativem Wissen, also Wissen, das in Symbolsysteme wie Sprache, Schrift, Formeln oder Bilder zu fassen ist. Den Kern dieses Wissens bilden Begriffe bzw. Konzepte. Wir nennen Wörter wie „Hund“, „Säugetier“, „Gerechtigkeit“, „Primzahl“ oder „Relativitätstheorie“ und erwarten, dass unser Kommunikationspartner versteht, auf welchen Ausschnitt der Welt wir uns beziehen. Begriffswissen entsteht durch die Verbindung zu anderen Begriffen. Dies können Eigenschaften sein wie z. B. „rot“ und „rund“, oder aber Begriffe auf der gleichen Ebene wie „Ball“ und „Teddypär“, die zusammen die Grundlage für Oberbegriffe wie „Spielzeug“ bilden können. Aus der Verbindung zwischen Begriffen entstehen Netzwerke, die unterschiedlich umfangreich und verschieden strukturiert sein können. Der passionierte Hundebesitzer wird bei dem Begriff „Hund“ sofort Namen und visuelle Vorstellung seines Hundes aktivieren, der Biologe hingegen einen übergeordneten Begriff wie „domestiziertes Säugetier“. Ein entscheidender Grund für suboptimale Kommunikation zwischen Menschen, insbesondere die zwischen Lehrpersonen und Schülerinnen und Schülern, besteht darin, dass die gleichen Begriffe verwendet

werden, während die Netzwerke, in die sie eingebettet sind, sehr unterschiedlich sind. So wird das Begriffswissen von Kindern zunächst von charakteristischen Oberflächenmerkmalen und nicht von theoretisierten, definitorischen Merkmalen bestimmt, weil sie sich bei der Bildung von Begriffen in erster Linie von ihren Wahrnehmungen leiten lassen. Jüngere Grundschulkinder bejahen zum Beispiel die Frage, ob ein Haufen Reis etwas wiege, verneinen aber die Frage, ob ein einzelnes Reiskorn etwas wiege. Diese zunächst unverständliche Antwort wird nachvollziehbar, wenn man berücksichtigt, dass jüngere Kinder „Gewicht“ und „sich schwer anfühlen“ noch miteinander gleichsetzen. Auch dass der Wal ein Säugetier und kein Fisch ist, ist für Kinder schwer zu verstehen, weil sie Tiere zunächst nach ihrem Lebensraum einteilen. Dass die Art der Fortpflanzung – die man im Allgemeinen nicht zu sehen bekommt – ein sinnvolles Kriterium bei der Klassifikation von Tieren sein kann, versteht man erst im Zusammenhang mit zusätzlichem und tiefergehendem biologischen Wissen. Erst wenn ein Verständnis für den theoretischen Hintergrund vorliegt, der die Unterteilung in Säugetiere und Fische notwendig macht, werden nicht mehr charakteristische (lebt im Wasser, hat Flossen), sondern definitorische (Nachwuchs wird lebend geboren und mit Muttermilch ernährt) Merkmale zur Unterscheidung herangezogen (Carey 2000). Kommen wir auf die Aufgabe im Beispiel auf S. 110 zurück: Zu den charakteristischen Eigenschaften einer Maschine gehört, dass sie aus Stahl ist, von einer fossilen oder elektrischen Energiequelle angetrieben wird und Krach macht. Wer hingegen Newtons Axiome einordnen und somit nicht das Arbeitsgedächtnis in den Kontext der Mechanik einordnen und somit nicht das Arbeitsgedächtnis mit Begriffen wie Metall, Lärm oder Bewegung belasten. Auch wer bisher nicht darüber nachgedacht hat, ob die Holzschraube eine Maschine ist, wird die Frage im Beispiel problemlos mit „Ja“ beantworten. Ein nach definitorischen Merkmalen und in einem Theoriekontext eingebettetes Begriffsnetzwerk sorgt also genau wie prozedurales Wissen für den reibungslosen Ablauf der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis.

Wie aber erwirbt man ein solches Netzwerk? Dabei ist oft nicht das fehlende, sondern das bestehende Wissen ein Problem. Was spricht dagegen, die Sonne als ein mächtiges Lebewesen zu sehen, das uns Erdenbewohnern in regelmäßigen Abständen Licht schenkt? Wer einen Strudel im Fluss oder abfließendes Wasser in der Badewanne beobachtet hat, kann sich durchaus vorstellen, dass das Wasser saugt. Wenn in Wasser eingetauchte Gegenstände untergehen, wird dies konsequenterweise damit erklärt, dass das Wasser sie nach unten saugt. Wer gesehen hat, wie der Wind – von Kindern mit Luft gleichgesetzt – Gegenstände aufwirbelt, wird die Tatsache, dass manche Gegenstände nicht im Wasser untergehen, damit erklären, dass die Luft sie nach oben zieht. Eine Erklärung dafür, dass vom Physikunterricht so wenig hängen bleibt, ist die, dass sich die Schüler bereits lange, bevor das Fach in der Schule gelehrt wurde, so viele Gedanken über Begriffe wie Energie, Arbeit oder Geschwindigkeit gemacht haben, dass für die Feinheiten, die die Physiklehrperson zu vermitteln versucht, in ihrem Wissens-

netz kein Platz mehr ist (Carey 2000). Nur wenn eine sogenannte konzeptuelle Umstrukturierung erfolgt, also bisher als zentral gesehene Merkmale, z. B. dass eine Maschine aus Stahl besteht, als peripher eingestuft werden, dafür aber das Verrichten von Arbeit im physikalischen Sinne als definitorisches Merkmal betrachtet wird, können die Schüler die physikalische Definition einer Maschine verstehen.

Während sich bei manchen Konzepten, wie z. B. beim Gewicht, der Wandel ganz nebenbei vollzieht, bedarf es bei vielen anderen Konzepten der professionellen Instruktion. Mit welchen Lernformen Lehrpersonen ihre Schülerinnen und Schüler beim Erwerb von tragfähigem konzeptuellem Wissen unterstützen können, wird im nächsten Abschnitt behandelt.

4 Lernformen

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Bedeutung des Wissens für das Können erörtert. Worin besteht das Können beim schulischen Lernen? In dem Modell in Abbildung 1 sind Kompetenzen als kognitive Prozesse bezeichnet. Sie wurden der Lernzieltaxonomie von Krathwohl (2002) entnommen und können Lehrpersonen helfen, Prüfungs- und Lernaufgaben zu formulieren. Die Lernzieltaxonomie hat eine hierarchische Struktur: Man kann nur verstehen, was man erinnern kann und nur analysieren, was man anwenden kann usw. Ein grobes Missverständnis wäre es aber zu meinen, dass man im Unterricht die kognitiven Prozesse nacheinander abarbeiten müsste: Erst Fakten lernen, dann die Beziehung zwischen den Fakten verstehen, danach Anwendung usw. Im Unterricht geht es darum, prozedurales und deklaratives Wissen aufzubauen, um die in Abbildung 1 aufgelisteten kognitiven Prozesse zu ermöglichen. Dabei darf man sich den Aufbau von Wissen jedoch nicht wie das Besteigen einer Treppe oder einer Leiter vorstellen, sondern eher als einem nicht kontinuierlich verlaufenden Prozess der Optimierung von Netzwerken aus deklarativem und prozeduralem Wissen. Wissen kann durch unterschiedliche Aktivitäten entstehen, wobei lediglich deklaratives Wissen allein durch direkte Instruktion – also Erklärungen – erworben werden kann. Ein Merksatz oder eine Definition kann zum Aufbau, zur Erweiterung oder zur Umstrukturierung eines Konzeptes führen. Allerdings kann nicht erwartet werden, dass diese Art des Lernens ausreicht, um das Begrittswissen zur Bewältigung neuer Anforderungen heranzuziehen. Der Erwerb einer flexiblen Wissensbasis, in der die Bündelung von Faktenwissen, automatisierten Handlungen und Konzepten integriert sind, wird durch die Bewältigung von Anforderungen erworben. Kern der professionellen Expertise von Lehrpersonen ist die angemessene Auswahl von Aufgaben und Aufträgen.

Die Lehr- und Lernforschung hat in den letzten Jahrzehnten eine ganze Reihe von Lernformen entwickelt, mit deren Hilfe der Aufbau intelligenten Wissens effizient und nachhaltig gefördert werden kann, wie im Folgenden an ausgewähl-

ten wissenschaftlichen Arbeiten gezeigt wird. Diese Lernformen werden als *kognitiv aktivierend* bezeichnet, weil sie die Lernenden dazu anregen, aktiv an der Organisation ihres Wissens zu arbeiten und ihr Begrittswissen umzustrukturieren. Da nach wie vor eine Kluft zwischen den Ergebnissen der Lehr- und Lernforschung und deren Umsetzung in Unterrichtseinheiten für verschiedene Anspruchsniveaus besteht, haben wir uns im MINT-Lernzentrum der ETH zum Ziel gesetzt, diese Lerneinheiten zusammen mit Lehrpersonen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. Manche dieser Lernformen erfordern nur geringfügige Abweichungen vom bisherigen Vorgehen und können doch erstaunliche Effekte auslösen. So konnte Esther Ziegler (Ziegler & Stern 2014) zeigen, dass beim Einstieg in die Algebra in der Sekundarstufe Transformationsregeln nachhaltiger gelernt werden, wenn von Anfang an Additions- und Multiplikationsregeln vorzugeben. Die Kontrastierung von Aufgaben wie z. B. $a + a + a =$ und $a \cdot a \cdot a =$ verdeutlicht nachweislich den Unterschied zwischen multiplikativen und additiven Regeln und trägt zu einem besseren konzeptuellen mathematischen Verständnis bei.

In der Folge stellen wir vier bewährte Lernformen dar.

Erfinden mit kontrastierenden Fällen: Eine Möglichkeit, die Schülerinnen und Schüler auf das Lernen vorzubereiten, besteht darin, mit ihnen als Einstieg vor der Präsentation der eigentlichen Lerneinheit zunächst zu erarbeiten, worin eigentlich das Grundproblem besteht, für das eine bestimmte Theorie eine Lösung präsentiert (Schwartz et al. 2011). Dazu hat es sich bewährt, ihnen Fälle vorzugeben, die so ausgewählt sind, dass sie sich zwar in Oberflächenmerkmalen unterscheiden beziehungsweise im Kontrast zueinander stehen, dass sie aber eine abstrakte Gemeinsamkeit aufweisen. Diese Gemeinsamkeit sollen die Schülerinnen und Schüler – unterstützt durch Aufträge und Hilfestellungen – selbstständig erarbeiten. Erst nachdem sie selber Vorschläge formuliert haben, wird ihnen das wissenschaftliche Konzept vorgestellt. Sie können dann einschätzen, wie nah sie der korrekten Lösung mit ihren eigenen Vorschlägen gekommen sind. Die Lernform hat sich in empirischen Vergleichsstudien bei manchen Inhalten gegenüber dem herkömmlichen Vorgehen – erst den Lerneinheit darstellen, dann Übungsaufgaben bearbeiten – als überlegen erwiesen. Denn die Schülerinnen und Schüler zeigten in anschließenden Transferaufgaben deutlich bessere Leistungen als die Vergleichsgruppe. Dieser Vorsprung wird damit erklärt, dass sie beim Bearbeiten der kontrastierenden Fälle ein tieferes Verständnis des Grundproblems erlangten als die Vergleichsgruppe mit herkömmlichem Unterricht.

Aufträge zum Erstellen von Selbsterklärungen: Wie lässt sich im Unterricht oder im Anschluss daran das Gelernte vertiefen? Eine Lernform, die sich in den letzten zwei Jahrzehnten in zahlreichen experimentellen Studien als besonders lernwirksam erwiesen hat, besteht darin, die Lernenden durch Er-

klärungsaufträge gezielt dazu anzuleiten, zentrale Lerninhalte noch einmal zu durchdenken (Berthold et al. 2008). Die Schülerinnen und Schüler erhalten dabei den Auftrag, sich zu überlegen, wie sie beispielsweise ein Konzept, ein Naturgesetz oder einen Lösungsweg erklären würden. Solche Erklärungen, die man für sich selber konstruiert, werden in der Lehr- und Lernforschung als „Selbsterklärungen“ bezeichnet. Da Schülerinnen und Schüler anspruchsvolle Selbsterklärungsaufträge regelmäßig dazu aufgefordert werden, diese Aufträge können sowohl im Unterricht als auch zur Vertiefung bei den Hausaufgaben eingesetzt werden. Wichtig ist, dass die Aufträge anspruchsvoll sind und die Lernenden geistig herausfordern. Wenn Schülerinnen und Schüler Selbsterklärungsaufträge bearbeiten, wird dadurch erstens ihr Verständnis des Lernstoffs vertieft. Zweitens erwerben sie, wenn sie regelmäßig mit solchen Erklärungen konfrontiert werden, schließlich die Kompetenz, sich selber solche Erklärungen abzuverlangen. Sobald diese Kompetenz etabliert ist, verfügen sie damit nicht nur über Mittel zur Vertiefung ihres Wissens, sondern auch über einen Prüfstein für ihr Verständnis und entgegen seltener Illusionen über das eigene Verstehen.

Holistischer Vergleich von Modellen: Geht es um das Verständnis komplexer Modelle, hat es sich bewährt, den Lernenden sowohl das korrekte Modell als auch ein teilweise inkorrektes Laienmodell zu präsentieren und die Lernenden anzuleiten, alle wichtigen Unterschiede zwischen diesen Modellen herauszuarbeiten. Auf diese Weise könnte beispielsweise das Verständnis des menschlichen Blutkreislaufs noch lernerksamer gefördert werden als mit Selbsterklärungsaufträgen (Gadgil et al. 2012). Das Besondere eines solchen Modellvergleichs liegt darin, dass damit gezielt Fehlvorstellungen angesprochen sowie die Vorteile des korrekten Modells hervorgehoben werden können.

Metakognitive Fragen: Erfolgreiches Lernen erfordert die regelmäßige Kontrolle des Lernstands und der Lernfortschritte. Um gezielt neues Wissen aufbauen zu können, ist es daher entscheidend, dass der Lernende weiß, was er bereits gut verstanden hat, und in welchen Bereichen er an seinem Verständnis noch arbeiten muss. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler lernen, sich selber regelmäßig Fragen zu ihrem eigenen Verständnis zu stellen, wie zum Beispiel die Frage: „Habe ich wirklich verstanden, worin der Unterschied zwischen einer Exponentialfunktion und einer Potenzfunktion besteht? Könnte ich den Unterschied anderen Personen klar und eindeutig erklären?“ Um ihnen diese Kompetenz zu vermitteln, müssen ihnen regelmäßig Aufträge zur Reflexion ihres Lernstands, sogenannte „metakognitive Fragen“ vorgegeben werden (Mevarech & Fridkin 2006). Metakognitive Fragen müssen sorgfältig auf die jeweiligen Unterrichtsinhalte abgestimmt sein. Sie dürfen zudem nicht zu leicht sein und müssen zentrale Konzepte und Probleme ansprechen, bei denen tatsächlich

Verständnisschwierigkeiten auftreten können. Die Kenntnis der Schülervorstellungen ist deshalb entscheidend. Der Einsatz metakognitiver Fragen hat zwei Effekte: Erstens führt er dazu, dass die Schülerinnen und Schüler den Lernstoff noch einmal durchdenken und besser verstehen und zweitens lernen die Schülerinnen und Schüler, sich selber metakognitive Fragen zu stellen und können so selbstständig ihren Lernstand und ihre Lernfortschritte kontrollieren.

5 Wer lernt leichter? Intelligenzunterschiede und Hochbegabung

Menschen mit vergleichbaren schulischen und außerschulischen Lerngelegenheiten können sich beträchtlich im Lernerfolg unterscheiden. Ein Teil dieser Unterschiede lässt sich auf Begabungsunterschiede zurückführen, die sich seit ungefähr 100 Jahren mit Intelligenztests messen lassen. An dieser Stelle wird eine kurze Einführung in die Intelligenzforschung gegeben, welche sich an ausführlichere Darstellungen anlehnt (Neubauer & Stern 2007; Stern & Neubauer 2013). Intelligenztests enthalten sprachliche, mathematisch-rechnerische oder figurale Aufgaben, aus denen sich der Intelligenzquotient (IQ) errechnen lässt. Dieser folgt einer Normalverteilung (Gausschen Glockenkurve), das heißt die meisten Menschen haben mittlere Ausprägungen (ca. 70 % liegen im Bereich von 85 bis 115 um den mittleren IQ von 100) während in den Extrembereichen sehr hoher (über IQ 130) oder sehr niedriger Intelligenz (unter 70) nur jeweils 2 % der Menschen anzutreffen sind. Der IQ ist keine absolute Größe wie z.B. Masse oder Länge, sondern er beschreibt die Abweichung einer Person von der mittleren Testleistung einer Population. Wissenschaftler sind sich inzwischen einig, dass die Effizienz der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Arbeitsgedächtnisfunktionen Intelligenzunterschiede gut erklären kann.

Die Frage nach den genetischen Ursachen von Intelligenzunterschieden wird unter Experten nicht länger kontrovers diskutiert, führt aber in der Öffentlichkeit immer noch zu Missverständnissen, die sich vor allem bei der Interpretation von Prozentangaben zeigen. Wie ist der Satz „Intelligenz ist zu 50 bis 80 % erblich“ zu verstehen? Erblichkeitsschätzungen beziehen sich nie auf die Intelligenz eines Individuums, sondern immer auf Unterschiede innerhalb einer Gruppe. Der statistische Fachausdruck hierfür ist „Varianz“, und in diese Größe geht – vereinfacht gesprochen – die Abweichung jeder einzelnen Person vom Durchschnittswert ein. Wissenschaftlich korrekt muss es heißen, „Intelligenzunterschiede sind zu 50 bis 80 % erblich“.

Aber wie lässt sich die große Spanne von 50 bis 80 % rechtfertigen? Erblichkeitsschätzungen basieren auf Zwillingsstudien. Gemeinsam aufgewachsene eineiige, also genetisch identische Zwillinge, zeigen eine sehr hohe Übereinstimmung im IQ. Einen Rückschluss auf den Einfluss der Gene lässt das aber noch nicht zu, weil Zwillinge von der Betrachtung bis ins Erwachsenenleben hinein ei-