

2 Tiefe Einblicke ins Hirn

Non-invasive, völlig ungefährliche radiologische Verfahren ermöglichen die bildliche Darstellung neuronaler Vorgänge bei der Sprachverarbeitung.

Zu Beginn medizinischer Untersuchungen des menschlichen Hirns standen aufgrund fehlender technischer Voraussetzungen maximalinvasive Studien an geöffneten Schädeln lebender Patienten, Verstorbener oder an konservierten Gehirnen. Nur über das Sezieren ließen sich letztlich Erkenntnisse über das Innenleben gewinnen und mögliche Zusammenhänge retrospektiv analysieren.

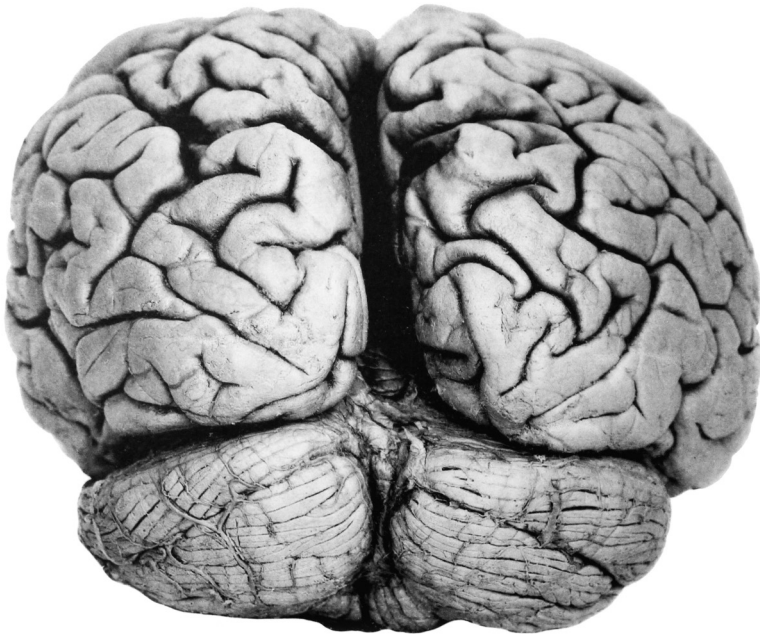


Abb. 6: Gehirn (Präparat – Ansicht okzipital)

Die Radiologie, im Zusammenspiel mit den Entwicklungen in der Physik, der Elektronik und der Computertechnik, ermöglichte erst die Entwicklung immer präziserer neurowissenschaftlicher Untersuchungen mit dem Einsatz moderner, höchstauflösender bildgebender Verfahren (*Neuroimaging*).

Gerade in den letzten beiden Jahrzehnten explodierte die Hirnforschung bezüglich Quantität und Qualität mittels sicherer, nicht-invasiver und strahlenfreier Messungen mit immer jüngeren Probanden (vgl. Kuhl 2011) geradezu und erreicht spracherwerbsrelevante Bezugswissenschaften wie Pädagogik, Linguistik und Didaktik.

Das Zusammenspiel spracherwerbsrelevanter Wissenschaften ist für die Weiterentwicklung der sprachbezogenen Neurodidaktik notwendig.

Wie ein Kind eine Sprache erlernt, kann aus den Aufnahmen noch nicht direkt und in allen Aspekten gefolgert werden. Aus der Fülle an Beobachtungen ergibt sich jedoch durch das Zusammenspiel der Wissenschaften ein immer komplexeres Bild, das sich in weiten Teilen mit modernen sprachendidaktischen Auffassungen deckt.

Die neuronale Basis von Sprachaufnahme, -verarbeitung und -verwendung lässt sich immer tiefer erforschen und begreifen, auch wenn sich sprachbezogene Kognitionswissenschaften und neurowissenschaftliche, bildgebende Computerwissenschaften noch nicht im Verhältnis 1:1 aufeinander beziehen lassen und die Gesamtentwicklung dieser wissenschaftsübergreifenden Technologien noch ganz am Anfang stehen. Interessant für die Spracherwerbsforschung ist in jedem Fall die auf diesem Weg mögliche multilaterale Erkundung der menschlichen sprachrelevanten Kognitionsfunktionen – quasi die Möglichkeit, dem Gehirn beim emotionalen und bewussten Denken zuzusehen.

2.1 Bildgebende Verfahren

Klassifizieren lassen sich die modernen bildgebenden Verfahren der Radiologie zur Spracherwerbsforschung in

- a) elektrophysiologische Verfahren wie
 - Elektroenzephalographie (EEG)
 - Magnetenzephalographie (MEG)
- und
- b) hämodynamische Verfahren, wie
 - Positronenemissionstomographie (PET)
 - Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT).

Elektrophysiologische Verfahren sind ein Teilbereich der Neurologie und Neurophysiologie, die sich mit der elektrochemischen Signalübertragung im Nervensystem befassen. Unter sie subsumiert man alle diagnostischen Verfahren, die auf der Messung, Ableitung und Darstellung elektrischer Potentialunterschiede beruhen. Sie haben eine sehr gute Zeitauflösung, jedoch eine schlechte räumliche Auflösung.

Hämodynamische Verfahren (zur Bestimmung des Blutflusses) kehren diesen Vor- bzw. Nachteil um, dienen vor allem der tiefen Lokalisation von Vorgängen im Gehirn. Somit sind kombinierte Verfahren, z.B. EEG plus fMRT, aktuell zielführende, wenngleich teure Untersuchungsdesigns.

Einen besonderen Nachteil haben Untersuchungen mit PET, bei denen die Probanden einer, wenn auch schwachen, radioaktiven Strahlung durch Kontrastmittel ausgesetzt sind. Dieses invasive Vorgehen gleicht beispielsweise das fMRT aus, bei dem die Änderung der magnetischen Eigenschaften der beiden natürlichen, körpereigenen Kontrastmittel Blut und Sauerstoff ein messbares Signal erzeugt. Auf PET soll deshalb im Folgenden nicht näher eingegangen werden.

■ Drei radiologische Verfahren für neurowissenschaftliche Messungen zum Spracherwerb werden hauptsächlich eingesetzt.

Die drei – auf sprachrelevante neurowissenschaftliche Forschungen bezogen – wichtigsten bildgebenden radiologischen Verfahren sind demnach

- die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT),
- die Magnetenzephalographie (MEG) sowie
- die Elektroenzephalographie (EEG).

Mit Hilfe der ersten beiden Verfahren werden gesteigerte Aktivitäten über die (durch z.B. Sprachaufgaben erzeugten) Veränderungen bezüglich des Blutflusses und der Sauerstoffkonzentration im Gehirn identifiziert und visualisiert. Unter bestimmten Umständen können diese feinen elektrischen Aktivitäten der Nervenzellen in bestimmten Hirnabschnitten sehr genau lokalisiert, markiert und in zwei- oder dreidimensionale Bilder umgesetzt werden.

Beide Verfahren der Radiologie nützen dabei die Magnetresonanz von Wasserstoffatomen zur Darstellung von anatomischen Details des Gehirns. Diese Methode, auch Kernspintomographie genannt, nutzt Magnetfelder und elektromagnetische Wellen, um Schnittbilder des Körperinneren anzufertigen.

■ Die Veränderung des Hirngewebes manifestiert sich optisch und kann so dargestellt werden.

Das sogenannte Lambert-Beer-Gesetz stützt dies theoretisch: Jedes Gewebe ändert seine optischen Eigenschaften mit der Änderung seines funktionalen Zustandes. Licht wird je nach Stoffwechsellzustand unterschiedlich stark reflektiert und kann so dargestellt werden. Die Optogenetik (vgl. dazu Boyden et al. 2005) und die wasserbasierte Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI) (vgl. Le Bihan et al. 2001) bieten Potenziale für eine zukünftige Weiterentwicklung dieser Verfahren.

Nicht außer Acht gelassen werden darf für die Spracherwerbsforschung die Elektroenzephalographie (EEG). Sie punktet bei Untersuchungen der Dynamik von Spra-

che mit einer schnellen zeitlichen Auflösung. Während einer Wortentscheidung beim Sprachgebrauch sind beispielsweise Gehirnströme messbar. Somit wird ein indirekter Einblick in semantische Verarbeitungsprozesse sprachlicher Informationen möglich.

2.1.1 Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Das fMRT misst den Bewegungsfluss von Wasserstoffatomen in den Gehirnzellen und errechnet ein virtuelles Bild.

Bei der Magnetresonanztomographie bringen ein starkes, durch den Kernspintomografen erzeugtes, Magnetfeld und Radiowellen Wasserstoffatome in Bewegung. Der verbundene Computer errechnet dabei Schnittbilder, die vor allem körperliches Weichteilgewebe, also auch das Gehirn, äußerst kontrastreich wiedergeben – insbesondere dort, wo viele Wasserstoffatome vorhanden sind.



Abb. 7: Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Das Funktionsprinzip der Messung:

Wasserstoffkerne können sich um sich selbst drehen. Der dabei entstehende „Kernspin“ gab der Untersuchung mittels MRT auch den Namen „Kernspintomographie“.

1. Das von den Kernen erzeugte, sehr schwache Magnetfeld kann durch einen stärkeren Magneten im MRT beeinflusst werden: Die Wasserstoffkerne richten

sich ordentlich um die neue Achse des MRT-Magnetfelds aus, drehen sich dabei nicht mehr um ihre eigene.

2. Eine Radiofrequenzspule im MRT sendet im bestimmten, festgelegten Frequenzen und Wiederholungen immer wieder Wellen aus, um die Kerne abzulenken.
3. In den kurzen Sendepausen ordnen sich die Kerne wieder, nach Gewebetyp unterschiedlich schnell.
4. Aus den individuellen Bewegungssignalen werden computertechnisch Bilder des Gehirns errechnet. Dies geschieht in vertikalen, horizontalen oder auch diagonalen Bildschnitten, die miteinander in Beziehung gesetzt ein dreidimensionales Bild ergeben können.

Untersuchung

Für den Patienten oder Probanden entsteht dabei keinerlei zusätzliche Strahlenbelastung. Kontrastmittel könnten in eine Vene injiziert werden, um Blutgefäße noch deutlicher sichtbar werden zu lassen. Da sich diese im Gehirn von den umliegenden Strukturen in der Regel aber deutlich abheben, ist für neurowissenschaftliche, auf Sprachforschung bezogene Untersuchung ein solches invasives Vorgehen nicht notwendig.

Wie elektromagnetische Felder genau auf den Körper bzw. speziell das Gehirn wirken, ist noch nicht abschließend erforscht. Gesundheitliche Schäden jedoch sind nach heutiger Befundlage nicht zu erwarten. Weder Magnetfeld noch die Radiowellen sind während der Untersuchung zu spüren.

Die Messungen sind für Kinder als Probanden in der Regel ein großes Spiel und völlig angstfrei.

Nicht ganz unproblematisch ist die Untersuchungsdurchführung. Der Untersuchungstunnel im MRT ist eng, bei Platzangst kann ein Beruhigungsmedikament gegeben werden, ein Notsignalknopf ist in jedem Fall in Reichweite. Auf einer Liege wird der Proband in das Gerät gefahren. Das zu untersuchende Körperteil muss fixiert sein – im Falle der Hirnforschung per MRT ist dies ein Kunststoffgestell. An Untersuchungen teilnehmende Kinder werden nach ausführlicher Information zunächst spielerisch an die Umgebung gewöhnt und nehmen freiwillig im Beisein ihrer engsten Bezugspersonen an den Messungen teil. In der Regel und allen Erfahrungen nach sind diese Vorgänge völlig unproblematisch.

Vor der Untersuchung wird der Tomograph dann genau auf die jungen Probanden geeicht, da zwar das Gehirn im Wesentlichen bei allen Menschen strukturell gleich ist, individuelle Differenzen in der Biographie aber erheblich sein können. Erschwerend für neurowissenschaftliche Untersuchungen zu sprachrelevanten Aspekten, die je nach Versuchsanlage von wenigen Minuten bis zu einer halben Stunde dauern können, sind die relativ lauten Klopfgeräusche durch das An- und

Ausschalten der Radiofrequenzspulen im MRT. Zum Einsatz kommen deshalb spezielle Kopfhörer, über die Audiosignale, also Texte, Musik, Anweisungen etc. eingespielt werden können. Für Lesetexte wird im Blickfeld des Probanden eine spezielle Haltevorrichtung für Texte oder ein Bildschirm platziert.

Prozessdarstellung

Mess- und darstellbar sind der erhöhte Sauerstoffbedarf in einer aktiven Hirnregion im Vergleich zum Ruhestatus.

Die „funktionelle Magnetresonanztomographie“ (fMRT) ist eine Variante des Kernspinverfahrens und gilt als Weiterentwicklung der klassischen Magnetresonanztomographie (MRT). Sie ist eine der heute am häufigsten verwendeten Methoden, um Gehirnaktivitäten abzubilden.

Ein gesteigerter Stoffwechselverbrauch dort geht immer auch mit einer vorher gesteigerten Aktivität, z.B. bei kognitiven Prozessen, einher. In der Regel gibt der so genannte BOLD-Effekt (*blood oxygenation level dependent*) den Sauerstoffgehalt in den roten Blutkörperchen an.

Eine solche Aktivität kann beispielsweise ein visueller Reiz sein. Sauerstoff- und Blutbedarf steigen in den reizrelevanten neuronalen Hirnarealen an. Hämoglobin-Moleküle, die für den Sauerstofftransport zuständig sind, werden in diesem Fall messbar. Manche sind sauerstoffgeladen und verhalten sich neutral, manche sind entleert und hemmen das Magnetfeld des fMRT. Diese veränderten magnetischen Eigenschaften können vom fMRT als zeitlich andauernde Veränderung dargestellt werden.

Mit einer Verzögerung von Sekunden wird also zunächst der erhöhte Sauerstoffbedarf identifiziert und dann die vorangegangene erhöhte Hirnaktivität errechnet.

Die Aufnahmen aus Forschungsreihen können mittels Computerprogramm verglichen werden. Farbige leuchtende Bereiche kennzeichnen auf den fMRT-Aufnahmen die aktiven Hirnreale. Dabei ist Vorsicht geboten: Die Einfärbung ganzer Areale entsteht am Computer und ist nicht ganz genau, da die Aktivitätsniveaus der Neuronen gering sind.

Die Darstellung von Forschungsergebnissen sieht zunächst aus wie eine Fotografie eines einzigen Gehirns, ist aber die nachträgliche Rückrechnung und dreidimensionale Visualisierung von Messdaten, die übereinander gelegt eine fiktives Gehirn mit farbigen Flecken ergeben – dort, wo neuronale Reaktionen häufig auftauchen.

Schnittebenen

Zweidimensionale virtuelle Schnittebenen als zentrales Merkmal werden bei radiologischen bildgebenden Verfahren erzeugt. Schnittebenen können dabei theoretisch beliebig positioniert werden. Um eine Vergleichbarkeit und Orientierungsmöglichkeit zu gewährleisten, werden häufig Standardebenen gewählt, die sich u.a. an den wichtigsten Körperachsen orientieren:

- Seitenansicht: Sagittalschnitt
- Draufsicht von vorne: Frontalschnitt
- Draufsicht von oben: Horizontalschnitt

Lateinische Ausdrücke bezeichnen die genauen Positionen im Gehirn.

Genauer definieren dann folgende Beschreibungen die Position des Schnittbildverfahrens:

- vorne/hinten: anterior/posterior
- vor/hinter: ventral/dorsal (= zum Bauch hin liegend/zum Rücken hin liegend)
- oben/unten: superior/inferior
- zur Mitte hin: medial
- zur Seite hin: lateral
- dieselbe Seite: ipsilateral
- gegenüberliegende Seite: contralateral

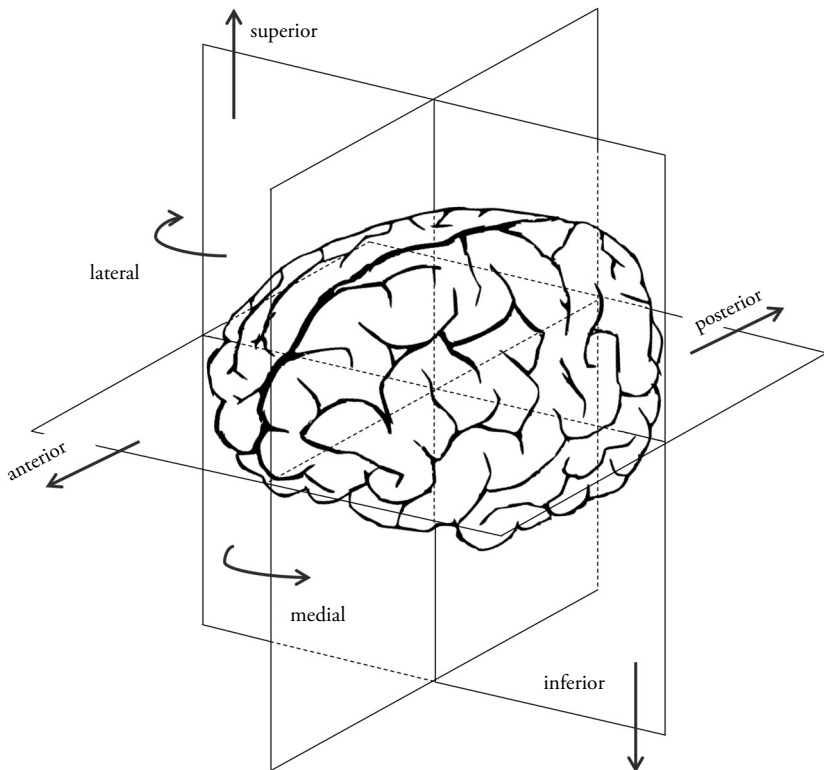


Abb. 8: Schnittebenen durchs Gehirn

Errechnung

Numerische Ungenauigkeiten bilden die Grenze der Darstellungsgenauigkeit. Abgleiche mit anderen Forschungsergebnissen schärfen die Bilder.

Wie grob das Bild bleiben muss, wird bei folgendem Sachverhalt deutlich: Das Gehirn wird normalerweise in etwa 130 000 Würfel (Voxel) von jeweils drei Millimeter Kantenlänge mit bis zu drei Millionen Neuronen, 100 Kilometern an Nervenbahnen und 27 Milliarden Synapsen eingeteilt.

Für jedes Voxel wird die (vom Forscher definierte) Signifikanz der Aktivität im Vergleich zur Ruhephase gemessen und im Falle einer Berücksichtigung eingefärbt. Mit Hilfe der multivariaten Musteranalyse der Mathematik wird bei mehreren, zeitlich aufeinanderfolgenden Aufnahmen dann die Darstellung eines Prozesses im Gehirn errechnet.

Mögliche Einsatzbereiche für die Spracherwerbsforschung sind unter Punkt 2.2 beispielhaft dargestellt.

Forschungstechnisch wird mittlerweile zunehmend die statistische Methode der Kreuzvalidierung eingesetzt, d.h. der Abgleich der neuen Befunde mit anderen Forschungsergebnissen. Dies ist möglich, da es schon eine erhebliche, wachsende Zahl von Untersuchungen im Forschungsfeld gibt. Förderlich sollten zukünftig generell standardisierte Richtlinien für sprachenneurodidaktische Forschungen sein, die auch den geordneten, sicheren Austausch von Daten zwischen den Forschungseinheiten beinhaltet.

2.1.2 Magnetenzephalographie (MEG)

Die Magnetenzephalographie (MEG), eine Weiterentwicklung des EEG (Elektroenzephalographie), ist wie das fMRT generell nicht-invasiv. Per Injektion gegebene Kontrastmittel sind nicht notwendig.

Schwache und kleinste Magnetfelder, elektrophysiologische Veränderungen also, die bei neuronaler Aktivität nach gezielter Stimulation im Gehirn entstehen, können durch äußerlich aufgebraute Sensoren (SQUIDS) identifiziert und gemessen werden. Dazu wird eine helmartige Haube verwendet, die selbst für Klein- und Kleinstkinder geeignet ist.

Die Magnetfelderzeugung ermöglicht Messungen in Echtzeit.

Die Magnetfelder werden zunächst über supraleitende Spulen erfasst, die Messung und Berechnung erfolgt in einer räumlich-zeitlichen Auflösung von Millimetern und Millisekunden. Anders als beim fMRT handelt es sich hier quasi eine Realzeit-Messung. Eine elektromagnetisch abgeschirmte Kabine ist Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Messverlauf. MEGs sind äußerst komplexe und teure Untersuchungsgeräte. Sie benötigen eigens zur Kühlung der SQUIDS flüssiges Helium.



Abb. 9: Magnetenzephalographie (MEG)

Mit dem MEG sind sehr frühe neurologische und neuro-sprachendidaktische Untersuchungen möglich.

In Forschungssettings hilft das MEG, z.B. die neuronalen Verarbeitung von Bewegungsabläufen und die Synchronisation verschiedener Hirnareale zu erklären. Sprachlich relevante audiovisuelle Stimuli machen den MEG-Einsatz in der sprachbezogenen neurowissenschaftlichen Forschung sinnvoll, insbesondere für kindliche Phasen. Zusätzlich lassen sich bei den Messungen Hintergrund-Reaktionen des Gehirns, sogenannte Gehirnwellen, analysieren. Tiefere Hirnregionen wie beispielsweise das Limbische System werden jedoch nur schwer erreicht.

Das vorgeburtliche Magnetenzephalogramm (fMEG) bietet seit kurzem die Möglichkeit, erstmals eine nicht invasive vorgeburtliche Funktionsbeschreibung der fetalen Hirnleistung im Mutterleib vorzunehmen. Zukünftige Forschungsfragen können also auch auf den pränatalen Bereich ausgerichtet werden.

Insbesondere psycholinguistische Fragestellungen können mithilfe des MEGs (und auch seines „kleinen Bruders“, dem EEG) verfolgt werden. Sprachliche Verarbeitungsstrategien, z.B. parallel stattfindend, Sprachwahrnehmungen und mit Abstrichen Sprachproduktionen können im Kortex erkannt werden. So lassen sich beispielsweise Aktivierungsreihenfolgen beim Schreiben oder Sprechen bestimmen.

2.1.3 Elektroenzephalographie (EEG)

Umweltsignale, im sprachlichen Kontext visuelle und auditive Reize, lassen sich mit den relevanten menschlichen Sinnesorganen aufnehmen und in elektrische Impulse umwandeln, weiterleiten und im Gehirn zu einem Bild verarbeiten. Reagiert das Gehirn darauf, entsteht Kommunikation.

Die reaktive elektrische Tätigkeit des Gehirns kann mit technischen Möglichkeiten erfasst, beobachtet und aufgezeichnet werden. Dieser Vorgang wird als Elektroenzephalographie (EEG) bezeichnet, die grafische Darstellung als Elektroenzephalogramm.

Das EEG erfasst elektrische Stimuli an der Kortex-Oberfläche in einer bestimmten Geschwindigkeit.

Das EEG misst speziell die elektrische Aktivität von Pyramidenzellen an der Oberfläche des Kortex und bietet ein direkteres Bild von ihr, als dies mit fMRT und MEG möglich ist. Pyramidenzellen werden sie wegen ihrer Form genannt, funktional verbinden sie mit ihren Verlängerungen (Axone) kortikale mit nicht-kortikalen Bereiche des Gehirns und Rückenmarks.

Das ist nur möglich, weil jede Gehirnzelle elektrisch erregbar ist. Der Grund dafür liegt in der elektrischen Spannung zwischen Innen- und Außenseite der Zellmembran. Das Ruhepotenzial liegt bei -70 mV, der Schwellenwert zum Reiz bei etwa -50 mV. Die erregte Zelle zeigt dann Aktionspotenziale im Umfang von normalerweise zwischen 30 und 100 pro Sekunde, jedoch auch bis zu 500 pro Sekunde in der Spitze (Wolfe 2010: 52), die selbst mangels Masse und wegen zu großer Geschwindigkeit nicht mit einem EEG gemessen werden können.

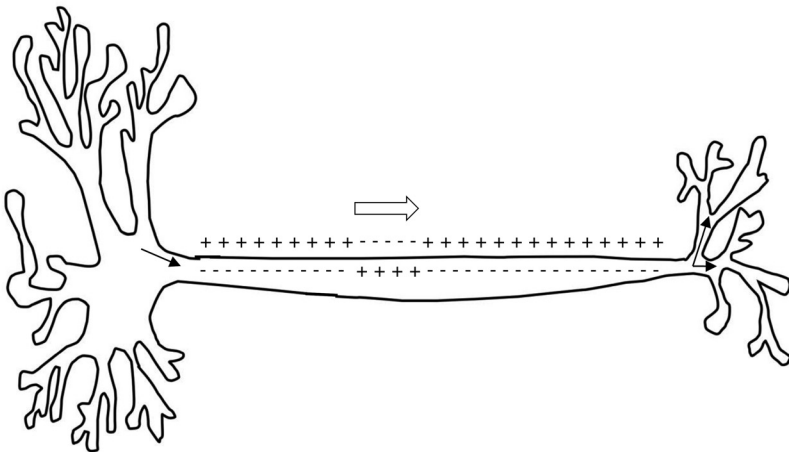


Abb. 10: Aktionspotenzial Nervenzelle

Was jedoch erfasst wird, ist die Veränderung der Aktionspotenziale an den Synapsen.

Die dortige Reizübertragung mittels chemischen Transmittern ist langsam und auch stark genug, um mit dem EEG bzw. den Elektroden erkannt werden zu können. Die zeitliche Auflösung dieser Signale ist so hoch, im Bereich von Millisekunden, dass sie für kognitive Experimente genutzt werden können. Die räumliche Sensitivität des EEG allerdings tangiert nur die Kortex-Oberfläche und dies auch nur einer unscharfen möglichen Eingrenzung von einem halben Zentimeter.

Die zwischen Reiz und Reaktion stattfindenden hirnpfysiologischen Prozesse sind ein erster bedeutender Erkenntnisgewinn für die Spracherwerbsforschung. Dabei werden aber nicht einzelne Neuronen erfasst, sondern die Aktivität vieler benachbarter Zellen. Sie wird in Frequenzen wellenartiger Schwingungen dargestellt, mit Hilfe neuerer Software auch in dreidimensionalen anatomischen Abbildungen des Kopfes relativ genau lokalisiert.



Abb. 11: Elektroenzephalographie (EEG)

Sprachverstehen kann durch das EEG sichtbar gemacht werden.

Auf die Sprachforschung bezogen lassen sich frequenzielle Veränderungen vor allem zum Sprachverstehen beim Hören und Lesen, jedoch mit Abstrichen auch bei der Sprachproduktion wie dem Schreiben und Sprechen einzelner Wörter, Satzteile oder Sätze erkennen und erfassen, was sich in der Forschung als geeignete Methode zur Darstellung kognitiver Prozesse erweist.

Zwischen Reiz und Reaktion lassen sich ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) oder ereignisrelevante Potenziale (ERP), die z.B. mit einem Wortimpuls etc. ausgelöst werden können, experimentell messen. Die Bedeutungserfassung gelesener sowie gehörter Wörter beispielsweise beträgt 200 Millisekunden, ebenso wie die zeitliche Verzögerung von Sprechintention bis zur Sprachproduktion. Die sogenannte N400-Komponente dagegen tritt nach etwas 400 Millisekunden auf und zeigt die Einordnung eines Wortes in einen Kontext bei einem entsprechenden Aufgabenformat. Ebenso funktioniert die P600-Komponente.

Ein Beispiel:

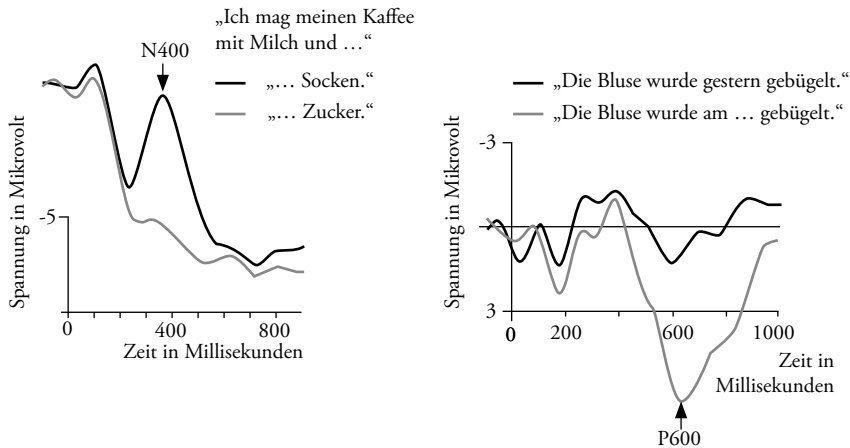


Abb. 12: Sprachrelevante EEG-Messungen

In der Messkurve des EEG, genauer durch Ausschläge des Graphs auf der y-Achse nach oben machen sich sinnlose Wörter in einem Satz (Abb. 12 links) ebenso bemerkbar wie Grammatikfehler (Abb. 12 rechts).

Den Verteilungsmustern der Gehirnpotenziale können noch nicht alle Funktionen zw. Informationsverarbeitungsprozesse immer genau zugeordnet werden, vieles, insbesondere Schlaf-/Wachzustände, Konzentrationsphasen und bewusste Intentionen können jedoch bereits unterschieden werden. Dadurch lässt sich beispielsweise erforschen, welche die Voraussetzungen für das erfolgreiche bzw. nicht erfolgreiche Bewältigen von Sprachverarbeitung, bzw. welche Störfaktoren bedeutsam sind.

Insgesamt betrachtet sind EEG und MEG mit ihren zeitlich hochauflösenden Möglichkeiten dem fMRT sowie psychophysiologischen Methoden insbesondere in Bezug auf die Erforschung von Sprachverarbeitungsprozessen aktuell überlegen.

2.2 Sprachenbezogene fMRT-Forschung

An den nachfolgenden kurzen Beispielen wird deutlich, wie bildgebende Verfahren bei der Spracherwerbsforschung eingesetzt werden können. Diese beziehen sich beispielhaft auf das fMRT, um so pars pro toto Potenziale und Grenzen gleichermaßen zu verdeutlichen.

2.2.1 Forschungsfeld *covert speech*

Erforschungen der *covert speech* beziehen sich auf die „innere Stimme“.

Riecker et al. (2000: 1997ff.) zeigen anhand der *covert speech*, des „inneren Sprechens“, wie sprachenrelevante neurowissenschaftliche Forschung konkret aussehen kann: Die Probanden stellen sich vor, laut zu sprechen, tun dies dennoch nicht. Erfahrungsgemäß gelingt die Formulierung von Sätzen, insbesondere fremdsprachlicher, besonders gut, wenn sie nicht aktiv artikuliert werden müssen. Dieser Effekt zeigt sich auch bei Träumen, in denen eine erlernte Sprache in Kommunikationssituationen eingesetzt wird und diese fließend erscheint. In Zusammenhang mit der kognitiven Bildung von Sprechplänen (vgl. Kap. 7.3) ist hier möglicherweise eine geeignete, vorproduktive Übung zum Sprechen abzuleiten.

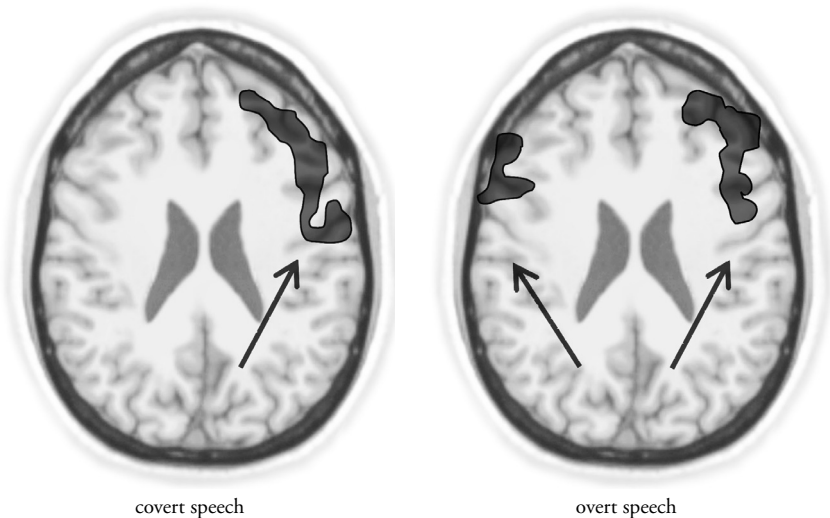


Abb. 13: *Covert vs. overt speech*

In den Aufnahmen von Riecker et al. zeigt sich, dass bei *covert speech* sprechmotorische Teile des Kortex nur einseitig aktiv sind: Kleinhirn und motorischer Kortex. Beim aktiven, lauten Sprechen (*overt speech*) hingegen wird beidseitig und die Insula (hintere Inselregion) aktiviert.

2.2.2 Forschungsfeld Lateralisierung

Linguistische bzw. affektive Prosodie werden in unterschiedlichen Hirnhälften verarbeitet.

Lateralisierung bezeichnet man die neuroanatomische Ungleichheit, funktionale Aufgabenteilung und Spezialisierung der beiden Hemisphären des Gehirns. Obwohl der im Wesentlichen gleichartige Aufbau eine scheinbare Symmetrie aufweist, besitzen die Aufgaben und Funktionen des Gehirns eine räumliche Spezialisierung. Einige Funktionen oder Teilfunktionen des Gehirns werden bevorzugt in einer der beiden Gehirnhälften ausgeführt. Die Aufteilung von Prozessen auf die rechte und linke Hälfte wird als Lateralisierung bezeichnet.

Mayer et al. (2002) fokussieren dieses Forschungsfeld, die Spezialisierung der Hirnhälften auf bestimmte Funktionen. Sie vergleichen prosodische Aspekte während der Sprachproduktion: Linguistische Prosodie mit variierender Akzentposition wird linkshemisphärisch verarbeitet, affektive Prosodie mit zwischen fröhlich und traurig variierender Emotionsbreite rechtshemisphärisch.

Ein weiteres Beispiel zum Forschungsfeld findet sich in Kap. 5.3.2.

2.2.3 Forschungsfeld Sprechgeschwindigkeit

Variierende Sprechgeschwindigkeiten bewirken eine Beschleunigung oder Verlangsamung bestimmter Hirnareale.

In einem dritten Beispiel stellen Wildgruber et al. (2001) dar, in welcher Stärke und in welchem Hirnareal bei unterschiedlicher Silbensprechgeschwindigkeit (2,5 bis 5,5 Silben pro Sekunde) Aktivierungsmuster messbar sind. Zum Vergleich: Die Sprechgeschwindigkeit beträgt, individuell natürlich unterschiedlich, normalerweise zwischen 4–6 Silben pro Sekunde beziehungsweise etwa 20 Laute.

Bei der Untersuchung zeigte sich, dass im motorischen Kortex die Aktivierung mit der Geschwindigkeit zu-, im linken Putamen, einem Kerngebiet des Großhirns, dagegen gleichzeitig abnimmt. Das Kleinhirn reagiert wiederum mit einer messbaren Aktivierungszunahme.