Hinweis

Mit der Bitte um Verständnis:

Dieses Handout beinhaltet nahezu alle Folien des Vortags.

Lediglich diejenigen Folien, die noch unveröffentlichte Daten beinhalten, sind hier nicht enthalten.

Sprachentwicklung

Hirnfunktionelle und Hirnstrukturelle Korrelate

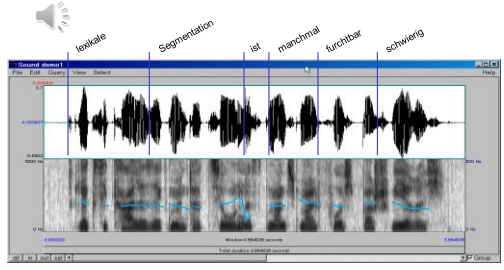
Jens Brauer

Max Planck Institute für Kognitions- und Neurowissenschaften. Leipzig

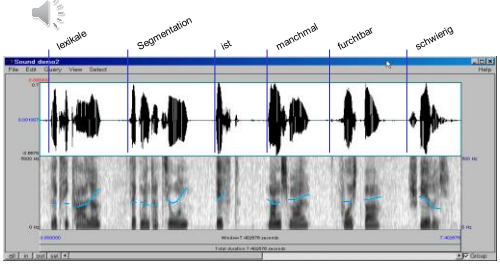
Das Segmentationsproblem beim Spracherwerb

- lexikalesegmentationistmanchmalfurchtbarschwierig
- lexikale segmentation ist manchmal furchtbar schwierig
- Lexikale Segmentation ist manchmal furchtbar schwierig.

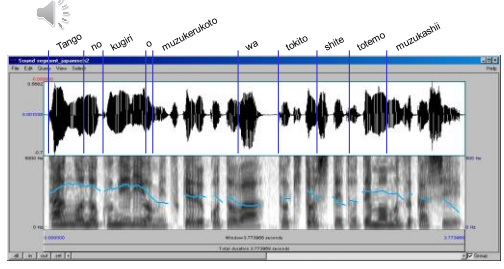
Blick auf eine sprachliche Äußerung



Blick auf eine sprachliche Äußerung



Blick auf eine andere sprachliche Äußerung



Segmentationsprobleme in einer unbekannten Fremdsprache

- Bei erwachsenen Muttersprachlern geschieht das Verstehen gesprochener Sprache und die Zergliederung in Worteinheiten scheinbar automatisch und mühelos
- Aber: "foreign listening syndrome" bei uns unbekannten Sprachen

Es besteht eine Unfähigkeit, Lautkontraste wahrzunehmen, die in der Muttersprache keine Rolle spielen

Die relative Intensitivität unbekannter rhythmischer Strukturen erschwert die Segmentation in Wörter, Wortgruppen und Sätze

Segmentationsfähigkeit in der Muttersprache

- Wissen des (kompetenten) Sprachbenutzers über Regularitäten seiner Sprache, die es ermöglichen, Wortgrenzen vorherzusagen
- Es gibt eine Vielzahl von (mehr oder weniger zuverlässigen) Hinweisreizen
  - Betonung
  - Regelhafte Beschränkungen möglicher Lautkombinationen (Laute → Silben → Worte)
  - etc.

Hinweisreize auf Wortgrenzen

- Lautkombinationsregeln unterstützen die lexikale Segmentation

EINPAPSTFLUCHTMEISTENSNICHT

HANSHÜPFTFRÖHLICHZUMHAUS

EINPAPSTFLUCHTMEISTENSNICHT

HANSHÜPFTFRÖHLICHZUMHAUS

EIN PAPST FLUCHT MEISTENS NICHT

HANS HÜPFT FRÖHLICH ZUM HAUS

Hinweisreize auf Wortgrenzen

Beschränkung möglicher Lautkombinationen: Jede Sprache hat Regeln, die bestimmen, in welcher Reihenfolge Phoneme aufeinander folgen dürfen

Diese Regeln unterscheiden sich von Sprache zu Sprachen

Daraus resultieren unterschiedliche Beschränkungen für Lautkombinationen für Wortanfang und Wortende:

Sprung	*Nuschpr
Kreuz	*Zeukr
*Mpfus	Sumpf
*Ftas	Saft

Das Kodierungsproblem

Weltsprachen: viele Basiselemente
600 Konsonanten
200 Vokale

ABER: jede Sprache nutzt nur ca. 40 Elementen

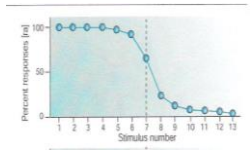
Kategorielle Wahrnehmung der akustischen Information:

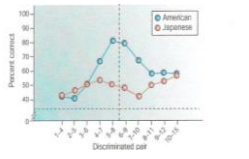
→ Kinder sind besonders sensitiv für akustische Hinweisreize an phonetischen Grenzen

→ Voraussetzung zum Spracherwerb

Das Kodierungsproblem

- Experiment mit Amerikanern & Japanern:
  Stufenweise Veränderung von „ra" → „la" (13 Stufen)



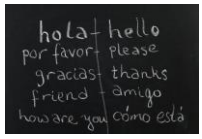


Quelle: Kuhl, 2004

Das Kodierungsproblem

Kategorisierung: Unterscheidung zwischen Lauteinheiten → spezifisches Muster einer jeder Sprache

Japanisch: „r"/„l" → gleiche Phonemkategorie
Englisch: „r"/„l" → unterschiedliche Phonemkategorien



Spracherwerb und Sprachentwicklung: Forschungsfragen

- Welche Zeitfenster der Kindesentwicklung sind für Sprachentwicklung besonders wichtig?
- Welche Hinweisreize in der Sprache lernen Kinder wann zu nutzen?
- Welche Entwicklungschritte (z.B. der allgemeinen kognitiven Entwicklung oder auch der Hirnentwicklung) sind dabei Voraussetzung oder Folge?
- Wie entwickeln sich die wichtigen Schritte des Spracherwerbs: Lauterkennung, Worterkennung, Wortverstehen, Semantik, Syntax
- Lernen Kleinkinder durch direkten menschlichen Kontakt mehr als vorm TV?

Wie lassen sich diese Fragen beantworten?

Untersuchungsmethoden

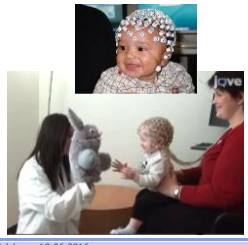
- Verhaltensbeobachtung

Untersuchungsmethoden

- Computergestützte Verhaltensbeobachtung

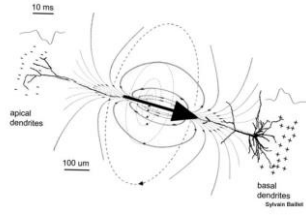
Untersuchungsmethoden

Elektroenzephalographie (EEG)

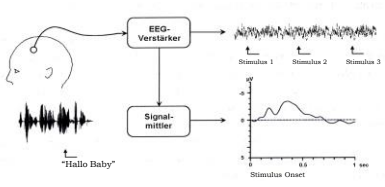


Magnetenzephalographie (MEG)

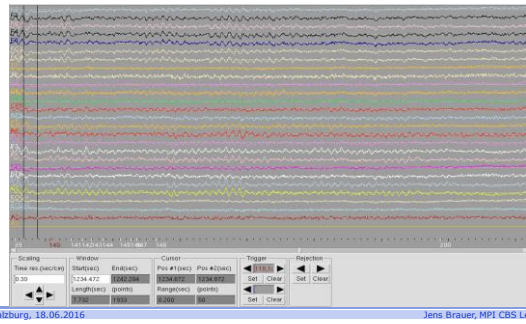
Physikalische Grundlagen des EEG und MEG Signals



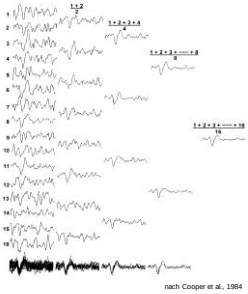
EEG-Aktivität und Signalverarbeitung



Beispiel einer EEG-Ableitung



Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)



nach Cooper et al., 1984

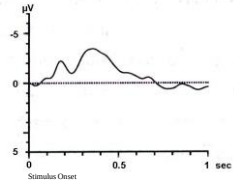
Ziel: die mit dem Ereignis einhergehende Aktivität (EKP-Komponente) isolieren

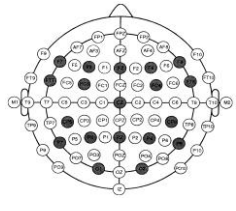
Weg: Berechnung des arithmetischen Mittels einer hinreichenden Anzahl zeitsynchroner EEG-Abschnitte

Dadurch wird die zufällig variierende elektrische Grundaktivität des Gehirns eliminiert

Ereigniskorrelierte Potentiale: Charakteristika

EKP-Komponenten können charakterisiert werden hinsichtlich: Polarität, Latenz, Amplitude, Dauer, Topographie





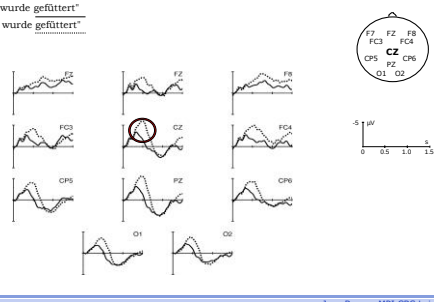
Zur Untersuchung von Sprachprozessen

Sprachstimuli

Korrekt:	„Das Baby wurde gefüttert“
Semantisch inkorrekt:	„Das Lineal wurde gefüttert“
Syntaktisch inkorrekt:	„Die Gans wurde im gefüttert“

Semantikverarbeitung

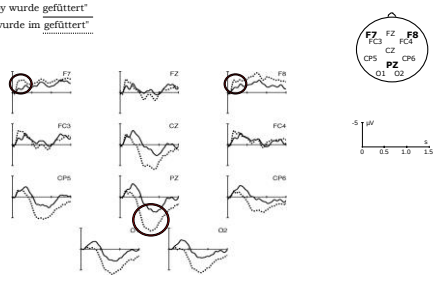
korrekt: "Das Baby wurde gefüttert"
inkorrekt: "Das Lineal wurde gefüttert"



nach Hahne, 1998

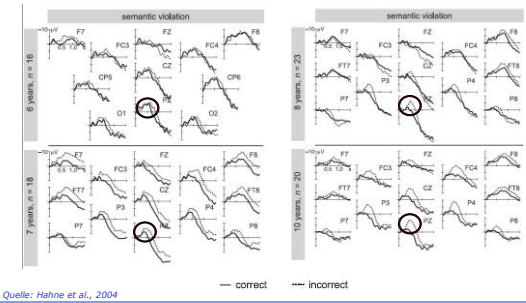
Syntaxverarbeitung

korrekt: "Das Baby wurde gefüttert"
inkorrekt: „Die Gans wurde im gefüttert"



nach Hahne, 1998

Entwicklungsverlauf



Quelle: Hahne et al., 2004

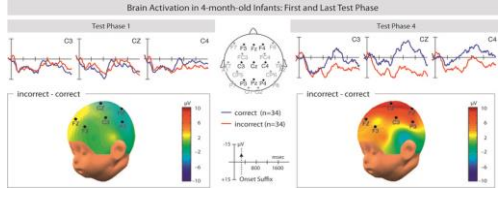
Italienisch für Anfänger

- Können 4 Monate alte Säuglinge grammatische Regeln in einer Fremdsprache erkennen?

„Il fratello può cantare"
„Il fratello può cantare"
Der Bruder kann singen

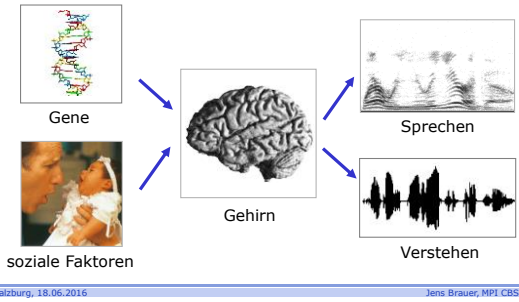
„La sorella sta cantando"
„La sorella sta cantando"
Die Schwester singt gerade

Erwerb syntaktischen Regelwissens

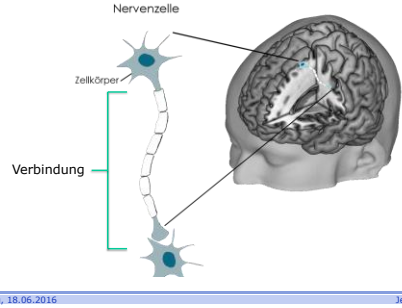


Quelle: Friederici et al., 2011

Sprachverarbeitung als neurokognitiver Prozeß



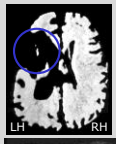
Nervenfasern



Sprache im Gehirn

Paul Broca, 1865

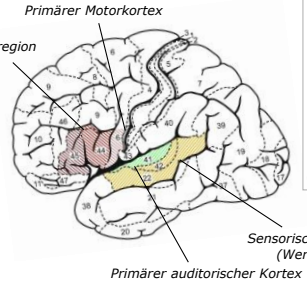
Tomographie



Gehirn des Patienten „Tan“ *post mortem*

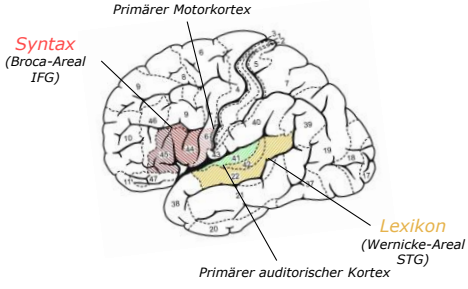
Sprachverarbeitung: 19. Jahrhundert

Paul Broca, 1865

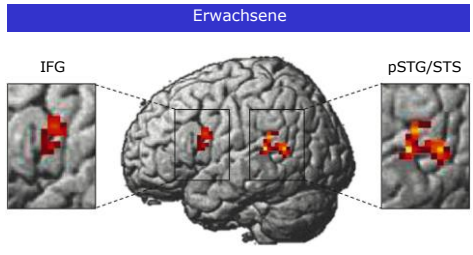


Carl Wernicke, 1874

Sprachverarbeitung: 20. Jahrhundert

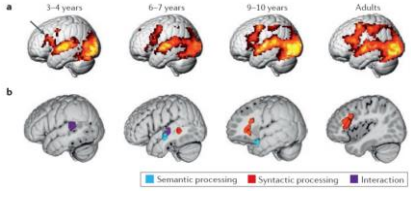


Verarbeitung komplexer Sätze: Funktionelle Neuroanatomie



Quelle: Friederici et al., 2009

Entwicklung von Syntax- und Semantikverarbeitung



Quelle: Skeide et al., 2014

Interim

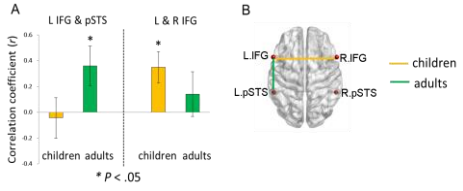
Funktionelle Aktivierung während der Sprachverarbeitung findet sich vor allem im linken IFG (Broca-Areal) und im linken STG/STS (Wernicke-Areal).

Bestimmte Hirnregionen innerhalb dieses Netzwerks sind für die unterschiedliche Aspekte der Sprache wie Syntax und Semantik spezialisiert.

Diese Spezialisierung ist als ein Prozess in der Sprachentwicklung zu verstehen.

Funktionelle Konnektivität im Sprachnetzwerk

Korrelationen der LFF-Amplituden zwischen Spracharealen bei 5jährigen Kindern und Erwachsenen



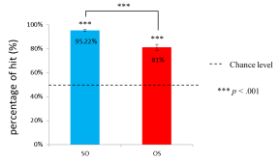
Quelle: Xiao et al., 2016a

Funktionelle Konnektivität im Sprachnetzwerk

Sprachtestdaten

Satzverständnis von 5jährigen im picture-sentence matching task für subjekt-initiale (SO) und objekt-initiale (OS) Sätze.

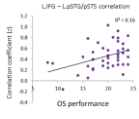
Beide Arten von Sätzen werden verstanden, SO Sätze besser als OS Sätze.

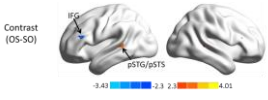


Funktionelle Konnektivität

Resting-state functional connectivity (RSFC) des Broca-Areals im Bezug zum Sprachverständnis

Korrelation zwischen funktioneller Konnektivität des linken IFG (Broca) sowie Performanz für SO und OS Sätze, direkter Kontrast (blau: SO, rot: OS)





Quelle: Xiao et al., 2016a

Interim

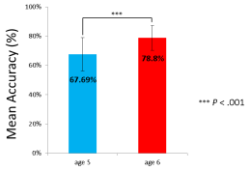
Das funktionelle Netzwerk sprachverarbeitender Hirnregionen zeigt im Alter von 5 Jahren noch keine ausgereifte fronto-temporale Konnektivität, wie sie im Erwachsenengehirn zu finden ist, stattdessen ist die Konnektivität zu kontralateralen homologen Regionen dominant

Das Konnektivitätsmuster korreliert mit der sich entwickelnden Fähigkeit im Satzverständnis.

Entwicklungsveränderungen im funktionellen Sprachnetzwerk

Sprachverständnis (TSVK)

Zunehmende Performanz über den Zeitraum von einem Jahr.

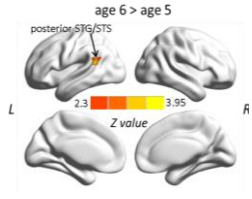


Quelle: Xiao et al., 2016b

Längschnittlicher Vergleich

Veränderung in der Vernetztheit von Hirnarealen (degree centrality)

Stärkere Vernetzung im Alter von 6 Jahren im Vergleich zu 5 Jahren im linken posterioren STG/STS.

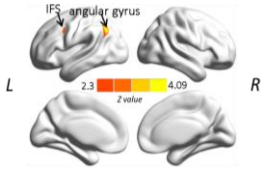


Quelle: Xiao et al., 2016b

Funktionelle Konnektivität des STG/STS

Funktionelle Konnektivität des linken posterioren STG/STS

Im Alter von 6 Jahren (rot) zeigt sich einen stärkere funktionelle Konnektivität zum linken IFG (Broca-Areal).



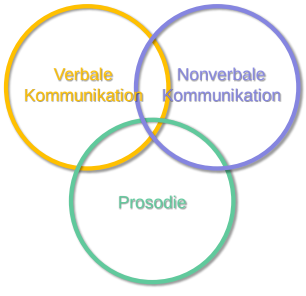
Quelle: Xiao et al., 2016b

Interim

Die funktionelle Konnektivität des Sprachnetzwerkes wächst signifikant vom Alter von 5 Jahren bis zum Alter von 6 Jahren.

Diese Veränderungen zeigen sich in der fronto-temporalen Konnktivität zwischen Broca- und Wernicke-Areal und reflektieren sich in einer Zunahme der Sprachverstehensleistung.

Interaktion beruht auf Kommunikationssignalen



Der Einfluss sozialer Interaktion auf den Spracherwerb

Der Einfluss sozialer Interaktion auf den Spracherwerb

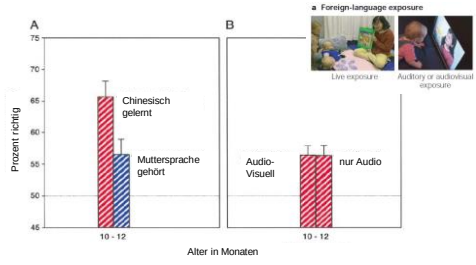
Kann man bei Säuglingen schon nach kurzem Hören einer Fremdsprache einen Lernerfolg messen?

Ist soziale Interaktion dabei von Vorteil?

Der Einfluss sozialer Interaktion auf den Spracherwerb

- Säuglinge Alter 9-11 Monate
- 12 Lernsitzungen in 4 Wochen verteilt
- Chinesische Muttersprachler lesen Kinder Bücher vor und reden über Spielzeug dass sie ihnen zeigten
- Augenkontakt, direkte Ansprache der Kinder
- anschließend: Lautwahrnehmungstest

Der Einfluss sozialer Interaktion auf den Spracherwerb



Quelle: Kuhl, 2003

Der Einfluss sozialer Interaktion auf den Spracherwerb

Kann man bei Säuglingen schon nach kurzem Hören einer Fremdsprache einen Lernerfolg messen?

JA

Ist direkte soziale Interaktion dabei notwendig?

JA

Interim

Direkte soziale Interaktion ist ein wichtiger Baustein für den Spracherwerb.

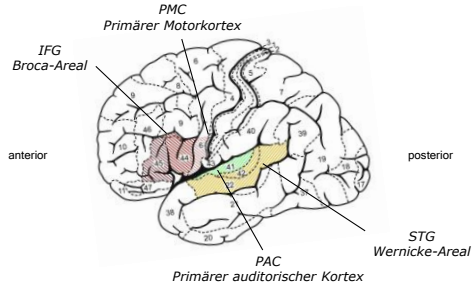
Soziale Interaktion muss kontingent und direkt sein, um für den Spracherwerb nutzbar zu sein.

Das Kind vor dem Fernseher ist keine sinnvolle Lernsituation für Sprache.

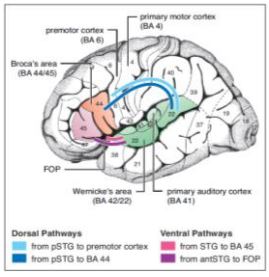
Sprachentwicklung und Hirnreifung

Wie hängt der Erfolg im Spracherwerb und der Sprachentwicklung mit der Entwicklung und Reifung des Gehirns zusammen?

Kortikale Sprachverarbeitungsareale (Graue Substanz)



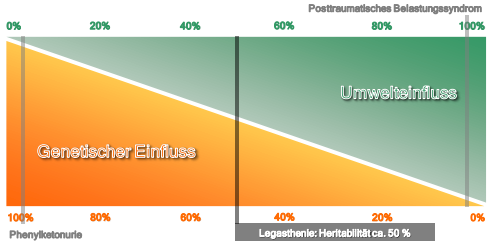
Strukturelle Hirnverbindungen zwischen den Spracharealen



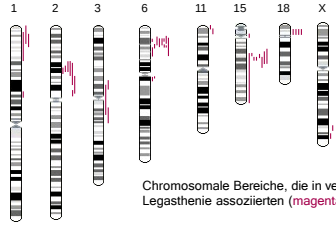
Quelle: Friederici, Physio Rev 2011

Legasthenie

Anlage und Umwelt



Genetik der Legasthenie



Chromosomale Bereiche, die in verschiedenen Studien mit Legasthenie assoziierten (magenta markiert)

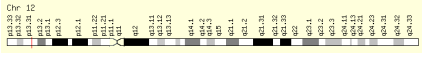
Scerri et al., 2010

Quelle: Scerri et al., 2010

Genetik der Legasthenie

SLC2A3

- Regulation von Glukosetransportern in Neuronen im Gehirn
- Rolle bei Sprachverarbeitungsprozessen nachgewiesen und legasthenierelevant
- SNP (*single nucleotid polymorphism*) rs11100040: Risikovariante und Nichtrisikovariante



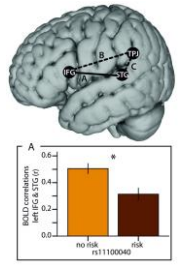
Chromosom 12: SLC2A3

Genetischer Einfluss auf Hirnfunktion

Schulkinder, 9-12 years:

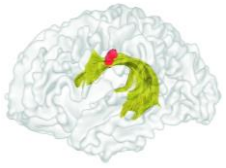
Träger und Nichtträger der Risikovariante in rs11100040 des SLC2A3 Gens

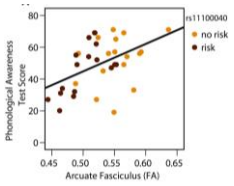
Träger der Risikovariante zeigen deutlich geringe gemeinsame Aktivierung in den sprachrelevanten Hirnarealen im fMRT



Quelle: Skeide et al., 2015

Genetik, Phonologische Bewusstheit und Hirnstruktur





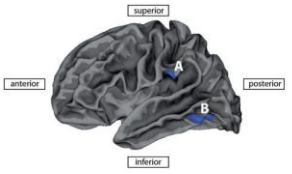
Effekt der Riskovariante auf Integrität der dorsalen Nervenfaserverbindung

Zusammenhang zwischen phonologischer Bewusstheit und Integrität der dorsalen Nervefaserverbindung

Quelle: Skeide et al., 2015

Vorschulkinder mit Legasthenie-Risiko

Unterschiede in der Kortexstärke von 5jährigen mit im Vergleich zu solchen ohne familiärem Risiko für Legasthenie



Quelle: Kraft et al., 2015

Interim

Genotyp eines legasthenierelevanten Modulatorgens für SLC2A3 zeigt deutlichen Effekt auf phenotypische Funktion wie auch Struktur sprachrelevanter Hirnareale und die sie verbindenden Nervenfasern.

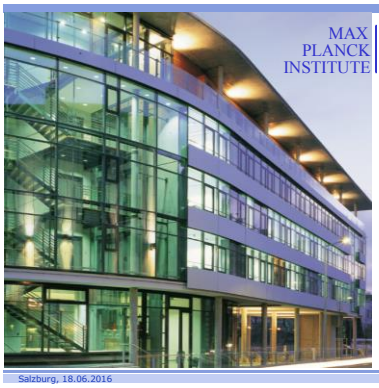
Bereits bei Vorschulkindern mit familiärem Risiko für Legasthenie lassen sich neuroanatomische Besonderheiten feststellen.

Fazit

Spracherwerb und Sprachentwicklung sind eng verknüpft mit der Hirnentwicklung.

Die Reifungs- und Entwicklungsprozesse spiegeln sich wider in funktioneller Aktivität während der Sprachverarbeitung sowie außerdem in zunehmender Ausbildung struktureller Netzwerkverbindungen wie auch funktioneller Konnektivitätsnetzwerke.

Störungen der Sprachentwicklung zeigen zum Teil bereits früh messbare Auffälligkeiten der Hirnentwicklung.



MAX PLANCK INSTITUTE FOR HUMAN COGNITIVE AND BRAIN SCIENCES LEIPZIG

Vielen Dank

Alfred Anwander
Angela Friederici
Holger Kirsten
Indra Kraft
Gabriele Lohmann
Daniel Margulies
Daniela Perani
Michael Skeide
Arndt Wilcke
Yaqiong Xiao