

den diese Regeln implizit erworben, indem die Kinder unbewusst registrieren, welche Konstruktionen in der Sprache auftauchen und welche nicht.

8. ZWEI SPRACHEN IN EINEM GEHIRN

Das Erlernen von Sprache ist nicht nur eine Entwicklungsaufgabe für Kinder. Auch nachdem sie bereits ein hohes Niveau in ihrer Muttersprache erreicht haben, lernen Jugendliche und Erwachsene oft neue Sprachen. Das Lernen von Fremdsprachen stellt eine nicht zu unterschätzende Anforderung an das kognitive System dar. Es ist davon auszugehen, dass die Aneignung von phonologischem, lexikalischem und syntaktischem Wissen über eine neue Sprache nicht völlig unabhängig von der etablierten Muttersprache stattfindet. Für die Neurowissenschaften ist es daher eine hochinteressante Herausforderung zu untersuchen, wie Zweit- und Drittsprachen im Gehirn organisiert sind, insbesondere im Vergleich zur Muttersprache.

In der klinischen Literatur werden Fälle von neurologisch bedingten Sprachstörungen bei Bilingualen berichtet, welche selektiv entweder die Muttersprache oder die Zweitsprache betreffen können. So wurden seltene Fälle beschrieben, bei denen eine Hirnschädigung die Muttersprache eines Menschen auslöschte, die Zweitsprache aber von dieser Aphasie nicht betroffen war. Solche Befunde führten zu der Annahme, dass Erst- und Zweitsprache nicht als ein einheitliches System im Gehirn repräsentiert sind, sondern auf – zumindest teilweise – unterschiedlichen Netzwerken im Gehirn basieren.

Erste experimentelle Studien mit funktionell-bildgebenden Methoden unterstützten diese Annahme. Eine der bahnbrechenden Arbeiten in diesem Feld untersuchte Individuen, die ihre Zweitsprache entweder früh in ihrer Kindheit oder deutlich später (im frühen Erwachsenenalter) erlernt hatten. Während der funktionellen Studie

im MR-Tomographen mussten die Probanden eine Sprachproduktionsaufgabe ausführen. Ihre Aufgabe war es, sich im Geiste zu erzählen, was sie am vorhergehenden Tag erlebt hatten. Die Ergebnisse zeigten, dass sich im Bereich des Broca-Areals eine spät erlernte Zweitsprache von der Muttersprache in ihrer Hirnrepräsentation unterschied (Abbildung 27), während bei Probanden, die ihre Zweitsprache schon während der Kindheit erlernten, vergleichbare Hirnregionen bei der Sprachproduktion verwendet wurden (Abbildung 28). Interessanterweise zeigte sich in den posterioren Sprachregionen in der Umgebung des Wernicke-Areals keine vergleichbare Differenzierung. Beide Gruppen zeigten hier überlappende Aktivierungen für die Erst- und Zweitsprache.

In der Folge der oben beschriebenen Studie wurde eine Reihe von weiteren Arbeiten zur Sprachproduktion bei Bilingualen publiziert, die die Ergebnisse der ersten Studie jedoch nicht stützen konnten. In den meisten dieser Studien wurden keine Unterschiede in der Sprachorganisation zwischen Erst- und Zweitsprache beobachtet. Aktuell geht man daher davon aus, dass das Erwerbssalter oder die in der Zweitsprache erreichte Kompetenz die Organisation der Sprachnetzwerke, welche für Produktionsaufgaben in der Zweitsprache aktiviert werden, nicht beeinflussen. Andererseits hat sich aber doch gezeigt, dass bei der Wahrnehmung von Sprache Unterschiede in der Rekrutierung von Spracharealen zwischen Erst- und Zweitsprache beobachtbar sind. Bei der Sprachverarbeitung in der Zweitsprache zeigte sich häufig eine Aktivierung in ausgedehnteren oder weiter verteilten Hirnregionen als in der Muttersprache. Dieser Befund könnte folgendermaßen erklärt werden: Sprachverstehen ist ein sehr komplexer Prozess, bei dem innerhalb weniger hundert Millisekunden eine sehr große Menge von Information verarbeitet werden muss, welche zudem teilweise unter suboptimalen Bedingungen aufgenommen wird. Gerade diese zeitliche Beschränkung könnte für Nicht-Muttersprachler problematisch sein. Probleme könnten hier

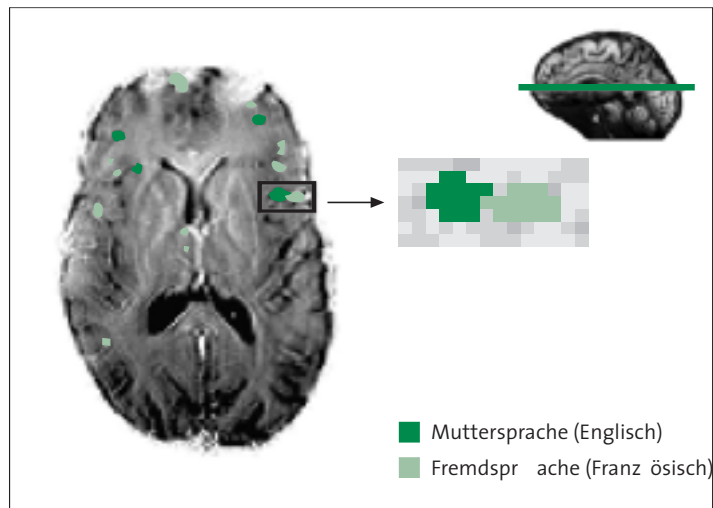


Abb.27: Getrennte Sprachrepräsentation der Muttersprache (dunkelgrün) und einer *spät* erlernten Zweitsprache (hellgrün) in einer Sprachproduktionsaufgabe.

bei der ersten Dekodierung oder Segmentierung des Sprachsignals aus der akustischen Umgebung entstehen, aber auch beispielsweise bei der Worterkennung. Um diese erhöhten Anforderungen in der Zweitsprache ausgleichen zu können, müssen Bilinguale offensichtlich mehr neuronale Ressourcen aktivieren. Es könnte jedoch auch der Fall sein, dass zusätzliche Systeme verwendet werden, auf die Muttersprachler bei der normalen Sprachverarbeitung weitgehend verzichten können. So könnte es sein, dass Nicht-Muttersprachler zur Sicherheit eine Art ›Kopie‹ des Gehörten in einem Kurzzeitspeicher vorrätig halten für den Fall, dass sie das Gehörte reanalysieren müssen.

Die zitierten Befunde scheinen im Großen und Ganzen kompatibel mit Annahmen über die Existenz so genannter kritischer Phasen, innerhalb derer Spracherwerb bevorzugt möglich ist. Allerdings wird heutzutage in der Literatur ein etwas differenzierteres Bild gezeich-

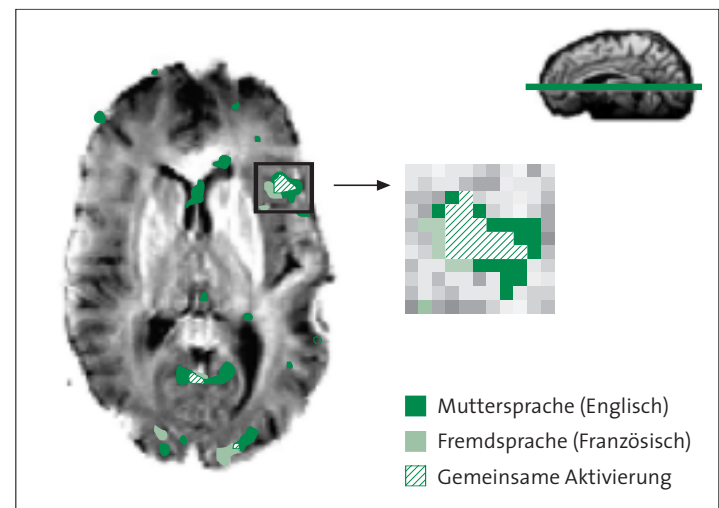


Abb.28: Überlappende Sprachrepräsentation der Muttersprache (dunkelgrün) und einer *früh* erlernten Zweitsprache (hellgrün) in einer Sprachproduktionsaufgabe.

net: Die Organisation einer Zweitsprache im Gehirn, relativ zur Muttersprache, ist vermutlich weniger abhängig vom Erwerbalters der Zweitsprache, sondern wird mehr vom Kompetenzniveau, welches in der Zweitsprache erreicht wurde, bestimmt. Individuen, die eine Zweitsprache nur mäßig beherrschen, zeigen deutliche Unterschiede in den Hirnaktivierungsmustern zwischen der Erst- und Zweitsprache – jedoch nur bei der Sprachwahrnehmung und nicht bei der Sprachproduktion. Im Gegensatz dazu ähneln sich die Aktivitätsmuster von Erst- und Zweitsprache sehr stark, wenn Probanden untersucht werden, die einen sehr hohen Kompetenzgrad in ihrer Zweitsprache erreicht haben. Dies ist auch der Fall, wenn diese sehr guten Probanden ihre Zweitsprache sehr spät erlernt haben. Genauso ähneln sich die Aktivitätsmuster unabhängig von der erlangten Sprachkompetenz, wenn die Sprachproduktion im Fokus steht. Diese Befun-

de legen nahe, dass mit steigender Kompetenz in der Zweitsprache mehr und mehr die gleichen Sprachnetzwerke des Gehirns verwendet werden wie für die Muttersprache.

9. GEBÄRDENSPRACHE

Die bisher berichteten Forschungsergebnisse zur Repräsentation von Sprache im Gehirn unterstützen die Annahme einer Dominanz der linken Hirnhemisphäre für Sprache. Etwas komplexer scheint die kortikale Organisation der Sprache bei tauben Menschen zu sein, deren Kommunikationsmittel die Gebärdensprache ist. Gebärdensprachen (es existieren eine Reihe von unterschiedlichen Sprachsystemen) sind eigenständige Sprachsysteme, die in ihrer Komplexität vergleichbar sind mit den gesprochenen Sprachen. Sie besitzen eine vergleichbar umfangreiche Anzahl von Symbolen und eine Grammatik, die die Kombination der verschiedenen Arten von Symbolen regelt. Anders als gesprochene Sprachen werden Gebärdensprachen jedoch durch Gesten der Hände realisiert und ausschließlich visuell wahrgenommen. Gebärdensprache ist nicht zu verwechseln mit der sprachbegleitenden Gestik, die wir zur Begleitung gesprochener Sprache einsetzen.

Bei der Verarbeitung von Gebärdensprache durch hörbeeinträchtigte Menschen scheint die rechte Hirnhälfte eine wesentlich bedeutsamere Rolle zu spielen, als sie dies beim Lesen oder Hören bei hörenden Individuen tut. Im Folgenden wird ein Einblick in die neuro-linguistische Forschung zur Hirnorganisation von Gebärdensprache gegeben. Die meisten Studien wurden und werden in der amerikanischen Gebärdensprache durchgeführt (American Sign Language/ASL). Es existiert jedoch eine Reihe regional spezifischer Sprachsysteme, wie beispielsweise auch eine deutsche Gebärdensprache (DGS). Die Untersuchung von Gebärdensprachlern, die neurologische Er-

krankungen haben, zeigt, dass auch diese Patienten, genau wie Hörende, Aphasien ausbilden können. Entsprechende Studien zeigen, dass auch bei der Gebärdensprache die linke Hirnhälfte eine bedeutende Rolle spielt. Läsionen im hinteren Anteil der linken Hemisphäre führen zu Verständnisproblemen, und Läsionen in der Region des Broca-Areals bringen Defizite in der Produktion von Gebärdensprache mit sich. Genau wie bei Hörenden können sich aphasische Sprachprobleme auf unterschiedliche Aspekte der Sprache beziehen, wie beispielsweise auf die Syntax, Phonologie oder Morphologie. Auch die häufig zu beobachtenden Paraphasien – Sprachfehler, die durch ungewollte Ersetzungen auf semantischer oder phonetischer Ebene bedingt sind – lassen sich bei aphasischen Nutzern der Gebärdensprachen beobachten. So wie hörende Aphasiker beispielsweise häufig falsche Wörter aus der gleichen semantischen Kategorie wie das Zielwort verwenden (semantische Paraphasie), produzieren taube Aphasiker auch gelegentlich falsche Gebärden aus der korrekten semantischen Kategorie. Das Analog zu phonemischen Paraphasien sind Fehler in der Handhaltung bzw. in der exakten Ausformung der anzuzeigenden Gebärde.

Aber auch Schädigungen der rechten Hirnhälfte scheinen bei Gebärdensprachlern eine Beeinträchtigung der Sprachfähigkeit mit sich zu bringen. Hier werden insbesondere Probleme mit der Nutzung der Grammatik genannt, aber auch wie bei Hörenden Probleme auf der Ebene des Text- und Diskursverständnisses und bei der Produktion zusammenhängender Texte.

Diese Beobachtungen werden gestützt von aktuelleren Ergebnissen zur funktionellen Bildgebung der ASL-Verarbeitung. So sieht man beispielsweise im systematischen Vergleich zwischen hörenden Englischsprechern und Gebärdensprachlern, dass Erstere sich beim Lesen weitestgehend auf ihre linke Hirnhälfte verlassen, während Gehörlose beidhemisphärische Hirnaktivierungen bei der Sprachverarbeitung zeigen. Wie die oberste Grafik in Abbildung 29 zeigt, akti-

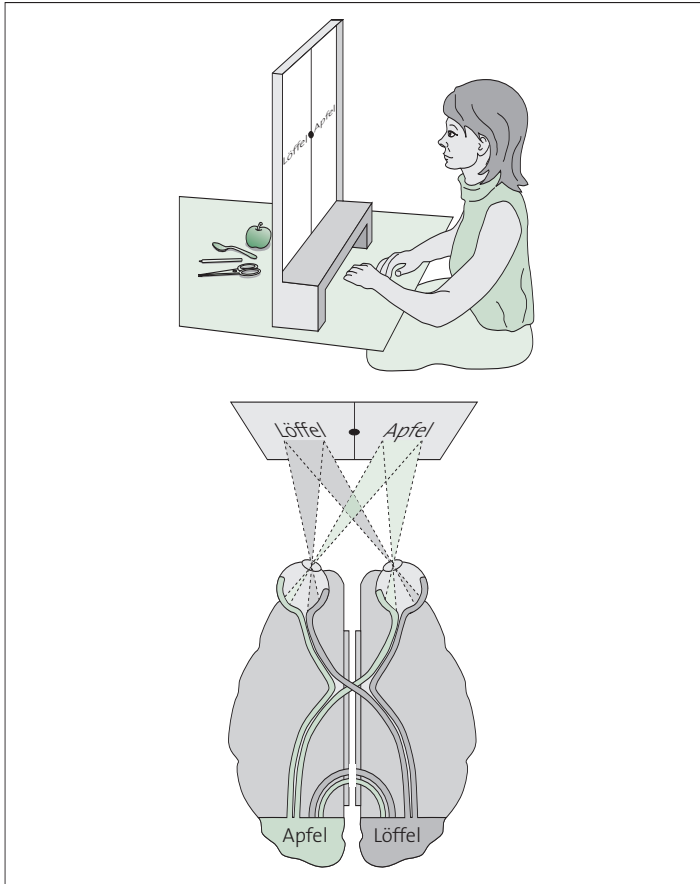


Abb.42: Oben: Eine Split-Brain-Patientin soll die auf dem Bildschirm als Worte gezeigten Gegenstände hinter dem Bildschirm mit einer Hand ertasten. Unten: Worte, die auf dem Bildschirm rechts dargeboten werden, gelangen nur in ihre linke Hemisphäre und umgekehrt. Das Wort »Apfel« könnte die Patientin deswegen aussprechen, wogegen sie zu dem Wort »Löffel« nur mit ihrer linken Hand den entsprechenden Gegenstand hinter dem Spiegel ertasten kann.

sphäre möglich zu sein, obwohl der Zugriff auf die Namen von Objekten nicht stattfinden kann.

Sprache und Emotionen

Sprache ist nicht ohne Emotionen denkbar. Jede unserer Wahrnehmungen wird subjektiv bewertet, und ebenso ist jede unserer Äußerungen emotional gefärbt. Die Gefühlsebene wird allerdings nicht immer in Worte gefasst, sondern vorwiegend durch subtile Zwischentöne übermittelt. Unsere Mimik verrät bereits viel über unseren momentanen Gemütszustand und kann so bestimmte Reaktionen des Gesprächspartners bereits begünstigen oder vermeiden. Zusätzlich übermitteln wir unsere Emotionen aber auch durch die Prosodie der Sprache. Prosodische Merkmale sind solche, die in reiner Schriftsprache nicht vermittelbar sind, wie etwa Betonung und Satzmelodie. Einerseits spielen solche Merkmale für die linguistische Verarbeitung eine Rolle, wenn zum Beispiel eine zum Satzende ansteigende Grundfrequenz auf eine Frage hinweist.

Andererseits werden aber über prosodische Parameter auch Emotionen mitgeteilt. Wenn jemand sehr gereizt sagt, es passe ihm gerade schlecht sich zu unterhalten, wird man deutlich weniger geneigt sein nachzufragen, ob es nicht vielleicht doch möglich sei. Würden dieselben Worte aber freundlich und entspannt geäußert, wäre man eventuell eher geneigt, noch einmal nachzufragen. Darwin hat dazu eine Evolutionstheorie der Emotionen entwickelt, die besagt, dass die Äußerung und Erkennung von Emotionen einen evolutionären Vorteil bringe, weil bestimmte Verhaltensweisen von Tieren bzw. Menschen dadurch schon abgewogen und eventuell vermieden werden können. So kann beispielsweise ein Kampf mit einem aggressiven Artgenossen vermieden werden, wenn dessen Aggressivität früh erkannt wird – eine Fähigkeit, die letztendlich die eigenen Überlebenschancen maximiert.

Emotionen werden vornehmlich von der rechten Hemisphäre verarbeitet. Diese Hirnhälfte ist besser im Erkennen emotionaler Gesichtsausdrücke, und die von ihr gesteuerte Gesichtsmuskulatur der linken Gesichtshälfte bringt Emotionen deutlicher zum Ausdruck. Bei Affen konnte man durch die Analyse von Videoaufnahmen zeigen, dass sich emotionale Gesichtsausdrücke immer zuerst auf der linken Gesichtshälfte beobachten lassen und dort schließlich auch stärker zum Ausdruck kommen als in der rechten Gesichtshälfte.

Ähnliches gilt für die prosodischen Merkmale, mit denen Emotionen durch gesprochene Sprache vermittelt werden. Nach Läsionen der rechten Hemisphäre sind Patienten nicht mehr in der Lage, ihre Emotionen durch Modulation der Stimme auszudrücken. Das führt zu einer emotionslos flachen Stimme, ein Zustand, der als Aprosodie bezeichnet wird. Mit bildgebenden Verfahren konnte gezeigt werden, dass die rechte Hemisphäre stärker aktiviert wird, wenn die prosodischen Merkmale gesprochener Sprache analysiert werden. Die linke Hemisphäre hingegen wird stärker aktiviert, wenn die inhaltliche Interpretation der Sätze im Vordergrund steht.

Sprache und Musik

Bei den meisten Menschen wird Sprache vorwiegend von der linken Hemisphäre verarbeitet, und es gibt Areale innerhalb dieser Hemisphäre, die auf bestimmte Aspekte der Sprachverarbeitung spezialisiert sind. Nun ist es nahe liegend, sich zu fragen, was denn die entsprechenden Areale der rechten Hemisphäre machen? Die ersten Befunde, die auf eine Lateralisierung der Sprache hindeuteten, kamen aus Läsionsstudien an Patienten. Diese wiesen nach links-hemisphärischen Läsionen oft Sprachdefizite auf. Allerdings blieben bei vielen der Patienten musikalische Fähigkeiten von der Läsion verschont. Sie konnten weiterhin singen, obwohl sie nicht mehr sprechen konnten, und sie konnten Musik wahrnehmen, obwohl sie

Sprache nur noch schlecht wahrnehmen konnten. Gleichzeitig fand man, dass sich bei Patienten, deren rechte Hemisphäre eine Läsion aufwies, musikalische Defizite einstellten, während die Sprachfähigkeit unverändert blieb. Man spricht in einem solchen Fall von Amusie. Diese Befunde deuten darauf hin, dass die rechte Hemisphäre auf die Verarbeitung von Musik spezialisiert ist, so wie die linke auf die Verarbeitung von Sprache.

Musik wird allerdings genau so wenig nur in der rechten Hemisphäre verarbeitet, wie Sprache nur in der linken verarbeitet wird. Beide Hemisphären verfügen über auditorische Cortices, die Töne verarbeiten – allerdings mit leicht unterschiedlicher Präferenz für bestimmte Eigenschaften der Töne. Untersucht man genauer, welche Aspekte der Verarbeitung auditorischer Information nach Läsionen beeinträchtigt sind, stellt sich heraus, dass rechtsseitige Schädigungen die Verarbeitung von Tonhöhen (Frequenzen) und Klangfarben (Frequenzverhältnisse zueinander) beeinträchtigen. Linksseitige Läsionen betreffen dagegen eher die Fähigkeit, zeitliche Aspekte des akustischen Signals genau zu differenzieren. Unsere Sprachwahrnehmung basiert sehr stark auf der Analyse sich schnell verändernder akustischer Signale, während die Verarbeitung von Musik stärker auf der Beachtung von Tonhöhen und Klangfarben beruht. Diese Unterschiede könnten die Asymmetrie der beiden Hemisphären für diese beiden Funktionen erklären.

Interaktion von Hören und Sehen

Die naive Vorstellung von Sprachwahrnehmung geht davon aus, dass wir gesprochene Sprache hören und geschriebene Sprache sehen. Teilweise ist das natürlich auch richtig – besonders, wenn z. B. am Telefon nur akustische Information verfügbar ist. Wenn wir gleichzeitig etwas hören und sehen können, verwenden wir beide Informationskanäle, um möglichst viel Information zu gewinnen. Die

Integration von Gehörtem und Gesehenem hilft uns, unsere Umwelt besser wahrzunehmen. Ein Objekt, das sich uns von einer Seite nähert, würde auf dieser Seite sowohl zuerst gesehen als auch zuerst gehört werden, was uns doppelte Information über die Richtung, Geschwindigkeit und das Objekt selbst bringt. Diese multiple Information kann zu einer schnelleren Reaktion auf das Objekt führen, was beispielsweise wichtig ist, wenn wir dem Objekt ausweichen müssen.

Ähnlich verhält es sich bei der Sprache und insbesondere im natürlichen Fall einer Kommunikationssituation, in der wir den Sprecher hören und sehen können. Um zu untersuchen, wie sehr die auditive und die visuelle Modalität sich gegenseitig beeinflussen, wurde folgendes Experiment durchgeführt: Eine Versuchsperson hört einen Sprecher über einen Kopfhörer einfache Silben, wie »ba« und »ga« sagen. Gleichzeitig sieht sie das Gesicht des Sprechers und seine Lippenbewegung auf einem Bildschirm. Aufgabe der Versuchsperson ist es anzugeben, was sie gehört haben. Passen die Lippenbewegungen und Schallereignisse der gesprochenen Silben zueinander, geben die Versuchspersonen auch stets die richtige Silbe an. Nun werden aber manchmal nicht die zusammengehörigen Töne und Bilder abgespielt, sondern die Versuchspersonen hören die Silbe »ba« und sehen die Lippenbewegung zur Silbe »ga«. In diesem Fall würde man annehmen, dass sie angeben, die Silbe »ba« gehört zu haben, weil wir von uns selbst den Eindruck haben, nicht Lippen lesen zu können. Aber interessanterweise geben die Versuchspersonen an, sie hätten die Silbe »da« gehört – eine Silbe, die sie weder gehört noch gesehen haben. Dieser Effekt wird nach seinem Entdecker McGurk-Effekt genannt und zeigt, wie sehr unser Gehirn visuelle Eindrücke mit benutzt, um gesprochene Sprache zu interpretieren.

Besondere Bedeutung kommt der visuellen Information der gesprochenen Sprache bei der Segmentierung zu. Auch im natürlichen Fall, in dem wir dieselben Silben hören und sehen, verwenden wir die

gesehenen Lippenbewegungen, um Wort- und Satzgrenzen im Sprachfluss zu ermitteln. Wie sehr die visuelle Information uns bei dieser Aufgabe unterstützt, wird klar, wenn sie plötzlich fehlt. Wenn man einem Sprecher zuhört, dessen Lippen beispielsweise von seinem Bart verdeckt werden, versucht man verzweifelt, sich auf dessen Lippenbewegungen zu konzentrieren – aber ohne Erfolg.

Sprache im Computer

Herkömmliche Computer, die ironischerweise auch Elektronengehirne genannt werden, können viele rechenintensive Aufgaben wesentlich schneller erledigen als der Mensch. In Anlehnung an die Erfindung des Werkzeugs durch unsere Vorfahren wurde der Begriff Denkzeug für Computer vorgeschlagen, die uns bei kognitiven Aufgaben helfen. Aber ausgerechnet diejenigen kognitiven Aufgaben, die uns relativ leicht fallen, wie Sprache hören oder produzieren, sind für herkömmliche Computer sehr schwierige Aufgaben. Das liegt in erster Linie daran, dass ein Computer aus fest verdrahteten Bauteilen aufgebaut ist, die Rechenoperationen sehr effizient abwickeln können. Außerdem werden Computer in der Regel mit relativ unflexiblen Algorithmen in der Form von WENN-DANN-Anweisungen programmiert, denen die entscheidende menschliche Anpassungsfähigkeit und Flexibilität fehlt.

Die amerikanische Computerfirma DEC hat vor einigen Jahren ein System programmiert, welches Schriftsprache in Lautsprache transkribieren kann, um Blinden das Hören von geschriebenem Text zu ermöglichen. Ein solches System muss in der Lage sein, die Koartikulation der menschlichen Sprache zu berücksichtigen. Koartikulation bedeutet, dass ein Buchstabe verschieden ausgesprochen wird, je nachdem, welche Buchstaben ihm vorausgehen oder ihm folgen. Bei dem Programm der Firma DEC, es trägt den Namen DECTalk, mussten drei Buchstaben links und drei rechts des jeweils artikulierten