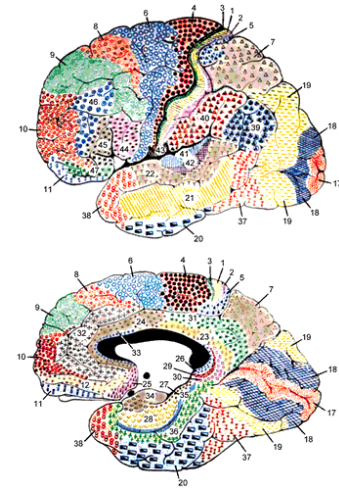


# Neuronale Korrelate der zentral auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung bei Redeflussstörungen

*Katrin Neumann<sup>1</sup>, Harald A. Euler<sup>1</sup>, Yevgen Zaretsky<sup>1,2</sup>, Tobias Weißgerber<sup>1</sup>, Anne-Lise Giraud<sup>3</sup>, Alexander Wolff von Gudenberg<sup>4</sup>, Christian Kell<sup>5</sup>, Franziska Süß<sup>1</sup>*



<sup>1</sup>Schwerpunkt für Phoniatrie und Pädaudiologie, <sup>2</sup> Institut für Medizinische Psychologie und <sup>5</sup>Klinik für Neurologie, Universitätsklinikum Frankfurt am Main, Deutschland; <sup>3</sup>Dept. d'Etudes Cognitives, Ecole Normale Supérieure, Paris, France; <sup>4</sup>Institut der Kasseler Stottertherapie, Bad Emstal, Deutschland



*Stotterer 1*



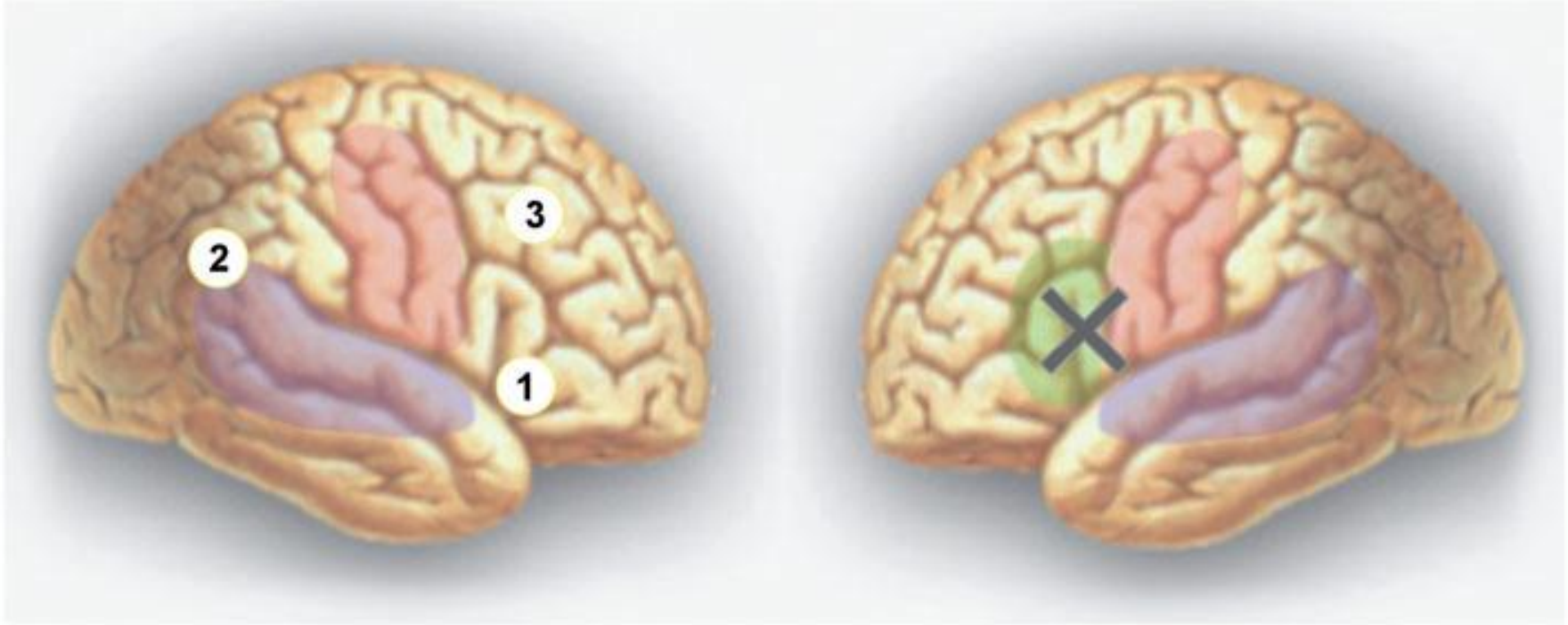
*Stotterer 2*



*Polterer*

## Sprachverarbeitung bei Normalsprechenden und Stotternden

(Kell, Neumann, von Kriegstein, Posenenske, Wolff von Gudenberg, Euler, Giraud (2009)  
How the brain repairs stuttering. *Brain*, 132) , 2747-60



Beim Sprechen aktivieren normale Sprecher den linken inferioren frontalen Cortex (grün: Sprechplanungs- + ausführungskontrolle), bilateral den superioren temporalen Cortex (lila: phonologische Perzeption + auditives Feedback) + bilateral den sprechmotorischen Cortex (pink).

Stotternde haben strukturelle Defizite in linksfrontalen Strukturen (Kreuz) und überaktivieren rechtshemisphärische Regionen, vor allem das frontale Operculum (1), die temporo-parietale Verbindung (2) + den dorsolateralen präfrontalen Cortex (3)

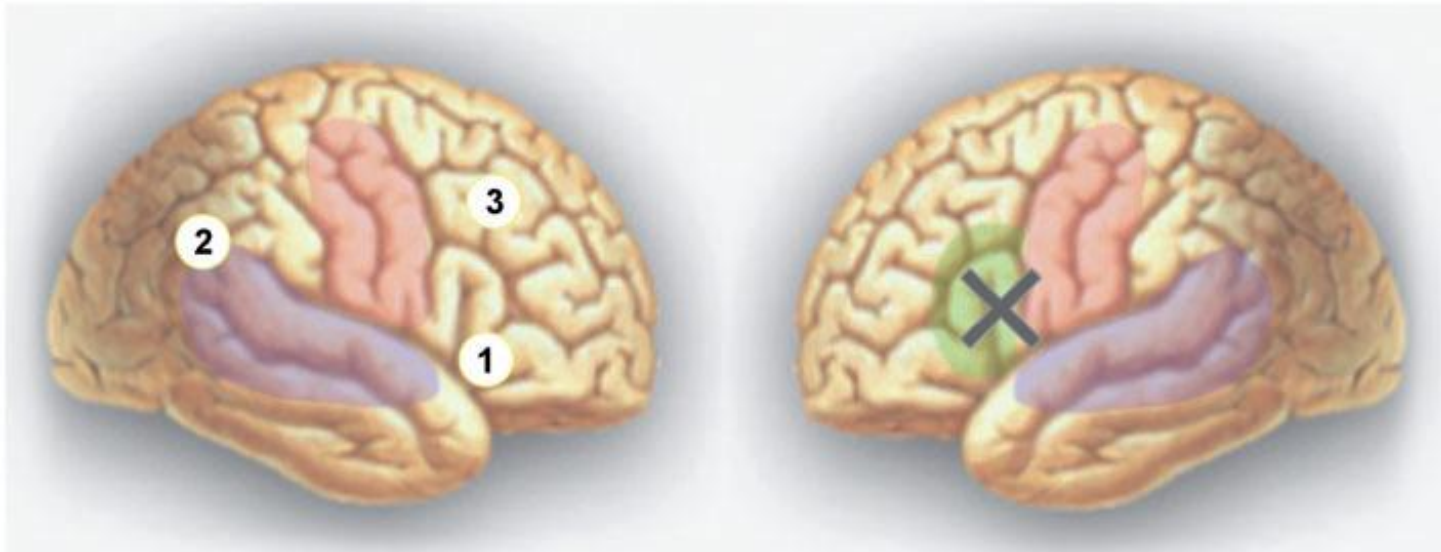
# Stottern: Hirnstrukturelle Auffälligkeiten

## Persistierendes Stottern:

1. defizitäre weiße Fasern unterhalb der linkshemisphärischen sensorimotorischen Repräsentation der Artikulationsorgane (Erwachsene und Kinder)
2. aufgehobene Rechts-Links-Asymmetrie in Sprech- und Sprachregionen (nur Erwachsene)
3. Substanzzunahme im Planum temporale, rechts mehr als links (nur Erwachsene), **Zunahme der grauen Substanz im rechten Gyrus temporalis superior**
4. Hirnwindungsvarianten (nur Erwachsene)
5. Substanzzunahme in den Basalganglien (nur Erwachsene)
6. **Heterogenität perisylvischer Regionen (Erwachsene)**

## Unassistierte Remission vom Stottern:

1. **Verminderte graue Substanz** im linken Gyrus frontalis inferior (Erwachsene und Kinder) und **in bilateralen temporalen Regionen (nur Kinder)**



# Stottern: Hirnfunktionelle Auffälligkeiten

## Persistierendes Stottern, untherapiert:

Mehraktivierung gegenüber nicht Stotterndern in fronto-parietalen motorischen und weiteren Sprech-, Sprachregionen, insbesondere rechtshemisphärisch, + in linksseitigen Kleinhirnregionen  
Mehraktivierungen vor allem im rechten orbitofrontalen Kortex (BA 47), negative Korrelation mit Stotterstärke weist auf Kompensationsfunktion hin

Minderaktivierung in auditorischen Gebieten beim Stottern, Mehraktivierung beim flüssigen Sprechen

## Persistierendes Stottern nach erfolgreicher sprechflüssigkeitsherstellender Therapie:

Ausgedehntere Mehraktivierungen in sprech- und sprachassozierten Regionen als prätherapeutisch

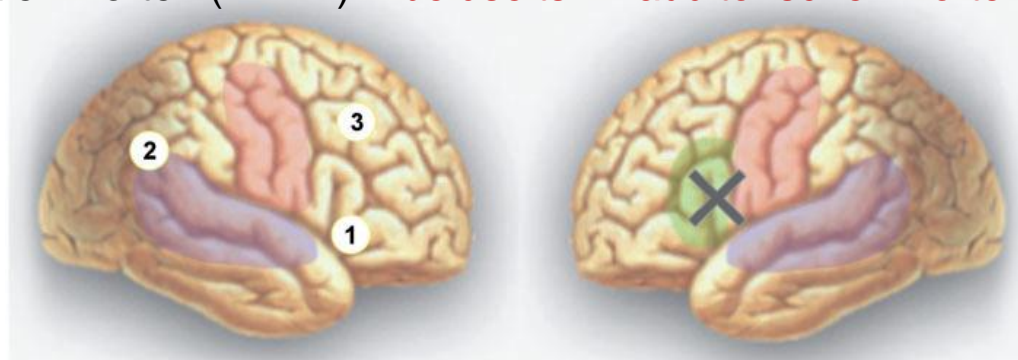
Mehraktivierungen vor allem in linkshemisphärischen, insbesondere periläsionalen Gebieten  
Refunktionalisierung der Basalganglien

Persistierende positive Korrelation zwischen Stotterschwere und Aktivierung in linker primärer Motorregion der Artikulation (linkes Rolandisches Operculum) weist auf primäre Pathologie hin

Mehraktivierungen in auditorischen Gebieten

## Remission (bei Erwachsenen):

Aktivierung im linken orbitofrontalen Kortex (BA 47) + beidseits im auditorischen Kortex



## Zeitliche Sprachverarbeitung bei Stotternden

gestörte zeitliche Abfolge in der Sprachproduktion: normalerweise Aktivierung des linken inferioren frontalen Kortex (artikulatorische Planung) vor dem linken Motorkortex (Ansteuerung der Artikulationsmuskeln)

Reihenfolge bei Stotternden umgekehrt (Salmelin et al., 2000)

mögliche Erklärung funktionelle Fehlverbindung zwischen linken sensomotorischen und frontalen (insbesondere der Broca-Region) und auditorischen Kortexregionen (DTI; Chang et al., 2008; Kell et al., 2009; Sommer et al., 2002)

gestörte zeitliche Verarbeitung auch bei anderen motorischen Aufgaben als sprachlichen, z.B. bei Fingertapping-Aufgaben (Max, Caruso, & Gracco, 2003) → auch andere motorische Funktionen als solche der Sprechmotorik gestört

Max et al. (2004): Stottern = Ausdruck des Missverhältnisses zwischen der Ausführung fehlerhaft vorbereiteter motorischer Befehle und ihren sensorischen Konsequenzen → erhöhter Bedarf an Feedback-basierten Korrekturen, einschließlich Interruptionen oder Resets von Feedforward-Kommandos → Laut- + Silbenwiederholungen u. -dehnungen

# Gestörtes auditives Feedback bzw. Feedforward bei Poltern und Stottern

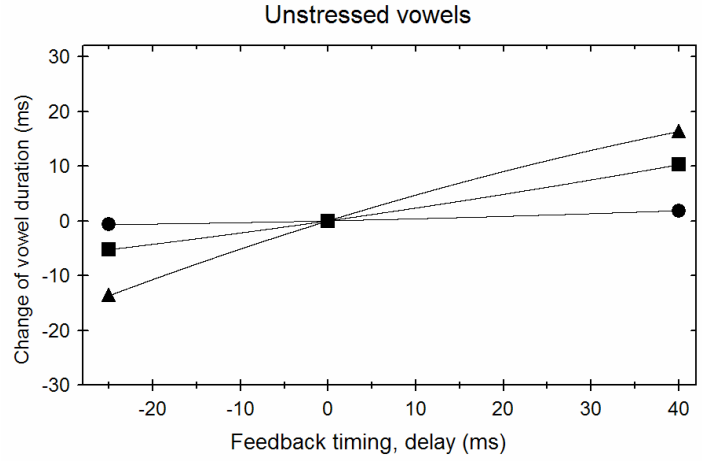
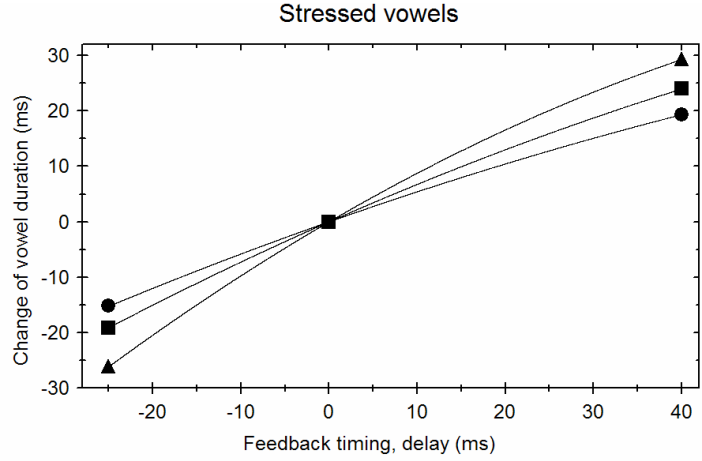
Feedforward-Kontrolle (Automatismus) für kurze (unbetonte) Vokale, auditive Feedbackkontrolle für lange (betonte) Vokale ("*audiophonatorische Kopplung*") (Kalveram & Jäncke, 1989)

Untersuchung auditives Feedback mit variierendem Delay (Alm et al, submitted):

- **Poltern:** geringere Modulationsfähigkeit der auditiven Sprechkontrolle hinsichtlich der Vokaldauer → vermindertes auditives Feedback
- **Stottern:** übertriebener Einfluss des auditiven Feedback für lange Vokale

**Poltern:** eigene elektrophysiologische Untersuchungen (Mismatch negativity) → verändertes auditives Feedback für lange Vokale

Probleme auditive Aufmerksamkeit für ein kontrolliert „normales“ Sprechen aufrecht zu erhalten (Louis et al., 2003; Alm, submitted)



● Normalsprechende      ■ gering Stotternde      ▲ stark Stotternde



## **Auditiv vermittelte Manöver, die die Sprechflüssigkeit beeinflussen:**

1. Verzögerte auditive Rückmeldung der eigenen Sprache (*delayed auditory feedback*, *DAF*): macht normale Sprecher unflüssig und Stotternde flüssig (Lee-Effekt)
  2. Frequenzveränderte auditive Rückmeldung der eigenen Sprache (*frequency-altered auditory feedback*, *FAF*)
  3. Auditive Maskierung
  4. Chorsprechen, Metronomsprechen
  5. Sprechen von Reimen, Deklamieren, Singen
  6. Selbstgespräch, Sprechen mit Baby, Haustier
  7. Sprechen in einer anderen Sprache (vorübergehend)
- verändertes auditives Feedback der eigenen Sprache oder Sprechen mit geringeren sprechmotorischen bzw. kommunikativen Anforderungen

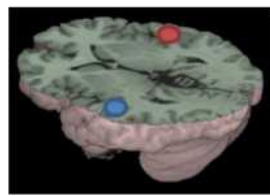


# Auditorische Befunde bei Stottern

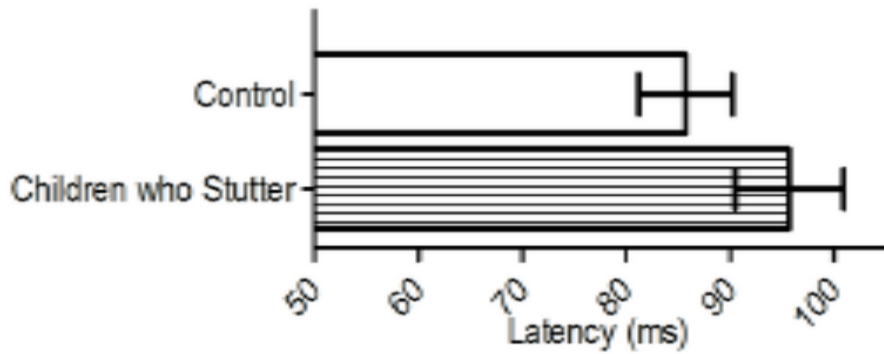
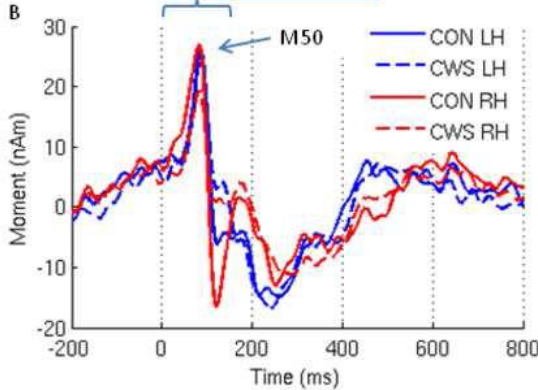
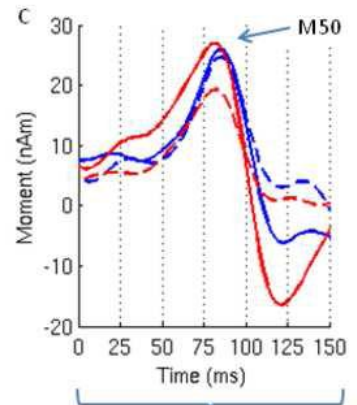
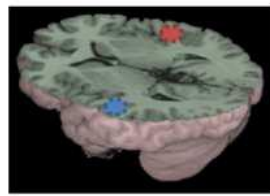
**Sprachinduzierte Unterdrückung:** *Unterdrückung auditiver Antworten auf selbstinitiierte Sprachlaute (verglichen mit passivem Hören) =wichtiger feedback-vermittelter sprechmotorischer Kontrollprozess*

MEG (Beal et al., NeuroImage, 2010): M50 (früheste robuste Antwort, die audio-motorische Beziehung reflektiert) verlängerte Latenzen bei stotternden Kindern auf Vokalstimuli → Störung einer effektiven Integration auditiver Sprachinformation in die sprechmotorische Prozessierung

A Control Participants



Children Who Stutter

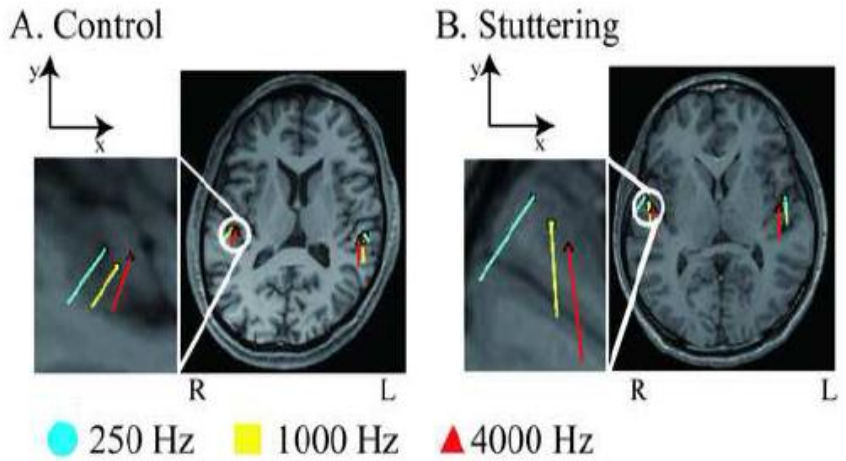


# Auditorische Befunde bei Stottern

erwachsene männliche, rechtshändige Stotternde vs. Nichtstotternde

MEG (Kikuchi et al., Neuroimage, 2010): gestörtes linksseitiges auditorisches sensorisches Gating, gemessen als Unterdrückung der M50

Voxel-basierte Morphometrie (VBM): vermehrte grauen Substanz im rechten Gyrus temp. superior + ausgedehntere tonotopische Organization bei Stotternden



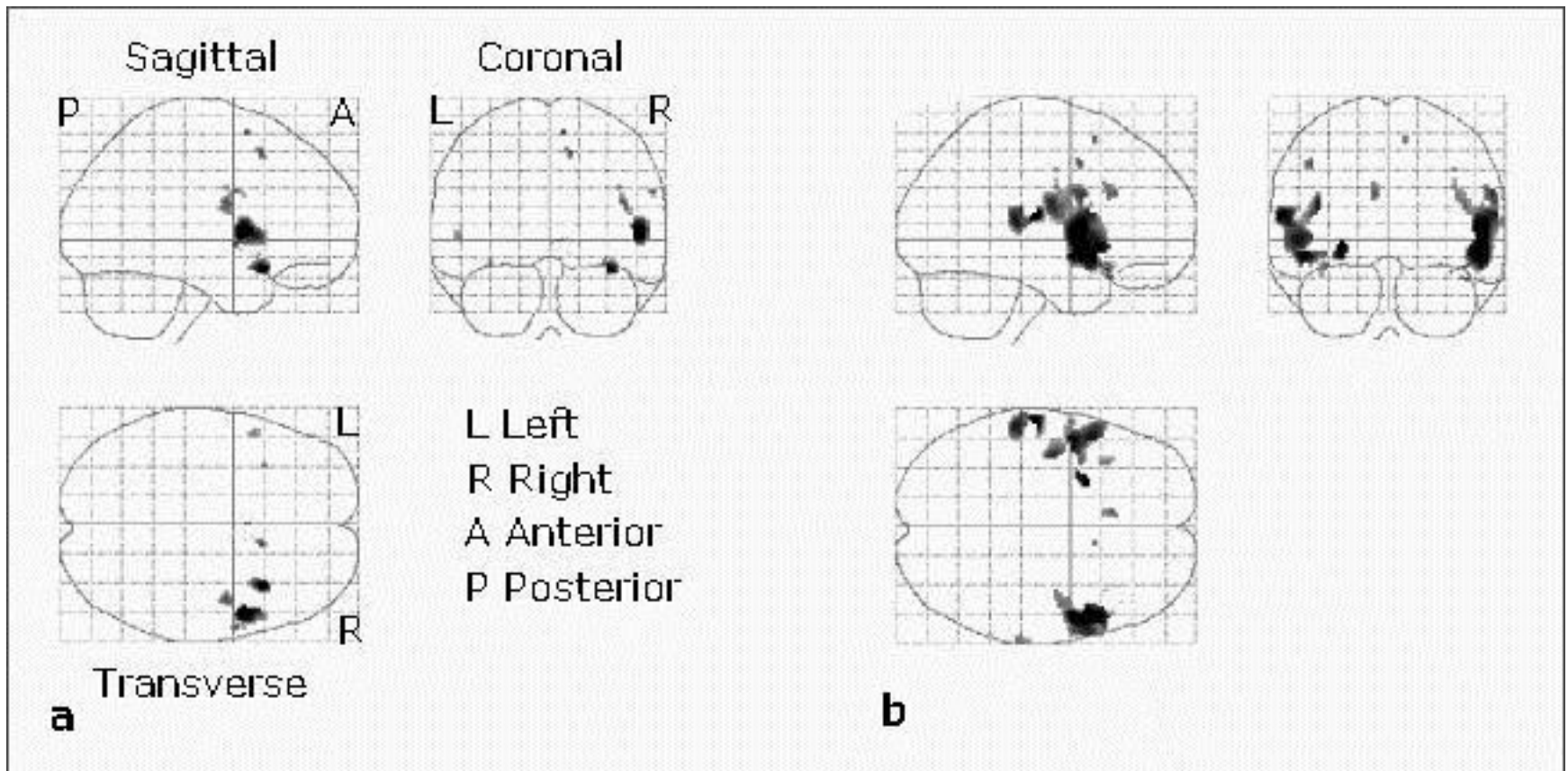
## C. VBM



## Eigene Arbeiten: Therapieeffekte

### Sprechmotorische Aufgabe:

Neumann et al. (2005): Erfolgreiche sprechflüssigkeitswiederherstellende Therapie re-lateralisiert zerebrale Sprechnetzwerke mit Mehraktivierungen besonders in linksseitigen auditorischen und motorischen Cortexregionen + in Baslaganglien



Stotterer vor Therapie > Nichtstotterer

Stotterer nach Therapie > Nichtstotterer

# FMRI: Korrelationsanalyse (Kell et al., 2009)

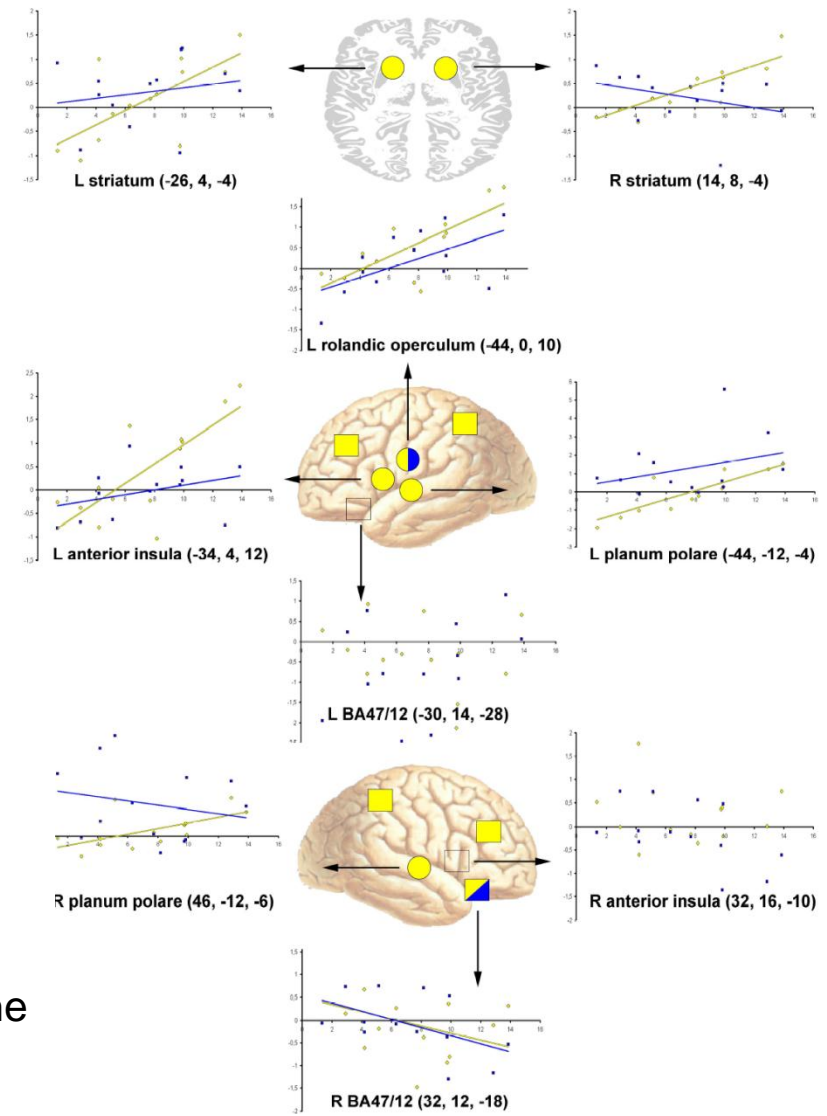
- Positive Korrelation vor Therapie ●
- Negative Korrelation vor Therapie ■
- Positive Korrelation nach Therapie ●
- Negative Korrelation nach Therapie ■

**Vor Therapie:** pos. Korrelation zw. SS% u. Hirnaktivierung (potentielle funktionelle Ursachen): anteriore Insula u. Rolandisches Operculum li., Planum polare u. Striatum bilateral

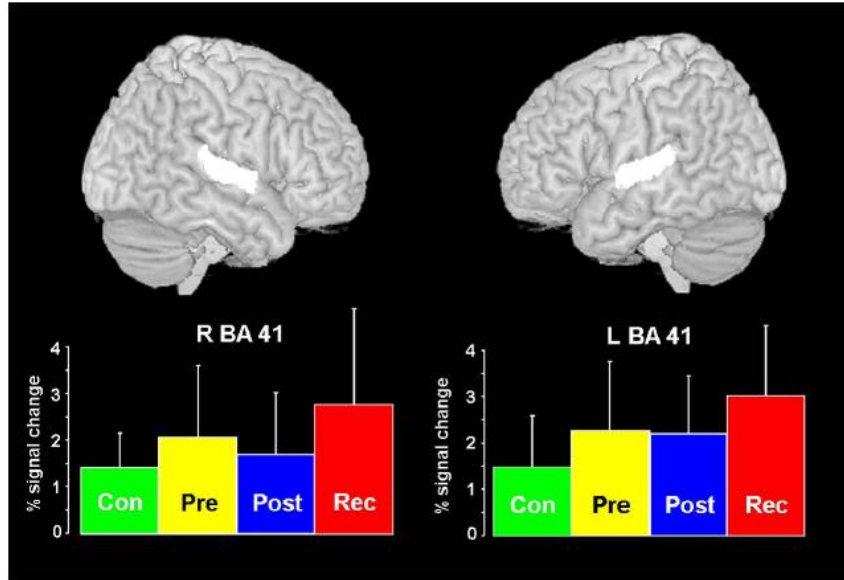
**Neg. Korr. zw. SS% u. Hirnaktivierung** (potentielle Kompensationsfunktion): re. orbitofrontale BA 47/12 vor u. nach The., bilateral. Gyr. front. med., **Gyr. angularis + ventrale temporale Regionen**

re. Verarbeitung auditiv vermittelter semantischer Information auditorischen (Marinkovic et al., 2003)  
 → weniger Stotternde besser als mehr Stotternde in Verarbeitung der Bedeutung gesprochener Sprache conveyed durch ihr eigenes audit. Feedback

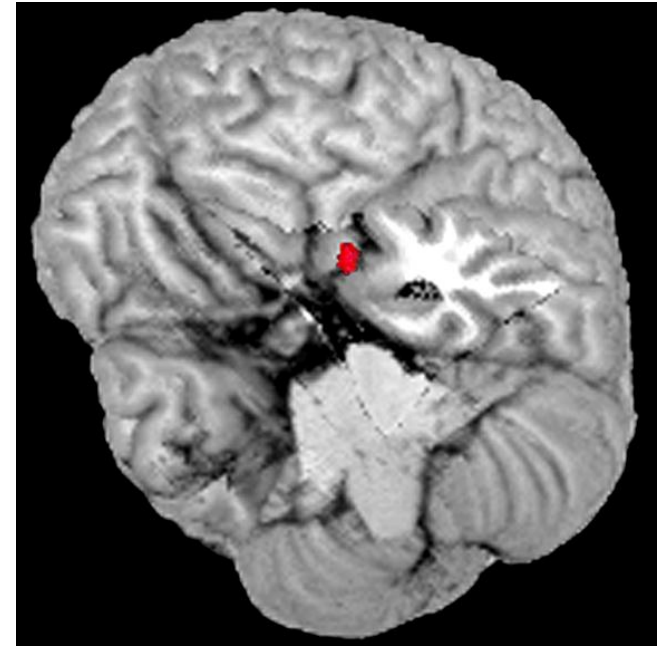
**Nach Therapie:** Dekorrelation der SS% von Hirnaktivität in li. anteriorer Insula, bilateralem Planum polare u. Striatum (Zielregionen für Therapie) primäre Motorregion der Artikulation im li. Rolandischen Operculum **korrelierten noch positiv**, re. BA 47/12 **negativ** mit Stotterschwere



## Auditorische Befunde bei Stottern (Kell et al., 2009)



alle Stotternde aktivierten beim flüssigen Sprechen bilateral den primären auditorischen Cortex ähnlich oder mehr als Nichtstotternde, Remittierte noch mehr → Kompensation des gestörten audit. Feedbacks?



linker orbitofrontaler Cortex (BA 47)  
Einzigste Region, die nur bei Remittierten und nicht bei persistierenden Stotternden oder Nicht-Stotternden aktiviert ist

verantwortlich u.a. für Kontrolle des Sprechmetrums, sensomotorische Integration



# Schlussfolgerung

*Stottern und Poltern: gestörte auditive Rückmeldung der eigenen Sprache, insbesondere für lange Vokale bzw. betonte Silben*

**Stottern:** *Jüngere Neuroimaging-Studien belegen gestörte linkshemisphärische Inputverarbeitung für sprachliche und nichtsprachliche auditorische Stimuli, gestörte Integration des auditiven Feedbacks in die sprechmotorische Planung, Minderaktivierungen in auditorischen Cortexregionen beim Stottern*

**Spontane Kompensation:** *wenig erfolgreicher Versuch, rechtshemisphärische Netzwerke zu rekrutieren; ausgedehntere tonotope Organisation des auditorischen Kortex als bei Nichtstotternden + größere Volumina der grauen u. weißen Substanz im rechten Gyrus temporalis superior*

**Erfolgreiche** *sprechflüssigkeitsinduzierende* **Therapie:** *beidseitige Mehraktivierungen im auditorischen temporalen Cortex*

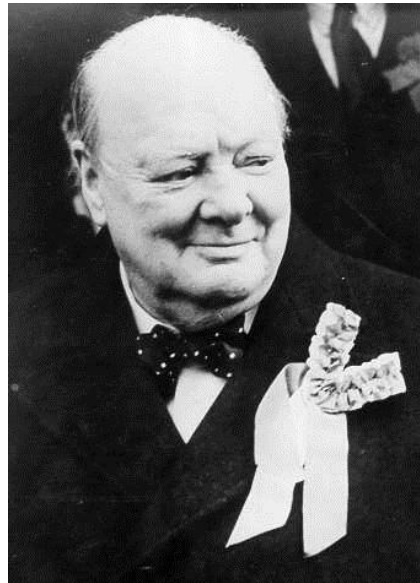
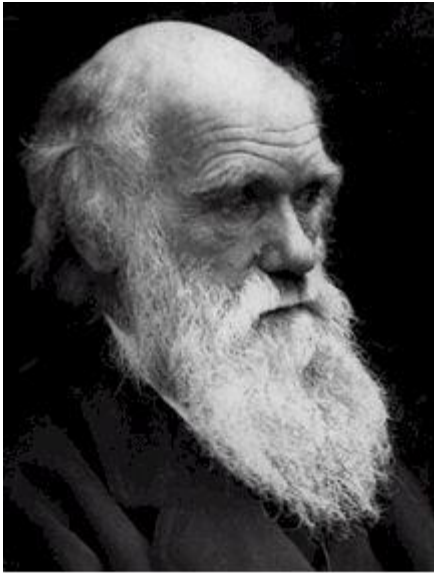
**Dauerhafte Restitution:** *Einbeziehung alternativer periläsionaler Netzwerke (linker orbitofrontaler Cortex, BA 47/12), die den motorischen Output über die anteriore Insula und die Basal ganglien kontrolliert und eine Integration des auditorischen Feedbacks in die sprechmotorische Planung bewerkstelligen*

*Refunktionalisierung linkshemisphärischer Netzwerke in der Nähe primärer zerebraler stottertypischer Läsionen*

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**

**Charles Darwin (1809-1882)**

**Demóstenes (384-322 v. Ch.)**



**Sir Winston Churchill (1874-1965)**

**Erasmus Darwin (1731-1802) Bruce Willis\*1955**

