



Abteilung Neuropsychologie, Labor für Kindersprachforschung

Forschungsbericht 2011

1. Gehirn, Sprache und Merkfähigkeit
2. Wie Säuglinge neue sprachliche Regeln entdecken



1. Gehirn, Sprache und Merkfähigkeit

Was war das Ziel der Studie?

Das Gehirn ist ein komplexes Gebilde. Bei genauerer Betrachtung erkennt man, dass das Gewebe unterschiedliche Farben aufweist. In der grauen Substanz befinden sich die Nervenzellen. Die weiße Substanz enthält vorwiegend Nervenfasern, also die Verbindungsfasern zwischen verschiedenen Hirnbereichen. Der größte Anteil der Nervenzellen wird noch vor der Geburt gebildet. Nach der Geburt entwickeln sich vor allem Verknüpfungspunkte zwischen Nervenzellen (Synapsen), die ebenfalls der grauen Substanz angehören. In den meisten Hirnbereichen nimmt bis zum Vorschulalter die graue Substanz stetig zu, in manchen sogar bis in die Jugend. Danach nimmt sie mit dem Alter stetig ab.

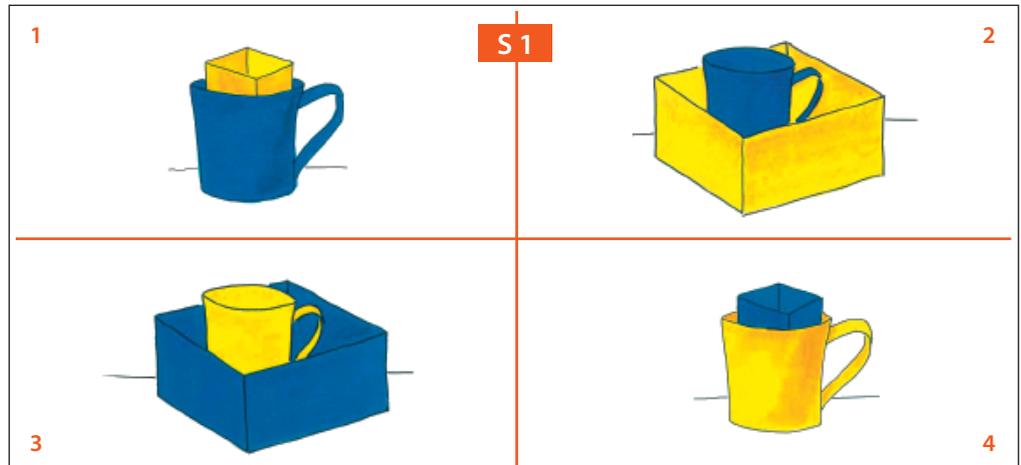
Wir wollten genauer untersuchen, ob es dabei einen Zusammenhang mit der Sprachentwicklung gibt. Dazu haben wir Vorschul- und Schulkinder zwischen 5 und 8 Jahren eingeladen und mittels Kernspintomographie ein neuroanatomisches Bild des Gehirns aufgenommen. Diese Bilder bestehen aus vielen kleinen Bildpunkten, von denen jeder entweder grau oder weiß ist, also entweder zur grauen (Nervenzellen) oder zur weißen Substanz (Nervenfasern) gehört. Schließlich kann man die Menge der Bildpunkte, die der grauen oder weißen Substanz in einer bestimmten Region angehören, auszählen. Wir wollten nun herausfinden, ob es einen Zusammenhang zwischen der Menge an grauer Substanz in bestimmten Hirnregionen und der Entwicklung der Sprach- oder der Merkfähigkeiten bei Kindern gibt.

Wie war das Experiment aufgebaut?

Die Kinder wurden in der Woche vor der neuroanatomischen Aufnahme eingeladen, um das Stilliegen im Kernspintomographen zu üben. Dabei durften sie ein Video ansehen. Anschließend wurden der Sprachstand und die Merkspanne des Kindes bestimmt.

Die sprachlichen Fähigkeiten der Kinder wurden mit einem Test überprüft, bei dem die Kinder einen Satz hörten und dazu vier Bilder sahen, aus denen sie das zum Satz passende auswählen sollten. Zusätzlich haben die Kinder einen Test zur Merkfähigkeit mitgemacht, bei dem sie sich die Reihenfolge von Zahlen merken sollten.

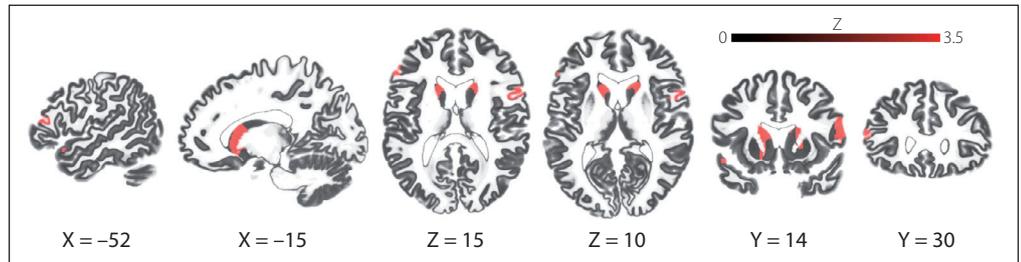
Ein paar Tage später kamen die Kinder für die Aufnahme im Kernspintomographen wieder. Auch dabei durften sie ein Video ihrer Wahl anschauen.



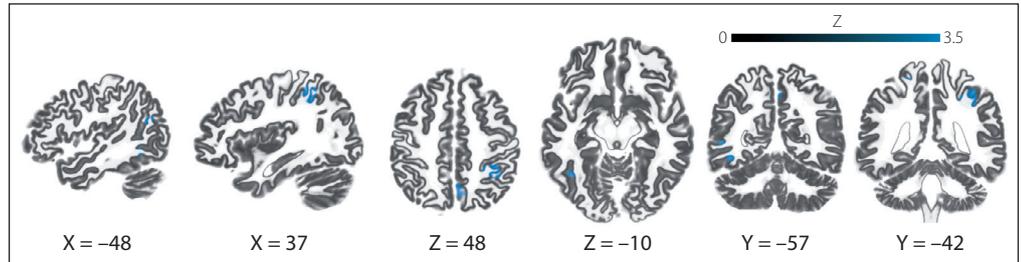
Die Tasse, in der die Kiste ist, ist gelb.

Was waren die Ergebnisse?

Auf dieser Abbildung ist die graue Substanz des Gehirns dargestellt. Die roten Markierungen zeigen Hirnbereiche, in denen die Kinder, die besser im Sprachtest abgeschlossen haben, mehr graue Substanz aufweisen. Diese Bereiche liegen im Frontallappen und im Schweifkern, welche sich im vorderen Teil des Gehirns befinden.



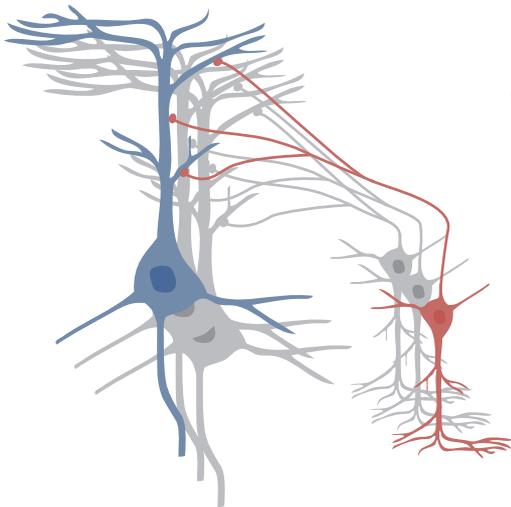
Hier sind die Hirnbereiche dargestellt, die mit der Merkfähigkeit zusammenhängen. In den blau markierten Regionen im Scheitellappen, welcher im hinteren Teil des Gehirns liegt, zeigen diejenigen Kinder mehr graue Substanz, die sich längere Zahlenfolgen merken können.



Was bedeuten die Ergebnisse?

Die Studie konnte zeigen, dass Kinder mit besseren Sprachfähigkeiten mehr graue Substanz, also mehr Nervenzellen und Verknüpfungspunkte zwischen den Nervenzellen, in den rot markierten Regionen besitzen. Kinder mit einer höheren Merkfähigkeit besitzen mehr graue Substanz in den blau markierten Hirnbereichen.

Das Interessante der Ergebnisse ist, dass genau diese rot und blau markierten Hirnbereiche dafür bekannt sind, bei Erwachsenen aktiv zu sein, wenn sie Sätze verarbeiten bzw. sich Sprache merken müssen. Ob nun das Mehr an grauer Substanz schon von Geburt an besteht und somit eine besonders gute Grundlage für den Erwerb der Sprach- und Merkfähigkeit bildet oder ob das Mehr an grauer Substanz durch Übung entsteht, muss noch genauer untersucht werden. Außerdem weiß man, dass das Sprachverständnis u.a. von der Merkfähigkeit abhängt. Kinder, die sich besonders lange Zahlenfolgen merken können, können ebenfalls längere Sätze besser verstehen. Welche Rolle die Nervenfasern spielen, die die rot und blau markierten Hirnbereiche miteinander verbinden, soll in einer 2012 beginnenden Langzeitstudie untersucht werden.





2. Wie Säuglinge neue sprachliche Regeln entdecken

Was war das Ziel unserer EEG-Studien?

Vereinfacht ausgedrückt, besteht Sprache aus Wörtern und grammatikalischen Regeln. Diese Regeln beziehen sich oft auf Wörter oder Wortteile, die im Satz nicht nebeneinander stehen.

Zum Beispiel:

Das Baby hat über das Lied gelacht.

Das Baby konnte über das Lied lachen.

Diese Sätze beinhalten sogenannte nicht-benachbarte Abhängigkeiten. Das heißt, dass bestimmte Wörter (hat/konnte) die Form anderer Wörter, die später im Satz auftreten, bedingen (gelacht/lachen). Solche Regeln sind bestimmend für menschliche Sprache und Verhaltensbeobachtungen haben gezeigt, dass Kinder diese bereits im Verlauf ihres zweiten Lebensjahres erlernen können.

Unser Ziel war es, in mehreren EEG-Studien herauszufinden, ob Kinder schon zu einem viel früheren Zeitpunkt nicht-benachbarte Abhängigkeiten erlernen können als bisher angenommen, nämlich schon im Alter von drei bis vier Monaten. Der Vorteil der EEG-Methode, also der Aufzeichnung von Gehirnströmen, ist, dass ein Säugling dabei keine Frage beantworten oder eine bestimmte Reaktion

zeigen muss. Stattdessen dienen Gehirnströme dazu, Hinweise auf Sprachlernprozesse zu einem Zeitpunkt zu liefern, zu dem Kinder nach außen noch keine spezifischen Reaktionen auf bestimmte sprachliche Merkmale zeigen. Um sicherzustellen, dass die Säuglinge wirklich etwas Neues im Experiment erlernen und nicht auf Bekanntes zurückgreifen, wählten wir in der ersten Studie eine für sie bislang noch unbekannte Sprache, nämlich Italienisch. In der zweiten Studie verwendeten wir eine Art „Aliensprache“, bei der monoton gesprochene Silben so aneinandergereiht sind, dass Wörter ohne Bedeutung entstehen.



Dr. Claudia Männel im Gespräch mit einer jungen Studienteilnehmerin und ihrer Mutter während einer EEG-Studie im Babylabor.



EEG-Studie 1: Italienisch für Anfänger

Wie war das Experiment aufgebaut?

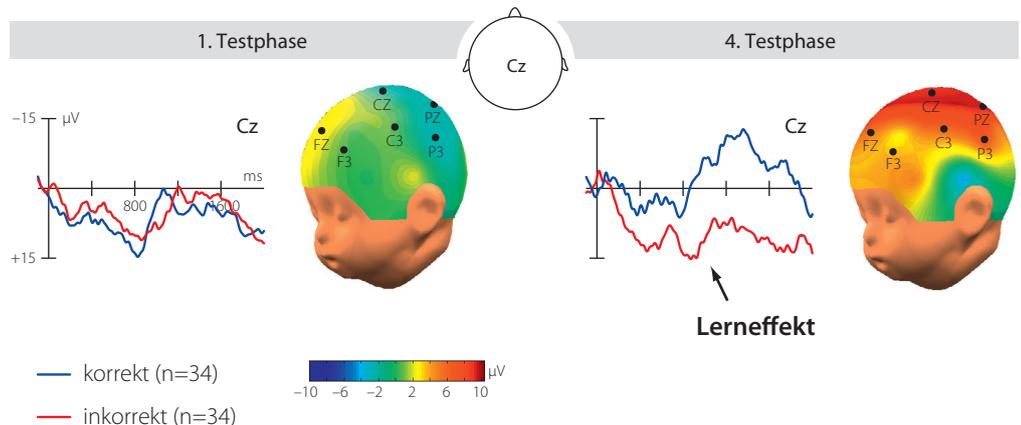
In diesem EEG-Experiment wurden vier Monate alten Kindern italienische Sätze vorgespielt. Die Sätze enthielten jeweils eine von zwei nicht-benachbarten Abhängigkeiten zwischen Wörtern bzw. Wortteilen. Trat das Wort *può* auf, folgte darauf ein Tätigkeitswort mit der Endung *-are*, z.B. *il fratello può cantare* (Der Bruder kann singen). Trat das Wort *sta* auf, folgte darauf ein Tätigkeitswort mit der Endung *-ando*, z.B. *la sorella sta cantando* (Die Schwester singt gerade). Das Experiment bestand aus einer Abfolge von vier Lern- und Testphasen. In einer Lernphase wurden den Säuglingen für ca. drei Minuten nur korrekte Beispiele italienischer Sätze vorgespielt, in einer Testphase hörten sie für ca. eine Minute korrekte und inkorrekte Beispiele. Bei inkorrekten Beispielen wurde die Regel zwischen den Elementen *può/sta* und *-are/-ando* verletzt, das heißt, dass z.B. nach dem Wort *sta* nicht wie zu erwarten *-ando* auftrat, sondern fälschlicherweise *-are*, z.B. *la sorella sta cantare* (Die Schwester kann singt).

Uns interessierte, ob sich die Gehirnstromkurven für die Endungen *-are* und *-ando* in korrekten und inkorrekten Sätzen unterschieden. Unterschiede würden bedeuten, dass die Säuglinge die Regel zwischen den nicht-benachbarten Wörtern in den Lernphasen entdeckt haben, und das, obwohl sie kein Italienisch können.

Was waren die Ergebnisse?

Die Gehirnstromkurven zeigen, dass nach der ersten Lernphase von ca. drei Minuten noch keine Unterschiede zwischen den Endungen der Tätigkeitswörter in korrekten und inkorrekten Sätzen vorhanden sind. Das Gehirn unterscheidet also noch nicht zwischen korrekten und inkorrekten Sätzen. Nach der 4. Lernphase jedoch, nach insgesamt nur 13 Minuten Lernzeit, kann das Gehirn von vier Monate alten Säuglingen Regelverletzungen, die sich auf nicht-benachbarte Wortteile beziehen, schon entdecken.

In der 1. Testphase (links) verlaufen die rote Gehirnstromkurve, die in Reaktion auf die inkorrekten Wortendungen gemessen wurde und die blaue Kurve, die für die korrekten Wortendungen gemessen wurde, nahezu identisch. In der 4. Testphase (rechts) zeigt die rote Kurve eine stärkere Auslenkung nach unten als die blaue Kurve. Dieser Unterschied bedeutet, dass die Regel nach nur kurzer Zeit erlernt wurde.



EEG-Studie 2: Aliensprache für Kleine und Große

Wie war das Experiment aufgebaut?

In diesem EEG-Experiment wurden drei Monate alten Kindern neu erfundene Fantasiewörter vorgespielt, die jeweils aus drei Silben bestanden, z.B. **fi-ka-to** und **le-wa-bu**. Die Silben wurden mit monotoner Stimme gesprochen aneinandergereiht, da die Kinder nicht auf sprachmelodische Eigenschaften, sondern allein auf den Aufbau der Fantasiewörter achten sollten. Die Fantasiewörter beinhalteten zwischen der ersten und der letzten Silbe eine nicht-benachbarte Abhängigkeit, so dass die erste Silbe die letzte bedingte. Das heißt, **fi...to** und **le...bu** traten jeweils zusammen auf, die mittlere Silbe konnte variieren. Das Experiment bestand zu 80 % aus Fantasiewörtern, die dieser Regel folgten. Weil im Gehirn normalerweise automatisch alles registriert wird, was selten auftritt, führten wir verschiedene Abweichungen von den sehr häufig auftretenden regelkonformen Fantasiewörtern ein. In 10 % der Fälle gab es Abweichler, die zwar regelkonforme Fantasiewörter waren, bei denen aber die letzte Silbe mit einer höheren Stimme gesprochen war als alle anderen Silben. Zusätzlich gab es in 10 % der Fälle Fantasiewörter, bei denen die Regel der nicht-benachbarten Abhängigkeit verletzt war, bei denen also fälschlicherweise **fi...bu** auftrat sowie **le...to**. Alle drei Fantasiewortarten (regelkonforme, die mit der hohen Stimme und die Regelverletzungen) wurden den Kindern für ca. 20 min in gemischter Reihenfolge vorgespielt. Zum Vergleich der Regellernfähigkeiten von noch sehr jungen und bereits erfahrenen Sprachlernern führten wir die Studie nicht nur mit Säuglingen, sondern auch mit Erwachsenen durch.

Uns interessierte, ob das Gehirn die jeweiligen Abweichungen entdeckt und dies durch die Gehirnstromkurven für die häufig und die selten auftretenden Wörter gezeigt wird. Unterschiede in den Gehirnstromkurven zwischen den regelkonformen Wörtern und den Wörtern mit Regelverletzung würden bedeuten, dass die Säuglinge die Regel zwischen den nicht-benachbarten Silben, einfach durch das häufige Hören der Regel im Experiment, entdeckt und gelernt haben. Für Stimmabweichungen ist bekannt, dass Säuglinge solche Unterschiede bereits sehr früh und gut entdecken können. Allerdings zeigt sich diese Fähigkeit oft mit unterschiedlichen Mustern in den Gehirnstromkurven, was durch das Alter der Kinder oder ihren Entwicklungsstand bedingt sein kann. Wir wollten nun wissen, ob das jeweilige Muster für die akustischen Unterschiede Auskunft über das Entdecken der Regelverletzung geben kann, beide Fähigkeiten also zusammenhängen.

Was waren die Ergebnisse?

Betrachtet man zunächst die Ergebnisse für die akustischen Abweichungen, zeigen die Gehirnstromkurven, dass tatsächlich alle Säuglinge das Auftreten der höheren Silbe registrieren. Allerdings unterscheiden sich die Muster, das heißt, für einen Teil der Kinder verlaufen die Kurven in Reaktion auf die höhere, letzte Silbe mit einer stärkeren Auslenkung nach oben, für andere Kinder mit einer stärkeren Auslenkung nach unten. Interessanterweise zeigt sich nur für die Kinder mit einer Auslenkung nach oben, dass diese Kinder die grammatikalische Regel erlernt haben. Es besteht also, wie vermutet, ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Art und Weise, einfache akustische Unterschiede zu verarbeiten und der Fähigkeit, grammatikalische Regeln zu erwerben. Unsere Ergebnisse bedeuten auch, dass im Alter von drei Monaten nur

fi-ka-to

le-wa-bu

fi-sa-to

fi-me-to

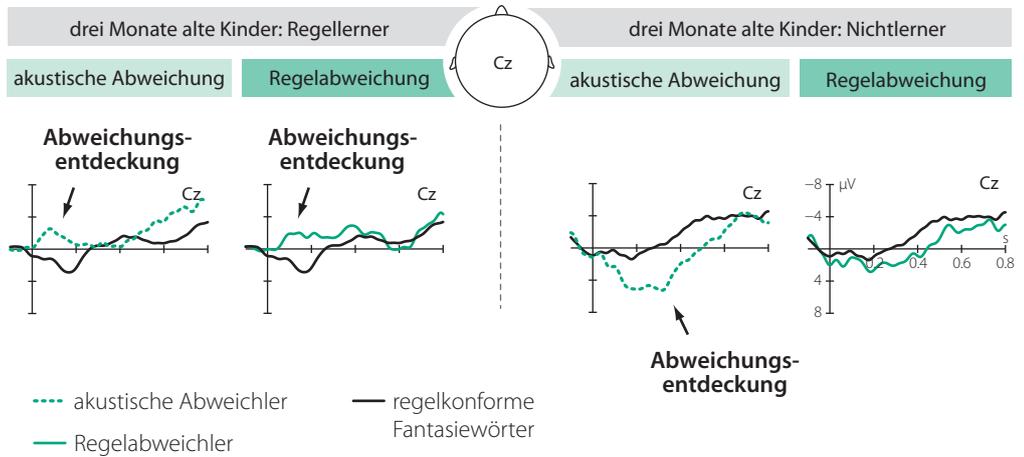
fi-so-to

le-se-bu

le-no-to

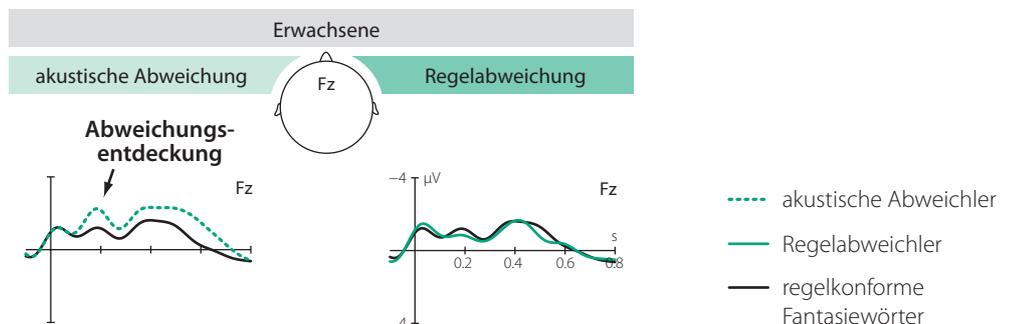
manche Kinder die Regelverletzung entdecken. Es ist vorstellbar, dass sich die Unterschiede zwischen den Kindern über den Entwicklungsverlauf aufheben oder dass sie erste Anzeichen für unterschiedliche Fähigkeiten sind, die auch oft noch im Erwachsenenalter bestehen. Zum Beispiel fällt es manchen leichter, eine Fremdsprache zu erlernen, wohingegen es anderen eher schwer fällt.

Die Gehirnstromkurven für die Kinder zeigen, dass es eine Gruppe gibt, die die Regel entdeckt hat (links) und eine Gruppe, die die Regel nicht entdeckt hat (rechts). Nur für die Kinder, bei denen die Kurve für die akustischen Abweichler weiter oben verläuft, gibt es Unterschiede zwischen den Kurven für regelkonforme (schwarz) und nicht-konforme (grün) Fantasiewörter. Für die Kinder, bei denen die Kurve für akustische Abweichler weiter unten verläuft, sind die Kurven für regelkonforme und nicht-konforme Fantasiewörter nahezu gleich, die Regel wurde also nicht entdeckt.



In unserer Studie wurden Unterschiede zwischen Säuglingen und Erwachsenen beim Lernen deutlich. Als Erwachsene dieselben Fantasiewörter hörten, zeigten sich in den Gehirnstromkurven zwar Unterschiede für die akustischen Abweichungen aber keine für die Regelabweichungen, für letztere verliefen die Kurven fast identisch. In einem weiteren Experiment waren Erwachsene erst in der Lage, die Regel zu erlernen, wenn sie eine genaue Aufgabenstellung erhielten. In diesem Fall wussten sie genau, worauf sie achten sollten, wobei auch hier nicht alle Erwachsenen die Regel entdeckten. Erwachsene lernen also, wenn sie grammatikalische Regeln erwerben, auf eine andere Art und Weise als Säuglinge und benötigen dafür genaue Anweisungen, um ihre Aufmerksamkeit auf die Struktur des Gehörten richten zu können.

Die Gehirnstromkurven für die Erwachsenen zeigen Unterschiede für die akustische Abweichung (die Kurve für die akustischen Abweichler verläuft weiter oben), aber nicht für die Regelabweichung. Hier verlaufen beide Kurven nahezu identisch, was heißt, dass die Erwachsenen die Regel nicht entdeckt haben, obwohl sie akustische Unterschiede wahrnehmen können.





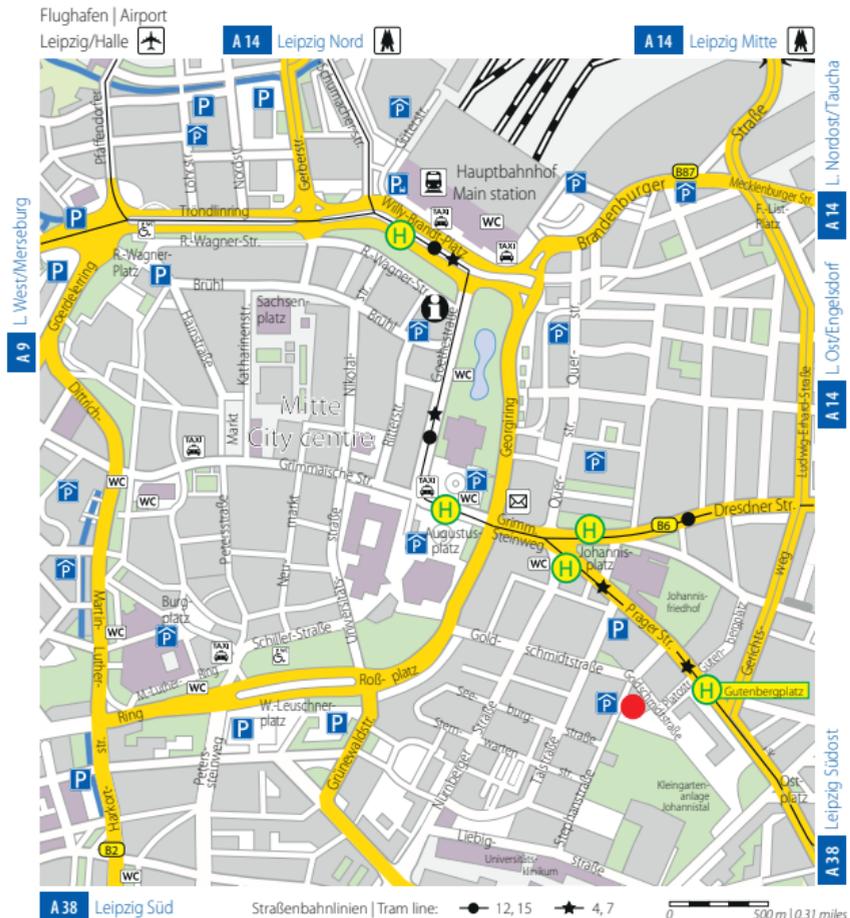
Was bedeuten die Ergebnisse?

Die Ergebnisse aus beiden Studien zeigen, dass komplizierte grammatikalische Regeln weit früher erlernt werden können als bisher vermutet. Kinder können Regeln zwischen nicht-benachbarten Wortteilen nicht erst im zweiten Lebensjahr, sondern bereits im Alter von drei bzw. vier Monaten entdecken, in einem Alter also, in dem Säuglinge noch weit davon entfernt sind, selbst sprachliche Äußerungen hervorzubringen. Auch wenn das Lernen noch nicht direkt im Verhalten beobachtbar ist, filtern die Kleinen schon grundlegende und relativ komplizierte Regeln aus ihrer Sprachumwelt und tun das auf eine andere Art und Weise als Erwachsene. Grammatik interessiert also keineswegs nur ältere Vorschul- oder Schulkinder, sie wird auch schon im Alter von wenigen Monaten in ersten kleinen Schritten entschlüsselt.

Diese Fähigkeiten von drei und vier Monate alten Säuglingen sind faszinierend und eröffnen neue Perspektiven auf den Entwicklungsstand der kleinen Sprachlerner. In diesem Zusammenhang stellen sich viele neue Fragen. Wie lange können sich Säuglinge einmal gelernte Regeln merken? Wie verändert sich das Lernen sprachlicher Regeln in den ersten Lebensjahren? Welche Eigenschaften des sprachlichen Signals (z.B. Lauteigenschaften, Tonhöhe und Pausen) ermöglichen oder erleichtern das Regellernen? Diese Fragen versuchen wir in Folgestudien zum frühkindlichen Erwerb sprachlicher Regeln zu beantworten.



Katja Kirsche mit einem jungen EEG-Studienteilnehmer.



Ihre direkten Ansprechpartner sind:

- Heike Boethel (Babylabor)
 Telefon: 0341 9940-2252
 Fax: 0341 9940-113
 E-Mail: boethel@cbs.mpg.de

- Katja Kirsche (Kinderlabor)
 Telefon: 0341 9940-196
 Fax: 0341 9940-113
 E-Mail: kirsche@cbs.mpg.de



Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften
 Stephanstraße 1 A • 04103 Leipzig
 Telefon: 0341 99 40-00 • Fax: 0341 99 40-104
 www.cbs.mpg.de • info@cbs.mpg.de

