



**Universität
Zürich** UZH

Institut für Computerlinguistik | Neurowissenschaften der Sprache und des Hörens
Kompetenzzentrum Sprache & Medizin
Healthy Longevity Center

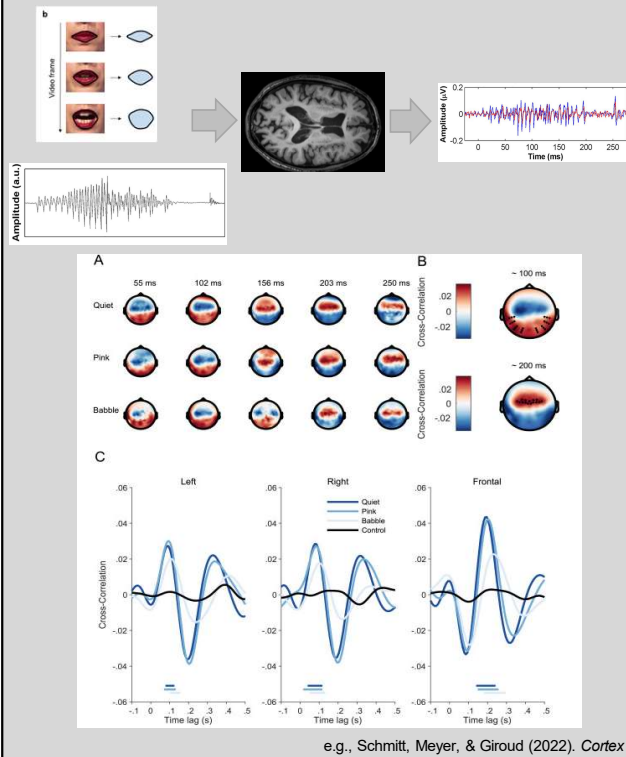


EEG als Biomarker für Sprachpathologie und Demenz

Prof. Dr. Nathalie Giroud

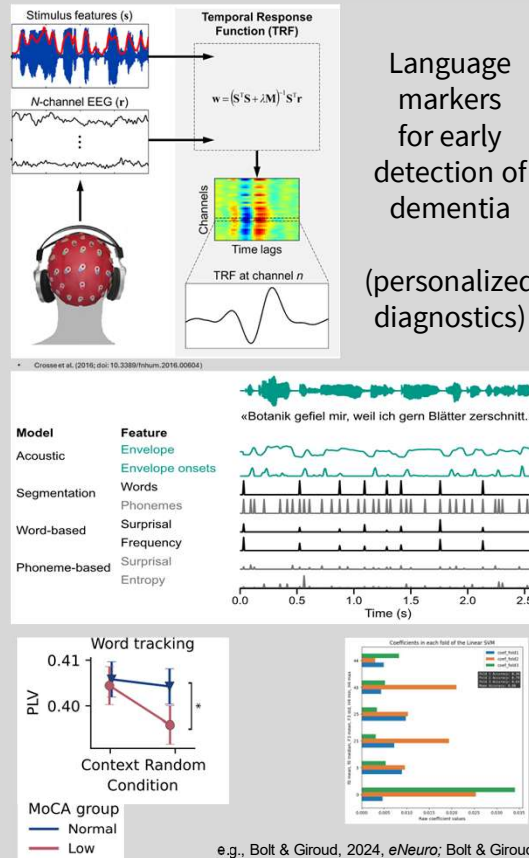
BASIC SCIENCE

Neural processing of speech and language

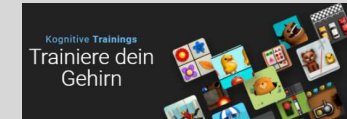


NEUROPSYCHIATRIC RESEARCH

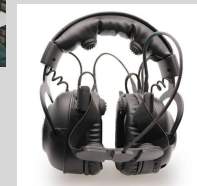
Language markers for early detection of dementia (personalized diagnostics)



INTERVENTIONS



Computer-based trainings (gamification, VR), BCI to improve language and communication



e.g., Schmitt, Meyer, & Giroud (2023). *Science of Learning*



e.g., Giroud et al., 2018, Brain Structure & Function;
Giroud et al., 2019, Neurobiology of Aging;
Giroud et al., 2021, Neuropsychologia
Rehan et al., 2021, Journal of Alzheimer's Disease

MRI



VR (immersion)



Mobile phone apps:

- Interventions: Training apps
e.g., www.lippenlesen.ch; ACT! (Apple + Play Store)
- Collecting real-life data
e.g., <https://www.trackyourhearing.org/>
- Ecological momentary assessment (EMA)
e.g., Schmitt et al., 2023, Science of Learning
Pryss et al., 2019 IEEE engineering in medicine and biology society

Hyperscanning (brain + heart)



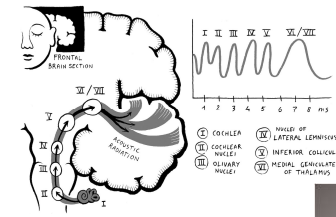
Turk et al., 2022, Frontiers in Psychology



Methodological approaches



EEG
ABR
Mobile EEG
BCI



e.g., Kurthen et al., 2021, Human Brain Mapping
Bolt & Giroud, 2024, eNeuro
Bolt & Giroud, 2024, Scientific Reports
Schmitt et al., 2022, Cortex



Audiometry
Speech assessments
Neuropsychological testings
(e.g., Language, Cognition)

e.g., Giroud et al., 2018, Brain Structure & Function;
Elmer et al., 2023, NeuroImage

Zahlen: Demenz in der Schweiz

- 151'000 (1.8%) Personen mit Demenz in der Schweiz
 - 9% der älteren Personen über 65 Jahre
 - 41% der älteren Personen über 90 Jahre
- Enorme Kosten für Gesundheitswesen, ökonomische Kosten, soziale Kosten
 - 11.4 Milliarden CHF pro Jahr
- Trend: bis 2040 mehr als 300'000 ältere Personen mit Demenz in der Schweiz
- Keine Behandlung verfügbar bis heute!
- Fokus: Prävention und Früherkennung

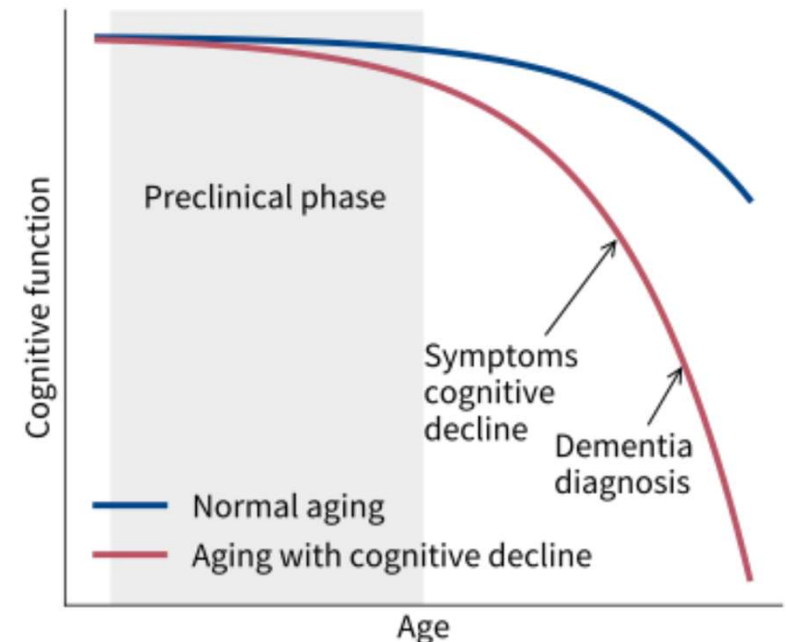


Image adapted from Alzheimersblog.org

1 Prävention:

Sprachpathologie als Risikofaktor?

Prävention: Demenz-Risiko vermindern

Ziel: Veränderbare Risikofaktoren erkennen

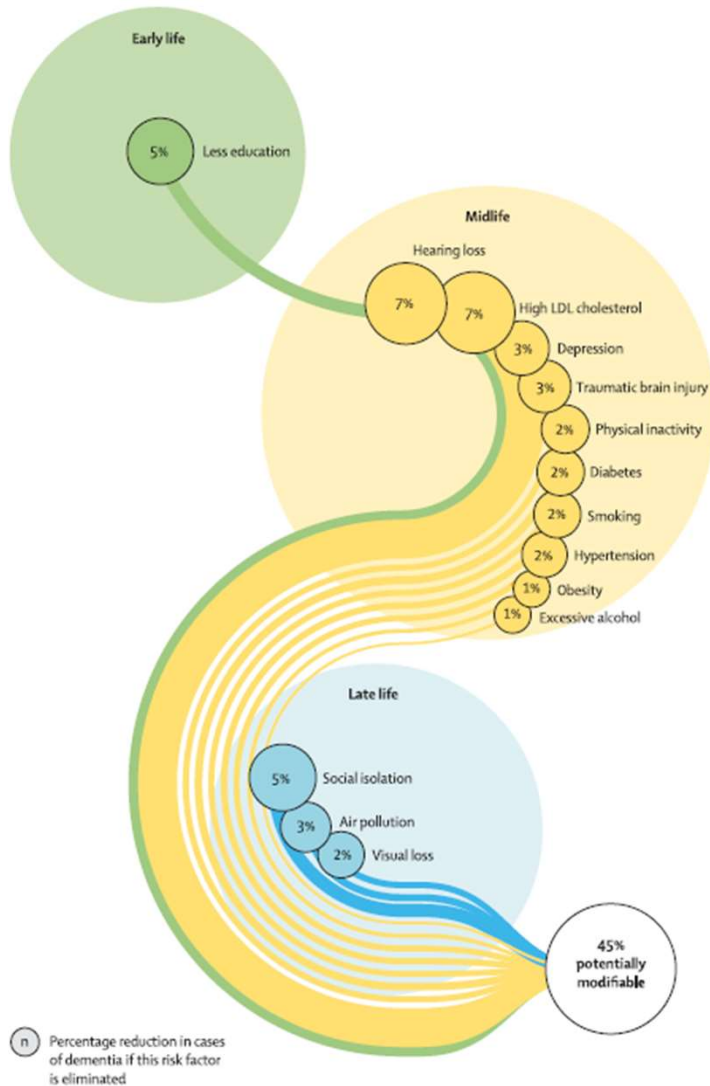
Eine 10-25% Reduktion dieser Risikofaktoren könnte ca. 1-3 Millionen Alzheimer Demenz Fälle verhindern

Den Beginn von Demenz um 5 Jahre verzögern = 50% Reduktion in Prävalenz

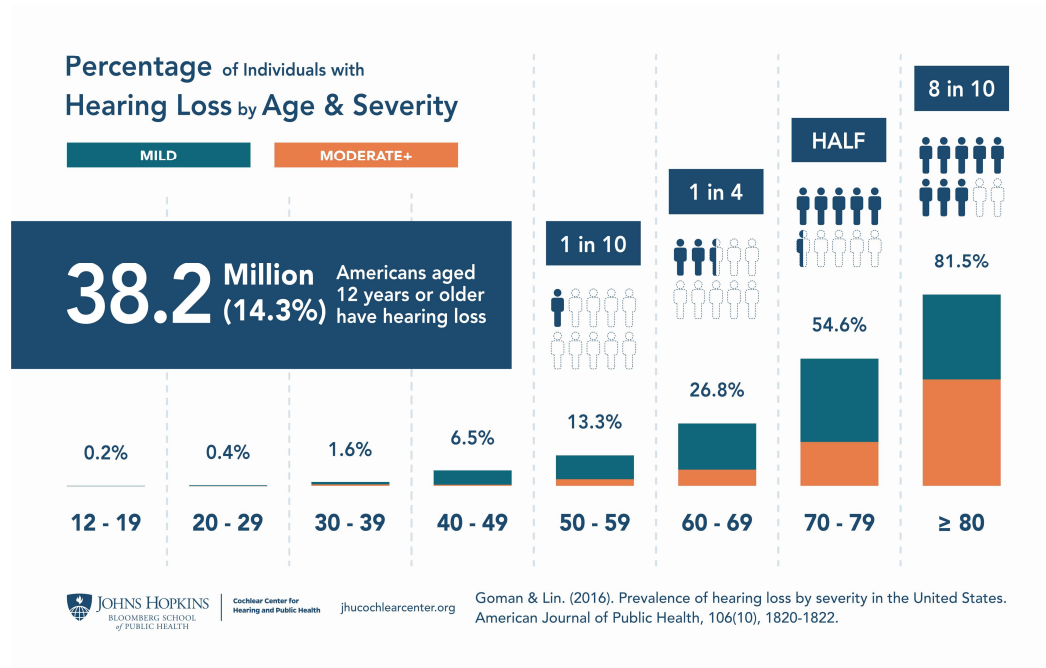
Hörverlust:

Studien zeigen unabhängigen Zusammenhang zwischen Hörverlust und kognitivem Abbau und Demenz (e.g. Gates et al., 2011; Lin et al., 2011)

Relatives Demenz-Risiko 1.9, höher bei höherem Grad an Hörverlust



Altersbedingte Hörbeeinträchtigung



- Riesige Prävalenz
- Konsequenzen für Kommunikation (Heinrich et al., 2015; Vannson et al., 2015)
- Psychosoziale Konsequenzen (Heinrich et al., 2015; Vannson et al., 2015; Arlinger 2003)
- Hörverlust gehört zu den Top 3 Ursachen von Einschränkungen im Alter (mehr als Diabetes und Demenz!!!) (Mathers, Boerma, & Fat, 2008; United Nations, 2015a)

Sprache verstehen mit Hörverlust braucht «kognitive» Ressourcen



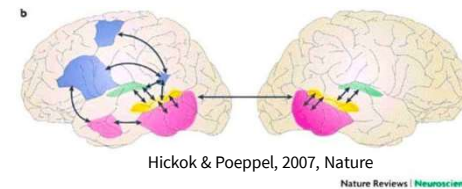
«Ich kann Dich hören, verstehe Dich aber nicht»

Hörbarkeit

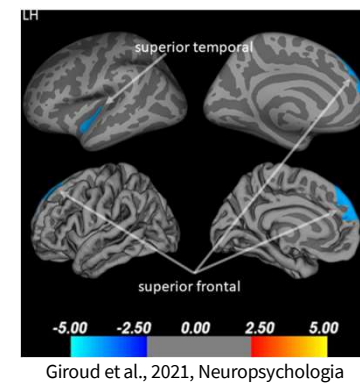
Verständlichkeit



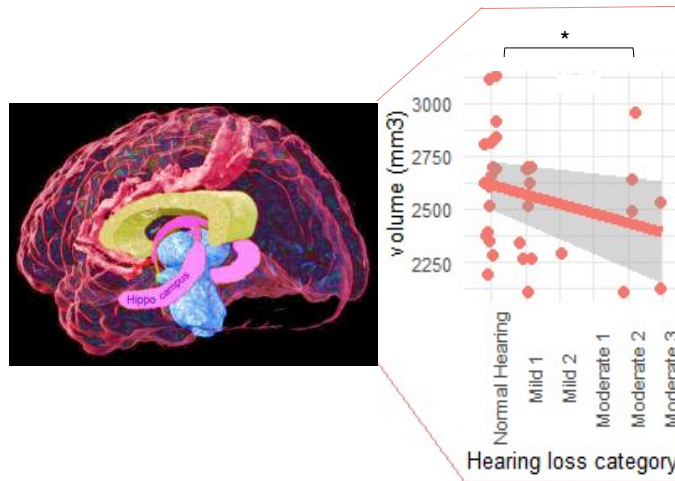
Fronto-temporales
Sprachnetzwerk



Kommunikation unter erschwerten
Bedingungen aktiviert zusätzliche
Areale ausserhalb des Sprachnetzwerks

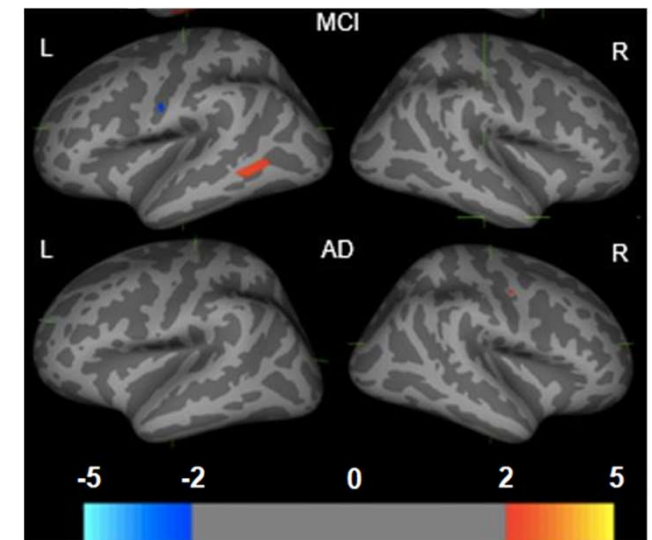


Hörverlust und Gehirnatrophie



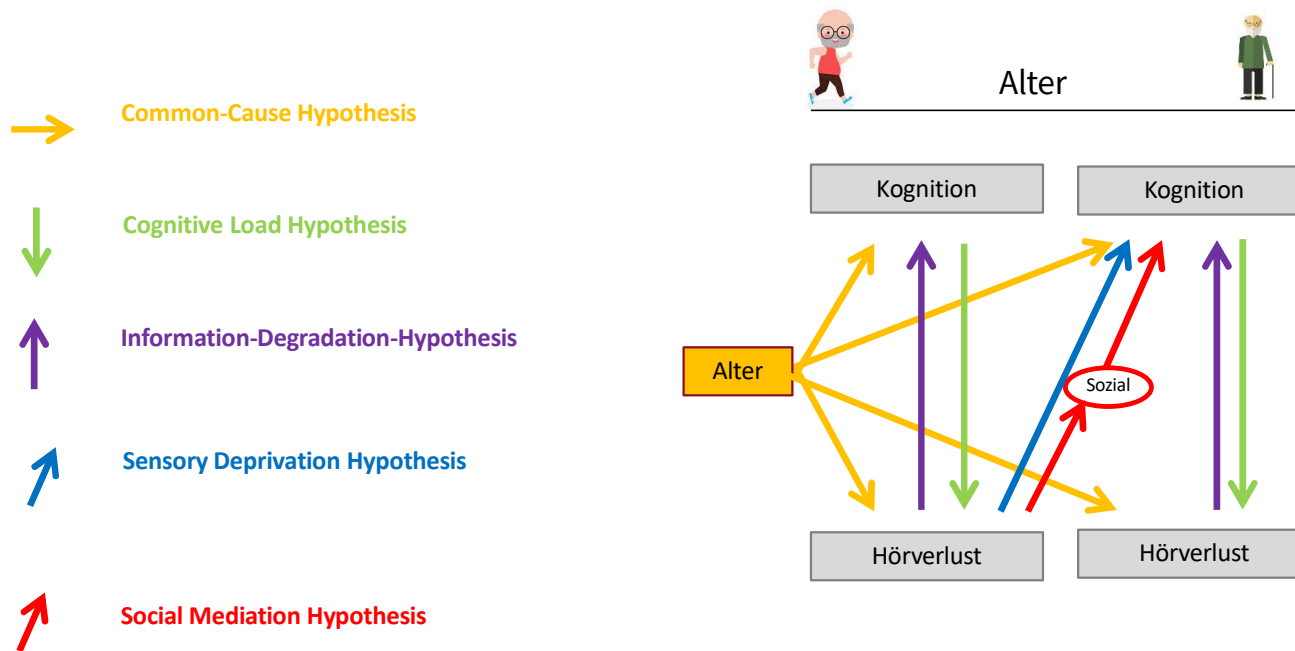
- Personen mit Demenz-Risiko und Hörverlust haben 4% geringeres Volumen des Hippocampus im Vergleich zu Personen ohne Hörverlust
- Hippocampus ist ca. 8 Jahre “gealtert” durch Hörverlust!

Hypothese:
Interaktion im medialen
Temporallappen des Gehirns
Griffiths et al., 2020, Neuron



- Aber keine Veränderungen im Gehirn bei Personen, die bereits Demenz haben
- Demenz-Neuropathologie viel stärker als Effekte von Hörverlust

Warum Hörverlust?



Prävention: Vorgehen gegen Hörverlust

Gehirntrainings

Lippenlesen lernen
auf dem
Smartphone



<https://lippenlesen.ch/>

Immersives
Kommunikations-
training



Auditorisch-
kognitive Games
(personalisiert)

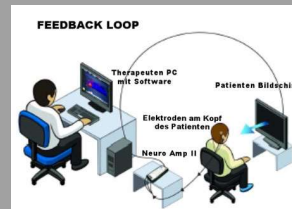


ActivEar (Apple Store und Play Store)

Brain Computer
Interface (BCI)



Gehirnstimulation



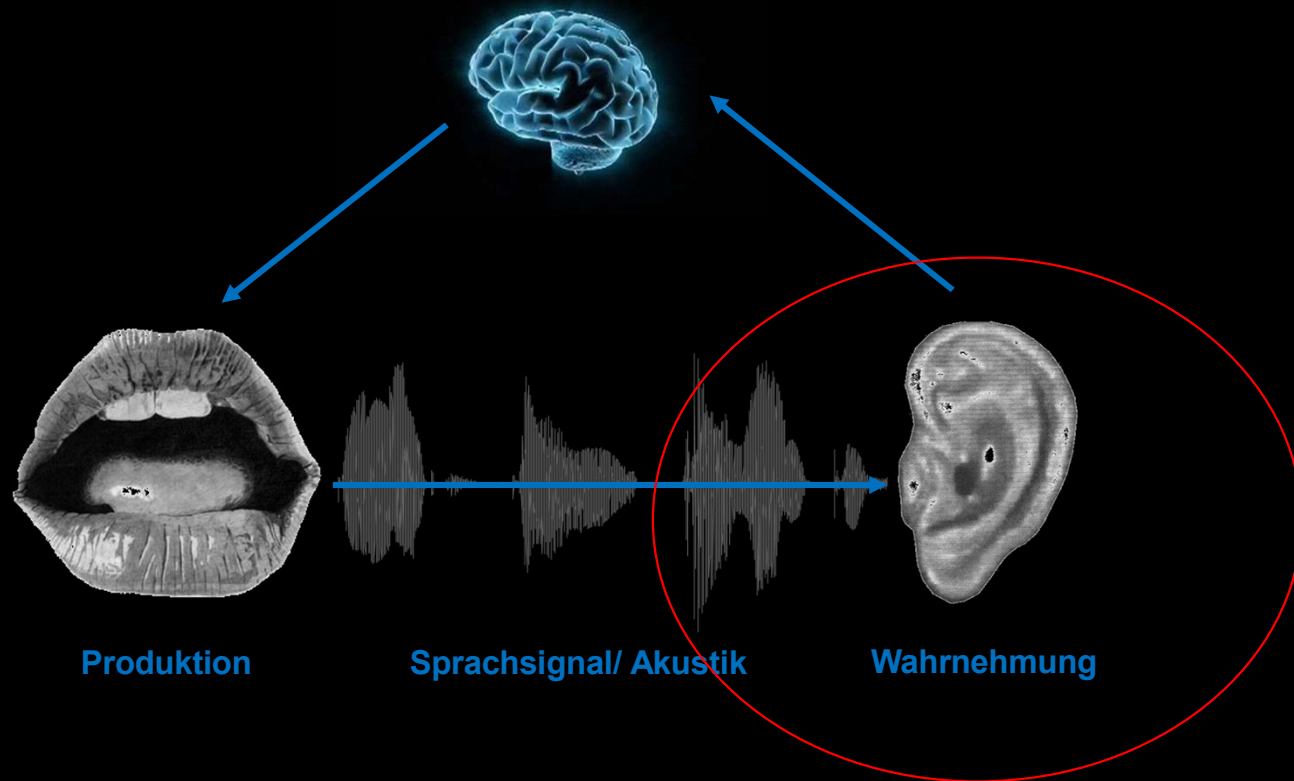
2 Früherkennung

Physiologie von Sprache

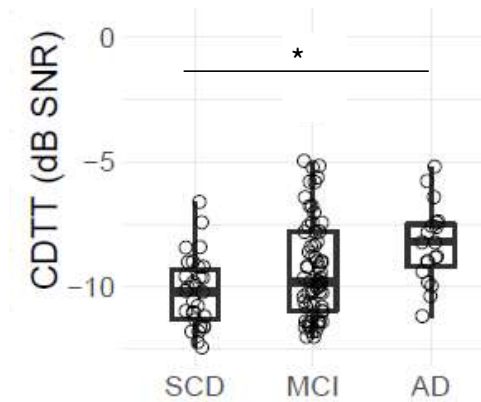
Universität Zürich

© Z.Nasreddine MD

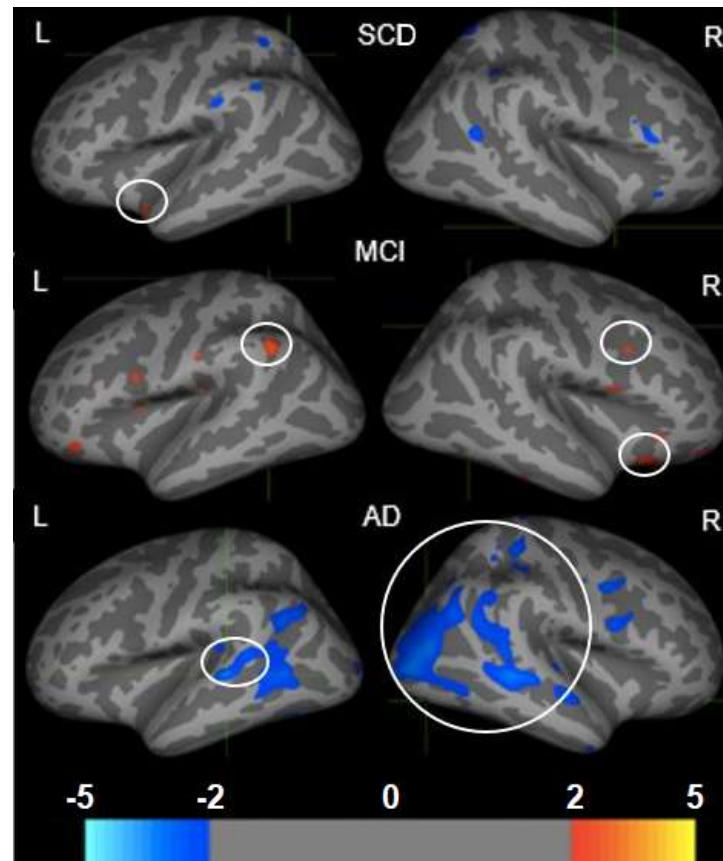




Sprachverarbeitung verändert in Alzheimer-Demenz



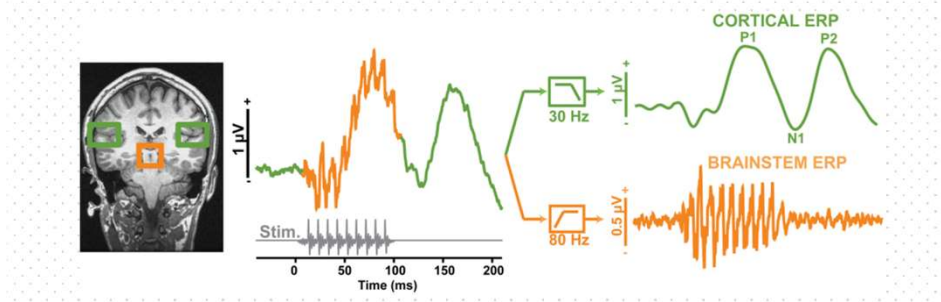
- Sprache verstehen im Störgeräusch beeinträchtigt bei Personen mit AD
- AD hat auch einen Effekt auf das Hören und Verstehen von Sprache!



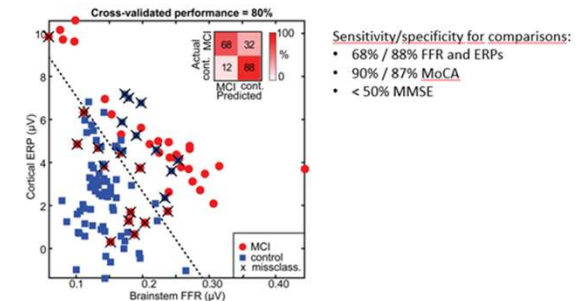
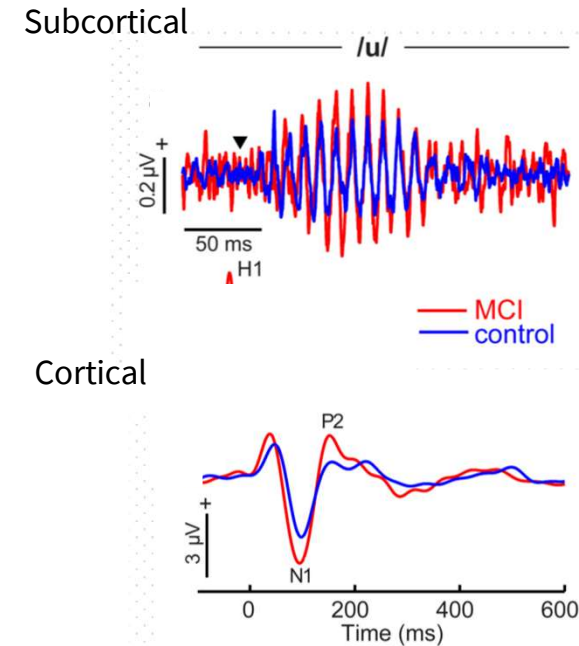
Giroud et al., 2021, *Aging Brain*

Möglicher Grund: Subtile präklinische Veränderungen in physiologischer Verarbeitung von Sprache

- Electrophysiologische Verarbeitung von Silben
- Subkortikal und kortikal (simultan)



- Neuronale Antworten vergrößert und prädiktiv für MCI!
- **Neuronale Hypersensitivität**

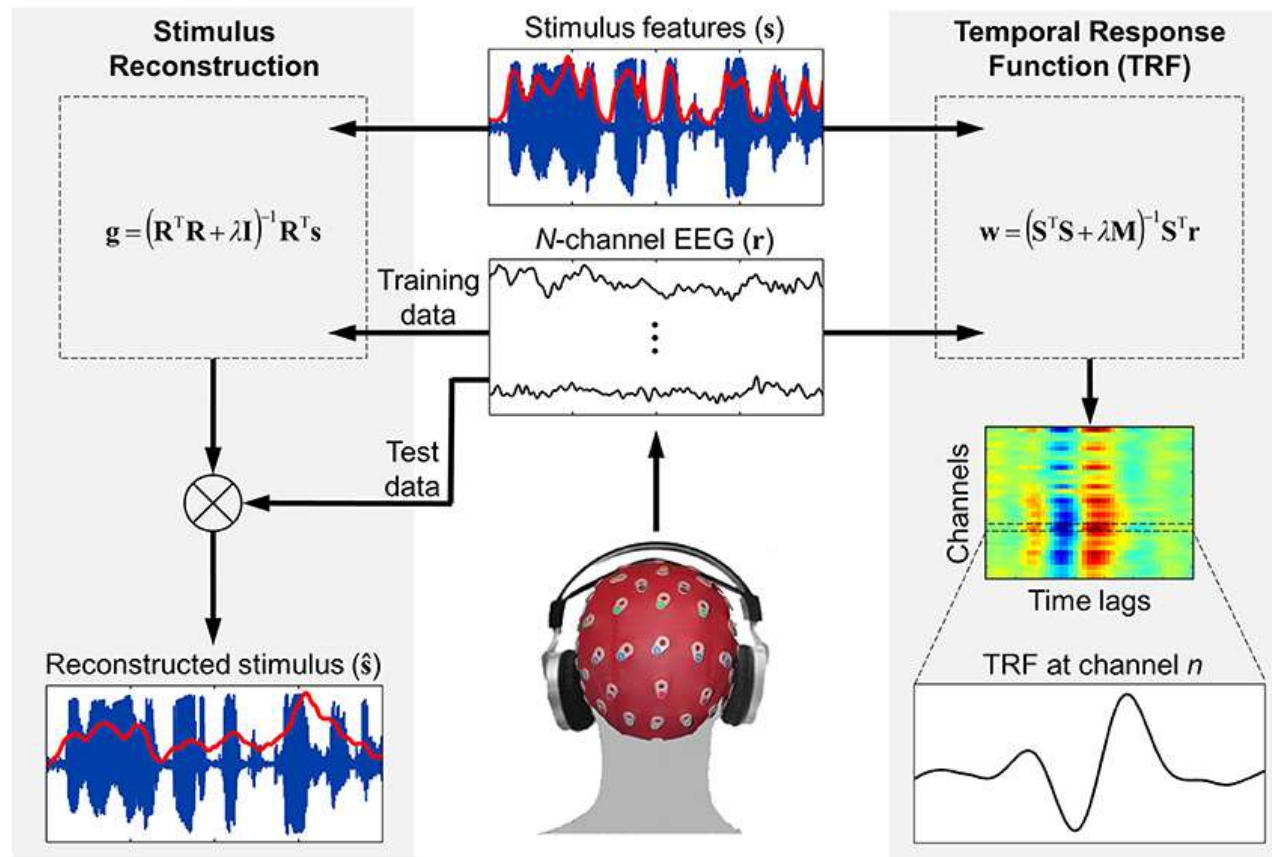


EEG: Neue, ökologisch valide und benutzerfreundliche Paradigmen

- **Natürliche Sprache**¹
 - z.B. Audiobücher, Filme, Podcasts
- Mögliche Anwendung ohne Task, auch ohne Aufmerksamkeit möglich
- Messung auditorischer Verarbeitung mit zeitlich hoher Auflösung, räumlich von verschiedenen Stationen im auditorischen Pfad (subkortikal und kortikal simultan mit hoher sampling rate 16384 Hz)
- Linguistische Verarbeitung



TRF modeling through linearized ridge regression

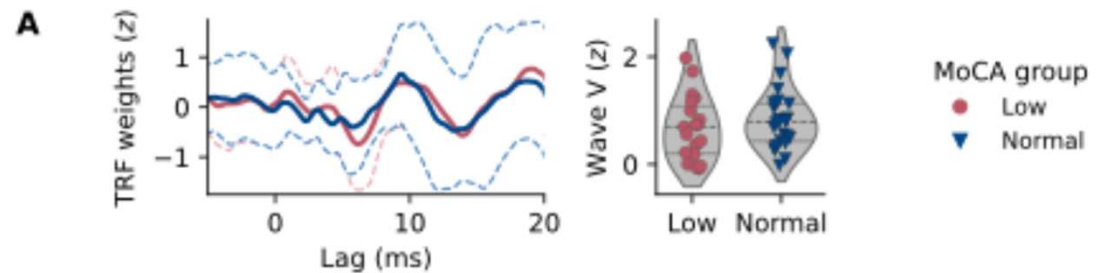


Crosse et al. (2017)

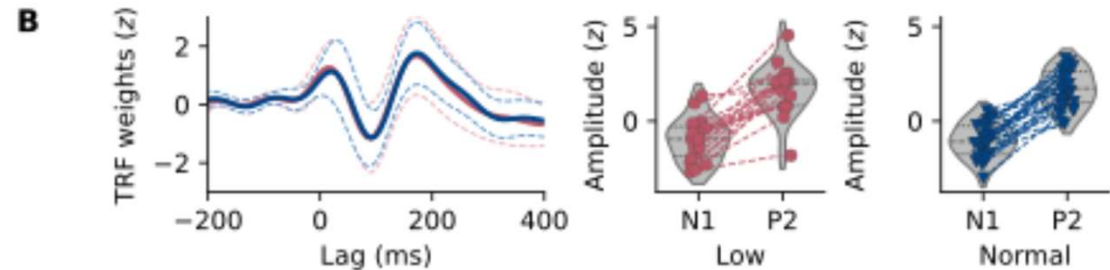
Subcortical and cortical responses were not indicative of low MoCA

- **No enlarged responses** in low MoCA
 - Not for subcortical wave V
 - Nor for cortical N1-P2 complex
- **No predictive value for MoCA group** by responses complexes
- Auditory hypersensitivity not confirmed

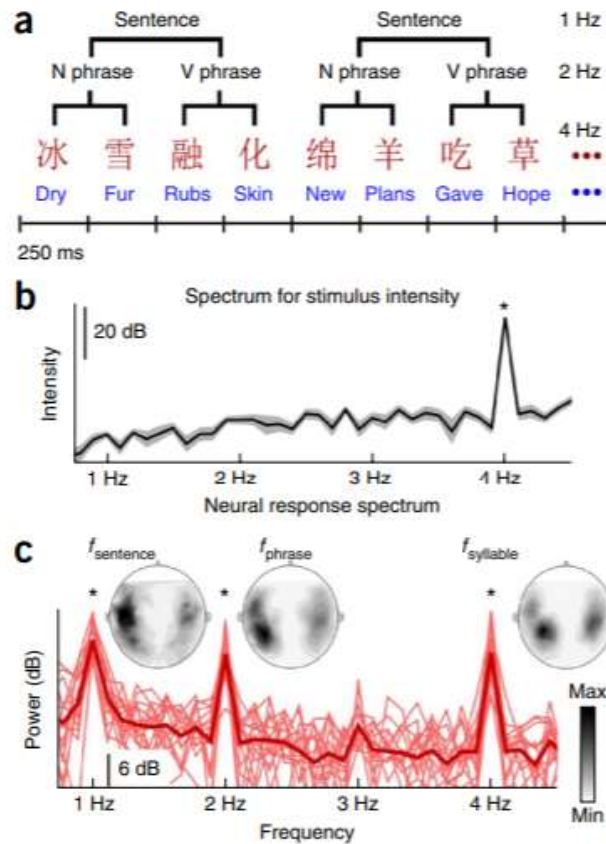
Subcortical



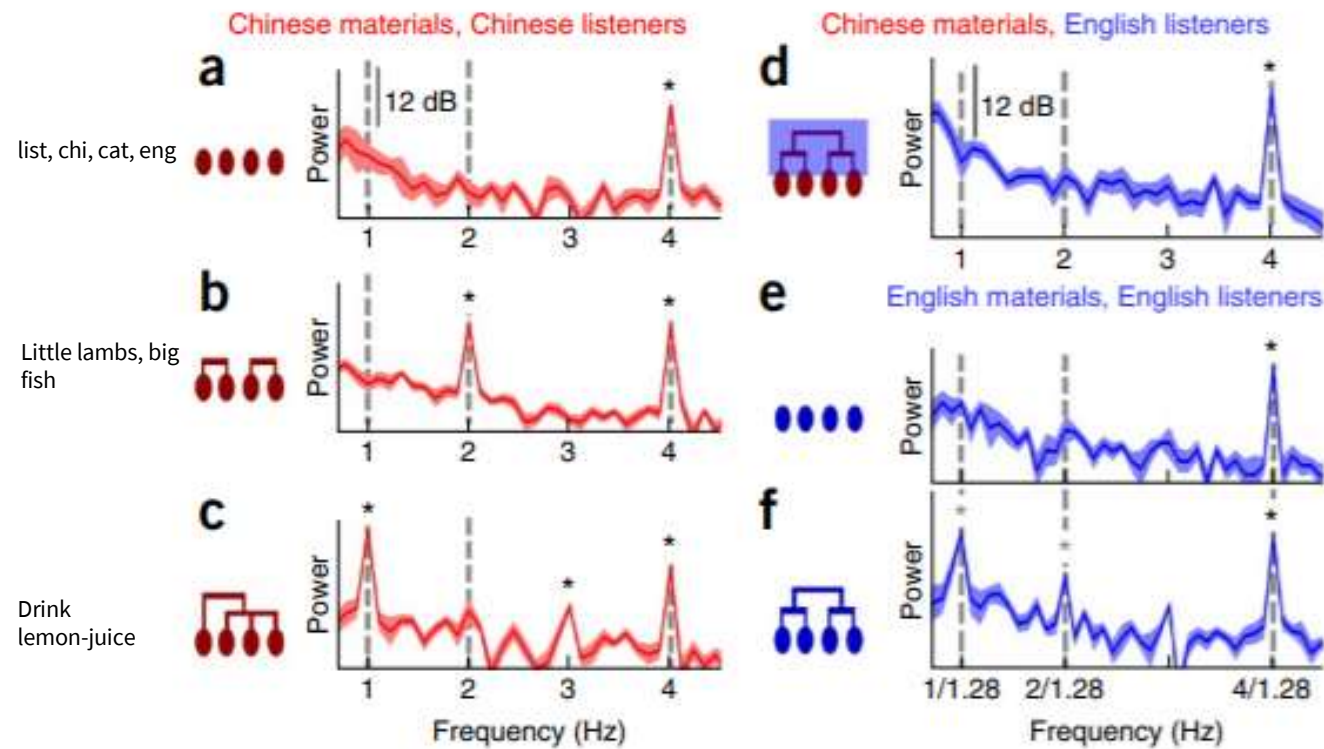
Cortical



Top-down processing and interpretation of linguistic information

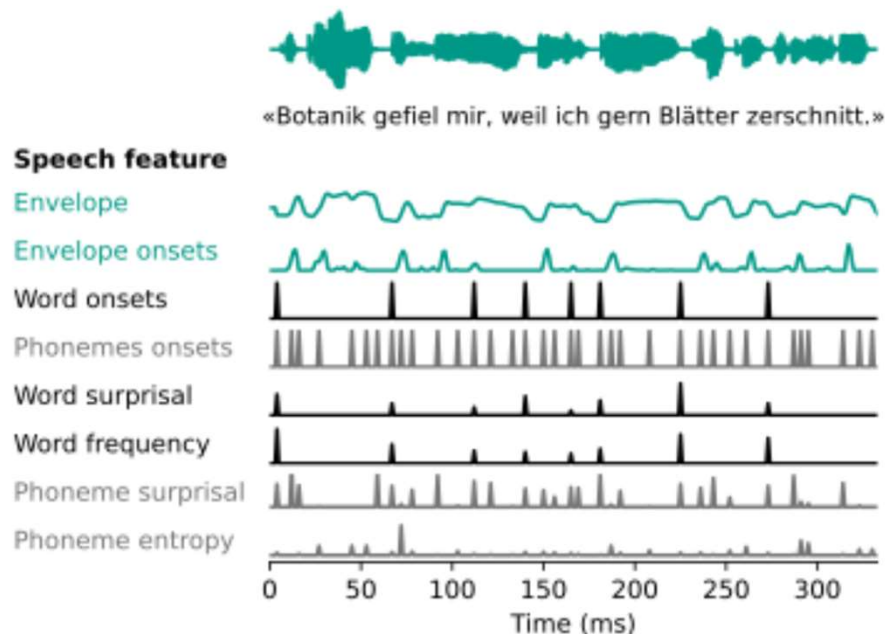


Testing different conditions



New plans gave hope

TRF models extended: Linguistic processing



- **Acoustic model**

- Envelope (Gammatone filter bank)
- Envelope onsets: rectified first derivative of the envelope

- **Segmentation models** (separate)

- Word & phoneme onsets (through forced alignment)

- **Word-based**

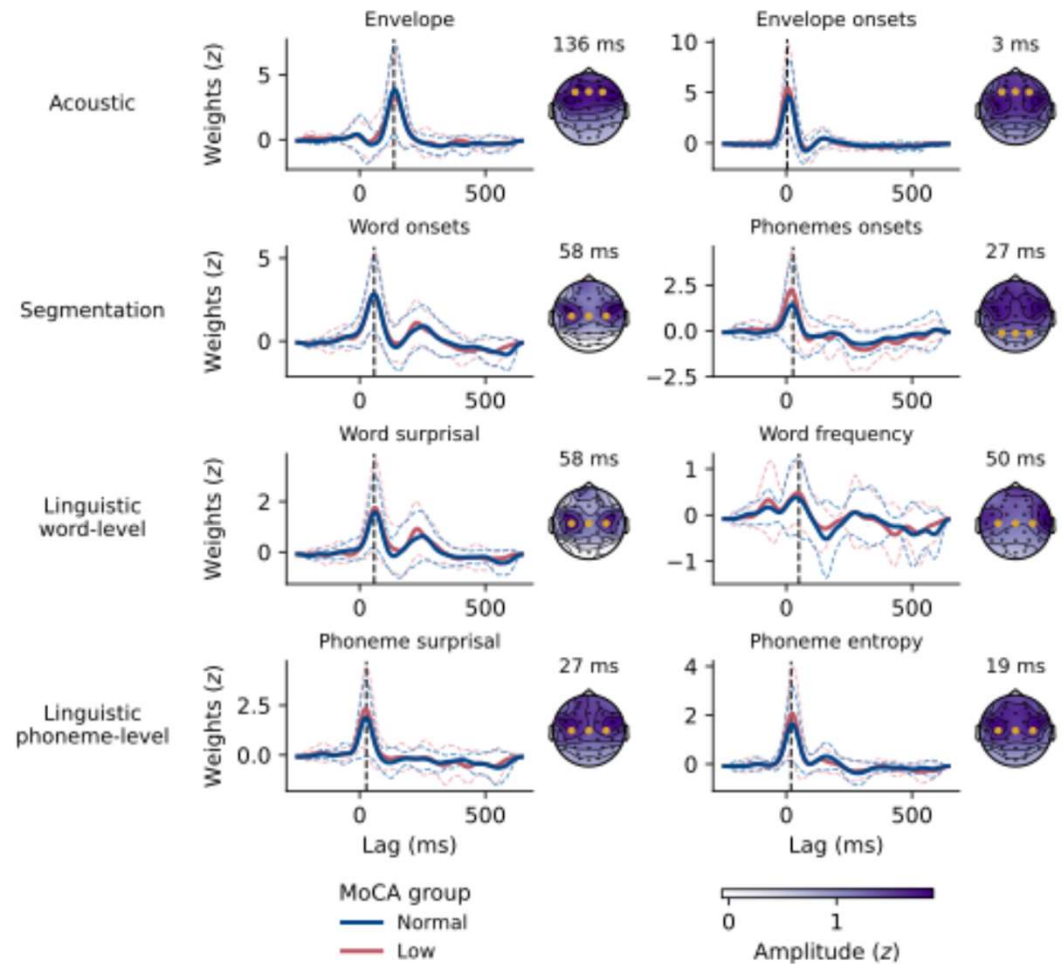
- Surprisal: codes for how surprising word is given in context (German BERT)
- Frequency: codes for how infrequent word is out of context (DeReKoGram unigram frequencies)

- **Phoneme-based**

- Surprisal: codes for how surprising phoneme is given phoneme sequence
- Entropy: codes degree of competition between words congruent with the current phonemic input

Linguistic speech processing was not affected by cognitive decline

- Predicted direction of effects, but not significant



Participants listened to context-supported vs. random sentences

¹Pichora-Fuller (2008), ²Chauvin et al. (2021)

Sentences paradigm

- 2 x 60 matrix sentences
 - Context
 - Random
- Fixed structure
 - Initial clause—main clause
 1. Subject phrase
 2. Object phrase
 3. Prepositional phrase
 4. Verb phrase

Context

«Das Mädchen durfte zuschauen, wie die Fischerin die grossen Forellen mit einer langen Angel gefangen hat.»

[The girl could watch how the fisherwoman caught the big trout with a long fishing rod.]

Random

«Peter hat mir letzthin erzählt, dass der Wanderer den seltenen Tiger mit einer langen Angel gefangen hat.»

[Peter recently told me that the hiker caught the rare tiger with a long fishing rod.]

Behavioral tasks during neurophysiology assessment

– Audiobook paradigm

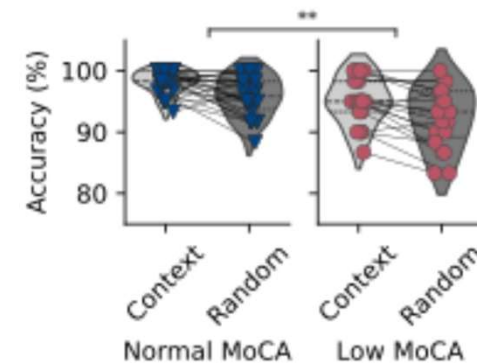
- Forced-choice question about content 3rd
 - e.g., “Where does the first-person narrator’s trip go?”
 1. Los Angeles
 2. New York
 3. Washington
 4. Seattle

– 75–100% correct responses

– Ensure attention

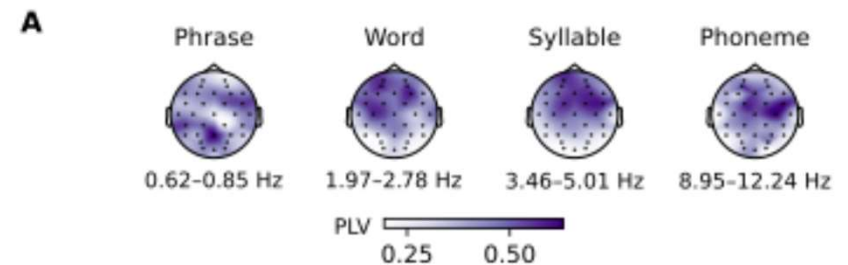
– Sentences paradigm

- Speech recognition task, forced-choice question
 - “Which word did you hear?”
 1. Schneiderin
 2. Denkerin
 3. Fischerin
 4. Gärtnerin



Speech tracking differentially affected by hearing loss and cognitive decline

- Phase-locking value (**PLV**)¹
 - Four different linguistic rates²
- Interaction group × condition for word tracking
 - **Words in random sentences** harder to track for **low MoCA group**
- Established that MCI patients have problems with semantic representations (picture naming), e.g., Taler et al., 2020
- Here we established early electrophysiological markers likely to occur *before* behavioral changes



¹LaChaux et al. (1999); ²Keitel et al. (2018)

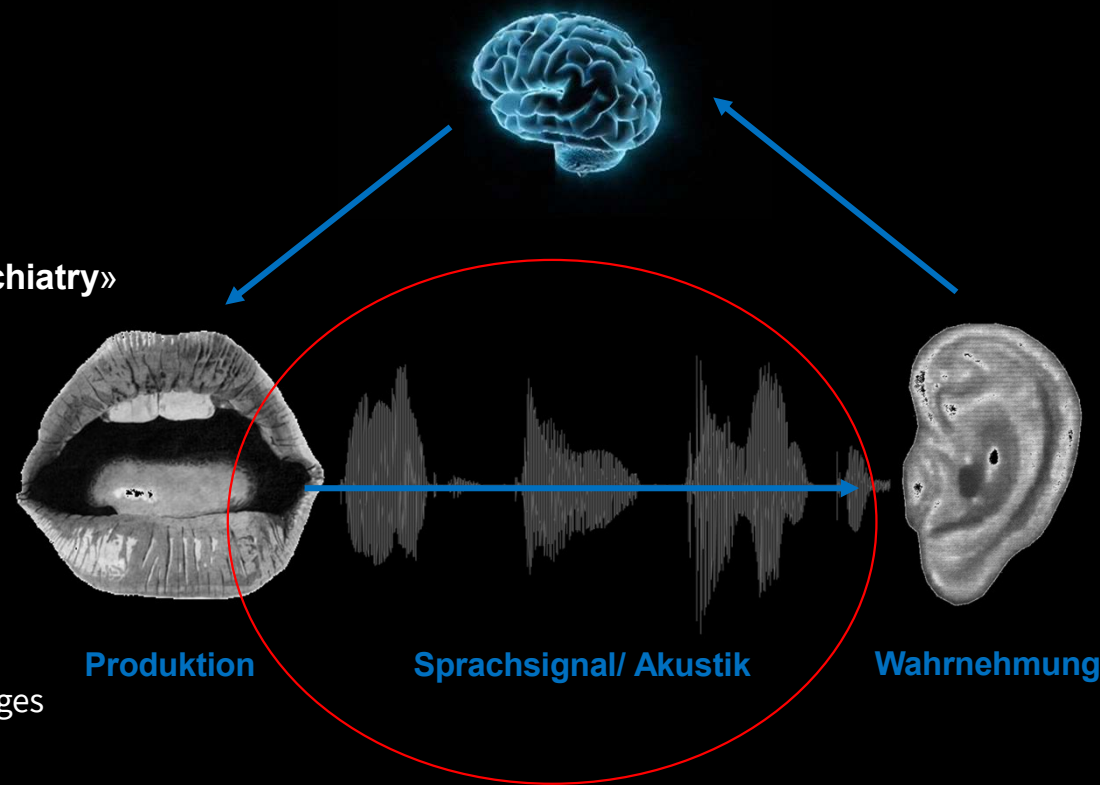
«Speech as a promising biosignal in precision psychiatry»

Kappen et al. in *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2023

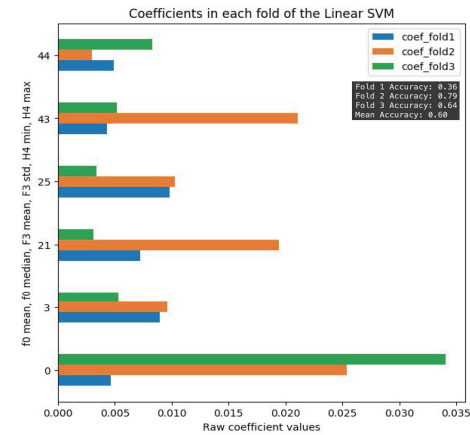
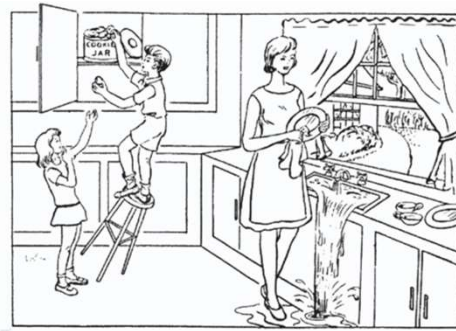
- *non-invasive*
- *High-frequency assessments*
- *Daily life*
- *Scalable*
- ...

Challenges:

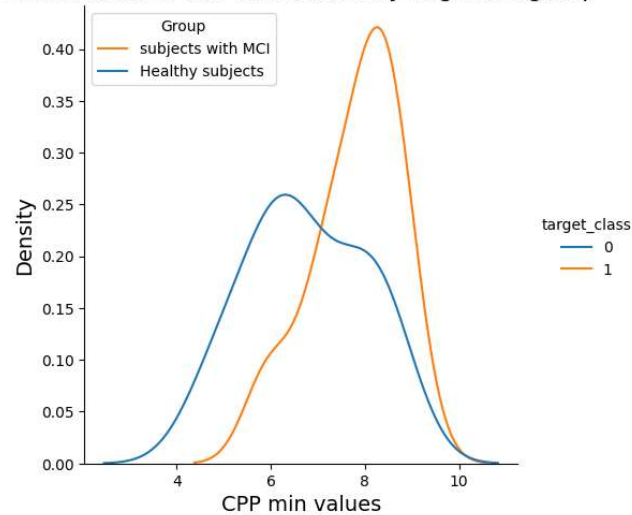
- Language models are missing for low-ressource languages
- Which signals, specificity/sensitivity of signals
- Links to neurobiological foundations of disorders?
- Validating against outcome measures
- Translating into interventions
- Ethics



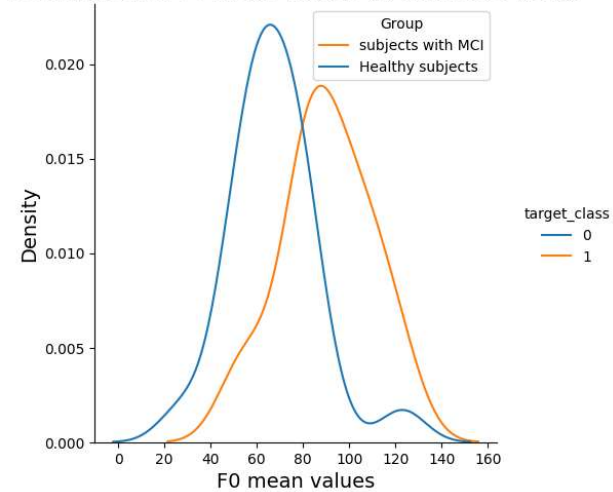
Stimme als Marker für MCI?



Distribution of CPP min values by cognitive group



Distribution of F0 mean values by cognitive group



Cepstral peak prominence -> measure for dysphonia (breathy, scratchy) due to smoking, overuse, etc

Santos Revilla, Bolt, Pellegrino, Kodrasi, & Giroud (in prep)

Take Home Message

Take Home Message

Starker Zusammenhang zwischen Hören, Sprache und kognitive Entwicklung im Alter

Um Sprache und Kognition bis ins hohe Alter zu stabilisieren, braucht es innovative Lösungen wie z.B. digitale Trainings

(EEG-Korrelate von) Sprache können für Früherkennung und Interventionen (z.B. BCIs) gegen kognitive Veränderungen im Alter eingesetzt werden

Thank you



UZH Postdoc Grant



Current team members:

Dr. Stefan Elmer, Senior researcher

Arne Hansen, M.Sc., Coordinator Language & Medicine competence center

Dr. Vanessa Frej, PhD student

Elena Bolt, PhD student

Julian Ockelmann, PhD student

Dr. Niharika M.K., Speech pathologist

Julia Straus, Speech & language therapist

Dr. Fivos Iliopoulos, Postdoc

Nadine Jait, Master student

Sarah Baur, Master student

Daniela Saito Vbrova, Master student

Hao Cui, Master student

Fabian Cabalzar, Master student

Alina Gopurathingal, Master student

Liliane Bär, Master student

Jaanvi Sant, visiting student Medical School U of Iowa

