

2 Forschungsmethoden der Psycholinguistik

Nicole Stadie, Heiner Drenhaus, Barbara Höhle, Katharina Spalek,
Isabell Wartenburger

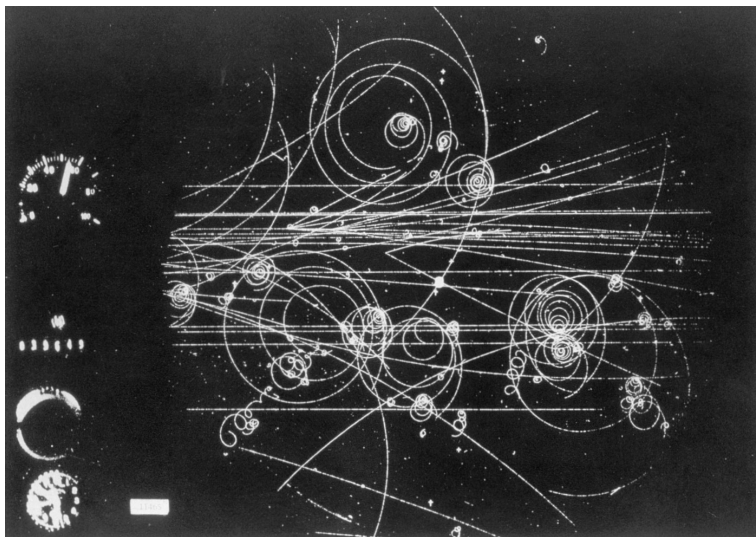


Abbildung 3: Teilchenspuren in einer Blasenkammer (1970), Europäische Organisation für Kernforschung (CERN), Genf

Das Foto zeigt Spuren von Flugbahnen subatomarer Teilchen. Sie wurden in einem Protonen-Synchrotron vom CERN, dem bedeutendsten Zentrum für die Teilchenphysikforschung in Europa, aufgenommen. Dieses Gerät ermöglicht es Physikern, in einen Atomkern ‚hinein zu sehen‘. Aufgrund der Aufzeichnung der Flugbahnen mit all ihren Abweichungen konnte in der Physik auf Teilchen geschlossen werden, die kleiner als Atome sind, auf sogenannte Elementarteilchen. Trotz dieser wissenschaftlich spektakulären Fortschritte kann man jedoch immer noch nicht den sehr viel kleineren Atomkern zeigen – die eigentliche Quelle der Kernenergie.

Auch die mentalen Prozesse, die der Produktion, der Rezeption und der Entwicklung sprachlicher Strukturen zugrunde liegen, sind nicht sichtbar, sie hinterlassen jedoch Spuren in unserem Verhalten und in Aktivitäten des Gehirns. In ihrem Bemühen, Erkenntnisse über diese kognitiven Prozesse zu gewinnen, muss also auch die Psycholinguistik auf Spurensuche gehen – mithilfe klassisch behavioraler, in jüngerer Zeit auch verstärkt mit neurowissenschaftlichen Forschungsmethoden. Die mentalen Prozesse und Hirnaktivitäten, die während der Produktion und des Verstehens von Sprache ablaufen, können so besser verstanden werden. Die verschiedenen Spuren, die von mentalen Prozessen hinterlassen werden, haben eine große Bandbreite: Sie reichen von der Schnelligkeit, mit der Aufgaben gelöst werden können, und eventuellen Fehlern, die dabei auftreten, über Bewegungen der Augen bis hin zu neurophysiologischen Signalen des Gehirns und Veränderungen des Blutflusses im Gehirn. Entsprechend werden in der psycholinguistischen Forschung unterschiedliche Variablen gemessen: spezifische Zeitbeträge und Reaktionsmuster beim Lösen von Aufgaben werden aufgezeichnet, die Intensität beim Saugen an einem Schnuller bei Babys wird gemessen, die Richtung von Blick- bzw. Kopfbewegungen wird erfasst. Neuronale Aktivitäten lassen sich in farblich differenzierten bildlichen Darstellungen des Gehirns und grafischen Kurven wiedergeben, die die Abläufe elektrischer Aktivität im Gehirn abbilden.

2.1 Behaviorale Methoden

2.2 Neurowissenschaftliche Methoden

2.1 Behaviorale Methoden

Die meisten in der klassischen Psycholinguistik verwendeten Untersuchungsmethoden erfordern das Lösen einer sprachlichen Aufgabe nach dem Befolgen einer Instruktion. Bei behavioralen Methoden (auch verhaltensorientierte Methoden, englisch *behavior* = Verhalten) können die Reaktionen der Probanden je nach Untersuchungsziel unter anderem die Produktion sprachlicher Äußerungen oder eine Entscheidung per Tastendruck (typischerweise mit Messung der Reaktionszeit) sein. Für die Untersuchungen mit Säuglingen und Kleinkindern wurde eine Reihe von Verfahren entwickelt, die ohne Instruktion auskommen und altersangepasste Reaktionen wie Saugstärke oder Blickzeiten erfassen.

Lexikalisches Entscheiden

Eine vielfach verwendete Aufgabe ist das lexikalische Entscheiden (Meyer/Schvaneveldt 1971). Mithilfe dieser Aufgabe werden verschiedene Aspekte untersucht, die bei der Worterkennung, beim lexikalischen Zugriff und beim Zugriff auf die Bedeutungsstruktur von Wörtern eine Rolle spielen. Beim lexikalischen Entscheiden soll ein Proband so schnell wie möglich entscheiden (Ja/Nein), ob eine ihm dargebotene Buchstabenreihe ein Wort oder ein Nichtwort (z. B. *Stunde/Stonde*) ist. Die Darbietung der Stimuli erfolgt dabei entweder visuell, z. B. auf einem Bildschirm, oder auditiv über Lautsprecher oder Kopfhörer; die Reaktion des Probanden besteht meistens aus einem Tastendruck. Um eine lexikalische Entscheidung treffen zu können, müssen wir unser mentales Lexikon – den Speicher aller uns bekannten Wörter – durchsuchen, um festzustellen, dass *Stunde* darin enthalten ist, *Stonde* aber nicht. Worterkennung beschreibt also das Finden eines Wortes im mentalen Lexikon (→ KAPITEL 5.1). In die Auswertung der lexikalischen Entscheidungsaufgabe geht vornehmlich die Reaktionszeit ein, also diejenige Zeit, die der Proband benötigt um z. B. beim Stimulus *Stunde* auf die Ja-Taste bzw. bei *Stonde* auf die Nein-Taste zu drücken, es kann aber auch die Anzahl der richtigen bzw. falschen Entscheidungen analysiert werden.

Aufgabenstellung

In der experimentellen Psychologie werden häufig Reaktionszeiten verwendet, um die zeitliche Dauer mentaler Operationen zu erfassen; sie stellen einen Index der Verarbeitungsgeschwindigkeit dar. Die Reaktionszeit gibt also an, wie schnell ein Mensch diejenigen mentalen Operationen ausführen kann, die für die Bearbeitung der Aufgabe notwendig sind. Beispielsweise benötigen wir wenige hun-

Reaktionszeiten

**Wortüberlegenheits-
effekt****Phonologische
Nachbarschaftsdichte****Frequenzeffekt**

dert Millisekunden, um ein gehörtes oder geschriebenes Wort zu erkennen. Die Reaktionsgeschwindigkeit (und auch die Anzahl fehlerhafter Antworten) kann, je nachdem welche Wörter und Wortstrukturen dargeboten werden, stark variieren: Ein sehr geläufiger Effekt ist der Wortüberlegenheitseffekt, d. h. Wörter werden deutlich schneller wahrgenommen und erkannt als Einzelbuchstaben oder Buchstabenkombinationen, die kein Wort darstellen. Die Reaktionszeit beim lexikalischen Entscheiden wird auch durch die phonologische Nachbarschaftsdichte des Zielitems beeinflusst. Die phonologische Nachbarschaftsdichte ergibt sich aus der Anzahl der in einer Sprache existierenden Wörter, die vom Zielitem in nur einem Phonem abweichen, z. B. *Maus Haus, Laus, Maut, Mais*. Je mehr phonologische Nachbarn ein Zielitem aufweist, desto langsamer verläuft die Verarbeitung. Ein ebenfalls häufig beobachteter Effekt ist der Frequenzeffekt: Wörter, die in der gesprochenen und/oder geschriebenen Sprache sehr häufig vorkommen, werden deutlich schneller erkannt als solche, die weniger häufig vorkommen. Die Beobachtung derartiger Einflüsse führt zu theoretischen Schlussfolgerungen über die Repräsentation und Verarbeitung lexikalischer Information. Der Frequenzeffekt wird als Indikator dafür angesehen, dass hochfrequente Wörter stärkere mentale Repräsentationen haben, auf die schneller zugegriffen werden kann als auf die schwächeren mentalen Repräsentationen niedrigfrequenter Wörter. Beim Nachbarschaftseffekt wird angenommen, dass hier ein Aktivierungswettbewerb zwischen den phonologischen Nachbarn stattfindet, der sich in längeren Reaktionszeiten äußert (Dell/Gordon 2003; Vitevitch/Luce 1998).

**Semantische Ent-
scheidungsaufgabe**

Eine Variation der lexikalischen Entscheidungsaufgabe ist die semantische Entscheidungsaufgabe, in der ein Proband nicht über den lexikalischen Status, sondern über semantische Aspekte von Items entscheiden soll, beispielsweise ob die Wörter *Pferd* oder *Teller* Items darstellen, die belebt bzw. unbelebt sind (Pecher/Raaijmakers 2004), oder ob sie einer vorgegebenen semantischen Kategorie (z. B. *Tiere*) zugehörig sind (Halldorson/Singer 2001). Neben einem Tastendruck werden auch die Reaktionszeiten für mündliche Äußerungen, z. B. beim lauten Vorlesen (Schiller 2004) oder beim Benennen (Meyer u. a. 2003) gemessen.

Benennen

Eine vielfach genutzte Methode, um im Rahmen eines Experimentes gesprochene Sprache hervorzulocken, ist die Bildbenennung. In ihrer

einfachsten Form sieht ein Proband das Bild eines Objekts und muss so schnell wie möglich den Objektnamen produzieren, z. B. das Wort *Apfel*. Die Zeit zwischen der Darbietung des Bildes und dem Artikulationsbeginn des Probanden wird gemessen. Mit einem solchen Versuchsaufbau kann man beispielsweise untersuchen, ob ein Sprecher für die Vorbereitung der Produktion eines langen Wortes länger braucht als für die eines kurzen Wortes. Man würde etwa die Reaktionszeiten für Wörter wie *Wolf* und *Luchs* mit denen für Wörter wie *Giraffe* und *Leopard* vergleichen. Die Bildbenennung kann auch geprint (voraktiviert, s. u.) werden – entweder durch zu lesende Wörter oder durch andere Bilder.

Einfache
Bildbenennung

Eine Variante der Bildbenennung ist das semantische Blocking (Kroll/Stewart 1994; Damian 2003). Hierbei werden vier oder fünf Objektabbildungen in unterschiedlicher Reihenfolge mehrmals hintereinander gezeigt und sollen benannt werden. Die Bilder werden entweder in einem semantisch homogenen (z. B. *Apfel*, *Birne*, *Kirsche*, *Apfel*, *Kirsche*, *Birne* ...) oder in einem semantisch heterogenen Block (z. B. *Hose*, *Apfel*, *Gabel*, *Apfel*, *Hose*, *Gabel* ...) dargeboten. Mit diesen Experimenten kann man Einsichten in die Repräsentation semantischen Wissens gewinnen. So benennen Probanden dasselbe Bild (z. B. *Apfel*) schneller, wenn es in einem heterogenen Block vorkommt, als wenn es in einem homogenen Block vorkommt.

Semantisches
Blocking

Eine weitere Variante der Bildbenennung ist die Bild-Wort-Interferenz. Dabei sieht ein Proband ein Bild eines Objekts, das er benennen soll. In diesem Bild steht neben dem Objekt aber auch ein Wort, ein sogenanntes Distraktorwort (Ablenkerwort). Der Proband wird instruiert, dieses Wort zu ignorieren. Dennoch hat die Beziehung zwischen dem Bildnamen und der Wortbedeutung Einfluss auf die Benennlatenz. Wenn das Distraktorwort ein echtes Wort der Sprache ist, sind die Reaktionszeiten immer länger, als wenn es eine Reihe von XXXX ist. Dies deutet darauf hin, dass das Wort entgegen der Instruktion, es zu ignorieren, gelesen und verarbeitet wird. Man beobachtet auch, dass die Reaktionszeiten länger sind, wenn das Distraktorwort zur selben semantischen Kategorie gehört wie das Zielwort (z. B. das Bild eines Apfels mit Distraktor *Birne*). Ist das Distraktorwort dagegen phonologisch überlappend mit dem Bildnamen (z. B. das Bild eines Apfels mit Distraktor *Applaus*), so sind die Reaktionszeiten schneller als bei phonologisch nicht überlappenden Wörtern.

Bild-Wort-
Interferenz

Eine Erweiterung des klassischen Bild-Wort-Interferenz-Paradigmas besteht in der Variation der zeitlichen Darbietung von Bild und

Stimulus-Onset-Asynchronie (SOA)

Wort (Stimulus-Onset-Asynchronie, SOA). Werden Bild und Wort gleichzeitig dargeboten, beträgt die SOA 0. Erscheint das Wort auf dem Bildschirm bevor das Bild präsentiert wird, ist dies eine negative SOA. Die Länge des Intervalls kann variieren: Bei einer SOA von -400 war das Wort bereits 400 Millisekunden (ms) lang zu sehen, bevor das Bild hinzukam, bei einer SOA von -50 war das Wort 50 ms vor dem Bild zu sehen. Bei positiver SOA erscheint erst das Bild und nach einer gewissen Verzögerung wird zusätzlich das Wort eingeblendet. Eine wichtige Beobachtung in diesem Zusammenhang ist, dass die Verlangsamung der Reaktionszeiten bei der Benennung des Bildes durch einen Distraktor aus derselben semantischen Kategorie bei in etwa gleichzeitiger Darbietung von Bild und Wort auftritt, die Beschleunigung durch ein phonologisch überlappendes Distraktorwort dagegen bei positiver SOA (erst Bild, dann Wort) (Schriefers u. a. 1990). Der zeitliche Rahmen speziell für die phonologischen Effekte variiert jedoch sehr stark.

Elizitierung von Nominalphrasen

Durch eine Änderung der Instruktion kann man die Einzelwortproduktion bei der Bildbenennung zur Produktion einfacher Nominalphrasen erweitern. Am einfachsten gelingt die sogenannte Elizitierung (d. h. das Hervorlocken einer bestimmten Äußerungsart in experimentellen Kontexten) von Nominalphrasen, wenn ein Bild mit seinem Namen und dem dazugehörigen Artikel benannt werden soll (z. B. *der Apfel*).

Produktion von Sätzen

Ein komplexerer Typ der Bildbenennung sind Aufgaben, in denen Probanden Zeichnungen kleiner Szenen sehen und diese mit einem Satz beschreiben sollen. In einer Studie sahen Probanden beispielsweise eine Kirche, in die ein Blitz einschlug. Hierauf kann man mit verschiedenen Antworten reagieren, aber durch das Bild ist die Anzahl der möglichen Reaktionen eingeschränkt, zum Beispiel *der Blitz schlägt in die Kirche ein* oder *die Kirche wird vom Blitz getroffen* (Bock 1986a). Bei solchen Aufgaben misst man üblicherweise keine Reaktionszeiten. Stattdessen will man wissen, wie sich bestimmte Eigenschaften der in der Szene dargestellten Aktanten auf die Wahl sprachlicher Mittel auswirken, z. B. ob Probanden im oben genannten Beispiel eher Aktiv- oder eher Passivsätze produzieren.

Priming (Voraktivierung)

Lexikalische Entscheidungsaufgaben und auch Aufgaben zum Benennen von Bildern werden häufig mit anderen experimentellen Techniken kombiniert, etwa mit dem Priming (Voraktivierung oder Bah-

nung). Hierbei wird dem Probanden vor der lexikalischen Entscheidungsaufgabe ein sogenannter Prime dargeboten und untersucht, ob dieser Prime die nachfolgende Entscheidung über ein Zielitem beeinflusst. Ein positiver Priming-Effekt liegt vor, wenn der Prime einen Verarbeitungsvorteil bewirkt, also die Reaktion schneller als ohne Vorgabe des Primes erfolgt. Ein negativer Priming-Effekt hingegen liegt vor, wenn der Prime zu einer Verlangsamung der Reaktionszeit, einer sogenannten Inhibition, führt. Beim direkten Priming (auch Wiederholungspriming) sind das Prime- und Zielitem identisch, beim indirekten Priming (auch assoziatives Priming) dagegen nicht. Beim assoziativen Priming können sich abhängig vom Typ der Beziehung zwischen Prime und Zielitem sowohl positive als auch negative Priming-Effekte zeigen. Beim semantischen Priming führt in lexikalischen Entscheidungsaufgaben die Darbietung eines semantisch relatierten Primes (z. B. *Minute*) zu einer deutlich schnelleren Reaktion auf das Zielitem (z. B. *Stunde*) als die Darbietung eines semantisch nicht relatierten Primes (z. B. *Kanone*). Wenn der Prime phonologisch nah zum Zielitem ist (z. B. Prime: *Runde*, Zielitem: *Stunde*), spricht man von phonologischem Priming (Mathey u. a. 2004). Neben semantischem und phonologischem Priming gibt es auch morphologisches Priming, beispielsweise zwischen dem Stamm und der flektierten Form eines Wortes, syntaktisches Priming zwischen Satzpaaren, graphemisches Priming zwischen graphematisch ähnlichen Wörtern und cross-modales Priming etwa mit Wort-Bild-Paaren. Weitere Variationsmöglichkeiten bestehen in der Komplexität des Primes (Wort, Satz oder Text), oder der gezielten Variation des Zeitintervalls zwischen der Darbietung des Primes und des Ziel-Stimulus. Priming-Aufgaben werden eingesetzt zur Untersuchung spezifischer Aspekte bei der Verarbeitung von Zweideutigkeiten (Ambiguitäten), bei der Worterkennung, in der Leseforschung und in der Sprachproduktion.

Semantisches
Priming

Phonologisches
Priming

Konditionierung und Präferenzmessungen

Untersuchungen an Babys und Kleinkindern erfordern Methoden, die ohne eine explizite Instruktion spontane, messbare Verhaltensreaktionen der Probanden erzeugen. Generell lässt sich in diesem Bereich zwischen solchen Untersuchungsparadigmen unterscheiden, die auf der Konditionierung, also dem Erlernen bestimmter Reiz-Reaktionsmuster fußen, und solchen, bei denen die Stärke einer spontanen Reaktion auf präsentierte Reize gemessen wird (Verfahren mit Präferenzmessungen).

Untersuchungs-
methoden für Babys
und Kleinkinder

Darüber hinaus werden in jüngerer Zeit auch verstärkt elektrophysiologische Messungen (s. u.) eingesetzt.

High-Amplitude-Sucking Verfahren

Konditionierte Reaktionen nach der Darbietung eines visuellen und/oder akustischen Reizes werden z. B. mit dem High-Amplitude-Sucking Verfahren und dem Verfahren der visuellen Fixation hervorgerufen. Das High-Amplitude-Sucking Verfahren ist eine der ältesten Methoden der Säuglingsforschung. Es wird die Stärke gemessen, mit der ein Kind an einem Schnuller saugt, während ihm ein akustischer Reiz präsentiert wird. Das Saugverhalten des Kindes korreliert mit seinem Interesse an diesem Reiz: je interessanter der Stimulus, umso höher ist die Saugrate. Das Paradigma wurde zunächst für die Untersuchung der Verarbeitung visueller Stimuli entwickelt (Siqueland/De Lucia 1969), aber schon kurze Zeit später auch zur Untersuchung der Sprachperzeption eingesetzt (Eimas u. a. 1971). Dem Kind wird nur dann ein akustischer Reiz präsentiert, wenn seine Saugstärke ein vorher definiertes Kriterium übersteigt. Säuglinge sind sehr schnell in der Lage, den Zusammenhang zwischen ihrer Saugstärke und der Verstärkung durch die Präsentation eines akustischen Reizes zu erkennen und lernen so, die Stimuluspräsentation durch ihr Verhalten zu steuern. Allerdings lässt die Saugstärke bei einer wiederholten Verstärkung durch immer denselben Reiz nach einer Weile nach, steigt jedoch wieder an, wenn ein anderer Verstärker geboten wird. Untersuchungen bestehen daher aus einer Habituiierungs- und einer Dishabituiierungsphase. In der Habituiierungsphase wird als Verstärker so lange derselbe Reiz geboten, bis die Saugreaktionen des Kindes unter ein bestimmtes Kriterium gesunken sind. Dann beginnt die Dishabituiierungsphase, in der ein neuer akustischer Reiz als Verstärker geboten wird. Zeigt das Kind in der Dishabituiierungsphase wieder eine stärkere Saugreaktion als am Ende der Habituiierungsphase, so wird deutlich, dass es die auditiven Reize unterscheiden kann. Das Paradigma ist von Geburt an nutzbar, kann aber wegen des nachlassenden Saugreflexes nicht über das erste halbe Lebensjahr hinaus eingesetzt werden.

Habituiierung und Dishabituiierung

Visuelle Fixation

Die Methode der visuellen Fixation basiert auf der Beobachtung, dass Fixierungszeiten auf einen visuellen Reiz (z. B. ein Gesicht oder ein grafisches Muster) mit einer gleichzeitigen akustischen Stimulierung korrelieren. So werden die Fixierungszeiten der Säuglinge länger, wenn der akustische Reiz verändert wird (Horowitz 1975). Die auditiven Stimuli werden nur dann präsentiert, wenn das Kind den visuellen Reiz fixiert, sodass die Fixierungsdauer als Maß der Aufmerksamkeit gegenüber dem auditiven Reiz angesehen werden kann.

Auch in diesem Paradigma gibt es eine Habituerungs- und eine Dishabituerungsphase. In der Phase der Habituerung werden den Babys in jedem Untersuchungsdurchgang die gleichen akustischen Reize dargeboten, beispielsweise eine konstante Silbe, bis die Fixierungszeiten um ein vorher definiertes Kriterium abfallen. In der Phase der Dishabituerung wird in verschiedenen Untersuchungsdurchgängen mal der bereits dargebotene Reiz und mal ein neuer akustischer Stimulus präsentiert. Ist das Kind in der Lage den Unterschied wahrzunehmen, also bei erfolgreicher Diskrimination, werden signifikant längere Fixierungszeiten bei Präsentation des veränderten Stimulus als für den bereits in der Habituerungsphase präsentierten Reiz erwartet. Wie andere Habituerungsparadigmen wird die visuelle Fixation im Wesentlichen für die Untersuchung von Diskriminationsleistungen eingesetzt, aber auch für die Überprüfungen des Wortlernens (im sogenannten Switch-Paradigma, Stager/Werker 1997). Sie eignet sich für Kinder ab dem vierten Lebensmonat.

Experimentelle Verfahren, die auf das Messen von spontanen Reaktionen eines Kleinkindes abzielen, indem es wahlweise seinen Kopf oder seinen Blick in eine bevorzugte Richtung bewegt, sind z. B. das Headturn Preference Paradigma und das Intermodal Preferential Looking Paradigma. Beim Headturn Preference Paradigma wird die Dauer einer spontanen Kopfdrehung gemessen, die das Kind zur Fixierung eines seitlich angebrachten Lautsprechers macht, während von diesem Lautsprecher ein akustischer Reiz präsentiert wird (Fernald 1985). Untersuchungen mit diesem Paradigma werden in einer Untersuchungskabine durchgeführt, in der an den seitlichen Wänden zwei Lampen sowie zwei Lautsprecher angebracht sind. In jedem Untersuchungsdurchgang werden akustische Reize nur von einem der seitlichen Lautsprecher bei gleichzeitigem Blinken der Lampe präsentiert, was typischerweise zu einer Kopfdrehung des Kindes in Richtung der Präsentationsseite führt. Die akustische Präsentation endet, wenn das Kind seinen Kopf abwendet. Dieses Verfahren wird derzeit in Untersuchungen zum frühen Spracherwerb am häufigsten verwendet, da es eine Fülle von Anwendungsbereichen bietet und auch das Altersspektrum der zu untersuchenden Kinder sehr breit ist, bis zu 24 Monaten.

Headturn Preference
Paradigma

Beim Intermodal Preferential Looking wird die Fixationszeit des Kindes auf zwei simultan nebeneinander präsentierte visuelle Stimuli (z. B. zwei Videosequenzen oder zwei statische Objektabbildungen) bei gleichzeitiger Präsentation eines auditiven Reizes gemessen (Golinkoff u. a. 1987). Das Intermodal Preferential Looking Paradigma

Intermodal
Preferential Looking

ist analog zu den üblichen Satz- oder Bild-Wort-Zuordnungsaufgaben aufgebaut, indem lediglich einer der beiden visuellen Reize zum sprachlichen Reiz passt, während der andere einen Distraktor darstellt (z. B. eine Abbildung von einem Apfel und einer Birne beim akustischen Reiz *Birne*). Anhand dieser Methode lassen sich Wort- und Satzverständnis überprüfen. Dabei können verschiedene abhängige Variablen genutzt werden: die Dauer der Gesamtfixation der visuellen Stimuli, der Ort der ersten Fixierung nach der Darbietung des auditiven Reizes oder die Latenz der ersten Fixierung auf das Zielbild nach Darbietung des auditiven Reizes. Eingesetzt wird das Verfahren ab Mitte des ersten Lebensjahres. Das Intermodal Preferential Looking wird zunehmend auch mit einer automatischen Blickbewegungsmessung durchgeführt.

Blickbewegungen

Grundlagen der Blickbewegungs- messung

Bei der automatischen Blickbewegungsmessung (Eyetracking) wird die Bewegung der Augen eines Probanden während des Lesens oder des Betrachtens von szenischen Abbildungen gemessen. Die Messung erfolgt, indem Infrarotlicht die Augen beleuchtet. Dabei sind die Position der Lichtquelle und vor allem ihre relative Position zu einem Monitor, auf den der Proband blickt, bekannt. Eine auf die Augen gerichtete Infrarotkamera nimmt das Auge auf, und anhand der Reflexion des Infrarotstrahls sowie der Position der Pupille kann berechnet werden, auf welche Stelle des Monitors der Proband geschaut hat. Die Daten können mit zwei verschiedenen Systemen erfasst werden: Entweder ist die Kamera mit einem Kopfband direkt am Kopf (head mounted system) befestigt oder sie befindet sich auf dem Versuchstisch. Für die Untersuchung von Kindern und Patienten bieten sich externe Systeme an, da so keinerlei Beeinträchtigungen bzw. Ablenkungen durch die Kopfkamera entstehen. Die meisten Systeme arbeiten mit Abtastraten zwischen 60 und 1000 Hertz, liefern also Datenpunkte im Abstand von 17 bzw. einer Millisekunde. Blickbewegungsmessungen werden vor allem in drei Bereichen eingesetzt: beim Lesen, bei der sprachlichen Beschreibung von Szenen und in sogenannten Visual World Paradigmen. Beim Lesen zeigt man Sätze auf dem Bildschirm und zeichnet auf, wie sich die Augen des Lesers über den Satz bewegen. Bei einer Szenenbeschreibung prüft man, ob die Reihenfolge der fixierten Objekte in der Szene systematisch mit der Wortreihenfolge im letztendlich produzierten Satz zusammenhängt. In Visual World Paradigmen hören Probanden gesproche-

Anwendungsbereiche

Visual World Paradigma

ne Sätze, während sie gleichzeitig auf einem Bildschirm verschiedene Bilder sehen. Hier wird erfasst, inwieweit die Blicke auf das Bild von den gehörten Sätzen beeinflusst werden.

Blickbewegungsaufzeichnungen versorgen Forscher mit einer Fülle von Daten. Theoretisch interessant sind z.B. die Fixationswahrscheinlichkeit, die Dauer der Erstfixation, die Gesamtfixationsdauer und die Regressionsrate. Unter der Fixationswahrscheinlichkeit versteht man die Wahrscheinlichkeit, dass – gemittelt über alle Probanden – ein Wort oder ein Objekt überhaupt betrachtet wird. Oft wird auch der zeitliche Verlauf der Fixationswahrscheinlichkeit untersucht und in einer Grafik wiedergegeben, die auf der x-Achse die Zeit und auf der y-Achse die Fixationsrate (von 0–100 %) zeigt. Die Dauer der Erstfixation gibt an, wie lange das Auge beim ersten Betrachten eines Wortes oder eines Objekts auf diesem verweilt. Die Gesamtfixationsdauer ist die Summe aller Fixationszeiten auf einem Wort oder einem Objekt. Bei der Untersuchung von Leseprozessen spielen neben den Fixationen auch die Sprünge der Augen, sogenannte Sakkaden eine besondere Rolle. Als progressive Sakkaden bezeichnet man Sprünge des Auges in Leserichtung, als regressive Sakkaden Rücksprünge in bereits gelesene Bereiche. Welche Maße in der Datenanalyse genutzt werden, hängt stark von der Fragestellung der jeweiligen Untersuchung ab.

Fixation

Sakkaden

2.2 Neurowissenschaftliche Methoden

Moderne neurowissenschaftliche Techniken erlauben es, kognitive Funktionen wie die Sprachverarbeitung im Gehirn zu lokalisieren und den zeitlichen Verlauf von Verarbeitungsprozessen darzustellen. Zu diesen Methoden zählen die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), die Positronen-Emissions-Tomographie (PET), die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) sowie die Elektroenzephalographie (EEG) bzw. die ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) und die Magnetenzephalographie (MEG). Diese werden zum Teil auch als bildgebende Verfahren bezeichnet, da sie innere Strukturen bzw. Prozesse grafisch abbilden.

Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Die fMRT (auch funktionelle Kernspintomographie, englisch: fMRI), gehört zu den sogenannten hämodynamischen oder metabolischen

Hämodynamische
Bildgebungs-
methoden

MRT-Scanner	<p>Bildgebungsmethoden, die auf Messungen der Änderung der Sauerstoffkonzentration im Blut beruhen. Die Messung findet in einem MRT-Scanner statt. Während die Probanden im MRT-Scanner liegen, bearbeiten sie verschiedene Aufgaben, dabei werden akustische Items per Kopfhörer, visuelle über einen Bildschirm oder spezielle Brillen dargeboten. Ziel ist die Untersuchung der Hirnareale, in denen es zu einer erhöhten Aktivierung kommt. Diejenigen Hirnareale, die beim Lösen der Aufgabe aktiv sind, werden farbkodiert in zwei- oder dreidimensionalen Bildern dargestellt.</p>
Neurovaskuläre Kopplung	<p>Die physiologische Grundlage der fMRT ist die sogenannte neurovaskuläre Kopplung, also der Zusammenhang von Nervenzellaktivität und Blutflussänderungen im Gehirn. Bei bestimmten kognitiven Funktionen beginnen bestimmte Nervenzellpopulationen aktiv zu werden, die Nervenzellen benötigen mehr Sauerstoff und Glukose. Der erhöhte Energiebedarf führt zur Ausweitung der umgebenden kleinen Kapillargefäße, wodurch ein lokaler Anstieg des Blutflusses und ein erhöhtes Blutvolumen erreicht werden. Dieses neu zufließende Blut bringt über den Sauerstoffträger Hämoglobin einen Überschuss an Sauerstoff zu den Nervenzellen. Folglich steigt lokal die Konzentration von sauerstoffreichem Hämoglobin an, wogegen die Konzentration von sauerstoffarmem Hämoglobin abfällt. Diese Konzentrationsänderungen bilden die Grundlage für das fMRT-Signal,</p>
BOLD-Signal	<p>das auch als BOLD-Signal oder BOLD-Imaging (englisch für Blood-Oxygen-Level-Dependent) bezeichnet wird. Die Signaländerung ist – verglichen mit der Nervenzellaktivität – sehr langsam: erst ca. 2 Sekunden nach Reizdarbietung steigt das BOLD-Signal an, erreicht sein Maximum nach ca. 6 Sekunden und fällt dann wieder ab, um sein Ausgangsniveau nach ca. 12 bis 15 Sekunden zu erreichen. Die fMRT ist damit eine indirekte und zeitlich sehr verzögerte Methode zur Messung von Hirnaktivität.</p>
Subtraktions- und parametrische Designs	<p>Da die BOLD-Signaländerungen sehr gering sind, müssen die sprachlichen Aufgaben wiederholt dargeboten (ca. 50 bis 100 Wiederholungen von Aufgaben pro Bedingung) und meist auch mehrere Probanden als Gruppe untersucht und analysiert werden. Um die Signaländerung einer spezifischen kognitiven Funktion zuschreiben zu können, werden entweder Subtraktionsdesigns oder parametrische Designs verwendet. Bei den Subtraktionsdesigns werden die Probanden abwechselnd mit einer Experimental- und einer Kontrollaufgabe konfrontiert. Die Kontrollaufgabe unterscheidet sich nur in einem Parameter von der Experimentalaufgabe, z. B. wird die Verarbeitung von belebten Objekten (Experimentalbedingung) mit der Verarbei-</p>

tung unbelebter Objekte (Kontrollbedingung) verglichen, dabei sollte die Länge der Worte, die Wortfrequenz etc. sich nicht zwischen den Bedingungen unterscheiden. Bei parametrischen Designs wird die zu untersuchende Variable in mindestens drei Abstufungen präsentiert. Beispielsweise könnte man die Verarbeitung von Wörtern mit niedriger, mittlerer und hoher Wortfrequenz untersuchen, um Hirnareale zu erkennen, die mit fallender Wortfrequenz ihre Aktivität steigern. Die zeitliche Abfolge der Darbietung der Reize kann entweder in Blöcken (Blockdesign) oder als zufällig verteilte einzelne Reize (Event-related Design, vergleichbar zu EEG-Studiendesigns, s. u.) erfolgen.

**Blockdesigns und
Event-related
Designs**

Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Neben den fMRT-Studien kann die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) für die Bildgebung kognitiver Funktionen eingesetzt werden. Bei dieser Methode wird den Teilnehmern eine schwach radioaktive Substanz (genannt Tracer) appliziert und gemessen, in welchen Hirnarealen sich diese Substanz bei einer kognitiven Aufgabe anreichert. Der PET-Scanner detektiert die Gammastrahlung, die beim Aufeinanderprallen von Positronen und Elektronen entsteht. Hirnareale mit gesteigertem Stoffwechsel können dann farbkodiert dargestellt werden. Typischerweise werden Blockdesigns mit einer Experimental- und einer Kontrollaufgabe verwendet. Vorteil der Methode ist, dass die Tracer-Substanz auch so gewählt werden kann, dass sie bestimmte neurochemische Prozesse im Gehirn sichtbar machen kann (z. B. die Bildung und Speicherung des Neurotransmitters Dopamin). Nachteilig ist jedoch, dass es sich durch die notwendige Applikation eines Tracers um eine invasive (d. h. in den Körper eingreifende) Methode handelt. Daher wurde die Methode in der kognitiven Neurowissenschaft teilweise von der fMRT abgelöst.

PET

Tracer

Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS)

Die optische Bildgebung (auch Nahinfrarot-Spektroskopie NIRS genannt) basiert wie die fMRT auf dem Prinzip der neurovaskulären Kopplung (s. o.). Die Konzentrationsänderung sauerstoffarmen und -reichen Hämoglobins wird aber nicht anhand eines Magnetfeldes, sondern mithilfe von Licht im nahinfraroten Bereich gemessen. Hierfür wird Licht mit zwei verschiedenen Wellenlängen in den Kopf eingestrahlt. Das Licht durchdringt die Haare, Kopfhaut und Knochen

Optische Bildgebung

und erreicht die obersten Kortexschichten. Je nach Konzentration von sauerstoffarmem und -reichem Hämoglobin werden die Photonen spezifisch gestreut und absorbiert. Ein Teil der Photonen gelangt wieder an die Kopfoberfläche und wird von einem Detektor (einer hochempfindlichen Kamera) aufgenommen. Die räumliche Auflösung dieser Methode ist geringer als bei der fMRT, zudem können nur Signale aus den äußeren Kortexschichten gemessen werden. Jedoch hat die Methode auch Vorteile: sie ist im Gegensatz zum MRT-Scanner geräuschlos und eignet sich daher sehr gut zur Untersuchung feiner akustischer Verarbeitungsprozesse. Die NIRS kann sehr einfach mit dem EEG (mit seiner exzellenten zeitlichen Auflösung) kombiniert werden, die gemessenen Signale beeinträchtigen sich nicht gegenseitig. Die Methode ist relativ einfach anzuwenden und eignet sich auch sehr gut für die Untersuchung von Kindern und Säuglingen, die während der Untersuchung auf dem Schoß von Mutter oder Vater sitzen können.

Elektroenzephalographie (EEG) und ereigniskorrelierte Potenziale (EKP)

Mit einer Elektroenzephalographie (EEG) kann die summierte elektrische Aktivität des Gehirns durch Aufzeichnung der Spannungsschwankungen (Potenziale) an der Kopfoberfläche gemessen werden (Berger 1929). Dafür muss eine Spannungsdifferenz hergestellt werden. Dies geschieht mithilfe von Elektroden, die nach einer standardisierten Anordnung auf der Schädeloberfläche angebracht werden (Sharbrough u. a. 1991), sowie durch eine oder mehrere Referenzelektroden. Referenzelektroden sind Elektroden, die an einem elektrisch möglichst neutralen Ort (z. B. Schläfenbein bzw. Mastoid) angebracht werden. Sie dienen als Vergleichselektroden. Die gemessenen Potenzialverschiebungen (Hirnströme) des EEGs entstehen durch die gleichzeitige Aktivierung von Nervenzellverbänden im Kortex. Diese Potenziale werden im EEG grafisch, in Form von Wellen dargestellt, welche hinsichtlich unterschiedlicher Formen (Spontan- oder Grundaktivität) sowie nach ihren Frequenzen (Schwingungen pro Sekunde, also Hertz/Hz) klassifiziert werden. Die im EEG aufgezeichneten Wellenverläufe können in Abschnitte aufgeteilt werden, die einen festen zeitlichen Bezug z. B. zu einem experimentellen Ereignis haben. Somit entsteht aus dem EEG das EKP, das sogenannte ereigniskorrelierte Potenzial (EKP, englisch: ERP, Event-Related Potential). Diese Methode ist gerade für die Erforschung von (Sprach-)Ver-

Elektroden

Aktivierung von
Nervenzellverbänden

arbeitungsprozessen interessant, da sie die Informationsverarbeitung während ihres Verlaufs (online) in Millisekunden – also mit einer sehr hohen Zeitauflösung – ‚sichtbar‘ macht und damit ein kontinuierliches Maß über die gesamte Dauer des zu beobachtenden Verarbeitungsprozesses liefert. (Zur EKP-Methode in Verbindung mit der Satzverarbeitung → KAPITEL 8). Eine weitere Methode ist die Magnetenzephalographie (MEG). Eine Beschreibung der Methode und ihrer Anwendung findet sich bei Hubert Preissl (Preissl 2005).

Fragen und Anregungen

- Überlegen Sie, warum es notwendig ist, spezielle Methoden der Verhaltensmessung für Babys und Kleinkindern anzuwenden.
- Welches Signal wird mit der fMRT gemessen und wofür steht diese Abkürzung?
- Erläutern Sie, wodurch sich EKP und EEG unterscheiden – was wird hier gemessen?
- In älteren Einführungen in die Psycholinguistik kann man lesen, dass sich die Sprachproduktion deutlich schlechter experimentell untersuchen lässt als die Sprachrezeption. Können Sie sich diese Diskrepanz erklären? Trifft diese Aussage Ihrer Meinung nach noch zu?
- Sie planen eine lexikalische Entscheidungsaufgabe mit phonologischem Priming. Beispiele für die Zielitems (Wort/Nichtwort) sind: *Hut/Het, Tisch/Tesch, Band/Bönd, Tür/Tar*. Welche Primes könnten verwendet werden?

Lektüreempfehlungen

- **Kathryn Bock: Language Production: Methods and Methodologies**, in: *Psychonomic Bulletin and Review* 3, 1996, S. 395–421. *Inzwischen nicht mehr ganz aktueller (da neuere elektrophysiologische Messmethoden noch nicht berücksichtigt werden), aber immer noch sehr ausführlicher Überblicksartikel über Methoden in der Sprachproduktionsforschung.*

- **François Grosjean / Ulrich H. Frauenfelder (Hg.): Language and Cognitive Processes 11**, London 1996. *Spezialausgabe der Zeitschrift, die vollständig dem Thema „Spoken Word Recognition Paradigms“ gewidmet ist. Zu jedem Paradigma wird vorgestellt, wie es aufgebaut ist, wann und von wem es zuerst verwendet wurde, was damit üblicherweise gemessen wird und was seine Stärken und Schwächen sind.*
- **Peter Jezzard / Paul M. Matthews / Stephen M. Smith: Functional MRI: An Introduction to Methods**, Oxford 2001. *Eine umfassende Einführung in Grundlagen, Design und Datenanalyseschritte der funktionellen Magnetresonanz-Tomographie.*
- **Jamie Ward: The Student's Guide to Cognitive Neuroscience**, East Sussex 2. Auflage 2010. *Die Kapitel „The Electrophysiological Brain“ und „The Imaged Brain“ geben einen exzellenten Überblick über die neurowissenschaftlichen Methoden.*