

Elsbeth STERN, Zürich

Intelligentes Wissen als der Schlüssel zum Können

Die genetische Grundausstattung, die unsere Gehirnfunktion steuert, hat sich, nach allem, was wir bisher wissen, in den letzten Jahrtausenden nicht wesentlich verändert, die Welt, in der wir leben hingegen schon. Obwohl Menschen Jahrtausende brauchten, um Schrift zu entwickeln, können die meisten Kinder wenige Monate nach der Einschulung lesen. Auch wenn das arabische Zahlensystem erst vor 1200 Jahren entwickelt wurde, können die meisten Grundschul Kinder dividieren und verstehen, dass die Null eine Zahl ist. Ein heute fünf Jahre altes Kind, das mit einem Gehirn ausgestattet ist wie ein in der Steinzeit geborenes Kind vor 5.000 Jahren, kann einen Computer bedienen und mit diesem lernen.

Obwohl wir Menschen ein enormes Lernpotential haben, befassen wir uns vor allem mit dem Lernen, weil wir unzufrieden mit unserer Lernleistung sind. Warum ist es so mühsam, eine Fremdsprache zu lernen? Warum sitzen Schüler über Jahre im Physik- und Mathematikunterricht ohne das Wesentliche verstanden zu haben? Lernen dient der besseren Anpassung an die Umwelt und ist deshalb immer in Interaktion mit der Umwelt zu sehen. Die im lernenden Subjekt ausgelösten Veränderungen lassen sich auf neurobiologischer und auf psychologischer Ebene beschreiben. Auf neurobiologischer Ebene verändern sich chemisch-physikalische Verbindungen zwischen den Synapsen, und auf psychologischer Ebene verändert sich das Wissen. Auf welcher Ebene Lernen beschrieben wird, hängt von der Fragestellung ab. Möchte man erklären, warum es so schwer ist, eine Fremdsprache zu lernen oder Mathematik zu verstehen, ist es wenig erhellend, wenn man dies darauf zurückführt, dass sich die zuständigen Synapsen nicht verbinden. Aus einer derartigen Erklärung lassen sich keine Hinweise für die Gestaltung von Lerngelegenheiten ableiten. Wissenspsychologische Begriffe wie Automatisierung oder Konzeptwechsel hingegen geben Aufschluss über mögliche Ursachen der genannten Lernschwierigkeiten und deren Bewältigung. Möchte man hingegen erklären, warum ein an Alzheimer erkrankter Mensch nichts dazulernt, lässt sich das mit der auf neurobiologischer Ebene zu beschreibenden Zerstörung seines Gehirns erklären.

Im Mittelpunkt dieses Artikels steht die Frage, wie Menschen das im kulturellen Kontext entstandene Wissen erwerben können: Welche kognitiven Mechanismen müssen angenommen werden und welche institutionelle Unterstützung ist erforderlich?

1. Wie wird Wissen intelligent?

Der Begriff des Wissens hat manchmal einen negativen Beigeschmack. Wissen ansammeln ist etwas für weniger intelligente Menschen, während intelligente Menschen sich auch ohne dies behelfen können. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Auffassung gefestigt, dass es intelligente Schüler nicht nötig haben, für die Schule zu lernen, was sich denn auch über Jahre hin zu bestätigen schien. Erst der Globalisierungsschock namens PISA förderte zutage, dass Deutschland, was Spitzenleistungen insbesondere in der Mathematik und den Naturwissenschaften angeht, nicht auf die Herausforderungen der Zukunft vorbereitet ist. Es wurde ja bereits hervorgehoben, dass der Schule die Aufgabe zukommt, Wissen weiterzugeben und zu erhalten, welches unter großen Mühen von teilweise genialen Geistern entwickelt wurde. Neuere Ergebnisse der Kognitionsforschung zeigen die Bedeutung des Wissens für das Können. Zwei Forschungsrichtungen betonen dies.

1. *Expertiseforschung*: In der Tradition der Expertiseforschung werden Menschen erforscht, die in einem anspruchsvollen und komplexen Gebiet Höchstleistungen erbringen. Schach, Mathematik, Musik und Naturwissenschaften sind gut erforschte Gebiete. Es zeigte sich, dass sich Menschen, die Höchstleistungen erbringen, von so genannten Novizen nicht durch ihre Intelligenz, sondern durch ihr Wissen unterscheiden. Systematische biographische Forschungen haben gezeigt, dass Experten lange Jahre hindurch sehr intensiv auf ihrem Gebiet geübt haben. Natürlich sind Experten in vielen Bereichen auch überdurchschnittlich intelligent. Ein unterdurchschnittlich intelligenter Physik- oder Mathematikprofessor ist schwer denkbar. Aber während fehlendes Wissen nicht kompensierbar ist, können mögliche Defizite bei Intelligenz und speziellen Begabungen durch besonders intensives Üben auf weiten Strecken ausgeglichen werden (Neubauer & Stern, 2007).
2. *Vorhersage von Leistungsunterschieden*: Warum unterscheiden sich am Ende eines Schuljahrs die Schüler einer Klasse in ihren Leistungen auf Gebieten, welche im Unterricht ausführlich behandelt wurden? Eine einfache Erklärung wäre, dass manche Schüler aufgrund ihrer Persönlichkeit, die sich in Merkmalen wie Intelligenz, Motivation oder Anpassung ausdrücken kann, mehr vom Unterricht mitbekommen haben als andere. Tatsächlich liegt die Sache noch einfacher: Kinder, die unabhängig von ihrer Intelligenz schon zu Beginn des Schuljahres Wissen mitbrachten, haben die besten Chancen, etwas dazu zu lernen. Unterschiede des Vorwissens z.B. in der Ma-

thematik treten schon sehr früh auf. Manche Kinder können rechnen, lange bevor sie in die Schule kommen, und sich diesen Vorsprung oft auch erhalten. Dies zeigen Längsschnittstudien wie z.B. LOGIK und SCHOLASTIK. An mehreren hundert Münchener Schülern wurden über einen Zeitraum von 15 Jahren regelmäßig Leistungsmessungen in Mathematik, Lesen und Schreiben sowie naturwissenschaftlichem Verständnis vorgenommen. Gleichzeitig wurden auch Intelligenz und andere Persönlichkeitsmerkmale mehrfach erfasst. In ganz unterschiedlichen Analysen zeigte sich immer wieder das gleiche Ergebnis: Sobald bereichsspezifisches Wissen in die Analyse aufgenommen wurde, verloren Persönlichkeitsunterschiede an Vorhersagekraft. Ein Ergebnis war besonders beeindruckend: Unterschiede der Mathematikleistung bei Gymnasiasten in der 11. Klasse ließen sich besonders gut durch Unterschiede der Mathematikleistung in der zweiten Klasse erklären. Es war sogar so, dass nur Kinder, die bereits in der 2. Klasse ein fortgeschrittenes Verständnis von Zahlen hatten – später wird noch näher darauf eingegangen, was darunter zu verstehen ist –, in der 11. Klasse noch sehr gute Leistungen erbringen konnten. Verglich man den Einfluss von Vorwissen und Intelligenz, so zeigt sich – wie nicht anders zu erwarten –, dass intelligentere Kinder im Allgemeinen auch über mehr Wissen verfügen. Wer es jedoch nicht geschafft hat, seine Intelligenz in Wissen umzusetzen, der hat in dem entsprechenden Fachgebiet weniger Chancen als jemand, der bei schlechteren Ausgangsbedingungen mit vielleicht etwas größerer Anstrengung Wissen erworben hat (Stern, 2003, 2008).

Im Folgenden werden drei Mechanismen erörtert, welche dem menschlichen Geist für den Aufbau einer brauchbaren Wissensbasis zur Verfügung stehen.

2. Lernen als Chunking: Das Bündeln von Information zu größeren Einheiten

Wer die Zahlen 91119893101990 hört, wird sich diese kaum merken können. Im Allgemeinen kann sich der Mensch nur sieben bis neun Einheiten merken. Wenn ich aber sage, 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 wahrscheinlich problemlos reproduzieren: 9.11.1989 3.10.1990. Unsere Gedächtniskapazität, also die Fähigkeit, eine bestimmte Menge an Information in einer bestimmten Zeit aufzunehmen, ist grundsätzlich begrenzt. Diese Fähigkeit ist jedoch keine starre, naturgegebene Größe, sondern hängt

wesentlich davon ab, ob wir über bereichsspezifisches Wissen verfügen und ob dieses Wissen in einer Weise organisiert ist, die es uns ermöglicht, Informationen zu bündeln. Die Bildung von Einheiten (der wissenschaftliche Fachausdruck für diese kognitive Leistung ist „chunking“) versetzt uns nämlich in die Lage, Informationen zu komprimieren und so die Gedächtniskapazität zu vergrößern. Diese Abhängigkeit unserer Gedächtniskapazität von der Wissensorganisation lässt sich an folgendem Beispiel gut veranschaulichen: Werden wir mit der Anforderung konfrontiert, eine Buchstabenreihe wie „lsiftgvsazbtdk“, die uns für kurze Zeit präsentiert wurde, exakt wiederzugehen, so werden die meisten von uns scheitern. Hingegen werden die meisten Leser die Buchstabenreihe „hamburgberlinfrankfurtmünchenvenedigflorenzrom“ auch nach Stunden noch reproduzieren können, selbst wenn sie nur wenige Sekunden dargeboten wurde. Denn spätestens, nachdem „Hamburg“ erkannt wurde, wird im Gedächtnis die Kategorie „Städtenamen“ aktiviert. Die einzige Herausforderung besteht nun lediglich noch darin, sich die Reihenfolge der Städte zu merken. Dabei reichen durchschnittliche Geographiekennnisse aus um zu bemerken, dass wichtige deutsche und italienische Städte in Nord-Süd-Richtung aufgeführt werden. All dieses Wissen wurde aktiviert, ohne dass der Aufgabenstellung selbst ein Hinweis darauf zu entnehmen war. Während sich niemand auf Antrieb die 14 zufällig angeordneten Buchstaben merken kann, weil sich in diesem Fall nicht auf Wissen zurückgreifen lässt, das die Bündelung einzelner Buchstaben zu größeren Einheiten erlaubt, kann man sich die 46 Buchstaben durchaus merken, weil man sie zunächst zu sieben Städtenamen-Einheiten zusammenfasst, für die es bereits Gedächtniseinträge gibt. Weitere Gedächtniseinträge über die geographische Lage der einzelnen Städte erlauben eine zusätzliche Verdichtung der Information.

Im Alltag spricht man zwar häufig von gutem oder schlechtem Gedächtnis wie von einer Persönlichkeitseigenschaft - der eine hat es, der andere eben nicht. Tatsächlich zeigen sich aber Einschränkungen in der generellen Gedächtnisleistung nur als Folge von kortikalen Störungen. Ansonsten hängt es vor allem von der zur Verfügung stehenden Wissensrepräsentation ab, in welchem Umfang man sich Informationen merken kann.

Die Abhängigkeit der Merkfähigkeit von der bereichsspezifischen Wissensstruktur wurde auch mit dem folgenden, inzwischen klassisch gewordenen Experiment der kognitiven Psychologie eindrucksvoll nachgewiesen: Man zeigte Schachexperten und Schachnovizen (also nicht Laien, sondern Personen, die das Schachspiel beherrschen, wenn auch nicht auf professionellem Niveau) für eine begrenzte Zeit Bilder mit Schachbrettern und Schachfiguren. Die Versuchsteilnehmer hatten die Aufgabe, die Schach-

stellungen zu reproduzieren. Handelte es sich dabei um Schachstellungen, die sich aus einem sinnvollen Spielverlauf ergeben, zeigten die Experten eine sehr viel bessere Gedächtnisleistung als die Novizen. Kein Unterschied hingegen trat auf, wenn die Schachfiguren auf dem Brett zufällig angeordnet waren. Man geht davon aus, dass Schachexperten Tausende von Schachstellungen als Einheiten gespeichert haben. Dieses Wissen, das es ihnen erlaubt, über mehrere Züge hinweg die möglichen Konsequenzen bestimmter Züge abzuschätzen, erleichtert ihnen die Gedächtnisaufgabe unter der Bedingung eines sinnvollen Spielverlaufs (neuere Arbeit: Grabner et al., 2007).

Auch die Strategien von Gedächtniskünstlern, die sich bis zu 80 Ziffern merken können (und nicht nur 7, wie die meisten von uns), sprechen für die Bedeutung der Wissensorganisation für die Gedächtniskapazität. Sie erweitern ihre Merkfähigkeit nämlich dadurch, dass sie sich ein zahlenintensives Wissensgebiet wie zum Beispiel Geschichtszahlen, Sportdaten oder Telefonnummern auswählen und es systematisch derart organisieren, dass sie jede längere Zahlenkombination auf ein Ereignis abbilden können.

3. Lernen als Automatisierung: Perfektion auf Kosten der Flexibilität

Erinnern wir uns daran, wie wir Autofahren gelernt haben: Kupplung treten, Gang raus, Fuß auf das Gas, Schlüssel umdrehen, Fuß auf die Kuppelung, Gang rein. Führt man diese Schritte nicht in der angegebenen Reihenfolge durch, besteht die Gefahr, dass das Auto absäuft bzw. gegen die Mauer springt. Ein geübter Autofahrer führt diese Schritte in Sekundenschnelle aus und kann seine Aufmerksamkeit problemlos auf etwas anderes – z.B. das Gespräch mit dem Beifahrer – lenken. Der Anfänger hingegen muss sich nach jedem ausgeführten Schritt selbst sagen, was als nächstes kommt, und wenn er abgelenkt wird, treten die genannten Ereignisse ein. Dass wir in Sekundenschnelle das Wort Mississippi dampfschiffahrtsgesellschaftskapitän lesen können, verdanken wir der hochgradigen Automatisierung des Erkennens von Buchstaben sowie dem Wissen darüber, welche Buchstabengruppen – jedenfalls in einer uns gut bekannten Sprache – welchen Silben zugeordnet sind. 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 verloren geht. Bei manchen Schülern ist der Leseprozess so wenig automatisiert, dass die gesamte Aufmerksamkeit absorbiert wird, so dass das Stiften von Sinnzusammenhängen nicht möglich ist. Automatisierung wird in allen Bereichen gefordert. Das Beherrschen des 1x1 gehört ebenso dazu wie das Erkennen von Schaubildern oder das Vokabel-

lernen in der Fremdsprache. Automatisierung ist die Folge von Übung in Teilschritten. Ein kapitaler Fehler ist es Üben gering zu schätzen. Automatisiertes Wissen ist die Voraussetzung für das Verstehen komplexer Zusammenhänge und abstrakter Begriffe, da man für den Aufbau solcher Wissensstrukturen Kapazitäten braucht. Wenn ich die binomischen Formeln nicht nur rekonstruieren kann, sondern sie auch auswendig weiß, kann dies beim Auflösen einer komplexen Gleichung hilfreich sein, weil ich auf einen Blick erkenne, wo ich etwas vereinfachen kann. Wer Vokabeln einer Fremdsprache gelernt hat, kann sich bei der Konstruktion eines Satzes auf die Grammatikregeln konzentrieren. Dass die Expertise von mathematisch kompetenten Personen auch in der Automatisierung von Rechenprozeduren konnten Grabner et al. (2007) mit Hilfe neuropsychologischer Studien zeigen.

Einmal automatisiertes Wissen ist nur noch schwer veränderbar und das kann natürlich zu Nachteilen in neuen Situationen führen. Wenn wir von einem Computer mit US-Tastatur E-Mails versenden, werden sich wegen unterschiedlicher Anordnungen der Buchstaben sehr typische Tippfehler zeigen.

4. Lernen als Verstehen: Der Erwerb und die Umstrukturierung von Begriffen

Den Kern unseres bewusst zugänglichen und kommunizierbaren Wissens bilden Begriffe. Wir nennen Wörter wie Peter, Hund, Säugetier, Teufel, Gerechtigkeit, Gewitter 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. „Ball“ und „rund“, oder aber Begriffe auf der gleichen Ebene wie „Ball“ und „Teddybär“, die zusammen die Grundlage für Oberbegriffe wie „Spielzeug“ bilden können. Aus der Verbindung zwischen Begriffen entstehen Netzwerke, die unterschiedlich umfangreich und unterschiedlich 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 Lehrern und Schülern, besteht darin, dass die gleichen Begriffe verwendet werden, dass aber die Netzwerke, in die sie eingebettet sind, sehr unterschiedlich sind. So ist das Begriffswissen von Kindern zunächst von charakteristischen Oberflächenmerkmalen und nicht von theoriegeleiteten, definitorischen Merkmalen bestimmt, weil sie sich bei der Bildung von Begriffen in erster Linie von ihren Wahrnehmungen leiten lassen. Jün-

gere Grundschul Kinder 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 tiefer gehendem 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).

Auch bei Erwachsenen zeigen sich ähnliche Diskrepanzen. So ist im Alltagsverständnis vieler Menschen eine Maschine etwas, was sich bewegt, Krach macht und Energie verbraucht. Physiker und Ingenieure hingegen verstehen darunter eine Vorrichtung, welche die vorhandene Kraft möglichst zweckmäßig zur Verrichtung von Arbeit einsetzt. Für sie sind Schnürsenkel und Schrauben ebenso Maschinen wie der Porschemotor eine ist. Erst ein solches abstraktes, auf theorie- und funktionsgeleiteten Merkmalen beruhendes Konzeptverständnis – eben intelligentes Wissen – bietet den Nährboden für kreative und innovative Denkprozesse in naturwissenschaftlichen und technischen Bereichen.

Lernen als Konzeptwechsel gehört zu den anspruchsvollsten geistigen Tätigkeiten und erfordert professionelle, institutionalisierte Lerngelegenheiten. Wenn in Mathematik und in den Naturwissenschaften auch sehr intelligente Schüler schlechte Leistungen erbringen, führen Unterrichtsforscher darauf zurück, dass nicht ausreichend am Konzeptwechsel gearbeitet wird. 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 Ge-

schwindigkeit gemacht haben, dass für die Feinheiten, die der Physiklehrer zu vermitteln versucht, in ihrem Wissensnetz kein Platz mehr ist (Hardy et al., 2005).

Die Grundlagen für einen Aufbau adäquaten konzeptuellen Wissens sollten bereits in der Grundschule gelegt werden, indem die Lehrer verständnisorientierten Unterricht forcieren. In Mathematik bedeutet dies vor allem, Kinder mit Aufgaben zu konfrontieren, in denen Zahlen nicht einfach als Zählinstrumente genutzt werden, sondern die Beziehungen zwischen Mengen beschreiben, wie z.B. in Aufgaben zum quantitativen Vergleich (Staub & Stern, 2002, Stern, 2008).

Literatur

- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13-19.
- Grabner, R. H., Ansari, D., Reishofer, G., Stern, E., Ebner, F. & Neuper, C. (2007). Individual differences in mathematical competence predict parietal brain activation during mental calculation. *NeuroImage*, 38, 346-356.
- Grabner, R., Stern, E. & Neubauer, A. (2007). Individual differences in chess expertise: A psychometric investigation. *Acta Psychologica*.
- Hardy, I., Schneider, M., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2005). Fostering diagrammatic reasoning in science education. *Swiss Journal of Psychology*, 64, 207-217.
- Neubauer, A. & Stern, E. (2007). Lernen macht intelligent. Warum Begabung gefördert werden muss. München: DVA.
- Staub, F. C., & Stern, E. (2002). The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: Quasi-experimental evidence from elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 93, 144-155.
- Stern, E. (2003). Lernen ist der mächtigste Mechanismus der kognitiven Entwicklung: Der Erwerb mathematischer Kompetenzen. In W. Schneider & M. Knopf (Eds.), *Entwicklung, Lehren und Lernen - Zum Gedenken an Franz Emanuel Weinert* (pp. 207-217). Göttingen: Hogrefe.
- Stern, E. (2008). Verpasste Chancen? Was wir aus der LOGIK Studie über den Mathematikunterricht lernen können. In W. Schneider (Ed.) *Entwicklung von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter: Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK*. Weinheim: Beltz