

Neuropsychologische Grundlagen der Sprachentwicklung

Angela D. Friederici



Max-Planck-Institut
für Kognitions- und Neurowissenschaften
Leipzig



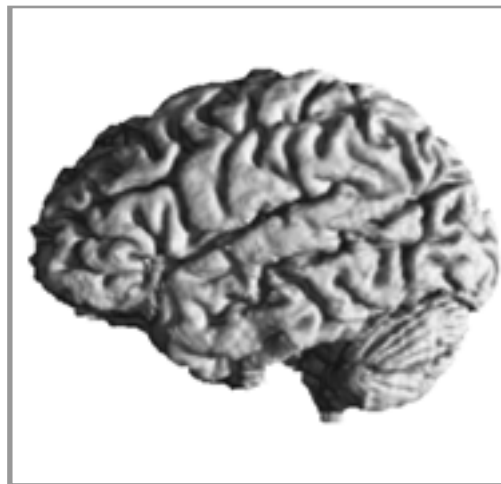
Was sind die neurobiologischen Grundlagen der Sprachfähigkeit des Menschen?



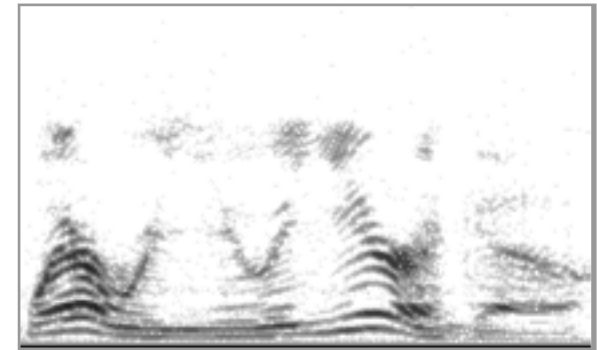
Gene



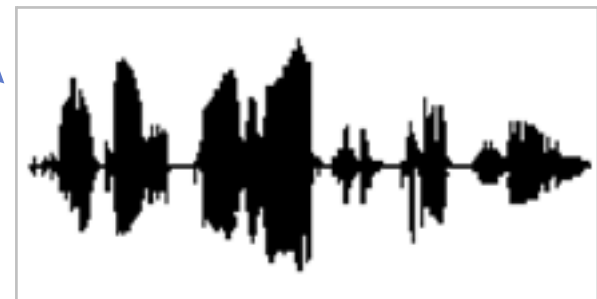
soziale Faktoren



Gehirn



Sprechen



Verstehen

Große Forschungsfragen sind

Wie verarbeitet der Mensch Sprache?

Wie erwirbt er diese Fähigkeit?

Der Anfang



➔ Wahrnehmung

Säuglinge im Alter von 4 Tagen können Sprachen mit unterschiedlichen Betonungsmustern erkennen: z.B. Französisch und Russisch.

Mehler et al., 1988

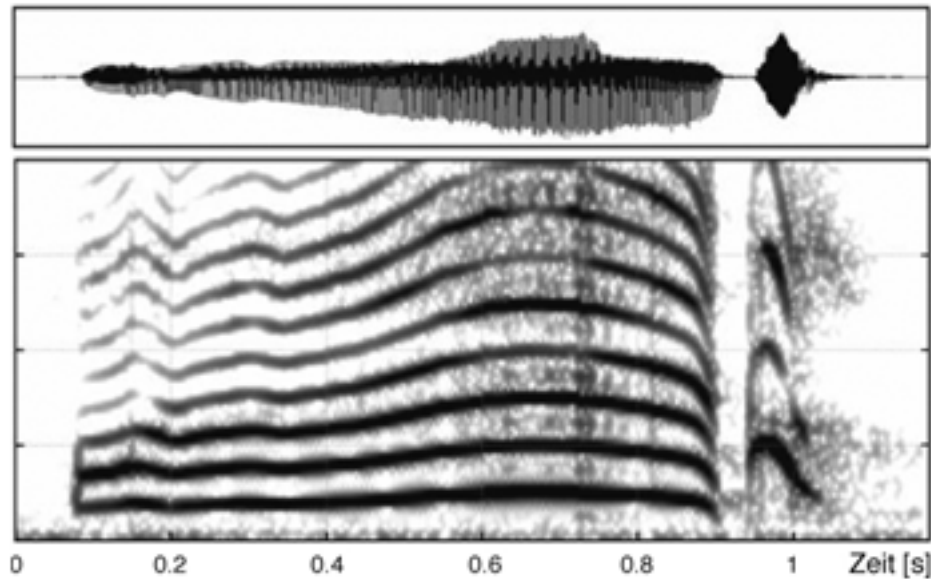
➔ Produktion

Säuglinge im Alter von 4 Tagen produzieren Schreie, die dem Betonungsmuster ihrer Muttersprache entsprechen. Französische Kinder schreien anders als deutsche Kinder.

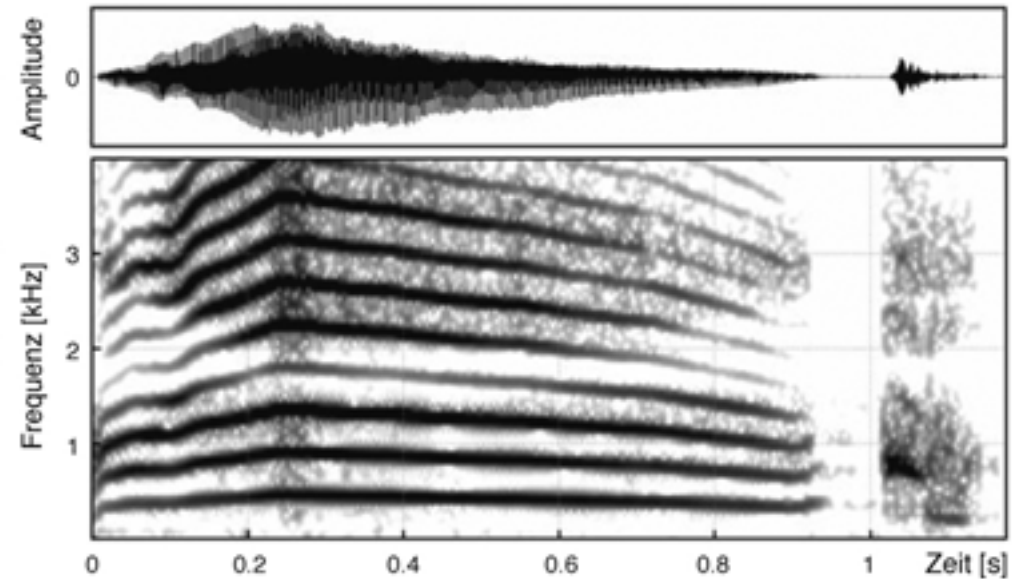
Mampe et al., 2009

Schreibeispiele

typischer französischer Schrei

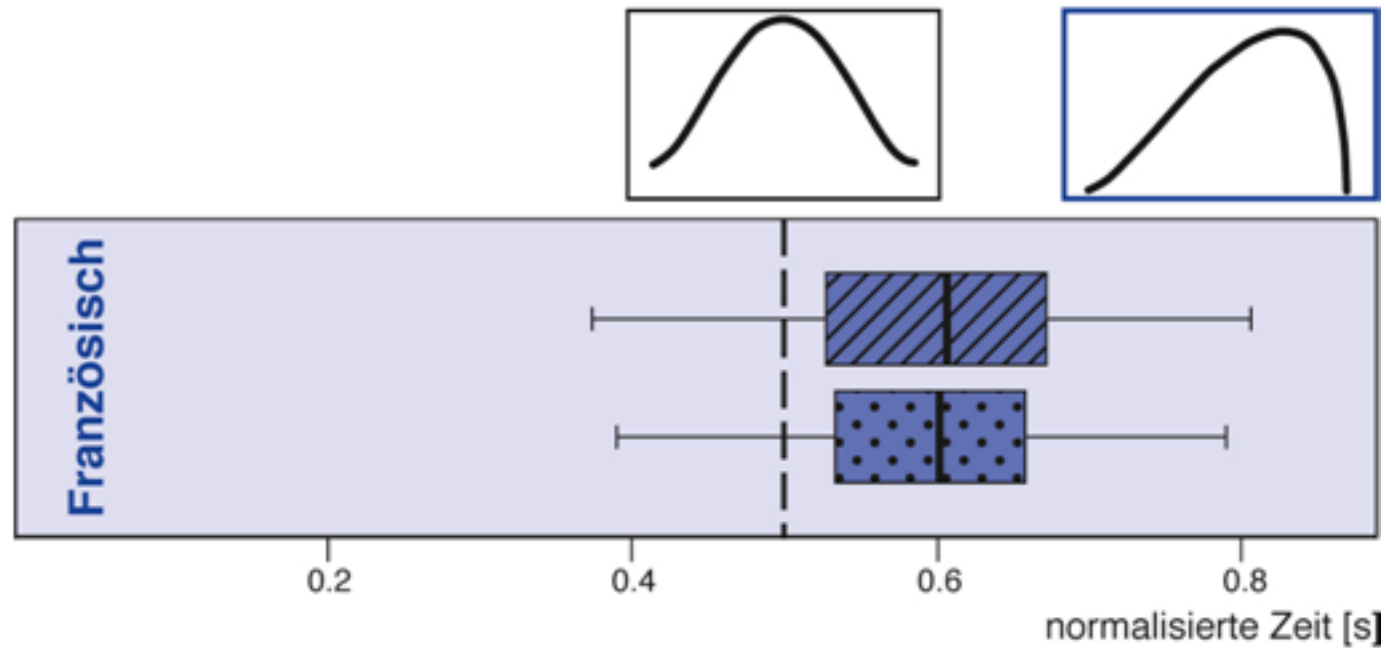


typischer deutscher Schrei



Quelle: Mampe, Friederici, Christophe & Wermke, *Current Biology*, 2009

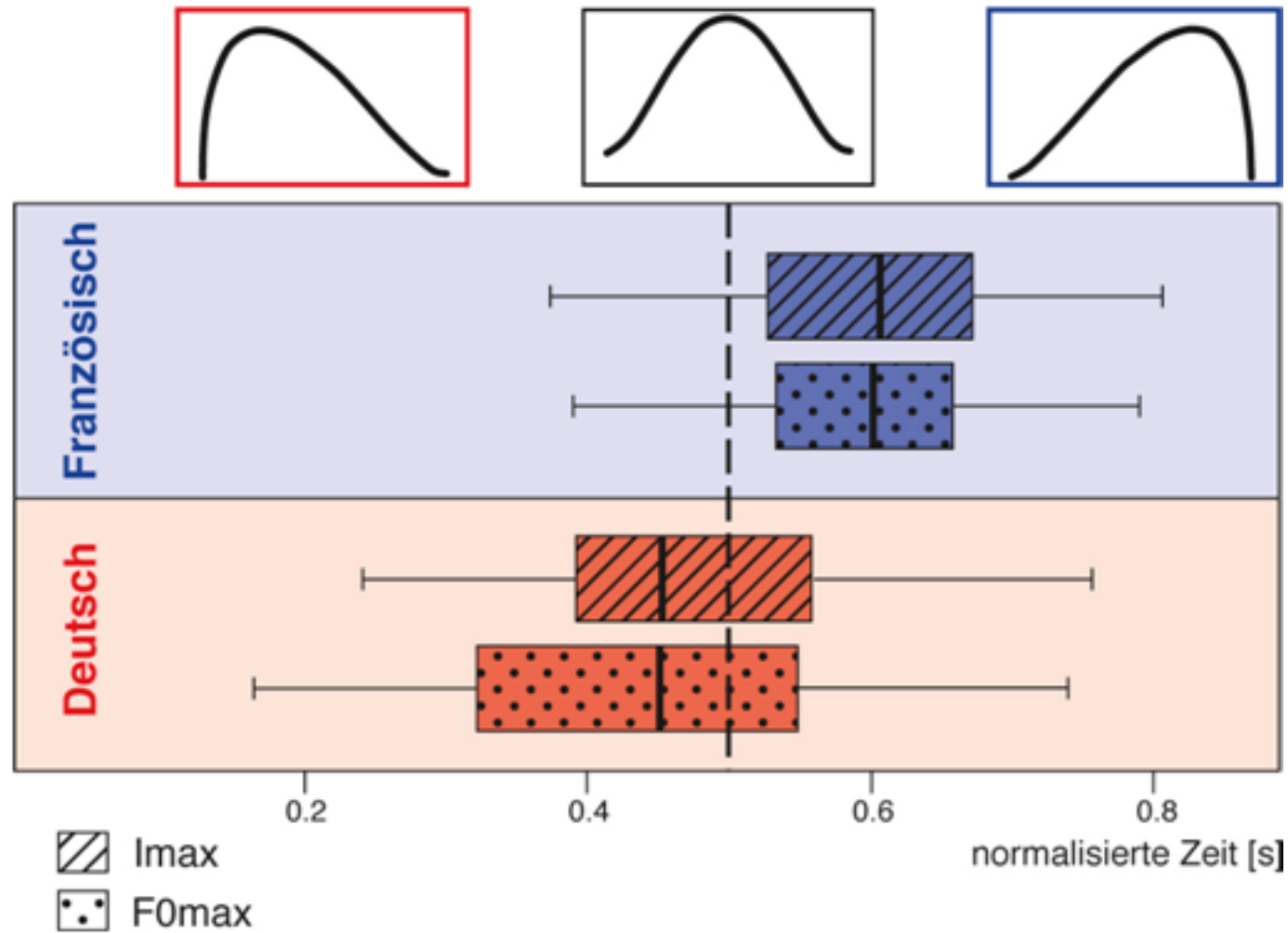
Muster der Schreie von 4 Tage alten Säuglingen



▨ Imax
◼ F0max

Quelle: Mampe, Friederici, Christophe & Wermke, *Current Biology*, 2009

Muster der Schreie von 4 Tage alten Säuglingen



Quelle: Mampe, Friederici, Christophe & Wermke, *Current Biology*, 2009

Eintritt in die Sprache



Die ersten sprachlichen Schritte von Kindern basieren auf prosodischen Informationen.

➔ auf der Wortebene

Betonungsmuster erleichtert die **Identifizierung von Wortgrenzen** (Wortbeginn und Wortende).

➔ auf der Satzebene

Die **Identifikation von syntaktischen Wortgrenzen** wird durch prosodische Informationen erleichtert, da jede sprachmelodische Phrasengrenze auch eine syntaktische ist.

Wortebene

Silbenlänge und Wortbetonung

Die Wortbetonung liegt im Deutschen vorwiegend auf der ersten Silbe (bei > 90% der zweisilbigen Wörter).

z.B. M^ama, P^apa

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

betonte Silbe = lange Silbe

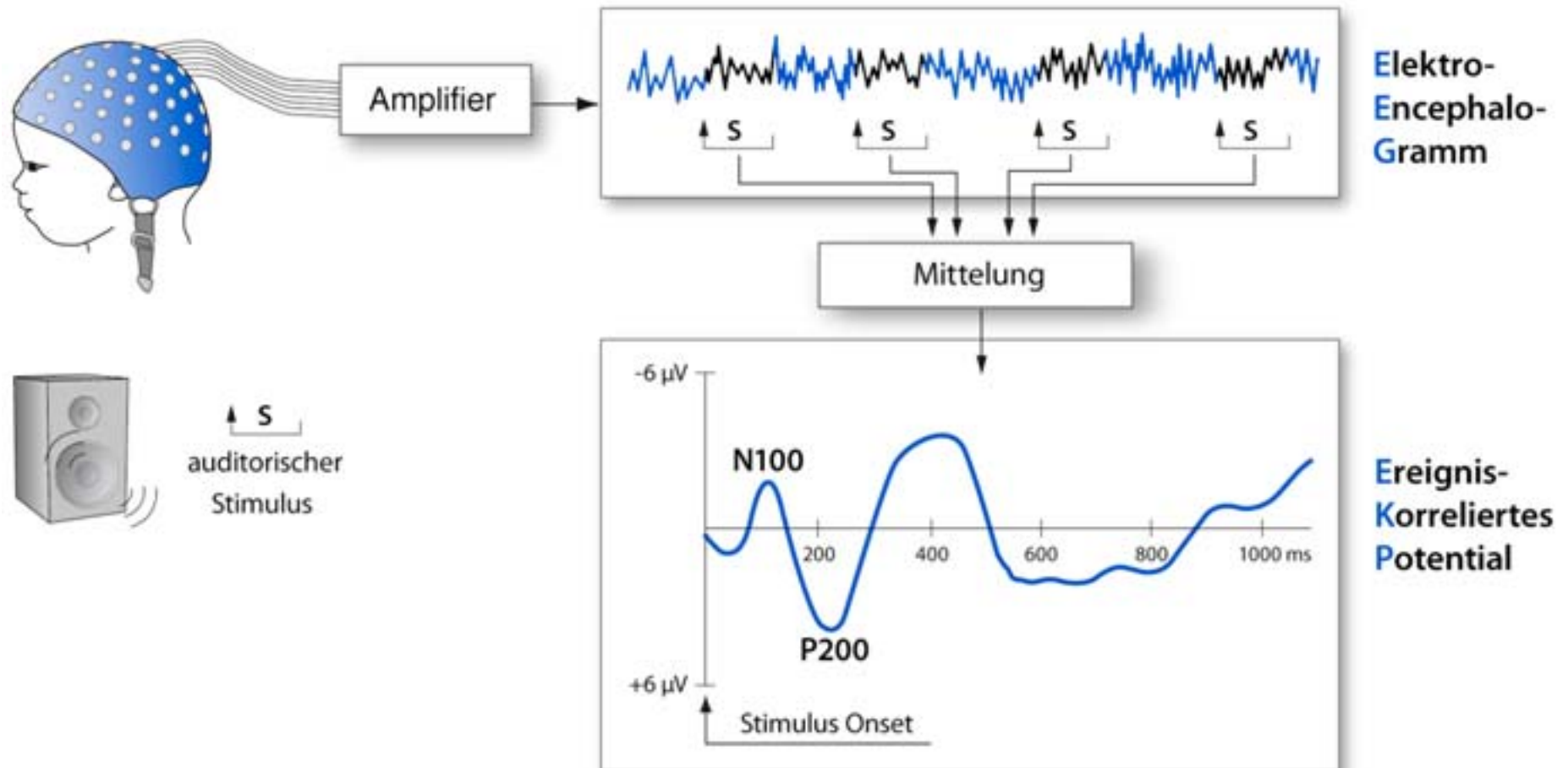
Können Säuglinge zwischen langen und kurzen Silben unterscheiden?



Methode der ereignis- korrelierten Potentiale (EKP)

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

EKP-Methode



Diskrimination Paradigma

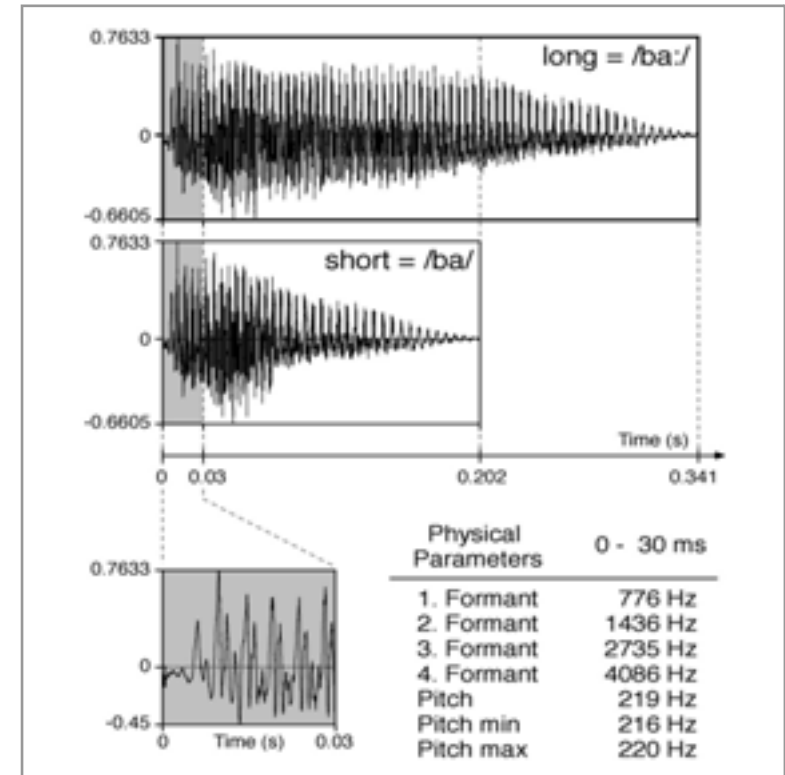
Mismatch Gehirn-Antwort

... bedarf nicht der Aufmerksamkeit des Kindes.

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

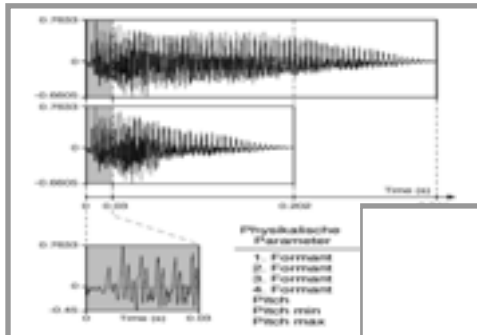


sta sta sta dev sta sta



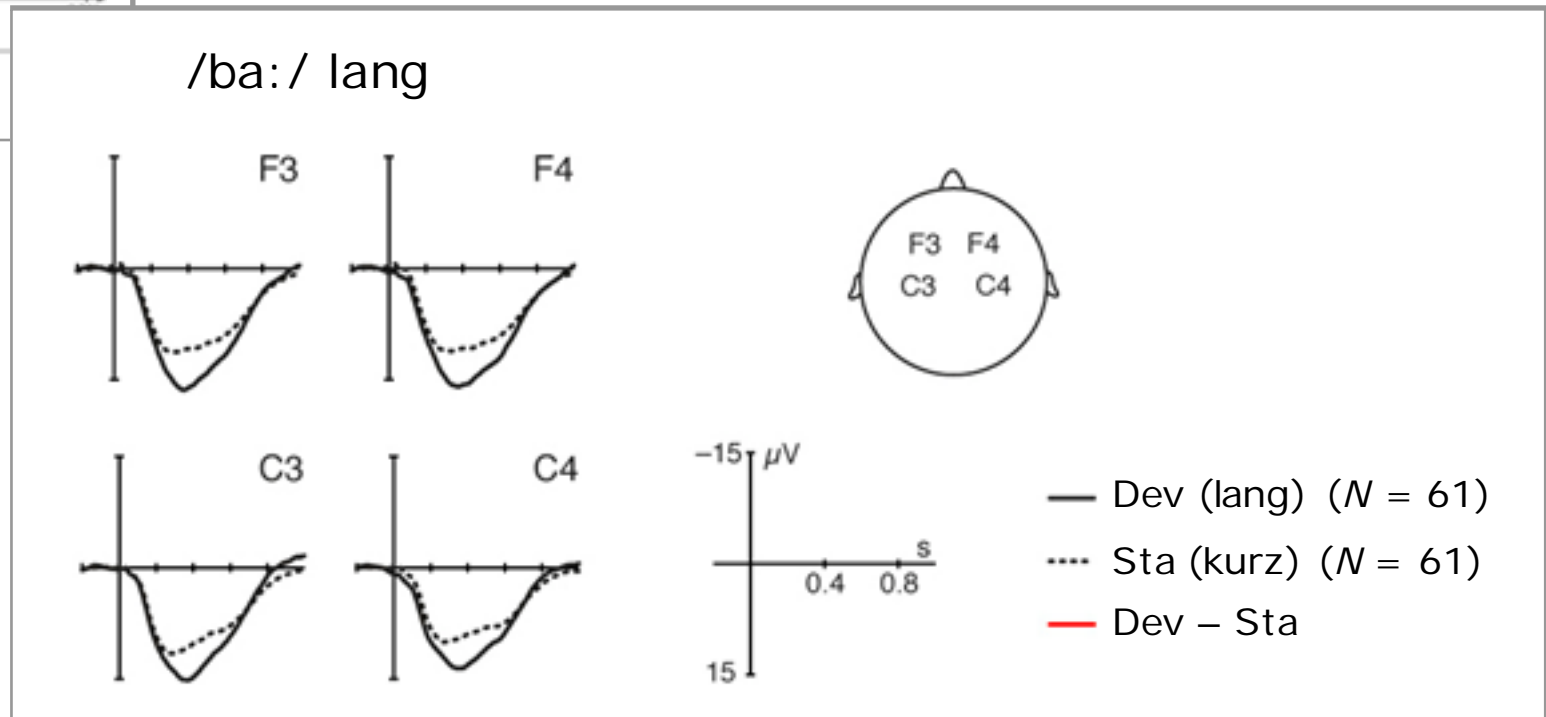
... ist das Resultat der Detektion der Abweichung von häufig wiederholten Stimulus.

Diskrimination von Silben von unterschiedlicher Länge



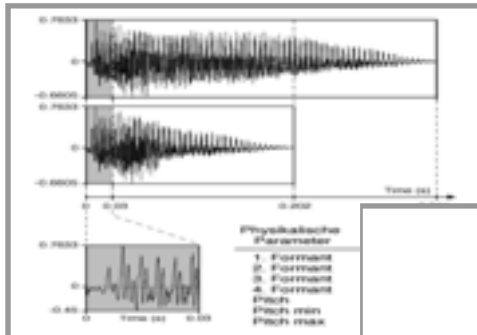
EKP pro Bedingung (schwarz) und deren Unterschied (rot) bei 2 Monate alten Kindern

/ba:/ lang

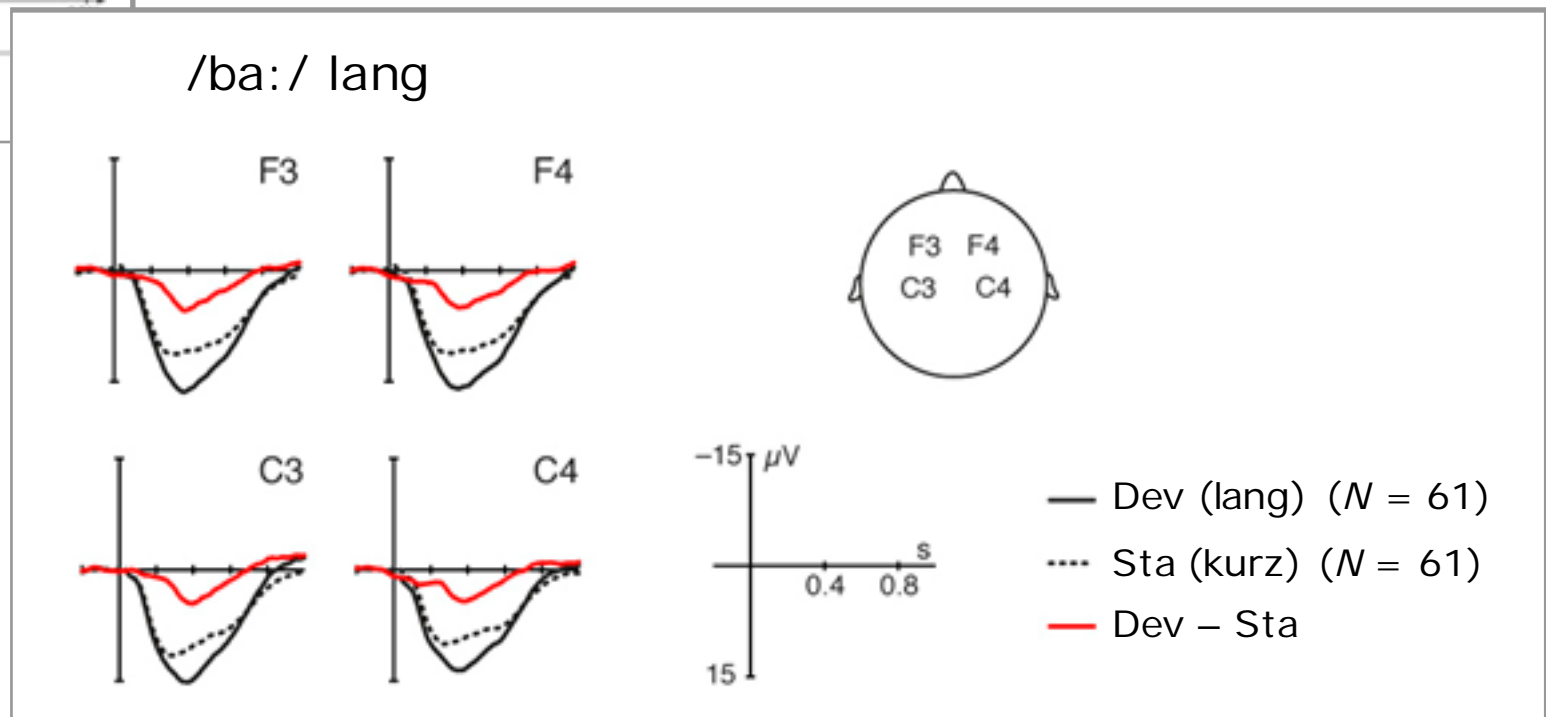


Quelle: Friederici, Friedrich & Weber, *NeuroReport*, 2002

Diskrimination von Silben von unterschiedlicher Länge



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



Quelle: Friederici, Friedrich & Weber, *NeuroReport*, 2002

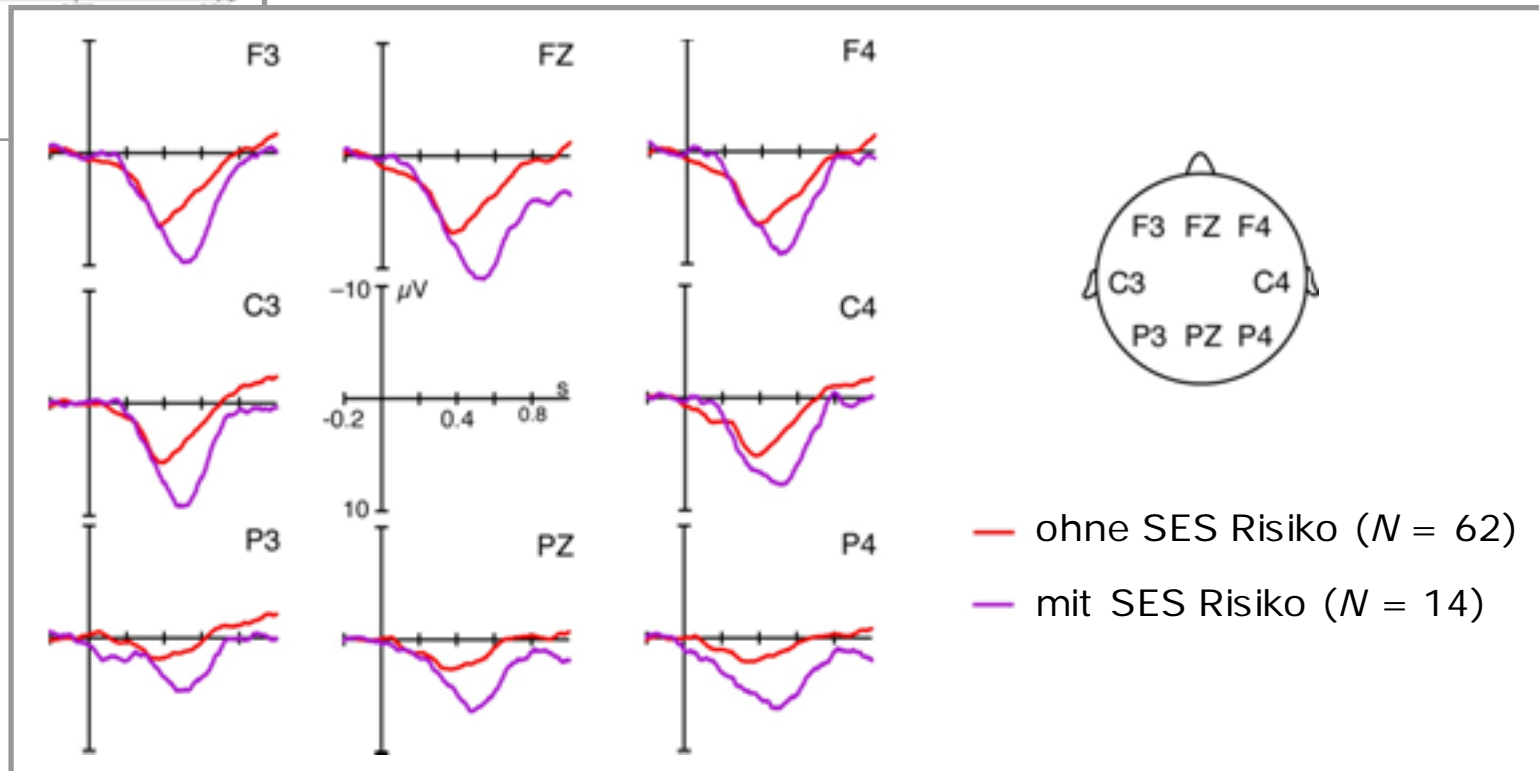
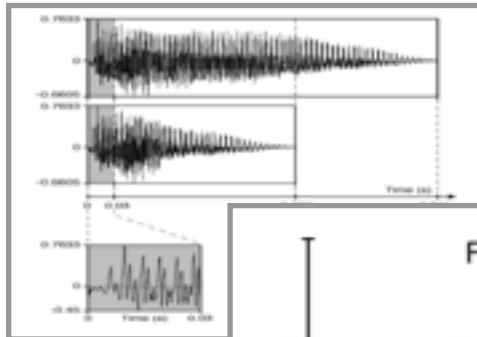
Frühes Erkennen von Sprachentwicklungsstörungen: Hypothese

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

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

EKP bei SES

Mismatch-Effekt bei 2 Monate alten Kindern mit und ohne SES Familienrisiko



Quelle: Friedrich, Weber & Friederici, *Psychophysiology*, 2004

Zusammenfassung

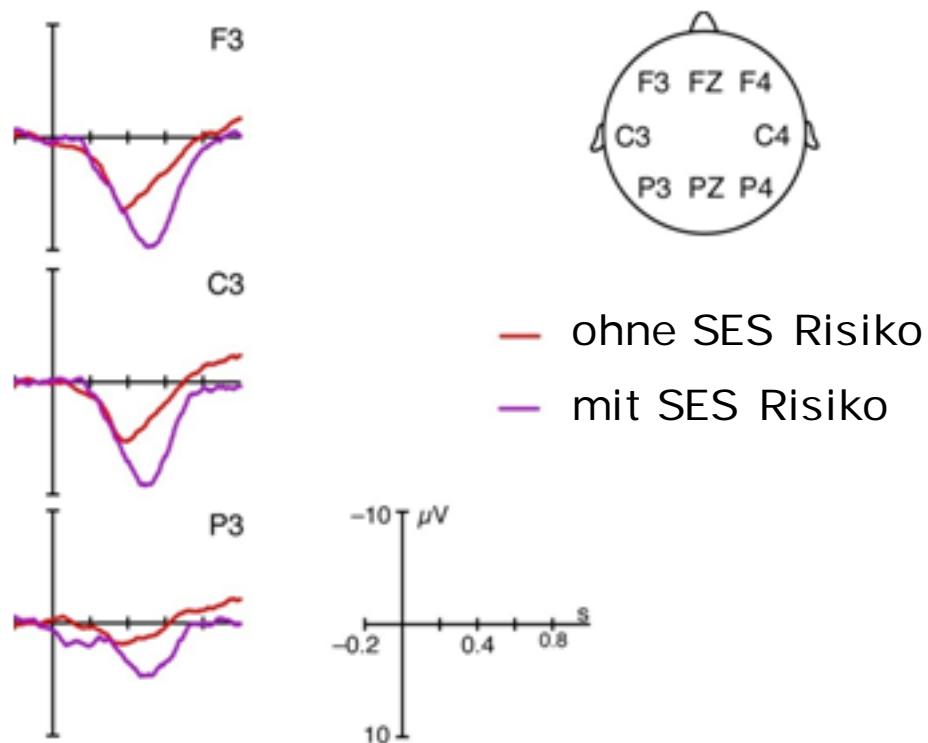


Kinder mit einem SES Risiko unterscheiden sich in ihrem EKP-Muster für die Diskrimination von Silbenlängen von denen ohne SES Risiko bereits im Alter von 2 Monaten.

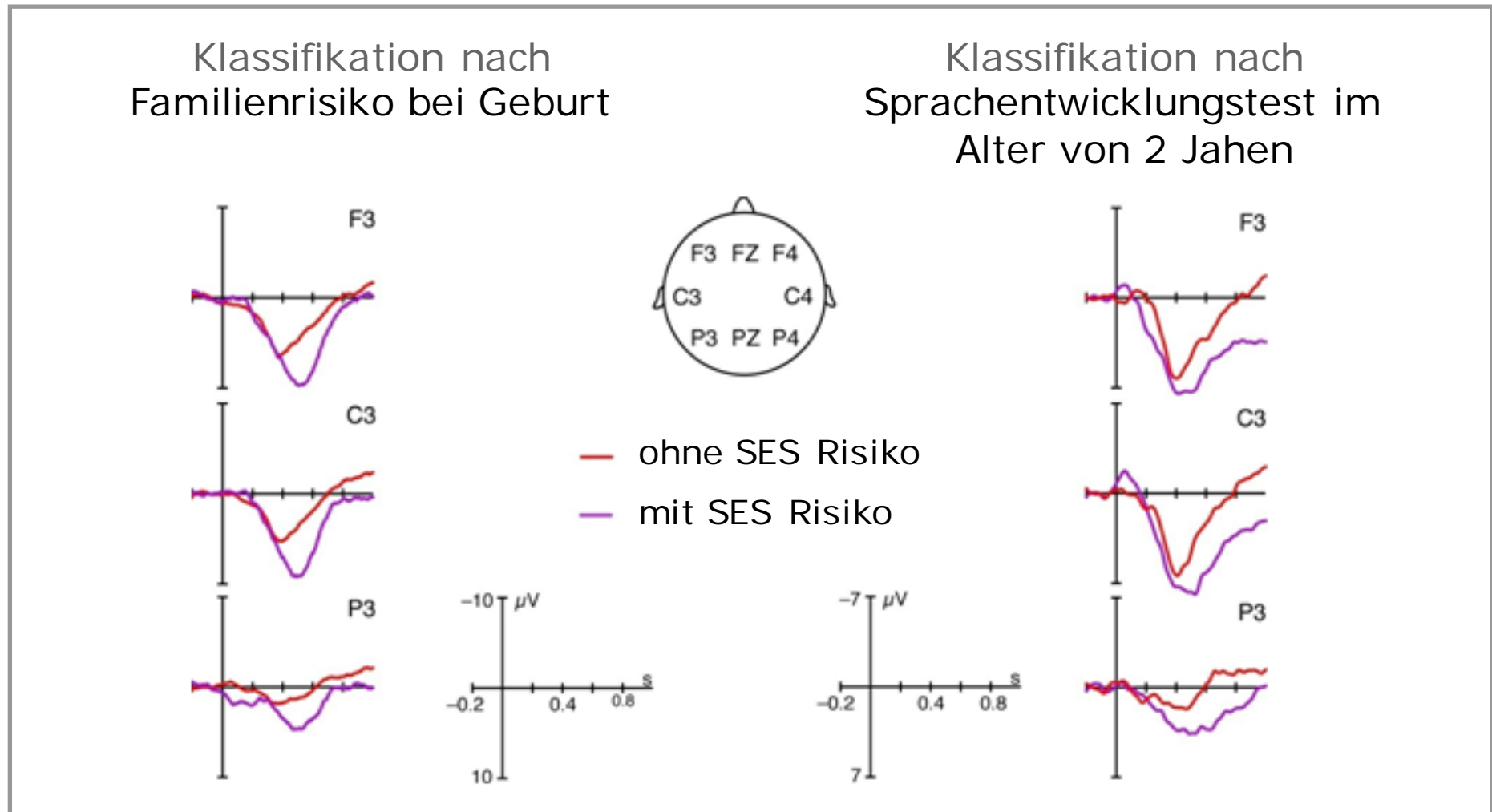
Hat das auch für die spätere Sprachentwicklung etwas zu sagen?

EKP-Daten gemessen im Alter von 2 Monaten

Klassifikation nach Familienrisiko bei Geburt



EKP-Daten gemessen im Alter von 2 Monaten



Frühe Diagnose ist möglich!

Wortebene

Die ersten sprachlichen Schritte von Kindern basieren auf der Wahrnehmung von **Betonungs**-Informationen.

In der Wahrnehmung erleichtert die **Betonung** die **Identifizierung von Wortgrenzen**, d.h. die Identifizierung von Wortbeginn und Wortende im Sprachstrom.

Erkennen der Wortbetonung

Wortbetonungen sind sprachspezifisch.

Deutsch: Betonung auf der ersten Silbe typisch

pápa

Französisch: Betonung auf der zweiten Silbe typisch

papá

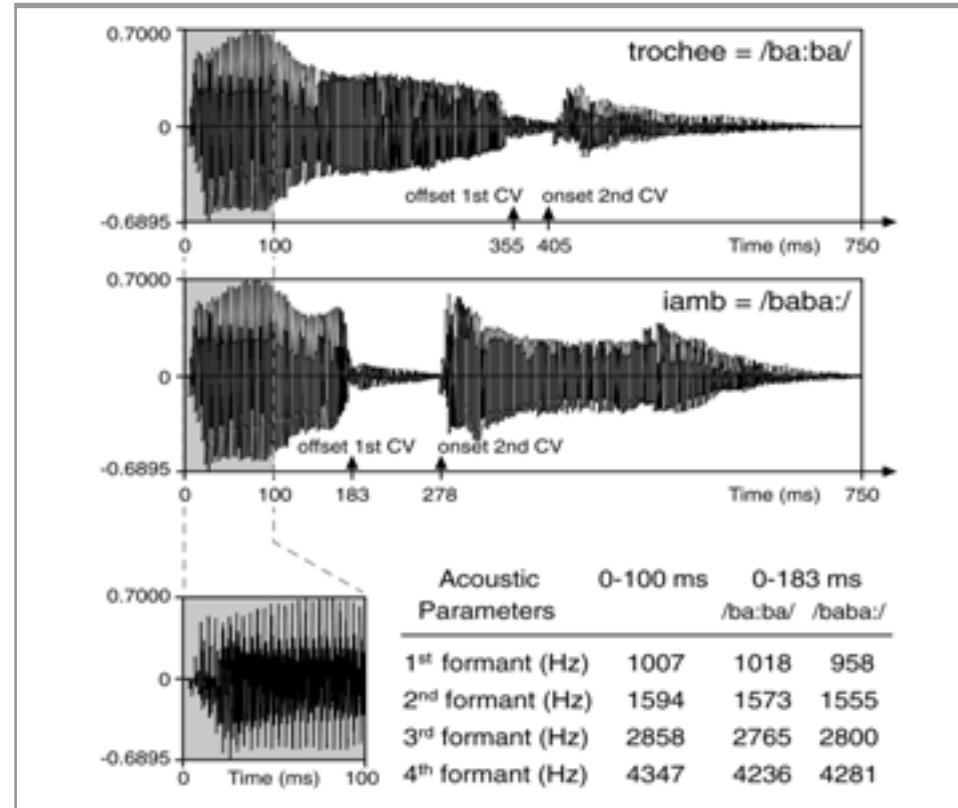
Diskrimination von unterschiedlichen Betonungsmustern

/ba:ba/ 750 ms

/baba:/ 750 ms

Standard $5/6$

Deviant $1/6$



1. Block

baaba

baaba

baaba

babaa

baaba

baaba

2. Block

babaa

babaa

babaa

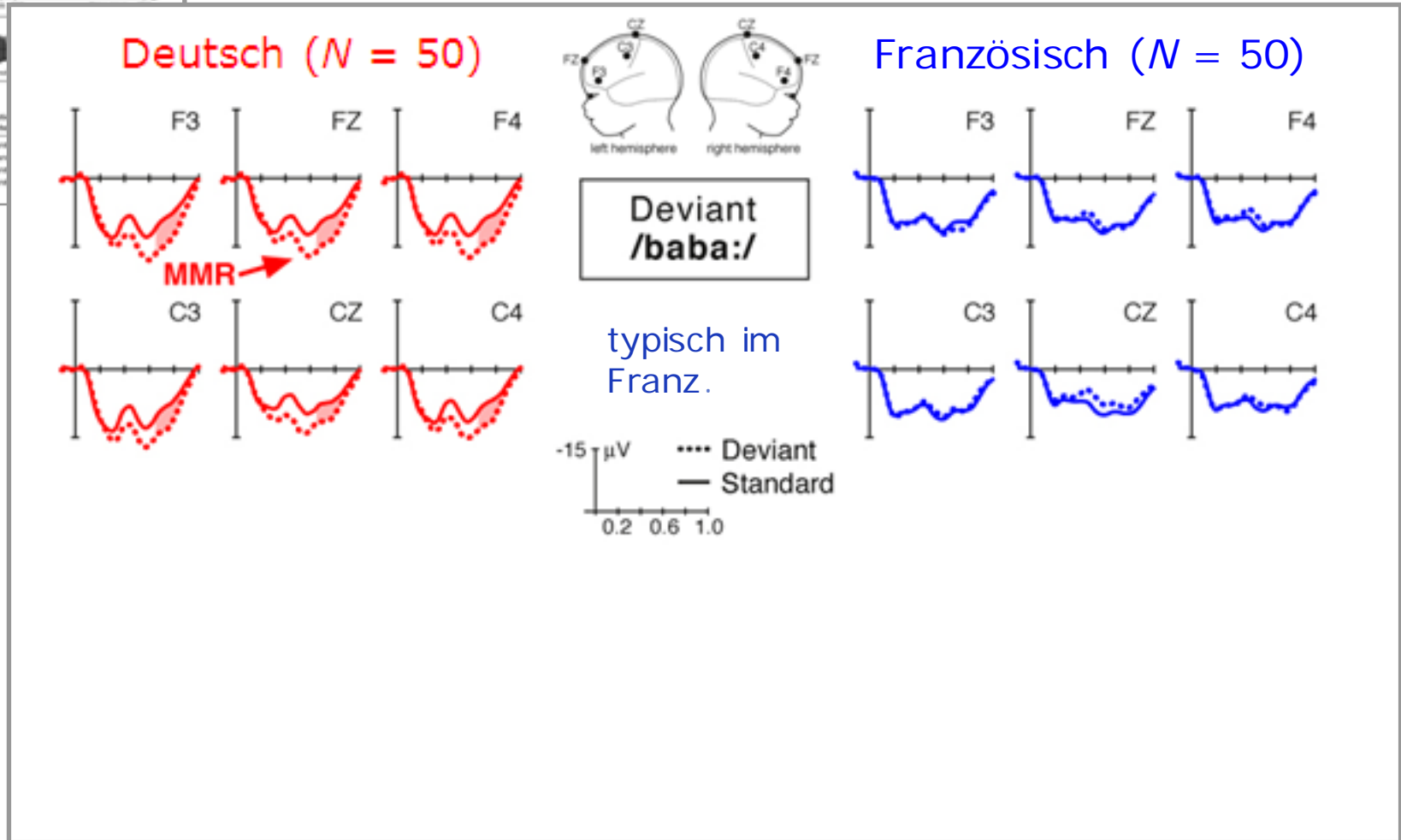
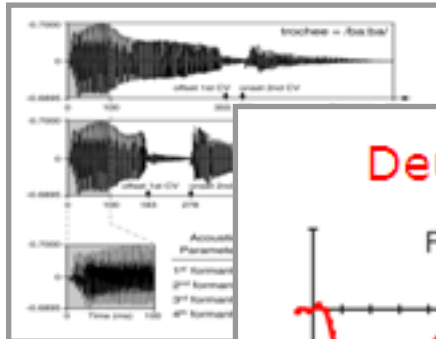
babaa

baaba

babaa

Diskrimination von unterschiedlichen Betonungsmustern

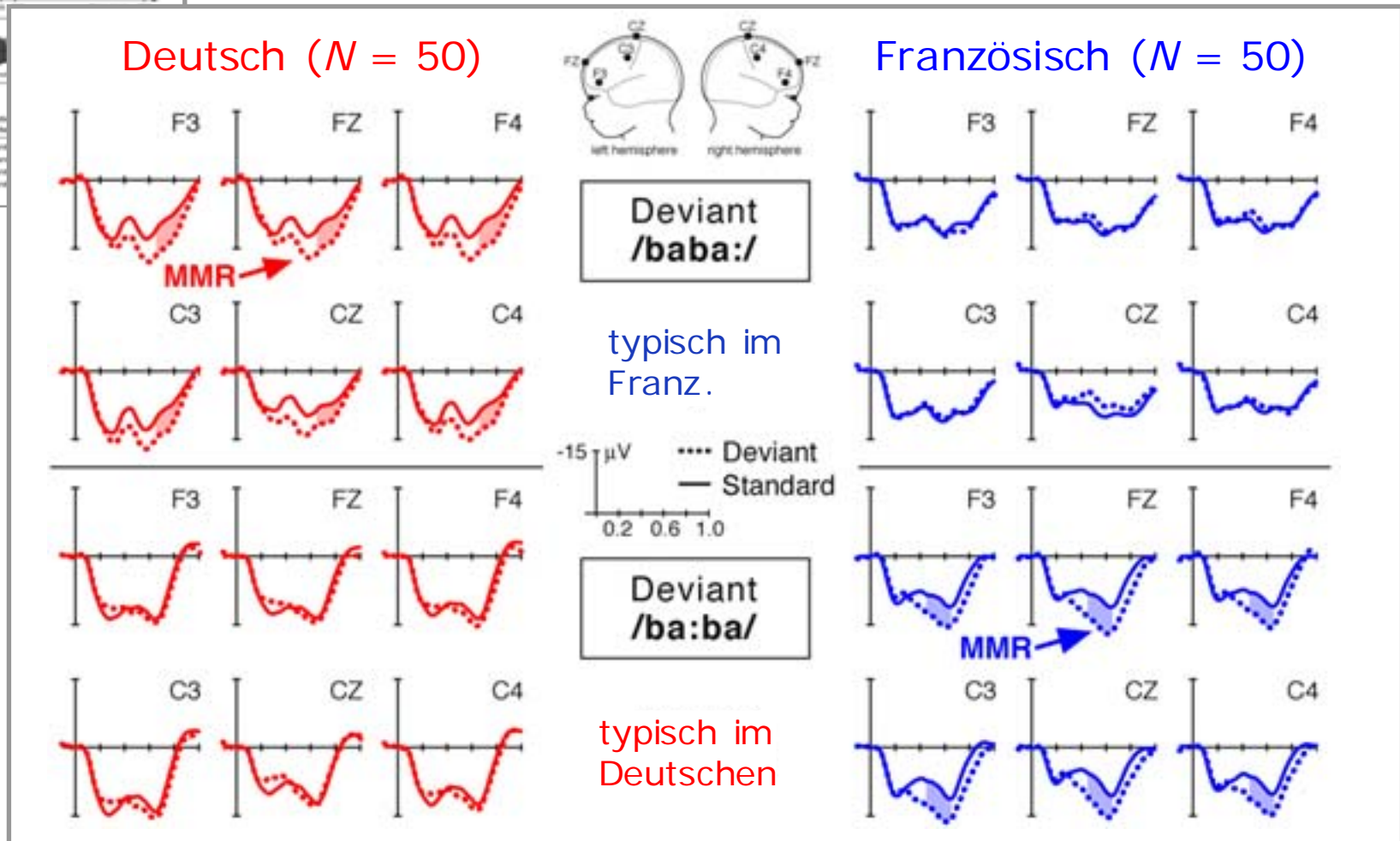
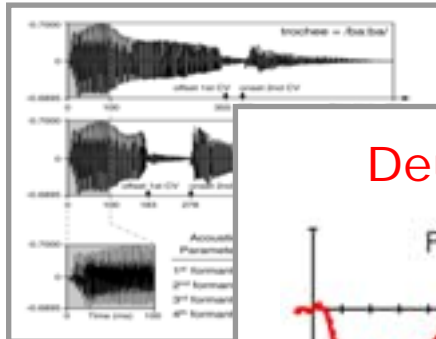
Mismatch-Effekte bei 4–5 Monate alten Kinder



Quelle: Friederici, Friedrich & Christophe, *Current Biology*, 2007

Diskrimination von unterschiedlichen Betonungsmustern

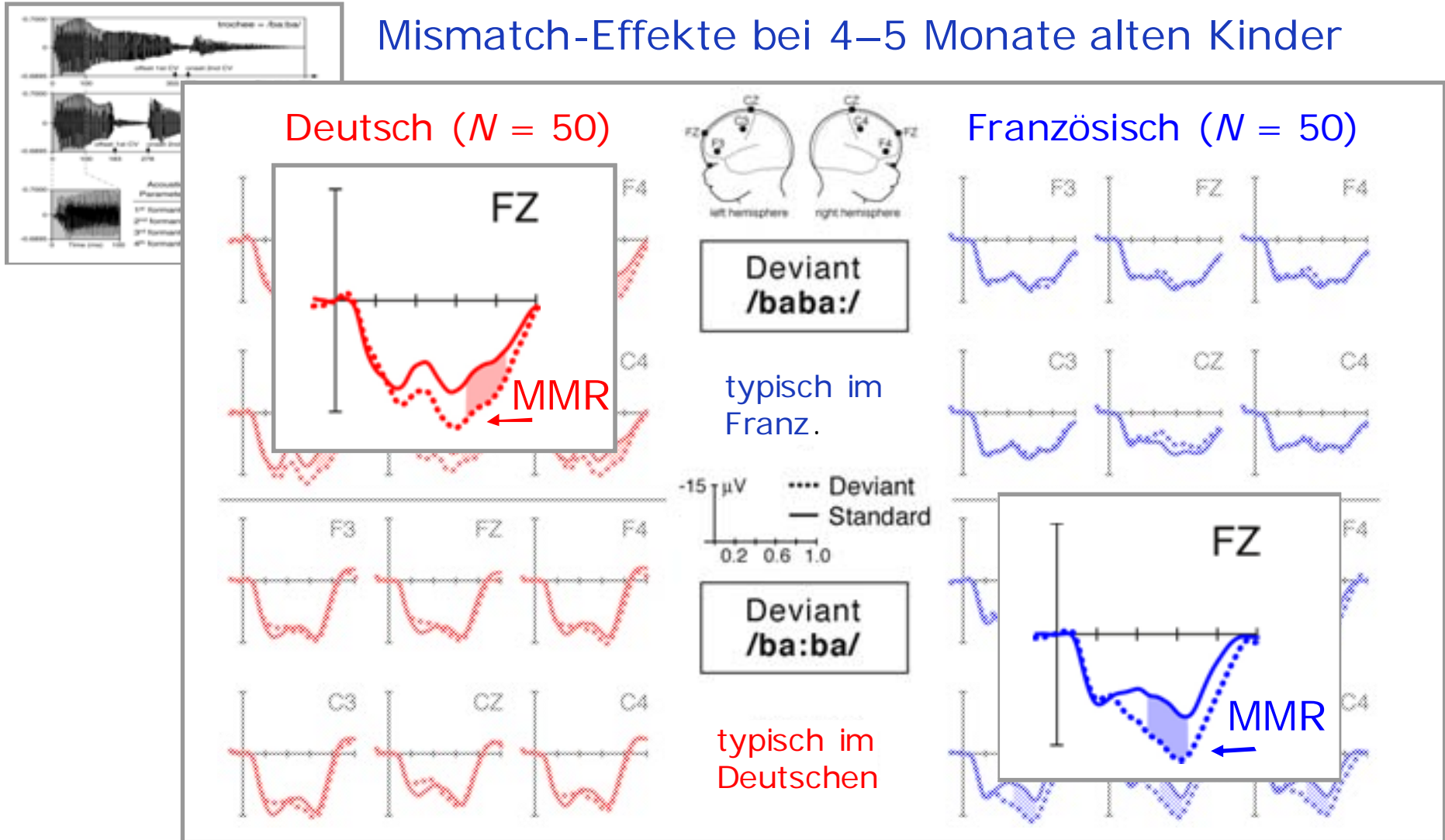
Mismatch-Effekte bei 4–5 Monate alten Kinder



Quelle: Friederici, Friedrich & Christophe, *Current Biology*, 2007

Diskrimination von unterschiedlichen Betonungsmustern

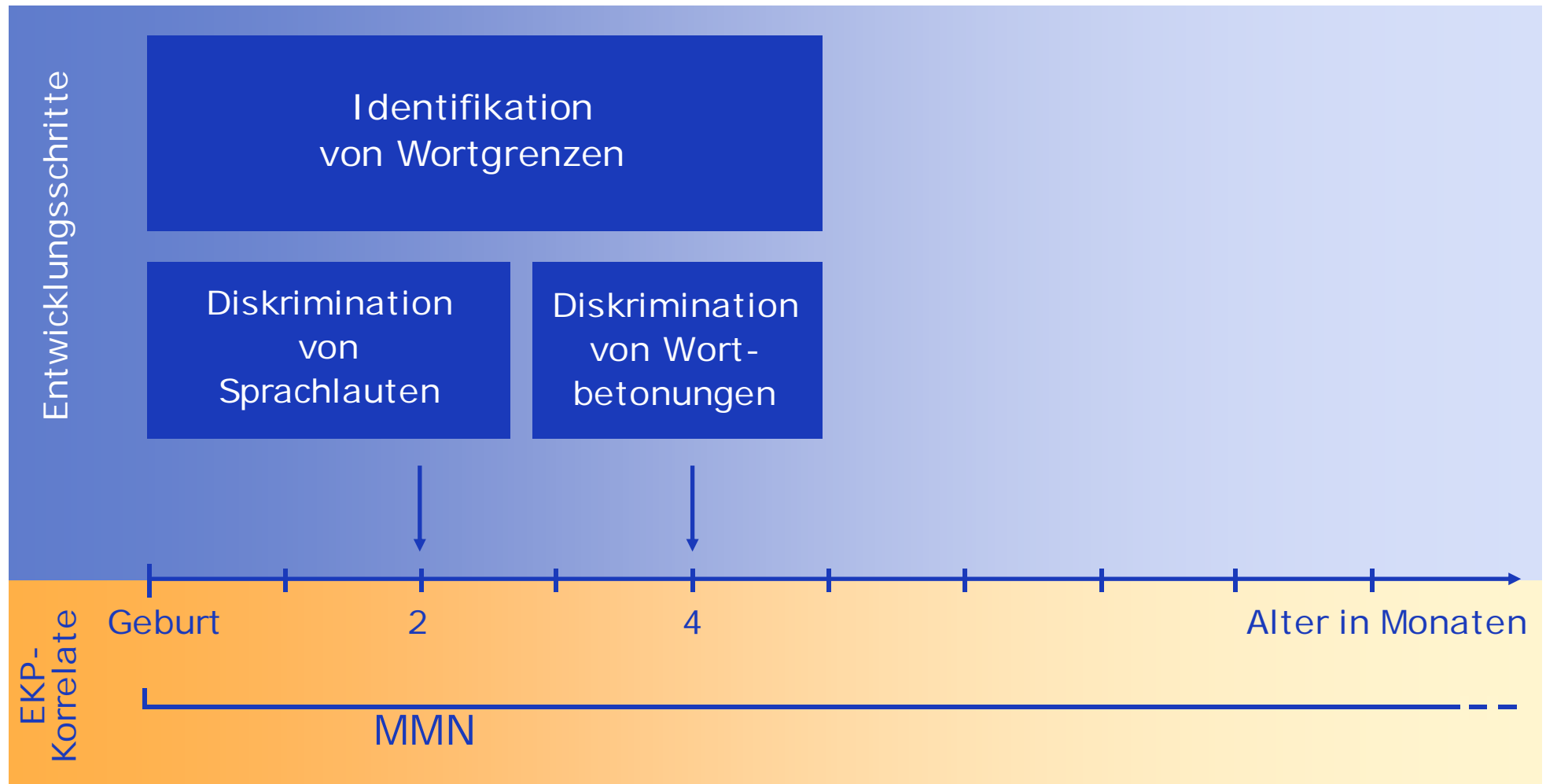
Mismatch-Effekte bei 4–5 Monate alten Kinder



Quelle: Friederici, Friedrich & Christophe, *Current Biology*, 2007

Sprachentwicklung

Entwicklungsschritte und EKP-Korrelate



Quelle: Friederici, *Trends in Cognitive Sciences*, 2005

Eintritt in die Sprache



Die ersten sprachlichen Schritte von Kindern basieren auf prosodischen Informationen.

⇒ auf der Wortebene

Betonungsmuster erleichtert die Identifizierung von Wortgrenzen (Wortbeginn und Wortende).

➔ auf der Satzebene

Die Identifikation von syntaktischen Wortgrenzen wird durch prosodische Informationen erleichtert, da jede sprachmelodische Phrasengrenze auch eine syntaktische ist.

Satzebene

Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen (IPh)

Da jede sprachmelodische Phrasengrenze eine syntaktische Phrasengrenze ist, liefert die Identifikation der Intonationsphrasengrenzen einen einfachen Einstieg in die Syntax der vorliegenden Sprache.

Verarbeitung von Prosodie

(A) 1 Intonationsphrasengrenze

[IP1 Peter verspricht Anna zu ARBEITEN] # [IP2 und ...

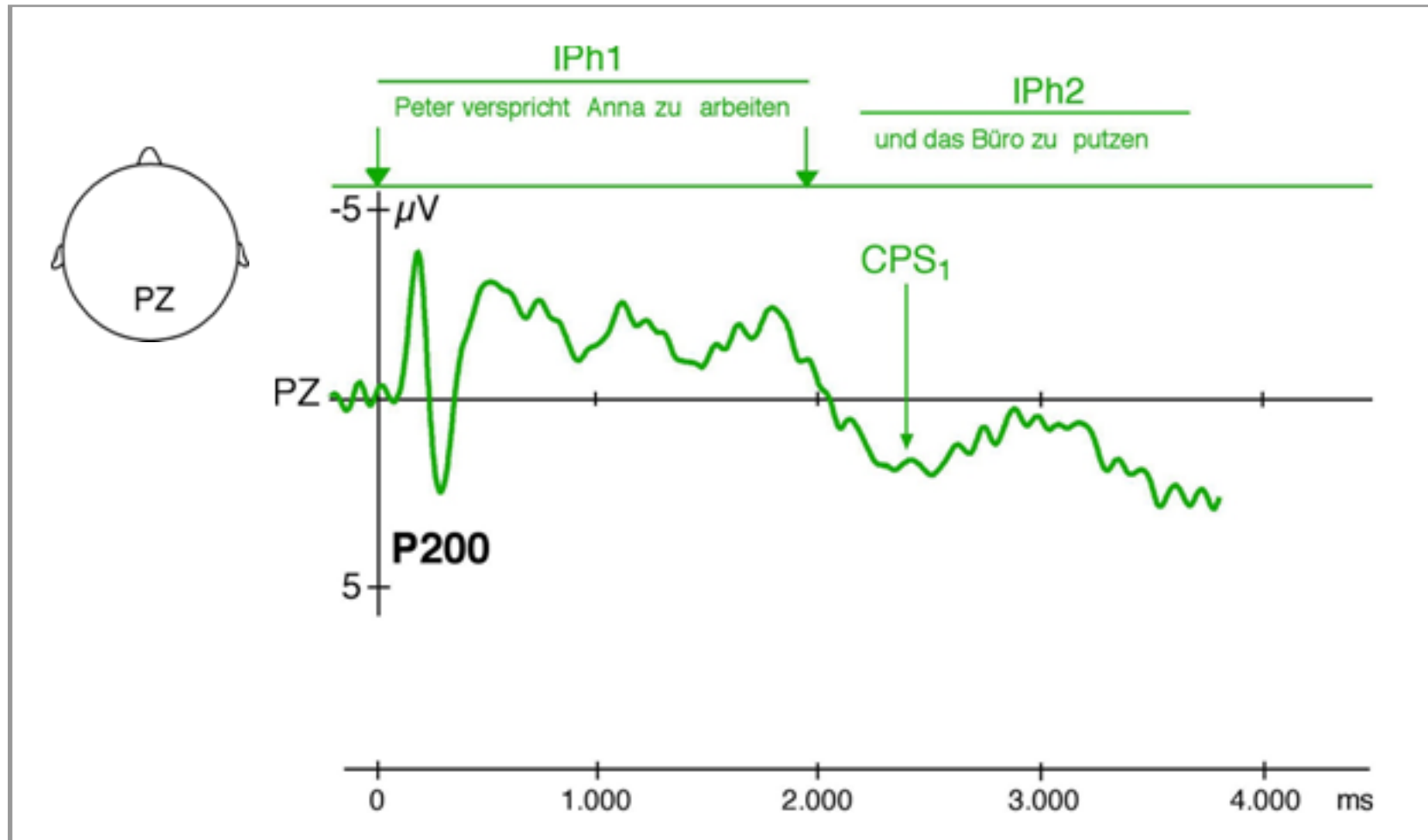


(B) 2 Intonationsphrasengrenzen

[IP1 Peter verspricht] # [IP2 ANNA zu entlasten] # [IP3 und ...



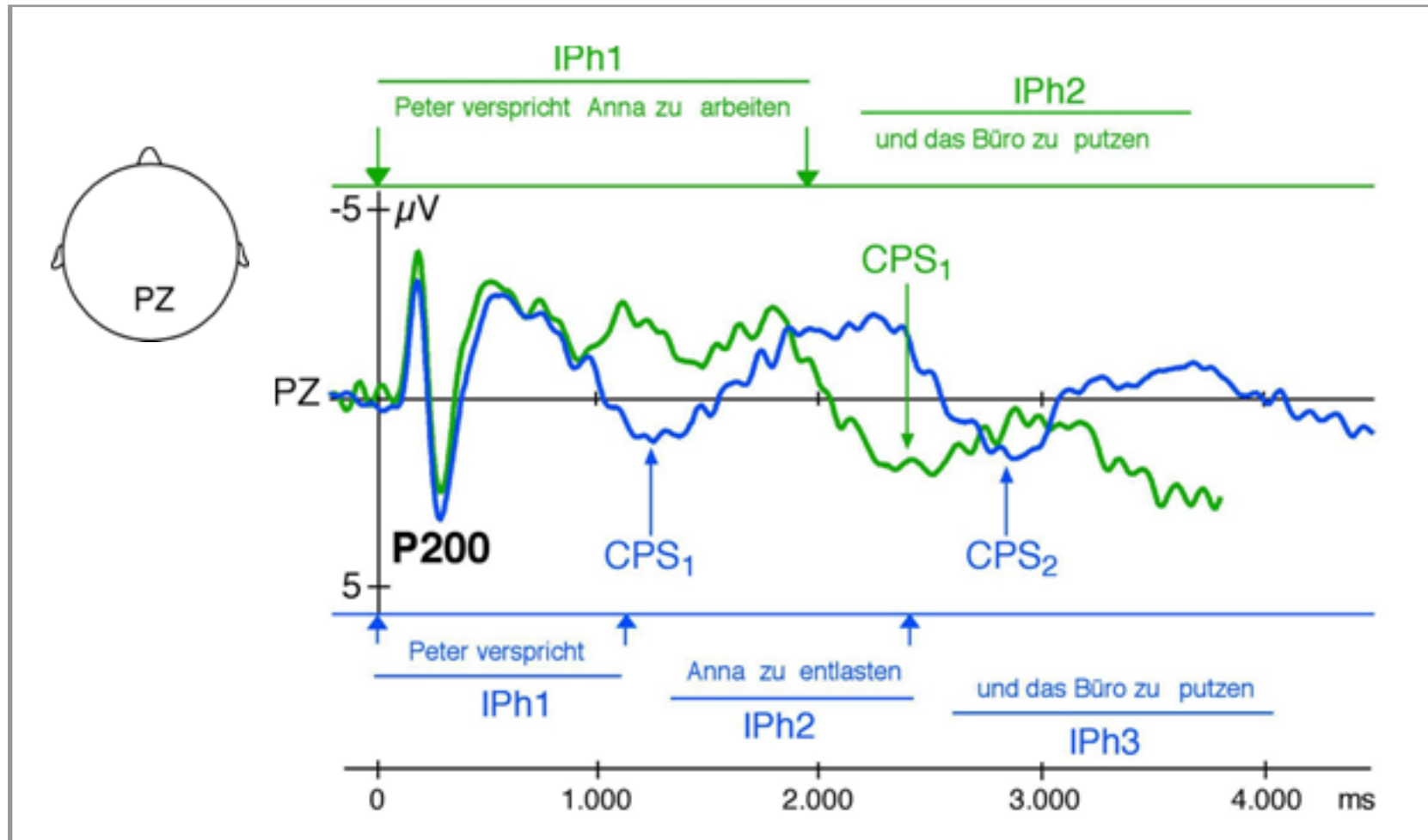
EKP-Effekt der Intonationsphrasengrenze: Erwachsene



CPS = Closure Positive Shift

Quelle: Steinhauer, Alter & Friederici, *Nature Neuroscience*, 1999

EKP-Effekt der Intonationsphrasengrenze: Erwachsene

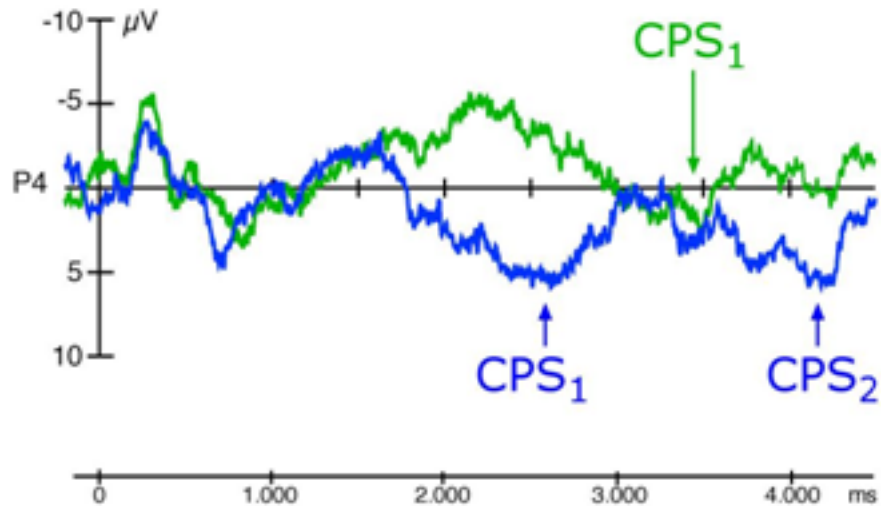


CPS = Closure Positive Shift

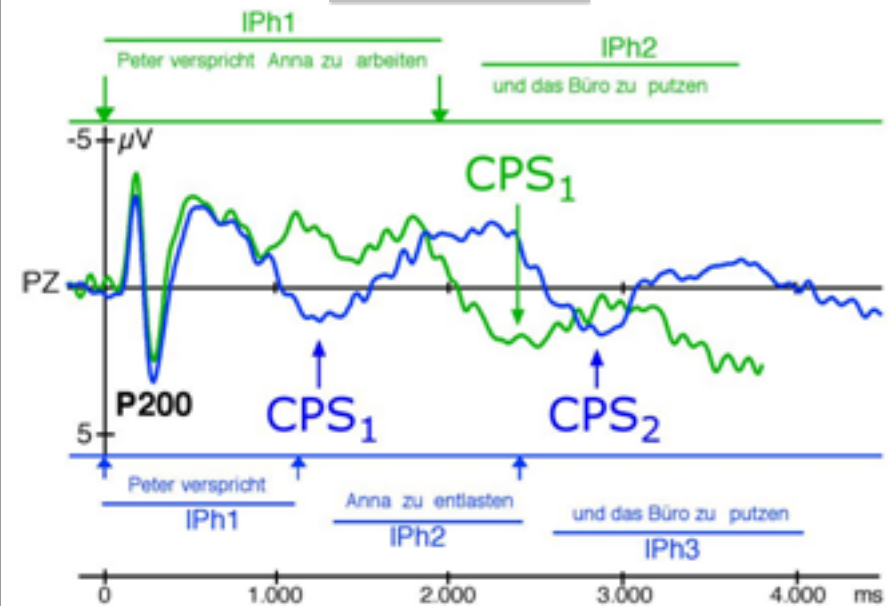
Quelle: Steinhauer, Alter & Friederici, *Nature Neuroscience*, 1999

Vergleich Erwachsene vs. Kinder

8 Monate alte Kinder



Erwachsene



Quelle: Pannekamp et al., 2004

Quelle: Steinhauer, Alter & Friederici, Nature Neuroscience, 1999

Stimulusmaterial

Kurze Sätze mit Pause # und ohne Pause

(A) Keine IPh Grenze (ohne Pause im Satz)

[IPh1 Tommy verspricht Papa zu schlafen].



(B) IPh Grenze (Pause im Satz)

[IPh1 Tommy verspricht] # [IPh2 Papa zu helfen].

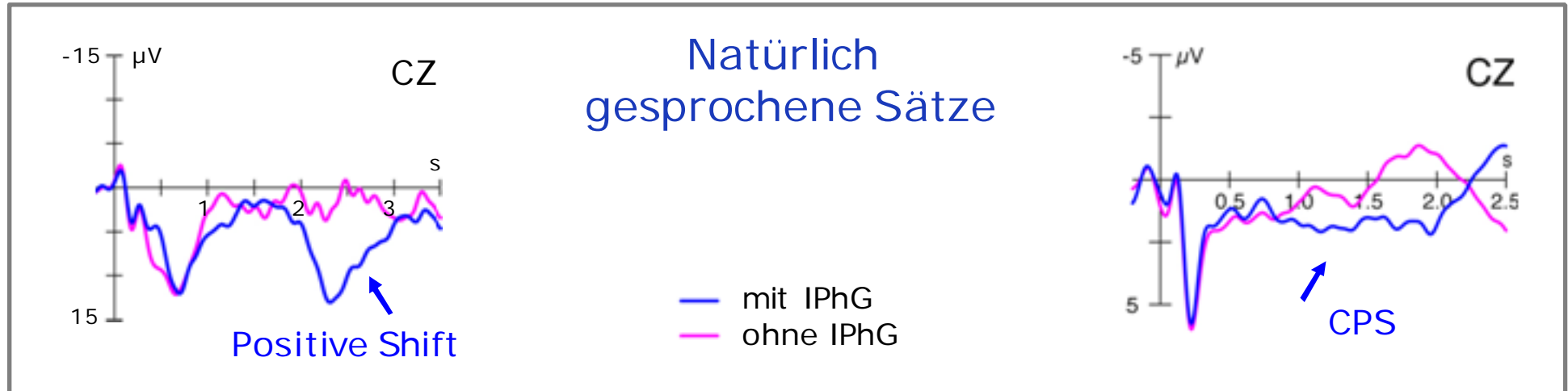


(C) IPh Grenze (Pause im Satz)

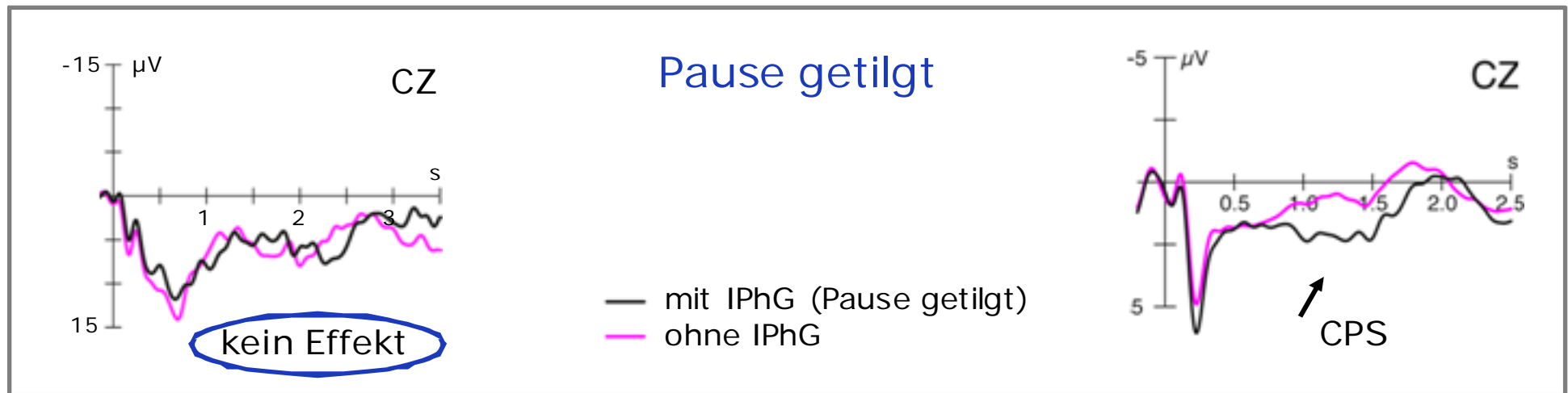
[IPh1 Tommy verspricht] [IPh2 Papa zu helfen].

↑
Pause getilgt

5 Monate alte Kinder



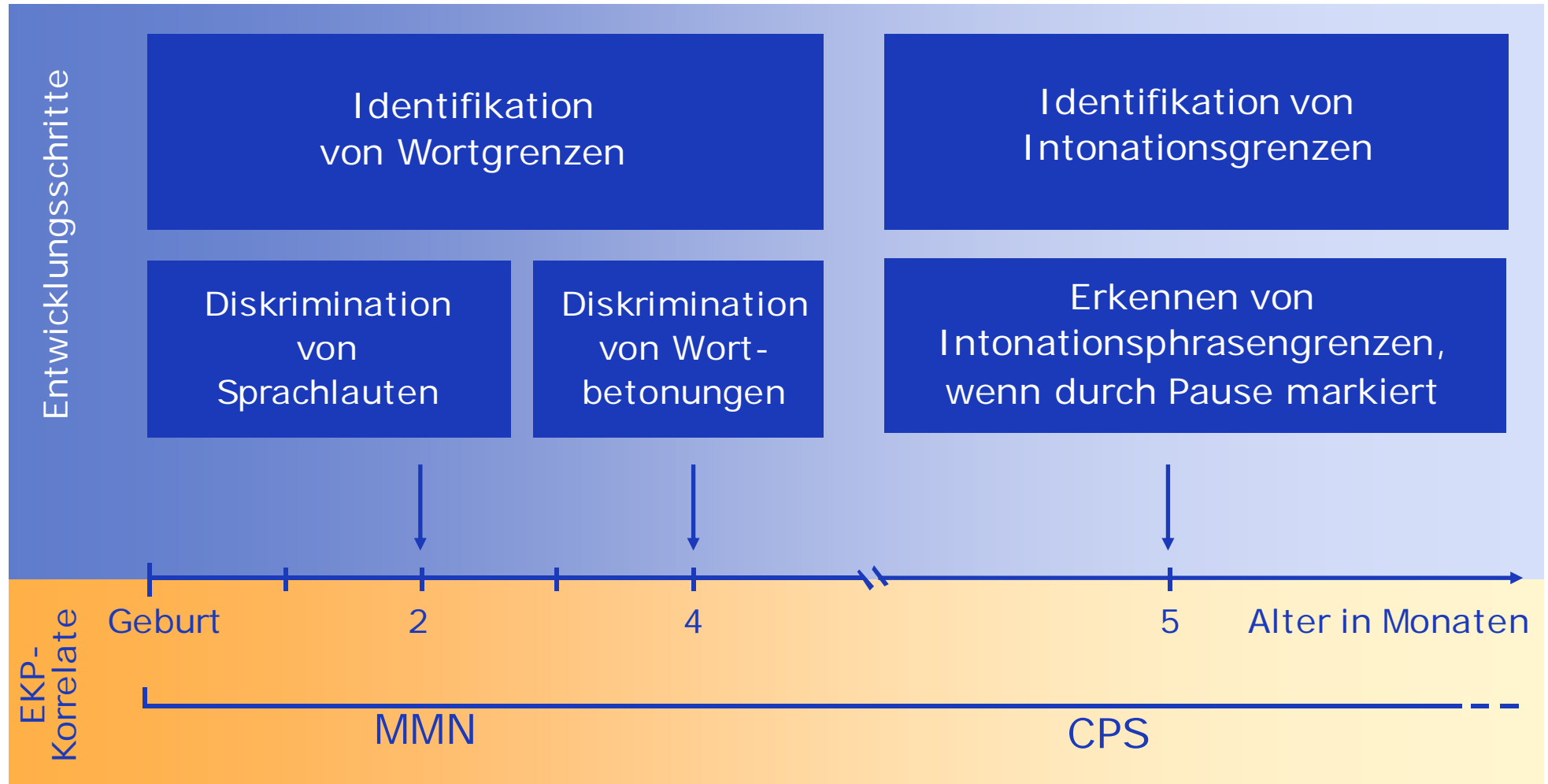
Erwachsene



Quelle: Männel & Friederici, JOCN, 2009

Sprachentwicklung

Entwicklungsschritte und EKP-Korrelate



Quelle: Friederici, *Trends in Cognitive Sciences*, 2005

Prosodie

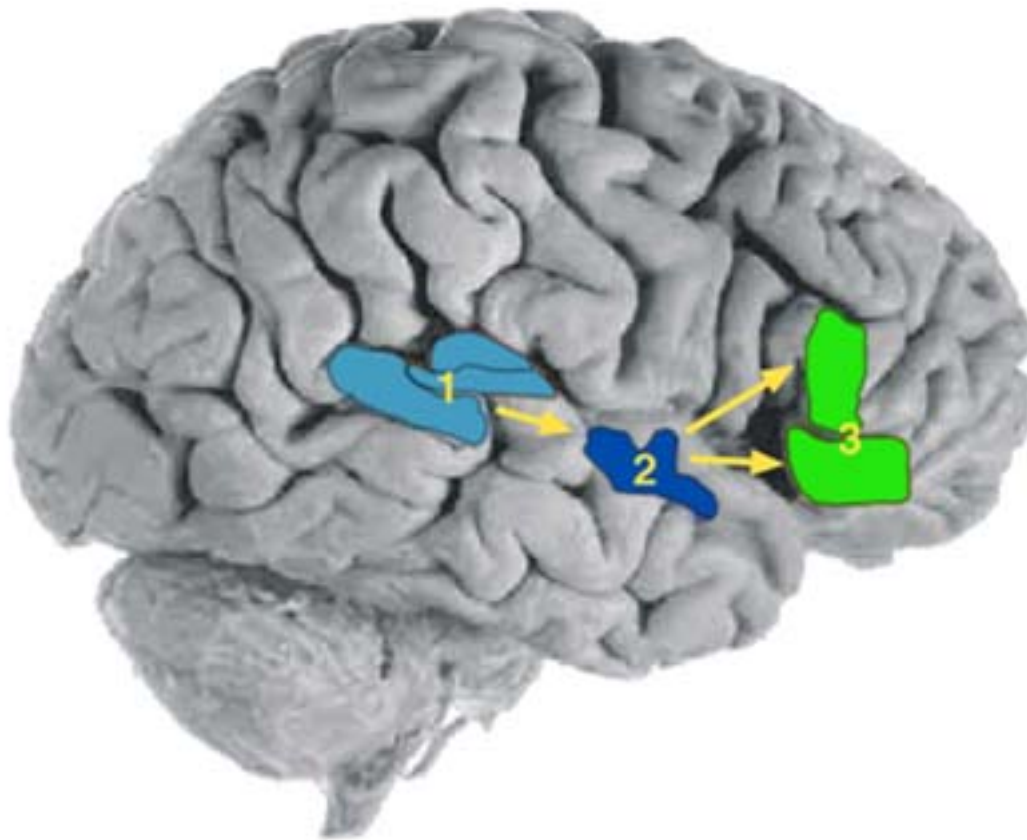
Wie steht es mit der Verarbeitung der emotionalen
Prosodie?

Was sind die neuronalen Grundlagen?

Emotionale Prosodie

Erwachsene

rechte Hemisphäre



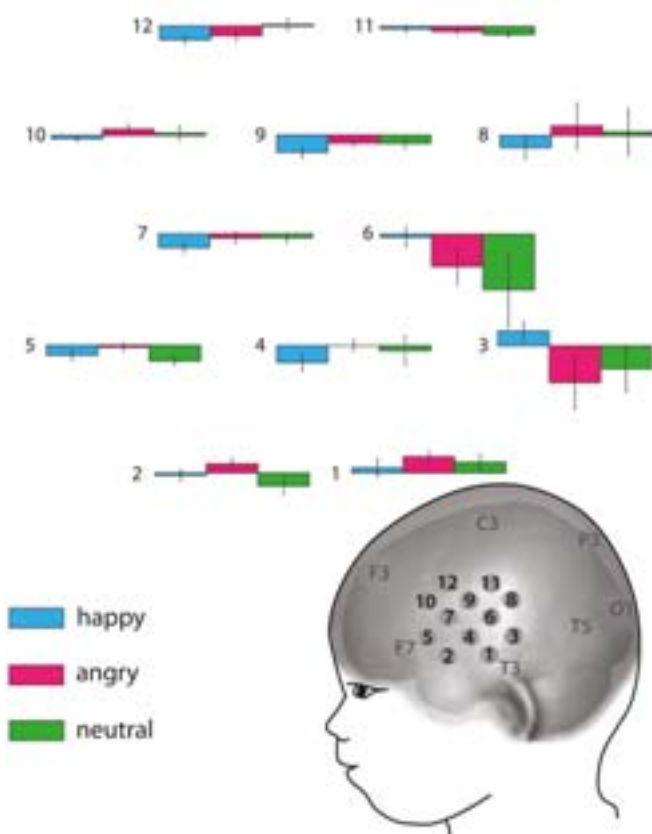
- auditorische Verarbeitung
- emotionale Verarbeitung
- Aufmerksamkeit & Bewertung

Quelle: Schirmer & Kotz, *TICS*, 2005

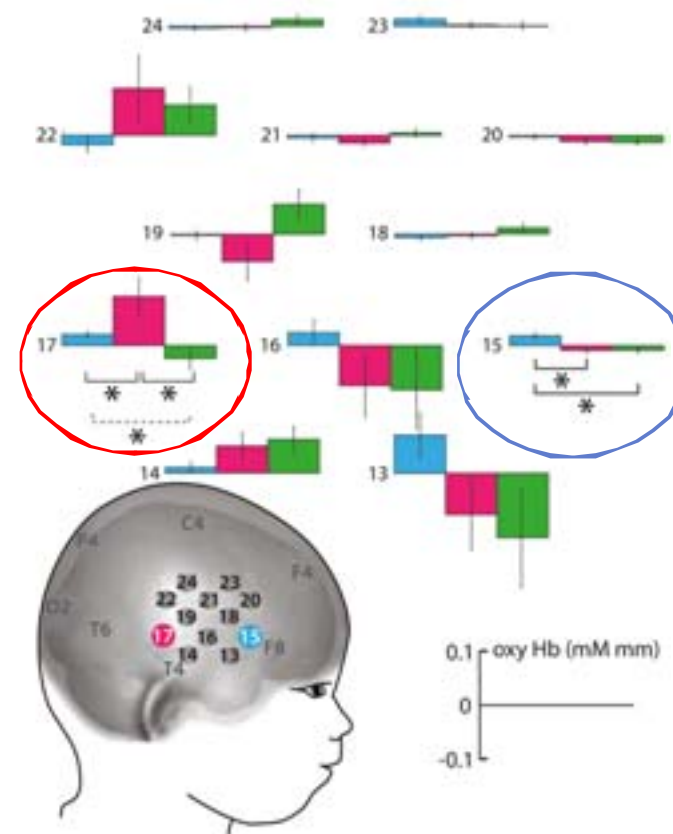
Emotionale Prosodie: NIRS

7 Monate alte Kinder

linke Hemisphäre



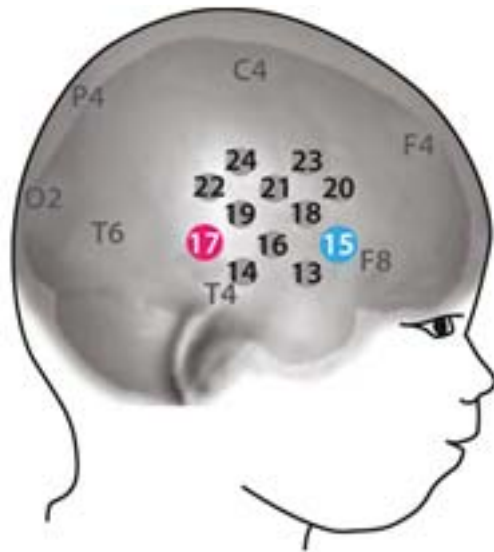
rechte Hemisphäre



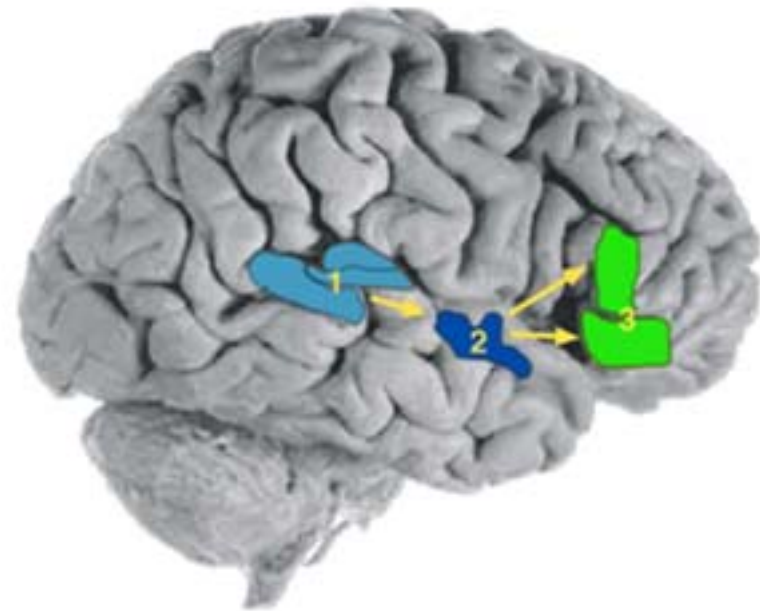
Quelle: Grossmann, Oberecker, Koch & Friederici, *Neuron*, 2010

Emotionale Prosodie: NIRS

7 Monate alte Kinder



Erwachsene



Die neuronalen Systeme sind für die Verarbeitung von emotionaler Prosodie bei Kleinkindern und Erwachsenen sehr ähnlich!

Quelle: Grossmann, Oberecker, Koch & Friederici, *Neuron*, 2010

Quelle: Schirmer & Kotz, *TICS*, 2005

Wörter verstehen

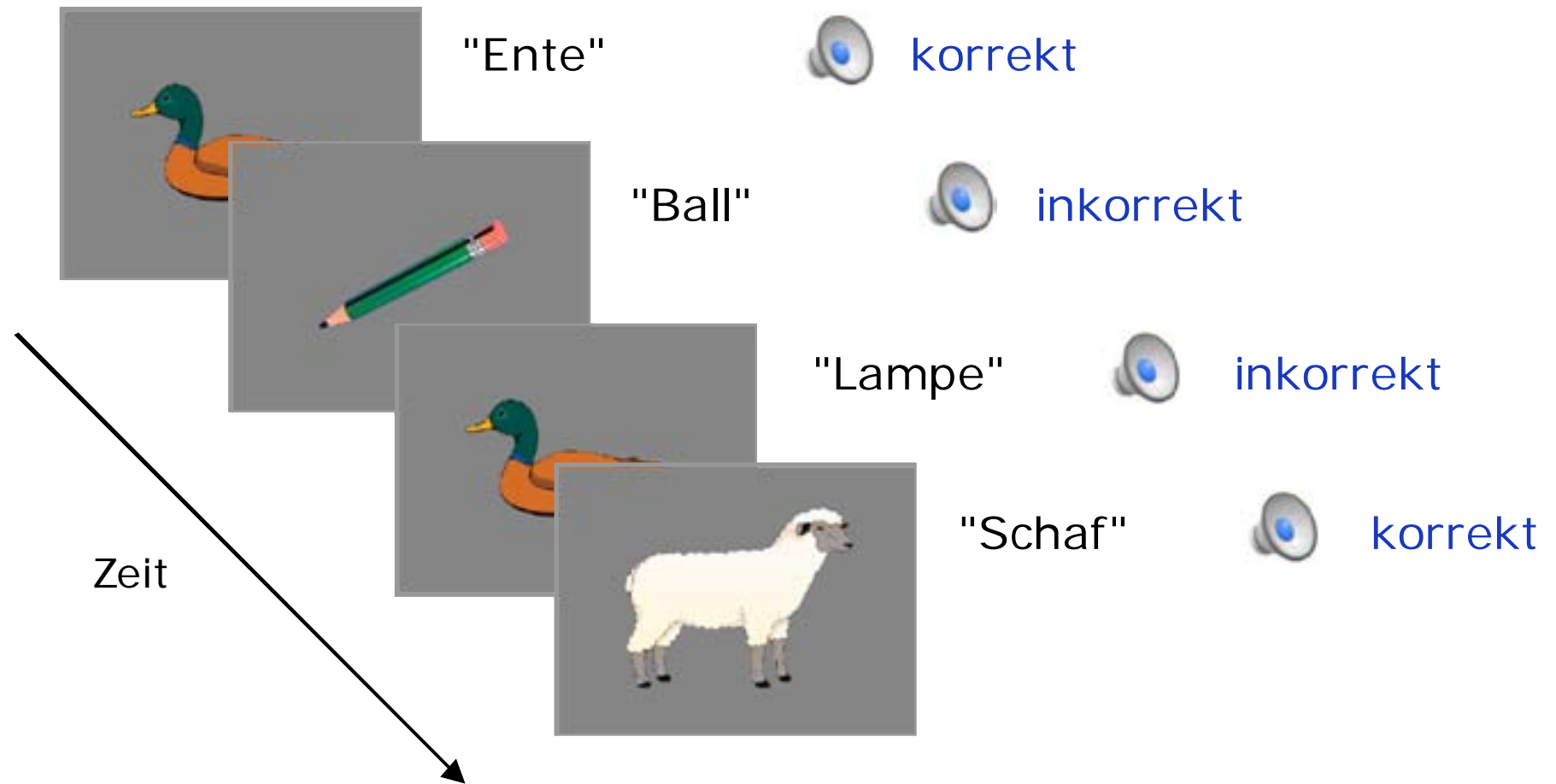
Wann werden die Bedeutungen von Wörtern verstanden?

Lexikalisch-semantische Prozesse

Kinder im Alter von 12 und 14 Monaten wurden in einem Bild-Wort-Zuordnungsparadigma getestet.



Semantische Wort-Verarbeitung



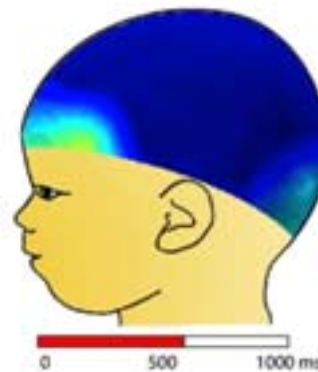
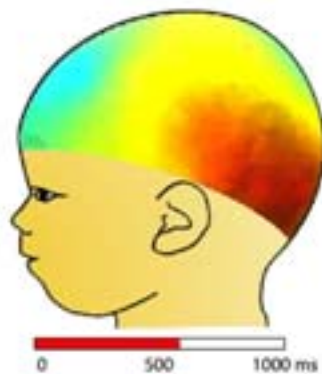
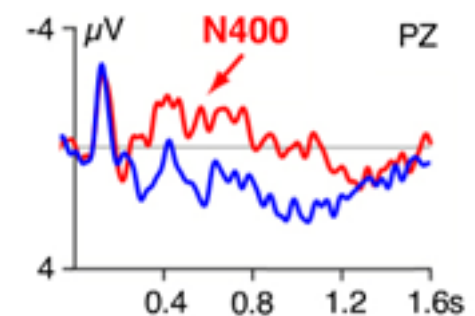
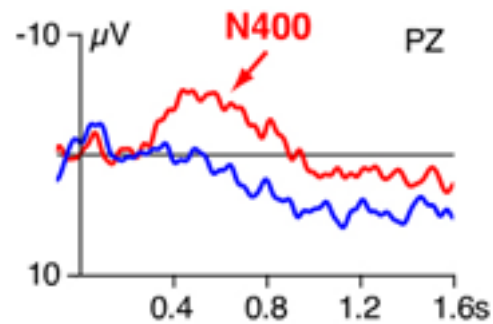
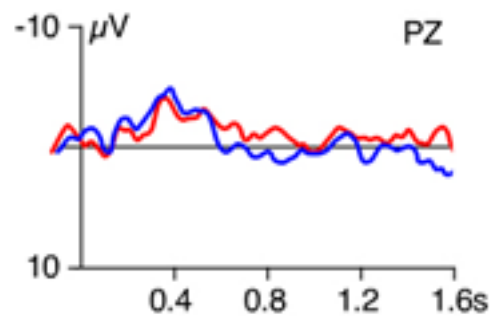
Semantische Wort-Verarbeitung

Kinder

Erwachsene

12 Monate

14 Monate



— korrekt
— semantisch inkorrekt

adaptiert von: Friederici, *Trends in Cognitive Sciences*, 2005

Zusammenfassung



Semantische Verarbeitungsprozesse sind im allgemeinen im Alter von 14 Monaten neuronal etabliert.

Das ist die Zeit wenn der sogenannte „Vokabelspurt“ beginnt!

Sätze verstehen

Wer tut was wem ?

- ➔ Verarbeitung von semantischen Relationen
(was geschieht)
- ➔ Verarbeitung von grammatischen Relationen
(wer tut was wem)

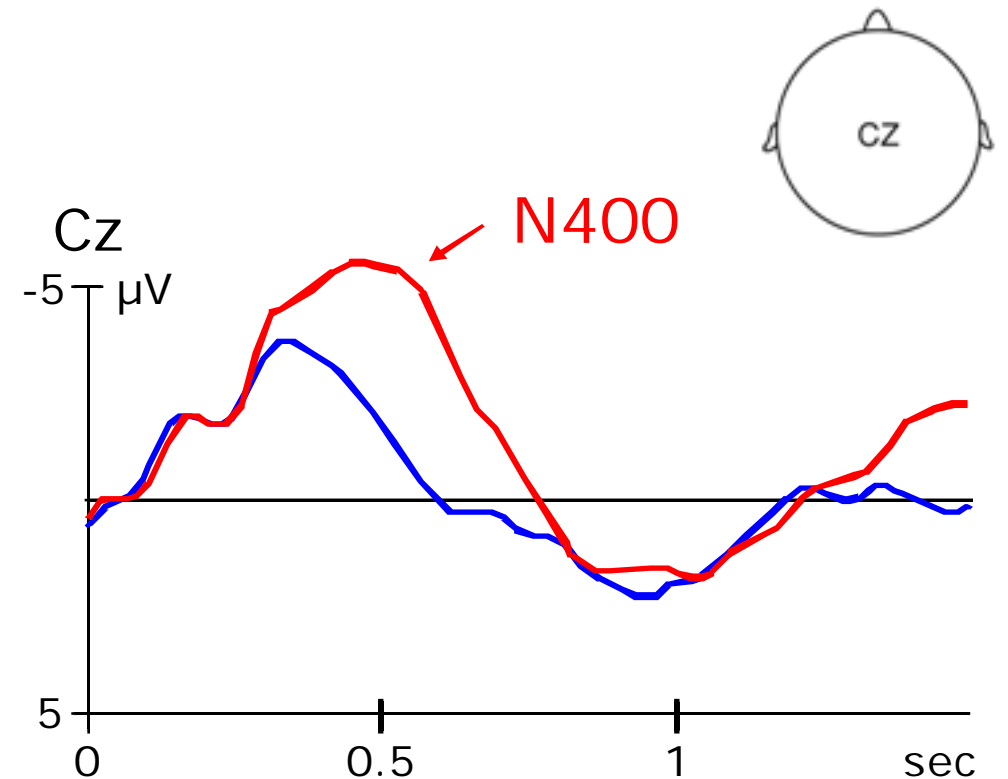
Semantische Verarbeitung in Sätzen: Erwachsene

korrekt

Das Kind wurde gefüttert.

semantisch inkorrekt

Das Lineal wurde gefüttert.



Quelle: Hahne & Friederici, *Cognitive Brain Research*, 2002

Semantische Verarbeitung in Sätzen: Kinder

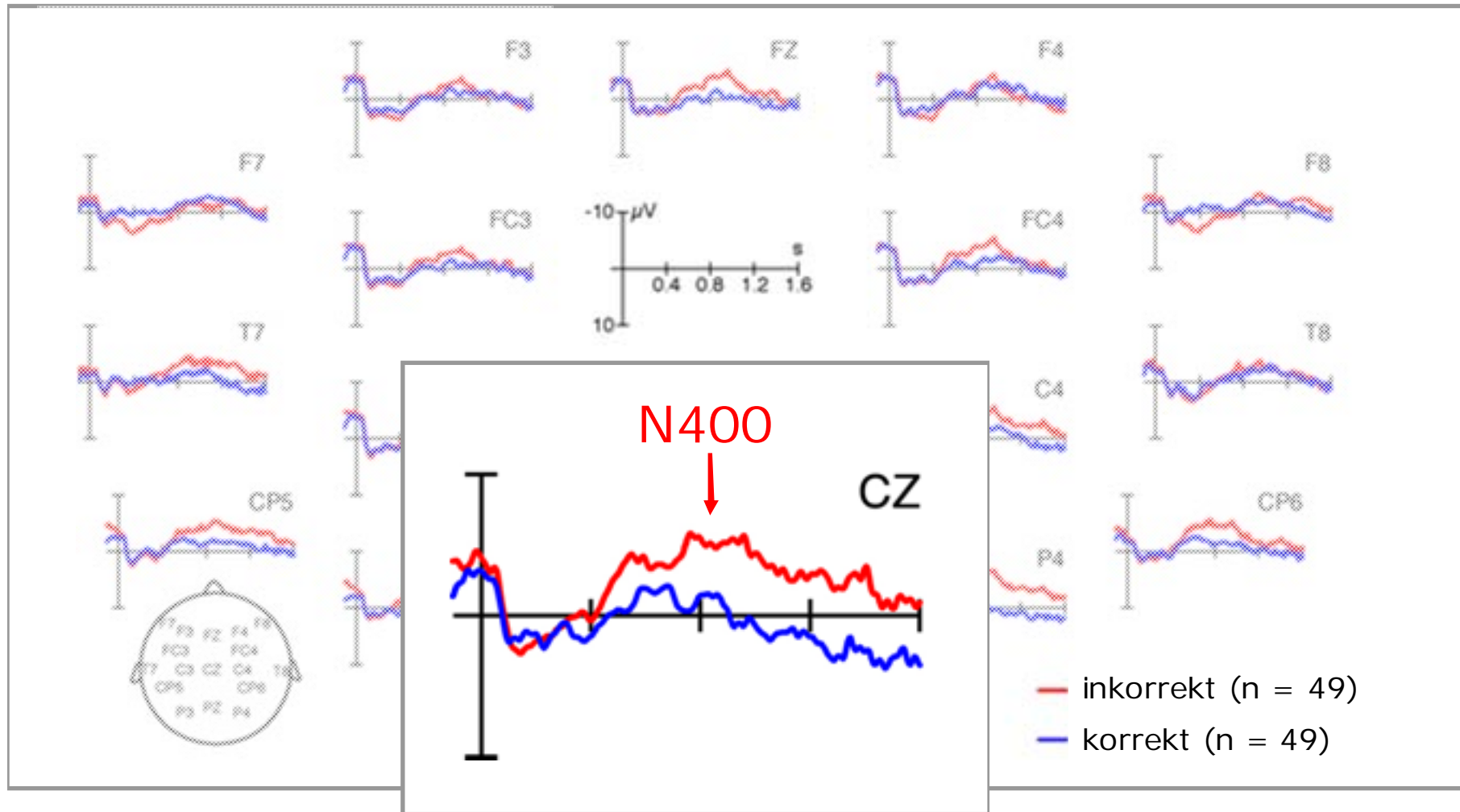
korrekt

Die Katze trinkt die Milch.

semantisch inkorrekt

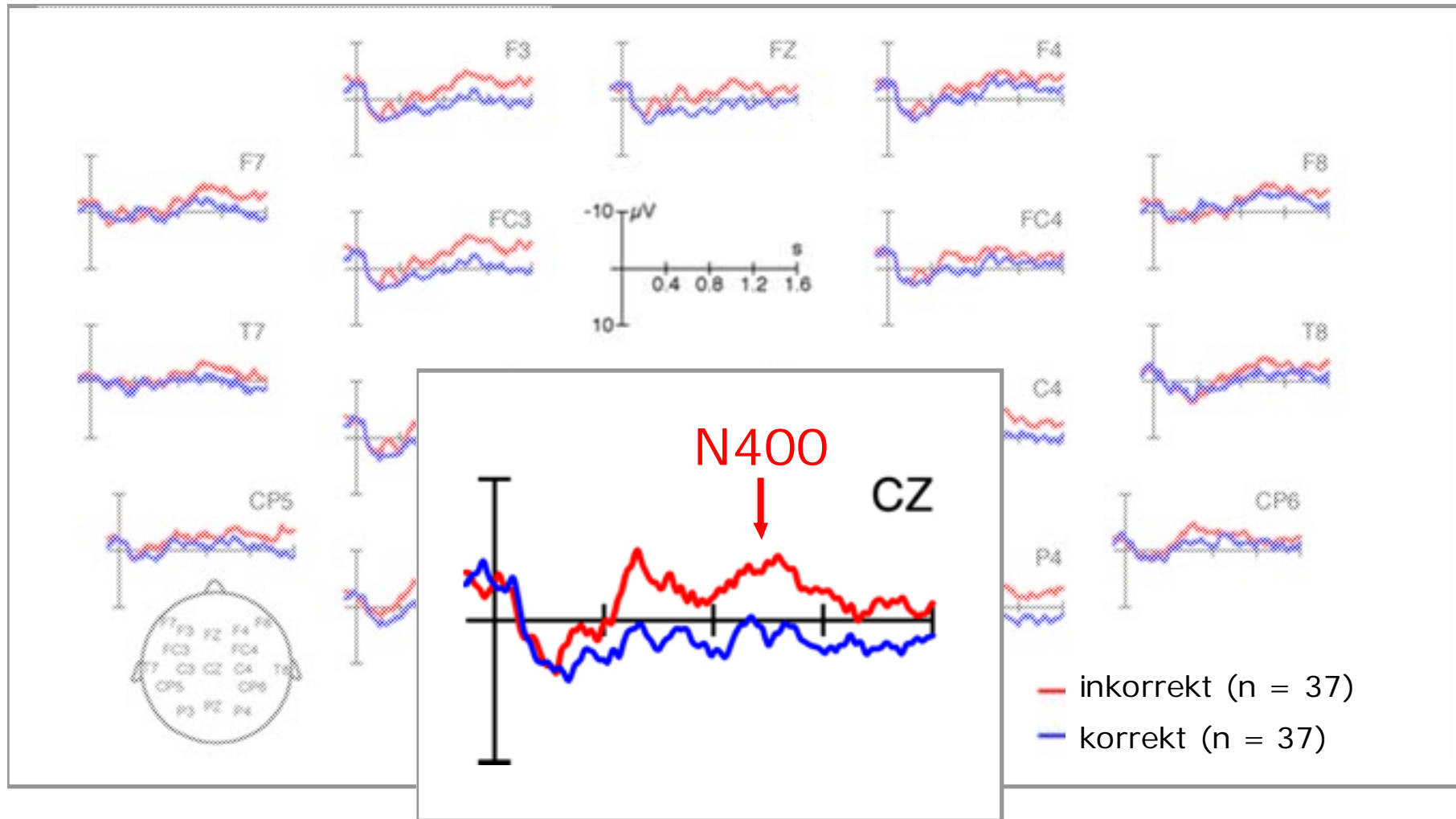
Die Katze trinkt den Ball.

Semantik im Satz: EKP bei 24 Monaten



Quelle: Friedrich & Friederici, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004

Semantik im Satz: EKP bei 19 Monaten



Quelle: Friedrich & Friederici, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004

Zusammenfassung



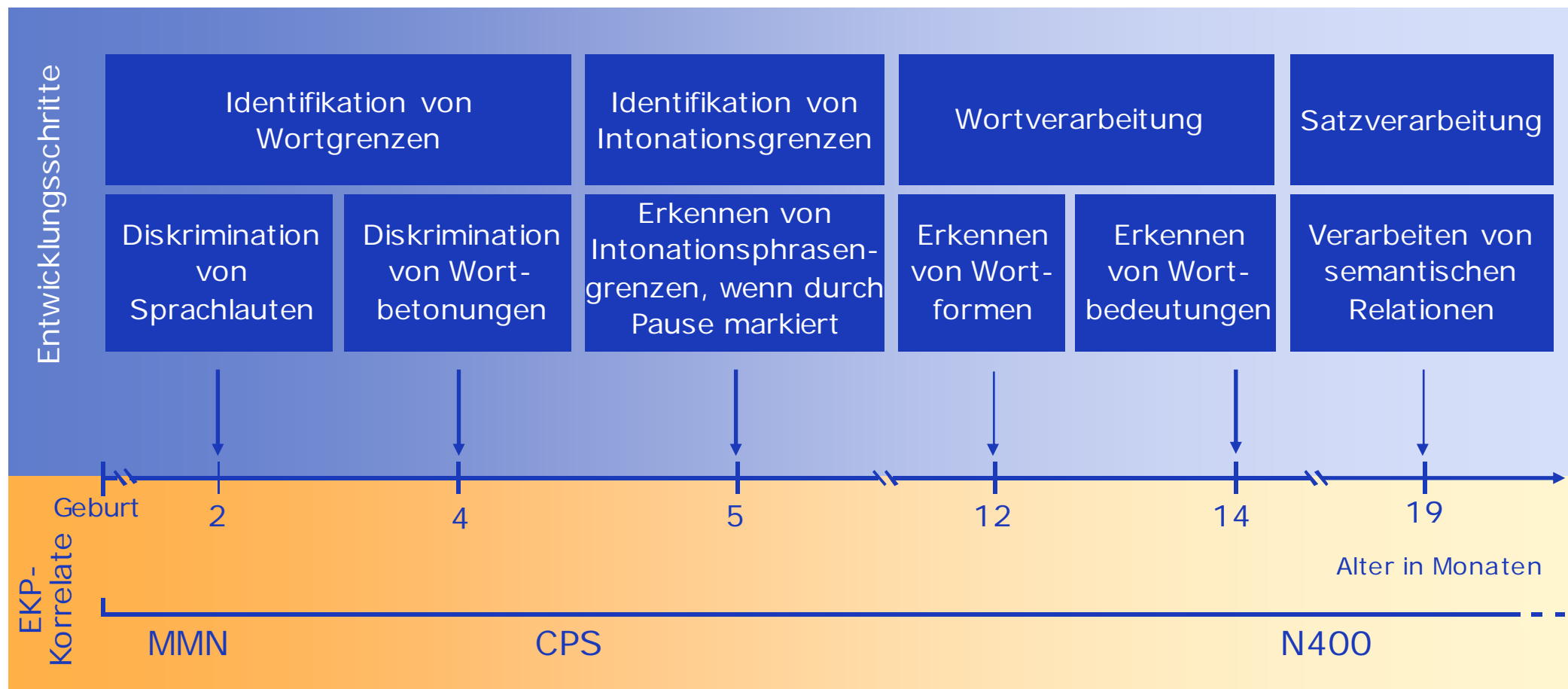
Kinder im Alter von 19 Monaten verarbeiten semantische Beziehungen zwischen Wörtern in einem Satz ähnlich wie Erwachsene.

Der N400 Effekt hält länger an als bei Erwachsenen.

Semantische Integrationsprozesse dauern bei Kleinkindern länger als bei Erwachsenen!

Sprachentwicklung

Entwicklungsschritte und EKP-Korrelate



Quelle: Friederici, *Trends in Cognitive Sciences*, 2005

Syntaktische Verarbeitung

Stimulusmaterial: Aktivsätze (einfach)

korrekt

Der Löwe brüllt.

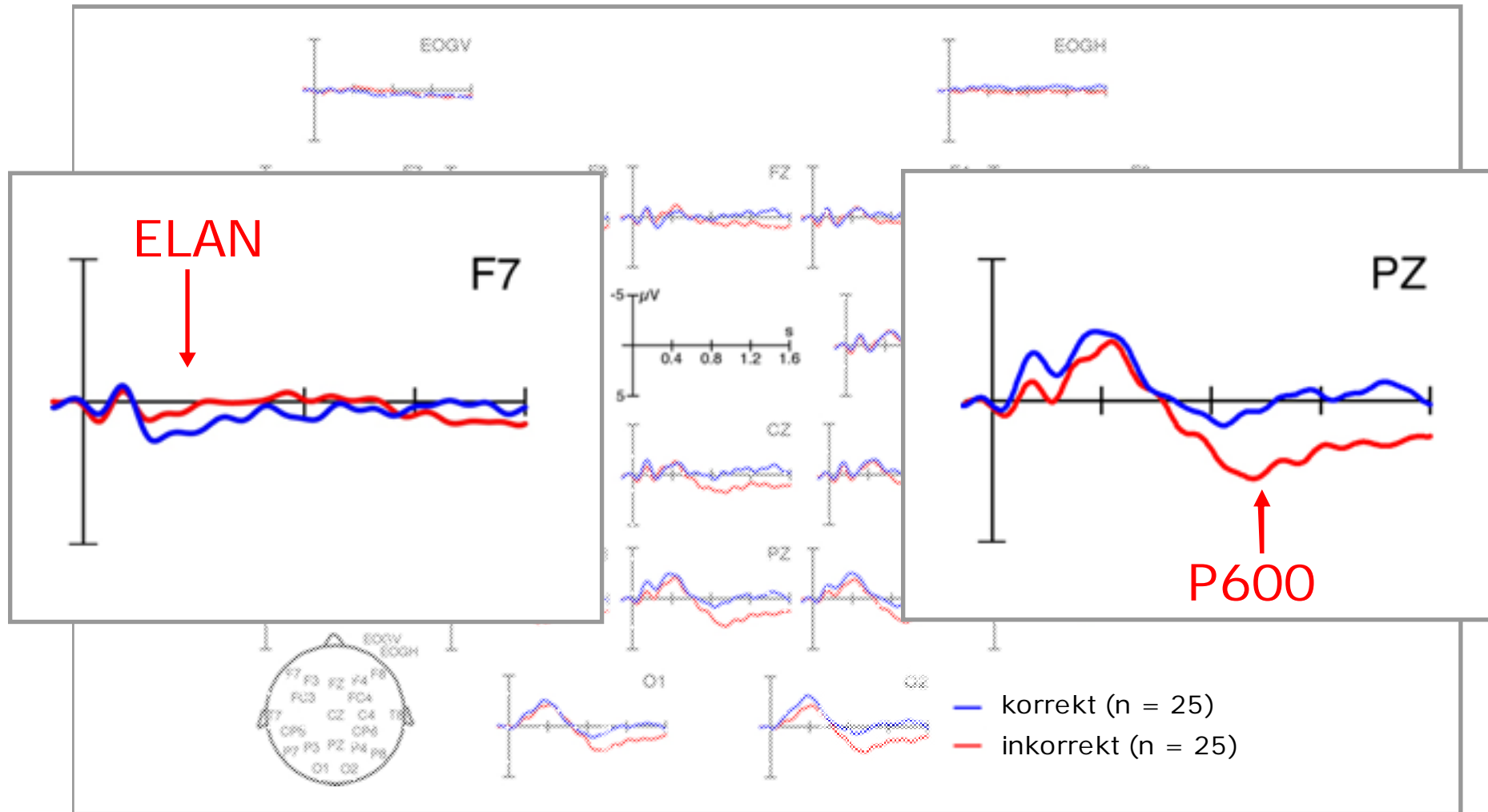


syntaktisch inkorrekt

Der Löwe im brüllt.



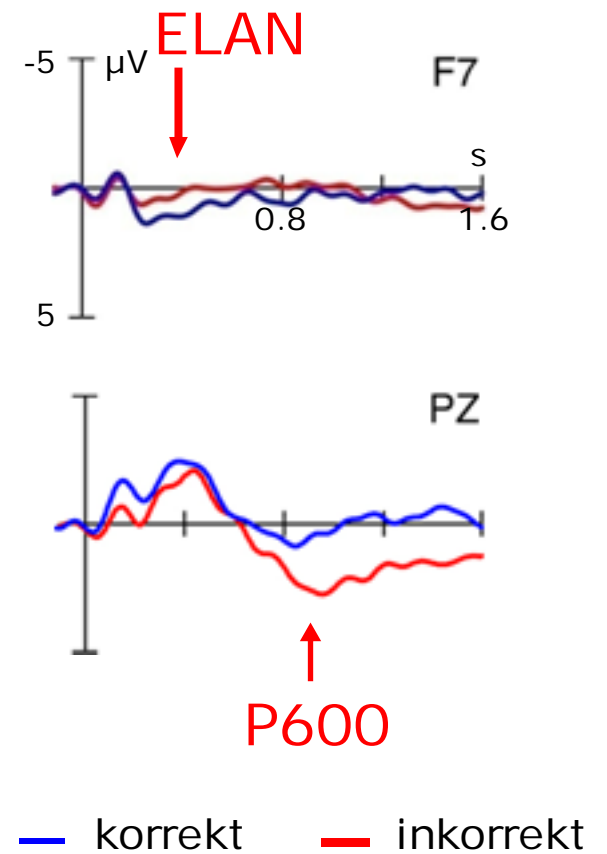
Syntaktische Verarbeitung: Erwachsene



Quelle: Oberecker, Friedrich & Friederici, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2005

Syntaktische Verarbeitung

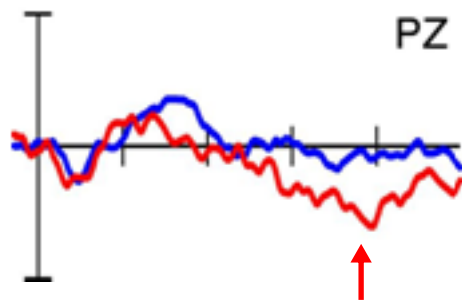
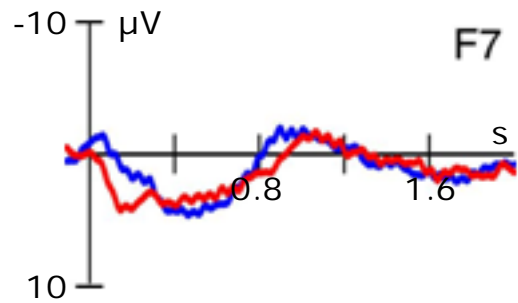
Erwachsene



Quelle: Oberecker & Friederici, *Neuroreport*, 2006; *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2005

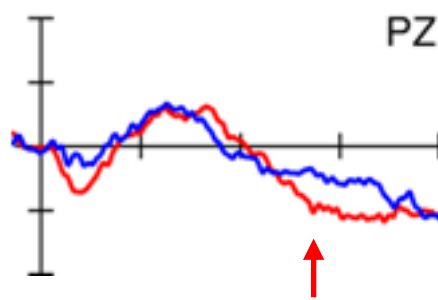
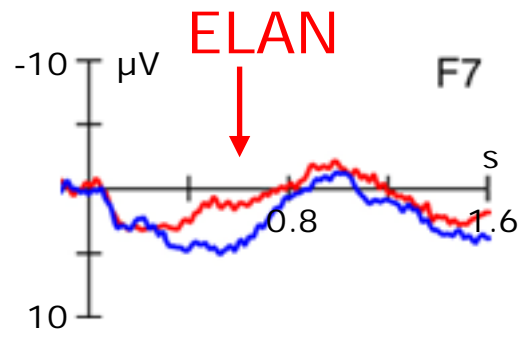
Syntaktische Verarbeitung

Kinder (24 Monate)



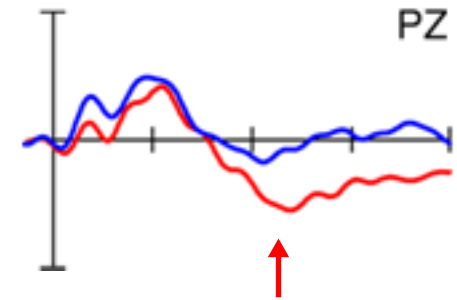
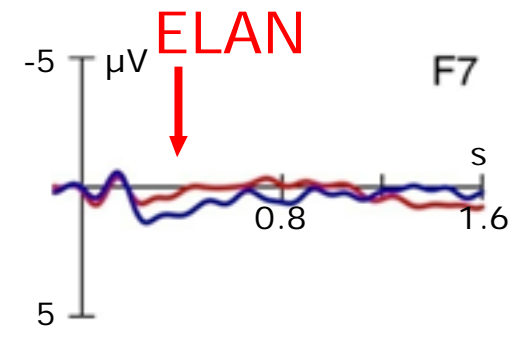
P600

Kinder (32 Monate)



P600

Erwachsene



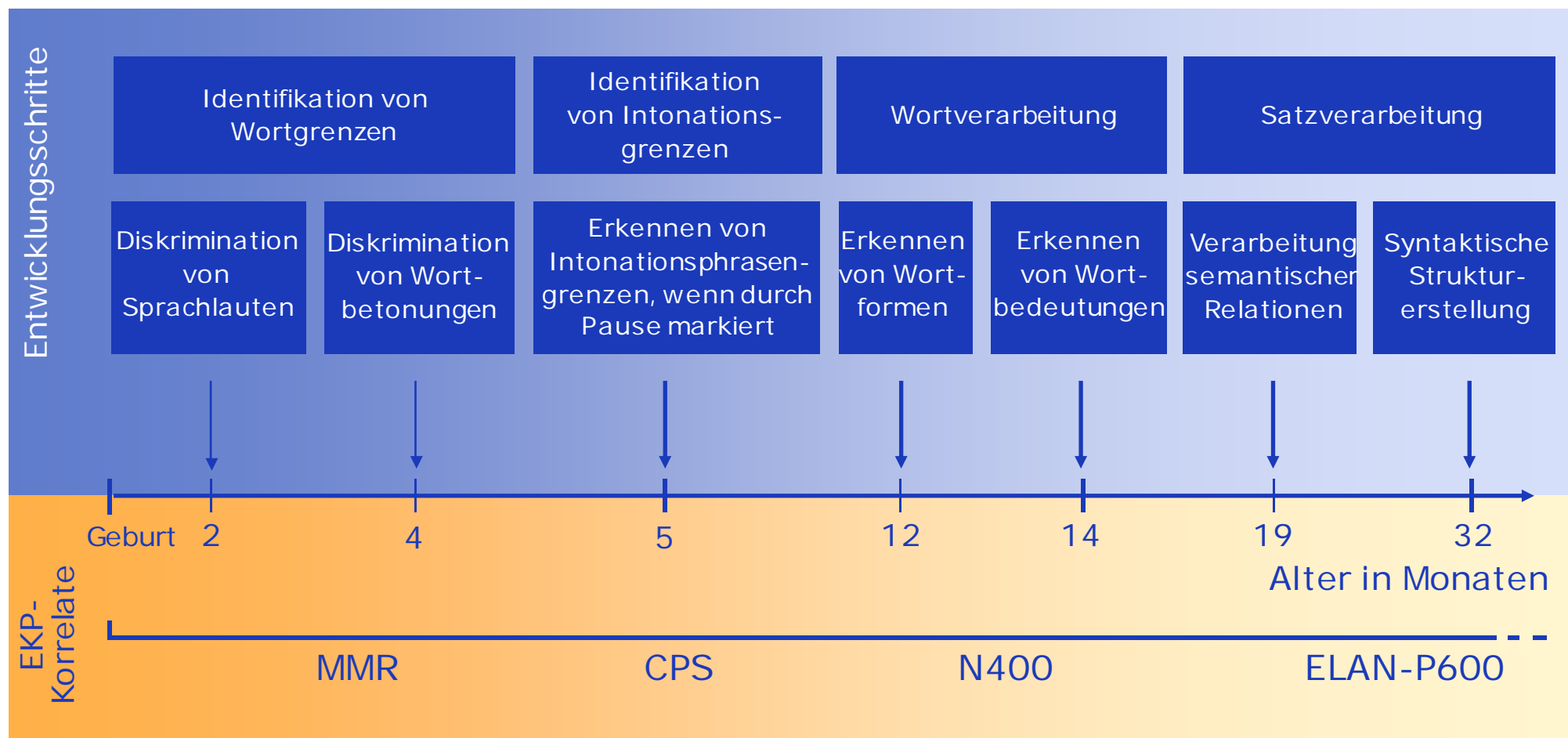
P600

— korrekt — inkorrekt

Quelle: Oberecker & Friederici, Neuroreport, 2006; Journal of Cognitive Neuroscience, 2005

Sprachentwicklung in den ersten Lebensjahren

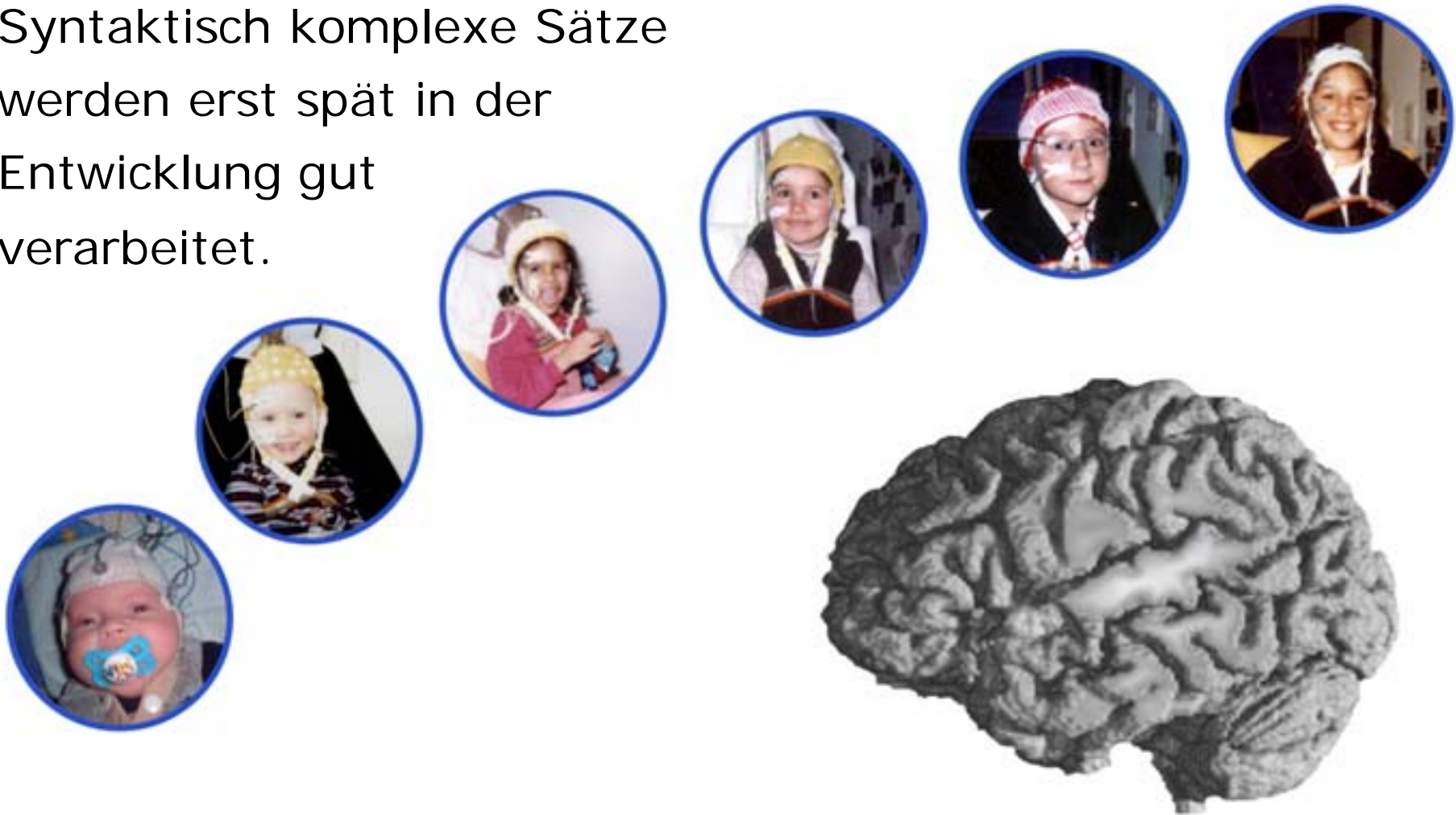
Entwicklungsschritte und EKP-Korrelate



Adapted from Friederici, *Trends in Cognitive Sciences*, 2005

Wie entwickeln sich die Sprachprozesse weiter?

Syntaktisch komplexe Sätze werden erst spät in der Entwicklung gut verarbeitet.



Verarbeitung komplexer syntaktischer Strukturen

Obwohl Kinder im Alter von 2,5 Jahren Verletzungen in der Phrase, z.B. Präpositionalphrase entdecken können und das Gehirn auf die Verletzung reagiert, dauert es noch einige Zeit bevor Kinder komplexe Satzstrukturen verarbeiten können.

z.B. Objekt-zuerst-Sätze (OVS)

Den Mann tritt der Junge.

Verstehen komplexer Sätze

Verhaltensstudie

SVO

Der Affe wieft den Käfer.

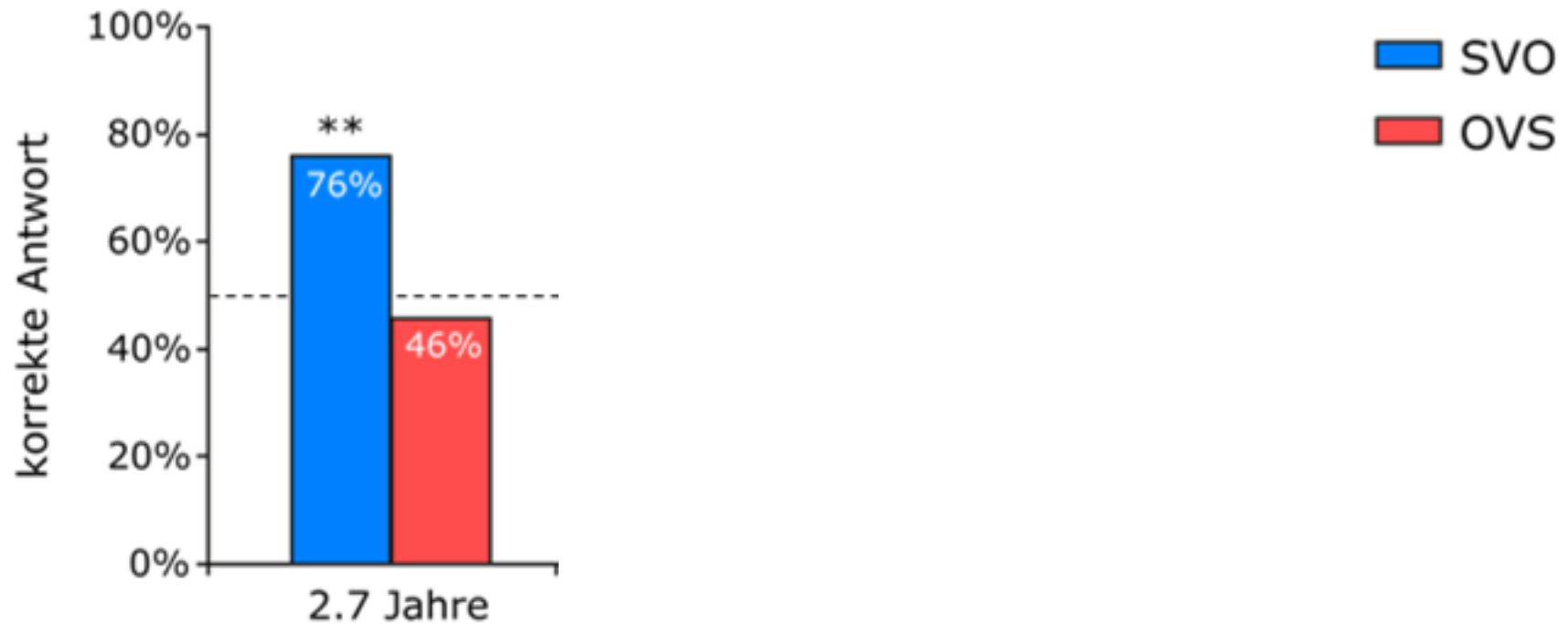


OVS

Den Affen wieft der Käfer.



Satzverständnis

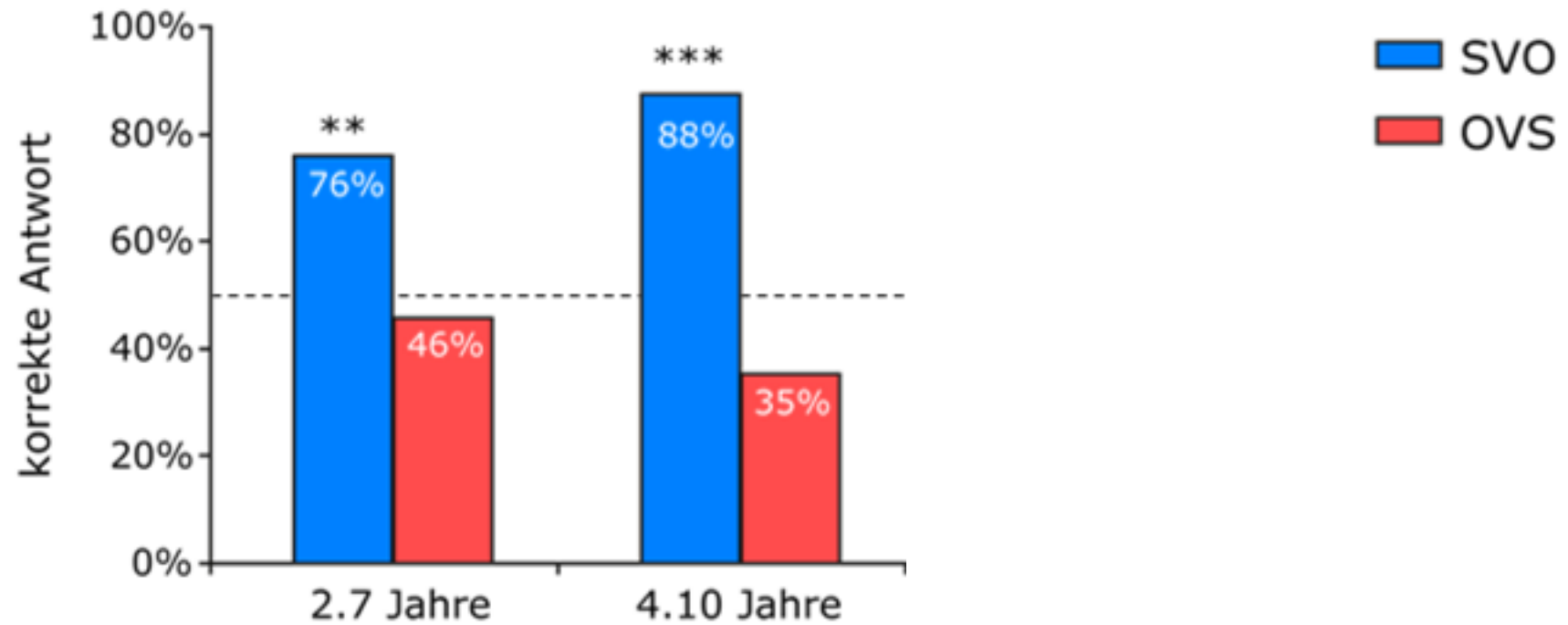


----- Zufallsniveau

* signifikant besser als Zufall

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

Satzverständnis

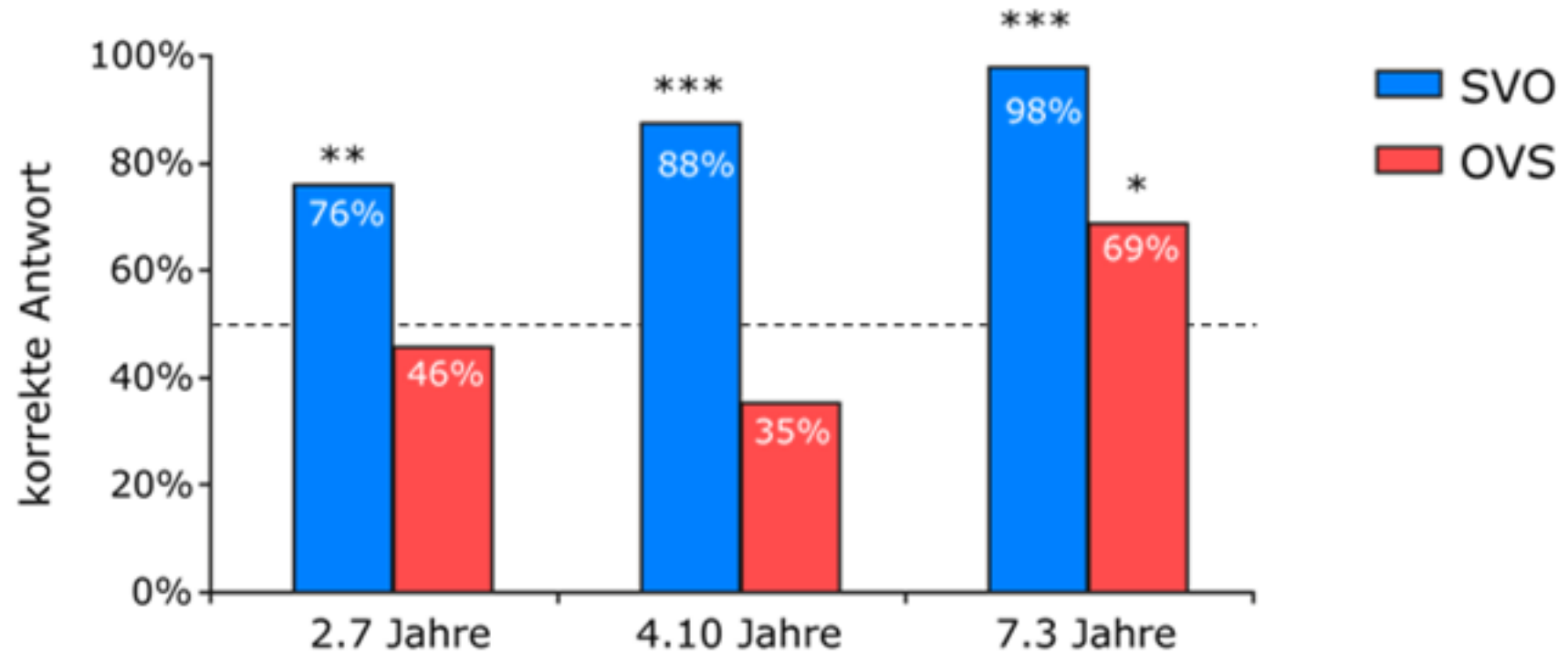


----- Zufallsniveau

* signifikant besser als Zufall

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

Satzverständnis

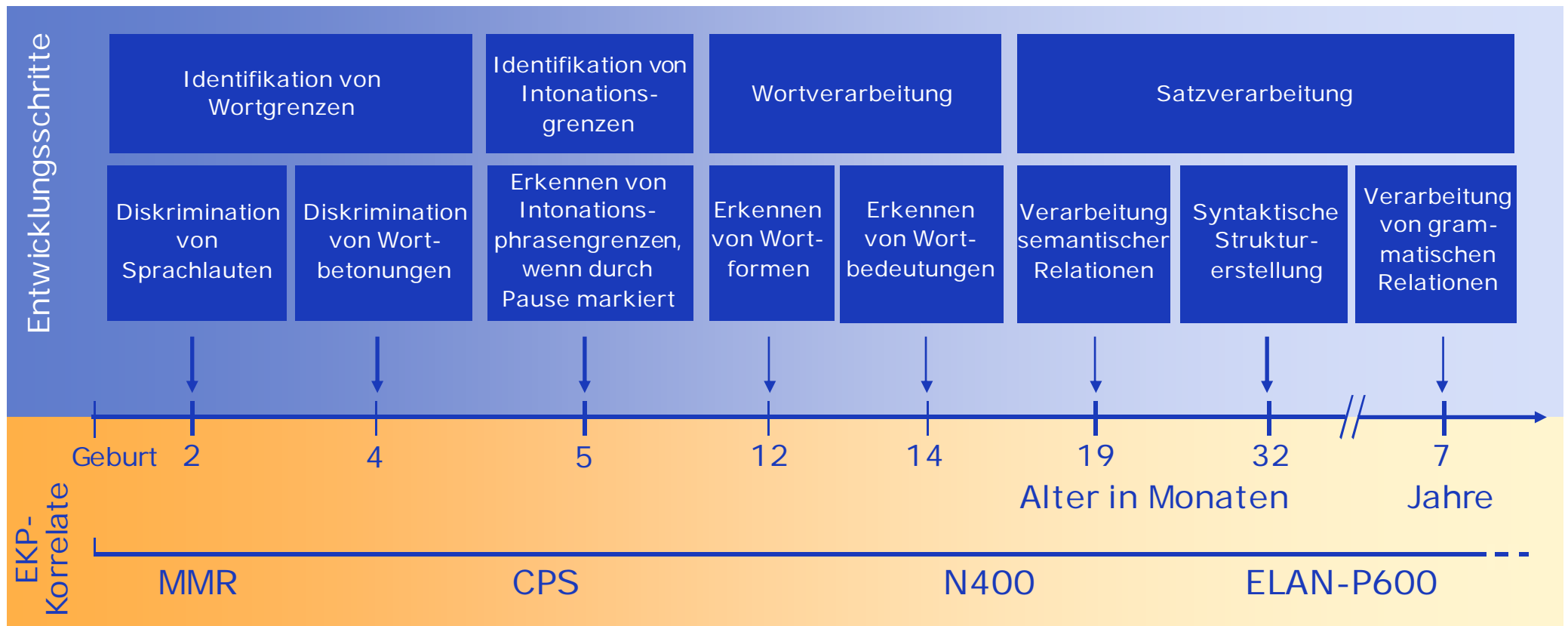


----- Zufallsniveau

* signifikant besser als Zufall

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

Schlußfolgerung



Syntaxverarbeitung

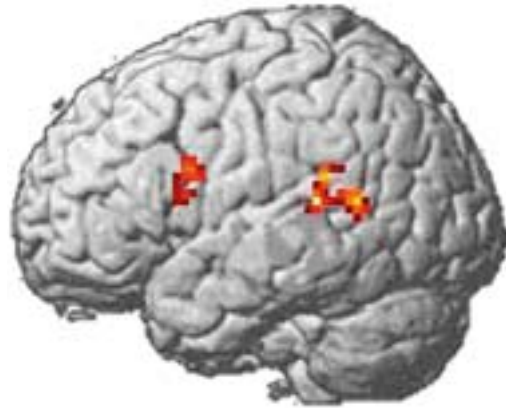


Kinder tun sich bis ins Alter von 7 Jahren schwer, komplexe syntaktische Strukturen zu verarbeiten.

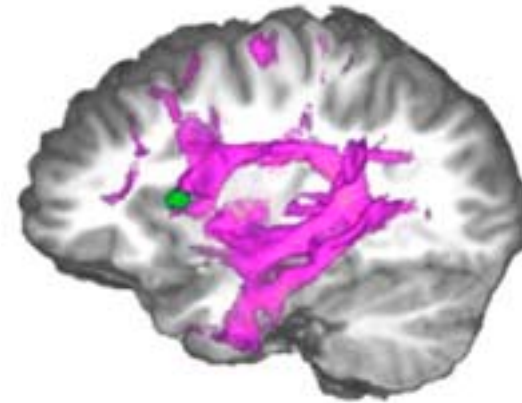
Warum?

Neuroanatomische Aspekte

Erwachsene



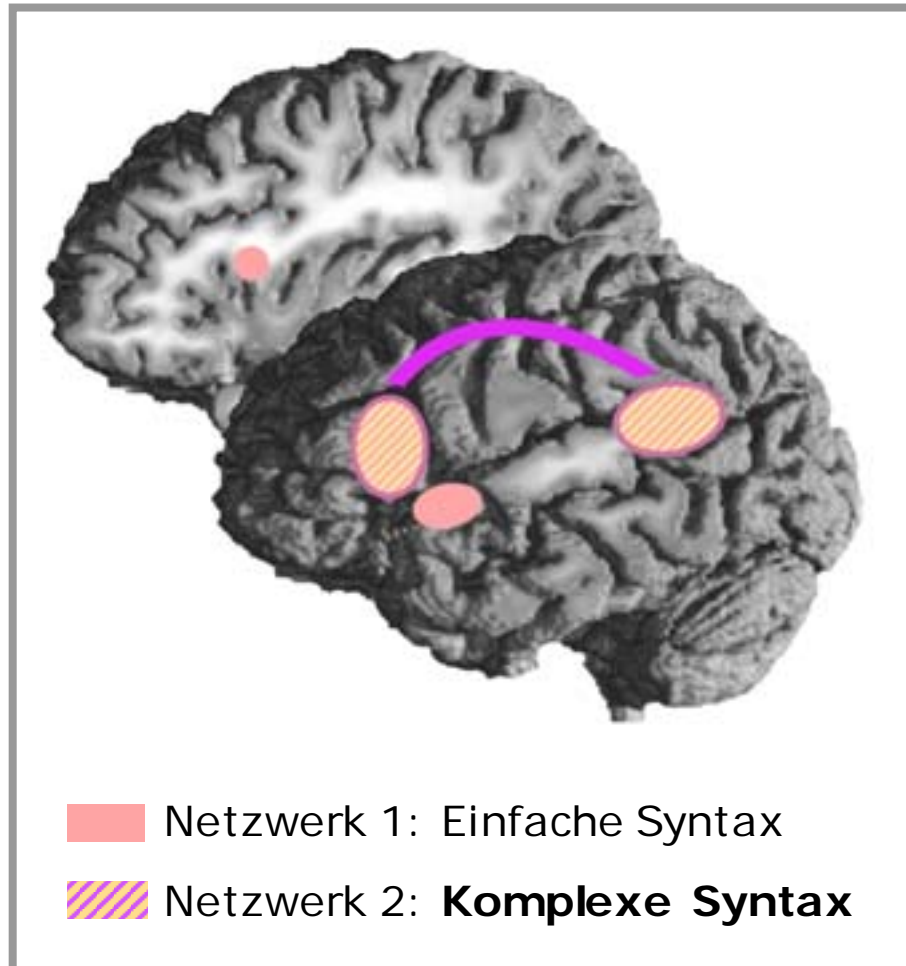
Aktivierung bei der Verarbeitung
komplexer Sätze



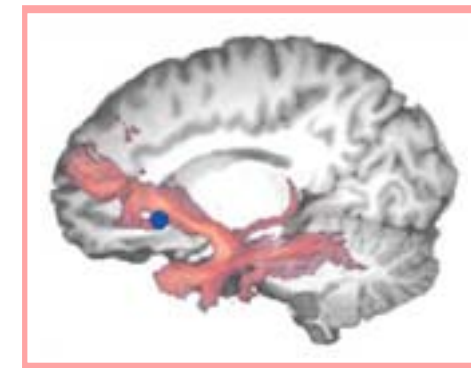
Faserverbindung:
Dorsale Route

Neuroanatomie der Syntax im erwachsenen Gehirn

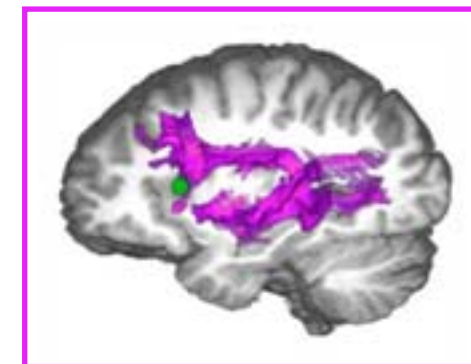
Funktion



Struktur



ventrale Route

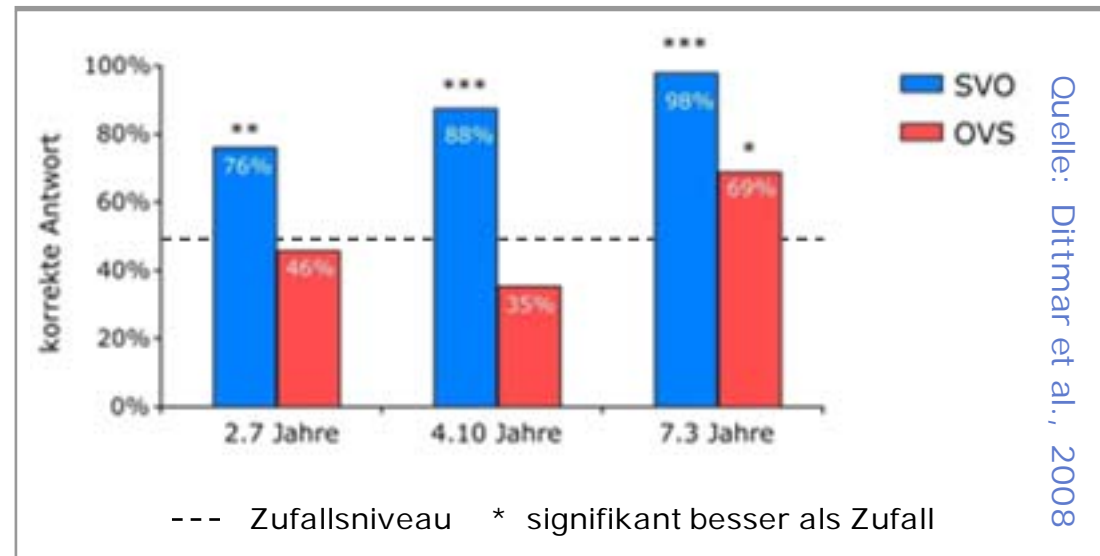
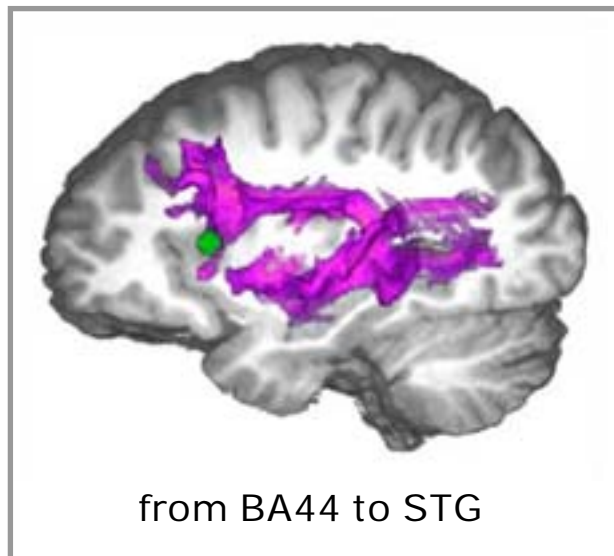


dorsale Route

Quelle: Friederici et al., PNAS, 2006

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.

Kernspintomographie bei Kindern

Vorbereitung der Kinder



Datenakquisition

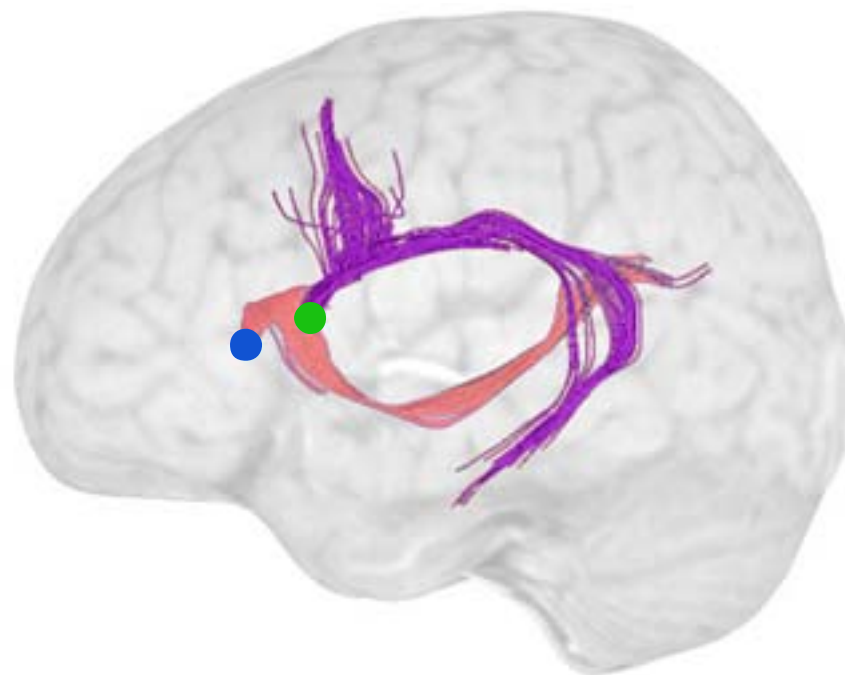
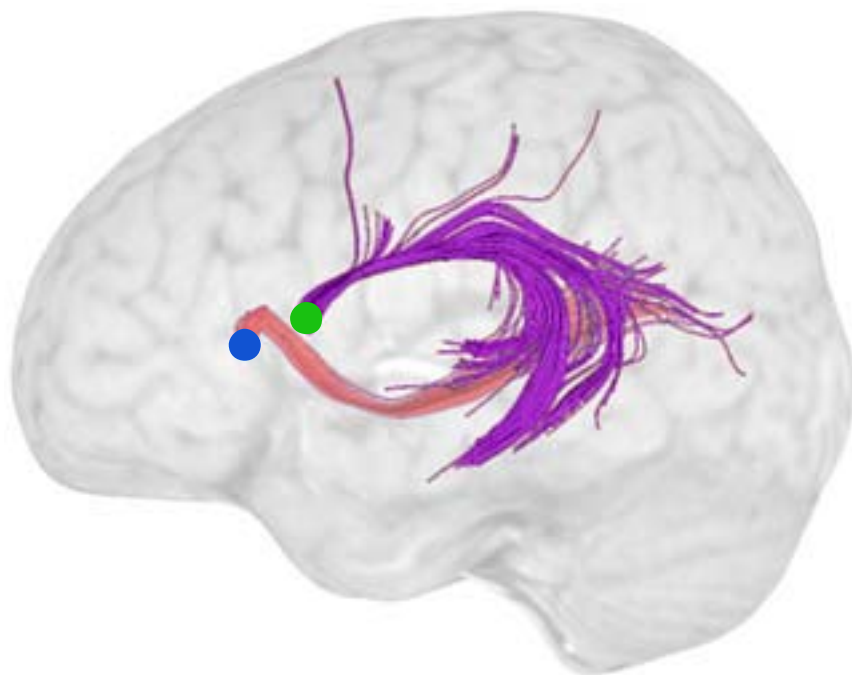


Kinder in dieser Studie waren 7 Jahre alt.

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*, 2010

Fazit



Sprachentwicklung folgt normalerweise einem vorgegebenen biologischen Programm, welches jedoch den entsprechenden sprachlichen Anreiz braucht.

Frühe und häufige sprachliche Interaktion zwischen Eltern und Kind ist hier die notwendige Basis.

Dem Risiko einer Sprachentwicklungsstörung, kann durch Frühdiagnose und entsprechender spezifischer Therapie begegnet werden.



MAX
PLANCK
INSTITUT | FÜR
KOGNITIONS- UND
NEUROWISSENSCHAFTEN
LEIPZIG

Jens Brauer
Korinna Eckstein
Manuela Friedrich
Anja Hahne
Claudia Männel
Jutta Müller
Regine Oberecker
Ann Pannekamp
Christiane Weber

Dieses Modell beschreibt den Sprachentwicklungsverlauf

Was aber kann ein Kind sehr früh schon lernen?

Kann das Kind schon früh
syntaktische Relationen lernen?

Syntaktische Relationen im Deutschen

Der Junge **hat** Lieder **gesungen**.



Der Junge **kann** Lieder **singen**.




*Der Junge **kann** Lieder **gesungen**.



Das Auxiliar bestimmt die Verbform.

Lernen syntaktischer Relationen im Italienischen

Correct structure		sta x- ando is x- ing 		puo x- are can x- ∅ 
Correct sentences	La sorella The sister	sta <i>cantando</i> is singing	Il fratello The brother	puo <i>cantare</i> can sing

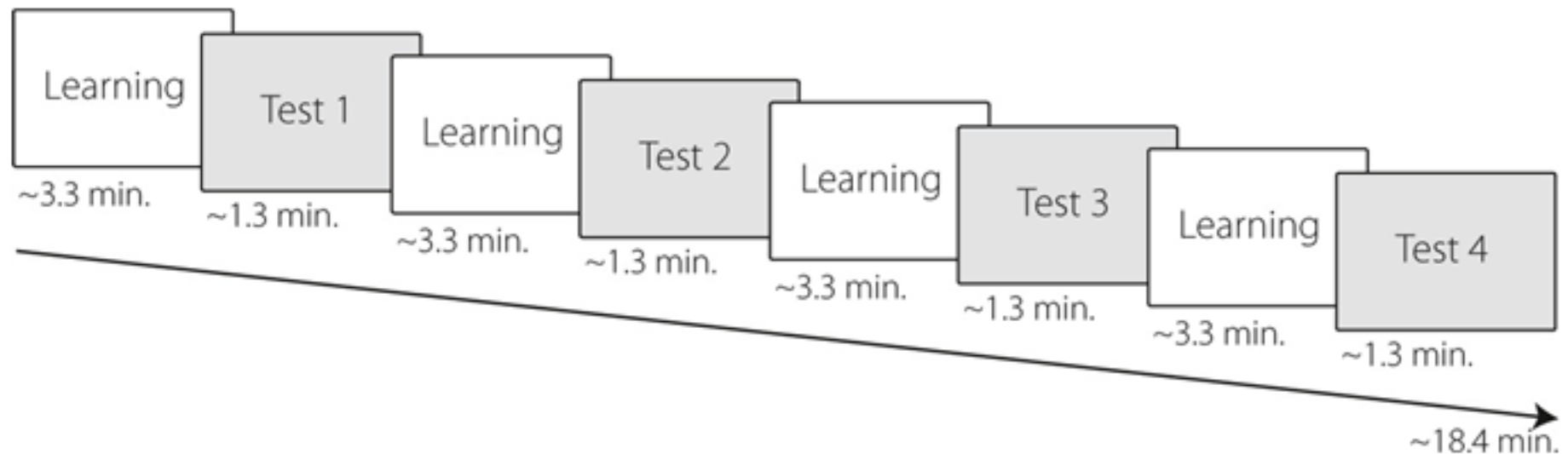
x = 32 verschiedene Verben

Lernen syntaktischer Relationen im Italienischen

Correct structure		sta x- ando is x- ing ↑ ↑		puo x- are can x- ∅ ↑ ↑
Correct sentences	La sorella The sister	sta <i>cantando</i> is singing	Il fratello The brother	puo <i>cantare</i> can sing
Incorrect structure		sta x- are is x- ∅ ↑ × ↑		puo x- ando can x- ing ↑ × ↑
Incorrect sentences	*Il fratello *The brother	sta <i>cantare</i> is sing	*La sorella *The sister	puo <i>cantando</i> can singing

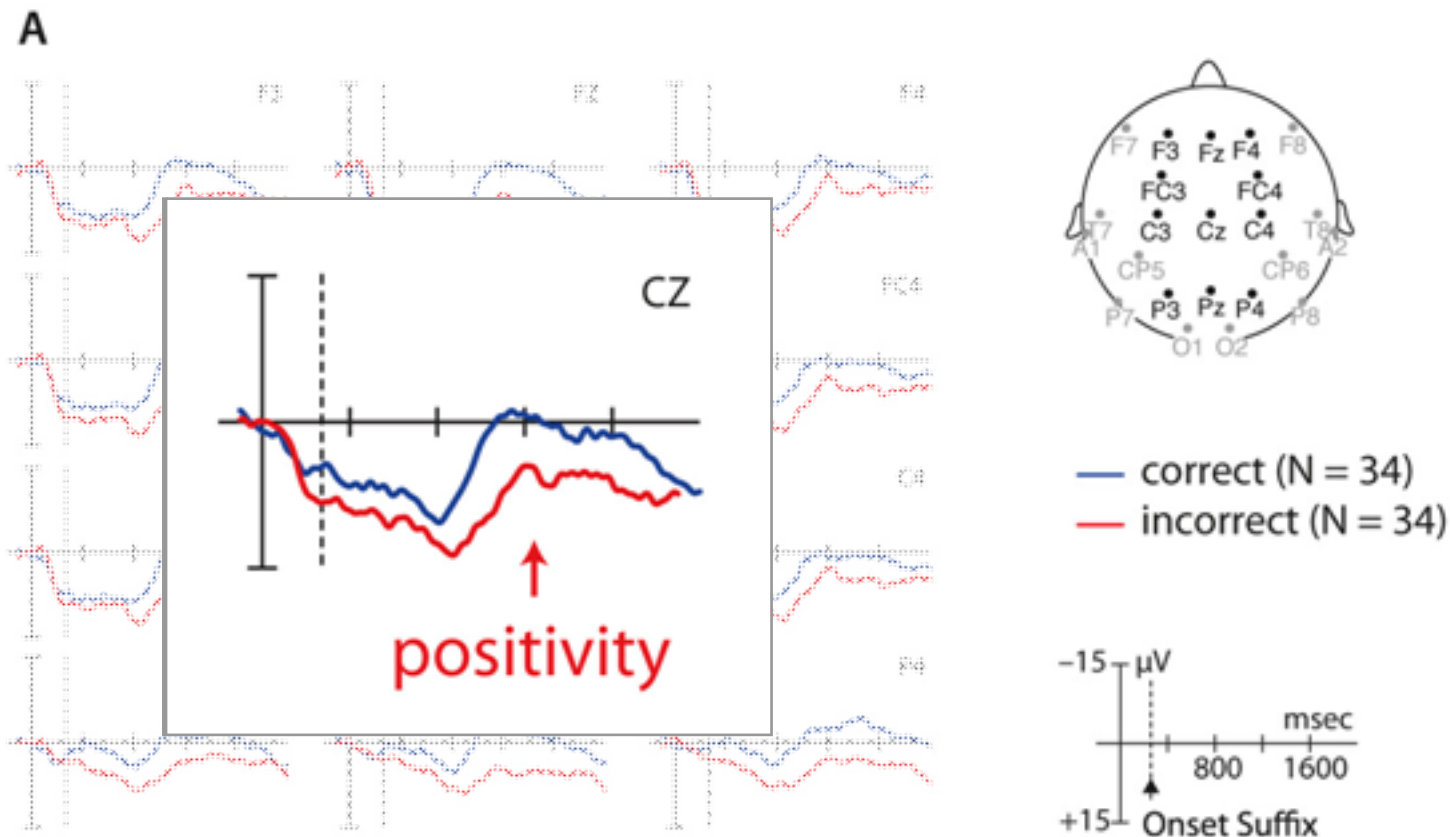
x = 32 verschiedene Verben

Teilnehmer: 4 Monate alte deutsche Kinder



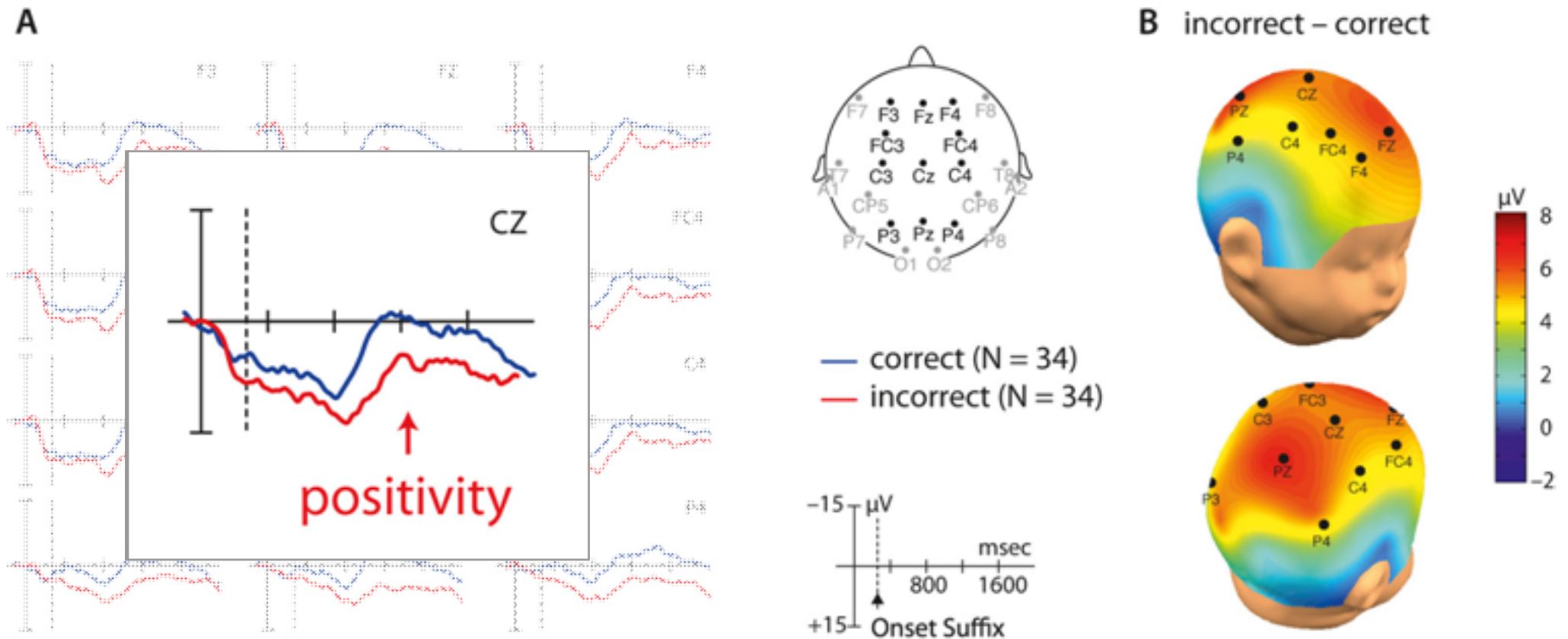
Quelle: Friederici, Müller & Oberecker, PLOS ONE, 2011

Brain Activation in 4-month-old Infants after Learning



Quelle: Friederici, Müller & Oberecker, PLOS ONE, 2011

Brain Activation in 4-month-old Infants after Learning



Quelle: Friederici, Müller & Oberecker, PLOS ONE, 2011

Schlußfolgerung

Kinder im Alter von 4 Monaten können bereits syntaktische Relationen lernen!