



Abteilung Neuropsychologie, Labor für Kindersprachforschung

## Forschungsbericht 2015

1. **Grammatikerwerb bei Säuglingen – Können Babys komplexe, hierarchische Regeln verarbeiten?**
2. **Kann man das Risiko für eine spätere Lese-Rechtschreibschwäche bereits im Vorschulalter bestimmen?**





## Studie 1: Grammatikerwerb bei Säuglingen – Können Babys komplexe, hierarchische Regeln verarbeiten?

### Fragestellung

Das Verstehen der Muttersprache, das Spielen eines Musikinstrumentes, das Lösen mathematischer Gleichungen oder das Planen eines Schachzuges – all diese Fertigkeiten haben gemeinsam, dass man dafür in der Lage sein muss, hierarchische Regeln zu verarbeiten. Während eine einfache Regel ein Element mit einem anderen benachbarten oder weiter entfernten Element verbindet (siehe Beispiel 1), bedeutet eine Einbettung, dass mehrere Regeln ineinander verschachtelt sind (siehe Beispiel 2).

Der Hund **hatte** ein Kaninchen **gesehen**, und jagte ihm nach.

Beispiel 1: Hier ist ein Beispiel für eine einfache Regel in der Sprache zu sehen.

Marie, die das Mädchen aus dem Zug **erkannte**, freute sich.

Beispiel 2: Dieses Beispiel zeigt eine Doppeleinbettung in der Sprache.

Einige Forscher vermuten, dass allein der Mensch, im Gegensatz zu anderen Spezies, wie Singvögeln oder Affen, dazu befähigt ist, komplexe eingebettete (oder hierarchische) Regeln zu verarbeiten. Der Mensch wird auch als „dendro-phil“ bezeichnet, was bedeutet, dass er komplexe, verschachtelte Strukturen „liebt“ und automatisch, oft auch unbewusst, nach komplexen Regelmäßigkeiten sucht, selbst da wo sie gar nicht vorhanden sind.

Während man weiß, dass erwachsene Menschen solche eingebetteten Regeln bis zu einem gewissen Grad an Komplexität verarbeiten können, ist bisher unklar, zu welchem Zeitpunkt in der Entwicklung diese Fähigkeit erworben wird. Ausgehend von den bisherigen Forschungsergebnissen aus unserem Babysprachlabor, wissen wir, dass Säuglinge bereits viel weiter entwickelte Fähigkeiten besitzen, als bisher angenommen wurde. So können zum Beispiel 3 Monate alte Säuglinge bereits einfache Regeln innerhalb einer Abfolge von drei Silben erkennen.



In unserer Studie wollten wir deshalb herausfinden, ob Säuglinge in der Lage sind, eingebettete Regeln zu verarbeiten und welche Gehirnbereiche bei dieser Verarbeitung eine Rolle spielen.

### Vorgehen

In dieser Studie untersuchten wir, ob 5 Monate alte Säuglinge eine Doppeleinbettung verarbeiten können und falls ja, welche Gehirnbereiche für diese Verarbeitung zuständig sind. Dafür benutzten wir in Kombination zwei bildgebende Verfahren aus der Gehirnforschung, die Elektroenzephalographie (EEG), bei der die elektrischen Signale der Informationsübertragung zwischen Nervenzellen untersucht werden, und die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS), bei der der Sauerstoffumsatz an der Oberfläche des Gehirns sichtbar gemacht werden kann.

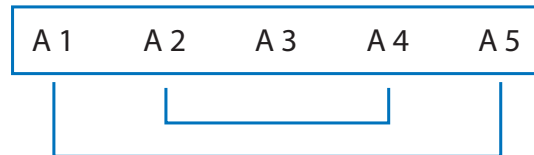


Bild 1: Diese vereinfachte Darstellung zeigt die „ursprüngliche“ Abfolge der 5 Töne mit den eingebetteten Regeln (blaue Verbindungen unter den Tönen).

Da wir es den Babys so einfach wie möglich machen wollten, die zugrundeliegenden Regeln zu erlernen, entschieden wir uns dafür, Töne anstatt der sonst üblichen Silben zu verwenden. Wir präsentierten den Säuglingen also Abfolgen von fünf Tönen, die eine Doppeleinbettung enthielten: der erste Ton sagte den fünften Ton vorher, der zweite Ton sagte den vierten Ton vorher und der dritte Ton blieb gleich (siehe Bild 1).

Um zu testen, ob die Babys die Regeln gelernt hatten, erhielten sie hin und wieder, ohne Vorwarnung, „abgeänderte“ Abfolgen zu hören. Diese Abfolgen waren fast identisch mit den „ursprünglichen“ Abfolgen, mit der Ausnahme, dass bei ihnen die vorher festgelegten Regeln gebrochen wurden, indem der vierte Ton mit dem fünften Ton vertauscht wurde (siehe Bild 2). Wenn sich im EEG die Gehirnantworten der Babys auf diese „abgeänderten“ Abfolgen von denen auf die „ursprünglichen“ Abfolgen unterscheiden würden, wäre das ein Indiz dafür, dass das Gehirn der Babys die zugrundeliegenden Regeln verarbeitet, beziehungsweise gelernt hätte. Das fNIRS würde uns zeigen, wo im Gehirn diese Regeln verarbeitet werden.

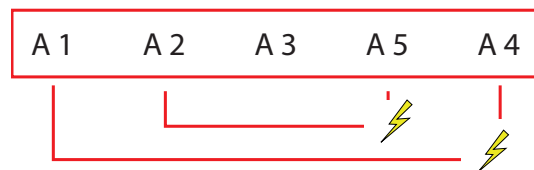
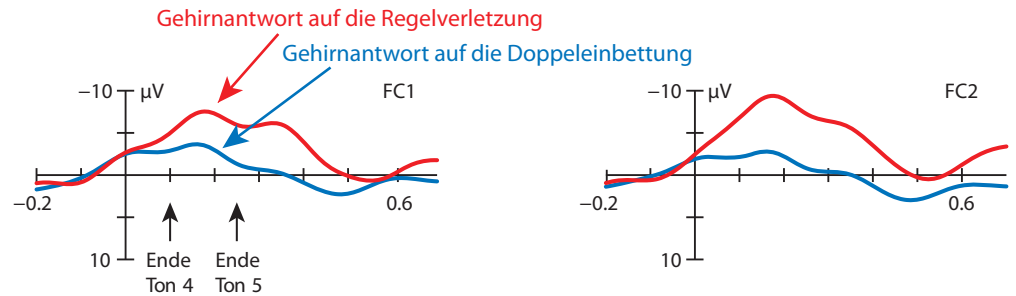


Bild 2: Hier sind die Regelverletzungen bei den „abgeänderten“ Abfolgen schematisch dargestellt (gelbe Blitze).



## Ergebnisse

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass die 5 Monate alten Babys die Doppeleinbettung verarbeiten konnten (siehe Bild 3). Wie das fNIRS zeigt, benutzten die Säuglinge dafür nicht nur die seitlichen (temporalen) Bereiche des Gehirnes, die normalerweise bei der Verarbeitung auditiver Reize eine Rolle spielen. Vielmehr waren auch vordere (frontale) Bereiche aktiv, die dafür bekannt sind „höhere“ kognitive Aufgaben zu lösen und unter anderem auch in der Sprachverarbeitung bei Erwachsenen eine Rolle spielen.



**Bild 3:** Dieses Bild zeigt die Ergebnisse der Studie. Die Antworten des Gehirnes auf die „abgeänderten“ Abfolgen (rote Linien) weichen von den Antworten des Gehirnes auf die „ursprünglichen“ Abfolgen (blaue Linien) ab.

## Bedeutung der Ergebnisse

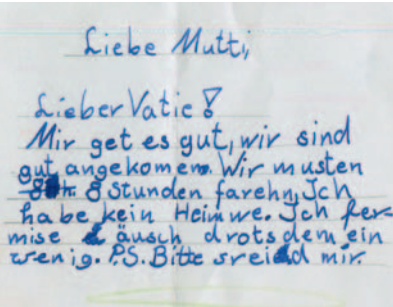
Wir konnten mit dieser Studie zeigen, dass bereits 5 Monate alte Säuglinge in der Lage sind, eingebettete Regeln zu verarbeiten und somit die menschliche Fähigkeit, hierarchische Strukturen aufzulösen, bereits sehr früh in der kindlichen Entwicklung einsetzt. Weitere Studien werden zum Beispiel zeigen, ob diese Fähigkeit auch für Sprachreize wie beispielsweise Silben gilt und ob sich diese bei Säuglingen und Erwachsenen unterscheidet.



## Funktionelle Nahinfrarot-Spektroskopie (fNIRS)

Mit fNIRS kann man Änderungen der Sauerstoffversorgung im Hirnmantel messen. Die Grundüberlegung dabei ist, dass Hirnregionen, welche gerade aktiv sind, mehr Sauerstoff benötigen und stärker durchblutet werden als andere Hirnregionen. Dabei macht sich das fNIRS zunutze, dass sauerstoffreiches Blut eine andere Farbe als sauerstoffarmes Blut hat. Um diesen Unterschied zu messen, werden Lichtsender und Lichtempfänger auf der EEG-Haube platziert. Die Lichtsender verschicken Nahinfrarotlicht (welches nichts Künstliches ist, sondern natürlicherweise zum Beispiel im Sonnenlicht vorkommt), dieses Licht wird an der Gehirnoberfläche reflektiert und von den Lichtempfängern gemessen. Über die Veränderung der reflektierten Lichtmenge können wir herausfinden, welche Gehirnregionen zu bestimmten Zeiten aktiv waren.

## Studie 2: Kann man das Risiko für eine spätere Lese-Rechtschreibschwäche bereits im Vorschulalter bestimmen?



### Fragestellung

Die Lese-Rechtschreibschwäche, auch Legasthenie genannt, ist eine der häufigsten Lernstörungen. Etwa fünf bis sieben Prozent aller Schülerinnen und Schüler in Deutschland, also durchschnittlich ein Kind pro Schulklasse, sind davon betroffen. Diese Kinder haben zum Teil große Schwierigkeiten, die Schriftsprache zu erlernen, und bleiben oftmals deutlich hinter dem Level der Schriftsprachkompetenz zurück, das von Gleichaltrigen erreicht wird.

Über die Legasthenie wissen wir mittlerweile, dass sie eine gewisse genetische Komponente aufweist, also, dass das Risiko für eine Legasthenie zu einem zwar geringen, aber nachweisbaren Grad vererbt werden kann. So hat sich in aktuellen Studien gezeigt, dass es genetisch veranlagte Mechanismen der Hirnreifung gibt, die die Entwicklung bestimmter neuroanatomischer Strukturen beeinflussen können. Diese Entwicklungsauffälligkeiten zeigen sich bei Erwachsenen und Jugendlichen vor allem in der Hirnrinde, und zwar insbesondere auch in solchen Regionen des Gehirns, welche an den Prozessen des Lesens und Schreibens beteiligt sind. In unserer Studie haben wir uns gefragt, ob diese neuroanatomischen Auffälligkeiten möglicherweise schon vor dem eigentlichen Schriftspracherwerb existieren und mit einer beeinträchtigten Entwicklung der Verarbeitung von Sprache zusammenhängen könnten.

### Vorgehen

In der vorliegenden Studie haben wir Vorschulkinder mit familiärem Risiko für Legasthenie untersucht, also Kinder, bei denen ein Geschwisterkind oder ein Elternteil von Legasthenie betroffen ist. Zusätzlich haben wir gleichaltrige Kinder eingeladen, bei denen dies nicht der Fall ist. Die Kinder sind zu uns gekommen und haben an einer MRT-Studie teilgenommen, bei der Bilder des Gehirns aufgenommen wurden. Anhand dieser Bilder konnten wir die individuelle Stärke der aus den Nervenzellkörpern bestehenden Hirnrinde ermitteln. Die Ergebnisse dieser Bildanalyse haben wir dann auf mögliche Zusammenhänge mit der vorschulischen Entwicklung der Verarbeitung von Sprachlauten überprüft.

### Ergebnisse

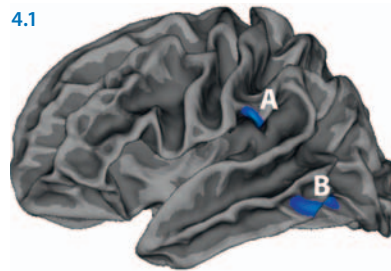
Durch unsere Untersuchungen fanden wir leichte Unterschiede in der Anatomie der Hirnrinde zwischen Kindern mit erhöhtem familiärem Risiko für Legasthenie und solchen ohne dieses erhöhte Risiko, und zwar in Hirnarealen, die eine wichtige Rolle bei der Sprachverarbeitung spielen (Regionen A, B und C in Bild 4). Dabei weisen Kinder mit erhöhtem Risiko eine geringere Stärke der Hirnrinde in diesen Regionen auf. Zudem zeigen sich auffällige Zusammenhänge zwischen der Stärke der Hirnrinde und der Fähigkeit, Sprachlaute zu verarbeiten, vor allem in Region A. Weniger gut ausgeprägte lautsprachliche Fähigkeiten gelten als ein wichtiger Hinweis auf eine Legasthenie, die jedoch ansonsten bei Vorschulkindern bisher noch nicht umfänglich diagnostiziert werden kann. Unsere Ergebnisse legen jedoch nahe, dass mit einer Untersuchung der Hirnrinde bereits schon bei Vorschulkindern Anzeichen für eine mögliche Ausprägung einer späteren Legasthenie entdeckt werden können.



## Bedeutung der Ergebnisse

Aus vorangegangenen Studien mit Erwachsenen und Jugendlichen sind die gefundenen Hirnregionen als wichtige Areale für den Schriftspracherwerb bekannt. Entwicklungsunterschiede in diesen Regionen konnten auch schon bei älteren Kindern oder Erwachsenen mit einer Legastheniediagnose beobachtet werden. Frühere Studienergebnisse haben gezeigt, dass maximal 20 von 100 Kindern mit familiär erhöhtem Risiko tatsächlich später eine Legasthenie entwickeln. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass neuroanatomische Auffälligkeiten bei Kindern mit familiärem Risiko bereits im Vorschulalter festgestellt werden können und möglicherweise eine genauere Risikoabschätzung ermöglichen. In weiteren Studien muss also noch untersucht werden, unter welchen Umständen sich aus einem erhöhten Risiko tatsächlich später einmal eine Legasthenie entwickeln kann.

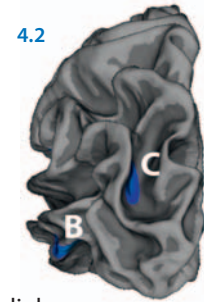
4.1



vorn

hinten

4.2



links

mitte

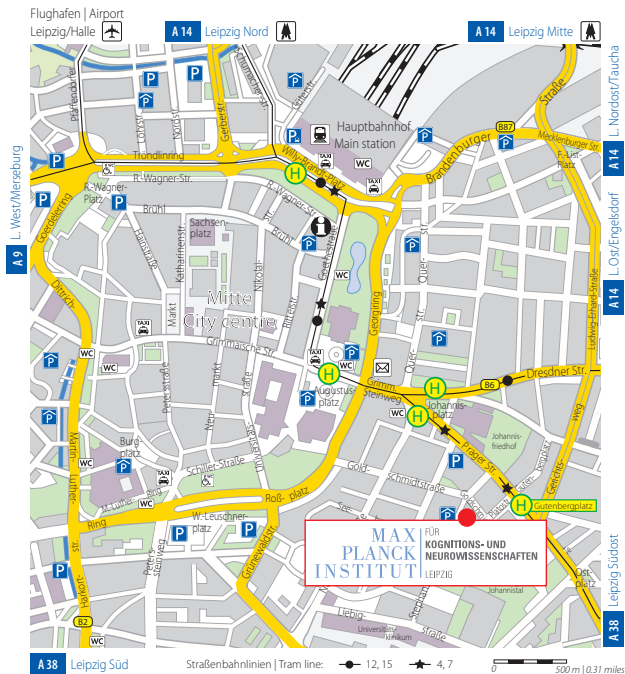
Bild 4: Hier ist die linke Hirnhälfte dargestellt, einmal in einer Ansicht von links (Abb. 4.1) und einmal in einer Ansicht von hinten (Abb. 4.2). In den blau eingefärbten Bereichen der Großhirnrinde zeigen sich Unterschiede in der Stärke der Hirnrinde zwischen Kindern mit erhöhtem familiärem Risiko und solchen ohne erhöhtem Risiko für Legasthenie. Die Hirnregionen, von denen bekannt ist, dass sie wichtig für Sprachverarbeitung sind, befinden sich im unteren Bereich des Scheitellappens (A), im unteren Bereich des Schläfenlappens (B) und im oberen Bereich des Hinterhauptlappens (C). Die Unterschiede zeigten sich ausschließlich in der linken sprachdominanten Hirnhälfte.

### Liebe Eltern,

an dieser Stelle möchten wir uns bei Ihnen, Ihren Kindern und Babys ganz herzlich für die Teilnahme an unseren Studien bedanken, die ohne Ihre engagierte Teilnahme nicht möglich gewesen wären.

Es grüßt herzlich

Das Team vom Kindersprachlabor



## Ihre direkten Ansprechpartner sind:

- Ulrike Barth (Babylabor)  
Telefon: 0341 9940-140  
Fax: 0341 9940-113  
E-Mail: [barth@cbs.mpg.de](mailto:barth@cbs.mpg.de)
- Michael Vollmann (Kinderlabor)  
Telefon: 0341 9940-196  
Fax: 0341 9940-113  
E-Mail: [mvollmann@cbs.mpg.de](mailto:mvollmann@cbs.mpg.de)



Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften  
Stephanstraße 1 A • 04103 Leipzig  
Telefon: 0341 99 40-00 • Fax: 0341 99 40-113  
[www.cbs.mpg.de](http://www.cbs.mpg.de) • [info@cbs.mpg.de](mailto:info@cbs.mpg.de)

