Elsbeth Stern

Intelligenz - Grosse Unterschiede und ihre Folgen

*

DVA
eBooks

Elsbeth Stern | Aljoscha Neubauer

INTELLIGENZ
Große Unterschiede und ihre Folgen

Deutsche Verlags-Anstalt

Der Inhalt dieses E-Books ist urheberrechtlich geschützt und enthält technische Sicherungsmaßnahmen gegen unbefugte Nutzung. Die Entfernung dieser Sicherung sowie die Nutzung durch unbefugte Verarbeitung, Vervielfältigung, Verbreitung oder öffentliche Zugänglichmachung, insbesondere in elektronischer Form, ist untersagt und kann straf- und zivilrechtliche Sanktionen nach sich ziehen.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten, so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung, da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.

1. Auflage
Copyright © 2013 Deutsche Verlags-Anstalt, München,
in der Verlagsgruppe Random House GmbH,
Neumarkter Str. 28, 81673 München.
Alle Rechte vorbehalten
Typografie und Satz: DVA /Brigitte Müller
Gesetzt aus der Stone
ISBN 978-3-641-08050-1
V002

www.dva.de

Für Alissa, Ralph und Tatjana

Inhalt

Vorwort

1 Wozu brauchen wir Intelligenz?

2 Was ist Intelligenz, und wie wird sie gemessen?

3 Woher kommen Intelligenz- und Begabungsunterschiede? Die Frage nach Erbe und Umwelt richtig gestellt

4 Nature via Nurture: Was muss die Umwelt dem Kind bieten, damit sich das genetische Potenzial optimal entwickeln kann?

5 Der Blick ins Gehirn: Wie das intelligente Gehirn aussieht

6 Intelligenz intelligent nutzen: Welche Vorteile haben intelligente Menschen, wenn sie gute Entwicklungsbedingungen haben?

7 Kein Ersatz für Intelligenz: Fleiß, Disziplin, Motivation und Kreativität

8 Begabungsförderung in der Schule: Was wir besser machen können und müssen

Literatur

Abbildungsnachweis

Register

Vorwort

> *»Es gibt nichts Ungleicheres als die gleiche Behandlung von ungleichen Menschen.«*
> Thomas Jefferson

Unter Psychologen ist unbestritten, dass die Gauß'sche Glockenkurve die Verteilung der geistigen Begabung am besten abbildet. 70 % der Menschen liegen nicht weit vom Mittelwert entfernt, 15 % zeigen deutlich unterdurchschnittliche und 15 % klar überdurchschnittliche Leistungen in Intelligenztests. Entgegen der immer wieder vorgebrachten Kritik sind Intelligenztests alles andere als Artefakte, die im realen Leben keine Rolle spielen, sondern können Lebenserfolg auf breiter Ebene vorhersagen. Eine hohe Intelligenz ist uneingeschränkt positiv zu bewerten. Unbestritten ist auch, dass überdurchschnittliche Leistungen nicht einfach nur das Ergebnis besserer Umweltbedingungen sind, sondern dass es genetisch bedingte Unterschiede in der geistigen Leistungsfähigkeit gibt. Diese Anlagen können sich aber nur unter förderlichen Umweltbedingungen entfalten. Wer keine entsprechenden Anlagen mitbringt, kann selbst unter optimalen Bedingungen keine Spitzenwerte erreichen.

In der Intelligenzforschung hat man sich sehr ausgiebig mit den Extremen an beiden Enden beschäftigt. Dank umfangreicher Erforschung von geistiger Behinderung wissen wir inzwischen mehr über die Möglichkeiten dieser Menschen und können ihre Lebensbedingungen besser gestalten. Sehr gut untersucht sind auch die sogenannten Hochbegabten, also die 2 % Besten mit einem IQ von 130 oder höher. Wir wissen, dass diese Menschen sehr gute Erfolgschancen in Ausbildung und Beruf haben, und wir

wissen auch, dass die angeblich größeren sozialen und lebensweltlichen Probleme dieser Gruppe ein Mythos sind. Hochbegabte unterscheiden sich lediglich in der Intelligenz von ihren etwas weniger begabten Zeitgenossen. Allerdings hat sich die Abgrenzung der Hochbegabten als schwierig und fehleranfällig herausgestellt. Psychologische Tests sind im oberen Bereich ungenauer als im mittleren. So ist es möglich, dass ein als hochbegabt klassifizierter Mensch in Wahrheit nur einen Platz im oberen Viertel einnimmt, während eine Spitzenbegabung übersehen wird, weil die Testsituation nicht optimal war. Tatsächlich wäre eine moderne Wissens- und Informationsgesellschaft aber schlecht beraten, wenn sie ihre Bildungsressourcen bevorzugt auf die oberen 2 % konzentriert. Denn moderne Gesellschaften brauchen einen großen Pool von Menschen, die geistig flexibel und bereit sind, Verantwortung zu tragen und Risiken der Innovation auf sich zu nehmen. Eine überdurchschnittliche Intelligenz ist dafür eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Voraussetzung. Damit überdurchschnittlich intelligente Menschen zum Wohle der Gesellschaft in die Lage versetzt werden, verantwortungsvolle Positionen zu übernehmen, müssen sie die Gelegenheit bekommen, ihre Intelligenz in inhaltliche Kompetenzen zu investieren.

Ein Merkmal von Intelligenz ist die Flexibilität im Denken. Diese bedeutet aber nicht, dass man sich zu jedem Zeitpunkt seines Lebens neu orientieren kann. Auch für intelligente Menschen ist der Erwerb von Kompetenzen ein aufwendiges Unterfangen, das viel Zeit in Anspruch nimmt. Eine zentrale Frage, die sich jede Gesellschaft deshalb stellen muss, ist, wie sie Menschen mit guten geistigen Voraussetzungen erkennt und so fördert, dass sie ab dem Erwachsenenalter verantwortungsvolle Aufgaben übernehmen können. Nur eine Gesellschaft, die ihre Talente nutzt, kann auf Dauer erfolgreich sein. Intelligenz und Begabung können als ein Startkapital verstanden

werden, in das man investieren muss. Sie sind eine individuelle Ressource, die sich nur in der Gemeinschaft entwickeln kann. Die biologischen Voraussetzungen der Intelligenz im Genom und im Gehirn treffen auf Angebote in Elternhaus, Schule und Gesellschaft. Wie dieses Zusammentreffen für alle optimal aussehen könnte und wodurch es beeinträchtigt werden kann, werden wir in diesem Buch zeigen.

Dass wir trotz der üblichen universitären Belastungen die Zeit gefunden haben, dieses Buch zu schreiben, verdanken wir vor allem unserem funktionierenden wissenschaftlichen Umfeld. Wir konnten jederzeit auf die kompetente Hilfe unserer Mitarbeiter zählen. Stellvertretend seien hier Mathias Benedek, Claudia Boschung, Peter Greutmann, Sylvia Opriessnig und Jürgen Pretsch genannt. Ganz besonderen Dank schulden wir Christiane Naumann von der Deutschen Verlags-Anstalt, die das Buchprojekt von Anfang an begleitet hat und dank ihrer kritisch-konstruktiven Rückmeldung Wesentliches zur Lesbarkeit beigetragen hat.

Graz und Zürich
Aljoscha Neubauer und Elsbeth Stern

1 Wozu brauchen wir Intelligenz?

> *»Psychologen sind sich inzwischen einig darin, dass Intelligenz das Produkt der Schule ist und gleichzeitig deren wichtigstes Rohmaterial.«*
> Richard Snow, 1982

Stellen wir uns 60 acht- bis neunjährige Kinder vor, die auf drei Grundschulklassen der dritten Jahrgangsstufe derselben Schule verteilt sind. Jeweils 20 Kinder gehen zusammen in eine Klasse. Die Kinder sollen mathematische Textaufgaben lösen, die sie in der Form noch nicht durchgenommen haben, z. B.:

- Beate hat 4 Kekse. Andreas hat 3 Kekse. Wie viele Kekse haben Beate und Andreas zusammen?

Welche Voraussetzungen muss ein Kind mit Deutsch als Muttersprache dafür mitbringen? Es muss offensichtlich lesen können und arithmetische Grundoperationen im kleinen Zahlenbereich beherrschen. Wir gehen davon aus, dass alle Kinder in den ersten Schuljahren dazu genügend Gelegenheiten erhalten haben. Tatsächlich zeigen Untersuchungen, dass so gut wie alle Kinder im dritten Schuljahr die genannte Aufgabe lösen können (Stern, 1997). Sie müssen sich dazu aus dem ersten Satz die Zahl 4 merken, aus dem zweiten die 3, und nachdem sie die Aufgabenstellung gelesen haben, muss den Kindern klar sein, dass man die beiden addieren muss. Wer bis dahin die Zahlen vergessen hat, die es zusammenzuzählen gilt, liest die Aufgabe einfach noch mal von vorn.

Obwohl diese Aufgabe sehr einfach ist, erfordert sie doch eine ganz bestimmte Kompetenz, nämlich die Fähigkeit

zum schlussfolgernden Denken, genauer genommen zum deduktiven Denken. Mathematische Textaufgaben gehören zu dem Typ Aufgaben, bei dem es darum geht, aus vorgegebener Information neue zu erschließen, ohne dass weiterer Input von außen erforderlich ist. Alle Angaben, die man zur Lösung der Aufgabe braucht, sind im Text enthalten, der Rest muss im Kopf konstruiert werden. Was genau im Gehirn dabei vor sich geht, kann man zwar nicht beobachten, aber man kann sich anhand von wissenschaftlichen Modellen recht genaue Vorstellungen davon machen. So wissen wir beispielsweise, dass Menschen ein abstraktes Teil-Ganzes-Schema in ihrem Gedächtnis repräsentiert haben, aus dem sie ableiten können, dass man durch das Zusammenfügen kleinerer Mengen eine größere Menge herstellen und umgekehrt größere Mengen in kleinere aufteilen kann. Es gibt Belege dafür, dass schon sehr kleine Kinder über ein solches Schema in ihrem Wissensrepertoire verfügen. Wird dieses Wissen mit den in der Schule erworbenen Kompetenzen im Lesen und Rechnen kombiniert, ist ein Kind imstande, die obige Textaufgabe zu lösen. Allerdings ist eine solche Neukombination von verschiedenen Wissenskomponenten keine Selbstverständlichkeit; sie erfordert eine Art von Intelligenz, wie sie, nach allem was wir wissen, dem Menschen vorbehalten ist. Dennoch würden wir ein achtjähriges Kind, das die oben genannte Textaufgabe lösen kann, nicht als besonders intelligent bezeichnen. Den Begriff Intelligenz verwenden wir im Alltag wie in der Wissenschaft, um die Unterschiede in der geistigen Leistungsfähigkeit von Menschen zu betonen. Mit einer Aufgabe, die fast alle Menschen einer Altersgruppe lösen können, lässt sich Intelligenz in diesem Sinne also nicht unter Beweis stellen.

Ganz anders sieht es bei den beiden folgenden Aufgaben aus:

- Maria hat 8 Murmeln. Sie hat 3 Murmeln mehr als Hans. Michael hat 5 Murmeln. Er hat 2 Murmeln weniger als Elisabeth. Wie viele Murmeln haben Hans und Elisabeth zusammen?
- Susanne zieht jeden Tag eine Hose mit einem T-Shirt an. Sie möchte gern jeden Tag anders angezogen sein. Sie hat 3 Hosen und 5 T-Shirts. An wie vielen Tagen kann sie verschieden angezogen sein?

Nicht viele Drittklässler werden diese Aufgaben lösen können, und diejenigen, die es schaffen, kann man mit gutem Grund als intelligent bezeichnen, denn das Lösen der Murmel-Aufgabe etwa erfordert ein höheres Maß an Intelligenz als die eingangs genannte Keks-Aufgabe. Anders als bei der Keks-Aufgabe folgt nach den ersten beiden Sätzen noch keine konkrete Aufgabenstellung, sondern das Kind muss sich selbst erschließen, welche Informationen es aus den bereits gegebenen ableiten kann. Erst nach dem vierten Satz wird klar, dass aus den genannten Besitz- und Differenzmengen zuerst die noch unbekannten Besitzmengen errechnet und dann zum Teil addiert werden müssen. Man muss also eine ganze Menge an Information im Gedächtnis behalten und gleichzeitig damit arbeiten (Stern, 1993, 1998, 2005).

Eine solche Aufgabe zu lösen, stellt hohe Anforderungen an das sogenannte Arbeitsgedächtnis. Darunter versteht man – grob gesagt – die Fähigkeit des Menschen, eingehende Informationen in das eigene verfügbare Wissen zu integrieren und daraus eine Handlung zu initiieren, die es ermöglicht, die gerade anstehende Anforderung zu bewältigen. Wie wir im Folgenden immer wieder sehen werden, spielen die Funktionen des Arbeitsgedächtnisses bei allen geistigen Leistungen eine ganz besondere Rolle. Menschen unterscheiden sich in der Effizienz ihres Arbeitsgedächtnisses, und – so viel sei an dieser Stelle bereits verraten – Intelligenzunterschiede lassen sich zu

einem beachtlichen Teil auf Unterschiede in den Arbeitsgedächtnisfunktionen zurückführen. Im Allgemeinen sind intelligente Menschen weniger intelligenten in folgenden Aspekten überlegen:

- in der Geschwindigkeit, mit der sie benötigtes Wissen aus dem Gedächtnis abrufen,
- in der Menge an Information, die sie in ihrem Arbeitsgedächtnis speichern können,
- in der Fähigkeit, irrelevante Informationen zu hemmen und so dafür zu sorgen, dass das Arbeitsgedächtnis nicht blockiert wird,
- in der Fähigkeit, Ziele zu wechseln, wenn es die übergeordnete Anforderung verlangt,
- in der Geschwindigkeit, mit der Handlungsalternativen gegeneinander abgewogen werden.

Man kann sich sehr gut vorstellen, dass beim Lösen der beiden anspruchsvolleren Textaufgaben Intelligenz in Form eines effizienten Arbeitsgedächtnisses von Vorteil ist. Während es bei der einfachen Textaufgabe darum geht, aus den vier Grundrechenarten die richtige anzuwenden, stellt die Murmel-Aufgabe vor allem beachtliche Anforderungen an die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses: Man muss sich vier Zahlen merken, von denen man erst am Ende des Textes weiß, wie sie miteinander verrechnet werden sollen. Auch für die Hosen/T-Shirt-Aufgabe bedarf es eines effizienten Arbeitsgedächtnisses, um sie richtig zu lösen: Bei einer so komplexen Textaufgabe stellt man sich am besten vor, wie jede Hose mit jedem T-Shirt kombiniert werden kann, gestaltet aber die einzelne Repräsentation eher sparsam. Das heißt, man verzichtet darauf, sich jedes Oberteil und jede Hose zu detailreich vorzustellen, etwa ein T-Shirt mit blauen Streifen und ein anderes mit roten Blumen. Das würde irrelevante Informationen aktivieren, die das Arbeitsgedächtnis unnötig blockieren.

Wie sich die Effizienz des Arbeitsgedächtnisses messen lässt und wie diese mit der Leistung in konventionellen Intelligenztests zusammenhängt, wird weiter unten noch erörtert werden. Hier soll es zunächst um die Frage gehen, welche Kompetenzen man in der Schule erworben haben muss, um obige Aufgaben bewältigen zu können. Denn eines ist klar: Ganz aus eigener Kraft geht es nicht. Stellen wir uns ein achtjähriges Kind vor, das mit einem höchst effizienten Arbeitsgedächtnis ausgestatten ist, aber – aus welchen Gründen auch immer – nur zwölf Monate die Schule besucht hat. Das Kind hat – weil es sehr intelligent ist – in kurzer Zeit Lesen, Schreiben und Rechnen gelernt. Es ist also imstande, Textaufgaben zu lesen und Zahlen zu verrechnen, wird aber kaum in der Lage sein, ein sogenanntes mentales Modell der oben genannten Aufgaben zu erstellen. Es wird mit großer Wahrscheinlichkeit bei der Murmel-Aufgabe die 2 subtrahieren, weil das Wort *weniger* dies nahelegt. Bei der Hosen/T-Shirt-Aufgabe wird es die beiden Zahlen vermutlich addieren und als Ergebnis 8 nennen. Ganz offensichtlich hatte ein solches Kind nicht die Möglichkeit, seine Intelligenz in mathematisches Wissen und Verständnis umzusetzen.

Der Beitrag der Schule zur Intelligenzentwicklung

Ob ein Kind bei einer anspruchsvollen Textaufgabe zum richtigen Ergebnis kommt oder nicht, hängt also nicht allein von seiner Intelligenz ab, sondern auch von dem mathematischen Wissen und Verständnis, die im Schulunterricht vermittelt werden. Lernen muss grundsätzlich als das Zusammenspiel von Individuum und Umwelt verstanden werden. Voraussetzung für Lernen ist deshalb einerseits ein in der Architektur des Gehirns verankertes Potenzial und andererseits eine Umwelt, die Anforderungen stellt und Lernen zulässt. Je nach Lernziel

variieren die Ansprüche an die Umwelt. Manches lernen Menschen ganz einfach und ohne professionelle Instruktion, weil der Bauplan des menschlichen Gehirns direkt darauf vorbereitet ist. Der Mensch ist sozusagen mit einem Instinkt ausgestattet. Andere Lerninhalte hingegen können ihm nur von professionell ausgebildeten Personen vermittelt werden, die in einem gewachsenen kulturellen Umfeld agieren. Am Beispiel der Arithmetik lässt sich das besonders gut demonstrieren: Wie der bekannte französische Kognitionswissenschaftler Stanislas Dehaene in seinem Buch *Der Zahlensinn* (1999) festgestellt hat, sind wir Menschen mit einem Zahlensinn ausgestattet. Auch aus anderen Forschungsrichtungen gibt es Belege dafür, dass das menschliche Gehirn, dessen genetischer Bauplan nach bisherigem Forschungsstand seit mehr als 40000 Jahren weitgehend unverändert ist, alle Voraussetzungen für ein schnelles Lernen von numerischen und sprachlichen Grundkompetenzen mitbringt. Es bedarf keiner professionellen Instruktion, um sich beides anzueignen, man benötigt lediglich sprechende und zählende Menschen in seinem sozialen Umfeld. Etwas salopp ausgedrückt: Das Gehirn von allen kleinen Kindern springt – sofern keine Störungen in der Entwicklung vorliegen – auf jede Lerngelegenheit in diesen Bereichen an. Und das gilt für den Erwerb aller geistigen Kompetenzen, die in der Architektur des Gehirns angelegt sind: Kinder brauchen keine aufwendige Stimulation, keine ausgeklügelte Lernumgebung, wie sie von angeblichen Spezialisten für Frühförderung für teures Geld angeboten werden. Ein soziales Umfeld, in dem gesprochen, emotionale Geborgenheit vermittelt und fürsorgliche Anregung gegeben wird, reicht völlig aus. Insbesondere was das Zählenlernen betrifft, ergeben sich im Alltag unzählige Möglichkeiten: beim Tischdecken, Aufräumen, Einkaufen etc. Umgekehrt spricht es für einen hohen Grad an Vernachlässigung, wenn ein Kind keine spontane

Gelegenheit zur Quantifizierung erhält. Aber auch die Reize, die Kinder brauchen, um beispielsweise im ersten Lebensjahr ihre Sehfähigkeit auszubauen, stellt jede Umgebung zur Verfügung, egal ob ein Kind in einer Jurte in der Mongolei oder im Nobelviertel einer Weltstadt aufwächst. Wie Langzeitstudien zeigen, sind selbst rumänische Kinder, die in den 1980er Jahren geboren wurden und ihr erstes Lebensjahr unter schlimmsten Verhältnissen in einem Waisenhaus verbracht haben, was ihre Seh- und Hörfähigkeiten sowie andere geistige Grundkompetenzen angeht, völlig normal entwickelt (siehe Kapitel 4).

Professionelle Unterstützung für die Entwicklung von Kindern wird hingegen benötigt, wenn es um den Erwerb von geistigen Kompetenzen geht, die an die kulturelle Entwicklung gebunden sind. Dazu gehört allem voran der Schriftspracherwerb. Die ersten Spuren von Schrift lassen sich 5000 Jahre zurückdatieren. Angesichts dessen, dass die Menschen im Prinzip seit 40000 Jahren ein Gehirn mitbringen, welches sie in die Lage versetzt, Lesen und Schreiben zu lernen, erstaunt es, dass sie gerade einmal vor ein paar Tausend Jahren damit begonnen haben, Schriftsymbole zu entwickeln. Die Entstehung der mathematischen Symbole setzte sogar noch später ein: Obwohl jede Kultur, und sei sie auch noch so traditionell und isoliert, Zahlwörter (eins, zwei, drei …) bis mindestens 20 in ihrem Sprachrepertoire hat und Zählen eine universelle menschliche Kompetenz ist, wurden Zahlsymbole (1, 2, 3, …) erst vor etwa 2000 Jahren entwickelt. Unser heutiges indisch-arabisches Zahlensystem bildete vor etwa 500 Jahren die Grundlage für die Mathematik, so wie sie in der Schule gelehrt wird. Eine entscheidende Bedeutung kam dabei der Tatsache zu, dass man dem Nichts nicht nur einen Namen gab (Null), sondern auch ein eigenes Symbol (0). Die Erfindung der Null wird von manchen Historikern als die größte

Kulturleistung überhaupt gesehen. Die Römer hatten sie noch nicht und verfügten deshalb über ein Zahlensystem (I, II, III, IV, V usw.), das zwar Mengen bezeichnen konnte, sich aber nicht zum Rechnen eignete. So stand einer effizienten Informationsverarbeitung unter anderem im Wege, dass eine größere Zahl wie 99 weniger Zeichen (IC) brauchte als eine kleinere wie 28 (XXVIII). Vor allem aber fehlte dem römischen Zahlensystem eine innere Logik, welche die Anwendung der Grundrechenarten ermöglichte. Multiplikation und Division ließen sich daraus nicht ableiten. Dementsprechend gab es im Römischen Reich weder Primzahlen noch die sogenannten rationalen und reellen Zahlen, denen die Division zugrunde liegt.

Um abstrakte Konzepte der Mathematik zu verstehen, muss man eine überdurchschnittliche Intelligenz mitbringen, aber man muss auch in eine Kultur geboren werden, welche die entsprechenden Konzepte zur Verfügung stellt. Der intelligenteste Römer oder die intelligenteste Römerin wären mit der Aufgabe LXXXI : IX = ? überfordert gewesen, während ein normal begabtes Grundschulkind unserer Tage die Aufgabe 81 : 9 = ? ohne größere Schwierigkeiten lösen kann. Rechenschwäche war allerdings kein Thema im Römischen Reich, da es nur sehr wenig zu rechnen gab.

Halten wir also fest: So wie eine Pflanze Wasser und Nährstoffe braucht, um die in ihren Genen angelegte Form und Größe zu erreichen, brauchen auch Menschen ein kulturelles Umfeld, um ihre Intelligenz zu entwickeln und sie für den Erwerb komplexer geistiger Kompetenzen zu nutzen. Deshalb ist eine zentrale Botschaft dieses Buches: Institutionalisierten Lerngelegenheiten, wie sie die Schule bietet, kommen bei der Ausbildung und der angemessenen Nutzung von Intelligenz eine wesentliche Rolle zu.

Viele der Dinge, die heute auf dem Lehrplan von allgemeinbildenden Schulen stehen, sind erst seit wenigen Jahrhunderten, manchmal sogar erst seit Jahrzehnten

Bestandteil der menschlichen Kultur. Dass wir heute innerhalb weniger Jahre lernen können, was die Klügsten der Menschheit mit großer Mühe und Ausdauer an Erkenntnissen gewonnen haben, haben wir unserer Fähigkeit zu verdanken, Informationen in Form von Symbolen zu speichern, zu kommunizieren und diese als Denkinstrumente zu nutzen. Am Beispiel mathematischer Symbolsysteme wurde dies im vorangegangenen Abschnitt erläutert. Mit anderen Worten: Nicht nur in der Schule, sondern auch im Alltag reduzieren wir eine eingehende Information mit Hilfe symbolischer Wissensrepräsentation auf den für die aktuelle Handlung relevanten Aspekt. So kann ich eine Sonnenblume als Tischschmuck, Korbblütler oder Ölpflanze bezeichnen, und mit jedem Ausdruck spreche ich eine andere Funktion und einen anderen Kontext an.

Es ist genau diese Fähigkeit, mit Hilfe von Symbolsystemen abstrakte ziel- und handlungsgerichtete Repräsentationen zu konstruieren, welche uns Menschen die geistige Flexibilität verleiht, die uns von anderen Säugetieren – auch solchen, die in sehr unterschiedlichen Umwelten leben können – unterscheidet. Hingegen können selbst als intelligent geltende Tiere wie Katzen erstaunlich rigide sein. Sie schauen über lange Stunden auf die Öffnung eines Wasserhahns, die sie für ein Mauseloch halten und deshalb hartnäckig auf Beute warten. Die Katze kann offensichtlich abstrahieren: Ein Loch ist ein Ausschnitt aus der Umwelt, findet es sich auf dem Rasen, im Getreidefeld oder in der Wüste, ist es ein Hinweis darauf, dass hier eine Maus lebt. Dass sich aber nicht hinter jedem Loch eine Maus versteckt, geht über den Horizont einer Katze hinaus.

Im Gegensatz dazu verfügen wir Menschen nicht nur über eine visuelle Abstraktion eines Lochs, sondern haben ihm auch eine sprachliche Bezeichnung gegeben und diese mit anderen Begriffen vernetzt. Es ist diese Vernetzung

zwischen unterschiedlichen Sinneseindrücken und Symbolen, die die geistige Flexibilität des Menschen ausmacht. Die Fähigkeit zur symbolischen Repräsentation bildet die Grundlage unserer Kultur und ist verantwortlich für die dauerhafte und systematische Veränderung der Lebenswelt. Nicht jede Generation muss von Grund auf alles neu lernen, schließlich kann durch die Nutzung symbolischer Repräsentationen nicht nur Wissen erhalten und weitergegeben, sondern auch gezielt die Aufmerksamkeit gelenkt werden. Auf diese Besonderheit des menschlichen Geistes, die nicht zuletzt für den Erfolg unserer Spezies verantwortlich ist, werden wir noch mehrfach in unserem Buch zu sprechen kommen. Da sich in kaum einem anderen Gebiet das Zusammenwirken von biologisch vorbereitetem Lernen und kulturellem Fortschritt durch die Nutzung von Symbolsystemen so gut demonstrieren lässt wie in der Mathematik, wenden wir uns jetzt wieder den eingangs beschriebenen drei Klassen und den ihnen vorgelegten mathematischen Textaufgaben zu.

Wie es zu Leistungsunterschieden zwischen Klassen mit vergleichbaren Randbedingungen der Schülerinnen und Schüler kommt

Wir gehen davon aus, dass die 60 bereits erwähnten Drittklässler in ihren ersten Lebensjahren mit Hilfe der Personen ihrer Umgebung gelernt haben, bis 20 zu zählen. Dank dieser beiläufigen Lerngelegenheit protestieren sie auch, wenn ihnen acht Kekse versprochen werden, sie aber nur sieben bekommen. Die Prinzipien des Zusammenfügens und des Aufteilens von Mengen sind ebenfalls sehr einfach zu verstehen; beide können im kleinen Zahlenbereich von allen Kindern durchgeführt werden. Systematisch und durch professionelle Unterstützung gelernt werden muss hingegen die Repräsentation von Quantitäten mit Hilfe des

Zehnersystems. Auch wenn wir zehn Finger und zehn Zehen haben, das menschliche Gehirn ist nicht auf den Umgang mit dem Zehnersystem vorbereitet. Der Erwerb von Techniken zur Subtraktion und Addition von Zahlen wird fehleranfällig, sobald die Zahl Zehn überschritten werden, deshalb muss auf diese Kompetenz viel Lernzeit verwendet werden.

Setzen wir weiter voraus, dass die Klassen nach dem Zufallsprinzip zusammengestellt wurden. Die Kinder kommen alle aus derselben Wohngegend, weshalb wir davon ausgehen können, dass sich die Klassen in der Zusammensetzung der Schüler hinsichtlich der sozialen Herkunft und der Persönlichkeitsmerkmale der Kinder nicht unterscheiden. Im Durchschnitt brachten die Kinder der drei Klassen bei Schuleintritt die gleichen Eingangsvoraussetzungen mit. Ab dem ersten Schuljahr hat jede Klasse eine andere Lehrperson in Mathematik, die ihre jeweilige Klasse über die gesamte Grundschulzeit behält. In keiner der drei Klassen wurden die Murmel- und die T-Shirt/Hosen-Aufgabe zuvor behandelt. Die Kinder konnten also nicht einfach Lösungen oder Lösungsstrategien abrufen, als man sie bat, die beiden Textaufgaben zu lösen, sondern mussten diese erst konstruieren.

Dies gelang manchen Kindern besser als anderen:

- Klasse A
  3 Kinder lösen beide Aufgaben, 9 Kinder lösen eine Aufgabe, 8 Kinder lösen keine Aufgabe.
- Klasse B
  1 Kind löst beide Aufgaben, 8 Kinder lösen eine Aufgabe, 11 Kinder lösen keine Aufgabe.
- Klasse C
  Kein Kind löst beide Aufgaben, 7 Kinder lösen eine Aufgabe, 15 Kinder lösen keine Aufgabe.

Wie die Ergebnisse zeigen, sind die Leistungsunterschiede beachtlich, und zwar sowohl zwischen den Klassen – Klasse A hatte das höchste Leistungsniveau, Klasse C das niedrigste und Klasse B lag dazwischen – als auch innerhalb der Klassen. Wir erinnern uns: Die Zusammensetzung der Schülerschaft in den drei Klassen unterscheidet sich nicht in den für den Lernfortschritt wesentlichen Merkmalen. Deshalb gibt es gute Gründe für die Annahme, dass die Unterschiede zwischen den Klassen auf Unterschiede in der Unterrichtsqualität zurückzuführen sind. Offensichtlich schaffte es die Lehrperson in Klasse A am besten, mathematisches Verstehen zu fördern, während es der Lehrperson in Klasse C gar nicht gelang.

Dank vieler Schul- und Unterrichtsstudien in der Grundschule, allen voran der SCHOLASTIK-Studie, die Franz Weinert in den 1980er Jahren am Münchner Max-Planck-Institut für psychologische Forschung geleitet hat (Weinert & Helmke, 1997), wissen wir inzwischen mehr darüber, wann Unterricht lernwirksam ist und wann nicht. Elsbeth Stern hat in diesem Rahmen die Entwicklung der mathematischen Kompetenzen im Grundschulalter untersucht und neben der Leistung der Kinder auch Aktivitäten und Einstellungen der Lehrpersonen erfasst. Dabei konnten die Lehrpersonen wählen, ob sie mit den Kindern das Einmaleins und Aufgaben zur schriftlichen Subtraktion und Addition nach einem festgelegten Schema üben wollten oder ob sie die Kinder mit anspruchsvollen Aufgaben konfrontierten, bei denen sie Aufgaben wie 3 + 5 – [ ] = 2 oder 9 – 4 = [ ] – 5 erhielten oder Fragen wie »Warum kann es nicht sein, dass wir beim Subtrahieren eine 2 borgen müssen?« beantworten mussten. Wie Alexander Renkl, inzwischen ein renommierter Professor für Pädagogische Psychologie an der Universität Freiburg, in seiner Dissertation herausfand, gab es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit, mit der anspruchsvolle Aufgaben gestellt wurden, und der Leistung

im Lösen von Textaufgaben (Renkl & Stern, 1994). Erhärtet werden konnte dieser Befund durch eine Fragebogenstudie von Staub und Stern (2002), in der gezeigt wurde, dass sich Lehrpersonen darin unterschieden, ob sie eher das Verstehen von Zusammenhängen oder das Beherrschen von Rechenprozeduren als wichtig ansahen und welche Konsequenzen das hatte: Die Klassen, in denen die Lehrpersonen vor allem Wert auf das Verstehen von Zusammenhängen legten, schnitten im Lösen von Textaufgaben deutlich besser ab, und zwar gerade auch bei solchen, die nicht direkt geübt wurden. Ganz offensichtlich kann man durch guten Mathematikunterricht Schülerinnen und Schüler dazu bringen, ihre Intelligenz beim Lösen komplizierter Aufgaben einzusetzen.

In den Untersuchungen wurde auch geprüft, ob schwächere Kinder einen Nachteil von verständnisorientiertem Unterricht haben. Dies war tatsächlich nie der Fall. Zwar lernten Schülerinnen und Schüler mit guten Eingangsvoraussetzungen (gutes Vorwissen, hohe Intelligenz) mehr dazu als Kinder mit weniger guten Eingangsvoraussetzungen. Letztere profitierten aber stärker von einem verständnisorientierten als von einem eher mechanischen Unterricht, in dem vorwiegend Rechenprozeduren eingeübt wurden. Im Übrigen zeigte sich auch, dass in Klassen mit Lehrpersonen, die ihren Schwerpunkt auf die Vermittlung von mathematischem Verständnis legten, die Rechenleistung der Kinder keineswegs schlechter war als in Klassen von Lehrpersonen, die überwiegend Rechenaufgaben geübt hatten.

Die SCHOLASTIK-Studie liegt mehr als 20 Jahre zurück. In der Zwischenzeit hat man recht intensiv dazu geforscht, wie das Lösen mathematischer Textaufgaben optimiert werden kann. Insbesondere schematische Zeichnungen können sehr lernwirksam sein (Stern, 2005). Ziel des Mathematikunterrichtes in der Grundschule sollte sein, den

Kindern zu vermitteln, dass Zahlen nicht nur zum Zählen und zur Abbildung von Mengen da sind, sondern dass man auch Beziehungen zwischen Mengen abbilden kann. Um den Satz »Hans hat 3 Murmeln mehr als Peter« zu verstehen, muss man im Geiste drei Mengen konstruieren: Die beiden Besitzmengen und die Differenzmenge. Ein Zahlenstrahl kann diese Repräsentation unterstützen.

Die zentrale Botschaft dieses Abschnittes lautet: Um das im kulturellen Kontext entwickelte Wissen zu erhalten und weiterzugeben, benötigen wir professionelle schulische Lerngelegenheiten mit Lehrerinnen und Lehrern, die sich ihrer Verantwortung bewusst sind und die hinter den zu vermittelnden Inhalten stehen. Nur so kann die menschliche Intelligenz ihre Wirkung entfalten.

Wie wir gesehen haben, lassen sich die Leistungsunterschiede zwischen den Klassen beim Lösen der schwierigen Textaufgaben mit der Unterrichtsqualität erklären, da wir von gleichen Randbedingungen ausgegangen sind. Aber obwohl Klasse A offensichtlich eine sehr gute Mathematiklehrperson hatte, gab es zahlreiche Kinder, die mit den Aufgaben überfordert waren. Und obwohl die Lehrperson in Klasse B weniger gut war als die der Klasse A, erreichte ein Kind aus dieser Klasse doch die höchste Punktzahl. In Klasse C hat immerhin rund ein Drittel der Kinder eine Aufgabe lösen können, auch wenn die Lehrperson dort offensichtlich einen wenig lernwirksamen Unterricht durchgeführt hat. Die größten Leistungsunterschiede innerhalb einer Klasse fanden sich jedoch in Klasse A. Deshalb sei hier schon ein Aspekt angesprochen, der in unserem Buch eine zentrale Rolle spielen wird: Gute Lernbedingungen vergrößern die Unterschiede auf hohem Niveau. Unterschiede innerhalb einer Klasse gehen auf Unterschiede in den individuellen Lernvoraussetzungen zurück. Nicht alle Kinder können unter günstigen Bedingungen das Optimum erreichen,

andererseits können manche Kinder auch unter wenig günstigen Voraussetzungen geistige Flexibilität erwerben.

Um diese individuellen Unterschiede geht es in diesem Buch. Im nächsten Abschnitt werden wir der Frage nachgehen, worin genau die Unterschiede in den Eingangsvoraussetzungen bestehen können.

Unterschiede innerhalb der Klassen in den individuellen Eingangsvoraussetzungen

Wir gingen davon aus, dass die 60 Kinder zu Beginn des ersten Schuljahres den drei hypothetischen Klassen zufällig zugeordnet wurden. Die Klassen wurden also nicht gezielt nach sozialer Herkunft oder Leistung zusammengestellt. Dass dies tatsächlich gelungen ist, zeigen die Resultate eines Psychologen, der die Klasse einmal im Schuljahr besucht und Intelligenztests mit den Schülerinnen und Schülern durchführt. Der durchschnittliche Intelligenzquotient (IQ) beträgt in jeder Klasse 100 und die Standardabweichung 15. Wer mit diesen Begriffen noch nichts anfangen kann, muss sich bis zum nächsten Kapitel gedulden, wird aber trotzdem der Argumentation folgen können.

In typischen Intelligenztests, wie sie in Kapitel 2 noch näher beschrieben werden, kommen zum Beispiel Aufgaben wie die unten stehende vor: Es werden fünf Begriffe genannt, von denen vier eine Gemeinsamkeit haben und einer nicht wirklich passt. Hier einige Beispiele:

1. a) sofort b) bald c) demnächst d) in Kürze e) übermorgen
2. a) Mikroskop b) Fenster c) Glas d) Fernglas e) Sonnenbrille

Eine andere Gruppe von Aufgaben erfordert das Fortsetzen von Zahlenreihen:

1.2 5 3 6 4 …?
2.3 6 7 14 15 …?

Was aber berechtigt zu der Annahme, dass sich die genannten Aufgaben zur Messung von Intelligenz eignen? Setzen sie nicht Wissen voraus, welches nur in der Schule erworben werden konnte? Das ist richtig und wird in der Folge noch näher erläutert werden. Es wäre sehr unfair, diese Aufgaben Menschen vorzugeben, die nicht hinreichend Deutsch können oder aber keine Gelegenheit zum Schulbesuch hatten. Hatten Menschen aber die Möglichkeit, in die Schule zu gehen, dann hatten sie auch die Chance, das für die Intelligenzaufgabe nötige Wissen zu erwerben. Beziehungsweise: Wer sich diese Lerngelegenheit hat entgehen lassen, bringt nicht die optimalen Voraussetzungen bezüglich der Intelligenz mit. In den ersten Schuljahren werden Zahlen im Zehnerbereich addiert und subtrahiert. Wer überdurchschnittlich intelligent ist, der hat, wenn er mit der Aufgabe 5 – 3 = ? konfrontiert wurde, nicht nur die Zahl 2 verknüpft, sondern auch ganz nebenbei gespeichert, welche Zahlenpaare die Differenz 2 ergeben, wie z. B. die 6 und die 4. Wer die Paare 5 und 3 sowie 6 und 4 sieht, kann in Windeseile ihre Gemeinsamkeit abrufen: die Differenz 2.

Einer ähnlichen Logik folgen die sprachlichen Aufgaben. Natürlich muss man die genannten Wörter in seinem mentalen Lexikon gespeichert haben. Aber das allein garantiert natürlich noch nicht die richtige Lösung. In der ersten Aufgabe passt »übermorgen« nicht, weil es sich dabei um eine präzise Zeitangabe handelt, von der man weiß, wann sie beginnt und aufhört, während alle anderen Angaben vage sind, also keinen definierten Zeitraum beschreiben. Man könnte sich auch vorstellen, dass »sofort« gewählt wird, weil alle anderen Begriffe klar auf die Zukunft verweisen. Bei genauem Nachdenken sollte man aber erkennen, dass das Wort »sofort« auch für die

Beschreibung von zukünftigen Ereignissen herangezogen werden kann. *Ich rufe sofort an, wenn ich angekommen sein werde.* Intelligent ist, wer größtmögliche Präzision anstrebt. Im zweiten Beispiel ist »Glas« richtig, es handelt sich um ein Material, während alles andere Gegenstände sind, die den Blick auf die Welt durch Glas ermöglichen.

In Intelligenztests wird also erwartet, dass man einfaches und weit verbreitetes Wissen aus einer neuen Perspektive verarbeitet und damit geistige Flexibilität beweist, gleichzeitig aber sehr präzise ist. Letzteres kann man jedoch nur sein, wenn man Gelegenheit zum Wissenserwerb gehabt hat. Nur dann messen Intelligenztests wirklich die Intelligenz. Mit anderen Worten: Eine Aufgabe kann nicht per se Intelligenz erfassen, auch die Lerngeschichte einer Person muss berücksichtigt werden.

Bereits in den 1930er Jahren stellte sich der Intelligenzforscher Raymond Cattell (1905–1998), der in seinem langen Leben viele anerkannte, aber auch einige umstrittene Beiträge zur wissenschaftlichen Intelligenzforschung geleistet hat, diesem Problem, indem er versuchte, einen Intelligenztest zu entwickeln, mit dem man unabhängig von der Lernerfahrung und Bildungsgeschichte einer Person ihre geistige Flexibilität erfassen kann. Dieser Test sollte keine im kulturellen Kontext entstandenen Symbolsysteme enthalten, sondern logisches Denken in seiner Reinform erfassen. Entstanden sind die sogenannten Matrizentests, bei denen man herausfinden muss, nach welchen Gesetzmäßigkeiten einfaches visuelles Material angeordnet ist. In Abbildung 1.1 sind Beispiele solcher Aufgaben dargestellt. Um sie lösen zu können, muss man weder lesen noch schreiben können, dachten Cattell und seine Mitarbeiter. Deshalb schien es ihnen gerechtfertigt, auch erwachsene Analphabeten mit diesen Aufgaben zu konfrontieren. Selbst wenn keine oder nur sporadisch Gelegenheit zum

Schulbesuch bestand, sollten bei intelligenteren Menschen die Regeln des logischen Denkens sozusagen installiert sein, so Cattells Logik. Und Kreise, Dreiecke und Vierecke sind einfache geometrische Formen, die bereits Kleinkinder unterscheiden können.

Raymond Cattell war ein Wissenschaftler, der sich hohen methodischen Standards in der Forschung verschrieben hatte, als Kind seiner Zeit aber recht unbedarft an die Frage nach ethnischen Unterschieden in der geistigen Leistungsfähigkeit heranging. Er gab seine nicht-sprachlichen Intelligenztests auch US-Amerikanern, die afrikanische Wurzeln hatten und damit Nachkommen von Sklaven waren. Dass diese Menschengruppe in ihren Bildungschancen stark beeinträchtigt war, hat selbst Cattell nicht in Frage gestellt. Wenn sie tatsächlich die gleichen geistigen Anlagen mitbrächten wie Menschen mit europäischen Wurzeln, dann sollten sich beim Lösen von Matrizentests keine Unterschiede zeigen. Wie die Ergebnisse aber belegten, schnitten Menschen mit dunkler Hautfarbe deutlich schlechter in den Tests ab als Menschen mit heller Hautfarbe.

Cattell, der davon ausging, den Menschen mit dunkler Hautfarbe eine faire Chance gegeben zu haben, hinterfragte das Ergebnis zunächst nicht weiter, sondern schloss auf genetisch bedingte ethnische Unterschiede in der Intelligenz. Später distanzierte er sich von Äußerungen, die man heute unzweideutig als rassistisch bezeichnen würde, wie man einem Link im Wikipedia-Eintrag zu seiner Person entnehmen kann. Cattell gehörte auch zu den Wissenschaftlern, die einen Rückgang der durchschnittlichen Intelligenz befürchten aufgrund der höheren Zahl an Nachkommen in Gruppen, denen eine geringere Intelligenz attestiert wird. Wir werden uns später noch ausführlich mit diesem Punkt auseinandersetzen. Zunächst wollen wir am Beispiel des Matrizentests zeigen, warum geistige Kompetenzen

zwischen Personen als Ergebnis der Hirneffizienz variieren können, obwohl doch die Leistung in Intelligenztests von der Lerngeschichte abhängt.

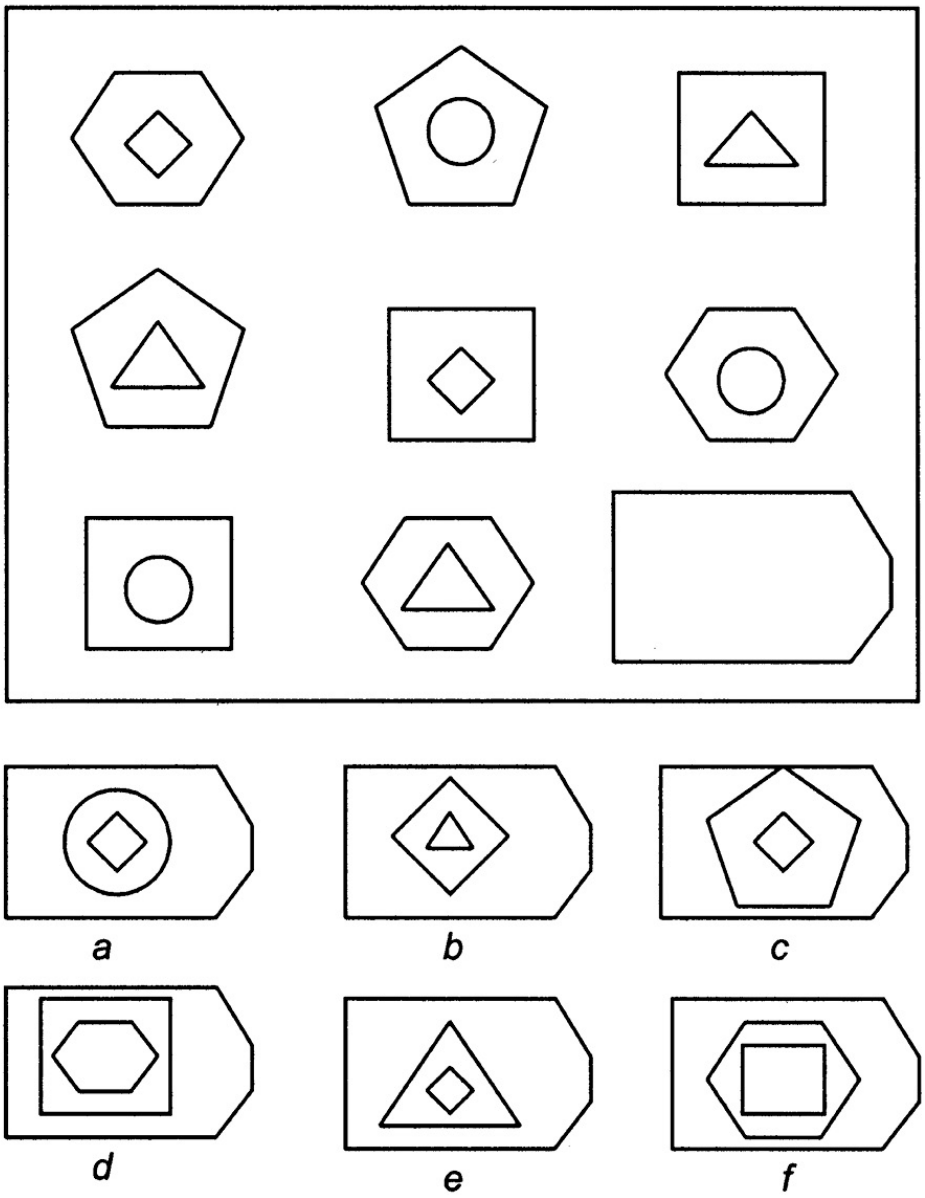

Abbildung 1.1: Beispiel einer Matrizenaufgabe: Welches Element passt in die Leerstelle? Antwort c ist richtig.

Was Matrizentests messen

Die auf den ersten Blick so plausible Annahme, wonach die Leistung in Matrizentests nicht an akademische Schulbildung gebunden ist, gilt klar als widerlegt. Nachdem man in den letzten Jahrzehnten die dem schlussfolgernden Denken zugrunde liegenden Mechanismen intensiv erforscht hat, weiß man heute, dass die Regeln des logischen Denkens bei intelligenten Menschen nicht wie ein abstraktes Computerprogramm im Gehirn installiert sind, das nur abgerufen werden muss. Selbst einfachste Formen des logischen Denkens wie z. B. der Modus ponens beim logischen Denken (aus den Prämissen »Alle Menschen sind sterblich« und »Sokrates ist ein Mensch« kann man ableiten »Sokrates ist sterblich«) können nur von Menschen geleistet werden, die die Schule besucht haben. Aufgaben dieser Art, die man mehrfach Erwachsenen ohne Schulbildung vorgelegt hat, riefen bei diesen Antworten wie »Woher soll ich das wissen, ich kenne Sokrates nicht« hervor. Ganz offensichtlich muss man die akademischen Spielregeln kennen, um sich auf eine solche Aufgabe einzulassen. Auch Längsschnittuntersuchungen in der Kindheit zeigen, dass es sich bei der Fähigkeit, in der Anordnung von artifiziellen Figuren eine Gesetzmäßigkeit zu entdecken, um eine im kulturellen Kontext erworbene Kompetenz handelt. Und so lassen sich erst am Ende der Grundschulzeit zuverlässige Aussagen über die geistige Leistungsfähigkeit eines Kindes auf der Grundlage von Matrizentests machen. Zwar kann man bereits in der Vorschulzeit Hinweise ableiten, aber diese entsprechen noch nicht den Anforderungen, die man an eine Individualdiagnostik stellen muss. Offensichtlich brauchen Kinder die in der Grundschule gebotenen Lerngelegenheiten, um die Fähigkeit zum logischen Denken zu erwerben. Wie gut sie diese Lerngelegenheiten nutzen, hängt natürlich von ihren individuellen Voraussetzungen ab.

Der niederländische Intelligenzforscher Fons van der Vijver, der unter anderem an einer südafrikanischen Universität forscht, konnte einen deutlichen Effekt der Lerngeschichte und des kulturellen Umfeldes auf die Testleistung nachweisen. Wurden die Testaufgaben an die Sprache und Kultur der afrikanischen Urbevölkerung angepasst, schnitten die südafrikanischen Probanden deutlich besser ab als in den Tests, bei denen die Aufgaben an der westlichen Kultur ausgerichtet waren (Malda et al., 2010). Dabei zeigte sich auch, dass insbesondere die auf dem Land aufgewachsenen Kinder der Ureinwohner in den an ihre Kultur angepassten Aufmerksamkeits- und Gedächtnistests bessere Leistungen erbrachten als die in der Stadt aufgewachsenen Kinder der Ureinwohner, jedoch bei Matrizentests besonders schlechte Resultate erzielten. In ihrer Lebenswelt kommen regelmäßig geformte Artefakte wie Kreise, Dreiecke und Quadrate einfach nicht vor.

Um noch einmal den Vergleich mit der Pflanzenwelt zu bemühen: Ähnlich wie eine Blume Nährstoffe und Wasser braucht, um die genetisch angelegten Blüten und Blätter zu entwickeln, braucht auch der Mensch ein akademisches Umfeld, um geistige Kompetenzen wie schlussfolgerndes Denken auszubilden. Und so wie nicht alle Pflanzen bei gleichen Standortbedingungen die gleiche Pracht entfalten, nutzen auch nicht alle Menschen die gleichen Lerngelegenheiten zur Entwicklung und Optimierung bestimmter geistiger Kompetenzen.

Dass Matrizentests nicht die absolute, das heißt die bildungs- und erfahrungsunabhängige Intelligenz messen, weiß man inzwischen. Das heißt aber nicht, dass sie wertlos (geworden) wären, im Gegenteil. Ihre Bedeutung ist gerade in unserer globalisierten Welt nicht zu unterschätzen. Wenn es um die Identifikation von geistigen Kompetenzen bei Menschen mit sprachlichen Defiziten geht, können Matrizentests wertvolle Informationen liefern,

da die Aufgabenstellung für Menschen, die in einer Wissensgesellschaft sozialisiert wurden, klar ist. Aber auch Menschen, die aufgrund ihres bildungsfernen Hintergrundes die Angebote der Wissensgesellschaft, in der sie leben, nicht optimal nutzen können, können ihr geistiges Potenzial in Matrizentests zum Ausdruck bringen, und zwar besser als in sprachhaltigen Tests. Eine solide Grundschulbildung scheint auszureichen, um ihre Spielregeln zu verstehen und auf dieser Grundlage ein geistiges Potenzial zu erwerben. So empfiehlt es sich beispielsweise bei der Entscheidung, ob ein Kind mit bildungsfernem Hintergrund eine Gymnasialempfehlung erhalten soll oder nicht, auf Matrizentests zurückzugreifen.

Intelligenz und Informationsverarbeitung

Natürlich bleibt es nach wie vor ein Traum für Psychologen, Indikatoren im Gehirn und in der Informationsverarbeitung zu finden, die ganz unabhängig vom Inhalt und der Lerngeschichte Auskunft über die Effizienz der Informationsverarbeitung und damit der Lernfähigkeit geben. Dank der modernen Methoden der Hirnforschung und den inzwischen recht präzisen Vorstellungen über allgemeine Mechanismen der Informationsverarbeitung verfügen wir zurzeit schon über recht zuverlässige Hinweise auf mehr oder weniger intelligent funktionierende Gehirne (vgl. auch Kapitel 5). Bereits an dieser Stelle sei verraten, dass dies am besten mit Aufgaben gelingt, die minimalste Anforderungen an das Wissen stellen, aber eine Herausforderung sind, wenn es um Geschwindigkeit geht. Die sogenannte Karten-Sortier-Aufgabe ist ein Beispiel dafür.