



PREDICTING FREE CHOICES FOR ABSTRACT INTENTIONS

SOON, C. S., HE, A. H., BODE, S. & HAYNES, J.-D. (2013).

GLIEDERUNG

- Erinnerungen
 - Libet-Experiment
 - Anatomie
- Vorstellung der Studie
 - Empirisch-theoretische Ausgangslage
 - Fragestellungen & Ziele
 - Methoden
 - Ergebnisse
 - Schlussfolgerungen & Kritik
- Diskussion

ERINNERUNG: LIBET-EXPERIMENT (LIBET ET AL., 1983)

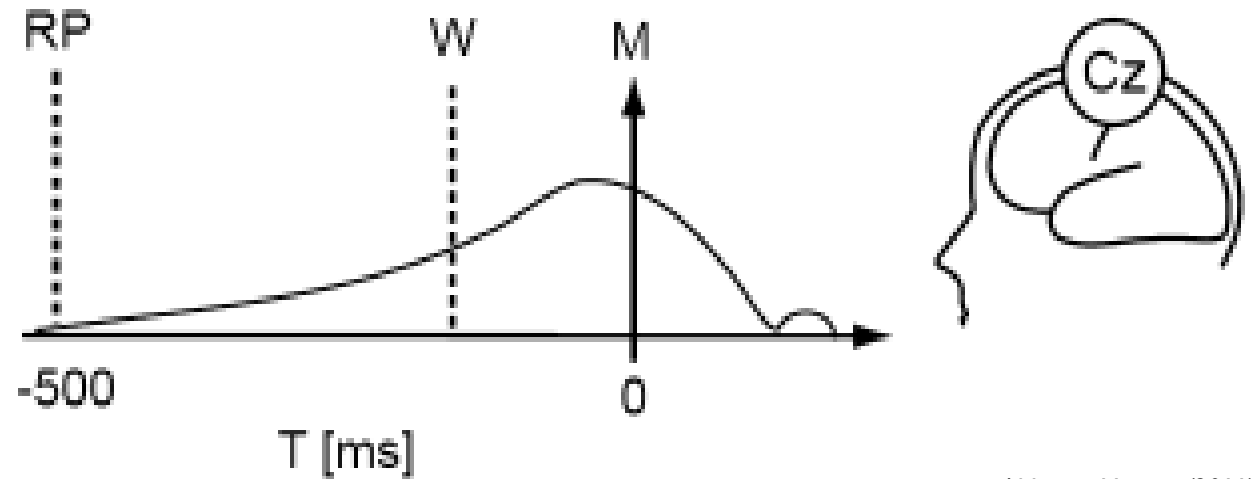


Abb. aus Haynes (2011)

→ BP bereits 350-500ms vor W

→ Konsequenz: Nicht W Ursache der Handlung, sondern unbewusste Prozesse im Gehirn (?)

ERINNERUNG: LIBET-EXPERIMENT (LIBET ET AL., 1983)



Teilweise heftige Kritik:

- keine “echte” Entscheidung, nur Wahl des Zeitpunkts
- Gleichzeitiges Monitoring Uhr & W
- Konstanz des Zusammenhangs
-

**Seitdem viel weitere
Forschung**

**→ Willensdebatte weiterhin
aktuell**

ERINNERUNG II:ANATOMIE

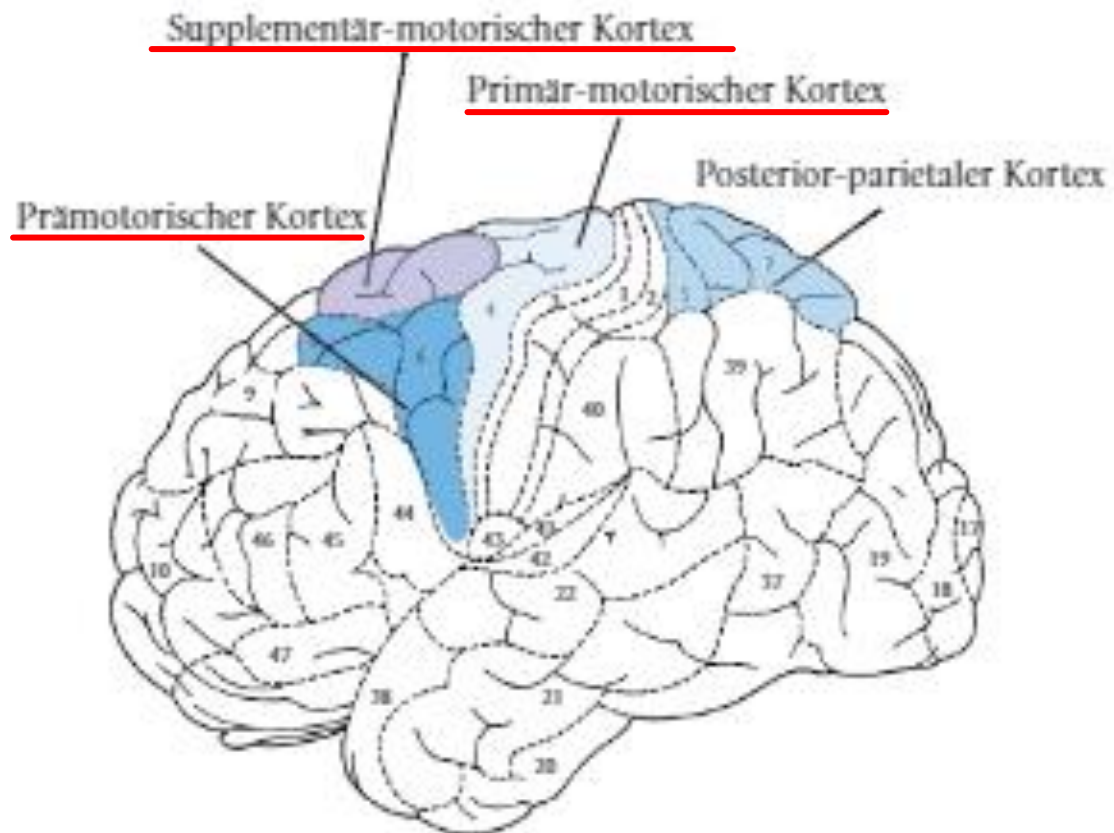


Abb. aus Schandry (2016, S. 214)

Motorkortex (MC)

- Willkürbewegung
- Somatotopie

Prämotorischer Kortex (PMA)

- Bewegungsgenerierung, v. a. proximale Strukturen

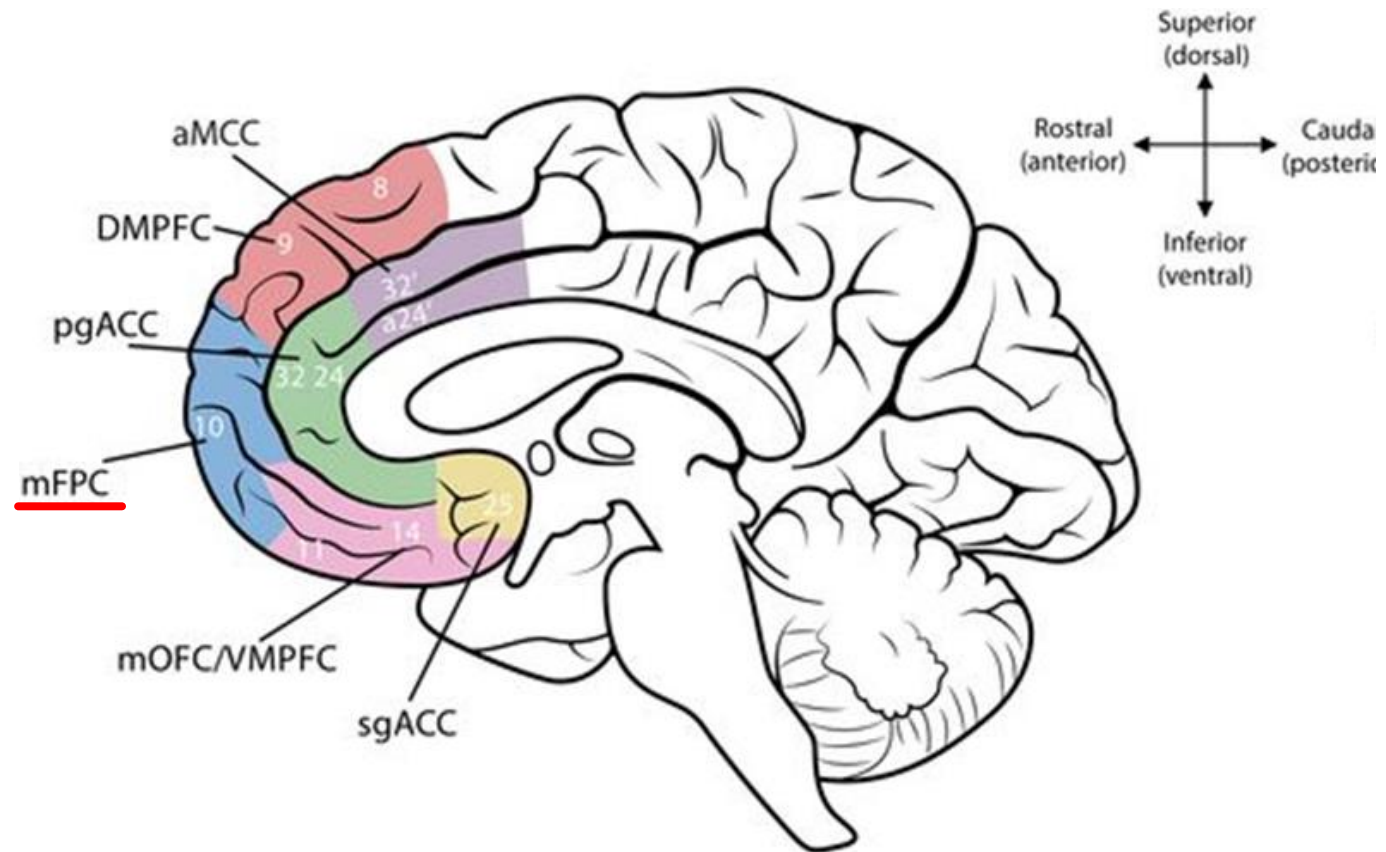
Supplementärmotorischer & Prä-supplementärmotorischer Kortex (SMA)

- Bewegungsgenerierung, v. a. distale Strukturen
- Bewegungslernen

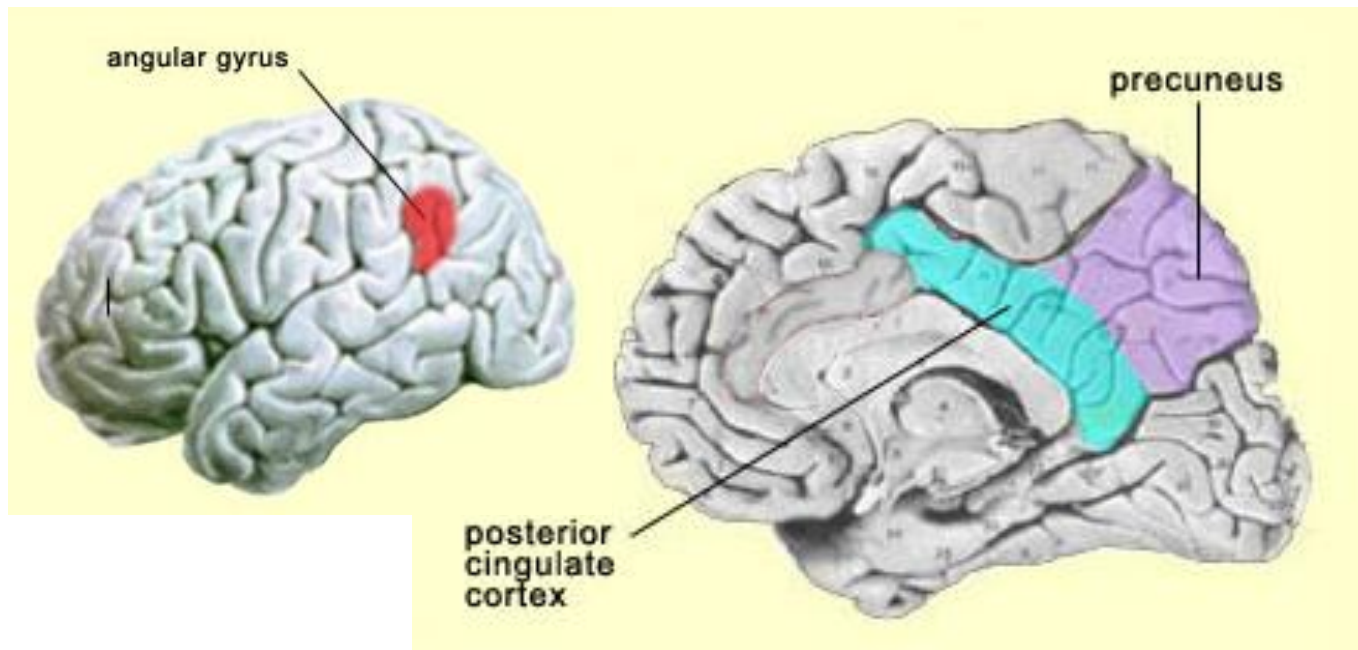
ERINNERUNG II:ANATOMIE

Frontopolarer Kortex / BA 10 (FPC)

- Kognition „höherer Ordnung“
- Enkodierung, Speicherung von Intentionen
- Prospektives Gedächtnis
- Koordination, Informationsaustausch, Integration multipler kognitiver Operationen (Ramnani & Owen, 2004)



ERINNERUNG II:ANATOMIE



Quelle: https://thebrain.mcgill.ca/flash/i/i_12/i_12_cr/i_12_cr_con/i_12_cr_con.html

Gyrus angularis

- Abruf arithmetischer Fakten (Grabner et al., 2008)

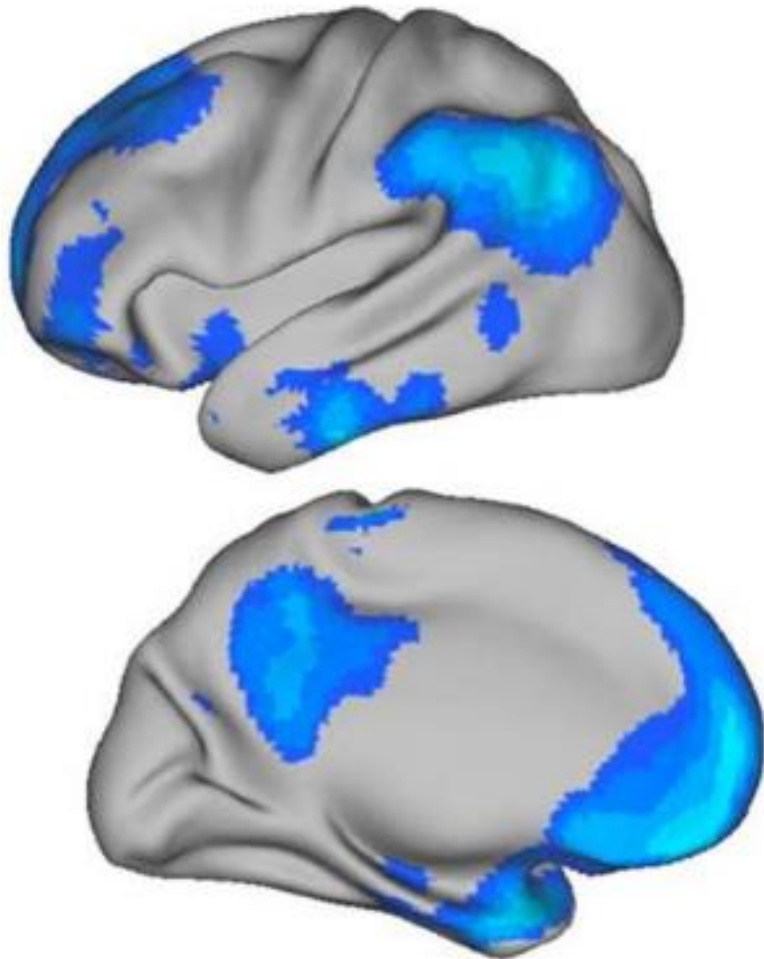
Posteriorer zingulärer Kortex (PCC)

- Funktionen nicht einheitlich (Leech & Sharp, 2014)
- u. a. : Aufmerksamkeitsregulation, Arousal, Bewusstsein ...
- Default Mode Network

Precuneus

- u. a.: Visuell-räumliche Aufmerksamkeit, episodisches Gedächtnis
- Default Mode Network (Cavanna & Trimble, 2006)

DEFAULT MODE NETWORK (DMN)



- Multiple interagierende Subsysteme
- Kernregionen: **medialer PFC, PCC**, inferiorer Parietallappen, lateraler Temporalkortex, hippocampale Areale
- Systematische Deaktivierung während aktiver Aufgabenbearbeitung relativ zu “passiven” Zuständen (*off-task*)
- Relative Aktivierung bei Aufgaben mit internalem Fokus



VORSTELLUNG DER STUDIE

SOON, C. S., HE, A. H., BODE, S. & HAYNES, J.-D. (2013).

PREDICTING FREE CHOICES FOR ABSTRACT INTENTIONS.

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA, 110(15), 6217-6222.

DOI: 10.1073/PNAS.1212218110



Nachweis vorbereitender Gehirnaktivität bei simplen motorischen Entscheidungen

z. B. Soon et al. (2008)

- Freie Entscheidung Knopfdruck linke/ rechte Hand
- Dekodierung Outcome (l/ r):
FPC/ BA10, parietale Areale
~10 s vorher
- Dekodierung Zeitpunkt:
Prä-SMA, SMA
~ 5s vorher

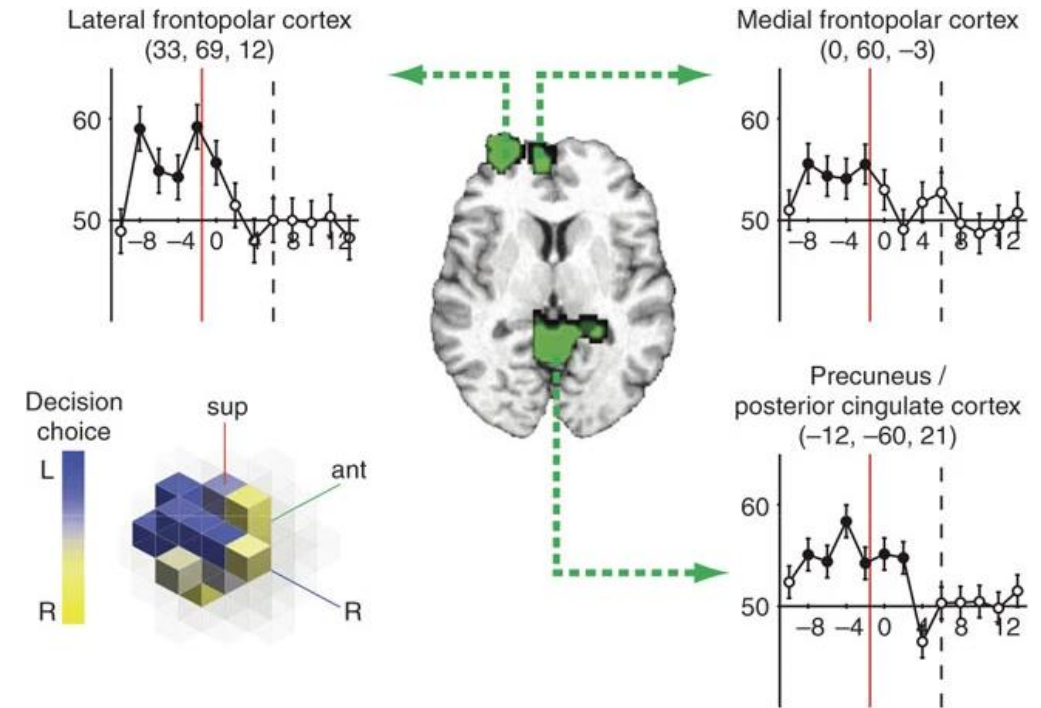


Abb. aus Soon et al. (2008)

EMPIRISCH-THEORETISCHE AUSGANGSLAGE

**Keine Untersuchungen zur
Vorhersagbarkeit abstrakter
Intentionen aus
Gehirnaktivität**



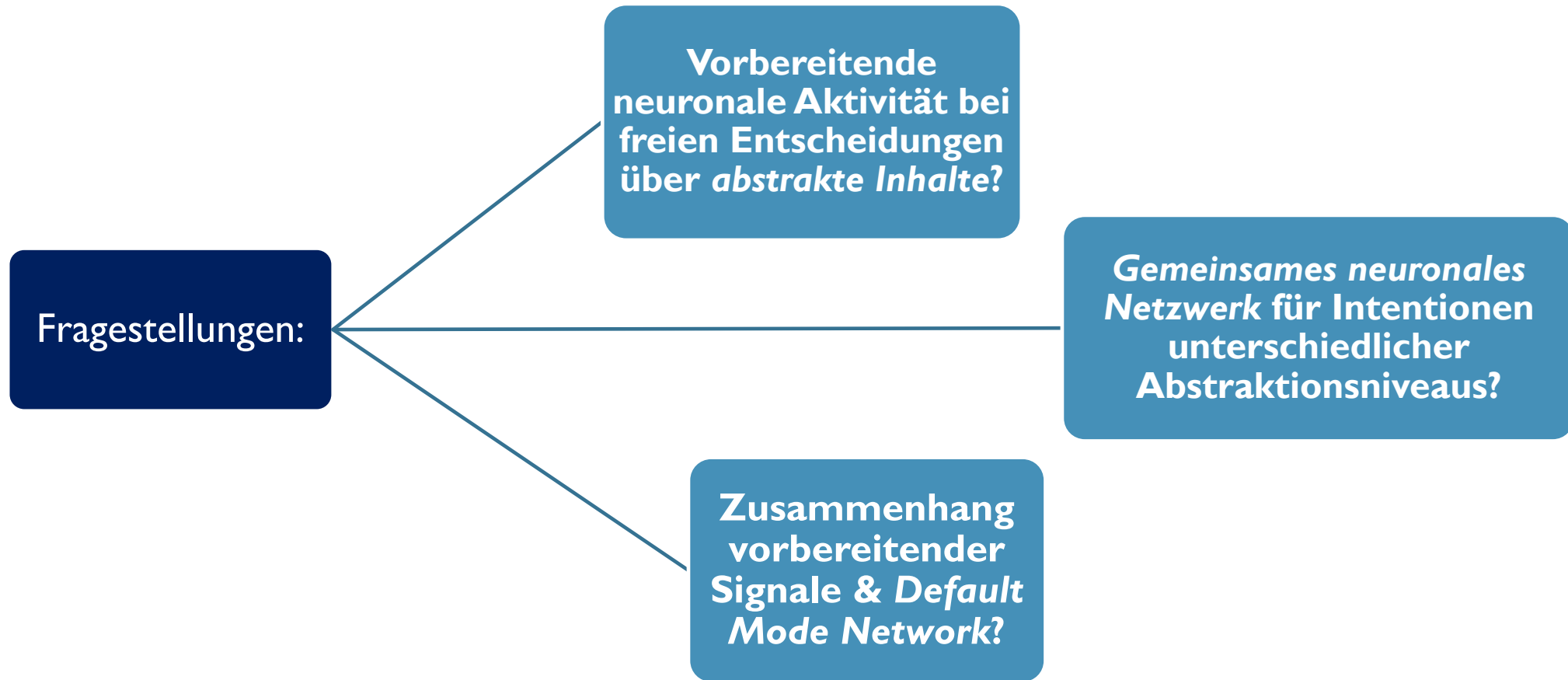
**Gleicher Mechanismus wie
bei motorischen
Entscheidungen?**

**Überlappende Areale mit
DMN**



Zusammenhang unklar

EMPIRISCH-THEORETISCHE AUSGANGSLAGE



FRAGESTELLUNGEN DER STUDIE

ZIELE DER STUDIE

Hauptziel: “**Predicting** free choices for abstract intentions“

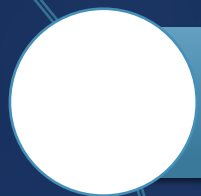
Was? → Outcome der Entscheidung

Wann? → Zeitpunkt der Entscheidung

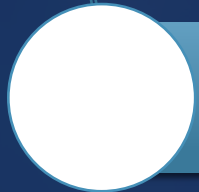
Wo? → Lokalisation relevanter Areale

Default Mode Network → Aktivitätsmuster während präparatorischer Phase

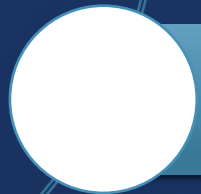
METHODIK



Versuchspersonen

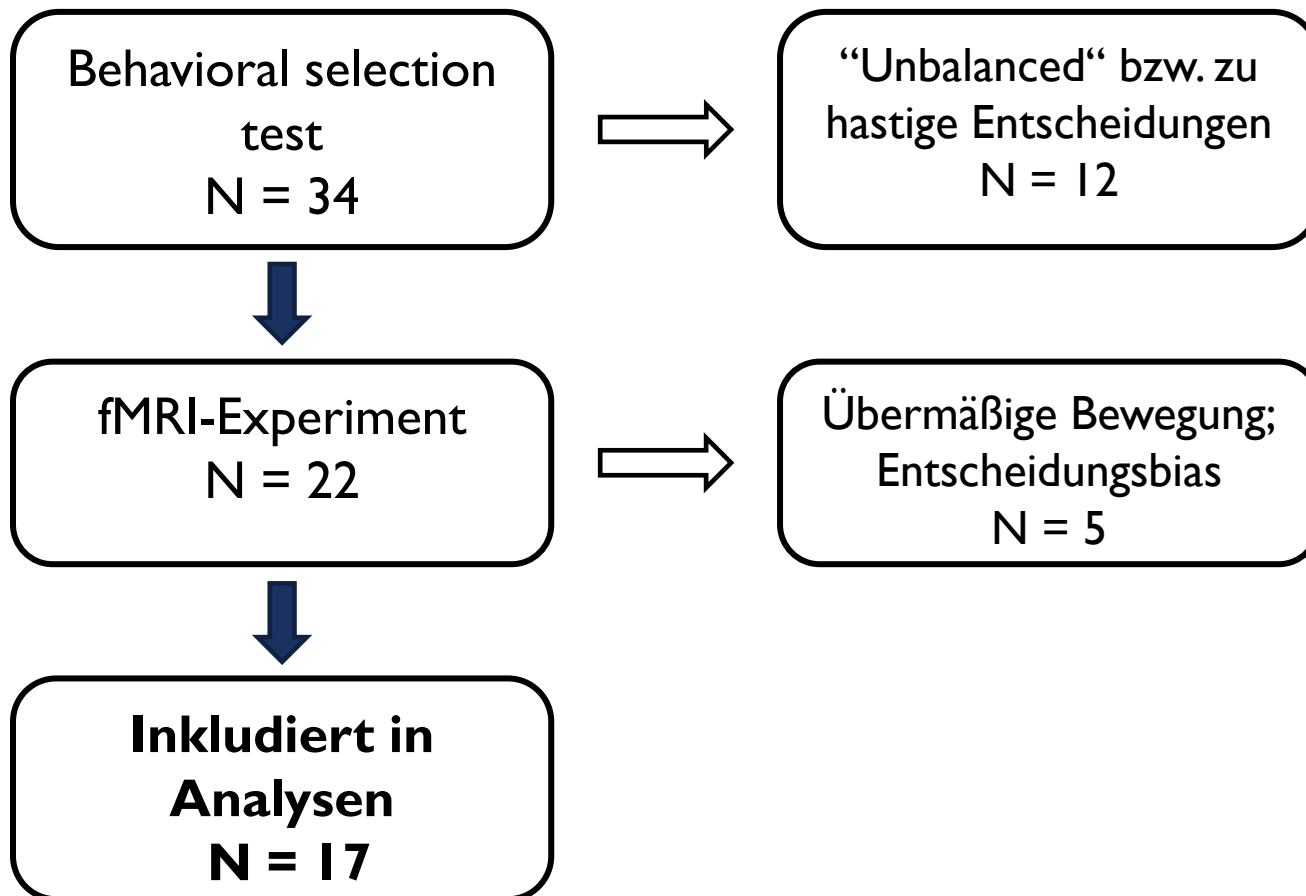


Paradigma



Analysetechniken

VERSUCHSPERSONEN



Quelle: <https://www.cassling.com/mri>

PARADIGM

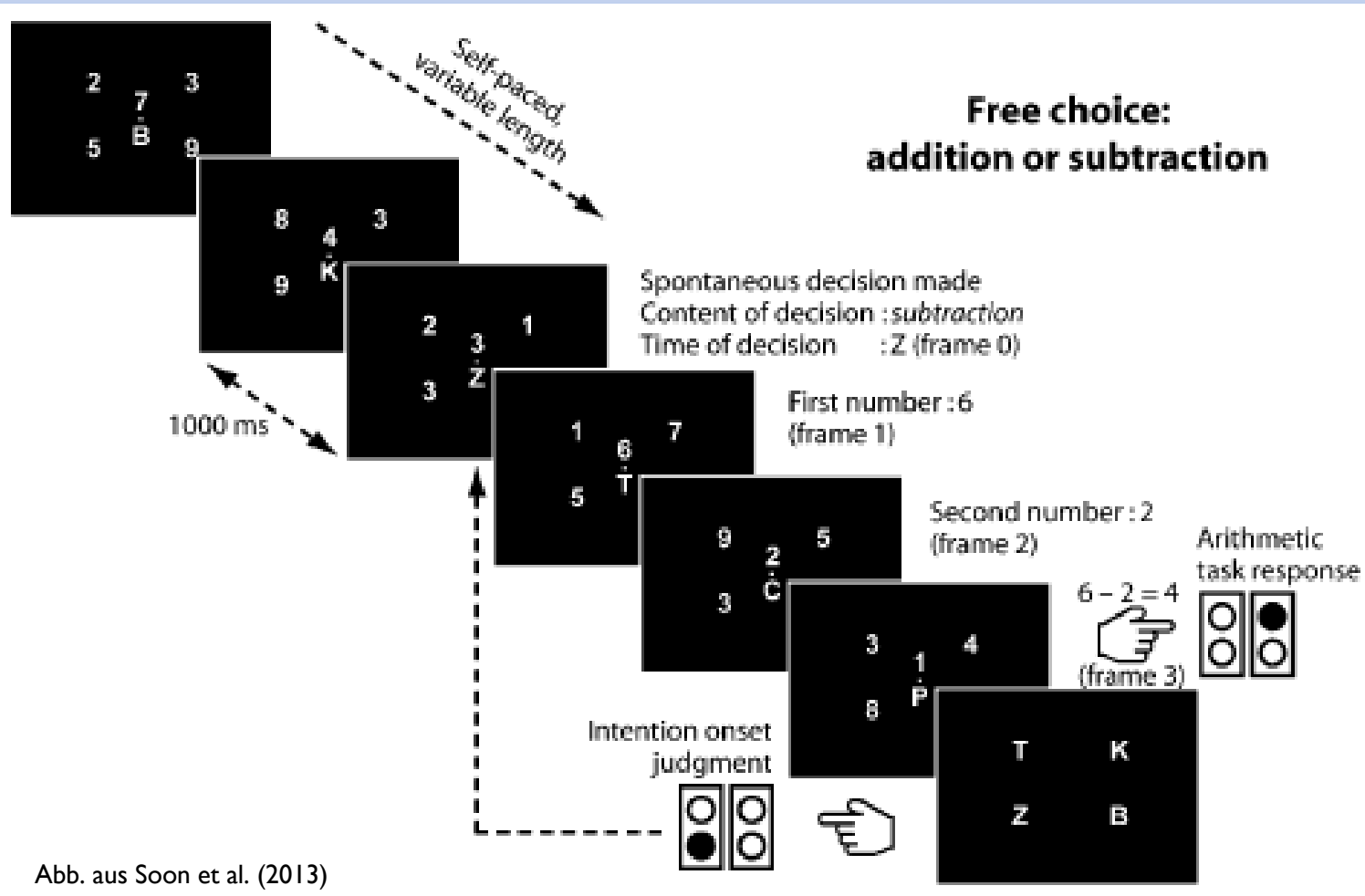


Abb. aus Soon et al. (2013)

- Entscheidung Addition/ Subtraktion zu beliebigem Zeitpunkt
- VPs merken sich Buchstaben
- Nächsten 2 Frames: Mathematische Operation
- Nächster Frame: Angabe Lösung
- Nächster Frame: Angabe Buchstabe

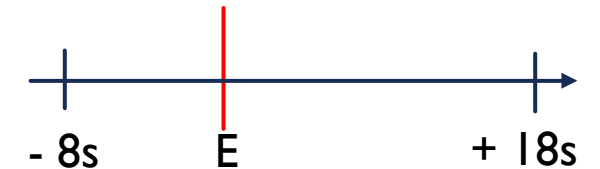
DEKODIERUNGSTECHNIKEN I: OUTCOME DER ENTSCHEIDUNG

Multivariate Musterklassifikation

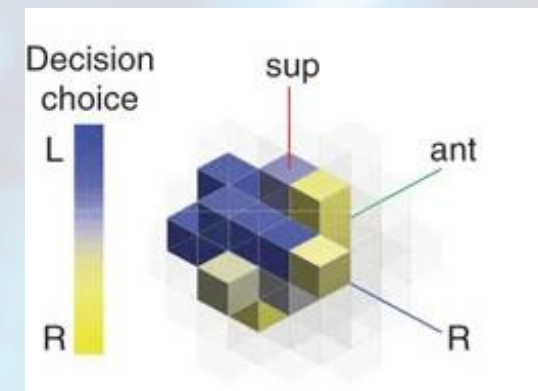
- Ziel: Detektion von Aktivität, die Entscheidung (+ / -) vorhersagt
- Daten: Pro VP 10 Durchgänge a 152 Volumina

1) Je Durchgang Modellierung BOLD-Signal mit GLM

- Finite impulse response (FIR) predictors
 - Keine Beschränkung der Verlaufsform
 - Mehrere Schätzungen diskreter Zeitpunkte (t)
- Voxelweise Clusterbildung
- Separate Modellierung von + / - Trials für alle t
 - Je Voxel & Cluster



alle 2s ein fMRI-Scan = 14 t



$r = 3$ Voxel
Voxel: N

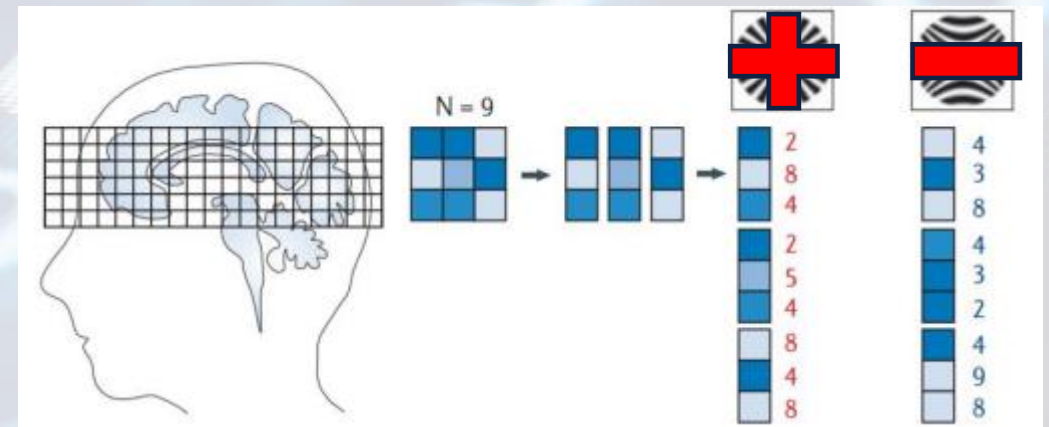
Abb. aus Soon et al. (2008)

DEKODIERUNGSTECHNIKEN I: OUTCOME DER ENTSCHEIDUNG

Multivariate Musterklassifikation

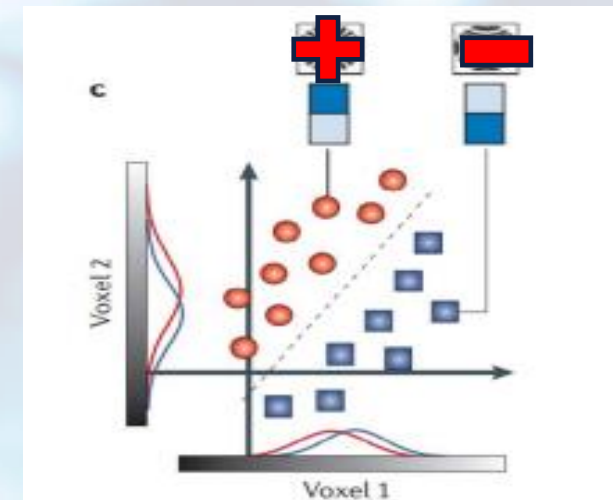
2) Outputs: Räumliche Antwortmuster der Cluster

- Für alle t & Durchgänge 2 Mustervektoren



3) Mustervektoren: Multivariate Mustererkennung

- Linear Support Vector Machines (SVM)
- Training mit 9 Datensätzen
- Klassifikation des 10. Datensatzes
→ 10-fold cross validation



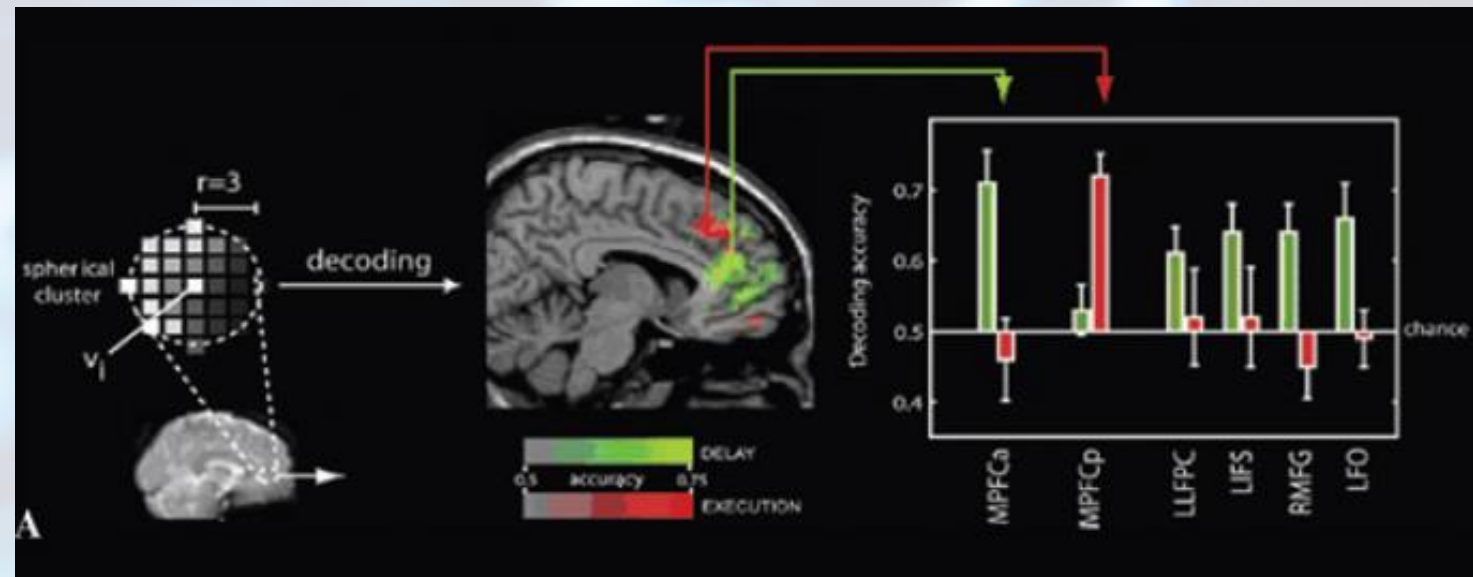
DEKODIERUNGSTECHNIKEN I: OUTCOME DER ENTSCHEIDUNG

Multivariate Musterklassifikation

4) Output: Durchschnittliche Dekodiergenauigkeiten

- Für alle t & Voxel

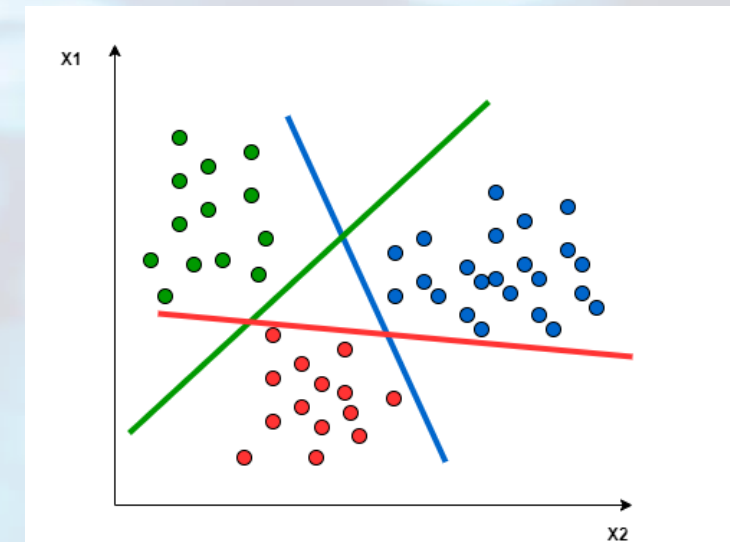
5) Decoding accuracy maps



DEKODIERUNGSTECHNIKEN II: ZEITPUNKT DER ENTSCHEIDUNG

Multiclass pattern classification

- Ziel: Identifikation von Arealen, die Entscheidungszeitpunkt encodieren
 - Input: Generierte Mustervektoren
 - Methode: Multiclass SVM
 - Kombination multipler binärer SVM
 - Klassifikation nach time bins (-8 bis E)
 - Je VP & t 5 local classification accuracy maps
 - ANOVA
- Identifikation relevanter Areale & Zeitspanne



DEKODIERUNGSTECHNIKEN II: ZEITPUNKT DER ENTSCHEIDUNG

Spatiotemporal classification

- Kombination räumlicher & zeitlicher Infos
- „Spatiotemporal vectors“
 - Vorverarbeitete EPI-Signale der relevanten Regionen
 - innerhalb relevanten Zeitraums = Targets
 - vs. andere Zeitabschnitte = Non-Targets
- Trial-by-trial Vorhersage des Zeitpunkts aller Entscheidungen mit SVM
 - Targets vs. Non-Targets
 - 4-fold cross-validation

DEFAULT MODE NETWORK

- 1) Identifikation der DMN-Strukturen über alle VPs hinweg
- Independent component analysis (ICA)

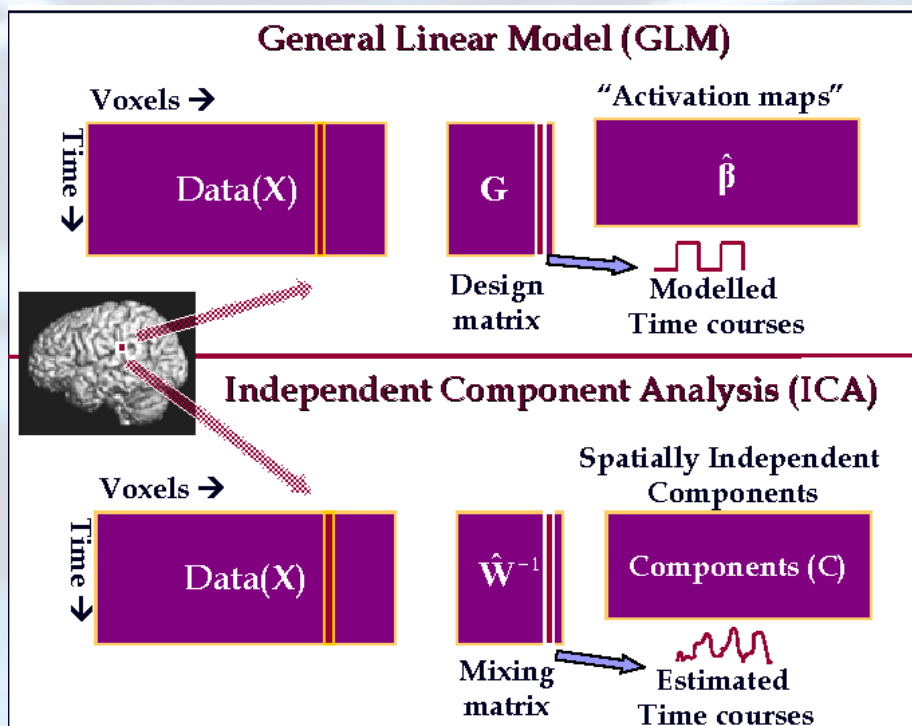
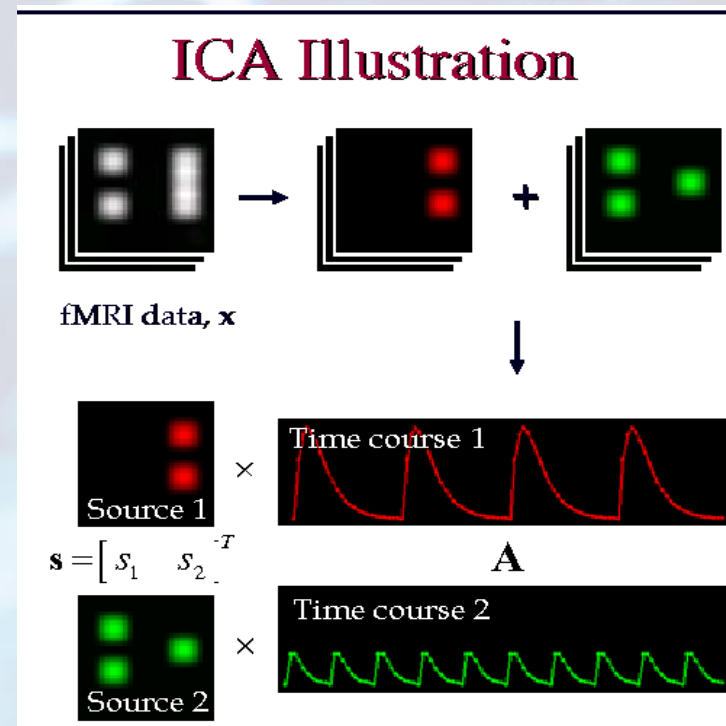


Abb. aus Calhoun (2006)



DEFAULT MODE NETWORK

- 2) Extraktion zeitlicher Aktivitätsmuster für jede VP
- 3) Konjunktionsanalyse
 - Detektion räumlicher Überschneidungen DMN mit relevanten Arealen

→ Vergleich mit Daten von motorischem Paradigma (Soon et al., 2008)

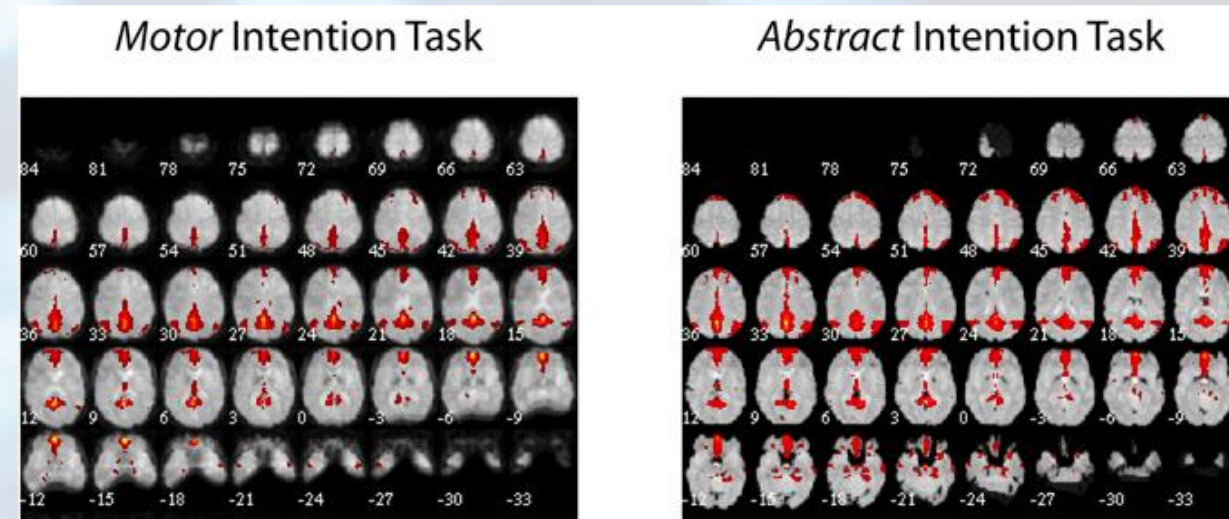
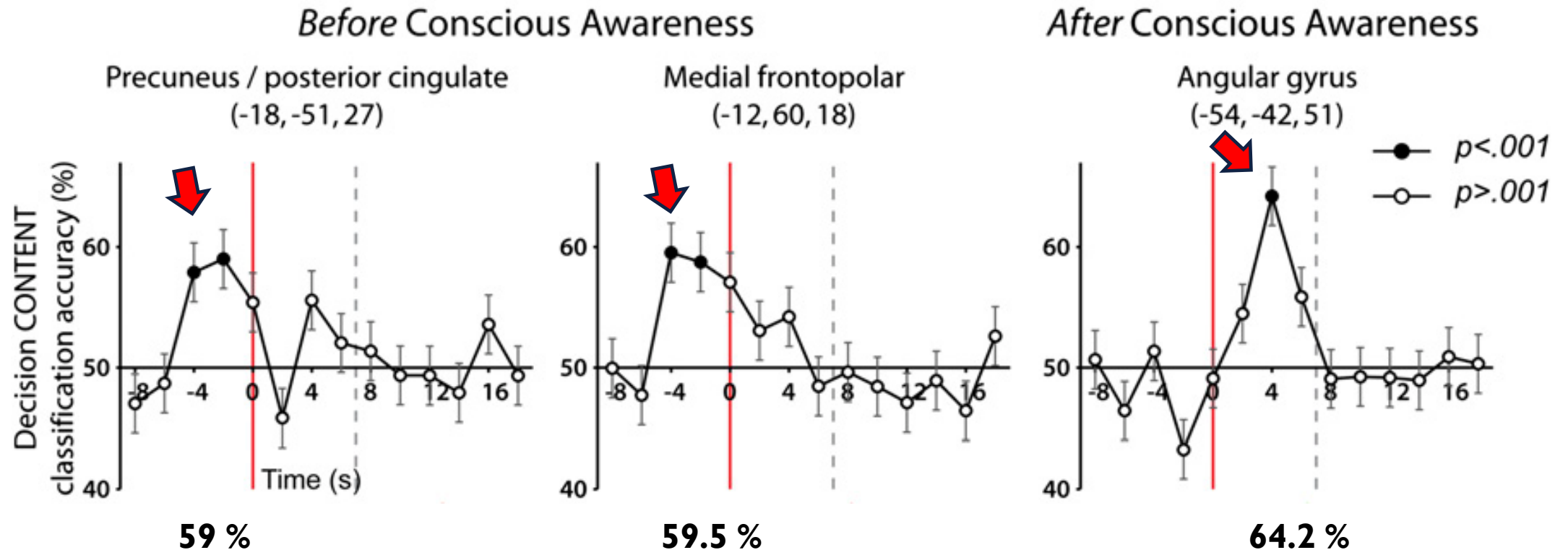


Abb. aus Soon et al. (2013)



ERGEBNISSE

OUTCOME DER ENTSCHEIDUNG



OUTCOME DER ENTSCHEIDUNG

- **mFPC, Precuneus/ PC** → ~ 7s vor **E** (inkl. hemodynamic delay)
- **Gyrus angularis** → ~ während **E** (inkl. hem. delay)
- KEINE Enkodierung in motorischen Arealen

Pre-supplementary
motor area
(-6, 9, 57)

Supplementary
motor area
(-6, -3, 63)

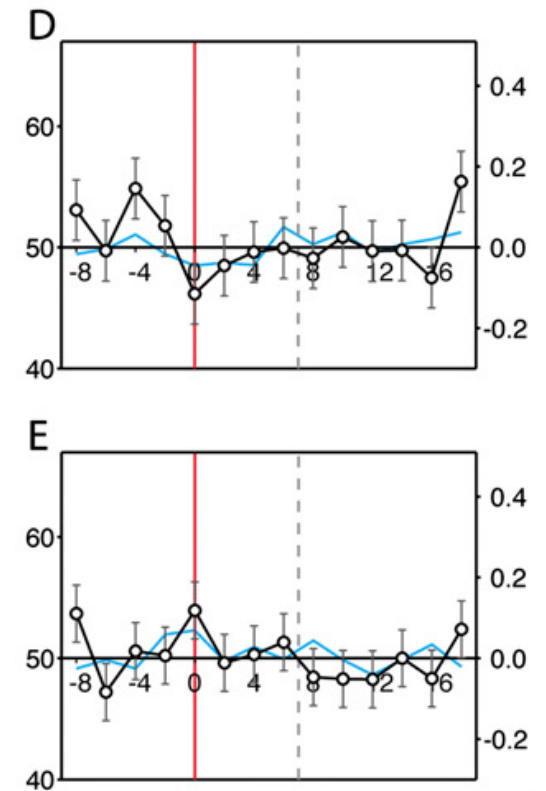
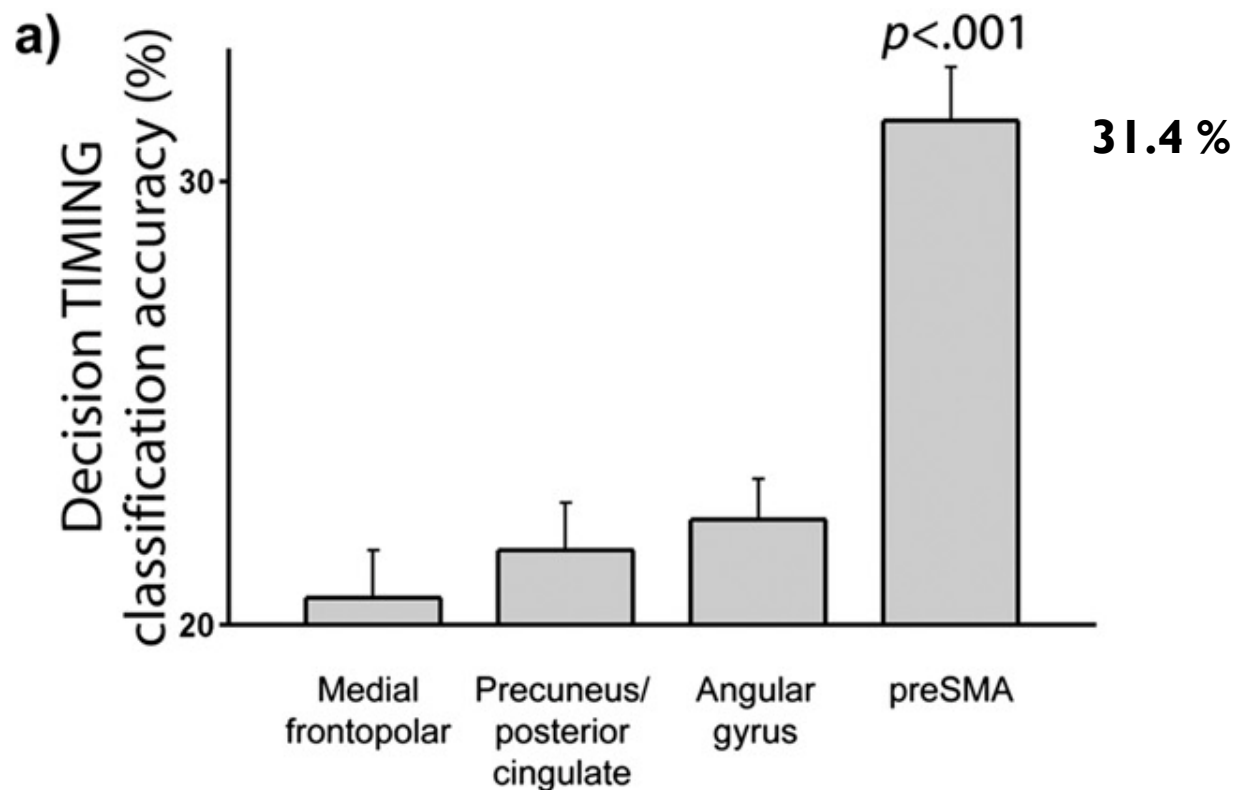


Abb. aus Soon et al. (2013)

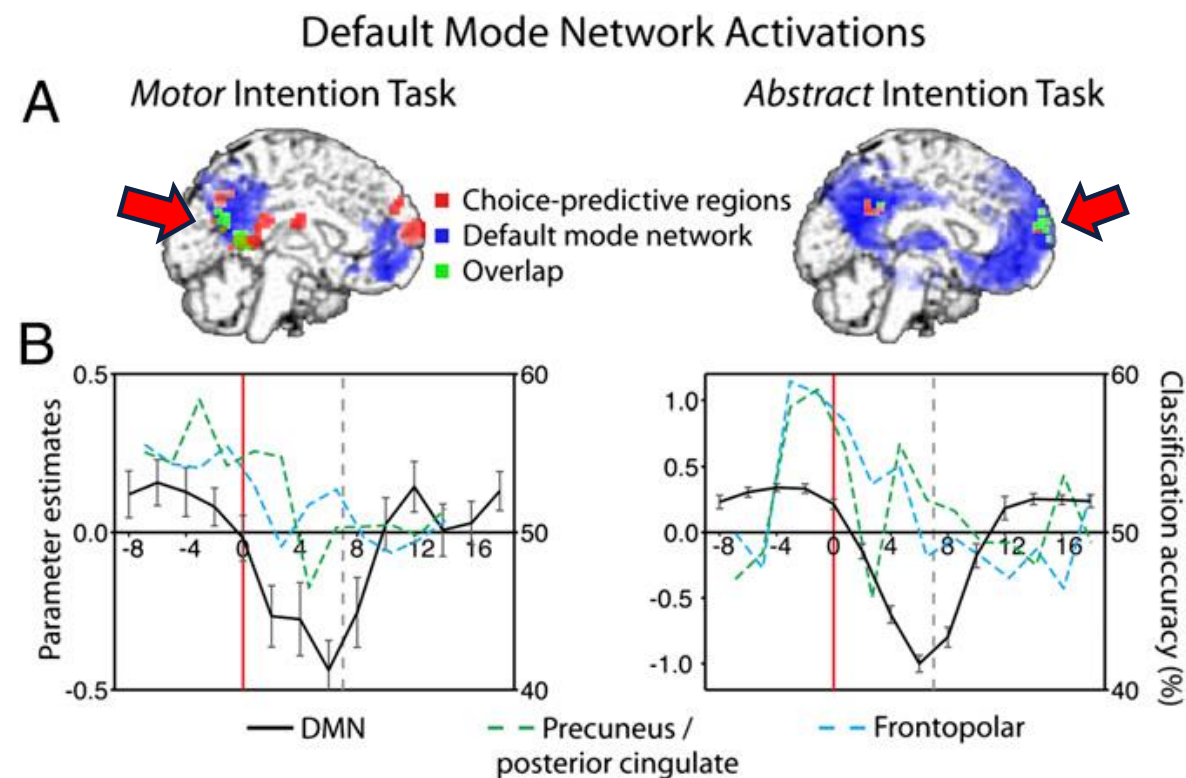
ZEITPUNKT DER ENTSCHEIDUNG



- **Prä-SMA → ~ 4 - 0 s vor E**
- Trial-by-trial Vorhersagegenauigkeit: **71.8 %**
- KEINE Enkodierung in FPC, Precuneus/ PC

DEFAULT MODE NETWORK

- **Motorisch: Parietale Regionen**
 - **Abstrakt: Anteriorer mPFC**
 - Zeitverläufe DMN & prädiktive Signale in Precuneus/ PC & FPC:
 - **Peak Aktivität ~ zur selben Zeit**
- Anstieg in DMN länger anhaltend & früherer Beginn



SCHLUSSFOLGERUNGEN/ KRITIK

VOR bewusster Entscheidung

- Ergebnis abstrakter Intentionen aus Gehirnaktivität dekodierbar → **fronto-parietales Netzwerk**
- Timing abstrakter Intentionen aus Gehirnaktivität dekodierbar → **prä-SMA**
- Was-Wann-Dissoziation

WÄHREND bzw. NACH bewusster Entscheidung

- „Weitergabe“ der Infos an ausführende Areale

Default Mode Peak → off-task Zustand, obwohl Intention bereits enkodiert wird

- VPs nicht bewusst involviert (?)



SCHLUSSFOLGERUNGEN/ KRITIK

ABER...

- Carry-over Effekte?
→ hier eher unwahrscheinlich
- Nur geringe – mäßige Dekodiergenauigkeiten
- Simple Rechenaufgabe = repräsentative „abstrakte Intention“?
- Genaue Bedeutung des DMN unklar
→ Nur Korrelat?
→ Rückschluss auf Bewusstseinslevel = voreilig?



DISKUSSION

- **Zusammenhang freier Wille (was ist das überhaupt) & Bewusstsein (was ist das überhaupt)?**
- **Werden wir von unserem Gehirn „gesteuert“?**





DANKE FÜRS ZUHÖREN! 😊

LITERATUR

- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R. & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 1–38. doi: 10.1196/annals.1440.011
- Calhoun, V. D., Adali, T., Pearlson, G. D., van Zijl, P. C. & Pekar, J. J. (2002). Independent component analysis of fMRI data in the complex domain. *Magnetic Resonance in Medicine*, 48(1), 180–192. doi: 10.1002/mrm.10202
- Cavanna, A. E. & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: A review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129(3), 564–583. doi: 10.1093/brain/awl004
- Grabner, R. H., Ansari, D., Koschutnig, K., Reishofer, G., Ebner, F. & Neuper, C. (2009). To retrieve or to calculate? Left angular gyrus mediates the retrieval of arithmetic facts during problem solving. *Neuropsychologia*, 47(2), 604–608. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.013
- Haynes, J.-D. (2011). Decoding and predicting intentions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224(1), 9–21. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.05994.x
- Haynes, J.-D. & Rees, G. (2006). Decoding mental states from brain activity in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 523–534. doi: 10.1038/nrn1931
- Henson, R., Rugg, M. & Friston, K. (2001). The choice of basis functions in event-related fMRI. *Neuroimage*, 13(6), 149. doi: 10.1016/S1053-8119(01)91492-2
- Hsu, C.-W. & Lin, C.-J. (2002). A comparison of methods for multiclass support vector machines. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 13(2), 415–425. doi: 10.1109/72.991427
- Leech, R. & Sharp, D. J. (2014). The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain*, 137(1), 12–32. doi: 10.1093/brain/awt162
- Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W. & Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, 106(3), 623–642. doi: 10.1093/brain/106.3.623
- Raccach, O., Block, N. & Fox, K. C. R. (2021). Does the Prefrontal Cortex Play an Essential Role in Consciousness? Insights from Intracranial Electrical Stimulation of the Human Brain. *Journal of Neuroscience*, 41(10), 2076–2087. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1141-20.2020
- Ramnani, N. & Owen, A. M. (2004). Anterior prefrontal cortex: Insights into function from anatomy and neuroimaging. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 184–194. doi: 10.1038/nrn1343
- Schandry, R. (2016). *Biologische Psychologie* (4. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Soon, C. S., Brass, M., Heinze, H. J. & Haynes, J.-D. (2008). Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neuroscience*, 11(5), 543–545. doi: 10.1038/nn.2112
- Soon, C. S., He, A. H., Bode, S. & Haynes, J.-D. (2013). Predicting free choices for abstract intentions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(15), 6217–6222. doi: 10.1073/pnas.1212218110

ABBILDUNGEN

- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R. & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 1–38. doi: 10.1196/annals.1440.011
- Calhoun, V. D., Adali, T., Pearlson, G. D., van Zijl, P. C. & Pekar, J. J. (2002). Independent component analysis of fMRI data in the complex domain. *Magnetic Resonance in Medicine*, 48(1), 180–192. doi: 10.1002/mrm.10202
- Haynes, J.-D. (2011). Decoding and predicting intentions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224(1), 9–21. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.05994.x
- Haynes, J.-D. & Rees, G. (2006). Decoding mental states from brain activity in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 523–534. doi: 10.1038/nrn1931
- Raccah, O., Block, N. & Fox, K. C. R. (2021). Does the Prefrontal Cortex Play an Essential Role in Consciousness? Insights from Intracranial Electrical Stimulation of the Human Brain. *Journal of Neuroscience*, 41(10), 2076–2087. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1141-20.2020
- Schandry, R. (2016). *Biologische Psychologie* (4. Aufl.). Weinheim: Beltz. (S. 214)
- Soon, C. S., Brass, M., Heinze, H. J. & Haynes, J.-D. (2008). Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neuroscience*, 11(5), 543–545. doi: 10.1038/nn.2112
- Soon, C.S., He, A. H., Bode, S. & Haynes, J.-D. (2013). Predicting free choices for abstract intentions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(15), 6217–6222. doi: 10.1073/pnas.1212218110

https://www.researchgate.net/figure/a-The-Libet-Paradigm-The-participant-makes-a-voluntary-action-and-reports-the-time_fig1_329136588

https://thebrain.mcgill.ca/flash/i/i_12/i_12_cr/i_12_cr_con/i_12_cr_con.html

<https://www.cassling.com/mri>

<https://www.baeldung.com/cs/svm-multiclass-classification>