

## Hirnfunktionelle und Hirnstrukturelle Befunde zu Sprachentwicklung und Sprachentwicklungsstörungen



Jens Brauer

ISESVII  
Interdisziplinäre Tagung  
über Sprachentwicklungsstörungen

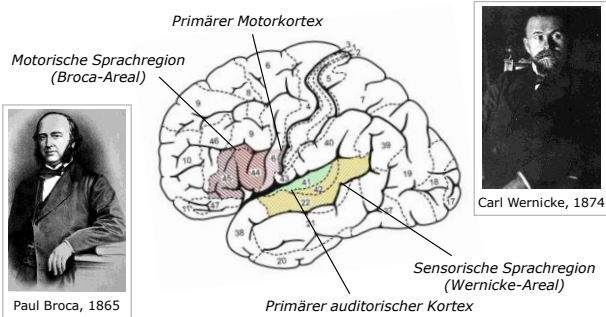
Max Planck Institute  
for Human Cognitive and Brain Sciences



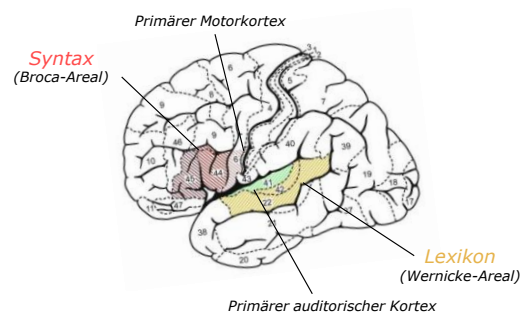
## Hinweis

Diejenigen Teile des Vortrags, die noch unveröffentlichte Daten und Ergebnisse enthalten, sind in der vorliegenden publizierten Version der Präsentation nicht enthalten.  
Wir bitten um Verständnis.

## Sprachverarbeitung: 19. Jahrhundert



## Sprachverarbeitung: 20. Jahrhundert



## Forschungsfragen

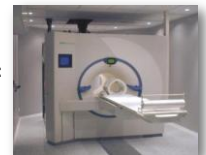
Wie verarbeitet das menschliche Gehirn Sprache?

Wie erwirbt das Kind diese Fähigkeit?

Was sind die hirnstrukturelle und hirnfunktionelle Korrelate von Störungen im Spracherwerb?

## Methoden zur Beantwortung dieser Frage

→ Magnetresonanztomographie (MRI):  
Hohe räumliche Auflösung



→ Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP):  
Hohe zeitliche Auflösung



## Eintritt in die Sprache

Die ersten sprachlichen Schritte von Kindern basieren auf prosodischen Informationen.

### → Wortebene

Die exakte Perzeption von Betonungsmustern erleichtert die Identifizierung von Wortgrenzen (Wortbeginn und Wortende).

## Wortebene Silbenlänge und Wortbetonung

Die Wortbetonung wird von einigen akustischen Parametern gekennzeichnet, die Silbenlänge ist dabei der Wichtigste. betonte Silbe = lange Silbe

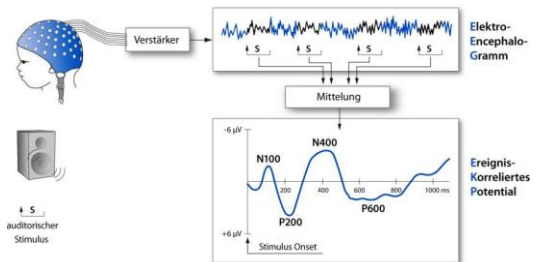
### Können Säuglinge zwischen langen und kurzen Silben unterscheiden?



Perzeption:  
Methode der ereignis-korrelierten Potentiale (EKP)

- Hohe zeitliche Auflösung, da Hirnaktivität Millisekunde für Millisekunde gemessen wird.
- Messmethode erfordert keine Reaktion des Kindes.

## EKP-Methode



## Diskriminationsparadigma

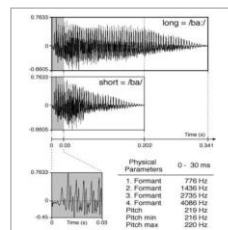
Mismatch Hirn-Antwort

... bedarf nicht der Aufmerksamkeit des Kindes.

... wird ausgelöst durch eine Veränderung in der wiederholten akustischen Stimulation:

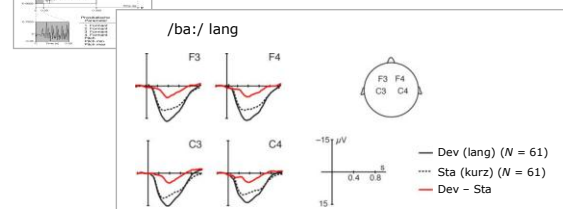


... ist das Resultat der Detektion der Abweichung vom häufig wiederholten Stimulus.



## Diskrimination von Silben von unterschiedlicher Länge

EKP pro Bedingung (schwarz) und deren Unterschied (rot) bei 2 Monate alten Säuglingen



## Zusammenfassung

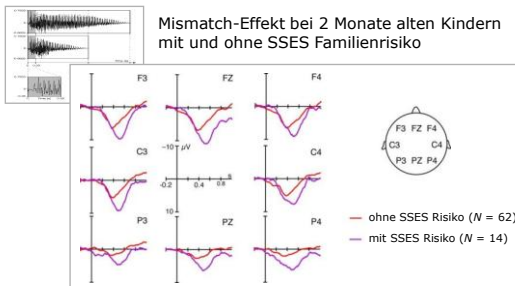
Kleinkinder im Alter von 2 Monaten können lange von kurzen Silben unterscheiden

## Frühes Erkennen von Sprachentwicklungsstörungen: Hypothese

Eine der zugrundeliegenden Ursachen bei Spezifischer Sprachentwicklungsstörung (SSES) könnte eine Störung bei der Verarbeitung prosodischer Information sein.

Wenn das so ist, dann ist bei Kindern mit SSES-Risiko vielleicht schon im Alter von 2 Monaten eine Störung beim Unterscheiden von langen und kurzen Silben zu messen.

## EKP bei SSES



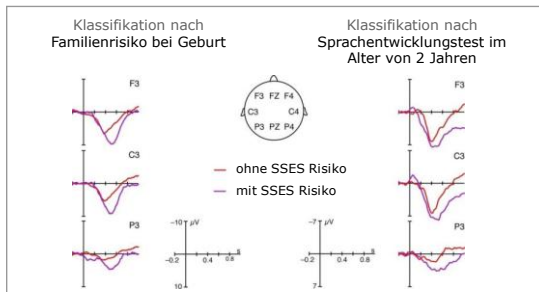
Quelle: Friedrich, Weber & Friederici, Psychophysiology, 2004

## Zusammenfassung

Kinder mit einem SSES Risiko unterscheiden sich in ihrem EKP-Muster für die Diskrimination von Silbenlängen von Kindern ohne SSES Risiko bereits im Alter von 2 Monaten.

**Hat das auch für die spätere Sprachentwicklung etwas zu sagen?**

## EKP-Daten gemessen im Alter von 2 Monaten



**Sehr frühe Indikation möglich.**

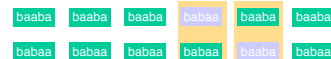
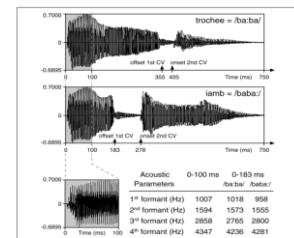
## Diskrimination von Betonungsmustern

/ba:ba/ 750 ms

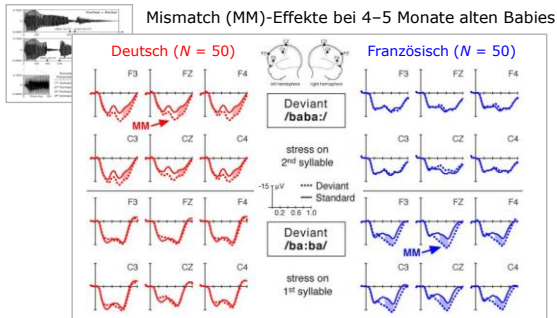
/baba:/ 750 ms

Standard  $\frac{5}{6}$

Deviant  $\frac{1}{6}$



## Diskrimination von unterschiedlichen Betonungsmustern



## Wortbetonung

Wortbetonungen sind sprachspezifisch.

**Deutsch:** Betonung auf der ersten Silbe  
*pápa*

**Französisch:** Betonung auf der zweiten Silbe  
*papá*

## Zusammenfassung

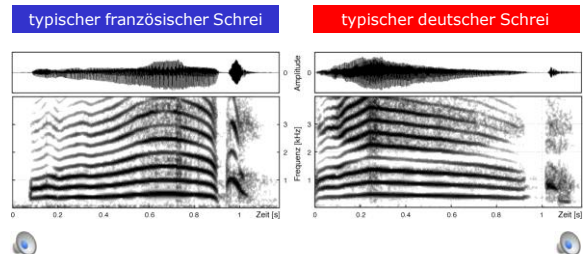
Erfahrung mit Deutsch oder Französisch als Muttersprache beeinflusst die kortikale Verarbeitung bei 4 Monate alten Säuglingen. Diejenigen rhythmischen Strukturen, die typisch für die jeweilige Muttersprache sind, werden bevorzugt.

**Wortformen sind im Gehirn bereits im Alter von 4 Monaten sprachspezifisch gespeichert!**

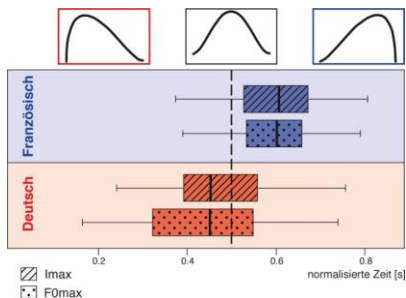
Bereits zu diesem Zeitpunkt sichtbar ist der

**Einfluss des sprachlichen Umfeldes**

## Lautproduktion bei Neugeborenen



## Schreie von 4 Tage alten Neugeborenen



## Zusammenfassung

Der Schrei eines Säuglings ist bereits sprachspezifisch.

Wie entwickeln sich die Sprachprozesse weiter?

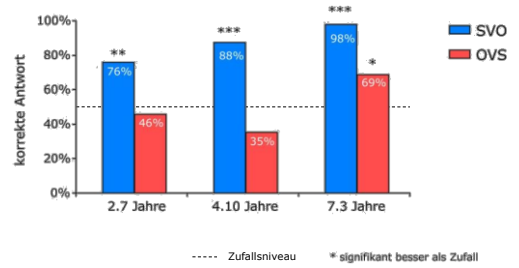
## Verstehen komplexer syntaktischer Strukturen Verhaltensstudie

SO      Der Affe wief **den** Käfer.

OS      **Den** Affen wief **der** Käfer.

Quelle: Dittmar, Abbot-Smith, Lieven & Tomasello, Child Development, 2008

## Satzverständnis



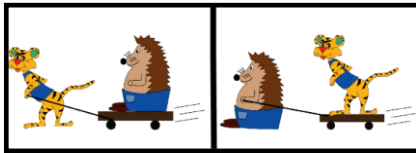
Quelle: Dittmar, Abbot-Smith, Lieven & Tomasello, Child Development, 2008

## Syntaktische Verarbeitung bei 6jährigen

Subjekt-initiale Sätze

Objekt-initiale Sätze

Der<sub>NOM</sub> Igel zieht den<sub>ACC</sub> Tiger      Den<sub>ACC</sub> Igel zieht der<sub>NOM</sub> Tiger

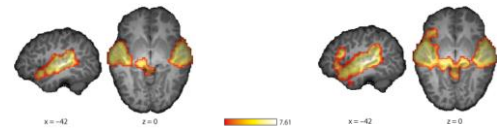


Quelle: Knoll, Obleser, Schipke, Friederici & Brauer, NeuroImage (2012)

## Funktionelle Aktivierung der Sprachareale

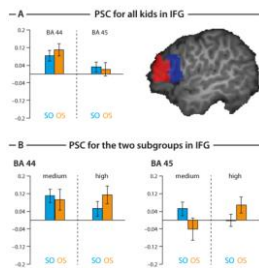
Subjekt-initiale Sätze

Objekt-initiale Sätze



Quelle: Knoll, Obleser, Schipke, Friederici & Brauer, NeuroImage (2012)

## Region-of-Interest Analyse LIFG: BA44/BA45

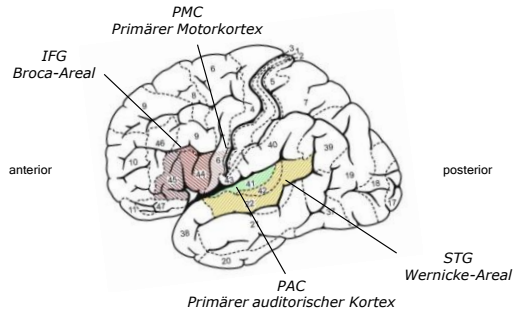


Quelle: Knoll, Obleser, Schipke, Friederici & Brauer, NeuroImage (2012)

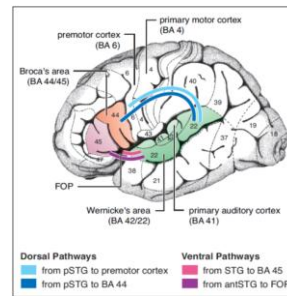
## Syntaxverarbeitung

Warum? Hirnreifung?

## Kortikale Sprachverarbeitungsareale (Graue Substanz)

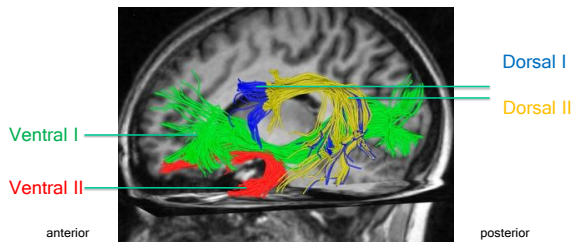


## Strukturelle Hirnverbindungen zwischen den Spracharealen



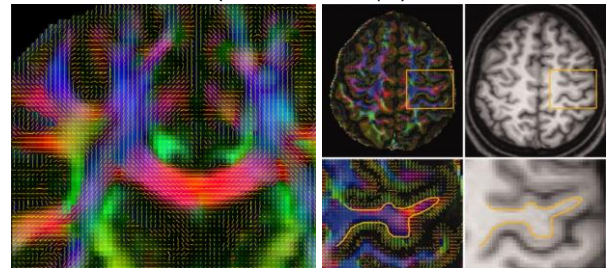
Quelle: Friederici, Physio Rev 2011

## Nervenfaserverbindungen (Weiße Substanz)



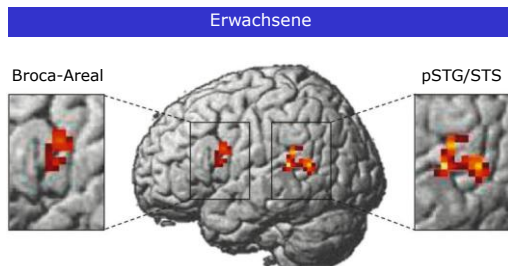
## Diffusionsbildgebung

Mißt die Orientierung der Diffusion von Wasser im Gehirn (fraktionale Anisotropie)



Quelle: Heidemann et al., MRM 2010

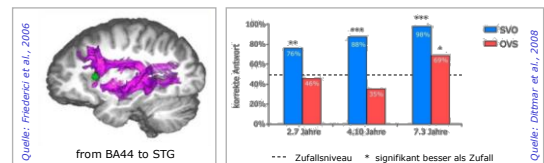
## Verarbeitung syntaktisch komplexer Sätze: Funktionelle Neuroanatomie



Quelle: Friederici et al., NeuroReport, 2009

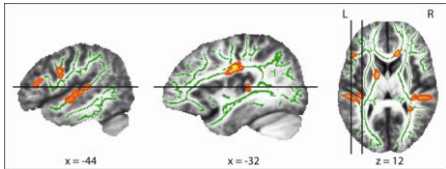
## Hypothese

Falls die dorsale Faserverbindung verantwortlich ist für die Verarbeitung von komplexen Sätzen



dann sollte die Verbindung bei 7 Jahre alten Kindern noch **nicht** voll entwickelt sein.

## Fraktionelle Anisotropie (FA) Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern



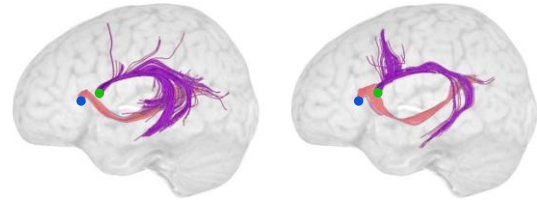
Insbesondere die sprachrelevanten perisylvischen Areale sind bei Kindern im Alter von 7 Jahren noch nicht voll ausgereift

Quelle: Brauer, Anwander & Friederici, Cerebral Cortex, 2011

## Faserverbindungen zwischen IFG & STG

Erwachsene

7 Jahre alte Kinder



- max. Aktivierung bei Kindern
- max. Aktivierung bei Erwachsenen
- ventrale Route
- dorsale Route

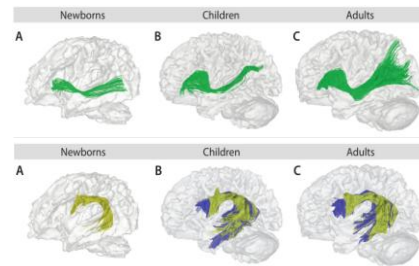
Quelle: Brauer, Anwander & Friederici, Cerebral Cortex, 2011

## Zusammenfassung

Kinder zeigen anhaltende Reifung der weißen Substanz in sprachrelevanten Faserverbindungen, insbesondere in der dorsalen Verbindung zu BA44 im Broca-Areal

Kinder rekrutieren zusätzliche funktionale Ressourcen im Broca-Areal (BA45) und verwenden damit vor allem die ventrale Faserverbindung

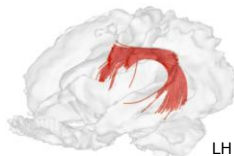
## Ventrale und dorsale Faserverbindungen bei Neugeborenen, 7-jährigen Kindern und Erwachsenen



Quelle: Brauer et al., under rev.

## The dorsal pathway(s)

### Neugeborene



LH

- Phonologische Prozesse
- Phonologisch basiertes Lernen

- Teil des AF/SLF: Verbindung zu PMC: Auditorisch-motorische Schleife
- Teil des AF/SLF: Verbindung zu Broca: Syntaxverarbeitung

Quelle: Perani et al., PNAS, 2009

## Zusammenfassung

- Die Verbindung zwischen STG und PMC ist von Geburt an vorhanden und trägt möglicherweise zu frühem phonologisch basiertem Sprachlernen bei (z.B. Saur et al., PNAS, 2008).
- Die Verbindung zwischen STG und Broca-Areal ist nicht erkennbar zur Zeit der Geburt. Diese Verbindung ist wichtig für die Verarbeitung komplexer Syntax (z.B. Friederici et al., PNAS, 2006).

---

## Fazit

Die Entwicklung der Sprachfunktionen geht Hand in Hand mit der Reifung und Entwicklung von Netzwerkverbindungen des Gehirns.

Diese Reifungs- und Entwicklungsprozesse spiegeln sich in funktioneller Aktivität während der Sprachverarbeitung, in zunehmender Spezialisierung und Segregation kortikaler Areale, in funktionellen Netzwerken und strukturellen Netzwerkverbindungen wider.

Störungen der Sprachentwicklung zeigen frühe messbare Auffälligkeiten der funktionellen und strukturellen Hirnentwicklung

---