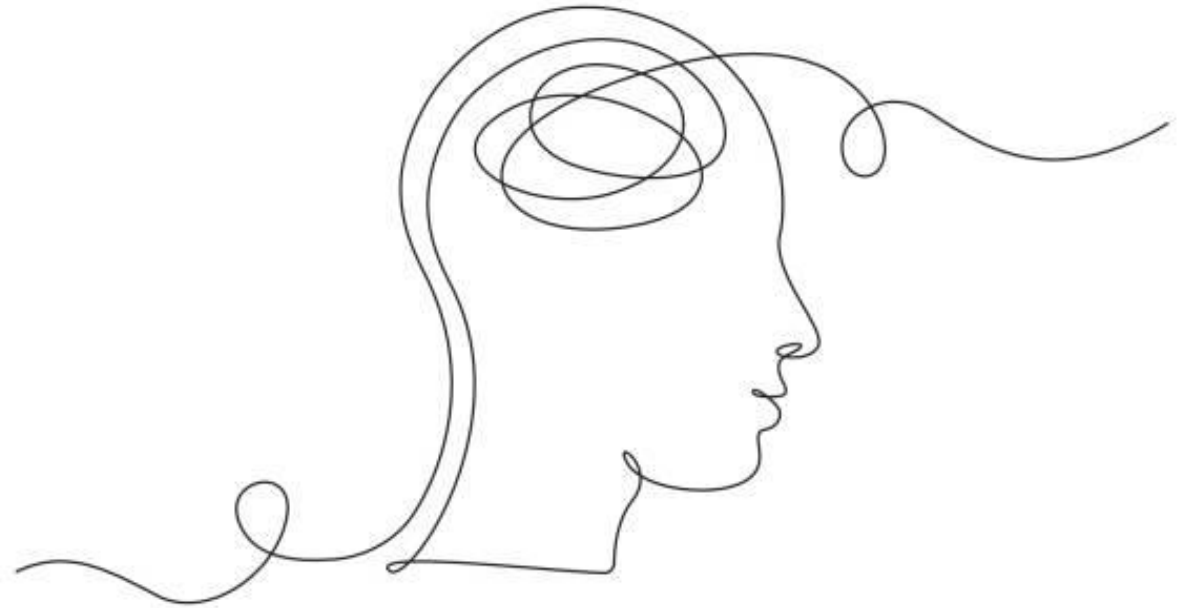


# CONSCIOUS BRAIN-TO- BRAIN COMMUNICATION IN HUMANS USING NON-INVASIVE TECHNOLOGIES

PSY-M1-1 Biologische Psychologie

Referenten: Luke Willim & Colin Musch

Dozent: Prof. Dr. Julian Keil



# AGENDA



Einführung



Brain-to-brain-Communication



TMS



Methoden



Ergebnisse



Diskussion



Zusammenfassung

# Einführung

*"Man kann nicht nicht kommunizieren".*

- P. Watzlawik (1969)

*Kommunikation erfordert:*

?  
?  
?  
?  
?  
?

# KOMMUNIKATION

Grundprinzip liegt im Senden und Empfangen von Informationen

- naturgemäß findet dieser Austausch von Informationen über sensorische & motorische Systeme des Menschen ab

Kommunikation stellt Grundlage der menschlichen Zivilisation dar

- soziale & kulturelle Evolution des Menschen gezeichnet durch Intensivierung der Interrelationen zwischen menschlichen Gehirnen & dem menschlichen Verstand (oder auch: *intensivierte Kommunikation*)

Zahllose neue Kommunikationswege durch technischen Fortschritt und Digitalisierung

*"Man kann nicht nicht kommunizieren".*

- P. Watzlawik (1969)

*Kommunikation erfordert:*

- 1) Sender und Empfänger
- 2) Nachricht (Information)
- 3) Zeichensystem, das Sender & Empfänger enkodieren und dekodieren können
- 4) Möglichkeiten und Fähigkeiten der Dekodierung und Enkodierung
- 5) Kanal, auf dem die Nachricht weitergegeben werden kann
- 6) Kontext, in dem Kommunikation stattfindet

# KOMMUNIKATION

Grundprinzip liegt im Senden und Empfangen von Informationen

- naturgemäß findet dieser Austausch von Informationen über sensorische & motorische Systeme des Menschen ab

Kommunikation stellt Grundlage der menschlichen Zivilisation dar

- soziale & kulturelle Evolution des Menschen gezeichnet durch Intensivierung der Interrelationen zwischen menschlichen Gehirnen & dem menschlichen Verstand (oder auch: *intensivierte Kommunikation*)

Zahllose neue Kommunikationswege durch technischen Fortschritt und Digitalisierung

Grau et al. (2014)

# BRAIN-TO-BRAIN-COMMUNICATION

- Sender & Empfänger ist das menschliche Gehirn
- jüngste Entwicklung von Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCI) Grundlage für B2B-Kommunikationssysteme
  - potentiell direkte Kommunikation zwischen menschlichen Gehirnen
    - verringerter Informationsverlust
    - optimierte Geschwindigkeit des Informationsaustauschs
- Methoden bisher hauptsächlich **invasiv** & damit ungeeignet für praktische Anwendung
  - bidirektionale BCIs, Cortical-Spinal Communication, Hippocampus-to-Hippocampus
- Nächster Schritt: non-invasive Realisierung von B2B-Communication zwischen menschlichen Gehirnen

## Was sind "invasive" Methoden?

invasive, neurochirurgische Eingriffe, die Untersuchung/Stimulation von Hirnarealen ermöglichen

### Pro

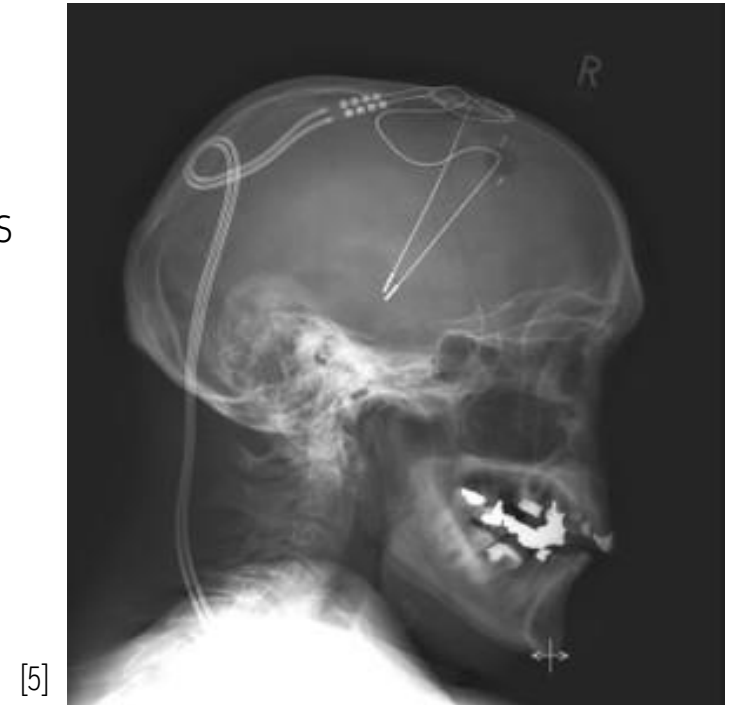
- hohe Genauigkeit, detaillierte Informationen

### Contra

- Verbunden mit hohen Kosten & operativen Eingriff
- Selektivität für best. Hirnbereiche & Populationen
- Restrisiko für Patient:innen/Proband:innen, u.a. durch direkte Beeinflussung des betroffenen Hirngewebes

## BEISPIEL: INVASIVE HIRNSTIMULATION MITTELS DER DEEP-BRAIN-STIMULATION (DBS)

- Platzierung von Elektroden direkt in spezifischen Hirnarealen im Rahmen eines neurochirurgischen Eingriffs



[5]

Schläpfer et al. (2021)

## Was sind „non-invasive“ Methoden?

indirekte Stimulation von Hirnarealen durch elektrische &/ magnetische Impulse

### Pro

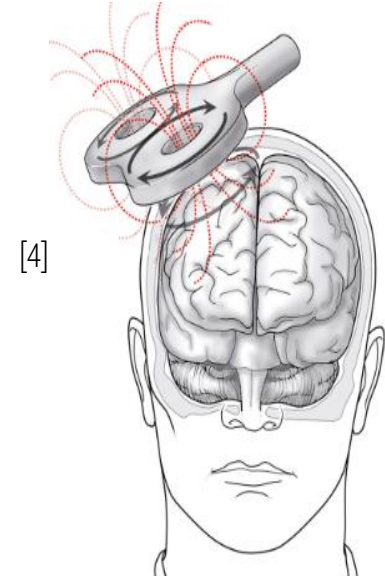
- Geringeres Schädigungs-/Läsionsrisiko
- Längsschnittliche Untersuchungen möglich
- Potentiell größere Stichproben

### Contra

- Geringere Genauigkeit
- Eingeschränkte Möglichkeit, bestimmte Bereiche des Gehirns zu untersuchen
- Schwierigkeit, neuronale Prozesse auf Ebene einzelner Neuronen zu untersuchen

## BEISPIELE FÜR METHODEN DER NON-INVASIVEN HIRNSTIMULATION

Transkranielle Magnetstimulation (TMS)



Transkranielle Gleichstromsimulation (tDCS)

[5]

Schmicker et al. (2011)



# TMS (= TRANSKRANIELLE MAGNETSTIMULATION)

- Methode zur externen Messung & Beeinflussung von neuronaler Aktivität
- Basis: Prinzip der elektromagnetischen Induktion
  - Erzeugung kurzzeitig aufgebauter magnetischer Felder
- non-invasive Aktivierung von Hirnarealen über elektromagnetischen Impuls, der mittels einer Spule zielgerichtet appliziert wird
  - Aktivierung durch elektrisch-induzierte Aktionspotenziale kortikaler Neuronen
  - inter- & intrakortikale Hemmung durch Aktivierung von inhibitorischen Interneuronen



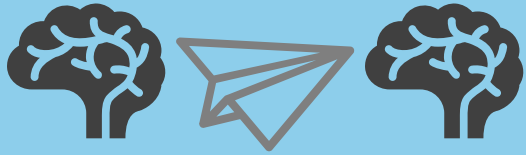
Jäncke, L. (2017)

# TMS – NUTZEN & RISIKEN

## Anwendungsgebiete

- Untersuchung kortikospinaler Bahnen bei Patient:innen mit neurologischen Erkrankungen
- Therapeutische Anwendungen bei neurologischen Erkrankungen, Schizophrenie & medikamentenresistenten affektiven Störungen
- Experimentelle Anwendung u.a. in Störungsexperimenten, die der Untersuchung neuronaler Informationsverarbeitungsprozesse dienen

Nutzen	Risiken
Direkte, non-invasive Beeinflussung des Hirngewebes	Ungeeignet für Epilepsie-Patient:innen
Neuronale Hemmung („virtuelle Läsionen“)	z.T. schmerzhaft, v.a. bei Aktivierung lateraler Hirnareale (parallele Aktivierung Gesichtsmuskulatur)
Neuronale Aktivierung	TMS-Stimulation bewusst wahrnehmbar (erschwerter Kontrollstimulation)
Gezielte & kontrollierte Störungen spezifischer Hirnareale	



# GRUNDIDEE

---

- Direkte Kommunikation zwischen zwei menschlichen Gehirnen
- Nutzung und Integration der beiden Neurotechnologien BCI und CBI
- Erfüllung der drei wichtigen Bedingungen:
  1. nicht-invasiv
  2. kortikal
  3. bewusstseinsgesteuert

Erste Demonstration einer nicht-invasiven, direkten und bewussten Kommunikation zwischen menschlichen Gehirnen

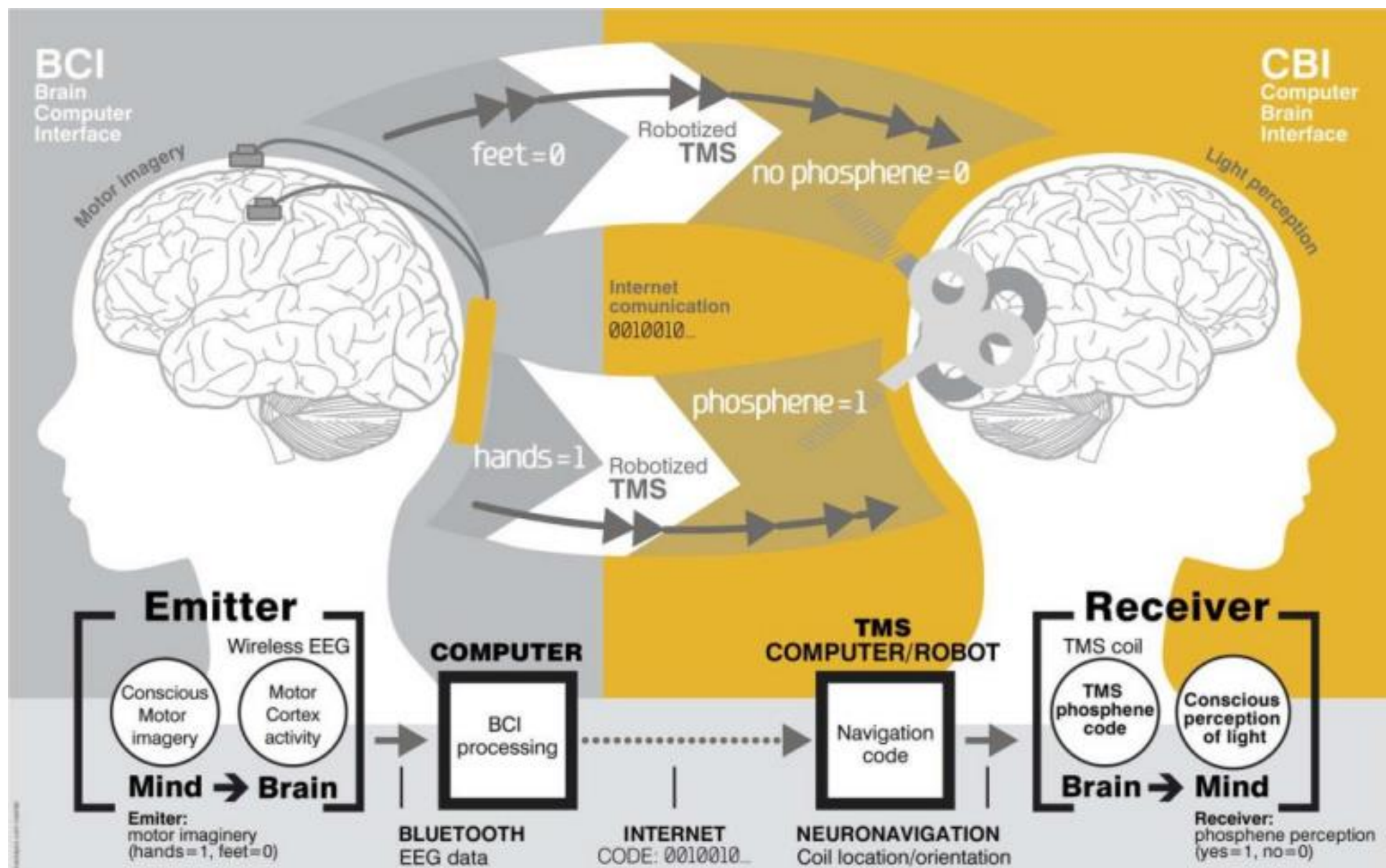
# Methoden



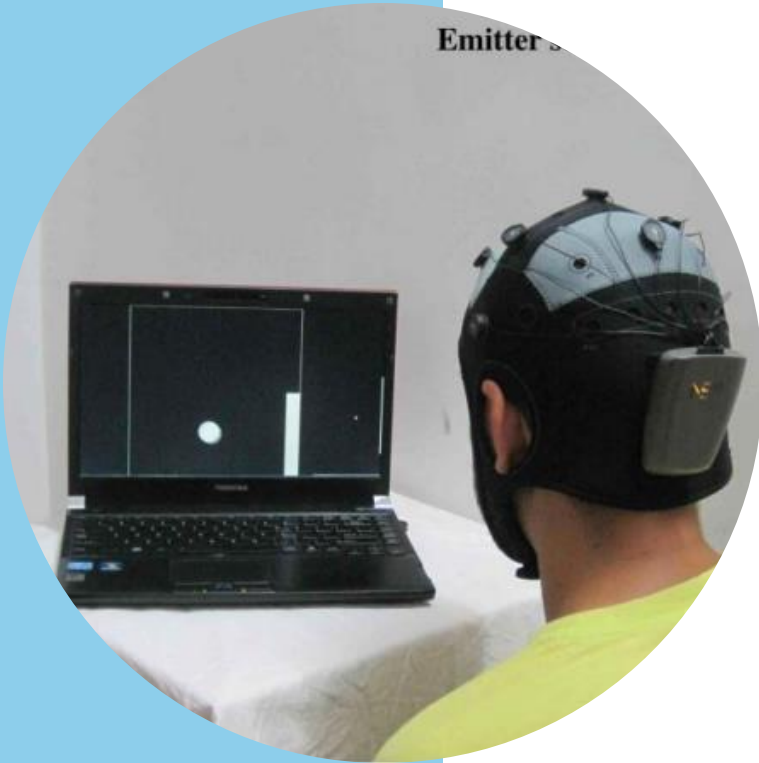
# PROBANDEN

---

- Vier gesunde Probanden (28 bis 50 Jahre)
- Einer mithilfe des BCI-Zweig als Sender (Proband 1)
- Drei mithilfe des CBI-Zweig als Empfänger (Probanden 2, 3 und 4)



BCI-Set-Up für den Sender (Grau et al., 2014)



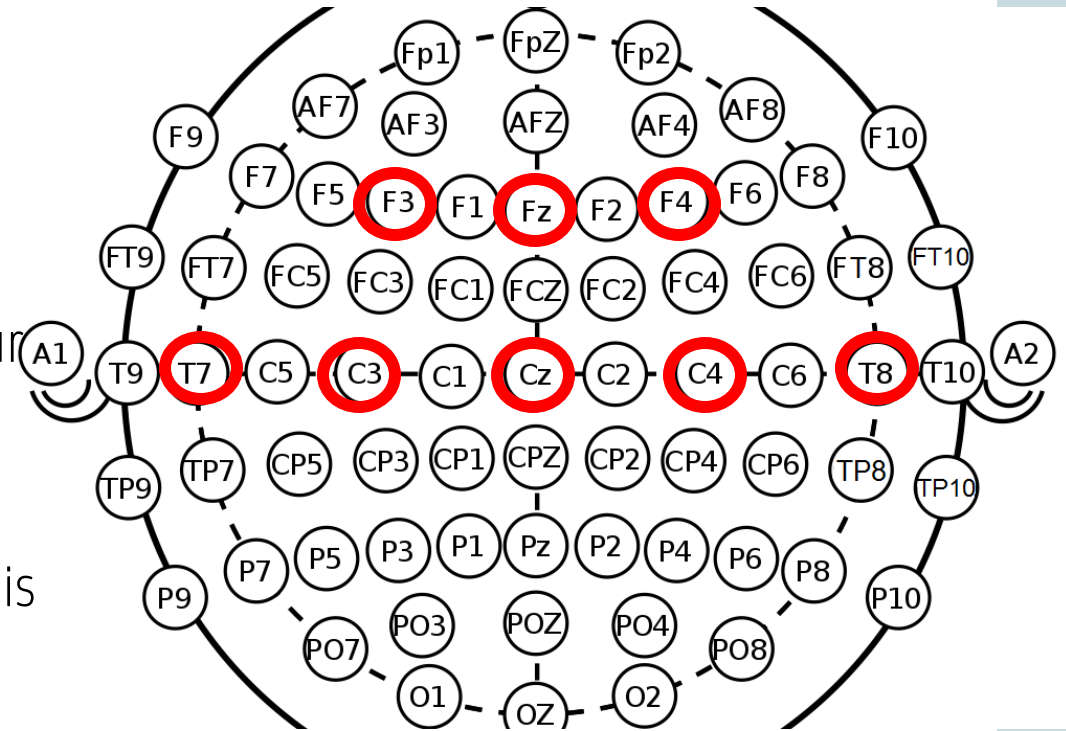
# SENDER - BCI

- EEG
- Umwandlung von bewussten, freiwilligen, motorischen Bildern in Gehirnaktivitätsveränderung
- diese konnten nicht-invasiv als physikalische Signale Informationen übermitteln

# AUFBAU BCI

Verwendung von drahtlosem EEG-Aufzeichnungssystem

- **Frontallappen:** Planung und Ausführung willentlicher Bewegung
  - **Temporallappen:** Bereitstellung von Gedächtnisinhalten für andere Hirnareale und Weiterverarbeitung von visuellen Impulsen
  - **Großhirnrinde:** Bewegungskontrolle, sensorische Verarbeitung, Wahrnehmung sowie Denken und Gedächtnis
- elektrisch mit einer Clipelektrode im rechten Ohr läppchen verbunden

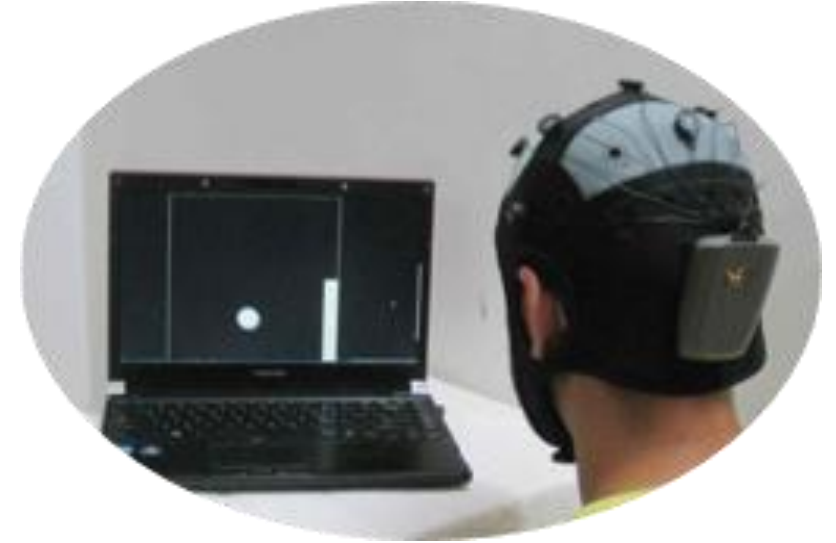


[3]



# AUFBAU BCI

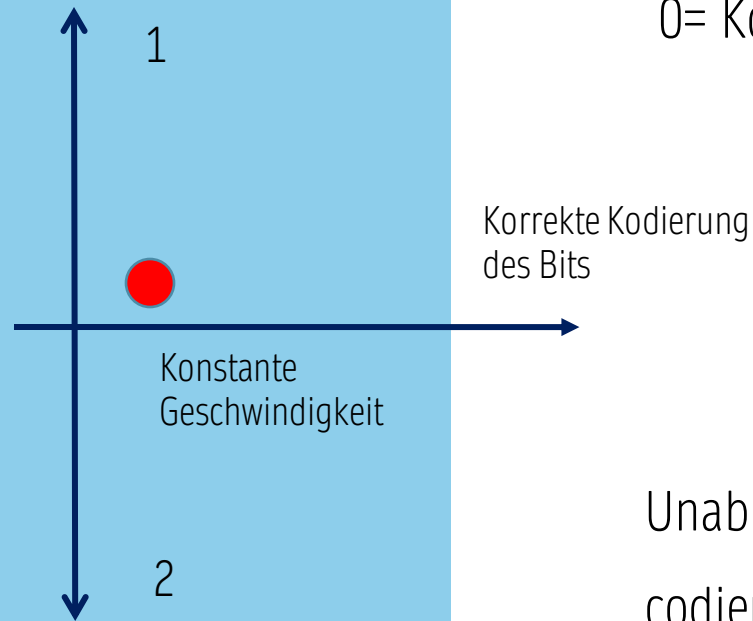
- Anwendung von räumlichen Filter auf C3, Cz und C4
- EEG-Signale in binäre Informationen
- Erkennung von anatomisch lokalisierten Veränderungen im EEG durch Plattform
- Verknüpfung mit freiwilligen motorischen Vorstellungen
- Darstellung der zu übertragenden Bits auf Bildschirm
- Jedes Bit entweder im rechten unteren Teil des Bildschirms (Bitwert 0) oder im rechten oberen Teil (Bitwert 1) dargestellt



# ABLAUF DER CODIERUNG

1 = Kodierung durch motorische Bilder der Hände

0 = Kodierung durch motorische Bilder der Füße



Unabhängig vom Ergebnis automatische Sendung der BCI codierten Bits per E-Mail an das CBI Subsystem

# EMPFÄNGER - COMPUTER-BRAIN-INTERFACE (CBI)

- TMS-Spule angesetzt an Phosphen-produzierenden Hotspot im rechten Okzipitalkortex
  - Position 1: **aktive** Bedingung (zur Kodierung des Bitwert '1') = Lichtblitz
  - Position 2: **inaktive** Bedingung (zur Kodierung des Bitwert '0') = kein Lichtblitz
  - Induktion der Phosphene der Spule entweder positions- oder rotationsabhängig
- Probanden durchliefen Eingewöhnungsphase, in denen mehrere TMS-Impulse verabreicht wurden
  - Identifikation der individuellen idealen Rotation der Spule & Intensität der TMS-Impulse, um **aktive** von **inaktiven** Ausrichtungen zu unterscheiden
  - Probanden beschrieben die Empfindungen von TMS-Impulsen der **aktiven** Orientierung als starken & klaren und Lichtblitz am unteren Rand des Gesichtsfeldes (kontralateral zur Stimulationsstelle)
- TMS-Impulse durch Versuchsleiter oder BCI-Nachrichtensequenz codiert und direkt in den Neuronavigationscomputer programmiert

# EMPFÄNGER - COMPUTER-BRAIN-INTERFACE (CBI)

## Experiment 1 (Testdurchlauf)

- Übertragung von Barcelona nach Straßburg
- Offline Übertragung
  - zeitlich getrennte Übertragung der BCI-Signale
- Übertragungsfehlerrate von 15%
  - 5% BCI-Segment (Sender)
  - 11% CBI-Segment (Empfänger)
- keine Unterdrückung der taktilen, visuellen & auditiven Wahrnehmung der Empfänger
- Phospheninduzierung positionsabhängig

## Experiment 2 (Kontrollstudien)

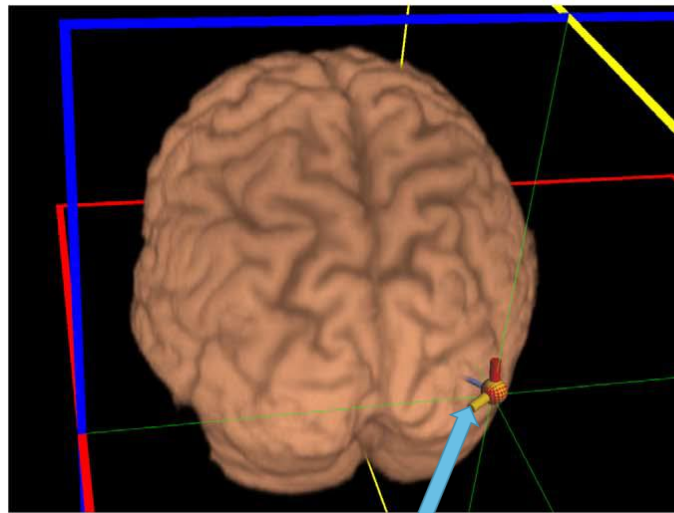
- Zwei Kontrollstudien zur Durchführung der TMS-induzierten CBI
- Maßnahmen zur Unterdrückung der taktilen, visuellen & auditiven Wahrnehmung der Empfänger
- Phospheninduzierung rotationsabhängig
- Ergebnisse zeigten, dass nach korrekter „Verblindung“ Versuchspersonen nicht in der Lage waren, die Spulenausrichtung in Abwesenheit der tatsächlichen phospheninduzierenden TMS-Impulse zu unterscheiden

# EMPFÄNGER – COMPUTER-BRAIN-INTERFACE (CBI)

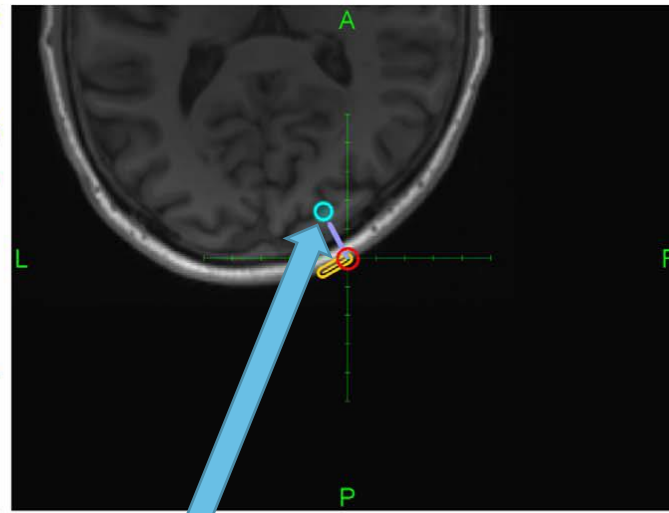
## Experiment 3 (finale Studie)

- Online-Übertragung von Informationen von Gehirn zu Gehirn zwischen Thiruvananthapuram (Sender) und Straßburg (Empfänger)
  - 140 Bits wurden vom BCI-Sender kodiert und automatisch per E-Mail an den CBI-Empfänger gesendet
  - Bits decodiert und zur Navigation der TMS-Spule verwendet
  - Spulenausrichtung in **aktive** oder **inaktive** Bedingung
- Bits formten Pseudo-Zufallssequenzen, die ein Wort kodierten
  - "hola" in der ersten Übertragung, "ciao" in der zweiten Übertragung
- Bitcodierung diente der Überprüfung der Integrität der Übertragung
  - die Wahrscheinlichkeit der zufälligen Übermittlung der Wörter durch Bitcodierung vernachlässigbar ( $p < 10^{-22}$ )
  - vergleichbar mit mindestens 112 Köpfen nach 140 Würfeln einer fairen Münze

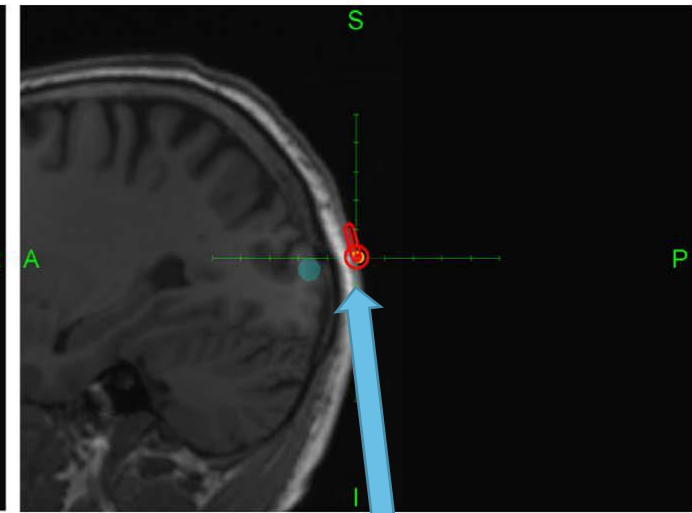
# EMPFÄNGER – COMPUTER-BRAIN-INTERFACE (CBI)



TMS-Spule



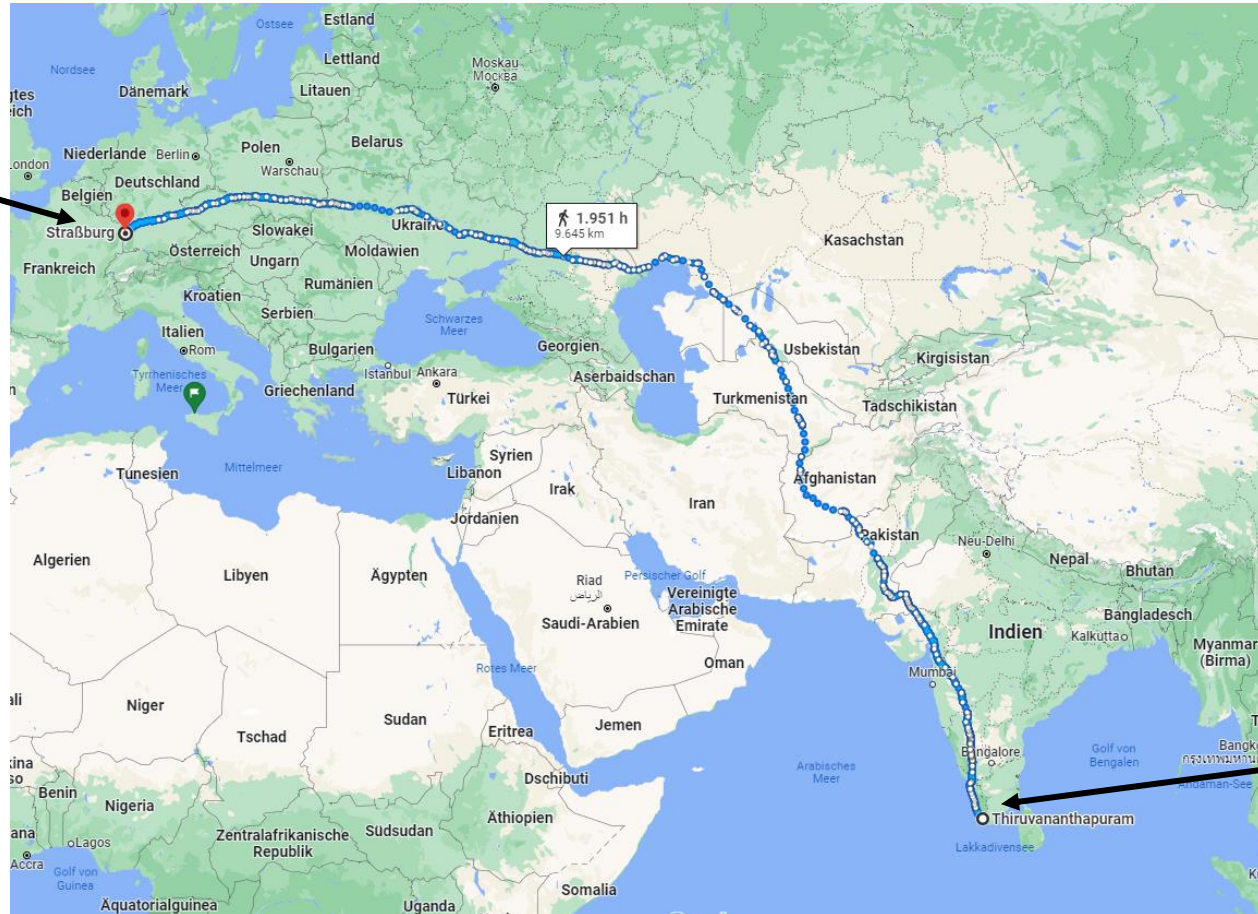
Phosphenproduzierender  
Hotspot



Inaktive  
Rotationsbedingung

# ÜBERTRAGUNGSLEISTUNG

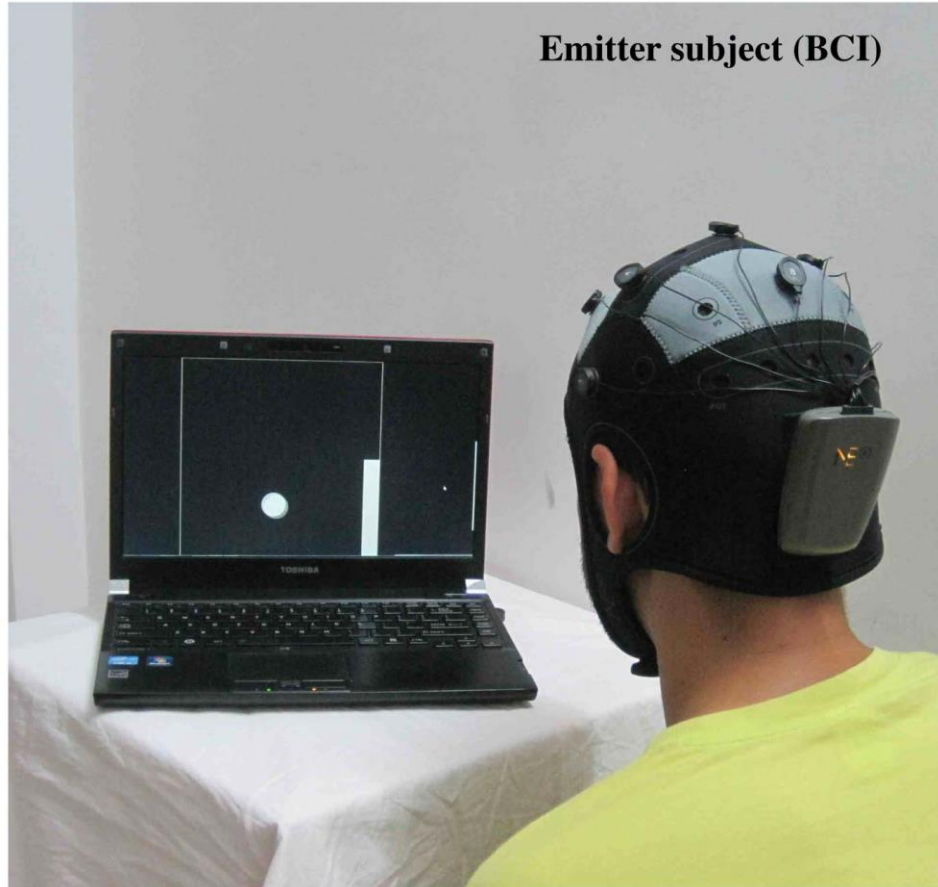
CBI



BCI



# ÜBERTRAGUNGSLEISTUNG



0, 1, 1, 0, 0, ...  
internet



Grau et al. (2014)





# Ergebnisse & Diskussion

# ERGEBNISSE

---

geringe Fehlerquoten bei der Übertragung von BCI, CBI und der kombinierten B2B-Komponente

---

*Experiment 3\_1* : 6 %, 5 % bzw. 11 %,

---

*Experiment 3\_2* : 2 %, 1 % bzw. 4 %

---

BCI- und CBI-Übertragungsraten: 3 bzw. 2 Bits pro Minute.

---

B2B-Übertragungsgeschwindigkeit: insgesamt 2 Bits pro Minute (begrenzt durch den CBI-Zweig)

---

# ZUSAMMENFASSUNG

Was bedeuten diese Ergebnisse?

- gelungene non-invasive Kommunikation zwischen zwei menschlichen Gehirnen
  - *Bewusste & direkte* Kommunikation?

# KRITIK



SEHR UNPRÄZISE  
METHODENBESCHREIBUNG



METHODEN UND  
ERGEBNISTEIL VERSCHWIMMT



KEINE GRAFIKEN & TABELLEN  
FÜR ERGEBNISSE

# WEITERE B2B FORSCHUNG

Gleicher Aufbau mit transkraniell fokussiertem Ultraschall (FUS) anstatt TMS (Lee et al., 2017)

Erste nicht-invasive direkte  
**B2B-Multipersonenstudie:** zwei Sender, ein Receiver beim Problemlösen in Form von Tetris (Jiang et al., 2019)

## AKTUELLER STAND B2B FORSCHUNGSMETHODIK

Nam et al., 2021

---

Fehlen eines Konsenses über die CBI-Methode, was darauf hindeutet, dass jede gewählte Hirnregion ihre Vor- und Nachteile hat.

---

sehr geringe Vielfalt bei der verwendeten CBI-Technologie

---

zu wenig Umsetzung, um Grenzen dessen zu erweitern, wozu **B2B** in der Lage sein könnte

---

keine direkten bidirektionalen Kollaborationstypen

# AUSTAUSCH KOMPLEXERER INFORMATIONEN PER B2B

(Latheef, 2022)

bisher binärer Informationsaustausch mit einem Bit pro Austauschweg

Möglichkeit des Einsatzes von fMRI, um die Bandbreite zu erhöhen

Hypothese: fMRTs auch in Verbindung mit EEGs und TMS verwendbar, um komplexere Informationen wie semantische Konzepte auszutauschen



# Praktische Implikationen



# ETHISCHE UND PHILOSOPHISCHE BEDENKEN

---

## B2B Kommunikation

---

### Beispiel Soldaten bei Entscheidungsprozess:

---

Soldat kann **B2B nicht** ablehnen

---

Soldat kann das Erhalten von Gedanken einer anderen Person nicht stoppen

---

Der Soldat ist daher in seiner Fähigkeit, frei zu handeln betroffen

---

ethisch nicht zu rechtfertigen, den Soldaten für sein Handeln zu verantworten

---

# VERLUST DER MENTALEN PRIVATSPHÄRE

- Verlust der sicheren, privaten Umgebung in seinem eigenen Kopf
- Wenn ich weiß, dass andere wissen, was ich denke und welche Gedanken mich zu der Entscheidung geführt haben, die ich gerade treffe, bin ich vielleicht eher geneigt, die Entscheidung in die eine oder andere Richtung zu treffen.

# QUELLEN

## Literatur

- Grau, C., Ginhoux, R., Riera, A., Nguyen, T. L., Chauvat, H., Berg, M., Amengual, J. L., Pascual-Leone, A., Ruffini, G. (2014). Conscious brain-to-brain communication in humans using non-invasive technologies. *PLoS One* 19; 9(8):e105225. doi: 10.1371/journal.pone.0105225. PMID: 25137064; PMCID: PMC4138179.
- Jiang, L., Stocco, A., Losey, D. M., Abernethy, J. A., Prat, C. S., and Rao, R. P. N. (2019). BrainNet: a multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains. *Sci. Rep.* 9, 1(11). DOI: 10.1038/s41598-019-41895-7
- Latheef, S. (2022). Brain to Brain Interfaces (BBIs) in future military operations; blurring the boundaries of individual responsibility. *Monash Bioethics Review*, 18(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40592-022-00171-7>
- Lee, W., Kim, S., Kim, B., Lee, C., Chung, Y. A. & Kim, L. (2017). Non-invasive transmission of sensorimotor information in humans using an EEG/focused ultrasound brain-to-brain interface. *PLoS ONE*, 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0178476
- Nam C. S., Traylor Z., Chen M., Jiang X., Feng W. & Chhatbar P. Y. (2021). Direct Communication Between Brains: A Systematic PRISMA Review of Brain-To-Brain Interface. *Frontiers in Neurobotics* 15. DOI: 10.3389/fnbot.2021.656943
- Schmicker, M. et al. (2011): Nicht-invasive Hirnstimulation: Neuromodulation durch transkranielle elektrische Stimulation und deren Wirkung auf neuropsychologische Erkrankungen. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 22(4): 285-301. DOI: 10.1024/1016-264X/a000051.
- Schläpfer, Thomas E.; Meyer-Lindenberg, Andreas; Synofzik, Matthis; Visser-Vandewalle, Veerle; Voges, Jürgen; Coenen, Volker A. (2021). Invasive brain stimulation in the treatment of psychiatric illness—proposed indications and approaches. *Deutsches Ärzteblatt Int* 2021; 118: 31-6; DOI: 10.3238/arztebl.m2021.0017
- Watzlawik, P. (1969). *Menschliche Kommunikation*. Bern: Huber.

## Abbildungen

- [1] <https://www.istockphoto.com/de/vektor/kontinuierliche-eine-linie-zeichnung-einer-person-mit-verwirrten-gef%C3%BChlen-besorgt-gm1311916952-400870072> (Zugriff: 16.01.2023)
- [2] <https://www.brain-stim.de/> (Zugriff: 15.01.2023)
- [3] [https://de.wikipedia.org/wiki/10-20-System#/media/Datei:International\\_10-20\\_system\\_for\\_EEG-MCN.png](https://de.wikipedia.org/wiki/10-20-System#/media/Datei:International_10-20_system_for_EEG-MCN.png) (Zugriff: 20.01.2023)
- [4] <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/nf-2016-1103/html> (Zugriff: 20.01.2023)
- [5] <https://www.neuroelectrics.com/solutions/starstim/8/> (Zugriff: 20.01.2023)