

Vortrag von Prof. Dr. Wolf Singer:

## **"Was kann ein Mensch wann lernen?"**

anlässlich des ersten Werkstattgespräches der  
Initiative McKinsey bildet in der Deutschen Bibliothek, Frankfurt /Main  
am 12. Juni 2001

Herr Dr. Kluge, liebe Linda Reisch, die Sie mich hierher verführt haben, meine sehr verehrten Damen und Herren. Ich werde über frühe Phasen der Entwicklung sprechen. Ich werde über Mechanismen sprechen, über welche Wissen ins Gehirn gelangt. Ich werde also weniger politische Stellung beziehen zu Fragen der Ausbildung jenseits der Pubertät, das bleibt späteren Werkstattgesprächen vorbehalten. Ich möchte mit zwei Erfahrungsberichten und einem Gedankenexperiment beginnen, um Ihnen die Spannweite des Themas vor Augen zu führen.

Viele von Ihnen werden sich noch erinnern - vielleicht ein Drittel - dass es vor dreißig Jahren als ausgemacht galt, das Menschengehirn käme als frei instruierbare Tabula rasa zur Welt, jedes etwa mit den gleichen Voraussetzungen ausgestattet, offen für alles. Entsprechend waren Menschen, die über besondere Fertigkeiten verfügten, Privilegierte, die besondere Förderung genossen hatten. Und die "mal-fauteurs" waren solche, die das Pech hatten, in Umwelten aufgewachsen zu sein, die weniger favorabel waren. Unbotmäßiges Verhalten und Aggression wurden damals als Antwort auf repressive Erziehung gesehen. Selbst Krankheiten, die wir heute als genetisch mitbedingt erkannt haben, wie zum Beispiel die Schizophrenie, wurden damals noch ganz auf soziale Faktoren zurückgeführt, zum Beispiel auf das Phänomen des "Double-Bindings": Das ungewollte Kind, das von der Mutter nicht angenommen, nicht geliebt und als lästig empfunden wird, erfährt emotionale Ablehnung. Weil aber die Mutter das schlechte Gewissen plagt, wird das Kind zur Kompensation mit materiellen Verwöhngütern überwältigt. Man dachte damals, dass auf Grund dieser widersprüchlichen Signale psychische Erkrankungen wie zum Beispiel Schizophrenie entstehen könnten.

Desgleichen hat man den Autismus, die Unfähigkeit, emotionale Kontakte aufzubauen, der emotionalen Kälte der Mutter zugeschrieben, ihrem "Nichtkommunizierenkönnen". An sehr vielem waren damals die Mütter Schuld und trugen eine schreckliche Last. Für den Rest war die Gesellschaft als Ganzes zuständig.

Heute ist zu vernehmen - und ich berichte aus dem Leben - von einem Lehrerseminar: Es sei ja ohnehin alles genetisch festgelegt - was fast wie eine Rechtfertigung pädagogischen Fatalismus klingt. Man könne sich im Unterricht auf Disziplinarmaßnahmen beschränken, damit die Ordnung so weit aufrecht erhalten wird, dass der Unterricht überlebt werden kann, dass Erziehung aber im Übrigen keine Rolle spiele, denn es würde aus den Kindern das, was auf Grund ihrer Anlagen aus ihnen werden muss. Und dann wird immer wieder angeführt - und auch das habe ich aus Pädagogenmund gehört - wir wüßten doch, dass das verwöhnte Einzelkind versagen kann und das Straßenkind reüssieren. Ich vermute, dass solche Positionen Folge der medialen Euphorie über die missverstandenen Implikationen des

abgeschlossenen Genomprojektes sind. Sie zeugen von einer tiefen Unkenntnis über die tatsächlichen Bedingtheiten der Hirnentwicklung. Es gibt fast keine Eins-zu-Eins-Beziehung zwischen genetischen Instruktionen und bestimmten Eigenschaften, schon gar nicht im Bereich von Begabungsspektren und Persönlichkeitsmerkmalen.

Und nun das Gedankenexperiment:

Es ist anzunehmen, dass sich unsere genetische Ausstattung seit den letzten 30.-40.000 Jahren nur unwesentlich, wenn überhaupt, verändert hat. Jedenfalls nicht mehr als es der Streubreite der genetischen Ausstattung der heute lebenden Menschen entspricht. Das bedeutet aber auch, dass ein Baby Höhlen bewohnender Steinzeiteltern so werden würde wie wir, wenn es von Geburt an in unserer Gesellschaft aufgezogen würde, vielleicht ein Studium aufnähme oder eine Geigenvirtuosin würde. Umgekehrt würden unsere Kinder, wären sie den Damaligen anvertraut, so geworden wie deren Kinder. Wir wissen nicht sehr viel über diese Menschen. Aber gewiss ist, dass sie sich drastisch von uns unterschieden haben müssen und zwar vor allem im Hinblick auf höhere mentale Fertigkeiten und kognitive Leistungen wie Sprach- und Abstraktionsvermögen. Dies zeigt, wie obsolet die derzeitige Überbetonung genetischen Determinismus ist.

Welches nun ist die wissenschaftlich fundierte Position zum Verhältnis von Genen und Umwelt? Lassen Sie mich zunächst rekapitulieren, wie sich aus Eizellen Embryonen und aus diesen Babys und schließlich erwachsene Menschen entwickeln.

Festzuhalten ist zunächst, dass Gene nie alleine, sondern immer in Umwelt eingebettet sind, dass es Signale aus der Umwelt sind, die das Auslesen der genetischen Information initiieren und die Entwicklung vom Ei zum Organismus maßgeblich koordinieren. Die Entwicklung setzt ein, weil molekulare Signale im Zellkern auf das Genom einwirken und die Expression der ersten Gene veranlassen. Deren Expression führt zur Synthese neuer Eiweißmoleküle, die zum einen Strukturänderungen realisieren und zum anderen die Expression weiterer Gene auslösen. Die Zellen teilen und differenzieren sich und informieren sich durch Austausch chemischer Signale über die sich ständig wandelnden Nachbarschaftsbeziehungen. Dadurch verändert sich das molekulare Milieu in den Zellen, was wieder unterschiedliche Genexpressionsmuster nach sich zieht. Spezifische Umgebungsbedingungen bestimmen die Expression ausgewählter Gene und deren Produkte verändern die Umgebung, so dass wiederum neue Gene exprimiert werden und so fort. Es vollzieht sich ein sich selbst organisierender Prozess, der, getragen von einem kontinuierlichen Dialog zwischen Genom und umgebendem Milieu, zur Bildung zunehmend komplexerer Strukturen führt. Schließlich beginnen bestimmte Zellen damit, just jene Gene zu exprimieren, welche die Synthese von Bausteinen steuern, die für Nervenzellen charakteristisch sind. Es entstehen die ersten Nervenzellen. Welche Zellen diesen Weg gehen, bestimmt also deren Umgebung. Zellen erkennen über Rezeptormoleküle in ihrer Membran, an welcher Stelle des Embryos sie sich befinden, und entwickeln sich dann je nach Lage zu Nerven- oder Muskel- oder Leberzellen etc.

Die im Kontext der gegenwärtigen Diskussion über Stammzellenforschung brisante Frage ist, ab wann das Schicksal der embryonalen Zellen soweit festgelegt ist, dass sie sich nicht mehr zu einem eigenständigen Organismus entwickeln können, wenn man sie aus dem Zellverband löst. Unter natürlichen Bedingungen ist dies nach dem

achtzelligen Stadium der Fall. Doch nun zurück zu unseren Nervenzellen. Sie entwickeln Dendriten und Axone - Fortsätze für den Empfang und die Weiterleitung elektrischer Signale - nehmen miteinander Kontakt auf und beginnen lokale Geflechte zu bilden, wobei sie ihre Partner über molekulare Signalsysteme identifizieren und finden. Schließlich werden diese Nervenzellen elektrisch aktiv. Sie eröffnen damit eine neue Kommunikationsform, die es ermöglicht, Signale schnell und mit großer räumlicher Präzision über weite Entfernungen auszutauschen und miteinander zu verrechnen. Von herausragender Bedeutung für unser Thema ist dabei, dass diese elektrischen Signale eine zentrale Funktion bei der Steuerung der weiteren Entwicklung des Nervensystems übernehmen. An den Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen werden die elektrischen Impulse in chemische Signale umgesetzt und diese erfüllen eine Doppelfunktion. Zum einen werden sie von den nachgeschalteten Zellen wieder in elektrische Signale umgewandelt, welche als Grundlage für informationsverarbeitende Prozesse dienen. Zum anderen wirken sie auf die Genexpression ein. Damit eröffnen sich neue und faszinierende Optionen für den Selbstorganisationsprozess. Es kann jetzt ein Ereignis an einer Stelle des Embryos über neuronale Signaltransduktion Zellen an entfernten Orten veranlassen, ganz bestimmte Gene zu exprimieren. Auf diese Weise kann die Ausdifferenzierung des Organismus und des Gehirns über große Entfernungen hinweg koordiniert werden. Die tragende Rolle spielt dabei zunächst selbst erzeugte Aktivität, mit welcher sich die Nervenzellen mitteilen, ob sie benachbart oder weit voneinander entfernt liegen, welcher Natur sie sind, mit welchen Muskeln oder Sinnesorganen sie verbunden sind etc. In dem Maße, in dem Sinnesfunktionen ausreifen, werden diese selbst erzeugten Aktivitätsmuster dann zunehmend von Sinnesreizen moduliert und damit gerät die Steuerung der Genexpression bzw. der Strukturentwicklung mehr und mehr unter den Einfluß extrakorporaler Faktoren. Es weitet sich das Milieu, das auf Entwicklungsprozesse einwirken kann. Vor der Geburt beschränken sich die Einflüsse jedoch auf das wenige, was in utero rezipiert werden kann. Zudem ist das Nervensystem beim Nesthocker Mensch zum Zeitpunkt der Geburt noch sehr unreif. Nur die Basisfunktionen, die für die Aufrechterhaltung von Lebensprozessen benötigt werden, sind schon ausgebildet.

Schließlich kommt der Fötus auf die Welt und heißt hinfert "Baby". Beim Menschen ereignet sich dieser Übergang im Vergleich zu anderen Primaten etwa zwei Monate zu früh. Das Kind kann nicht länger Fötus bleiben, weil der Kopf für den Geburtskanal zu groß würde. Würden die Föten länger im Uterus bleiben, was sie eigentlich müssten, um richtig auszureifen, dann würden sie den Weg in die fragwürdige Freiheit nicht finden. Mit der Geburt vollzieht sich ein dramatischer Sprung in der Hirnentwicklung. Die Sinnesorgane sind nun in der Lage, Signale aus der Umwelt aufzunehmen. Der Selbstorganisationsprozess - das Wechselspiel zwischen Signalen aus der Umgebung und den Genen - wird jetzt plötzlich von Aktivitätsmustern bestimmt, die von der Umwelt mitgeprägt werden. Alles, was auf die Sinnesorgane des Babies einwirkt, nimmt ab jetzt Einfluss auf die weitere Entwicklung des Gehirns. Berücksichtigt man ferner, dass sich diese aktivitätsabhängigen Entwicklungsprozesse des Gehirns bis zur Pubertät fortsetzen, wird deutlich, welchen prägenden Einfluss frühe Erfahrungen auf die strukturelle Entwicklung des Gehirns nehmen können.

Worauf also beruht diese aktivitätsabhängige und nach der Geburt auch erfahrungsabhängige Ausreifung von Hirnstrukturen? Die Nervenzellen sind zum Zeitpunkt der Geburt im Wesentlichen alle angelegt, aber in bestimmten Bereichen

des Gehirns noch nicht miteinander verbunden. Dies gilt vor allem für die Großhirnrinde. Viele Verbindungen wachsen erst jetzt aus, aber ein erheblicher Anteil wird nach kurzer Zeit wieder vernichtet. Es vollzieht sich ein stetiger Umbau von Nervenverbindungen, wobei nur etwa ein Drittel der einmal angelegten erhalten wird. Welche bleiben, hängt von der Aktivität ab, die sie vermitteln. Das bedeutet, dass die Ausbildung der funktionellen Architektur der Großhirnrinde in erheblichem Umfang von Sinnessignalen und damit von Erfahrung beeinflusst wird. Genetische und epigenetische Faktoren kooperieren in untrennbarer Wechselwirkung, weshalb eine strenge Unterscheidung zwischen Angeborenem und Erworbenem unmöglich ist.

Es erinnert dieser Vorgang der Selektion von Nervenverbindungen an einen darwinistischen Ausleseprozess. Kontakte werden im Überschuss angelegt und solche, die einer funktionellen Validierung standhalten, bleiben.

Die ersten und eindrucksvollsten Beispiele für die eminente Bedeutung dieses erfahrungsabhängigen Selektionsprozesses kamen aus der Klinik. Früher litten Neugeborene häufig an Infektionen ihrer Augen, die sie sich während der Geburt zuzogen. Die Folge waren Trübungen der Hornhaut oder gar der Linse. Die Kinder erblindeten und konnten nur noch diffuse Helligkeitsschwankungen wahrnehmen. Als es dann möglich wurde, Linsen und Hornhäute zu transplantieren oder gegen künstliche Medien auszutauschen, war die Erwartung - nachdem dem Gehirn selbst ja nichts fehlte - dass mit solchen Operationen die Sehfähigkeit wieder hergestellt werden könnte. Entsprechend groß war die Enttäuschung, als sich erwies, dass diese spätoperierten Patienten blind blieben. Sie hatten jetzt zwar funktionstüchtige Augen, konnten aber mit den Informationen, die jetzt erstmals zur Verfügung standen, nichts anfangen. Viele Patienten empfanden das, was sie jetzt plötzlich wahrnehmen konnten, nicht als visuelle Eindrücke, sondern als Geräusche oder als etwas Schmerzhaftes, als etwas nicht näher Beschreibbares. Sie lernten nicht, sich in der Sehwelt zu orientieren, Räume auszumessen oder Objekte zu identifizieren. Viele dieser spät operierten Patienten wurden tief depressiv, weil ihre Erwartungen nicht erfüllt wurden und die meisten fielen in ihren Blindenalltag zurück und trugen wieder dunkle Brillen. Der Grund ist, dass das Nichtverfügbarsein von visuellen Signalen in bestimmten Entwicklungsphasen nach der Geburt dazu führt, dass Verbindungen, die eigentlich konsolidiert werden müssten, eingeschmolzen werden. Dem Auswahlmechanismus fehlen die richtigen Signale, er missinterpretiert Verbindungen, die im Grunde funktionstüchtig sind, als sinnlose und vernichtet sie. Und dieser Vorgang ist irreversibel. Wenn die kritische Phase für die Entwicklung von Verbindungen in der Sehrinde durchlaufen ist, und sie beginnt beim Menschenkind kurz nach der Geburt und klingt dann im Laufe der ersten Lebensjahre ab, dann kommt Hilfe zu spät.

Etwas Ähnliches ereignet sich beim frühkindlichen Schielen, einer sehr häufigen Entwicklungsstörung. Hier werden Verbindungen in der Hirnrinde zerstört, die man braucht, um mit beiden Augen gleichzeitig sehen zu können. Die Kinder verlieren die Fähigkeit des Stereosehens. Die Ursache ist wieder, dass auf Grund der Fehlstellung der Augen falsche Signale zur Hirnrinde gelangen und dort Verbindungen irreversibel vernichten. Diese Mechanismen konnten durch Untersuchungen am Tier aufgeklärt werden, wofür Hubel und Wiesel den Nobelpreis erhielten. Auf der Basis dieses Wissens gelang es dann, geeignete Verfahren zur Frühdiagnose und Therapie zu entwickeln, so dass heute das Sehvermögen trotz frühkindlicher Störungen der Signalaufnahme meist erhalten werden kann.

Warum aber lässt sich die Natur auf das Risiko ein, dass vorübergehende Störungen in der Signalaufnahme zu so katastrophalen Veränderungen von Hirnfunktionen führen. Und das, obgleich es doch offenbar möglich ist, einen Vogel so weit zu entwickeln - durch genetische Instruktionen alleine - dass er, ohne je geübt zu haben, aus dem Nest hüpfen und fliegen kann. Eine außerordentlich komplizierte Leistung des Vogelgehirns, die sich offenbar erfahrungsunabhängig programmieren lässt.

Der gewiefte Darwinist vermutet natürlich, dass mit der Einbeziehung von Umwelteinflüssen in den Entwicklungsprozess Vorteile verbunden sind, die alle Nachteile wettmachen. Und dies scheint der Fall zu sein. Es können Funktionen ausgebildet werden, die auf Verschaltungsmustern beruhen, die durch genetische Instruktionen alleine nicht realisiert werden können. Ein Beispiel ist das beidäugige Sehen. Wir messen die Entfernung von Objekten durch den Vergleich der leicht verschiedenen Bilder, die in den beiden Augen entstehen. Die hierfür erforderlichen Verschaltungsmuster sind schwer zu realisieren, weil sichergestellt werden muß, dass die Nervenverbindungen von den beiden Augen so auf gemeinsame Zielzellen in der Hirnrinde verschaltet werden, dass nur Fasern von korrespondierenden Orten der beiden Netzhäute zusammengeführt werden. Es sind dies Orte, die beim beidäugigen Sehen Signale von den gleichen Bildpunkten erhalten. Welche Netzhautorte korrespondent sind, hängt jedoch von einer Fülle von Variablen ab, die von genetischen Instruktionen nicht antizipiert werden können. Dies gilt zum Beispiel für die Größe und den Abstand der Augen. Diese Variablen ändern sich während der Entwicklung und hängen u.a. davon ab, wie schnell der Säugling wächst. Beidäugiges Tiefsehen bietet beträchtliche Selektionsvorteile, weil es erlaubt, getarnte Objekte vom Hintergrund abzugrenzen und mit präzise gesteuerten Bewegungen zu greifen. Wie aber die hierfür notwendige Verschaltung realisieren? Hier hilft die funktionelle Validierung. Faserverbindungen von korrespondierenden Netzhautorten müssen ähnliche Aktivitätsmuster aufweisen, da sie per definitionem Signale von den gleichen Bildpunkten vermitteln. Es genügt also, über eine Korrelationsanalyse herauszufinden, welche Fasern immer gemeinsam aktiv sind, und diese dann an den jeweiligen Zielzellen zu konsolidieren. Die Auswahlregeln sind einfach: "Neurons wire together if they fire together". Das heißt, Verbindungen zwischen Neuronen, die oft zusammen aktiv sind, werden bestätigt und bleiben erhalten. Es ist dies eine der Grundlagen von assoziativem Lernen.

Dieses Beispiel lehrt noch ein weiteres, das für die spätere Diskussion von zentraler Bedeutung sein wird: Der Auswahlprozess kann seinen Zweck nur erfüllen, wenn die aktivitätsabhängige Identifikation von Verbindungen einer zusätzlichen internen Bewertung unterzogen wird. Die Signale von den beiden Augen sind nur dann korreliert, wenn das Baby beide Augen koordiniert bewegt und auf das gleiche Objekt richtet. Nur wenn diese Bedingung erfüllt ist, kann das Gehirn die Signale verwenden, um Verschaltungen zu optimieren. In allen anderen Fällen, etwa wenn das Baby nicht aufmerksam ist und die Augen wandern lässt, würden unweigerlich Fehlverschaltungen entstehen. Deshalb sind alle erfahrungsabhängigen Selektionsprozesse einem zusätzlichen Kontrollmechanismus unterworfen, der die Adäquatheit der Aktivierungsbedingungen überprüft und nur den Aktivitätsmustern erlaubt, Veränderungen zu verursachen, die als geeignet identifiziert wurden. Das Nervensystem tastet die Umwelt aktiv ab, sucht nach Mustern, die den Selektionsvorgang unterstützen können, und erlaubt diesen Aktivitäten nur dann,

Verschaltungen zu verändern, wenn sie in einem weiteren Kontext als adäquat identifiziert wurden. Offenbar hat die Natur jedoch nicht mit Augeninfektionen und Schielproblemen gerechnet, denn hier versagt diese interne Bewertung. Die abnormen Signale werden nicht als solche erkannt.

Die Existenz interner Bewertungssysteme ist nun von herausragender Bedeutung für die Beurteilung umweltabhängiger Entwicklungsprozesse. Das Gehirn entscheidet, gesteuert von seinen eigenen Bewertungen, welche Aktivitätsmuster Veränderungen der Verschaltung induzieren dürfen. Das hierfür benötigte Vorwissen liegt in der funktionellen Architektur der Bewertungssysteme gespeichert und ist genetisch festgelegt, also angeboren. Ein verwandter Mechanismus sorgt ferner dafür, dass Sinnessignale nur dann strukturierend auf die Entwicklung einwirken können, wenn sie Folge aktiver Interaktion mit der Umwelt sind, bei denen der junge Organismus die Initiative hat. Diese Erkenntnis geht auf einen sehr eleganten und frühen Versuch von Hind und Held am MIT zurück. Die Forscher setzten zwei Kätzchen in ein Karussell. Das eine hatte die Pfoten auf dem Boden und konnte durch sein Laufen das Karussell bewegen. Das andere saß in der Gondel und wurde passiv transportiert. Beide sahen natürlich genau das Gleiche, bloß zu verschiedenen Zeiten. Die spätere Bestimmung der kognitiven Leistungen der beiden Tiere zeigte jedoch, dass nur das aktive Tier gelernt hatte, das nur beobachtende war nahezu blind und hinsichtlich seiner visuo-motorischen Koordination schwer gestört. Nur-Zuschauen genügt also nicht. Selbermachen ist entscheidend, weil nur dann der interaktive Dialog mit der Umwelt einsetzen kann, der für die Optimierung von Entwicklungsprozessen unabdingbar ist.

Noch eine Bemerkung zur zeitlichen Staffelung aktivitätsabhängiger Entwicklungsphasen. Verschiedene Bereiche der Hirnrinde entwickeln sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, was sich in der sequenziellen Ausreifung kognitiver Leistungen widerspiegelt. Entsprechend benötigt das Gehirn in verschiedenen Entwicklungsphasen unterschiedliche Informationen aus der Umwelt, um seine Entwicklung optimieren zu können. Die bereits erwähnten elementaren Verschaltungen in der Sehrinde werden sehr früh ausgebildet und dann erfahrungsabhängig optimiert: Bei Kätzchen dauert diese kritische Phase etwa sechs Wochen, bei Primaten einige Monate und beim Menschen einige Jahre. Dabei ist die Plastizität und auch die Vulnerabilität der neuronalen Architekturen zu Beginn der kritischen Phase am höchsten und nimmt dann mit der Zeit kontinuierlich ab.

Die folgenden Beispiele zeigen, wie nachhaltig Umwelteinflüsse auch unter ganz normalen Bedingungen die Ausbildung kognitiver Leistungen prägen. Besonders eindrucksvoll zeigt sich dieser Zusammenhang beim Spracherwerb. Die Erstsprache wird mühelos erlernt, wenn die Interaktionen mit einer sprachkompetenten Umwelt im richtigen Zeitfenster erfolgen. Die Zweitsprache, die meist erst im Schulalter, bei uns in der Regel erst im Gymnasialalter angeboten wird, erlernt sich sehr viel schwerer und auf ganz andere Weise als die Erstsprache. Lernen erfolgt jetzt regel-basiert und unter Kontrolle des Bewußtseins. Entsprechend bilden sich unbewußt ablaufende Automatismen für die Decodierung und Produktion von Sprache nur unvollkommen aus. Die Zweitsprache erreicht nur selten das Perfektionsniveau der Erstsprache. Die Prosodie - der Akzent und die Melodie der Erstsprache - hingegen, prägen sich so stark und irreversibel ein, dass sie ein Leben lang begleiten und meist auch die später erlernten Sprachen durchdringen. Beim Erlernen der Erstsprache werden

neuronale Verarbeitungsroutinen ausgebildet, die sich später nicht mehr ändern lassen und auf denen alle anderen Lernprozesse aufbauen.

Eine wichtige Voraussetzung für das Sprachverständnis ist die Fähigkeit, den Sprachfluss zu segmentieren. Gesprochene Sprache besteht aus einem kontinuierlichen Strom von Lauten. Das Gehirn muss also zunächst lernen, diese Laute, man spricht auch von Phonemen, zu unterscheiden und zu Worten zusammenzufassen. Erst dann kann Wissen über die sprachspezifische Syntax erworben werden. Die Fähigkeit, Phoneme und Worte als Einheiten zu identifizieren, wird für die Muttersprache sehr früh erworben und die entsprechenden Verarbeitungsprozesse vollziehen sich dann nahezu automatisch, mühelos und sehr schnell. Für die Zweitsprache, vor allem, wenn sie erst im Gymnasialalter erworben wird, bilden sich diese Automatismen nur noch unvollkommen aus. Selbst wer eine Zweitsprache hervorragend beherrscht, kommt deshalb in Schwierigkeiten, wenn bei einer Tischgesellschaft viele gleichzeitig in der fremden Sprache sprechen. Es wird dann anstrengend oder gar unmöglich, einzelne Stimmen herauszufiltern. Nicht so in der Muttersprache.

Ein eindrucksvolles Beispiel für die frühe und irreversible Prägung der Phonemwahrnehmung ist das Unvermögen von Asiaten, die Phoneme "r" und "l" akustisch voneinander zu unterscheiden. Sie hören den Unterschied trotz deutlicher Aussprache nicht. Der Grund ist, daß in ihrem Sprachraum die Unterscheidung dieser Phoneme keine Rolle spielt. Als Babies verfügen sie über diese Fähigkeit, und wenn sie im westlichen Sprachraum aufwachsen, würde sie auch erhalten bleiben. Exposition mit asiatischen Sprachen führt jedoch zu Verschaltungsänderungen, die diese Phonemkategorien zum Verschmelzen bringen. Ein weiteres Beispiel ist die Fähigkeit von Skandinaven, mehr als ein Dutzend verschiedener A-Schattierungen heraushören zu können. Auch dies ist Folge früher Prägung akustischen Unterscheidungsvermögens.

Aber auch höhere kognitive Leistungen wie z.B. die Abstraktionsfähigkeit scheinen prägnant. Dies folgt aus Untersuchungen von taubstummen Kindern, die Zeichensprache erlernt haben. Es gibt verschiedene Arten von Zeichensprachen: zum einen ist da die American-Signe-Language (ASL), die auf den gleichen syntaktischen und grammatischen Regeln aufbaut und ähnlich abstrakte Symbole verwendet wie die gesprochene Sprache. Hier ersetzen lediglich die Hände die Sprachwerkzeuge und die Augen die Ohren. Diese Sprache wird in den gleichen Hirnstrukturen analysiert und produziert wie die gesprochene Sprache. Es gibt aber auch Zeichensprachen, die sich mehr abbildender, mimetischer Strategien bedienen. Hier also läßt sich überprüfen, ob das Erlernen unterschiedlich abstrakter Sprachen Einfluss auf die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten hat. Die Antwort lautet ja. Kinder, die mimetische Sprachen erlernt haben, tun sich schwerer, logische Zusammenhänge höherer Ordnung zu durchschauen. Solche lassen sich mit mimetischen Sprachen nur unvollkommen darstellen, weil mangels abstrakter Symbole und differenzierter Syntax keine komplexen logischen Strukturen aufgebaut werden können. Offenbar kann man also durch den übenden Umgang mit einer differenzierten Sprache, die abstrakte Konstrukte auszudrücken erlaubt, erlernen, solche Konstrukte auch zu denken und sich vorzustellen. Aus diesem Grund werden mimetische Sprachen nicht mehr gelehrt. Heute versucht man zudem, wann immer möglich, tauben Kindern mit elektronischen Cochlea-Implantaten zu helfen. Diese vermitteln über direkte elektrische Reizung der Hörnerven eine rudimentäre

Lautwahrnehmung und ermöglichen bei früher Anwendung das Verstehen gesprochener Sprache. Wenn dieses Verfahren versagt, wird die ASL mit deutschem Vokabular gelehrt.

Dass es auch sensible Entwicklungsphasen für den Erwerb motorischer Fertigkeiten gibt, ist Gemeingut der Alltagspsychologie. Fahrradfahren ist ein Beispiel. Menschen, die erst als Erwachsene Bekanntschaft mit dem Fahrrad machen, haben in der Regel grösste Schwierigkeiten, im Sattel zu bleiben. Der Grund ist, dass Radfahren eine kontraintuitive Bewegungskontrolle erfordert. Will man eine Linkskurve fahren, muss man zunächst nach rechts lenken. Dies bewirkt eine Neigung nach links, die dann unter Ausnutzung der Zentrifugalkraft durch Lenken nach links abgefangen wird. Auch wenn diese komplizierte Dynamik durchschaut wird, gelingt es nur wenigen, die entsprechenden Bewegungsabläufe so zu koordinieren, dass aufgeschundene Knie vermieden werden. Auch das Beherrschen von Musikinstrumenten muss früh erlernt werden, wenn Virtuosität das Ziel ist. Schliesslich gibt es Hinweise - aber hier ist die Beweislage schon schütterer - dass geschlechtsspezifische Verhaltensweisen und gewisse soziale Kompetenzen schon früh eingeprägt werden und dann nur noch schwer, wenn überhaupt, modifizierbar sind. Während es in vielen Fällen gelungen ist, für die Prägungsvorgänge im Bereich sensorischer und motorischer Leistungen entsprechende Veränderungen auf neuronaler Ebene dingfest zu machen, steht die Identifikation der neuronalen Grundlagen für diese sozialen Prägungs- und Lernvorgänge noch aus. Die naheliegende Vermutung ist jedoch, dass auch die Prägung dieser komplexeren Verhaltensdispositionen auf erfahrungsabhängigen Veränderungen neuronaler Architekturen in den jeweiligen Verarbeitungszentren beruht.

Diese Beispiele für frühe Prägungsphasen sollen jedoch nicht den Blick dafür verstellen, dass sich die Hirnentwicklung bis zum Abschluss der Pubertät hinzieht und dass es durchaus auch sehr späte sensible Entwicklungsphasen gibt. Diese verdanken sich der langsamen Ausreifung des sogenannten Präfrontalhirns. Es sind dies Areale der Großhirnrinde, die erst spät in der Evolution hinzutreten und an den vorderen Polen der Hirnhemisphären liegen. Auf ihren Funktionen beruhen die komplexen kognitiven Leistungen, die beim Menschen ihre höchste Differenzierung erreicht haben. Hierzu zählen die Fähigkeiten, die eigene Existenz in der Zeit zu begreifen, Handlungen aufzuschieben und von vorausgehenden Überlegungen abhängig zu machen, ein Konzept vom eigenen Ich zu entwickeln und sich in soziale Wertgefüge einzuordnen. Kinder entdecken sich erst spät als eigenständiges Ich. Erst ab dem zweiten oder dritten Lebensjahr suchen sie nicht hinter dem Spiegel, sondern erkennen sich in ihm und beginnen sich als autonome Agenten zu erfahren. Die Entwicklung dieser Fähigkeiten korreliert direkt mit der späten Ausreifung präfrontaler Hirnstrukturen. Erst wenn diese funktionstüchtig werden, gelingt es den Kindern, Handlungen aufzuschieben und vorher darüber nachzudenken, ob es opportun ist, jetzt oder später zu agieren. Wenn diese Entwicklungsprozesse behindert werden, etwa durch Verletzungen in den entsprechenden Hirnrindenregionen, dann kann die Entwicklung dieser kognitiven Leistungen irreversibel geschädigt werden. Es kann dann Probleme bei der Ausbildung sozial angepassten Verhaltens und moralischer Verbindlichkeiten geben. Man kann nur vermuten, dass soziale Deprivation ähnliche Folgen hätte, doch fehlen hier gesicherte Daten, weil Vergleiche zwischen Gruppen mit wohl definierten, unterschiedlichen sozialen Erfahrungen notwendig wären, diese aber durch eine Flut unkontrollierbarer Variablen erschwert werden.



Welches nun sind die Auswirkungen modifizierter Erfahrung auf neuronale Netzwerke? Wenn die visuellen oder akustischen Signale nicht verfügbar sind, die während der entsprechenden sensiblen Entwicklungsphasen benötigt werden, so führt dies zu Strukturänderungen, die im Mikroskop sichtbar sind. Die Nervenzellen schrumpfen, ihre Fortsätze, mit denen sie Signale von anderen Zellen aufnehmen, die sogenannten Dendriten, bilden weniger Verzweigungen aus, und die Zahl der Kontakte zwischen den Nervenzellen, der Synapsen, nimmt dramatisch ab. Auch die Fläche der insgesamt für eine bestimmte Funktion zur Verfügung gestellten Bereiche der Großhirnrinde kann schrumpfen, wenn diese Funktion nicht trainiert oder nicht gebraucht wird. Bei früh Erblindeten kann es vorkommen, dass Hirnrindenareale, die eigentlich mit der Verarbeitung visueller Signale befasst sind, die Auswertung taktiler oder akustischer Signale übernehmen. Blinde, die Braille lernen - also mit den Händen lesen -, benutzen einen Teil der normalerweise für das Sehen zuständigen Hirnrindenareale, um die taktilen Muster zu dechiffrieren. Die Funktionen von Hirnrindenarealen sind also durch Deprivation in Grenzen verschiebbar.

Entgegengesetzte Veränderungen lassen sich durch intensives Training oder durch Überexposition auf bestimmte Sinnesreize induzieren. Wer früh anfängt, intensiv Geige zu üben, kann erreichen, dass die Repräsentation der linken Hand, welche die Saiten greift, in der Großhirnrinde mehr Platz eingeräumt bekommt als bei Nicht-Übenden oder spät Berufenen. Ob dies auf Kosten anderer Funktionen geschieht, und falls ja, welcher, ist unbekannt. Weil es im Gehirn keine Leerstellen gibt, steht zu erwarten, dass sich das Eine nur auf Kosten des Anderen ausbreiten kann. Dies auch deshalb, weil die verfügbare Zeit nicht dehnbar ist. Wer Geige übt, kann nicht gleichzeitig sozial kommunizieren und umgekehrt. Übertraining und Deprivation gehen oft zusammen, weil die Zeit und die Lernfähigkeit von Gehirnen begrenzt sind.

Es ist eine Mähr, die von Wochenendtrainern gewinnträchtig vermarktet wird, dass der Mensch nur einen ganz kleinen Teil seiner neuronalen Ressourcen nutzt. Das ist Unsinn: es gibt nirgends im Gehirn Bereiche, die brachliegen. Wäre dem so, könnte man von dort Gewebe entnehmen, ohne Funktionseinbußen befürchten zu müssen. Dem aber ist nicht so.

Training bewirkt also das Gegenteil von Deprivation. Die Zahl der Kontakte zwischen Nervenzellen nimmt zu, die für die geübten Funktionen zuständigen Areale dehnen sich aus und die neuronalen Antworten spezialisieren sich auf die trainierten Inhalte. Während gesichert ist, dass Deprivation zur suboptimalen Ausbildung neuronaler Architekturen führt, ist weit weniger klar, inwieweit die strukturelle Komplexität durch Üben über das Maß hinaus gesteigert werden kann, das unter normalen Bedingungen erreicht wird. Auch lässt sich im Einzelfall nie angeben, inwieweit ein bestimmtes Verbindungsmuster von genetischen oder erfahrungsbedingten Faktoren geprägt ist, es sei denn, es gibt deutliche Anzeichen für Deprivation. Der Grund ist, dass Hirnstrukturen das Ergebnis eines fortwährenden Dialogs zwischen genetischen und epigenetischen Faktoren sind und dass beide Einflüsse auf dieselben Mechanismen der Strukturbildung einwirken. Ob eine fehlende Verbindung genetisch nicht angelegt oder durch Umwelteinflüsse gelöst wurde, lässt sich a posteriori nur selten rekonstruieren.

Ein weiterer Grund, warum diese Unterscheidung in der Regel misslingt, ist, dass es keine Eins-zu-Eins-Relation zwischen genetischen Instruktionen und bestimmten Verhaltensweisen gibt. Das Genom enthält eine Fülle von Instruktionen, die wie in

einem Netzwerk miteinander wechselwirken. Genetische Instruktionen sind komplizierten Sätzen vergleichbar, die über eine eigene Grammatik verfügen. Diese Sätze werden durch den Entwicklungsprozess in Strukturen und Funktionen übersetzt. Die meisten Eigenschaften verdanken sich dem differenzierten und noch wenig verstandenen Zusammenspiel einer grossen Zahl verschiedener Gene.

Ich will nun versuchen, aus diesen Fakten einige Schlussfolgerungen zu ziehen. Dabei bin ich mir der Gefahr bewusst, meine Kompetenz zu überschreiten. Vielleicht ist das eine oder andere auch Rechtfertigung eines selbst manchmal "versagt-zu-haben-glaubenden-Vaters".

Eine sichere Schlussfolgerung ist, dass kein Kind dem Anderen gleichen kann, und das gilt auch für eineiige Zwillinge, weil im Laufe der Entwicklung eine riesige Zahl von Verzweigungen durchlaufen werden müssen und Entscheidungen darüber, welche Gabelung gewählt wird, oft von kleinen, mitunter zufälligen Fluktuationen der Umgebungsbedingungen abhängen. Ferner gibt es gewaltige, interindividuelle Unterschiede in der Entwicklungsgeschwindigkeit, selbst zwischen Geschwistern. Und auch hier wirken genetische und epigenetische Faktoren zusammen. Eine gute Korrelation besteht zum Beispiel zwischen Geburtsgewicht und dem Reifegrad des Gehirns, und zumindest beim Tier bleibt diese Korrelation zwischen Körpergewicht und Hirnreife lange erhalten. Dies legt nahe, was Pädagogen ohnehin postulieren, dass Förderung in hohem Masse auf die individuellen Bedingungen abgestimmt sein muss. Wegen unterschiedlicher Anlagen und Entwicklungsgeschwindigkeiten ist kaum damit zu rechnen, dass Kinder gleichen Alters gleiche Bedürfnisse und Fähigkeiten haben. Dies stellt das fast ausschließlich altersorientierte Klassensystem in Frage.

Die Existenz zeitlich gestaffelter sensibler Phasen für die Ausbildung verschiedener Hirnfunktionen führt zu dem Postulat, dass das Rechte zur rechten Zeit verfügbar oder angeboten werden muss. Es ist nutzlos und womöglich sogar kontraproduktiv, Inhalte anzubieten, die nicht adäquat verarbeitet werden können, weil die entsprechenden Entwicklungsfenster noch nicht offen sind. Da bislang nur wenig experimentelle Daten darüber vorliegen, wann das menschliche Gehirn welche Informationen benötigt, ist wohl die beste Strategie, sorgfältig zu beobachten, wonach die Kinder fragen. Ich hatte ausgeführt, dass das Gehirn bei der Organisation seiner Entwicklung die Initiative hat und sich die jeweils benötigte Information selbst sucht. Es sollte demnach ausreichen und wäre wohl auch die optimale Strategie, sorgfältig darauf zu achten, wofür sich das Kind jeweils interessiert, wonach es verlangt, und wodurch es glücklich wird. Babies können auch schon im vorsprachlichen Stadium durch Lachen, Weinen und differenzierte Mimik signalisieren, was für sie richtig und wichtig ist.

Wie lässt sich also das Angebot optimieren? Natürlich muss die Umwelt hinreichend reich sein, damit das, was benötigt wird, auch vorhanden ist, und die Kinder das, was sie suchen, auch finden können. Aber dies dürfte in aller Regel der Fall sein. Über die Sonderbegabungen werde ich noch sprechen. Wenig hilfreich dürfte es sein, die Kleinen mit Überangeboten zu überschütten und die Umgebung so früh wie möglich so komplex wie möglich zu gestalten: Mozart nicht nur im Kuhstall, sondern auch im Babyzimmer, Musik und Malerei aller Stilrichtungen, vielleicht sogar etwas hohe Literatur vorlesen. Das ist natürlich alles Unsinn, dem vehement Einhalt geboten werden muss. Hier vermischt sich Elternehrgeiz mit missverstandenen Botschaften

über die Bedeutung kritischer Entwicklungsphasen. Es macht keinen Sinn, Entwicklungen forcieren zu wollen. Die Kinder werden aufgezwungene Angebote nicht annehmen, unnütze Zeit mit Abwehr verbringen, und es schwer haben, das für sie Wichtige herauszufiltern.

Wichtig ist vielmehr, dass Deprivationen vermieden werden. Diese Gefahr ist am Größten, wenn Sonderbegabungen vorliegen, auf welche die Eltern und später die Kindergärten und Schulen nicht vorbereitet sind. Weil Begabungen normal verteilt sind, muss mit erheblichen Abweichungen vom Mittelwert gerechnet werden, in beide Richtungen natürlich. Hier besteht dann in der Tat die Gefahr, dass das Rechte nicht zur rechten Zeit angeboten wird. Hier könnten Evaluierungsprogramme vorbeugen, mit denen sich bei Verdacht auf Sonderbegabungen überprüfen liesse, ob die Kleinen in Spezialbereichen besondere Förderung benötigen.

In den allermeisten Fällen wird es aber genügen, darauf zu vertrauen, dass die jungen Gehirne selbst am besten wissen, was sie in verschiedenen Entwicklungsphasen benötigen und dank ihrer eigenen Bewertungssysteme kritisch beurteilen und auswählen können. Kinder sind in aller Regel genügend neugierig und wissbegierig, um sich das zu holen, was sie brauchen. Elternehrgeiz ist hier wenig dienlich, entscheidend ist nicht, was die Eltern wollen, sondern was das Kind mitbringt und will. Hier ein praktisches Beispiel von vielen. Kinder wollen sprechen und durchlaufen eine sensible Phase, in der sie Sprachkompetenz besonders schnell und mühelos erlangen. Hier könnte das frühe Angebot einer zweiten Sprache die Nutzung natürlicher Ressourcen ohne Überforderung optimieren.

Abschließend möchte ich noch einen Aspekt hervorheben, an dem mir ganz besonders gelegen ist. Die differenzierte Entwicklung kognitiver Funktionen hängt ganz wesentlich von den Kommunikationsfähigkeiten und -möglichkeiten der Kleinen ab. Die Entwicklung von Autismus wird unter anderem darauf zurückgeführt, dass es den Kindern nicht gelingt, die emotionalen Signale zu dechiffrieren, die ihre Bezugspersonen in ihrer Mimik und Gestik ausdrücken. Über diesen nicht-sprachlichen Kommunikationsprozess wird den Kindern vermittelt, wie ihre Aktionen und Fragen von ihrem sozialen Umfeld bewertet werden und diese Information scheint für die Einbindung in das soziokulturelle Umfeld und alle damit verbundenen Lernprozesse von herausragender Bedeutung zu sein. Wenn die Kinder nicht in der Lage sind, diese bewertenden Signale zu dechiffrieren, führt dies zu sozialer Isolation, und in der Folge zu gravierenden Fehlentwicklungen aller höheren kognitiven Funktionen. Der Dialog mit der Umwelt bricht ab und umweltabhängige Entwicklungsprozesse werden fehlgeleitet. In diesem Fall liegt eine pathologische Störung der Kommunikationsfähigkeit vor. Sie belegt aber, wie außerordentlich wichtig kommunikative Prozesse für die Hirnentwicklung sind. Somit stellt sich die Frage, ob wir genügend investieren, um die normalen Kommunikationsmöglichkeiten auszuschöpfen.

Wie aber kann die Kommunikationsfähigkeit der Kinder so umfassend wie möglich gefördert werden? Wir setzen derzeit vor allem auf die rationale Sprache als Kommunikationsinstrument. Sie ist das einzige der uns mitgegebenen Ausdrucksmittel, das unser Erziehungssystem mit Nachdruck ausbildet. Nun ist es kein Geheimnis, dass bei einem kommunikativen Akt - selbst bei diesem Vortrag - ein erheblicher Teil der vermittelten Information über Mimik, Gestik und Intonation transportiert wird. Auch ist wohlbekannt, dass durch bildnerische, musikalische,

mimische, gestische und tänzerische Ausdrucksformen Information transportiert werden kann, die sich in rationaler Sprache nur sehr schwer fassen lässt. Überzeugende Schilderungen widersprüchlicher Gestimmtheiten gelingen nur selten mit Worten allein, es sei denn, es liegt lyrische Sonderbegabung vor. Aber die angesprochenen nicht-rationalen Kommunikationstechniken können gerade solche Inhalte hervorragend vermitteln, weil sie nicht an binäre Logik gebunden sind. Ich behaupte, und entferne mich damit sicher nicht zu weit von der Wahrheit, dass alle Kinder mit dem Angebot kommen, diese nicht-rationalen Kommunikations- und Ausdrucksmittel zu nutzen und dass alle Kinder über sie verfügen, dass wir diese aber zu wenig und wenn überhaupt, dann zu spät fördern und sie auf Kosten der Ausbildung der rationalen Sprache vernachlässigen oder gar unterdrücken. Hier liegt nach meiner Einschätzung ein Fall von Deprivation vor. Und so müssen wir uns meist damit begnügen, uns mit dem relativ jämmerlichen Vehikel rationaler Sprachen verständlich zu machen. Just die Informationen, die bei der Stabilisierung sozialer Systeme eine so wichtige Rolle spielen, lassen sich damit aber selbst bei hoher Sprachkompetenz nur sehr unvollkommen transportieren.

Abschließend möchte ich Sie noch mit einer Utopie befassen, die mir oft durch den Kopf geht. Die ethnischen Konflikte, die derzeit ein Hauptproblem darstellen, beruhen nicht zuletzt auf der Unfähigkeit, sich in die kognitiven Schemata der jeweils anderen hineinzusetzen: Das gleiche Ereignis wird von den Kontrahenten unterschiedlich wahrgenommen, und so fühlt sich jeder im Recht - ein eindrucksvolles und folgenreiches Beispiel für die kulturelle Prägung von kognitiven Funktionen. Wenn sich die Kontrahenten auch der nicht-rationalen Sprachen bedienen könnten, um sich verständlich zu machen, würden sie vermutlich schnell erkennen, dass ihre Befindlichkeiten und Sehnsüchte die gleichen sind. Ich denke da zum Beispiel an eine Friedenskonferenz, bei der versucht wird, mit allen verfügbaren Ausdrucksmitteln – also nicht nur Sprache, sondern auch Musik, Gesang, Tanz und Bildern - zu erklären, welches die respektiven Ängste und Nöte sind, eine Art Jam-Session ausdruckscompetenter Vermittler. Wenn solche Ausdrucks- und damit auch Rezeptionskompetenz früh gepflegt und eingeübt würde, hätte dies vermutlich segensreiche Auswirkungen auf unsere Sozialgefüge.

Mit dieser utopischen Projektion möchte ich Sie nun entlassen und zur Diskussion einladen.