

Matthias Eckoldt

Kann das Gehirn das Gehirn verstehen?

Gespräche über Hirnforschung
und die Grenzen
unserer Erkenntnis

mit:

WOLF SINGER

GERALD HÜTHER

GERHARD ROTH

ANGELA D. FRIEDERICI

HENNING SCHEICH

HANS J. MARKOWITSCH

CHRISTOPH VON DER MALSBURG

RANDOLF MENZEL

FRANK RÖSLER

2013

Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats des Carl-Auer Verlags:

Prof. Dr. Rolf Arnold (Kaiserslautern)	Prof. Dr. Wolf Ritscher (Esslingen)
Prof. Dr. Dirk Baecker (Friedrichshafen)	Dr. Wilhelm Rothhaus (Bergheim bei Köln)
Prof. Dr. Bernhard Blanke (Hannover)	Prof. Dr. Arist von Schlippe (Witten/Herdecke)
Prof. Dr. Ulrich Clement (Heidelberg)	Dr. Gunther Schmidt (Heidelberg)
Prof. Dr. Jörg Fengler (Alfter bei Bonn)	Prof. Dr. Siegfried J. Schmidt (Münster)
Dr. Barbara Heitger (Wien)	Jakob R. Schneider (München)
Prof. Dr. Johannes Herwig-Lempp (Merseburg)	Prof. Dr. Jochen Schweizer (Heidelberg)
Prof. Dr. Bruno Hildenbrand (Jena)	Prof. Dr. Fritz B. Simon (Berlin)
Prof. Dr. Karl L. Holtz (Heidelberg)	Dr. Therese Steiner (Embrach)
Prof. Dr. Heiko Kleve (Potsdam)	Prof. Dr. Dr. Helm Stierlin (Heidelberg)
Dr. Roswita Königswieser (Wien)	Karsten Trebesch (Berlin)
Prof. Dr. Jürgen Kriz (Osnabrück)	Bernhard Trenkle (Rottweil)
Prof. Dr. Friedbert Kröger (Heidelberg)	Prof. Dr. Sigrid Tschöpe-Scheffler (Köln)
Tom Levold (Köln)	Prof. Dr. Reinhard Voß (Koblenz)
Dr. Kurt Ludewig (Münster)	Dr. Gunthard Weber (Wiesloch)
Dr. Burkhard Peter (München)	Prof. Dr. Rudolf Wimmer (Wien)
Prof. Dr. Bernhard Pörksen (Tübingen)	Prof. Dr. Michael Wirsching (Freiburg)
Prof. Dr. Kersten Reich (Köln)	

Umschlaggestaltung: Uwe Göbel

Umschlagbild: © Uwe Göbel

Satz: Drißner-Design u. DTP, Meßstetten

Printed in Germany

Druck und Bindung: Freiburger Graphische Betriebe, www.fgb.de

Erste Auflage, 2013

ISBN 978-3-8497-0002-7

© 2013 Carl-Auer-Systeme Verlag

und Verlagsbuchhandlung GmbH, Heidelberg

Alle Rechte vorbehalten

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische

Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Informationen zu unserem gesamten Programm, unseren Autoren
und zum Verlag finden Sie unter: www.carl-auer.de.

Wenn Sie Interesse an unseren monatlichen Nachrichten aus der Vangerowstraße haben,
können Sie unter <http://www.carl-auer.de/newsletter> den Newsletter abonnieren.

Carl-Auer Verlag GmbH
Vangerowstraße 14
69115 Heidelberg
Tel. o 62 21-64 38 o
Fax o 62 21-64 38 22
info@carl-auer.de

Künstliche Intelligenz

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Die Grundidee der künstlichen Intelligenz, die in den 50er-Jahren aufgekommen ist, war folgende: Der Experimentator schaut sich ein Phänomen, wie beispielsweise Schachspielen, an und überlegt, wie es funktioniert. Diese Funktionsidee setzt er dann in einen Algorithmus um, um schließlich sagen zu können, der Computer sei intelligent. In Wirklichkeit ist es natürlich nur eine Projektion, denn die Intelligenz sitzt nicht im Computer, sondern im Kopf des jeweiligen Programmierers. Man war damals auch der Meinung, dass man auf diese Weise Sprache verstehen könne. Dafür hätte man dann eine universelle Grammatik etwa der englischen Sprache formulieren und in einen Algorithmus gießen müssen. Dabei hat sich aber herausgestellt, dass sich Sprache nicht durchgängig an Regeln hält. Im Extremfall ist es sogar so, dass jedes Wort um sich herum sein eigenes Regelwerk verbreitet. Inzwischen weiß man, dass man gewaltige statistikbasierte Datenbanken braucht, um Sprache verarbeiten zu können. So wurde langsam klar, dass sich die Aufmerksamkeit des Programmierers von den Anwendungsvorgängen auf die Organisationsmechanismen zurückziehen muss, durch die Daten aufgenommen und verarbeitet werden. Was kann man dafür vom Gehirn lernen? Im Gehirn ist bei Geburt das Organisationsprinzip festgelegt, mit dessen Hilfe die Struktur der Umwelt verarbeitet werden kann, das heißt nicht mehr, als dass wir auf eine bestimmte Weise die Regelmäßigkeiten der Welt absorbieren. Wenn man sich darauf einlässt, muss man aber auch damit leben, dass der Computer nicht unfehlbar ist. So wie es Alan Turing ausdrückte: »If you want a computer to be infallible you can not ask it to be intelligent as well«. (Wenn man möchte, dass ein Computer unfehlbar ist, darf man nicht zugleich von ihm verlangen, dass er auch intelligent sei.) Wenn man Intelligenz haben möchte, dann muss man auch dieses heuristische Spielchen spielen wollen. Dann kann man gar nicht mehr davon reden, dass der Computer genau das macht, wofür der Programmierer ihn programmiert hat.

MATTHIAS ECKOLDT: Mit dem Computer, der sich vom Programmierer lossagen kann, wäre dann aber auch eine neue Evolution losgetreten.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Gewissermaßen. Der Einzelprozess wird dann für den Programmierer unverständlich sein, weil der in der Hand statistischer Muster liegt. Mir geht das bereits seit Jahrzehnten so.

Wenn ich ein Programm für ein sich selbst organisierendes Netzwerk geschrieben hatte, konnte ich nur staunen, was das Netzwerk machte. Üblicherweise gerade nicht das, was ich mir vorgestellt hatte. Die Idee des Sichverstehens zwischen Programmierer und Programm muss aufgegeben werden.

Gefühle im Licht der Informatik

MATTHIAS ECKOLDT: Würden dann nicht zur Entwicklung von Intelligenz letztlich noch Gefühle und vielleicht sogar ein Körper gehören? Wir haben ja den sogenannten interozeptiven Sinn, der permanent die Körperzustände abfragt und bei Entscheidungsfindungen im Gehirn beteiligt ist. Gibt es Intelligenz ohne Gefühle und ohne Körper?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Von den Neurowissenschaften sind die Gefühle bis vor Kurzem völlig unterdrückt worden. Erst seit etwa drei Jahrzehnten werden in elementarer Form etwa Angstreaktionen untersucht. Im Verstärkungslernen kommen Gefühle mittlerweile auch zum Tragen.

MATTHIAS ECKOLDT: ... durch das Belohnungssystem.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Genau. So kann man unterscheiden zwischen hilfreichen und weniger hilfreichen Strategien. Die Neurowissenschaft merkt jetzt langsam, dass man Gefühle braucht, um komplexe Prozesse in einem System zu steuern, weil in jedem Moment unendliche viele Reaktionsmöglichkeiten aufscheinen und das System Kriterien für Entscheidungen braucht. Deswegen werden wir das Äquivalent von Gefühlen in neuronalen Netzwerken aufbauen müssen. Den Körper braucht man dazu meines Erachtens nicht. Ich könnte mir ein intelligentes Wesen vorstellen, das im Netzwerk lebt und ausschließlich mit elektronischen Signalen umgeht, ohne Körperteile bewegen zu müssen.

MATTHIAS ECKOLDT: Aber man muss dann ja auch ein Äquivalent für das Belohnungssystem schaffen.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Man muss ein Äquivalent vom Heureka-Effekt haben, durch den eine Koordination von ehemals unkoordinierten Signalen geradezu physisch spürbar wird.

MATTHIAS ECKOLDT: Genau! Irgendetwas muss die Belohnung empfinden können. Was aber sollte das sein, wenn nicht ein Körper?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Das, was uns spüren macht, sind ja elektrische und chemische Signale, die physisch implementiert sind. Sie können problemlos elektrisch abgebildet werden.

MATTHIAS ECKOLDT: Da fehlt mir der Glaube aufgrund der Introspektion. Dass ein neuronales Netzwerk den Prozess abbilden kann, verstehe ich, aber wie soll es ihn empfinden?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Da sind Sie in guter Gesellschaft. Es gibt einen Philosophen namens John Searl. Der hält es für möglich, dass man einen Computer so programmiert, dass er Chinesisch verstehen kann. Aber dieser Computer würde völlig blind seine Regeln abarbeiten und keine Ahnung davon haben, worüber eigentlich geredet wird. Er benutzt die Metapher der Leber. Eine Leber kann man als chemische Struktur simulieren, aber es kommt unten trotzdem kein Saft raus [lacht]! Und Ihnen fehlt da eben auch der Saft.

MATTHIAS ECKOLDT: Immer bezogen auf die neuronalen Netzwerke.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Das wäre ein Sprung, den Sie in Ihrem Inneren machen müssten. Alle Signale, die in unserem Hirn physisch existieren, Muskelspannung, Haare, die sich aufstellen, Adrenalinausschüttung – dass sie alle auf Bits im Computer abgebildet werden können. Das ist ein Sprung, den man macht oder eben nicht. Sie sehen da Schwierigkeiten, ich nicht.

MATTHIAS ECKOLDT: Sehen Sie denn bei diesem Umschreibungsprozess noch prinzipielle Schwierigkeiten?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Nicht wirklich. Offensichtlich haben wir ja konzeptionelle Bretter vor dem Kopf. Unser ganzes Gebiet hat Vorurteile und macht Fehler beim Abbilden der Gehirnprozesse im Computer. Aber wenn diese Vorurteile einmal weg sind, gibt es aus meiner Sicht keine prinzipiellen Schwierigkeiten.

MATTHIAS ECKOLDT: Dass es in dieser Richtung noch keine Netzwerke gibt, liegt somit nur an Komplexitätsproblemen. Wie ist eigentlich das Paradoxon aufzulösen, dass unser Gehirn, gemessen am Computer, so unsagbar langsam ist, aber wir trotzdem meilenweit davon entfernt sind, das Gehirn mit dem Computer nachbauen zu können? Das muss doch letztlich an der parallelen beziehungsweise assoziativen Rechenarchitektur liegen.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Die Elektronik ist tatsächlich sehr schnell, etwa eine Million Mal schneller als die Zellen in unserem Gehirn. Aber die elektronischen Bauelemente haben nur sehr wenige Verbindungen zu anderen Bauelementen – typischerweise drei –, während die Zellen im Gehirn Tausende Verbindungen haben. Ich möchte auf das Wort »Architektur« zu sprechen kommen, das Sie benutzt haben. Das eigentliche Geheimnis liegt darin, wie man ein System so aufbaut, dass Milliarden von Bauelementen gleichzeitig vor sich hin ticken können, ohne sich gegenseitig im Wege zu stehen. In der Frühzeit des Parallelrechners lag der Teufel in den sogenannten *deadlocks*, bei denen ein Rechenprozess auf einen anderen Rechenprozess gewartet hat, aber dieser andere wiederum auf einen dritten wartete, sodass sie gewissermaßen im Kreis warten und der Computer stehen bleibt. Mittlerweile hat man an diesem Punkt große Fortschritte gemacht, aber letztlich ist es so, dass die Datenabhängigkeit zwischen verschiedenen Rechenwerken immer noch ärgerlich ist, weil Daten hin- und hertransportiert werden müssen, was einfach viel Zeit kostet.

MATTHIAS ECKOLDT: Das Problem liegt also nicht in der Rechengeschwindigkeit, sondern letztlich im Datenabgleich.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Einen Parallelcomputer so zu organisieren, dass Rechengänge gleichzeitig ablaufen, zugleich aber miteinander verkoppelt sein können, das ist das zentrale technische Problem, das wir haben. In unserem Gehirn ist genau dieses Problem offensichtlich gelöst.

Wie die Idee der Selbstorganisation ignoriert wird

MATTHIAS ECKOLDT: Insofern müsste die Idee der Selbstorganisation eigentlich richtungweisend für Ihr Fach sein. Ist es denn vorstellbar, den Netzwerken die Probleme der Synchronisation von Rechenprozessen und Datenabgleich zu überlassen?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Es ist bemerkenswert, dass der Gedanke der Selbstorganisation, der ja einst eine gewaltige geistige Revolution ausgelöst hatte, überhaupt nicht prominent ist unter den Leuten, die über das Gehirn nachdenken. Das ist schon sehr erstaunlich. Die Schaltung unseres Gehirns braucht 10^{16} Bits, will man sie als Liste aufschreiben. Demgegenüber gibt es in unserem Genom lediglich eine

Informationstiefe weniger als 10^{10} Bits. Das macht noch einmal deutlich, dass die Gene die Spielregeln für einen Selbstorganisationsprozess festlegen, der im Embryo beginnt. Man wird dementsprechend das Gehirn nur über Selbstorganisation verstehen können. Aber diese Idee ist bei meinen Kollegen gerade nicht Mode.

MATTHIAS ECKOLDT: Das Problem bei Selbstorganisation ist ja auch, dass das Konzept selbst einem die Hände bindet. Denn wenn man sagt, hier handelt es sich um einen Selbstorganisationsprozess, dann impliziert das ja, dass es um eine Art der Eigensteuerung geht, die per definitionem von außen nicht mehr zu beeinflussen ist. Man gibt mit dem Konzept eigentlich alles aus der Hand, was für das herkömmliche Wissenschaftsselbstverständnis wichtig ist.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Die intuitive Abwehr der Idee der Selbstorganisation gründet darin, dass solche Prozesse zwar schöne, regelmäßige Gebilde wie Kristalle oder Schäfchenwolken hervorbringen, aber nicht zielorientiert ablaufen. Da muss man sagen, dass das Gebäude der Selbstorganisation, wie es etwa von Hermann Haken, Manfred Eigen, Ilya Prigogine, Francisco Varela und Humberto Maturana aufgebaut wurde, einfach noch unvollständig ist. Erstens kommen darin keine Kaskaden von Selbstorganisationsprozessen vor, wo also ein Prozess die Arena für den nächsten schafft. Die Strukturierung eines Embryos ist Resultat von solchen Kaskaden. Der Embryo differenziert sich immer weiter, bis sich schließlich Arme und Hände und Fingernägel bilden. Außerdem fehlt im Konzept der Selbstorganisation die Implementierung von Zielgerichtetheit, also die Sache mit den Gefühlen, von denen Sie vorhin geredet haben. Schließlich haben die Selbstorganisationstheoretiker auch nicht über Netzwerkselbstorganisation nachgedacht. Wenn man aber von einem Netzwerk redet, ist der unmittelbare Nachbar nicht der räumliche Nachbar, sondern der, mit dem man verbunden ist. Letztlich muss man die Begrifflichkeit der Selbstorganisation noch aufbohren, um dem Phänomen der neuronalen Netze näherzukommen.

MATTHIAS ECKOLDT: Wie weit ist man da im Moment?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Da passiert überhaupt nichts! Das ist ein toter Sektor.

MATTHIAS ECKOLDT: Warum? Weil die Idee der Selbstorganisation in der Scientific Community keine Lobby hat und es somit auch keine Gelder gibt?

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Genau so ist es!

MATTHIAS ECKOLDT: Aber Ihrer Meinung nach müsste die Idee der Selbstorganisation weiterverfolgt werden.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Unbedingt. Es ist absolut notwendig, dieses Konzept weiterzuentwickeln. Ansonsten wird man das Gehirn nicht verstehen.

Kann man Gedanken lesen?

MATTHIAS ECKOLDT: In der letzten Zeit geistern immer wieder Erfolgsmeldungen durch die Presse, dass es gelungen sei, Gedanken zu lesen. Wenn man dann genauer hinschaut, läuft das angebliche Gedankenlesen so ab, dass man Probanden Bilder zeigt und die neuronale Reaktion mit bildgebenden Verfahren festhält. Dann sollten die Probanden noch einmal die Bilder in beliebiger Reihenfolge anschauen, und die Experimentatoren konnten aus den neuronalen Erregungsmustern darauf schließen, welche Bilder die Probanden gerade sahen. Das hat ja mit Gedankenlesen dann doch herzlich wenig zu tun.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Ich werde mich mit meiner Kritik daran zurückhalten, sonst werde ich noch gelyncht. Es wird ja auch behauptet, dass man feststellen kann, ob einer lügt. Das liegt hauptsächlich daran, dass der Lügner etwas länger braucht, seine Antwort herauszubringen, weil es ein wenig komplizierter ist, eine Lüge stringent zu behaupten, als einfach die Wahrheit zu sagen. Das sind Moderichtungen, die meines Wissens nichts Tiefschürfendes ans Licht bringen.

MATTHIAS ECKOLDT: Hat das Ihrer Meinung nach auch grundsätzlich mit der mehrfachen Indirektheit der MRT-Methode zu tun, wo man ja nicht nur keine Gedanken und auch keine elektrische Erregung, sondern nur Veränderungen in der Sauerstoffaufnahme des Blutes misst? Abgesehen davon, täuschen die bunten Bilder auch darüber hinweg, dass das Gehirn nicht nur an der betreffenden Stelle X, sondern auch als Gesamtsystem aktiv ist.

CHRISTOPH VON DER MALSBURG: Das, was in Ihrem Gehirn in diesem Moment abläuft, ist für die Wissenschaft in seiner Einmaligkeit und Komplexität für alle Zeiten unantastbar. Ich halte es geradezu für einen Kategorienfehler, wenn die Wissenschaftler einen einzelnen Hirnzustand in seiner Komplexität erforschen wollen. Was Wissenschaft

»Man muss unbedingt aufpassen, dass man sich nicht dazu hinreißen lässt, Antworten zu geben, obwohl man sie noch nicht hat«

Angela D. Friederici über den Spracherwerb, eine Begegnung mit Noam Chomsky und das Ende der Hirnkarten



Prof. Dr. Dr. h. c. Angela D. Friederici ist Jahrgang 1952. Sie studierte Germanistik und Psychologie an den Universitäten Bonn und Lausanne. Seit 1994 ist sie Direktorin des MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig. Sie ist Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Sie gibt verschiedene internationale Zeitschriften (u. a. Brain and Language, Brain and Cognition, Cognitive Neuroscience, Frontiers in Auditory Cognitive Neuroscience, Trends in Cognitive Science) mit heraus.

Ihr Hauptarbeitsgebiet ist die Neurokognition der Sprache.

Wie aussagekräftig sind bildgebende Verfahren eigentlich?

MATTHIAS ECKOLDT: Die öffentliche Karriere der Hirnforschung ist unmittelbar mit den bunten Bildern verbunden, die uns die MRT liefert. Diese Bilder haben jedoch einen trügerischen Charakter, da es durch die Einfärbungen so aussieht, als wären jeweils nur kleine Teile des Hirns während eines Experiments aktiv.

ANGELA D. FRIEDERICI: Da haben Sie recht. Das Gehirn ist im Grunde genommen dauernd aktiv. Frau Gabriele Lohmann hier im Haus hat

es einmal auf den Punkt gebracht, als sie sagte: »Wenn wir uns Hirnaktivierung von Experimenten anschauen, wo Bedingung A mit Bedingung B verglichen wird, erklärt der Anstieg der Aktivität zwischen A und B eigentlich nur 15 % bis 20 % der Varianz.«

MATTHIAS ECKOLDT: Das ist ziemlich wenig und auch recht irreführend, denn die MRT-Bilder suggerieren eher eine scharfe Trennung zwischen aktiven und nichtaktiven Stellen.

ANGELA D. FRIEDERICI: Genau, darum ist es wichtig, dass man sich diesen Sachverhalt klarmacht. Die offene Frage ist, was mit den restlichen 80 % bis 85 % der Aktivierung ist. Ist die jetzt überall im Hirn gleich verteilt? Nein, wenn man sich die Restaktivierung im Gehirn anschaut, stellt man fest, dass die eben nicht total zufällig ist. Nehmen wir ein Sprachverstehensexperiment. Der Anstieg der Aktivierung in einzelnen Arealen zeigt dann zum Beispiel die Reaktion auf einen semantisch falschen versus einen semantisch richtigen Satz an. Wenn man jetzt aber eine Reihe von Sprachexperimenten mit visuellen Experimenten vergleicht, ohne zu schauen, was da im Einzelnen getestet wurde, dann sieht man, dass es unterschiedliche zugrundeliegende Netzwerke für sprachliche und nichtsprachliche Experimente gibt. Und die haben wir »Default-Netzwerk« genannt. D. h., wenn wir jetzt hier sprechen, ist wahrscheinlich in unseren beiden Hirnen das gesamte Sprachnetzwerk voraktiviert, und nur die spezifischen Informationen, die Sie sich jetzt rausziehen aus dem, was ich Ihnen sage, bedingen dann die Aktivierung in einzelnen Arealen.

MATTHIAS ECKOLDT: Das heißt also, für die schwierigen Passagen, die ich teilweise nicht verstehe, brauche ich die restlichen 20 %?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, so könnte man sagen. Das ist natürlich unterschiedlich von Bedingung zu Bedingung oder auch von Probandengruppe zu Probandengruppe. Also, wenn ich mir Kinder anschau oder auch Erwachsene, die das Deutsche nur als Zweitsprache gelernt haben, sind natürlich sehr viel größere Hirnregionen aktiv als bei jenen, die hoch automatisiert mit der Muttersprache umgehen können.

MATTHIAS ECKOLDT: Was sagen Sie eigentlich zu dem Argument, dass bei der MRT nur eine bestimmte Gruppe von Personen untersucht wird, weil sich 20 % wegen Platzangst und anderen Phobien gar nicht erst in eine Röhre legen? Ist das eine Zahl, die Sie interessiert?

ANGELA D. FRIEDERICI: Das ist jetzt eine klinische Frage. Das müsste man mal eine Arbeitsgruppe, die sich mit Phobien beschäftigt, fragen, und man müsste überlegen, ob es bei diesen interessanten Personen vielleicht auch andere Hirnbedingungen geben könnte. Dazu können wir natürlich nichts aussagen, da es jedem freisteht, in den Scanner zu gehen oder nicht. Bei uns ist die Zahl derer, die nach der Aufklärung reingehen, wesentlich größer als die Zahl derjenigen, die sich nicht in die Röhre legen, sodass wir in unseren Studien schon den Großteil der Bevölkerung repräsentieren.

Sprache und Musik

MATTHIAS ECKOLDT: Wie ist das im Vergleich von Sprach- und Musikverarbeitung? Mich haben Versuche von Ihnen sehr beeindruckt, bei denen man sehen konnte, dass Säuglinge, die ja per definitionem noch nichts davon wissen konnten, richtige von falschen Oktaven unterscheiden konnten.

ANGELA D. FRIEDERICI: Wir konnten zeigen, dass die Gehirne von Säuglingen registrieren, wenn die Harmonie auseinanderbricht.

MATTHIAS ECKOLDT: Das ist jetzt vielleicht ein bisschen übertrieben, aber könnte man sagen, dass das wohltemperierte Klavier in der Hirnstruktur bereits angelegt ist?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ob das wohltemperierte Klavier in der Hirnstruktur eingeschrieben ist, wissen wir nicht. Aber wir wissen, dass das Gehirn von Säuglingen einiges leisten kann, sowohl im Bereich Musik als auch im Bereich Sprache. Wir haben jetzt neue Daten, die zeigen, dass Kinder im Alter von vier Monaten syntaktische Relationen zwischen Elementen im Satz lernen. Ich gebe mal ein Beispiel: »He is singing«, wenn vorne »is« steht, dann muss ich im Englischen hinten an das Verb »-ing« dranhängen. »He is sings« ist natürlich falsch, und die Frage ist nun: Wie kann man solche Relationen lernen? Damit sind wir nahe an der Musik. Man kann die sprachlichen Gesetzmäßigkeiten aufgrund von akustischen Regularien lernen. Wenn man immer wieder Sätze hört, wo vor dem Verb das »is« und hinter dem Verb das »-ing« kommt, dann bekommt man irgendwann die Regelmäßigkeit heraus. Wir haben zum Beispiel deutsche Kleinkinder aus deutschen Familien einige Regeln der italienischen Syntax lernen lassen. Die

lernen das innerhalb von einer Viertelstunde. Rein passiv, nur indem sie korrekte Sätze hören. Danach präsentieren wir korrekte und inkorrekte Sätze, und was wir an den Hirnaktivitäten der Kinder sehen, ist, dass sie die korrekten von den inkorrekten unterscheiden. Das Hirn ist darauf aus, solche Regeln zu erkennen. Also, erst lernt man lautliche Abhängigkeiten, und in einem zweiten Schritt erkennt man dann, dass diese lautlichen Abhängigkeiten auch eine grammatische Bedeutung haben.

MATTHIAS ECKOLDT: Aber wenn ich mich recht erinnere, dann ist es bei den Harmonien gerade nicht so, dass Ihre wenige Tage alten Probanden die Regeln erst erlernen, sondern das Beeindruckende war für mich, dass die mit der Geburt schon richtige von schiefen Harmonien unterscheiden können.

ANGELA D. FRIEDERICI: Sie sprechen hier eine Studie zur Musikverarbeitung an, in der Herr Kölsch, zusammen mit Frau Perani, in Mailand Neugeborene untersucht hat. Hierbei wurden jetzt keine kleinen Harmoniesprünge untersucht, sondern größere Verletzungen in den musikalischen Sequenzen. Da kann man sehen, dass das neugeborene Gehirn bei musikalischen Regelverletzungen reagiert. Aber wir dürfen nicht vergessen, dass das Kind schon bereits vor der Geburt akustische Informationen wahrgenommen hat. Also, ungefähr sechs Wochen vor der Geburt ist das akustische System voll ausgebildet, und auch im Bauch kann der Fötus somit Musik wahrnehmen.

MATTHIAS ECKOLDT: Und bei der Sprachverarbeitung?

ANGELA D. FRIEDERICI: Bei der Sprachverarbeitung ist es so, dass Neugeborene sehr wohl den Unterschied zwischen zwei Sprachen mit verschiedenen Sprachmelodien erkennen können. Unsere Untersuchungen zeigen, dass Neugeborene den Unterschied merken zwischen einer Sprache, die eine gewisse Sprachmelodie hat, und einer Sprache, bei der wir die Sprachmelodie rausnehmen, was dann so klingt, als ob ein Computer spricht. Das Gehirn reagiert mit den entsprechenden Spracharealen auf den modulierten Sprachinput, wenn die Satzmelodie vorhanden ist, aber das Gehirn interessiert sich überhaupt nicht für den Sprachinput, wenn die Sprachmelodie rausgenommen ist. Auch da gibt es also bei Geburt eine Präferenz für ganz bestimmte akustische Signale.

MATTHIAS ECKOLDT: »Das Gehirn interessiert sich überhaupt nicht« heißt was?

ANGELA D. FRIEDERICI: Keine Aktivierung.

MATTHIAS ECKOLDT: Also ist das Melodische, das Klangliche, offensichtlich extrem wichtig für die Sprachverarbeitung.

ANGELA D. FRIEDERICI: In der Tat. Man merkt das ja auch selber, wenn man sich an ein Kleinkind wendet, dann legt man sehr viel mehr Modulation in seine Stimme, als wenn man mit einem Erwachsenen redet. Es gibt akustische Analysen, die das genau registriert haben und zeigen, dass die Modulation der Stimme sehr viel größer ist, dass ganz bestimmte Wörter, die wichtig erscheinen, mehr betont werden, und dass größere Pausen gemacht werden. All das hilft dem Kind, bestimmte Sequenzen aus dem Sprachstrom herauszusegmentieren.

MATTHIAS ECKOLDT: Wie würden Sie das aus Ihrer wissenschaftlichen Erfahrung einschätzen: Ist es so, dass sich das Sprachverarbeitungssystem in Korrelation mit der Umwelt ausbildet, oder ist es genetisch stark vorstrukturiert und muss dann im Laufe des Spracherwerbs nur wie eine leere Vase befüllt werden?

ANGELA D. FRIEDERICI: Also, das ist eine Riesendiskussion, die bis heute noch nicht abgeschlossen ist. Wir wissen heute aber, dass sehr viel mehr genetisch angelegt ist, als man früher geglaubt hat, da man jetzt Untersuchungen auch mit Neugeborenen machen kann. Wir haben Neugeborene nicht nur im Scanner zu Funktionsmessungen gehabt, sondern wir konnten uns auch die Faserverbindungen zwischen verschiedenen Arealen im Gehirn ansehen. Und da gibt es folgenden interessanten Unterschied zu sehen: Die Kleinkinder aktivieren zwar jene Sprachareale im Temporalcortex, wo akustische Information verarbeitet wird, und zusätzlich auch die Sprachareale im Frontalcortex. Wenn wir uns nun aber die Faserverbindungen angucken zwischen den frontalen Arealen und den Arealen im Temporalcortex, sehen wir große Unterschiede über die Lebensspanne hinweg. Bei Neugeborenen ist, im Gegensatz zu Erwachsenen, die Faserverbindung zwischen diesen Arealen nicht zu sehen. Wir konnten feststellen, dass es selbst im Alter von sieben Jahren, also in einem Alter, in dem Kinder immer noch Schwierigkeiten mit syntaktisch komplexen Sätzen haben, noch deutliche Unterschiede gibt in diesen Faserverbindungen, von denen

wir glauben, dass sie für die Verarbeitung von komplexen syntaktischen Strukturen zuständig sind. Jetzt stellt sich natürlich die Frage, was die Henne und was das Ei ist. Deshalb machen wir jetzt eine Studie, in der wir die gesamte Altersspanne von zwei bis acht Jahren untersuchen und uns anschauen, wie sich einerseits die strukturellen Differenzierungen und andererseits die Sprachfunktionen entwickeln.

MATTHIAS ECKOLDT: Was ist dabei das Erkenntnisinteresse?

ANGELA D. FRIEDERICI: Die Frage, die uns interessiert, ist, wie können wir die strukturellen Differenzierungen im Gehirn in Verbindung bringen mit der Entwicklung einzelner sprachlicher Fähigkeiten? Also, es geht um die Frage: Was ist zuerst da, die Faserverbindung (Struktur) oder eine bestimmte sprachliche Fähigkeit (Funktion)?

Bewusst versus unbewusst

MATTHIAS ECKOLDT: Können Sie darstellen, wie sich die bewussten und unbewussten Anteile bei Sprach- und Musikverarbeitung verhalten? Man merkt ja introspektiv in so einem – für mich zumindest – sehr intensiven Gespräch, dass ständig das Bewusstsein aktiv ist. Zugleich registriert man eigentlich gar nicht, dass man spricht.

ANGELA D. FRIEDERICI: Ich glaube, bei uns Erwachsenen ist es so, dass wir die Grammatik automatisiert haben und ihren Einsatz nicht mehr bewusst merken. Sie machen sich jetzt keine großen Gedanken darüber, wenn Sie mir zuhören, ob ich den Satz syntaktisch richtig spreche. Uns passieren auch Fehler, oder wir finden am Ende des Satzes nicht das richtige Verb. Aber trotzdem sind diese Prozesse hoch automatisiert, und sie geben uns Ressourcen frei, damit wir Inhalte verarbeiten können. Die Inhalte verarbeiten sich natürlich besser oder schlechter gemäß dem jeweiligen Vorwissen. Man kann das in Experimenten zeigen. Wenn ich einer Person eine kurze Einleitung gebe, bevor sie einen Text verarbeiten muss, versteht sie ihn besser als ohne Einleitung.

MATTHIAS ECKOLDT: Welchen Umfang hat so eine Einleitung? Geht es bis in die semantische Struktur hinein?

ANGELA D. FRIEDERICI: Nein, nicht notwendigerweise, das können auch einzelne Stichworte sein. Das hört sich etwa so an: »Um was geht es hier? Ich sage Ihnen mal drei Stichworte.« Das reicht zum Teil schon,

um einen Kommunikationsraum zu eröffnen, in den ich das Gehörte dann besser eingliedern kann. Weil ich mein Vorwissen schon voraktiviert habe.

MATTHIAS ECKOLDT: Mit Kontextwissen.

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja.

MATTHIAS ECKOLDT: Das heißt, die Grenze zwischen Bewusstem und Unbewusstem ist fließend!?

ANGELA D. FRIEDERICI: Schon, aber die Syntax, davon können wir ausgehen, die ist relativ unbewusst.

MATTHIAS ECKOLDT: Was fasziniert Sie eigentlich an der Syntax?

ANGELA D. FRIEDERICI: Mich fasziniert dieses System, weil es penibel genau ist, aber wir es trotzdem implizit gelernt haben und es auch implizit gebrauchen. Wenn Sie aber darüber nachdenken, wie ganz bestimmte grammatische Regeln, die Sie täglich benutzen, explizit aussehen, dann werden Sie das kaum beschreiben können.

MATTHIAS ECKOLDT: Das gilt zumindest für Muttersprachler.

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja. Was mich daran interessiert, ist: Wie kommt das Gehirn dazu, ein so kompliziertes und feingliedriges System so hochautomatisch zu verwenden beim Produzieren und Verstehen von Sprache? Für die anderen Aspekte, die Sie jetzt angesprochen haben, wo die Grenze zwischen Bewusstem und Unbewusstem fließend ist, da ist das Kontextwissen relevant. Das wird moduliert durch Aufmerksamkeit. Inwieweit das wirklich mit Bewusstsein zu tun hat, da würde ich mich jetzt nicht hinreißen lassen, etwas dazu zu sagen, dazu müsste man erst mal genau definieren, was Bewusstsein ist.

Die Idee und Wirklichkeit der Repräsentation

MATTHIAS ECKOLDT: Die Frage nach dem Bewusstsein ist eine Frage, die ich allen an dem Buch Beteiligten stelle, aber erst am Schluss. Lassen Sie uns noch einen Moment bei der Sprache verweilen. Wie verstehen Sie aus Ihrer Praxis heraus die Art und Weise der Repräsentation der Sprache? Ist es wirklich so, dass wir gewissermaßen ein gewaltiges Wörterbuch im Kopf haben, das wir abrufen können, wenn wir sprechen? Warum aber fallen uns dann manchmal Wörter nicht

ein? Warum vergessen wir sie? Was passiert, wenn wir vergessen? Das Wort ist ja trotzdem noch da, man weiß ja, dass man es kennt, man kann es nur nicht zutage fördern. Wie stellt sich dieser ganze Komplex aus Ihrer Sicht dar?

ANGELA D. FRIEDERICI: Das kann man am besten analog erklären zu ganz bestimmten physiologischen Prozessen. Sie wissen, bevor es ein Aktionspotenzial gibt, also bevor ein Neuron reagiert, muss eine ganz bestimmte Aktivierungsschwelle überschritten werden. Für mich würde das in Analogie bedeuten, ein Wort sehr gut abrufen zu können, wenn es sehr schnell die notwendige Schwelle überschreitet. Aber bei einem Wort ist es ja nicht nur ein Neuron, das aktiv ist, sondern mehrere, die zusammenarbeiten. Das ist ein gemeinsamer Prozess. Also, es sind viele Neuronen aktiv, und dann wird der Prozess überschwellig. In einem Fall, in dem mir ein Wort nicht verfügbar ist, sind eben nicht genug Neuronen da, die gleichzeitig aktiv werden, um es über eine ganz bestimmte Zugriffsschwelle zu bringen.

MATTHIAS ECKOLDT: Das ist sicher nicht im eigentlichen Sinne zu verstehen, sondern – wie Sie sagten – als Modell. Aber was ist dann in dieser Sichtweise mit der Repräsentation? Wo ist das Wort?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ich glaube schon, dass die Wörter im Gehirn neuronal repräsentiert sind, und zwar durch eine Reihe von Neuronen, die untereinander verbunden sind, und diese Mininetzwerke sind in größeren semantischen Netzwerken mit anderen Mininetzwerken verbunden. Forschungen, die Fehler in der Sprachproduktion in den Fokus nehmen, zeigen sehr deutlich, dass semantische Fehler zumeist durch systematische Fehlverbindungen in semantischen Netzwerken zu erklären sind. Auch die Sprachfehlerforschung im Bereich der Syntax ist ganz interessant, da gibt es auch gemäß ganz bestimmten Theorien nur ganz bestimmte Fehler, die auftauchen dürfen. Beispielsweise werden Sie in einem Satz nie zwei Funktionswörter verwechseln. Die Funktionswörter stehen immer an ihrer Stelle. Wenn Sie sagen wollen »Die Venus von Milo«, dann kann es schon mal passieren, dass Sie sagen »Die Milo von Venus«, aber das »von« wird immer an seiner Stelle stehen. Und die Psycholinguisten haben rekonstruiert, dass man einen syntaktischen Rahmen erstellt, gleichzeitig jene Wörter abrufft vom Lexikon, von denen man glaubt, dass man sie braucht, und sie dann in diesen syntaktischen Rahmen setzt. Und da kann es schon

mal dazu kommen, dass man zwei Wörter verwechselt. Aber das sind dann zwei Wörter gleicher grammatischer Klasse. Sie verwechseln schon mal ein Nomen mit einem Nomen, aber nie ein Nomen mit einem Artikel. Das ist komplett geregelt im System, und man macht sich da wenig Gedanken drüber, weil es so gut funktioniert.

MATTHIAS ECKOLDT: Aber *wie* das System das macht, da ist man in der Hirnforschung noch nicht sehr weit, man kann nur sehen, *dass* es das macht.

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, man kann nur sehen, dass es das macht. Man kann sehen, welche Gehirnareale aktiv sind. Man weiß, wie diese Hirnareale untereinander interagieren, aber wie das im Einzelnen funktioniert, das ist immer noch eine offene Frage, denn einzelne Neurone können wir im menschlichen Gehirn nicht messen.

MATTHIAS ECKOLDT: Aber wenn Sie sagen, dass man mit der Wörterbuchallegorie richtig liegt, dann müsste es doch so eine Kombinatorik geben. Wenn die und die Neuronen aktiv sind, dann heißt es ...

ANGELA D. FRIEDERICI: Da kann man Modelle bilden, und da gibt es auch Ansätze, die versuchen, *computational models* zu erstellen, um diese Prozesse nachzubilden. Dann hat man in einem solchen Modell vielleicht hundert Knoten oder »Neurone«, aber selbst das ist weit davon entfernt, was das Gehirn an Neuronen zu bieten hat.

MATTHIAS ECKOLDT: Insgesamt 10^{12} , das sind einige Nullen mehr.

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, das sind einige Nullen mehr. Und das macht es dann auch so schwierig, die Prozesse real nachzubilden.

MATTHIAS ECKOLDT: Aber wie weit ist man eigentlich noch vom Ziel entfernt? Nehmen wir mal die Computerallegorie: Wie ein Computer arbeitet, kann man Schritt für Schritt zurückführen, und am Ende steht da eine Kombination von Nullen und Einsen. Der Code, mit dem der Computer arbeitet. Was ist jetzt analog dazu der Code, mit dem das Gehirn arbeitet? Der muss ja analysierbar sein, wenn man von der prinzipiellen Repräsentierbarkeit ausgeht.

ANGELA D. FRIEDERICI: Mit einem Code von Nullen und Einsen arbeitet das Gehirn nicht. Wenn ich von Computermodellen rede, dann meine ich eine Ebene, die über dem Code von Nullen und Einsen liegt. Ich nehme mal das Beispiel der Sprachwahrnehmung. Man hat ja heute

Sprachcomputer, die sind relativ zuverlässig. Im Verstehen muss man sie natürlich trainieren. Auf die eigene Sprache, auf die Übergangswahrscheinlichkeiten, die man zwischen zwei Wörtern hat. Also, alles das basiert auf Wahrscheinlichkeit. Das ist sicherlich keine realistische Modellierung von Sprache. Ich hatte vor 20 Jahren mal eine Diskussion mit Forschern einer großen Computerfirma, die haben gesagt: »Wir gehen in der Modellierung über Wahrscheinlichkeiten! Weil, da kommen wir schneller zum Ziel, und unser Ziel ist mindestens 80 %.« Da sagte ich: »Ist euer Ziel nicht 100 %?« »Doch, schon, je größer die Computer werden, desto mehr Möglichkeiten kann man dann ja ausrechnen.« Die Sprachverstehenscomputer sind jetzt sehr viel besser geworden, aber letztendlich bilden sie noch lange nicht das ab, was das menschliche System leistet. Ich würde mir vorstellen, dass das Computersystem zweifach arbeiten sollte. Einmal sind es sicherlich Probabilitäten, also wie wahrscheinlich ist es, dass ich häufig das eine Wort zusammen mit dem anderen verwende? Aber es gibt auch eine Regelgeleitetheit. Ich hatte neulich eine Diskussion mit einem Doktoranden, den ich zusammen mit der Informatik betreue, der hat über solche probabilistischen Ansätze herausgefunden, dass der Artikel »der, die, das« sehr häufig mit einem Nomen zusammensteht.

MATTHIAS ECKOLDT: Hm. Hätte man wissen können.

ANGELA D. FRIEDERICI: Klar! In jedem Syntaxbuch der Welt steht, dass im Deutschen, im Englischen, im Französischen ein Nomen, wenn es im Satz kommt, vorher einen Artikel braucht. Man kann zwischen den Artikel und das Nomen noch ein Adjektiv setzen, aber sonst gibt es nicht so viele Variationen. Und das fand ich interessant. Da wurde eine hohe *computational power* benutzt, um diese Wahrscheinlichkeit auszurechnen, obwohl die Informatiker die Regeln der Linguistik als Vorannahmen mit in das Modell hätten einfließen lassen können.

MATTHIAS ECKOLDT: Und haben sie dann wenigstens eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit ausrechnen können?

ANGELA D. FRIEDERICI: Sie haben eine ganz hohe Wahrscheinlichkeit ausrechnen können zwischen Artikel und Nomen. Sehr hoch.

MATTHIAS ECKOLDT: Erstaunlich.

ANGELA D. FRIEDERICI: Was so ein System vielleicht bräuchte, ist ein zweifacher Ansatz: Ich gebe die syntaktischen Regeln hinein, und

dann brauche ich dazu noch Probabilistik oder semantische Plausibilität. Und diese beiden Rechensysteme müssen sich permanent abgleichen. Ich glaube, dass es das Gehirn so macht.

MATTHIAS ECKOLDT: Sie *glauben!*?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ich kann es nicht beweisen.

MATTHIAS ECKOLDT: Aber es ist auch schwer, das nachzubauen, weil das Gehirn eben nicht wie ein Computer funktioniert, sondern über diese Netzwerkverbindungen funktioniert.

ANGELA D. FRIEDERICI: Genau. Eins haben wir in den letzten Jahren gelernt: Wir dürfen nicht mehr auf einzelne Hirnregionen schauen, sondern müssen die Region als Teil eines größeren Netzwerks interpretieren, und damit sind wir einen guten Schritt weiter gekommen in der Erklärung.

Wie sich Natur- und Geisteswissenschaft befruchten könnten

MATTHIAS ECKOLDT: Sie hatten das gerade angesprochen, von den Informatikern, die nicht erst einmal bei den Linguisten nachgucken, sondern mit ihren Berechnungen gleichsam bei null beginnen. Hat sich da Ihrer Erfahrung nach was getan an der Grenze zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft? Sie sagen ja, dass Sie sehr viel in der Linguistik recherchiert haben. Also, ich könnte mir vorstellen, dass Chomsky nicht uninteressant ist, wenn es um die Frage geht: Welche Strukturen und Regeln gibt es, und was kann ich da rausholen?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, wir haben in der Sprachforschung den Vorteil, dass Tausende von Linguisten seit Jahren über die Struktur von Sprache nachdenken. Wenn ich andere kognitive Domänen sehe, wie Aufmerksamkeit oder Gedächtnis, da gibt es nicht so viele detaillierte Theorien. Die Linguistik liefert uns testbare Hypothesen. Das ist ein unschätzbare Vorteil. Wir haben die Möglichkeit, gerade in der Sprachforschung sehr viel theoriebasierter an Fragestellungen heranzugehen als Forscher in anderen Domänen.

MATTHIAS ECKOLDT: Und da gibt es weder Berührungängste noch Übersetzungsprobleme?

ANGELA D. FRIEDERICI: Na ja, es kommt auf die Personen an. Mit Chomsky hab ich sie nicht. Aber Chomsky wird von vielen Linguisten und Psychologen oft als jemand gesehen, der nur in seinem Gedankengebäude unterwegs ist. Dabei wird häufig vergessen, dass Chomsky einer der Ersten war, der schon in den 1965ern gesagt hat: »Language is an organ.« Ein Organ. Ein biologisches Organ wie die Leber oder die Lunge. Die Sprache ist dem Menschen eigen. Chomsky hatte immer schon den biologischen Ansatz, und er hat auch versucht, mit seinen Theorien darauf hinzuwirken, dass, wenn wir uns Sprache anschauen, wir uns nicht die Einzelsprachen vornehmen. Wir müssen die Prinzipien finden, die allen Sprachen unterliegen. Weil, sonst sind wir mit der biologischen Annahme falsch. Gib ein Kind in diese oder in jene Kultur, es lernt jede Sprache. Also muss es etwas zugrunde Liegendes geben. Chomsky hat das dann »universal grammar« genannt. Was er damit meinte, war die Fähigkeit, Sprache zu erwerben.

MATTHIAS ECKOLDT: Also das, was Hirnforscher mit der Idee der erfahrungsabhängigen Neuroplastizität erklären können ...

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, das ist es im Grunde. Chomsky hat gesagt, es gibt Parameter, die sind als Grundgerüst vorhanden. Abhängig davon, welche Sprache ich lerne, werden die ganz bestimmten Parameter gesetzt, entweder a oder b oder c. Ich glaube, dass Chomsky häufig falsch verstanden wird. Tecumseh Fitch sagt in seinem Buch *The evolution of language* sogar, dass Chomsky von Anfang an mit Absicht missverstanden wurde, so hat er das formuliert.

MATTHIAS ECKOLDT: Vom Inner Circle der Linguisten, meinen Sie?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, für viele Linguisten ist es ein rotes Tuch. Viele haben gesagt, er vereinfacht zu sehr, und er nimmt nicht wahr, was an empirischer Forschung läuft. Das stimmt aber nicht. Chomsky liest sehr viel, er ist sehr belesen auch außerhalb der theoretischen Linguistik. Aber er sagt, Empirie, das ist euer Part, darüber mache ich keine Theorie. Ich mache Theorien nur darüber, wovon ich was verstehe.

Fremdsprachen erlernen

MATTHIAS ECKOLDT: Wir haben über Muttersprache geredet. Warum ist es eigentlich schwer und wird mit zunehmendem Alter immer schwerer, eine andere Sprache zu lernen?

ANGELA D. FRIEDERICI: Es hängt wohl damit zusammen, dass wir alle, was die lokalen Vernetzungen im Gehirn angeht, hoch vernetzt zur Welt kommen. Und Lernen besteht darin, dass ich einzelne lokale Verbindungen stärke und andere nicht mehr verwende. Je nach Input. Was ich nicht verwende, wird auch nicht verstärkt. Andere Verbindungen werden dadurch, dass ich sie gebrauche, stärker. Wenn ich jetzt nur in einer Sprache unterwegs bin, dann habe ich ein ganz bestimmtes Netzwerk ausgebildet. Das ist prima für diese eine Sprache ausgerichtet, aber für die zweite schon nicht mehr. Wenn man jetzt früh zwei Sprachen lernt, dann hat man ein Netzwerk, welches insgesamt offener und weniger festgelegt ist, und dann ist es nachher auch einfacher, eine dritte und vierte Sprache zu lernen.

MATTHIAS ECKOLDT: Und warum liegt die Grenze, so sagt man, bei etwa fünf Jahren?

ANGELA D. FRIEDERICI: Da liegt das Netzwerk relativ fest.

MATTHIAS ECKOLDT: Dann ist es geprägt.

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, dann ist es geprägt. Das geht sehr früh los, das Prägen. Ich gebe mal wieder ein Beispiel: Im Deutschen ist es so, dass ich zweisilbige Wörter immer auf der ersten Silbe betone: »Mama, Papa, Hase, Vase«. Im Französischen »maman, papa,« da liegt die Betonung sowieso immer auf der letzten Silbe. Nun haben wir festgestellt, dass Kinder im Alter von vier Monaten schon spezifisch auf diese Betonungsaspekte reagieren. Französische Kinder finden Wörter, wo die Betonung auf der ersten Silbe liegt, eher abwegig, da sehen wir eine größere Hirnaktivierung, und bei den deutschen Kindern ist es genau umgekehrt. Für die Betonung auf der ersten Silbe haben sie weniger Aktivierung, und für die Betonung auf der zweiten Silbe, was für deutsche Kinder bei zweisilbigen Wörtern ungewöhnlich ist, dafür zeigen sie diese erhöhte Hirnaktivierung.

MATTHIAS ECKOLDT: Nach vier Monaten schon?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja. Wir sind sogar noch ein bisschen früher hingegangen und haben die frühkindlichen Schreie analysiert, da Schreie auch ganz bestimmten Intonationsmustern unterliegen. Wir haben zusammen mit Forschern der Universität Würzburg festgestellt, dass in den ersten zwei bis drei Wochen nach der Geburt die französischen Kinder anders schreien als die deutschen Kinder. Die

deutschen Kinder schreien vorne hoch und hinten tief, während die französischen Kinder das andersherum machen. Also ganz so, wie die Wortbetonungsmuster in der jeweiligen Muttersprache sind.

MATTHIAS ECKOLDT: Wo man eigentlich versucht ist anzunehmen, so ein Babyschrei ist kreatürlich, gleichsam ganz Natur. Das heißt, selbst Schreien hat eine Prosodie?

ANGELA D. FRIEDERICI: Ja, die Prosodie ist ganz früh da. Meiner Ansicht nach ist das System da und wartet auf Input und orientiert sich dann schnell an genau dem Input, den es häufiger bekommt.

Die Plastizität des Hirns

MATTHIAS ECKOLDT: Nun ist dieses Stichwort der Plastizität ausgiebig durchs Feuilleton gegeistert. Es gibt aber auch Forscher, die aus dem Tatbestand der Plastizität kühne Schlussfolgerungen ziehen. Sie sagen beispielsweise, dass die Begeisterung wie eine neuronale Gießkanne wirkt und man noch immer alles lernen kann. In jedem Alter. Und dass man jeden Tag aufstehen und sein Leben ändern kann.

ANGELA D. FRIEDERICI: Man kann immer lernen, und man sollte auch immer dabeibleiben. Aber es gibt nun wirklich massive Unterschiede über die Lebensspanne hinweg.

MATTHIAS ECKOLDT: Wie verstehen Sie das neue Zauberwort »Plastizität«? Wer versucht, mit 50 eine Sprache zu lernen, wird schon ganz schön Mühe haben. Wie weit darf man wirklich Mut und Hoffnung machen?

ANGELA D. FRIEDERICI: Mut und Hoffnung sollte man immer machen. Lernen kostet im hohen Alter nur mehr Energie.

MATTHIAS ECKOLDT: Bewusstsein muss mehr eingeschaltet werden. Und Bewusstsein ist energieaufwendig.

ANGELA D. FRIEDERICI: Man hat ja schon eine Idee davon, was einzelne Hirnareale leisten. Und so gilt der ganze präfrontale Cortex eigentlich als ein Cortex, der eher kontrollierte Prozesse unterstützt. Bei Muttersprachlern sehen wir, wenn sie Sprache verarbeiten, vornehmlich kleine Aktivierungen im Temporalcortex, da, wo die Information primär verarbeitet wird. Den Frontalcortex, den sehe ich nur aktiv, wenn ich einem Probanden syntaktisch sehr komplexe Sätze vorspie-