

Aus dem Institut für Systemische Motorikforschung  
der Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. med. Alexander Münchau

---

**Sensomotorische Integration bei Patientinnen und Patienten mit  
funktionellen neurologischen Bewegungsstörungen**  
Behaviorale und neurophysiologische Untersuchungen

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
**- Aus der Sektion Medizin -**

Vorgelegt von  
**Josephine Moyé**  
aus Ribnitz-Damgarten

Lübeck 2025

1. Berichterstatterin:	Prof. Dr. med. Anne Weißbach
Ko-Betreuer:	Prof. Dr. med. Karl-Friedrich Klotz
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Christoph Helmchen

Tag der mündlichen Prüfung: 20.04.2026

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 21.04.2026

- Promotionskommission der Sektion Medizin -

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Funktionelle neurologische Bewegungsstörungen</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Definition und Epidemiologie.....	1
1.1.2 Phänomenologie und Pathophysiologie.....	1
1.1.3 Diagnosestellung.....	4
<b>1.2 Theorie der Ereigniskodierung</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3 Elektroenzephalographie und ereigniskorrelierte Potentiale</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4 Fragestellungen und Hypothesen</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Material und Methoden, Teilnehmende</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Studiendesign</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2 Studienteilnehmende</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 Patientinnen und Patienten.....	11
2.2.2 Gesunde Kontrollpersonen.....	11
2.2.3 Rekrutierung.....	11
2.2.4 Ausschlusskriterien.....	12
<b>2.3 Voruntersuchungen</b> .....	<b>12</b>
2.3.1 Standardisierte, klinisch-neurologische Untersuchung.....	12
2.3.2 <i>Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale</i> .....	13
2.3.3 <i>Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition</i> .....	13
<b>2.4 Behaviorale und neurophysiologische Untersuchungen</b> .....	<b>13</b>
2.4.1 Allgemeiner Versuchsaufbau.....	13
2.4.2 Behaviorale Untersuchung.....	14
2.4.2.1 Stimulus-Reaktions-Aufgabe.....	14
2.4.2.2 Statistische Analyse.....	17
2.4.3 Neurophysiologische Untersuchung.....	19
2.4.3.1 Ableitung des Elektroenzephalogramms.....	19
2.4.3.2 Vorverarbeitung.....	20
2.4.3.3 Verarbeitung mittels <i>Residue Iteration Decomposition</i> .....	21
2.4.3.4 Verarbeitung mittels <i>standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography</i> .....	23

2.4.3.5	Statistische Analyse.....	23
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>25</b>
3.1	Ergebnisse der neurologischen Untersuchung.....	25
3.2	Ergebnisse der behavioralen Untersuchung .....	26
3.3	Ergebnisse der neurophysiologischen Untersuchung .....	30
3.4	Ergebnisse der Korrelationsanalyse .....	34
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Anhänge .....</b>	<b>57</b>
8.1	Ergänzende Statistik .....	57
8.2	Ergänzende Statistik – Ausschluss von Ausreißern .....	60
8.3	Ethikvotum .....	63
8.4	Patientinnen- und Patientenaufklärung .....	64
8.5	Patientinnen- und Patientenaufklärung unter 18 Jahren .....	70
8.6	Aufklärung für gesunde Teilnehmende .....	71
8.7	Rekrutierungsbogen.....	76
8.8	Vergütungs- und Fahrtkostenerstattungsbogen .....	77
8.9	Dokumentationsbogen.....	78
8.10	Fragebogen Risikoerfassung SARS CoV-2.....	79
8.11	Videoprotokoll der neurologischen Untersuchung.....	80
8.12	<i>Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale</i> .....	84
8.13	<i>Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition</i> .....	85
8.14	Untersuchungsprotokoll .....	89
8.15	Instruktion der Stimulus-Reaktions-Aufgabe .....	91
<b>9</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>92</b>
<b>10</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>93</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	<i>Analysis of Variance; Varianzanalyse</i>
BIS	<i>Balanced Integration Score</i>
C-Cluster	zentrales Cluster
CP1	zentroparietale Elektrode 1
CP2	zentroparietale Elektrode 2
<i>d-prime</i>	<i>Signal-Theoretic Sensitivity Index; Empfindlichkeitsmaß</i>
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	ereigniskorrelierte Potentiale
FBS	funktionelle neurologische Bewegungsstörungen
IES	<i>Inverse Efficiency Score</i>
<i>logIES</i>	<i>logarithmical Inverse Efficiency Score</i>
<i>logRT</i>	<i>logarithmical Response Time</i>
MNI	<i>Montreal Neurological Institute</i>
R1	Reaktion 1
R2	Reaktion 2
R-Cluster	reaktionsbezogenes Cluster
RIDE	<i>Residue Iteration Decomposition</i>
TPJ	<i>temporoparietal junction; temporo-parietaler Knotenpunkt</i>
S1	Stimulus 1
S2	Stimulus 2
S-FMDRS	<i>Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale</i>
S-Cluster	stimulusbezogenes Cluster
sLORETA	<i>standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography</i>
TEC	<i>Theory of Event Coding; Theorie der Ereigniskodierung</i>
WAIS-IV	<i>Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition</i>



# **1 Einleitung**

## **1.1 Funktionelle neurologische Bewegungsstörungen**

### **1.1.1 Definition und Epidemiologie**

Funktionelle neurologische Bewegungsstörungen (FBS) gehören zum Spektrum der funktionellen Erkrankungen und stellen eine komplexe neurologische Erkrankung dar (Stone et al., 2010). Trotz ihrer Häufigkeit wurde den auslösenden Faktoren in den vergangenen Jahren zu wenig wissenschaftliche Aufmerksamkeit geschenkt (Baizabal-Carvallo et al., 2019). Aufgrund einer häufig verspäteten Diagnosestellung und der damit einhergehenden fehlenden Therapie entstehen nicht nur erhebliche Kosten für das Gesundheitssystem (Barsky et al., 2005; Gupta und Lang, 2009), sondern auch indirekte Kosten aufgrund von Arbeitslosigkeit (Carson et al., 2011). Früher als psychogen tituliert, reichen psychologische Faktoren jedoch nicht aus, um die Krankheitsentstehung zu erklären (Czarnecki und Hallett, 2012). Das Erkrankungsalter liegt im Durchschnitt zwischen 37 und 50 Jahren (Morgante et al., 2013). FBS können sich jedoch auch bei Kindern (Canavese et al., 2012) und älteren Menschen (Batla et al., 2013) manifestieren. Im Vergleich zu Männern tritt die Erkrankung bei Frauen mehr als doppelt so häufig auf (Tinazzi et al., 2020).

### **1.1.2 Phänomenologie und Pathophysiologie**

FBS können durch motorische Symptome wie funktionelles Zittern (funktioneller Tremor), funktionelle Tic-ähnliche Störungen und funktionelle Gangstörungen zu erheblichen Beeinträchtigungen führen (Hinson et al., 2005). Sie unterscheiden sich von neurologischen, nicht-funktionellen Bewegungsstörungen, da sie ohne klar definierte strukturelle Läsion auftreten (Hinson und Haren, 2006). Trotz der heterogenen Phänomenologie lassen sich gemeinsame Merkmale identifizieren. Dazu gehört eine Symptommodulation unter Aufmerksamkeitsverlagerung (van Poppelen et al., 2011), eine beeinträchtigte motorische Metakognition (Verrel et al., 2023) und ein verändertes Gefühl der Handlungskontrolle (Voon, Gallea, et al., 2010).

Obwohl FBS durch motorische Symptome charakterisiert sind, weisen neurophysiologische Untersuchungen auf Veränderungen in der sensorischen Verarbeitung sowie der Integration von Wahrnehmung und Handlung hin (Kranick

et al., 2013; Sadnicka et al., 2020). Ein zentrales Merkmal ist der signifikante Verlust der sensorischen Dämpfung, welcher als Maß für das Gefühl der Handlungskontrolle dient (Pareés et al., 2014). Betroffene berichten, dass sie keine Kontrolle über diese unwillkürlichen Bewegungen haben (Voon, Gallea, et al., 2010). In Pareés et al. (2014) war die physiologische sensorische Abschwächung bzw. die Verringerung der wahrgenommenen Intensität selbstinduzierter gegenüber extern erzeugten Kräften bei Patientinnen und Patienten während der Durchführung eines Kraft-Anpassungs-Paradigmas reduziert. Sie nutzten die sensorischen Informationen zur Bestimmung der motorischen Kraft präziser im Vergleich zu gesunden Kontrollen und übten eine vergleichbare Kraft wie die wahrgenommene aus.

Neurophysiologisch äußert sich die sensorische Dämpfung in einer Verringerung der Amplitude sensorisch evozierter Potentiale zu Beginn selbst erzeugter Bewegungen und scheint entscheidend zu sein, um diese als selbstgeneriert wahrnehmen zu können. Macerollo et al. (2015) konnten die Veränderung der sensorischen Dämpfung durch ein Fehlen der physiologischen Amplitudenminderung sensorisch evozierter Potenziale bei Patientinnen und Patienten bestätigen. Die ausbleibende Amplitudenmodulation und das Erleben der Bewegungen als fremdgeneriert stehen in Zusammenhang mit dem subjektiven Verlust des Handlungsbewusstseins und einer fehlerhaften Wahrnehmung eigengenerierter Bewegungen (Maurer et al., 2016; Nahab et al., 2017). Daraus schlussfolgerten Pareés et al. (2014), dass der Verlust der sensorischen Dämpfung durch eine Zunahme der körperbezogenen Aufmerksamkeit entsteht. Interessanterweise richteten Patientinnen und Patienten mit funktionellem Tremor ihre Aufmerksamkeit während der Durchführung einer motorischen Aufgabe verstärkt auf die ungewollten Bewegungen, verglichen mit der Gruppe mit nicht-funktionellem Tremor (van Poppelen et al., 2011). Eine Verlagerung der Aufmerksamkeit auf ein unbeeinträchtigt Körperteil kann die Symptome reduzieren oder aufheben, während eine erneute Fokussierung auf eine betroffene Region zur Verstärkung führt (Pareés et al., 2012). Diese fehlgerichtete Aufmerksamkeit scheint neben Veränderungen im subjektiven Erleben eine maßgebliche Rolle bei der Entstehung sowie der Aufrechterhaltung der Erkrankung zu spielen (Edwards et al., 2012; Pareés et al., 2012).

Neurophysiologisch beobachteten Voon et al. (2011) zum einen eine erhöhte Aktivität in Regionen, die mit der Selbstwahrnehmung und emotionaler Verarbeitung verbunden sind, wie der Amygdala und dem Gyrus cinguli. Zum anderen bestand eine Hypoaktivität des linken supplementär-motorischen Areals, das an der Bewegungsvorbereitung beteiligt ist und wesentlich zum Empfinden der Handlungsfähigkeit bei selbstinitiierten Bewegungen beiträgt (Kühn et al., 2013), verbunden mit einer geringeren Konnektivität zum bilateralen dorsolateralen präfrontalen Kortex (Voon et al., 2011). Ferner wurde bei Patientinnen und Patienten mit FBS eine reduzierte Aktivität des rechten temporo-parietalen Knotenpunktes (*temporoparietal junction; TPJ*) im Zusammenhang mit dem Handlungsempfinden dokumentiert (Maurer et al., 2016; Voon, Gallea, et al., 2010). Diese Verbindung spielt eine entscheidende Rolle beim subjektiven Handlungserleben, da sie als Knotenpunkt zwischen internen Absichten und den tatsächlichen motorischen Konsequenzen fungiert und somit Bewegungsinformationen von Feedforward- und Feedback-Signalen überwacht (Maurer et al., 2016).

Das Erleben der Bewegungen als fremdgeneriert deutet auf ein verändertes Gefühl der Handlungsfähigkeit und einer falschen Zuschreibung der Handlungsursache hin, welches auf eine Diskrepanz zwischen den internen Vorhersagen der Bewegungsgenese und dem Feedback der ausgeführten Bewegung zurückgeführt werden könnte (Farrer et al., 2008; Maurer et al., 2016). Normalerweise dienen sensorische Feedback-Informationen bzw. „Bottom-Up“-Signale von Sinnesorganen über die Umwelt dazu, Bewegungen zu korrigieren und anzupassen (Blakemore und Sirigu, 2003; Edwards et al., 2012). Gleichzeitig helfen Feedforward-Informationen bzw. „Top-Down“-Vorhersagen mit empirischen Erwartungen, eintreffende sensorische Informationen einzuordnen und Handlungen vorbereiten zu können (Edwards et al., 2012). Im Rahmen der prädiktiven Kodierung wird davon ausgegangen, dass der Abgleich zwischen den Vorhersagen des Gehirns und den tatsächlichen sensorischen Informationen bei Personen mit FBS gestört ist und sensorische "Bottom-up"-Informationen zugunsten "Top-down"-Vorhersagen herabgewichtet werden (Edwards et al., 2012). Sensorische Rückmeldungen von Bewegungen werden unterdrückt und weniger genutzt, wodurch Patientinnen und Patienten verstärkt auf Feedforward-Informationen wie

Vorhersagen und Annahmen zurückgreifen (Pareés et al., 2012; Sadnicka et al., 2020). Die bisherigen Modelle sind für die Erklärung dieser Erkrankung nicht ausreichend. Insbesondere ist unklar, ob und inwieweit eine veränderte sensorische Verarbeitung höhere kognitive Funktionen beeinflusst, die für die Kontrolle zielgerichteten Verhaltens wesentlich sind (Weissbach et al., 2023).

### **1.1.3 Diagnosestellung**

Die Diagnose von FBS wird klinisch auf Grundlage der Symptome im Rahmen der neurologischen Untersuchung anhand positiver Diagnosekriterien gestellt (Gasca-Salas und Lang, 2016). Trotz des heterogenen Erscheinungsbildes der Erkrankung zeigen alle Patientinnen und Patienten eine Modulation ihrer Symptome unter Aufmerksamkeitsverlagerung, die durch verschiedene klinische Untersuchungstechniken festgestellt werden können (Weißbach et al., 2023). Ähnliche Gemeinsamkeiten unabhängig von der klinischen Phänomenologie werden auch in den neurophysiologischen Veränderungen der Patientinnen und Patienten angenommen (Czarnecki und Hallett, 2012). Ein besseres Verständnis der Pathophysiologie dieser Erkrankung könnte damit also auch Einfluss auf die Diagnosestellung und Entwicklung neuer Therapieoptionen haben (Czarnecki und Hallett, 2012).

Fahn und Williams (1988) formulierten Kriterien für die Diagnosestellung, die bis heute Anwendung finden. Zusätzlich bestehen die Kriterien von Shill und Gerber (2006) sowie eine Überarbeitung der Fahn-Williams-Kriterien durch Gupta und Lang (2009). Zur Bewertung der Schwere und Phänomenologie der Beeinträchtigung können verschiedene Skalen herangezogen werden. Dazu gehören die *Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale (S-FMDRS)* (Nielsen et al., 2017), die *Psychogenic Movement Disorders Rating Scale* (Hinson et al., 2005) sowie die *Clinical Global Impression-Improvement und -Severity Scale* (Guy, 1976).

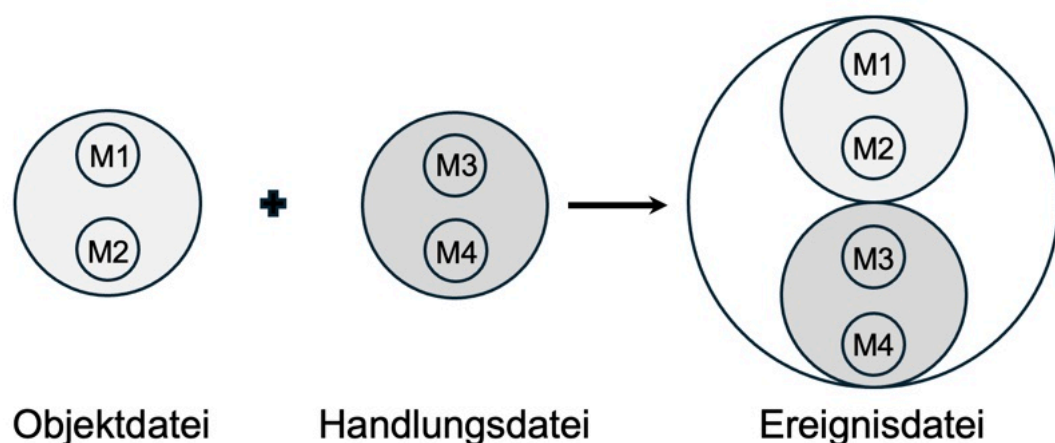
Diese Bewertungsskalen ermöglichen mit Hilfe von Zahlenwerten eine objektive Erhebung und standardisierte Bewertung der Symptome. Die klinische Ausprägung kann mit Hilfe eines objektivierbaren Videorating erfasst und quantifiziert werden. Dies ist insbesondere für die Forschung relevant, da dadurch eine Korrelation zwischen klinischen Symptomen und der zugrunde liegenden Neurophysiologie der Erkrankung möglich wird.

## 1.2 Theorie der Ereigniskodierung

Das experimentelle Paradigma, auf dem die später entwickelte Theorie der Ereigniskodierung (*Theory of Event Coding, TEC*) basiert, wurde erstmalig von Hommel (1998) eingeführt, um die Verknüpfung von Wahrnehmung und Handlung innerhalb eines theoretischen Rahmens gezielt zu untersuchen. Es ermöglicht systematische Einblicke in die zugrunde liegenden Prozesse der sensomotorischen Integration (Hommel et al., 2001). *TEC* basiert auf der Annahme, dass die Wahrnehmung und die daraus resultierende Handlung nicht getrennte Prozesse sind, sondern in gemeinsamen Netzwerken, den sogenannten „Ereignisdateien“, eng miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig beeinflussen (Hommel et al., 2001). *TEC* zufolge stellt die Integration von Wahrnehmung und Handlung einen zentralen Prozess dar, bei dem sensorische und motorische Informationen über Bindungsmechanismen gekoppelt werden (Hommel et al., 2001). *TEC* ergänzt somit das Modell des prädiktiven Kodierens, welches darlegt, wie das Gefühl der Handlungsfähigkeit bei der Bewegungserzeugung entsteht (Edwards et al., 2012). Das *TEC*-Paradigma wurde bereits erfolgreich eingesetzt, um ein Konzeptualisierungsmodell für das Gilles de la Tourette-Syndrom zu erstellen (Kleimaker et al., 2020).

Laut der *TEC* wird jedes Merkmal, welches ein Objekt charakterisiert, wie z.B. Farbe, Lage und Form, einzeln kodiert (Hommel et al., 2001). Merkmalcodes, die demselben Objekt zugeordnet sind, werden gemeinsam aktiviert und miteinander verknüpft, um ein Objekt als Ganzes zu repräsentieren und zielgerichtetes Handeln zu ermöglichen (Hommel et al., 2001). Durch diese Verknüpfung der Merkmalcodes und Integration in Einheiten entstehen sogenannte Objektdateien (Hommel, 1998). Analog zur Repräsentation von Wahrnehmungsmerkmalen in Objektdateien werden motorische Reaktionen durch Merkmale dargestellt und in Handlungsdateien organisiert (Hommel et al., 2001). In diesem theoretischen Rahmen werden wahrgenommene Reize mit der folgenden Reaktion in einer Ereignisdatei gebunden (siehe Abbildung 1). Diese bilden kurzfristige, funktionale Einheiten, in denen Stimulus- und Reaktionsmerkmale gemeinsam kodiert sind (Hommel, 1998).

Wird ein bestimmtes Merkmal eines bekannten Objektes erneut präsentiert, kann die zuvor für dieses Objekt etablierte Ereignisdatei reaktiviert werden (Hommel et al., 2001). Dieser Vorgang bildet die Grundlage für sogenannte Bindungseffekte, welche die wechselseitigen Interaktionen zwischen einem Stimulus und der damit verbundenen Reaktion beschreiben und impliziert einen Effekt der gegenseitigen Abhängigkeit von Wahrnehmung und Handlung (Hommel et al., 2001). Diese praktische Verknüpfung von Wahrnehmung und motorischer Handlung kann laut Colzato et al. (2006) jedoch zu Schwierigkeiten bei der Ausführung der korrekten Reaktion führen, wenn die geforderte Reaktion von einer zuvor mit diesem Stimulus assoziierten Handlung abweicht oder wenn ein anderer Stimulus die gleiche Reaktion verlangt. Die zusätzliche Integration neuer Merkmale in bereits bestehende Ereignisdateien wird als Kosten der partiellen Wiederholung bezeichnet. Dies äußert sich in Form von schlechteren Leistungen, die sich in langsameren Reaktionszeiten und einer höheren Fehlerquote zeigt. Sobald bestimmte Merkmale in einer Ereignisdatei gebunden sind, erfordert das Lösen dieser Bindung zusätzlichen Aufwand. Hingegen erleichtert die Übereinstimmung von Stimulus und Reaktion die Entscheidungsfindung. Wenn gleiche Stimulusmerkmale gleiche Reaktionen oder alternierende Merkmale alternierende Reaktionen auslösen, führt dies zu einer besseren Leistung.



**Abbildung 1:** Darstellung der Theorie der Ereigniskodierung. Merkmale (M1, M2) eines Objektes sind in einer Objektdatei repräsentiert und mit den Merkmalen (M3, M4) einer Handlungsdatei in einer Ereignisdatei zusammen verknüpft. Adaptiert von Hommel et al. (2001).

### 1.3 Elektroenzephalographie und ereigniskorrelierte Potentiale

Die Elektroenzephalographie ist eine Methode zur oberflächlichen Ableitung der elektrischen Aktivität des Gehirns. Das resultierende Elektroenzephalogramm (EEG) spiegelt als Gesamtleitung die summierte Aktivität verschiedener neuronaler Quellen wider und ermöglicht die Extraktion spezifischer Antworten, die mit bestimmten sensorischen und motorischen Prozessen verbunden sind (Ouyang et al., 2015). Diese Antworten werden ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) genannt. EKP sind evozierte elektrische Potentiale, die eine spezifische Verteilung auf der Kopfhaut zeigen und durch Mittelwertbildung aus einer ausreichenden Anzahl an Einzelversuchen gewonnen werden (Ouyang et al., 2015). Die Verwendung eines Gesamtdurchschnitts verbessert die Erkennung der Wellenformen durch Maskierung der Variabilität zwischen den Teilnehmenden, um Ähnlichkeiten besser identifizieren zu können (Luck, 2014). Die resultierenden gemittelten EKP-Wellenformen bestehen aus einer Abfolge positiver (P) und negativer (N) Spannungsausschläge, die als Spitzen, Wellen oder Komponenten bezeichnet werden und den Informationsfluss durch das Gehirn widerspiegeln (Luck, 2014).

Gleichzeitig erschwert das EEG als Gesamtleitung die Identifizierung und Isolation einzelner neuronaler Prozesse (Ouyang et al., 2015). Mit Hilfe der EKP lassen sich die Phasen der Verarbeitung zwischen einem Stimulus und der folgenden Reaktion bestimmen, die durch experimentelle Untersuchungen beeinflusst werden (Dippel und Beste, 2015) bzw. um die gewünschten kognitiven Prozesse darzustellen, die laut *TEC* für die Ereigniskodierung von Bedeutung sind (Petruo et al., 2016).

Für die weitere Untersuchung dieser Vorgänge eignet sich die zeitliche Signalzerlegung mit der *Residue Iteration Decomposition (RIDE)* (Ouyang et al., 2011). *RIDE* ist ein sich wiederholendes Verfahren, welches EKP in verschiedene Komponentencluster einteilt, basierend auf ihrer Latenzzeit relativ zum Auftreten eines Stimulus (stimulusbezogene Komponenten) oder einer Reaktion (reaktionsbezogene Komponenten) (Ouyang et al., 2015). Somit können EKP den verschiedenen Phasen der zerebralen Informationsprozessierung zugeordnet werden (Ouyang et al., 2015). Es lassen sich EEG-Codes unterscheiden, die rein sensorische bzw. stimulusbezogene (S-Cluster) oder rein motorische bzw.

reaktionsbezogene (R-Cluster) Verarbeitungsprozesse widerspiegeln (Ouyang et al., 2015). *RIDE* nimmt ein zusätzliches, zentrales Cluster (C-Cluster) für integrierte sensomotorische Codes an (Ouyang et al., 2015).

In Kombination mit dem *TEC*-Paradigma ermöglicht die zeitliche Trennung durch *RIDE* eine präzise Untersuchung kognitiver Prozesse, die der Wahrnehmung und Handlung zugrunde liegen sowie Modulationen von Ereignisdateienkodierungen (Takacs, Zink, et al., 2020). Dadurch können die Integrationsprozesse auf sensomotorischer Ebene und ihre Auswirkungen bei FBS genauer betrachtet werden. Wesentliche EKP für die spezifische Untersuchung der *TEC*-basierten Ereignisdateikodierung und Bindungseffekte sind die P1-, N1-, N2- und P3-Komponenten (Petruo et al., 2016). Die P1 und N1 spiegeln Prozesse der Wahrnehmungssteuerung und Aufmerksamkeit wider (Klimesch, 2011; Petruo et al., 2016). Die N2 und P3 spielen eine wichtige Rolle in Kodierungs- bzw. Bindungsprozessen und spiegeln die Verarbeitung von Wahrnehmungsinformationen und Prozesse zur Auswahl der geeigneten Reaktion wider (Petruo et al., 2016). Wir konzentrierten uns in der Studie dieser Doktorarbeit auf EEG-Korrelate, die nachweislich Wahrnehmungs-Handlungs-Integrationsprozesse widerspiegeln. Die ereigniskorrelierte Komponente P3 ist ein geeigneter Marker für Stimulus-Reaktions-Verarbeitungsprozesse (Verleger et al., 2005) und zeigte bereits bei anderen Bewegungsstörungen Veränderungen auf (Kleimaker et al., 2020).

Für die Ermittlung und Darstellung der funktionellen neuroanatomischen Strukturen, die mit FBS-assoziierten Veränderungen der Wahrnehmungs-Handlungs-Integration verbunden sind, eignet sich die räumliche Quellenlokalisationsanalyse *standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography (sLORETA)* (Pascual-Marqui et al., 2002). Hierfür ist die vorherige Durchführung von *RIDE* mit ereignisbezogenen Clustern für die Untersuchung und Ortung der sensomotorischen Prozesse notwendig (Takacs, Zink, et al., 2020). Dieses Verfahren wurde bereits von unserer Arbeitsgruppe erfolgreich verwendet (Kleimaker et al., 2020). Die Effektivität dieses Algorithmus wurde durch kombinierte funktionelle Magnetenzephalographie-Elektroenzephalographie- und transkranielle Magnetstimulations-Elektroenzephalographie-Studien belegt (Dippel und Beste,

2015; Sekihara et al., 2005). Die Studie von Petruo et al. (2016) beobachtete mit Hilfe von *sLORETA* Amplitudenveränderungen der P3 und stellte fest, dass diese mit Aktivierungsunterschieden in dem *TPJ*, einem Anteil des Brodmann-Areals 40, einhergingen. Bereits frühere Arbeiten belegten eine Hypoaktivität dieser Region bei Personen mit FBS (Voon, Gallea, et al., 2010). Das Brodmann-Areal 40 spielt eine zentrale Rolle bei der C-Cluster-Modulation und der Kodierung von Ereignisdateien (Kleimaker et al., 2020; Opitz et al., 2020; Petruo et al., 2016), sowie bei der Zuschreibung der Handlungsfähigkeit (Zito et al., 2020).

#### **1.4 Fragestellungen und Hypothesen**

Ziel der Studie ist es, die Integrationsprozesse von Wahrnehmung und Handlung behavioral und neurophysiologisch mit einer Kombination aus Elektroenzephalographie und Stimulus-Reaktions-Aufgabe bei Patientinnen und Patienten mit FBS zu untersuchen.

Folgende Fragestellungen und Hypothesen werden aufgestellt:

1. Fragestellung: Zeigen Patientinnen und Patienten mit FBS und gesunde Kontrollen Bindungseffekte auf?

Hypothese 1: Im Rahmen der *TEC* werden sensorische und motorische Informationen in Ereignisdateien verknüpft (Hommel et al., 2001). Resultierende Bindungseffekte sind Wechselwirkungen zwischen der Wiederholung oder Variation eines Stimulus und einer Reaktion (Hommel et al., 2001). Diese Bindungen werden deutlich, wenn identische Stimuli unterschiedliche Reaktionen oder alternierende Stimuli identische Reaktionen erfordern. Insbesondere treten langsamere Reaktionszeiten und höheren Fehlerraten auf durch die zuvor bereits etablierte Stimulus-Reaktions-Bindungen (Colzato et al., 2006). Im Gegensatz dazu wird die Reaktion erleichtert, wenn identische Stimuli die gleichen Reaktionen auslösen (Colzato et al., 2006).

2. Fragestellung: Unterscheiden sich die Gruppen in der Stärke der Stimulus-Reaktions-Bindung und zeigen Personen mit FBS stärkere Bindungseffekte im Vergleich zu gesunden Kontrollen auf?

Hypothese 2: Angesichts der verstärkten Aufmerksamkeitsrichtung von Patientinnen und Patienten mit FBS (Huys et al., 2021; van Poppelen et al.,

2011) sowie der engen Wechselbeziehungen zwischen sensorischen und motorischen Prozessen der *TEC* (Hommel, 1998) vermuten wir, dass die sensorische Verarbeitung bei diesem Krankheitsbild verstärkt ist. Liegt eine Störung vor, die durch eine verstärkte Wahrnehmungs-Handlungs-Bindung gekennzeichnet ist, spiegelt sich dies in größeren Schwierigkeiten beim Lösen und der Rekonfiguration zuvor etablierter Bindungsabläufe wider (Kleimaker et al., 2020). Es wird angenommen, dass die Bindung an Ereignisdateien bei der FBS-Gruppe stärker ist als bei gesunden Kontrollen.

3. Fragestellung: Gehen die Veränderungen der Bindungseffekte mit analogen, neurophysiologischen Veränderungen einher? Liegen Unterschiede zwischen den Gruppen bei Analyse der EKP und Cluster vor?

Hypothese 3: Die Veränderungen bei Patientinnen und Patienten mit FBS spiegeln sich in einer veränderten Verarbeitung im C-Cluster der *RIDE*-Analyse mit unterschiedlichen Aktivierungsmustern im Bereich des *TPJ* wider. Diese Annahme basiert auf Erkenntnissen aus Studien mit gesunden Kontrollpersonen zur neurophysiologischen und funktionell-anatomischen Umsetzung von Wahrnehmungs-Handlungs-Bindungen (Opitz et al., 2020; Prochnow et al., 2021; Takacs, Mückschel, et al., 2020; Takacs, Zink, et al., 2020).

4. Fragestellung: Gibt es einen Zusammenhang zwischen den erhobenen neurophysiologischen, behavioralen Ergebnissen und der Erkrankungsschwere bei Patientinnen und Patienten mit FBS?

Hypothese 4: Wir gehen davon aus, dass stärkere Bindungseffekte mit einer höheren Symptomschwere, dargestellt durch höhere *S-FMDRS*-Werte, einhergehen. Mit zunehmender Beeinträchtigung wird die Antwortauswahl erschwert, was höhere Anforderungen an die kognitive Kontrolle zu Lösung der Bindung stellt.

## **2 Material und Methoden, Teilnehmende**

### **2.1 Studiendesign**

In dieser monozentrischen, experimentellen Studie wurden behaviorale, neurophysiologische und klinische Daten von Patientinnen und Patienten mit diagnostizierter FBS den Daten von gesunden Kontrollpersonen gegenübergestellt. Die Daten der Studienteilnehmenden wurden in verschlüsselter und pseudonymisierter Form verwendet und entsprechend aufbewahrt. Die Teilnehmenden nahmen nach schriftlicher Einverständniserklärung gemäß der Deklaration von Helsinki teil. Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Universität zu Lübeck genehmigt (Referenz: 20-136, siehe Anhang).

### **2.2 Studienteilnehmende**

#### **2.2.1 Patientinnen und Patienten**

Es wurde eine Gruppe von 21 Personen untersucht, davon waren 14 Frauen. Das durchschnittliche Alter betrug 38,6 Jahre mit einer Altersspanne von 16 – 63 Jahren.

#### **2.2.2 Gesunde Kontrollpersonen**

Eine Gruppe von insgesamt 21 gesunden Kontrollpersonen, darunter 14 Frauen, wurde untersucht. Das durchschnittliche Alter betrug 40,1 Jahre mit einer Altersspanne von 16 – 59 Jahren. Die gewählten Kontrollpersonen orientierten sich hinsichtlich Alter ( $\pm 6$  Jahre) und Geschlecht an den Daten der Patientinnen und Patienten und wurden paarweise zugeordnet.

#### **2.2.3 Rekrutierung**

Die Rekrutierung der gesunden Kontrollpersonen erfolgte über einen Aushang in den Stadtteilen von Lübeck und einen Studienaufruf in dem Internetforum der Universität zu Lübeck für Studienteilnahmen. Die Patientinnen und Patienten wurden durch das Zentrum für Seltene Erkrankungen und die neurologische Ambulanz des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein in Lübeck sowie über das Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf rekrutiert. Die Diagnosestellung erfolgte anhand veröffentlichter Standardkriterien (Gasca-Salas und Lang, 2016). Bestand der Wunsch an der Studie teilzunehmen, erhielten die Teilnehmenden ausführliche, im Anhang befindliche Informationsmaterialien und ein Termin für die Studie wurde

vereinbart. Nach einer ärztlichen Aufklärung wurde die schriftliche Einwilligung der Teilnehmenden eingeholt. Zu keiner Zeit bestand ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen den Untersuchenden und den Teilnehmenden. Eine Erstattung der Fahrkosten erfolgte für alle Studienteilnehmenden. Gesunde Kontrollpersonen erhielten zudem eine Aufwandsentschädigung von 10 €/ Stunde. Die Untersuchung der Teilnehmenden erfolgte zwischen September 2020 und November 2021. Die Rekrutierung und Durchführung der Voruntersuchungen erfolgte in Zusammenarbeit mit Doktorand Herrn Fabian Chwolka.

#### **2.2.4 Ausschlusskriterien**

- Bewegungsstörungen oder andere neurologische Erkrankungen außer FBS
- Neuropsychiatrische oder akute instabile psychiatrische Erkrankungen
- Schmerzerkrankungen
- Fehlende Deutschkenntnisse
- Nicht-Durchführen der Aufgaben oder Nicht-Verstehen der Aufgaben
- Nicht nachvollziehbare Antworten
- Widerruf der Einwilligung

Die Daten von 2 von 23 gemessenen gesunden Kontrollpersonen und 3 von insgesamt 24 gemessenen Patientinnen und Patienten wurden aufgrund von fehlerhafter Aufgabendurchführung ausgeschlossen und die Daten wurden nicht für die Analyse verwendet.

### **2.3 Voruntersuchungen**

#### **2.3.1 Standardisierte, klinisch-neurologische Untersuchung**

Die Stärke und Art der Beeinträchtigung wurde durch eine Videodokumentation festgehalten, bei der die Betroffenen bestimmte Bewegungsabläufe nach einem Vorführvideo ausführten. Die Verwendung des im Anhang beigefügten Videoprotokolls gewährleistete eine standardisierte und identische Untersuchung. Diese nahm ca. 20 Minuten pro Person in Anspruch. Danach erfolgte eine Beurteilung der Videos in Hinblick auf die Art und Schwere der Bewegungsstörung durch Frau Prof. Dr. med. Anne Weißbach mit Hilfe der validierten Beurteilungsskalen der *S-FMDRS* (Nielsen et al., 2017).

### **2.3.2 Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale**

Zur Einschätzung der Symptomschwere von Patientinnen und Patienten mit FBS wurde die *S-FMDRS* von Nielsen et al. (2017) verwendet. Die *S-FMDRS* betrachtet zusammengefasste Körperbereiche und die Funktionsweise des Körpers. Der Körper wird in 7 Regionen eingeteilt, in denen jeweils separat Auffälligkeiten detektiert werden können: Gesicht und Zunge, Kopf und Nacken, linke obere Extremität mit Schultergürtel, rechte obere Extremität mit Schultergürtel, Rumpf und Abdomen, die linke untere und rechte untere Extremität. Um die Funktionsweise einschätzen zu können, werden der Gang und die Sprache bewertet. Diesen 7 Regionen und der Funktionsweise werden nach Schweregrad und Dauer Punkte von 0 bis 3 vergeben. Die Einteilung des Schweregrades erfolgt in: 0 – nicht vorhanden, 1 – mild, 2 – moderat und 3 – schwer und die Dauer in: 0 – zu keiner Zeit, 1 – gelegentlich, 2 – häufig, 3 – konstant. Die vergebenen Punkte werden addiert und können von einer Punktzahl von 0 bis maximal 54 möglichen Punkten reichen.

### **2.3.3 Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition**

Zur orientierenden Beurteilung des kognitiven Funktionsniveaus wurde eine Kurzform der *Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition (WAIS-IV)* (Denney et al., 2015) verwendet, bestehend aus vier ausgewählten Untertests. Die Erhebung diente der Erfassung kognitiver Leistungsunterschiede als potenzielle Einflussgröße auf die Ergebnisse. Die im Anhang befindlichen Untertests bestanden aus den Aufgaben: *Rechnerisches Denken*, *Bilder ergänzen*, *Gemeinsamkeiten finden* und *Zahlen-Symbol-Test*. Diese nahmen ca. 30 Minuten pro Person in Anspruch.

## **2.4 Behaviorale und neurophysiologische Untersuchungen**

### **2.4.1 Allgemeiner Versuchsaufbau**

In dieser Studie wurde das behaviorale *TEC*-Paradigma mit einer Elektroenzephalographie kombiniert. Die Untersuchungen fanden an einem Tag statt und nahmen ca. 90 Minuten in Anspruch.

## **2.4.2 Behaviorale Untersuchung**

### **2.4.2.1 Stimulus-Reaktions-Aufgabe**

Das Wahrnehmungs-Handlungs-Verhalten wurde bereits bei Patientinnen und Patienten mit dem Gilles de la Tourette-Syndrom von unserer Forschungsgruppe mit Hilfe dieses Paradigmas untersucht (Kleimaker et al., 2020).

Die Patientinnen, Patienten und gesunden Kontrollen antworteten nach festgelegten Regeln auf die Merkmale von Stimuli, die ihnen visuell präsentiert wurden. Für die Ermittlung von Bindungseffekten wurde die Reaktionszeit in Millisekunden [ms] und die Reaktionsgenauigkeit bzw. die Fehlerrate der Reaktion auf den Stimulus in Prozent [%] aufgenommen. Es handelte sich um eine Abwandlung des Paradigmas von Hommel (1998), da die möglichen Kombinationen der Merkmalsüberlappungen auf die relevanten Bedingungen begrenzt wurden. Die gekürzte Version führt zu übereinstimmenden Ergebnissen, da sich Stimulus-Reaktions-Bindungen vorzugsweise durch binäre Merkmalsbindungen erklären lassen als durch die Integration von Merkmalen höherer Ordnung (Colzato et al., 2006).

Insgesamt umfasste das Paradigma 192 Durchgänge, die in 6 Blöcke zu je 32 Durchgängen unterteilt waren. Die Teilnehmenden mussten unterschiedlich auf Pfeile und Blöcke reagieren, die auf einem 24-Zoll-Bildschirm (*Asus VG248QE*, 144 Hz) mit einer Auflösung von 1.920 x 1.080 Pixel angezeigt wurden. Zwischen den einzelnen Durchgängen, die durch ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms gekennzeichnet waren, lagen Pausen von 1500 – 2000 ms. Die Teilnehmenden saßen dem Fixationskreuz gegenüber, mit dem der erste Durchgang begann. Es folgte ein Rechteck, welches aus drei übereinander angeordneten Quadraten bestand. Zuerst erschien ein Hinweiszeichen im mittleren Quadrat in Form eines Pfeils für 1500 ms. Dessen Pfeilspitze deutete entweder nach links oder nach rechts. Nach einer Pause von 1000 ms folgte Stimulus 1 (S1), welcher signalisierte, auf das Hinweiszeichen mit Reaktion 1 (R1) zu antworten. R1 durfte erst nach S1 und nicht direkt nach dem Hinweiszeichen (Pfeil) erfolgen. Nach 500 ms verschwand S1, unabhängig von der Reaktionsgeschwindigkeit der Teilnehmenden. Wenn die Reaktionszeit das Erscheinungsintervall von S1 überschritt oder keine Reaktion erfolgte, wurde der Durchgang mit einer kurzen

Pause, in der das Fixationskreuz und das Hinweiszeichen erneut erschienen, wiederholt. Nach dem ersten Tastendruck und einem Intervall von 2000 ms, in dem die drei angeordneten Quadrate ohne Inhalt dargestellt wurden, wurde ein zweiter Stimulus (S2) für maximal 2000 ms angezeigt. In diesem Fall musste direkt mit der Reaktion 2 (R2) auf die Eigenschaft von S2 geantwortet werden. S2 verschwand unmittelbar nach R2.

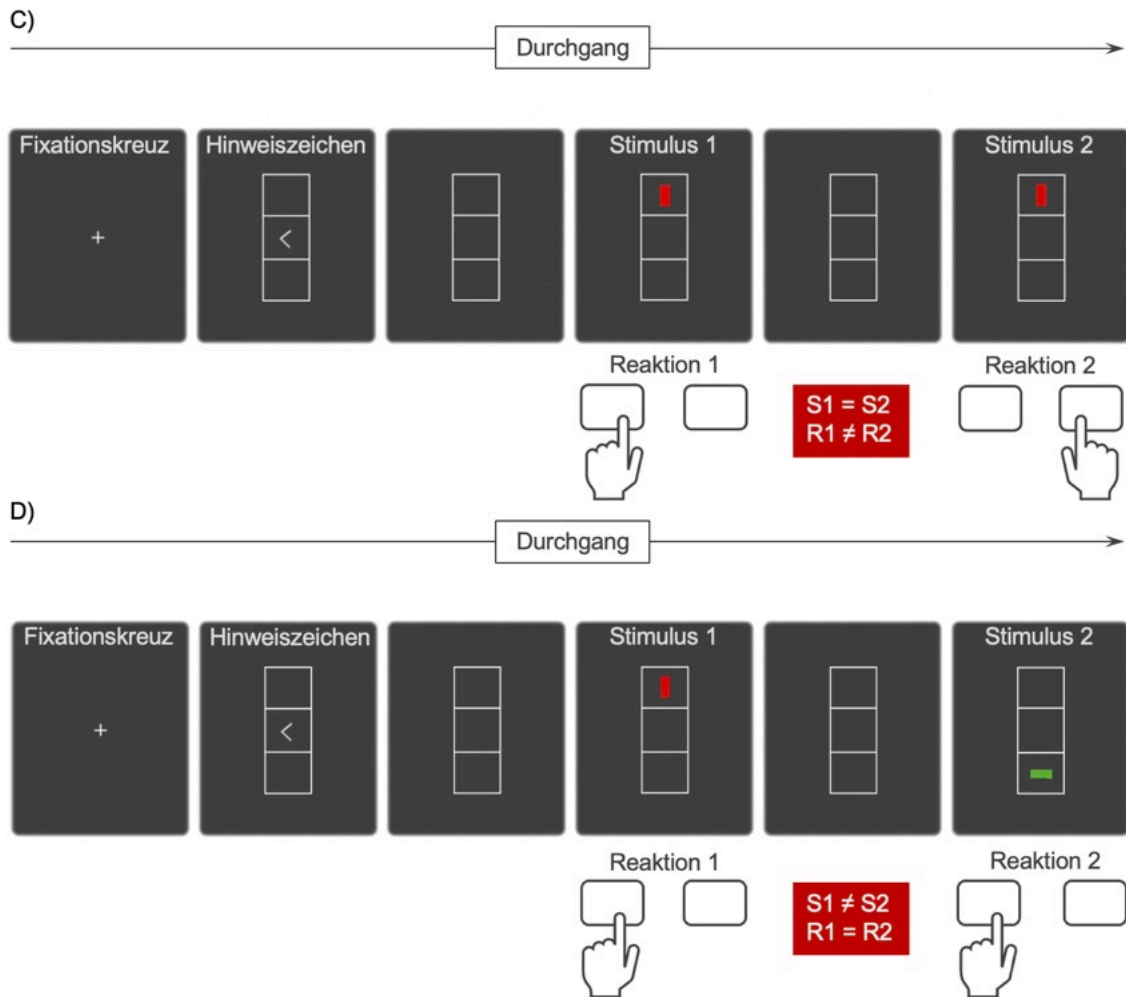
S1 und S2 setzten sich aus den gleichen Merkmalen zusammen und wurden als Balken angezeigt, deren Eigenschaften bezüglich Farbe, Position und Ausrichtung variierten. Diese konnten in zufälliger Reihenfolge grün oder rot, im oberen oder unteren Quadrat und horizontal oder vertikal angeordnet sein. S1 und S2 waren entweder in allen Merkmalen identisch, was als Stimuluswiederholung definiert wurde oder unterschieden sich in allen Merkmalen vollständig, was einer Stimulusalternation entsprach. R1 und R2 wurden durch das Drücken der linken oder rechten Steuerungstaste mit den entsprechenden Zeigefingern ausgeführt. Für R1 erfolgte der Tastendruck je nachdem, ob das Hinweiszeichen zuvor nach links oder rechts deutete. Bei R2 wurde die linke Steuerungstaste gedrückt, wenn der Balken horizontal erschien, die rechte bei einem vertikalen Balken. Die Reaktionen konnten identisch oder unterschiedlich sein und wurden entsprechend Reaktionswiederholung oder Reaktionsalternation genannt. Nach der Instruktion und einem Übungsblock von 12 Durchgängen wurde die Stimulus-Reaktions-Aufgabe gestartet.

Durch das Paradigma entsteht laut *TEC* vorübergehend eine Bindung zwischen den Eigenschaften von S1 und der darauffolgenden Reaktion R1, genannt Stimulus-Reaktions-Bindung und führt zur Etablierung einer Ereignisdatei (Hommel, 1998). Die Entscheidungsfindung wird erleichtert, wenn beim Antworten auf S2 kein Lösen der etablierten Bindung notwendig ist, wie zum Beispiel bei einer Stimulus- und Reaktionswiederholung ( $S1 = S2, R1 = R2$ ) bzw. bei einer Stimulus- und Reaktionsalternation ( $S1 \neq S2, R1 \neq R2$ ). Diese sogenannten kompatiblen Bedingungen gehen mit einer besseren Performance einher. Dies zeigt sich in Form einer höheren Genauigkeitsrate und kürzeren Reaktionszeiten. Die kompatiblen Bedingungen sind in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2:** Darstellung der bindungskompatiblen Bedingungen der Stimulus-Reaktions-Aufgabe. A) Stimulus- und Reaktionswiederholung,  $S1 = S2$  und  $R1 = R2$ . B) Stimulus- und Reaktionsalternation,  $S1 \neq S2$  und  $R1 \neq R2$ . Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

Bei einer geforderten Reaktionsalternation führen gleiche Stimulusmerkmale ( $S1 = S2$ ,  $R1 \neq R2$ ) sowie eine Reaktionswiederholung mit Stimulusalternation ( $S1 \neq S2$ ,  $R1 = R2$ ) zu Kosten durch die partielle Wiederholung (Colzato et al., 2006). Das korrekte Reagieren auf  $S2$  bedingt, dass die zuvor etablierte Bindung zwischen  $S1$  und  $R1$  gelöst wird. Dieser Prozess erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit und ein aktives Gegenregulieren, welches sich in den behavioralen Daten in einer schlechteren Performance in Form von geringerer Genauigkeit und längeren Reaktionszeiten zeigt (Colzato et al., 2006). Die inkompatiblen Bedingungen sind in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3:** Darstellung der inkompatiblen Bedingungen der Stimulus-Reaktions-Aufgabe. C) Stimuluswiederholung und Reaktionsalternation,  $S1 = S2$  und  $R1 \neq R2$ . D) Stimulusalternation und Reaktionswiederholung,  $S1 \neq S2$  und  $R1 = R2$ . Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

Die insgesamt 192 Durchgänge bestehen aus 96 kompatiblen und 96 inkompatiblen Bedingungen. Jeweils 48 Durchgänge einer Bedingung beziehen sich auf eine alternierende oder wiederholende Reaktion in einem 2 x 2 Design.

#### 2.4.2.2 Statistische Analyse

Eine multifaktorielle Varianzanalyse (*Analysis of Variance, ANOVA*) mit Messwiederholung wurde mit Hilfe der Software *JASP* (2022, Version 0.16.4, Amsterdam, The Netherlands) für die abhängigen Variablen Genauigkeit [%] und Reaktionszeit [ms] der behavioralen Daten der Stimulus-Reaktions-Aufgabe durchgeführt. Die drei Faktoren der ANOVA bestanden aus der Gruppe, dem

Zwischensubjektfaktor, welcher sich auf die FBS-Gruppe und die gesunden Kontrollen bezog und dem Innersubjektfaktor Stimulus und Reaktion. Diese beinhalteten die Bedingungen für Stimuli wie Stimuluswiederholung oder -alternation und die Reaktionsbedingungen wie Reaktionswiederholung oder -alternation. Weiterhin wurde nach dem Zwischensubjektfaktor Gruppe aufgeschlüsselt und die Unterschiede in der Bindung bestimmt, die in einer Dreifachinteraktion zwischen Gruppe, Stimulus und Reaktion auftraten. Die experimentell vorgesehene Bindung zwischen S1 und R1 kann nur etabliert werden, wenn auf S1 korrekt geantwortet wird. Um eine fehlerhaft etablierte Bindung auszuschließen, wurden Durchgänge mit Hinweiszeichen-S1-Fehlern von der Analyse ausgeschlossen. Dies betraf 1,8 % aller Versuche.

Aufgrund einer Abweichung der behavioralen Daten von der Normalverteilung wurden neben parametrischen t-Tests für abhängige Stichproben auch nichtparametrische Tests wie der Wilcoxon- und Mann-Whitney-Test durchgeführt. Die Post-hoc-Tests wurden mittels Bonferroni-Korrektur weiter quantifiziert und das statistische Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Diese Verfahren ermöglichten die direkte Beurteilung der Bindungseffekte zwischen den verschiedenen Reaktionsbedingungen sowie der Gruppenunterschiede.

Die Bindungseffekte, die aus der wechselseitigen Interaktion zwischen Wiederholung und Alternation der Faktoren Stimulus und Reaktion resultieren, wurden als Differenz zwischen den kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen quantifiziert. Dazu wurden die entsprechenden Bedingungen gemittelt und anschließend gegenübergestellt. Die Gruppenunterschiede wurden mit Hilfe der Genauigkeit, der Reaktionszeit und dem und dem *Balanced Integration Score (BIS)* für die jeweils 2 kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen untersucht. Der *BIS* ( $BIS = z(\text{Genauigkeit}) - z(\text{Reaktionszeit})$ ) ist ein etabliertes Maß, welches die Reaktionsgeschwindigkeit und Genauigkeit nach z-Standardisierung kombiniert und als Verhaltensparameter in gleichem Maße berücksichtigt, um ein mögliches Missverhältnis der beiden gegensätzlichen Komponenten zu vermeiden (Liesefeld und Janczyk, 2019). Eine bessere Performance drückt sich in höheren *BIS*-Werten aus. Bei der z-Transformation werden die Werte normiert, sodass sie einen Mittelwert von 0 und die Standardabweichung von 1 aufweisen, dies gilt für alle

Bedingungen aller Teilnehmenden (Liesefeld und Janczyk, 2019). Der *Inverse Efficiency Score (IES)* (Townsend und Ashby, 1983) ist ein kombiniertes Maß aus Reaktionszeit und Genauigkeit ( $IES = \text{Reaktionsgeschwindigkeit [ms]} / \text{Genauigkeit [\%]}$ ) und wurde zusätzlich berechnet. Der *IES* bildet ein Verhältnis aus beiden Parametern und berücksichtigt somit unterschiedliche Strategien wie ein schnelles, aber ungenaues Antworten oder ein langsames, dafür fehlerarmes Antworten (Liesefeld und Janczyk, 2019). Der *IES* fällt mit zunehmender Leistung. Bindungseffekte werden anhand der Genauigkeit und der Reaktionszeit definiert und zeigen sich in einer geringeren Genauigkeit, einer längeren Reaktionszeit und somit einem höheren *IES* bei bindungsinkompatiblen im Vergleich zu bindungskompatiblen Bedingungen. Die jeweiligen Effektstärken wurden unter Zuhilfenahme des partiellen Eta-Quadrates ( $\eta_p^2$ ) ermittelt und eine logarithmische Transformation des *IES* ( $\log IES$ ) und der Reaktionszeit ( $\log RT$ ) durchgeführt. Das Empfindlichkeitsmaß (*Signal-Theoretic Sensitivity Index, d-prime*) vermeidet Verzerrungen, die durch die begrenzte Genauigkeitsskala im Vergleich zur kontinuierlichen Reaktionszeitskala entstehen (Hautus, 1995).

### **2.4.3 Neurophysiologische Untersuchung**

#### **2.4.3.1 Ableitung des Elektroenzephalogramms**

Die Aufzeichnung des EEGs erfolgte mit einer Abtastfrequenz von 500 Hz gegen die Referenzelektrode Fpz. 60 Silber-Silberchlorid-Elektroden (*EasyCap*, Deutschland) waren äquidistant um die zentrale Elektrode Cz angeordnet. Die Masseelektrode wurde bei den Koordinaten  $\theta = 58$ ,  $\varphi = 78$  und die Referenzelektrode bei  $\theta = 90$ ,  $\varphi = 90$  positioniert. Vor Beginn der Aufnahme wurde durch die Impedanzmessung sichergestellt, dass der Widerstand zwischen den Elektroden und der Kopfhaut 5 k $\Omega$  nicht überschreitet. Um Artefakte zu vermindern, wurde die Kopfhaut der Teilnehmenden mit einem Hautpeeling (*Nuprep*, Weaver and Company, Aurora, USA) vorbereitet und mit einem Elektrodengel (*LECTRON III*, Medizintechnik Berger, Bad Oldesloe, Deutschland) die Übertragung verbessert. Für die Aufnahme wurden die Elektroden mit zwei *BrainAmp DC* Verstärkern und die *BrainVision Recorder Software Version 1.2* (*Brain Products*, Deutschland) verbunden. Die Elektroenzephalographie wurde zu Beginn der Stimulus-Reaktions-Aufgabe gestartet.

#### 2.4.3.2 Vorverarbeitung

Die Daten wurden nachträglich mit Hilfe des Programmes *BrainVision Analyzer 2.2* (*Brain Products*, Deutschland) vorverarbeitet mit dem Ziel, die EKP zu extrahieren. Zunächst wurde die Abtastrate von 500 Hz auf 256 Hz zur Reduzierung der Datenmenge herabgesetzt. Zur Eliminierung von Störeinflüssen durch das Stromnetz, Muskelaktivität oder Schwitzen wurde ein Bandpassfilter mit den Grenzfrequenzen von 0,5 Hz bis 40 Hz und eine Bandsperrefilterung mit einer Frequenz von 50 Hz angewandt. Einzelne Kanäle konnten im nächsten Schritt entfernt werden, falls diese kein verwendbares Signal lieferten. Anschließend wurde als neue Referenz der Daten die durchschnittliche Aktivität gewählt, die über alle Kopfhautelektroden gemessen wurde. Danach konnten technische Artefakte und große sporadische und unregelmäßige Artefakte wie plötzliche Bewegungen während der manuellen Inspektion entfernt und korrigiert werden. Regelmäßige physiologische Artefakte, die durch Blinzeln, Augenbewegungen oder pulsierende Gefäße entstanden sind, wurden durch die unabhängige Komponentenanalyse entfernt. Die manuelle Inspektion der Daten erfolgte erneut mit strengem Ausschluss von Artefakten, die nicht von der unabhängigen Komponentenanalyse erkannt worden waren. Schließlich folgte eine topographische Interpolierung für alle zuvor entfernten Kanäle. Die vorverarbeiteten Daten wurden segmentiert und in Zeitfenster anhand des Auftretens von S2 unterteilt.

Nach der Aufteilung der Datenmenge in kurze Abschnitte, erfolgte ein automatischer Artefaktausschluss. Alle Durchgänge wurden von der Analyse ausgeschlossen, deren Amplituden außerhalb des Bereiches zwischen  $-100$  und  $100 \mu\text{V}$  lagen sowie Aktivitäten unter  $0,5 \mu\text{V}$  über ein Zeitintervall von mindestens  $100 \text{ ms}$ . Im Anschluss wurde eine *Current-Source-Density-Transformation* angewandt, um die Topographie der Kopfhaut darzustellen und jene Elektroden zu identifizieren, die die Amplitudenveränderung am besten widerspiegeln (Kayser und Tenke, 2015; Tenke und Kayser, 2012). Ein separater Datensatz ohne *Current-Source-Density-Transformation* wurde speziell für die Quellenlokalisationsmethode erstellt. Anschließend erfolgte eine Baseline-Korrektur zur Mittelung der Daten, die die mittlere Aktivität in dem Zeitintervall von  $-200 \text{ ms}$  bis  $0 \text{ ms}$  vor Stimulus S2 als Nullwert annahm und für jede Bedingung und jeden Teilnehmenden wurden Durchschnittswerte gebildet.

### **2.4.3.3 Verarbeitung mittels *Residue Iteration Decomposition***

Die Zerlegung wurde mit der *RIDE*-Toolbox in MATLAB 2019a (*The MathWorks Corp.*, Natick, MA, USA) vorgenommen und zuvor in unserer Arbeitsgruppe in Kleimaker et al. (2020) nach dem Verfahren von Ouyang et al. (2011) zur Dekodierung von *TEC*-bezogenen Kodierungsebenen im EEG eingesetzt.

Nach Ouyang et al. (2015) teilt *RIDE* das EEG in ein S-, R- und C-Cluster ein. Das S-Cluster spiegelt die neurophysiologischen Reaktionen wider, die während der Verarbeitung des Stimulus ablaufen, insbesondere während der Stimuluswahrnehmung, während das R-Cluster die motorische Vorbereitung und Ausführung der Reaktion auf den präsentierten Stimulus abbildet. Das C-Cluster hingegen erfasst die intermediären Prozesse zwischen Stimulus und Reaktion, zu denen beispielsweise die Entscheidungsfindung, die Reaktionsauswahl und Bindungseffekte zählen (Opitz et al., 2020; Ouyang et al., 2015).

EKP werden konventionell durch Mittelwertbildung aus einer Reihe von Einzelversuchen gewonnen (Ouyang et al., 2015). Es wird angenommen, dass EKP aus verschiedenen Komponenten bestehen, deren Latenzen zwischen einzelnen Durchgängen variieren (Luck, 2014). Diese Latenzvariabilität führt dazu, dass die resultierende, gemittelte EKP-Wellenform unscharf wird, da sich die zeitlich versetzten Komponenten überlagern (Ouyang et al., 2015). Daher werden die EKP entsprechend ihrer Latenzvariabilität in separate Komponentencluster aufgeteilt (Ouyang et al., 2015).

Der *RIDE*-Algorithmus umfasst nach Ouyang et al. (2015) mehrere Schritte: Zunächst wird eine Startlatenz des C-Clusters geschätzt. Anschließend erfolgt die getrennte Berechnung des S-, C- und R-Clusters. Diese Aufteilung basiert auf dem Stimulusbeginn, den individuellen Latenzen sowie der Reaktionszeit. Im dritten Schritt wird die Latenz des C-Clusters neu ermittelt, indem von den Einzelversuchen zunächst die Beträge des S- und R-Clusters subtrahiert werden. Für die Berechnung des S-Clusters wird analog von jedem Einzelversuch der Betrag der C- und R-Komponenten entfernt. *RIDE* gleicht das Residuum aller Versuche im definierten Zeitfenster mit dem S-Cluster ab, um daraus den Median der Wellenform für alle Zeitpunkte zu ermitteln. Analog werden dann die anderen Cluster abgeleitet. Diese Prozesse werden durch das Iterationsschema mehrfach wiederholt, bis eine

Konvergenz erreicht ist. Dadurch wird die Schätzung der Clusterkomponenten verbessert. Nach Abschluss der Iteration werden aus den getrennten Clustern die jeweiligen Wellenformen extrahiert. Für jeden Einzelversuch lassen sich daraufhin die zugehörigen Amplituden und Latenzen bestimmen. Abschließend werden die einzelnen Cluster jeweils an ihren wahrscheinlichsten Latenzen relativ zum Stimulus synchronisiert und zur Rekonstruktion eines schärferen EKP wieder zusammengeführt. Für jede Elektrode wird *RIDE* separat durchgeführt, sodass die drei Cluster von allen Elektrodenpositionen erfasst werden können.

Dabei werden vordefinierte Zeitfenster in Bezug auf den Stimulus- und Reaktionsbeginn benötigt, um die Wellenformen für jedes Cluster extrahieren zu können. Die folgenden Intervalle wurden für die Dekomposition der anfänglichen Clusterschätzungen verwendet: Das S-Cluster wurde über das Zeitfenster von 0 bis 500 ms nach Stimulusbeginn S2 abgebildet, das R-Cluster über den Zeitraum von 300 ms vor bis 300 ms nach den Reaktionsmarkern R2 und das C-Cluster über das Intervall von 250 bis 750 ms nach der S2-Stimuluspräsentation.

Aufgrund von vorherigen Studienergebnissen von Kleimaker et al. (2020) sollten sich sensomotorische Integrationsprozesse und die Etablierung einer Ereignisdatei in der P3-Komponente widerspiegeln. Für die weitere Analyse von stimulusbezogenen P3-Wellenformen wurden Elektroden ausgewählt, die signifikant größere mittlere Amplituden aufwiesen als die übrigen Elektroden. Auf Grundlage der Kopfhauttopographie wurde die zentroparietale Elektrode 1 (CP1) auf der linken und die korrespondierende zentroparietale Elektrode 2 (CP2) auf der rechten Hemisphäre ausgewählt. Diese Elektroden zeigten eine deutliche zentroparietale Positivität und waren mit den zuvor verwendeten Elektroden für die Untersuchung von Bindungseffekten vergleichbar (Kleimaker et al., 2020; Opitz et al., 2020; Takacs, Zink, et al., 2020).

Die Analysen wurden separat für die Daten der Hauptamplitude im R- und C-Cluster durchgeführt. Die P3-Wellenform hatte in der gesunden Kontrollgruppe im Zeitfenster zwischen 500 und 600 ms ihre maximale Ausprägung, basierend auf der Kopfhauttopographie in den C-Cluster- und R-Cluster-Daten. Dieses Zeitfenster wurde auch für die FBS-Gruppe als Referenzzeitraum verwendet, um mögliche Unterschiede zu den gesunden Kontrollen abschätzen zu können. Auch in früheren

Arbeiten mit diesem Paradigma wurde die P3-Wellenform bei ungefähr 500 ms ermittelt (Kleimaker et al., 2020; Takacs, Zink, et al., 2020). Innerhalb dieses Zeitfensters wurde die mittlere P3-Amplitude bestimmt und auf der Ebene der Teilnehmenden extrahiert. Das Zeitintervall zwischen 300 – 600 ms nach S2-Beginn an der CP1- und CP2-Elektrode für jedes *RIDE*-Cluster wurde analysiert. Amplitudenveränderungen waren am deutlichsten im C-Cluster erkennbar. In diesem Abschnitt wurden auch die Daten im S-Cluster und R-Cluster analysiert. Die drei Cluster wurden unter den kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen betrachtet. Die Vorverarbeitung und Verarbeitung des EEGs bis einschließlich *RIDE* erfolgte in Lübeck.

#### **2.4.3.4 Verarbeitung mittels *standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography***

*sLORETA* ermöglicht eine präzise dreidimensionale Visualisierung der elektrischen Hirnaktivität innerhalb eines realistischen Kopfmodells, indem der Kortex als eine Sammlung von Volumenelementen bzw. Voxeln abgebildet wird (Pascual-Marqui et al., 2002). Wie in Dippel und Beste (2015) wurde insgesamt für das intrazerebrale Volumen 6239 Voxel erzeugt und mit einer räumlichen Auflösung von 5 mm unterteilt. Die standardisierte Stromdichte wurde für jedes Voxel berechnet. Die *sLORETA*-Quellenanalyse wurde unter Verwendung eines Randomisierungstests mit 5000 Permutationen im Rahmen eines statistischen nichtparametrischen Mappings durchgeführt. Die Berechnung mittels *sLORETA* und die finale Auswertung ist in Zusammenarbeit mit dem Institut für Kognitive Neurophysiologie der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie der Technischen Universität Dresden erfolgt.

#### **2.4.3.5 Statistische Analyse**

Mit Hilfe einer multifaktoriellen *ANOVA* mit Messwiederholung wurden die mittleren P3-Amplitudendaten der EKP im R- und C-Cluster analysiert. Die abhängige Variable der P3-Amplitude wurde mit dem Faktor Gruppe zwischen und den Faktoren Stimulus, Reaktion und innerhalb der Teilnehmenden analysiert.

Aufgrund der fehlenden P3-ähnlichen Wellenform im S-Cluster wurde diese bei den nachfolgenden, neurophysiologischen Analysen nicht berücksichtigt. Die

neurophysiologischen Bindungseffekte wurden weiter quantifiziert als Differenz der P3-Amplitude zwischen den unterschiedlichen kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen. Diese wurden einzeln für beide Reaktionsarten und für jedes Cluster jeder Gruppe berechnet. Die Innersubjektfaktoren beinhalteten die Elektroden CP1 und CP2. Insgesamt wurden die abhängigen Variablen Reaktionszeit und Genauigkeit, die P3-Amplitude, die Faktoren Stimulus und Reaktion sowie die Elektroden CP1 und CP2 innerhalb der Gruppen analysiert.

In einer weiteren Analyse wurden die Korrelationen zwischen behavioralen und neurophysiologischen Bindungseffekten und der Symptomstärke betrachtet. Für die Untersuchung zwischen den *S-FMDRS*-Werten und den behavioralen Bindungseffekten wurde die Rangkorrelation nach Spearman verwendet. Mit Hilfe der Pearson-Korrelationsanalyse wurden die Bindungseffekte innerhalb der neurophysiologischen Daten für jedes Cluster und für die CP1- und CP2-Elektrode separat erstellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der neurologischen Untersuchung

Die Mehrheit der Patientinnen und Patienten zeigte funktionelle Gangstörungen (n = 15), gefolgt von funktionellem Zittern (n = 8), funktionellen Tic-ähnlichen Störungen (n = 5) und funktionellen Zuckungen (n = 1). Gleichzeitig wiesen alle Patientinnen und Patienten mit funktionellem Tremor auch eine funktionelle Gangstörung auf. Die mittlere Erkrankungsdauer betrug  $4,43 \pm 3,94$  Jahre mit einer Spannweite von 1 – 12 Jahren. Der mittlere *S-FMDRS*-Wert lag bei  $9,24 \pm 6,05$  mit einer Spannweite von 0 – 26. Das durchschnittliche Erkrankungsalter betrug  $34,14 \pm 15,08$  Jahre mit einer mittleren Krankheitsdauer von  $4,43 \pm 3,94$  Jahren zum Untersuchungszeitpunkt. Eine Übersicht ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Übersicht über demographische und klinische Merkmale der Patientinnen und Patienten mit FBS. Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

Patientin Patient	Geschlecht	UA	EA	Funktionelle Hauptsymptome	Lokali- sation	<i>S-FMDRS</i> - Wert
001	w	63	63	Gangstörung	UE	4
003	w	55	54	Gangstörung, Zittern	OE, UE	6
006	w	46	41	Gangstörung	UE	6
007	w	47	43	Zuckungen	OE	12
009	m	39	27	Gangstörung, Zittern	OE, UE	14
010	m	42	35	Gangstörung, Zittern	OE, UE	15
011	m	16	15	Tics	OE	0
012	m	48	47	Gangstörung	UE	9
013	w	54	46	Gangstörung	UE	13
014	w	17	16	Tics	OE	10
015	w	28	24	Gangstörung, Zittern	UE	6
016	m	52	42	Gangstörung, Zittern	OE, UE	10
017	w	50	47	Gangstörung	UE	2
018	w	37	35	Gangstörung, Zittern	OE, UE	26
020	w	20	12	Tics	OE	2
021	w	23	22	Tics	OE	10
022	w	18	6	Gangstörung, Zittern	OE, UE	14
023	w	31	30	Gangstörung	UE	6
024	m	53	50	Gangstörung, Zittern	OE, UE	17
025	m	47	38	Gangstörung	OE, UE	4
026	w	25	24	Tics	OE	8

UA = Untersuchungsalter; EA = Erkrankungsalter; *S-FMDRS* = *Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale*; w = weiblich; m = männlich; OE = obere Extremität; UE = untere Extremität

### 3.2 Ergebnisse der behavioralen Untersuchung

Es wurde eine multifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Bezüglich der Genauigkeit zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Stimulus und Reaktion beider Gruppen [ $F(1;40) = 85,21$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,681$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 1), was gemäß Colzato et al. (2006) auf Bindungsprozesse schließen lässt. Die Genauigkeit stieg von der inkompatiblen Bedingung der Reaktionswiederholung mit Stimulusalternation ( $83,9 \% \pm 11,8 \%$ ) zur kompatiblen Bedingung mit Stimuluswiederholung ( $95,5 \% \pm 4,2 \%$ ) (siehe Ergänzende Tabelle 2). Im Gegensatz dazu sank die Genauigkeit bei einer Reaktionsalternation von der kompatiblen Bedingung der Stimulusalternation ( $95,4 \% \pm 6,6 \%$ ) zur inkompatiblen Bedingung mit Stimuluswiederholung ( $82,9 \% \pm 12,8 \%$ ), wie in Abbildung 4 A) dargestellt (siehe Ergänzende Tabelle 2). Insgesamt war die Leistung der gesunden Kontrollen ( $92,0 \% \pm 5,2 \%$ ) signifikant genauer als die Leistung der Patientinnen und Patienten mit FBS ( $86,9 \% \pm 8,3 \%$ ), da ein Hauptgruppeneffekt [ $F(1;40) = 5,53$ ,  $p = 0,024$ ,  $\eta_p^2 = 0,121$ ] vorlag (siehe Ergänzende Tabelle 1 und 3). Signifikante Interaktionen zeigten sich nicht nur für die Genauigkeit, sondern auch für die Reaktionszeit zwischen den Faktoren Reaktion und Stimulus [ $F(1;40) = 67,37$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,627$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 4).

Die Teilnehmenden erzielten in kompatiblen Bedingungen, in denen sowohl Reaktion als auch Stimulus wiederholt oder beide gewechselt wurden, bessere Leistungen als in inkompatiblen Bedingungen. In inkompatiblen Bedingungen führten entgegengesetzte Kombinationen von Stimulus und Reaktion zu Kosten durch die partielle Wiederholung, die sich in Form von langsameren Reaktionszeiten und einer erhöhten Fehlerquote äußerten. Die vorherige Bindung zwischen R1 und S1 musste rekonfiguriert werden, wenn entweder die Reaktion R2 oder der Stimulus S2 von seinem Vorgänger abwich. Somit zeigten beide Gruppen einen Bindungseffekt, definiert anhand der Genauigkeit und der Reaktionszeit. Die Hypothese 1 muss folglich angenommen werden.

Weiterhin ergab die ANOVA eine signifikante Dreifachinteraktion für die Faktoren Gruppe, Reaktion und Stimulus [ $F(1;40) = 4,54$ ,  $p = 0,04$ ,  $\eta_p^2 = 0,102$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 1). Dies zeigt, dass sich die Bindungseffekte deutlich zwischen

den beiden Gruppen unterschieden. Im Einzelnen war der behaviorale Bindungswert der FBS-Gruppe ( $14,81 \pm 9,81$ ) in Bezug auf die Genauigkeit höher als bei den gesunden Kontrollen ( $9,26 \pm 6,82$ ,  $p = 0,045$ ) (siehe Ergänzende Tabelle 5). Weiterhin gab es bezüglich Genauigkeit eine Interaktion zwischen Stimulus und Reaktion bei den Patientinnen und Patienten [ $F(1;20) = 47,85$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,705$ ] und den gesunden Kontrollen [ $F(1;20) = 38,71$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,659$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 6a und b). Die Bindungseffekte der Patientinnen und Patienten waren aufgrund der höheren Effektgröße  $\eta_p^2$  als stärker einzuordnen als bei den gesunden Kontrollen. Wurden Reaktionswiederholungen gefordert, war der Unterschied zwischen der kompatiblen Bedingung mit einer Stimuluswiederholung und der inkompatiblen Bedingung mit einer Stimulusalternation bei der FBS-Gruppe größer ( $15,5 \% \pm 11,7 \%$ ) als bei den gesunden Kontrollen ( $7,6 \% \pm 5,8 \%$ ;  $p = 0,018$ ) (siehe Ergänzende Tabelle 7a). In den Reaktionsalternationsbedingungen gab es jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = 0,247$ ) (Ergänzende Tabelle 7b). Die Gruppen unterschieden sich signifikant im genauigkeitsbezogenen Bindungseffekt, jedoch nicht signifikant bezüglich der Reaktionszeit ( $p = 0,220$ ).

Die FBS-Gruppe wies auf der Verhaltensebene eine stärkere Bindung zwischen Wahrnehmung und der folgenden Handlung auf, wenn ein Wechsel von kompatiblen zu inkompatiblen Bedingungen stattfand. Dies ging mit erhöhten Kosten partieller Wiederholung einher. Die geschilderten Ergebnisse liefern die Grundlage für die Bestätigung von Hypothese 2.

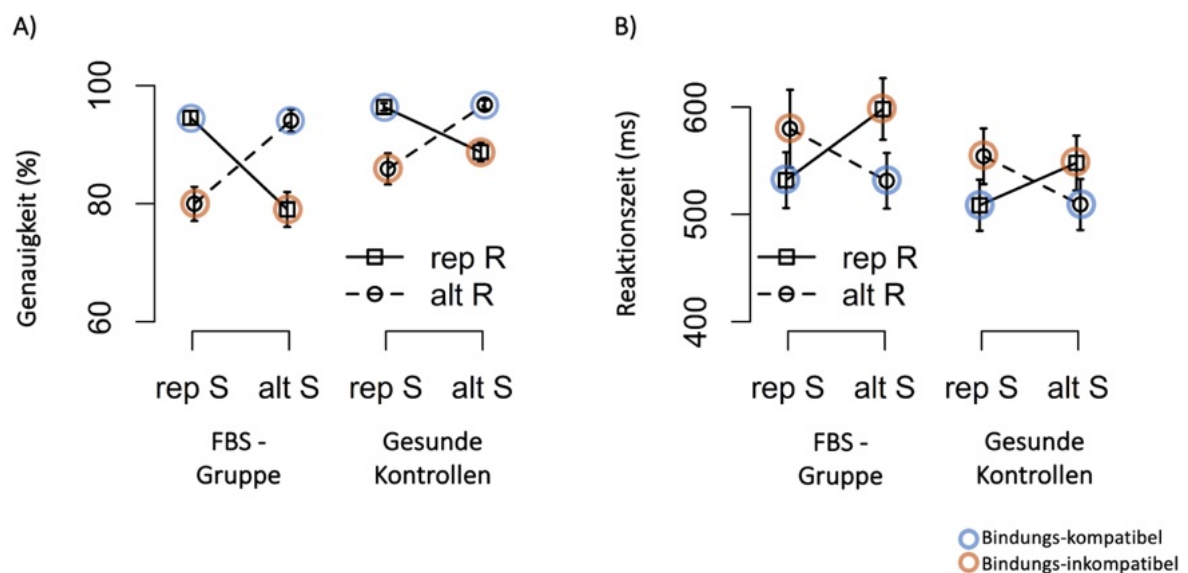
Die obigen Ergebnisse konnten durch Kontrollanalysen bestätigt werden. Erstens wurde zur Kontrolle der Gruppeneffekt genauer betrachtet und die Bindungswerte wurden direkt quantifiziert. Dabei wurde festgestellt, dass die Werte nicht einer Normalverteilung folgten. In der Folge wurden parametrische und nichtparametrische Tests durchgeführt, um die Effekte zu stützen. Hierbei bestand auch für den *BIS* eine dreifache Interaktion zwischen Gruppe, Stimulus und Reaktion [ $F(1;40) = 5,58$ ,  $p = 0,023$ ,  $\eta_p^2 = 0,123$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 8), wodurch die Reaktionszeit und die Genauigkeitsrate als Verhaltensparameter gleich gewichtet wurden und die aufgezeigten erhöhten Bindungseffekte bei Patientinnen und Patienten mit FBS mit signifikanten Werten ( $p = 0,014$ ) unterstrichen wurden

(siehe Ergänzende Tabelle 5). Im Gegensatz zur Reaktionszeit befanden sich die Werte der bindungskompatiblen Bedingungen für die Genauigkeit dichter an der 100 %-Grenze, weil weniger Raum für Variation vorhanden war. Diese Verzerrungen werden durch die begrenzte Genauigkeitsskala verursacht, den sogenannten Deckeneffekt und werden durch den *d-prime* vermieden. Der *d-prime* bestätigte den Bindungseffekt ( $p < 0,001$ ), jedoch zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = 0,059$ ) (siehe Ergänzende Tabelle 5). Signifikante Bindungseffekte konnten durch weitere Analysen mit kombinierten Maßen wie *BIS* ( $p < 0,001$ ), *IES* ( $p < 0,001$ ), *logIES* ( $p < 0,001$ ), *logRT* ( $p < 0,001$ ) bestätigt werden und auch die Unterschiede im Bindungseffekt zwischen den Gruppen weiter bestärken (siehe Ergänzende Tabelle 5).

Zweitens zeigten fünf Teilnehmende aus beiden Gruppen (1 Patientin, 2 Patienten, 1 gesunde Probandin, 1 gesunder Proband) schlechtere Leistungen im Vergleich zur Gesamtheit der Teilnehmenden. Die Genauigkeit lag knapp über dem Zufallsniveau von 50 % in einigen Bedingungen. Deshalb wurde eine Kontrollanalyse durchgeführt, um sicherzustellen, dass die festgestellten Gruppenunterschiede nicht auf ein fehlerhaftes Verständnis der Aufgabe oder eine generell schlechte Leistung zurückzuführen sind. Nur Teilnehmende mit einer R2-Genauigkeit von mindestens 60 % in jeder der vier Bedingungen wurden berücksichtigt. Die Analyse schloss 18 Patientinnen und Patienten und 19 gesunde Kontrollpersonen ein und bestätigte die bereits gezeigten Ergebnisse. Der Bindungseffekt zwischen den Gruppen für die Genauigkeit ( $p = 0,026$ ) und die Reaktionszeit ( $p = 0,028$ ) war signifikant (siehe Ergänzende Tabelle 9). Darüber hinaus ergab die Analyse einen Gruppeneffekt [ $F(1;35) = 7,16$ ,  $p = 0,01$ ,  $\eta_p^2 = 0,170$ ] und eine Interaktion von Gruppe, Stimulus und Reaktion für die Genauigkeit [ $F(1;35) = 5,75$ ,  $p = 0,022$ ,  $\eta_p^2 = 0,141$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 10a), für die Reaktionszeit [ $F(1;35) = 5,71$ ,  $p = 0,022$ ,  $\eta_p^2 = 0,140$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 10b) und für den *BIS* [ $F(1;35) = 10,04$ ,  $p = 0,003$ ,  $\eta_p^2 = 0,223$ ] (siehe Ergänzende Tabelle 10c). Dies spiegelt eine stärkere Bindung der FBS-Gruppe im Vergleich zu den gesunden Kontrollen wider. Dieser Kontrollausschluss von fünf Teilnehmenden hob das 1:1-Matching zwischen der FBS-Gruppe und den gesunden Kontrollen auf, veränderte jedoch nicht die Gruppenunterschiede in Bezug auf Alter und *WAIS-IV*-Ergebnis

und führte zu keinem Geschlechterungleichgewicht (13 weibliche und 5 männliche Personen; 13 weibliche und 6 männliche Kontrollpersonen).

Drittens zeigten Patientinnen und Patienten mit einer funktionellen Beeinträchtigung der oberen Extremität ( $n = 14$ ) behavioral keine Nachteile beim Antworten mit den Zeigefingern im Vergleich zu Betroffenen ohne Beteiligung der oberen Extremität ( $n = 7$ ). Die Ergebnisse bezüglich der Genauigkeit ( $p = 0,585$ ), der Reaktionszeit ( $p = 0,585$ ), des *B/S* ( $p = 0,488$ ) und des *IES* ( $p = 0,535$ ) zeigten keinen signifikanten Unterschied in den Bindungseffekten zwischen den Gruppen bei Unterteilung nach der Symptomlokalisierung (siehe Ergänzende Tabelle 11).



**Abbildung 4:** Ergebnisse von Genauigkeit (A) und Reaktionszeit (B) der Stimulus-Reaktions-Aufgabe. Bindungseffekte für die mittlere Genauigkeit und die mittlere Reaktionszeit in kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen unterteilt in FBS-Gruppe und gesunde Kontrollen. Wiederholende Reaktionen sind durch gestrichelte Linien dargestellt, alternierende Reaktionen durch durchgehende Linien (rep S = Stimuluswiederholung, alt S = Stimulusalternation, rep R = Reaktionswiederholung, alt R = Reaktionsalternation). Die linke Abbildung A) zeigt höhere Genauigkeit bei kompatiblen (blaue Kreise) im Vergleich zu inkompatiblen Bedingungen (orangefarbene Kreise) an. Die rechte Abbildung B) zeigt geringere Reaktionszeiten bei kompatiblen (blaue Kreise) im Vergleich zu inkompatiblen Bedingungen (orangefarbene Kreise) an. Die Bindung als Interaktion zwischen Stimulus und Reaktion war bei der FBS-Gruppe stärker als bei gesunden Kontrollpersonen, was durch einen steileren Anstieg der Achse dargestellt wird. Die Steilheit der Kreuzung zeigt die Bindungsstärke an. Die Genauigkeit ist in Prozent [%], die Reaktionszeit in Millisekunden [ms] dargestellt. Das Streuungsmaß ist der Standardfehler. Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

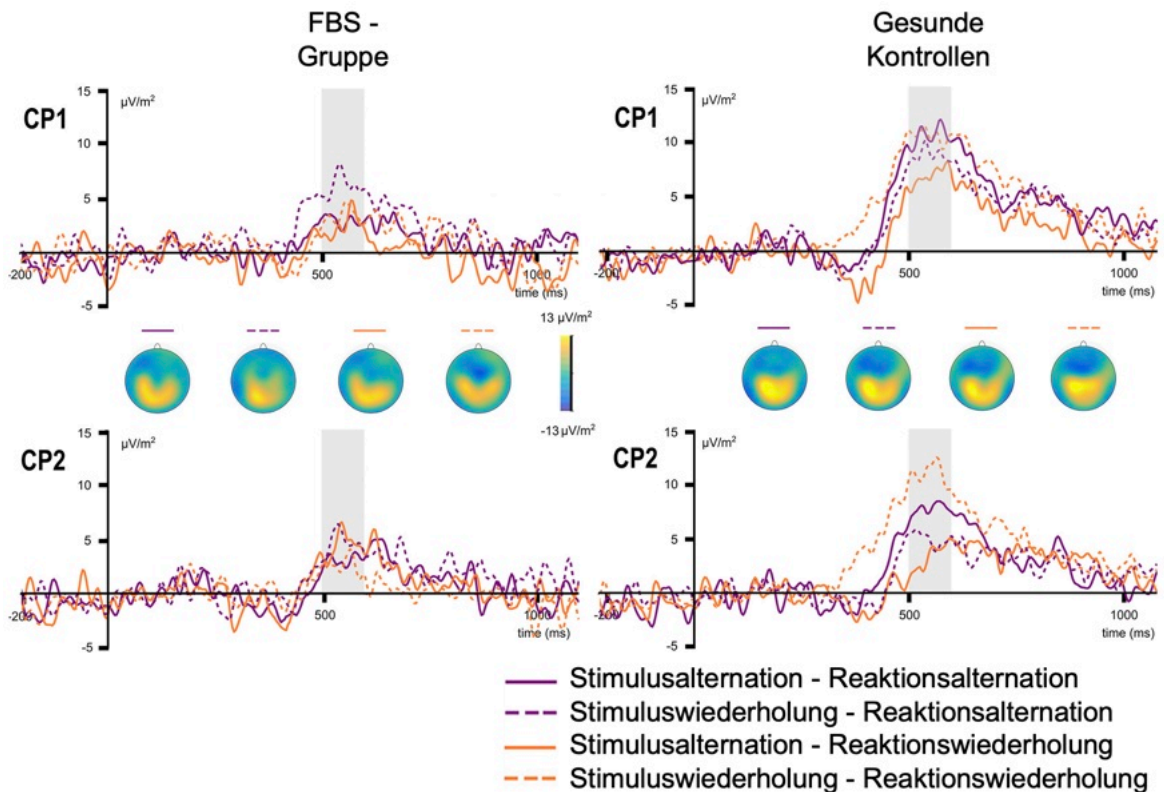
### 3.3 Ergebnisse der neurophysiologischen Untersuchung

Um die neurophysiologischen Korrelate der behavioralen Bindungseffekte zu charakterisieren, wurde zuvor *RIDE* für die Segmentierung des EEGs verwendet. Danach wurde eine multifaktorielle *ANOVA* mit Messwiederholung durchgeführt.

Die *ANOVA* zeigte im analysierten Zeitfenster von 500 – 600 ms des C-Clusters (siehe Abbildung 5) keine signifikanten Haupteffekte für einen der drei Faktoren Gruppe, Stimulus oder Reaktion. Signifikante Interaktionen wurden jedoch zwischen den Faktoren Stimulus und Reaktion [ $F(1;35) = 4,79$ ,  $p = 0,035$ ,  $\eta_p^2 = 0,120$ ]; Stimulus, Reaktion und Gruppe [ $F(1;35) = 13,6$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta_p^2 = 0,280$ ]; Stimulus, Elektrode und Gruppe [ $F(1;35) = 4,72$ ,  $p = 0,037$ ,  $\eta_p^2 = 0,119$ ] und Stimulus, Reaktion, Elektrode und Gruppe [ $F(1;35) = 5,33$ ,  $p = 0,027$ ,  $\eta_p^2 = 0,132$ ] festgestellt.

In der CP2-Elektrode zeigten die gesunden Kontrollpersonen eine Abnahme der mittleren P3-Amplitude beim Wechsel von der kompatiblen Bedingung mit Stimulusalternation und Reaktionsalternation ( $8,98 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 2,09$ ) zur inkompatiblen Bedingung der Stimuluswiederholung mit Reaktionsalternation ( $5,47 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 1,93$ ,  $p = 0,026$ ). Zudem zeigten sich diese Effekte auch in der anderen kompatiblen Bedingung der Stimuluswiederholung mit Reaktionswiederholung ( $11,87 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 2,38$ ) hin zur inkompatiblen Bedingung der Stimulusalternation mit Reaktionswiederholung ( $4,23 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 2,31$ ,  $p < 0,001$ ) (siehe Abbildung 5). Zusammenfassend waren die Amplitudenhöhen bei inkompatiblen Bedingungen geringer.

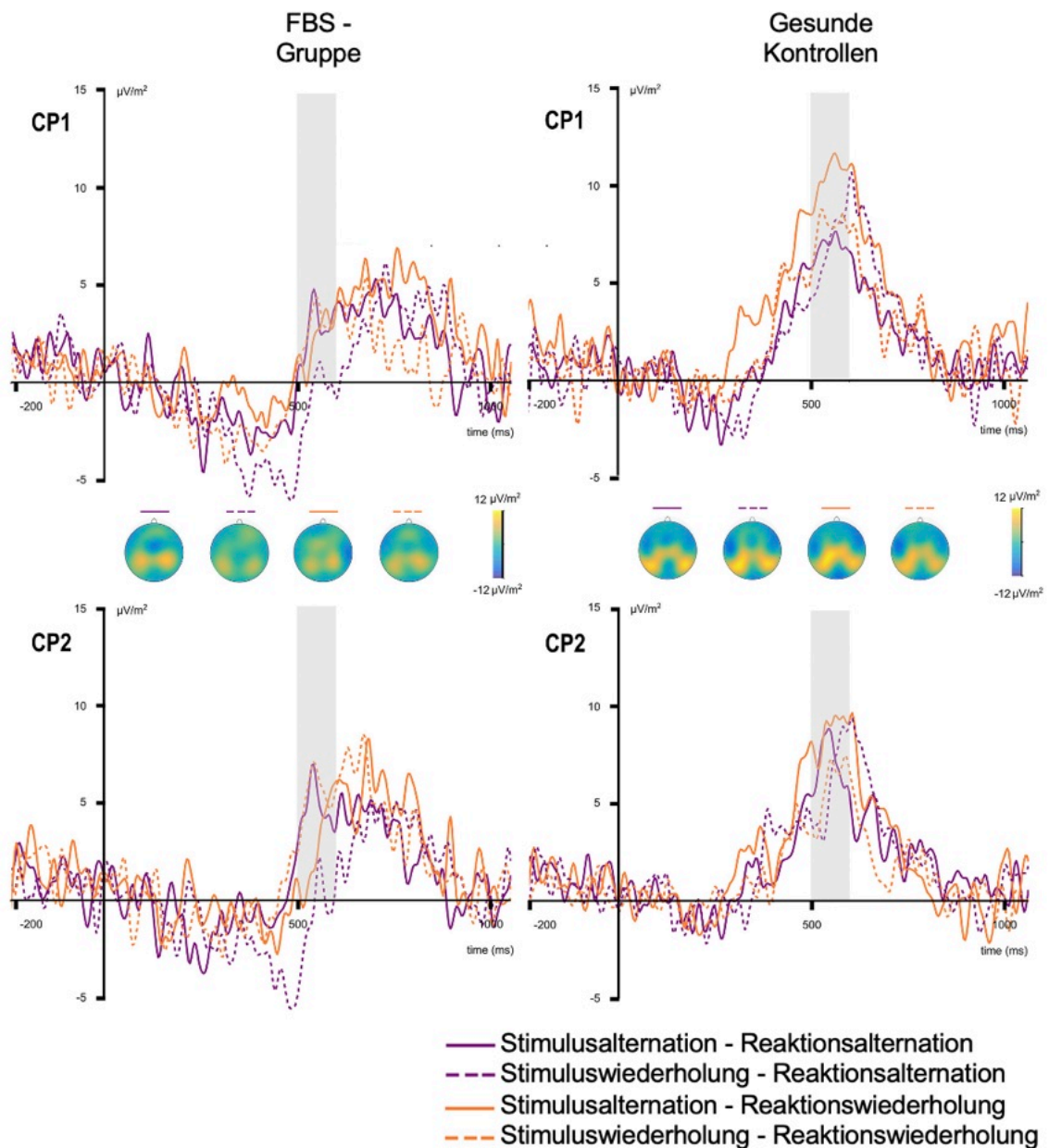
Gesunden Kontrollpersonen zeigten signifikante, bindungsbezogene Veränderungen der P3-Amplitude im C-Cluster bzw. Bindungseffekte in Form von Amplitudenmodulationen. Damit konnten die Ergebnisse von zuvor durchgeführten EKP-Studien zur Bindung von Ereignisdateien bestätigt werden, in denen Bindungsprozesse bei Kontrollpersonen im C-Cluster dargestellt worden war (Kleimaker et al., 2020; Takacs, Zink, et al., 2020). Weiter konnten keine signifikanten Bindungseffekte ( $p > 0,077$ ) bei gesunden Kontrollpersonen in der CP1-Elektrode festgestellt werden sowie keine bindungsbezogenen Amplitudenänderungen bei der FBS-Gruppe im C-Cluster ( $p > 0,109$ ).



**Abbildung 5:** Ergebnisse der EKP. C-Cluster mit P3-Wellenformen der CP1- und CP2-Elektrode als Funktion der zwei kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen aufgeteilt in FBS-Gruppe und gesunde Kontrollen. Der Stimulus S2 wird bei 0 ms gezeigt. Der grau hinterlegte Bereich zeigt das analysierte Zeitfenster von 500 – 600 ms. Auf der X-Achse ist die Zeit in Millisekunden (ms), auf der Y-Achse ist die Amplitude in  $\mu\text{V}/\text{m}^2$  dargestellt. Die dazwischenliegenden Topographiediagramme der Kopfhaut zeigen die Verteilung der mittleren Aktivität unter den vier Bedingungen. Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

Im R-Cluster (siehe Abbildung 6) ergab die ANOVA zwischen 500 und 600 ms einen Haupteffekt für den Faktor Reaktion [ $F(1;35) = 9,65$ ,  $p = 0,004$ ,  $\eta_p^2 = 0,216$ ]. Hierbei war die Amplitude bei Alternationsbedingungen ( $3,12 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 1,17$ ) kleiner als bei Wiederholungsbedingungen ( $4,73 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 1,04$ ). Keine anderen Effekte für die Faktoren Gruppe und Stimulus waren signifikant (alle  $F < 3,04$ ;  $p > 0,09$ ). Eine Dreifach-Interaktion der Faktoren Gruppe, Stimulus und Reaktion [ $F(1;35) = 7,91$ ,  $p = 0,008$ ,  $\eta_p^2 = 0,184$ ] war vorhanden, was den verhaltensbezogenen Ergebnissen entspricht. Bei der FBS-Gruppe verringerte sich die mittlere P3-Amplitude im R-Cluster von der kompatiblen Bedingung der Stimulusalternation mit Reaktionsalternation ( $2,61 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 1,82$ ) hin zur inkompatiblen Bedingung der Stimuluswiederholung mit Reaktionsalternation ( $-1,71 \mu\text{V}/\text{m}^2 \pm 1,88$ ,  $p = 0,07$ ). Hingegen gab es keine signifikante Amplitudenmodulation zwischen den

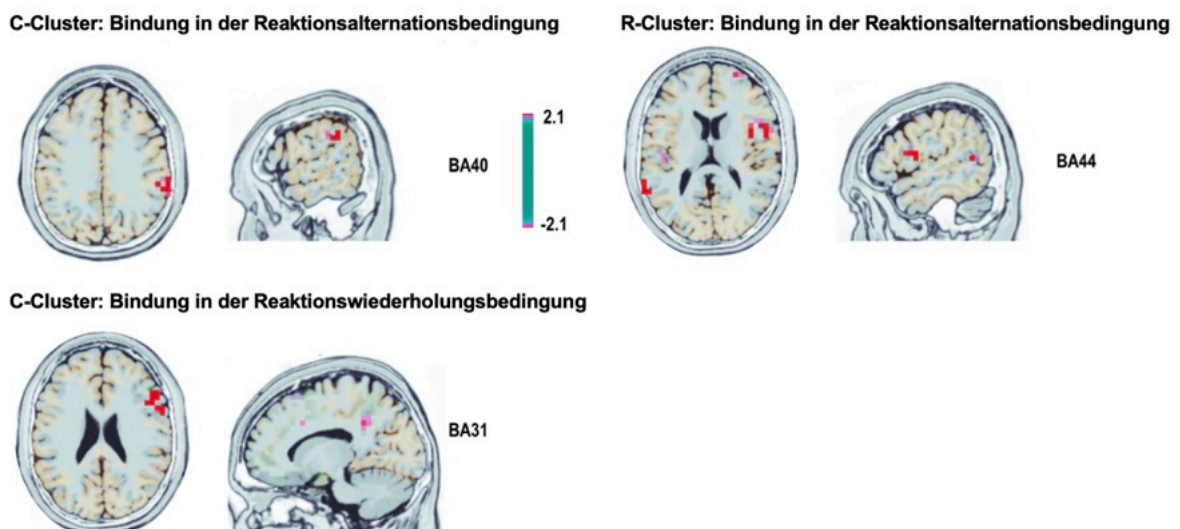
Reaktionswiederholungsbedingungen ( $p > 0,107$ ) (siehe Abbildung 6). Somit zeigten Patientinnen und Patienten eine Amplitudenminderung im R-Cluster, insbesondere beim Wechsel von der kompatiblen Bedingung mit Stimulus- und Reaktionsalternation zur inkompatiblen Bedingung mit Stimuluswiederholung und Reaktionsalternation. Bei den gesunden Kontrollen wurde keine signifikante Amplitudenmodulation in diesem Cluster festgestellt. Wie in Hypothese 3 vermutet, lagen Veränderungen der Bindungseffekte zwischen den Gruppen vor.



**Abbildung 6:** Ergebnisse der EKP. R-Cluster mit P3-Wellenformen der CP1- und CP2-Elektrode als Funktion der jeweils zwei kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen aufgeteilt in FBS-Gruppe und gesunde Kontrollen. Der Stimulus S2 wird bei 0 ms gezeigt. Der grau hinterlegte Bereich zeigt das analysierte Zeitfenster von 500 – 600 ms. Auf der X-

Achse ist die Zeit in Millisekunden (ms), auf der Y-Achse ist die Amplitude in  $\mu\text{V}/\text{m}^2$  dargestellt. Die dazwischenliegenden Topographiediagramme der Kopfhaut zeigen die Verteilung der mittleren Aktivität unter den vier Bedingungen. Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

Die Quellenlokalisierungsanalyse mittels *sLORETA* detektierte eine veränderte Aktivierung von Gehirnarealen im C-Cluster in Bezug auf die Bindungseffekte zwischen den Gruppen. Diese Veränderungen waren im inferioren parietalen Kortex (Brodmann-Areal 40, *Montreal Neurological Institute [MNI]*-Koordinaten:  $X = 65, Y = -35, Z = 35$ ) mit einer Reaktionsalternation verbunden sowie im Gyrus cinguli (Brodmann-Areal 31, *MNI*-Koordinaten:  $X = -10, Y = -45, Z = 35$ ) mit der Reaktionswiederholung (siehe Abbildung 6). Im R-Cluster waren diese Bindungseffekte für die Bedingung der Reaktionsalternation mit Unterschieden in der Aktivierung zwischen den Gruppen im inferioren frontalen Gyrus (Brodmann-Areal 44, *MNI*-Koordinaten:  $X = 55, Y = 5, Z = 15$ ) verbunden (siehe Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Ergebnisse der *sLORETA* Quellenlokalisierung. Veränderte Aktivierung der Gehirnareale im analysierten Zeitfenster von 500 – 600 ms basierend auf den Unterschieden zwischen den Gruppen getrennt für die Bindungseffekte im R-Cluster mit der Reaktionsalternationsbedingung und im C-Cluster mit der Reaktionswiederholungs- und alternationsbedingung. Voxel mit signifikanten Unterschieden für die Bindungseffekte sind dargestellt. Die Farbskalen geben die t-Werte an. Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

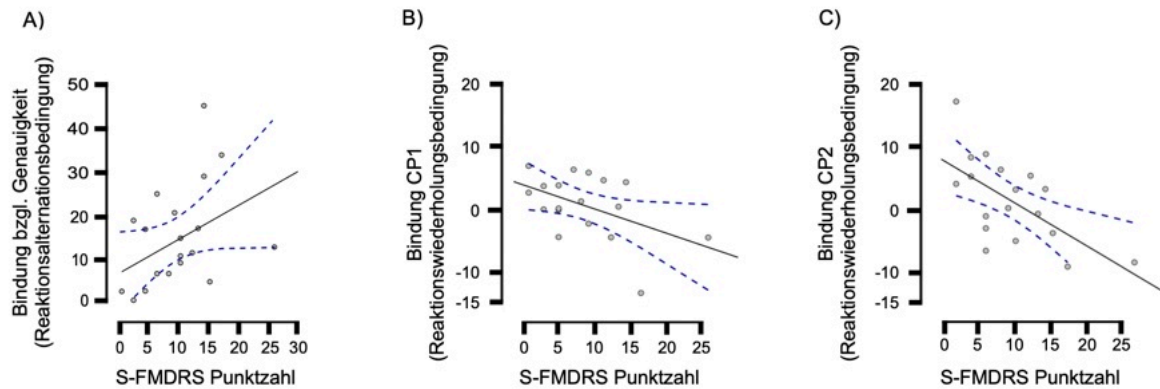
### 3.4 Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Für die Betrachtung des Zusammenhanges zwischen der Symptomstärke und den ermittelten Bindungseffekten auf behavioraler und neurophysiologischer Ebene wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt.

Auf Verhaltensebene korrelierte die Symptomschwere in Bezug auf die Genauigkeit mit den Reaktionsalternationsbedingungen. Stärkere Bindungen gingen mit schwereren Symptomen in Form von höheren *S-FMDRS*-Werten einher ( $r = 0,475$ ,  $p = 0,029$ ). Dieser Zusammenhang war signifikant für die Genauigkeitsunterschiede zwischen der kompatiblen Bedingung mit Stimulus- und Reaktionsalternation und der inkompatiblen Bedingung mit Stimuluswiederholung und Reaktionsalternation (siehe Abbildung 8 A). In Bedingungen mit einer Reaktionswiederholung wurde hingegen keine Korrelation zwischen den behavioralen Bindungseffekten und der Symptomstärke festgestellt.

Innerhalb der neurophysiologischen Daten wurden die Bindungseffekte für jedes Cluster sowie für die CP1- (siehe Abbildung 8 B) und CP2-Elektrode (siehe Abbildung 8 C) separat erstellt, angesichts der signifikanten Vierfach-Interaktion zwischen der Gruppe, dem Stimulus, der Reaktion und der Elektrode im C-Cluster. Eine signifikante Korrelation zeigte sich im C-Cluster zwischen dem *S-FMDRS*-Wert und der Bedingung der Reaktionswiederholung in der Elektrode CP1 ( $r = -0,481$ ,  $p = 0,043$ ) und CP2 ( $r = -0,626$ ,  $p = 0,005$ ) (siehe Abbildung 8 B), jedoch nicht für die Reaktionsalternationsbedingung ( $p > 0,928$ ). Höhere Bindungswerte gingen mit höheren P3-Amplituden einher in der kompatiblen Reaktionswiederholungsbedingung im Vergleich zur inkompatiblen Reaktionswiederholungsbedingung. Während gesunde Kontrollpersonen eine signifikante Amplitudenmodulation zwischen diesen beiden Bedingungen zeigten, blieb dieser Effekt bei der FBS-Gruppe aus. Patientinnen und Patienten mit einem höheren *S-FMDRS*-Wert zeigten zudem deutlich geringere Amplitudenveränderungen als Betroffene mit einer niedrigeren Symptomschwere. Somit war eine ausgeprägtere Symptomatik mit einer abgeschwächten P3-Amplitudenmodulation im C-Cluster verbunden, repräsentiert durch niedrigere oder sogar negative Bindungswerte (siehe Abbildung 8 B und C).

Im R-Cluster wurde keine signifikante Vierfach-Interaktion beobachtet, insbesondere keine Interaktion mit dem Faktor Elektrode. Weiterhin zeigte sich keine Korrelation zwischen R-Kluster und dem *S-FMDRS*-Wert. Weiterhin gab es keine signifikanten Korrelationen zwischen behavioralen und neurophysiologischen Bindungseffekten im R-Cluster ( $p > 0,072$ ).



**Abbildung 8:** Streudiagramme zur Darstellung der Korrelationen zwischen A) verhaltensbezogenen oder neurophysiologischen Bindungswerten der B) CP1- und C) CP2- Elektrode im C-Cluster und klinischen Werten der *S-FMDRS*. Die gestrichelten Linien geben das Konfidenzintervall (95 %) an. Auf der X-Achse ist der *S-FMDRS*-Wert von 0 bis 30 Punkten dargestellt und auf der Y-Achse bei A) die Bindung für Genauigkeit von 0 bis 50, bei B) und C) die Bindung von –15 bis 20. Adaptiert von Weissbach et al. (2023).

Patientinnen und Patienten mit einer stärkeren Symptomatik, ermittelt durch höhere *S-FMDRS*-Werte, wiesen höhere behaviorale Bindungswerte auf. Gleichzeitig wurde neurophysiologisch eine reduzierte Amplitudenmodulation im C-Cluster unter den Bedingungen der Reaktionswiederholung festgestellt. Im Gegensatz dazu zeigte die FBS-Gruppe mit einem niedrigeren *S-FMDRS*-Wert ausgeprägtere P3-Amplitudenunterschiede im C-Cluster unter den Reaktionswiederholungsbedingungen. Ein Zusammenhang zwischen den erhobenen neurophysiologischen, behavioralen Ergebnissen und der Erkrankungsschwere liegt bei Patientinnen und Patienten mit FBS vor, somit wird Hypothese 4 angenommen.

## 4 Diskussion

Diese Studie hat den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Handlung bei Patientinnen und Patienten mit FBS erstmalig im Rahmen der *TEC* untersucht und zielt auf ein weiterführendes Verständnis der Integration dieser Prozesse ab. Insgesamt wurden 21 Personen mit diagnostizierter FBS und 21 gesunde Kontrollpersonen unter Verwendung eines bereits etablierten Stimulus-Reaktions-Elektroenzephalographie-Paradigmas untersucht. Ziel der Studie war die Analyse der verhaltensbezogenen und damit verbundenen neurophysiologischen Prozesse, die der Bindung und Integration von Wahrnehmung und Handlung zugrunde liegen. Der Fokus lag sowohl auf der bereits dokumentierten veränderten Verarbeitung eingehender sensorischer Informationen als auch auf deren Verknüpfung mit motorischen Prozessen. Die *TEC* bot hierfür einen geeigneten theoretischen Rahmen, um die Wechselbeziehungen zwischen wahrnehmungsbezogenen, motorischen und kognitiven Aspekten abnormer Bewegungen bei FBS besser zu verstehen. Als Kernaussagen lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

1) Beide Gruppen zeigten behaviorale Bindungseffekte, unterschieden sich jedoch hinsichtlich deren Ausprägung zwischen den verschiedenen Bedingungen.

Wie in Hypothese 1 und 2 angenommen, zeigten sowohl die gesunden Kontrollpersonen als auch die FBS-Gruppe Bindungseffekte. Angesichts der engen Wechselbeziehungen zwischen sensorischen und motorischen Prozessen in der *TEC* haben wir angenommen, dass die sensorische Verarbeitung bei Patientinnen und Patienten mit FBS verstärkt ist. Dies bedeutet, dass die Bindung zwischen Wahrnehmung und Handlung erhöht ist, was sich in einem veränderten Lösungsverhalten widerspiegelt. Tatsächlich war die Stärke dieser Bindung bei Patientinnen und Patienten mit FMD auf Verhaltensebene deutlich erhöht im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen. Insbesondere beim Wechsel von kompatiblen zu inkompatiblen Bedingungen traten größere Schwierigkeiten bei der Entkopplung zuvor verknüpfter Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse sowie der Neukonfiguration von Ereignisdateien auf. Hinsichtlich der *TEC* lässt sich dies als dysfunktionale Persistenz von Ereignisdateien interpretieren. Die übermäßige Kopplung von Wahrnehmung und Handlung behindert die notwendige Rekonfiguration bei wechselnden Bedingungen und ist damit ein Hinweis auf

veränderte Kontrollprozesse, die durch „Top-Down“-Vorhersagen beeinflusst werden (Frings et al., 2020). Diese Befunde sprechen für eine Hyperbindung von Wahrnehmung und Handlung und lassen sich als Ausdruck einer verstärkten Aufmerksamkeitsfokussierung interpretieren (Pareés et al., 2012), die bereits klinisch bei Patientinnen und Patienten beschrieben worden ist (Huys et al., 2021; van Poppelen et al., 2011).

Die erwarteten Ergebnisse einer erhöhten Wahrnehmungs-Handlungs-Bindung knüpfen an früheren Befunden unserer Forschungsgruppe an, die bereits bei einer anderen neuropsychiatrischen Störung eine vergleichbare Hyperbindung als Ausdruck veränderter sensorischer und motorischer Verarbeitung identifizieren konnten (Kleimaker et al., 2020).

2) Auf neurophysiologischer Ebene zeigten sich Bindungseffekte einhergehend mit unterschiedlichen Aktivierungsmustern spezifischer Gehirnareale zwischen den Gruppen.

Einhergehend mit den behavioralen Unterschieden zwischen der FBS-Gruppe und den gesunden Kontrollpersonen wurden deutliche neurophysiologische Gruppenunterschiede festgestellt, wie in Hypothese 3 postuliert. Physiologisch werden Bindungsprozesse durch Prozesse im C-Cluster reflektiert (Opitz et al., 2020). Diese C-Cluster-Effekte sind mit einer veränderten Aktivierung des inferioren parietalen Kortexes, dem Brodmann-Areal 40 verbunden, einer zentralen Region für die Kodierung von Ereignisdateien und die Modulation der C-Cluster-Aktivität (Kleimaker et al., 2020; Opitz et al., 2020; Petruo et al., 2016). Das Areal schließt Teile des *TPJ* ein, der bei Personen mit FBS bereits als abnormal aktiv beschrieben wurde (Voon, Gallea, et al., 2010) und eine zentrale Rolle für das Gefühl der Handlungsfähigkeit spielt (Zito et al., 2020). Unterstützend führte eine transkranielle Magnetstimulation über dem rechten *TPJ* zu einer Verringerung der Anfallsraten bei Patientinnen und Patienten mit funktionellen nicht-epileptischen Anfällen, was ihre Relevanz für FBS unterstreicht (Peterson et al., 2018). Der *TPJ* wurde bereits früher mit P3-Modulationen in Verbindung gebracht (Yamaguchi und Knight, 1991). Diese P3-Amplitudenverringerungen scheinen Prozesse zu repräsentieren, die entscheidend für eine effiziente Reaktionsauswahl sind (Verleger et al., 2014) und

gelten als Zeichen einer effektiven Bindung von Wahrnehmungs- und Handlungsinformationen (Opitz et al., 2020).

Während bei gesunden Kontrollpersonen eine P3-Amplitudenverringering im C-Cluster als Ausdruck effizienter Reaktionswahl und kognitiver Kontrolle zu beobachten war, zeigte sich bei der FBS-Gruppe eine Verschiebung der neuronalen Verarbeitung in Richtung des R-Clusters. Dies weist auf eine veränderte motorische Verarbeitung hin (Mielke et al., 2021; Takacs, Bluschke, et al., 2020) und ist wahrscheinlich als Zeichen einer dysfunktionalen Prozessierung der Rekonfiguration zu werten (Weissbach et al., 2023). Dies unterscheidet sich deutlich von den neurophysiologischen Korrelaten der Bindungsprozesse, die in Übereinstimmung mit anderen Studienresultaten auch bei Kontrollpersonen dieser Studie beobachtet wurden (Kleimaker et al., 2020).

Die Effekte im R-Cluster ließen sich mit Aktivierungsveränderungen im inferioren frontalen Gyrus, dem Brodmann-Areal 44, in Verbindung bringen. Dies stellt eine zentrale Region inhibitorischer Kontrollprozesse dar, die entscheidend für die Umsetzung exekutiver Kontrolle ist (Bari und Robbins, 2013). Diese Region ist bei FBS nachweislich verändert, insbesondere inhibitorische Prozesse wie die Unterdrückung inadäquater motorischer Antwortimpulse wurden bereits als beeinträchtigt bei Patientinnen und Patienten mit FBS beschrieben (van Wouwe et al., 2020).

Auf behavioraler und neurophysiologischer Ebene könnte dies möglicherweise durch die Hyperbindung zwischen Wahrnehmung und Handlung erklärt werden, dargestellt durch neuronale Korrelate innerhalb der Verarbeitung von Ereignisdateien, wie im R-Cluster gezeigt (Weissbach et al., 2023). Im Gegensatz zu gesunden Kontrollpersonen, bei denen diese Prozesse in C-Cluster-Modulationen widerspiegeln, ist die motorische Komponente der Wahrnehmungs-Handlungs-Integration bei FBS verstärkt. Die erhobenen Daten liefern zusammengefasst die Evidenz zur Bestätigung von Hypothese 3.

Unsere Ergebnisse lassen sich mit dem Modell der prädiktiven Kodierung in Einklang bringen. Dieser Ansatz bietet den theoretischen Rahmen für die Klärung der Diskrepanz zwischen Feedforward- und Feedback-Signalen mit dem *TPJ* als

wichtigem Zentrum. Bei Patientinnen und Patienten mit FBS könnten übermäßig starke Feedforward-Erwartungen hinsichtlich motorischer Handlungen die sensorischen Feedback-Signale überlagern (Edwards et al., 2012). Fehlerhafte Vorhersagen bzw. Erwartungen führen dazu, dass tatsächliche afferente Rückmeldungen unzureichend berücksichtigt werden. Dies führt zu einer Störung innerhalb der sensorisch-motorischen Rückkopplungsschleifen, da abweichende Informationen aufgrund gestörter „Top-down“-Prozesse nicht mehr angemessen korrigiert werden können (Edwards et al., 2012). Die Hyperbindung könnte in diesem Zusammenhang als Ausdruck einer fehlerhaften Verarbeitung von Vorhersagefehlern verstanden werden (Weissbach et al., 2023), also die Abweichung zwischen der erwarteten und der tatsächlich eintretenden Information (Edwards et al., 2012). Dies könnte ein verändertes Handlungsempfinden zur Folge haben, das als zentrales Merkmal von FBS gilt (Maurer et al., 2016; Nahab et al., 2017).

Ähnlich wie bei einer Verringerung der physiologischen sensorischen Dämpfung (Pareés et al., 2014) deutet die beobachtete Hyperbindung in Kombination mit der Reorganisation der Wahrnehmungs-Handlungs-Integrationsprozesse auf eine veränderte Wahrnehmung und Kontextualisierung von Bewegungen hin. Dies könnte erklären, warum Patientinnen und Patienten Schwierigkeiten zeigen, funktionelle Bewegungen mit willentlich erzeugten Bewegungen in Beziehung zu setzen (Weissbach et al., 2023). Das Phänomen der Hyperbindung zwischen Wahrnehmung und Handlung wurde durch unsere weiterführenden Untersuchungen von Pastötter et al. (2024) bestätigt. Durch neue Analysen unserer bereits erhobenen Daten konnten neue Einblicke in die oszillatorische Aktivität und funktionelle Neuroanatomie im Zusammenhang mit der Stimulus-Reaktions-Bindung gewonnen werden. Unsere Ergebnisse bestätigten, dass die Integration von Stimulus- und Reaktionsinformationen bei Patientinnen und Patienten mit FBS beeinträchtigt und verstärkt verknüpft ist. Auffällig war eine signifikant erhöhte Beta-Synchronisation nach Bewegungen im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen. Diese Beta-Synchronisation, die als Marker für die Stimulus-Reaktions-Bindung während der Bewegungsausführung gilt, könnte einen grundlegenden Mechanismus darstellen, der zu den Bewegungseinschränkungen beiträgt. Diese Effekte waren mit dem supplementär-motorischen Areal assoziiert, das bereits in

früheren Studien eine abnorme Aktivität gezeigt hat (Voon et al., 2011; Voon, Brezing, et al., 2010). Auch das supplementär-motorische Areal ist maßgeblich an der Feedforward-gesteuerten Kontrolle motorischer Prozesse beteiligt, wobei die motorische Absicht zeitlich mit dem sensorischen Feedback abgestimmt wird (Maurer et al., 2016). Diese Region wurde als Schnittstelle beschrieben, welche Informationen aus motorischen Bereichen, die die beabsichtigten Handlungen steuern, mit der Integration sensorischer Informationen aus den Bereichen, die die externen Folgen der Handlungen überwachen, kombiniert (Kühn et al., 2013). Weiterhin wiesen Veränderungen in der Konnektivität zwischen dem supplementär-motorischen Areal und dem bilateralen dorsolateralen präfrontalen Kortex auf eine beeinträchtigte „Top-Down“-Regulierung zur Steuerung der Handlungsauswahl hin (Voon et al., 2011). In diesem Zusammenhang stellt der Gyrus cinguli ein weiteres Areal dar, welches einen wesentlichen Einfluss auf die Selbstwahrnehmung, Bewegungsüberwachung und Aufmerksamkeitslenkung hat (Aybek et al., 2015; de Lange et al., 2007; Roelofs et al., 2006). Pérez et al. (2017) beobachteten eine potenzielle Konvergenz zwischen funktionellen Symptomen und einem reduzierten Volumen dieser Struktur. In den Ergebnissen unserer Studie zeigte das zum Brodmann-Areal 31 gehörige Areal eine abweichende Aktivierung auf. Sowohl der Gyrus cinguli als auch das supplementär-motorische Areal wurden mit einer übersteigerten motorischen Überwachung in Verbindung gebracht, die automatisierte Bewegungsabläufe stören kann (Voon et al., 2011). Auch dies könnte die klinisch beobachtete Überfokussierung auf motorische Symptome erklären (Roelofs et al., 2006).

Prozesse zwischen Stimulus und folgender Reaktion, die für die Wiederherstellung zuvor hergestellter Verbindungen zwischen Wahrnehmung und Handlung relevant sind, scheinen bei der FBS-Gruppe beeinträchtigt und der Reaktionskonflikt ausgeprägter zu sein (Weissbach et al., 2023). Dies verdeutlicht, dass Patientinnen und Patienten mit FBS Defizite bei der Rekonfiguration der Wahrnehmungs-Handlungs-Bindung haben. Wichtig ist jedoch, dass Personen mit FBS keine Defizite bei der grundsätzlichen Verknüpfung von sensorischen und motorischen Prozessen aufweisen, die Teil der Ereignisdatei darstellen (Hommel et al., 2001; Mielke et al., 2021), sondern spezifische Veränderungen bei der Verarbeitung der Ereignisdatei.

3) Die Ausprägung der Beeinträchtigung der Patientinnen und Patienten korrelierte mit der Stärke des Bindungseffektes.

Interessanterweise ergab die Korrelationsanalyse als Zeichen einer gestörten Rekonfigurationsverarbeitung, dass höhere behaviorale Bindungswerte sowie reduzierte Amplitudenmodulationen im C-Cluster mit höheren Werten in der *S-FMDRS* assoziiert waren. Im Gegensatz dazu waren niedrigere *S-FMDRS*-Werte mit ausgeprägteren P3-Amplitudenunterschieden im C-Cluster verbunden, was auf eine stärkere, physiologischere bindungsbezogene Amplitudenmodulation hinweist. Darüber hinaus korrelierte der Verlust der Amplitudenmodulation im C-Cluster sowohl mit der Symptomschwere als auch mit Aktivierungsstörungen im inferioren parietalen Kortex.

Die Ergebnisse legen somit nahe, dass die Hyperbindung zwischen Wahrnehmung und Handlung eng mit der Stärke der Beeinträchtigung verknüpft ist. Diese Verbindung zwischen der Erkrankungsschwere und dem Bindungsverhalten ist besonders interessant, da diese mit einem verstärkten Aufmerksamkeitsfokus auf die Bewegungskontrolle einhergeht (Huys et al., 2021). Das betroffene Körperteil unterliegt einer kontinuierlichen extrinsischen Kontrolle, wodurch automatische Bewegungsabläufe erschwert werden und nicht unbewusst ablaufen können. Bemerkenswert ist, dass diese Auffälligkeiten unabhängig von der Symptomlokalisation auftreten, wie bereits in Studien von Tinazzi et al. (2014) und Morgante et al. (2011) beobachtet. Insbesondere zeigten Patientinnen und Patienten mit einer Beteiligung der oberen Extremität keinen Nachteil bei der Reaktionsleistung verglichen mit Patientinnen und Patienten ohne entsprechende Beeinträchtigung. Dies deutet auf ein zugrunde liegendes neuronales Verarbeitungsdefizit hin, das unabhängig von der betroffenen Körperregion besteht.

Hypothese 4 konnte durch die beobachteten Zusammenhänge zwischen der Symptomschwere und den veränderten Verhaltens- sowie neurophysiologischen Prozessen der Wahrnehmungs-Handlungs-Integration bestätigt werden, welche für das Verständnis der FBS von zentraler Bedeutung zu sein scheinen.

Zu berücksichtigen ist, dass die Befunde auf den Daten von 42 Teilnehmenden beruhen. Interessant wären Studien, die die Befundveränderungen über einen längeren Zeitraum hinweg mit Erhebungen an mehreren Zeitpunkten untersuchen. Die Erhebung der Daten erfolgte an einem Messzeitpunkt, wobei sich die Patientinnen und Patienten in unterschiedlichen Stadien ihres individuellen Krankheitsverlaufes befanden.

Außerdem wurde zur klinischen Einschätzung der Symptomschwere ausschließlich die *S-FMDRS* genutzt. Derzeit existiert noch kein klinisches Maß zur Bewertung der durch Ablenkung modifizierbaren Symptomatik, etwa in Form einer Symptomabnahme oder -unterdrückung durch Bewegung nicht betroffener Körperteile oder beim Ausführen kognitiver Aufgaben (Weissbach et al., 2023). Es wäre interessant, ein solches Maß zusätzlich zur motorischen Symptomschwere mit unseren neurophysiologischen Befunden zu korrelieren. Weiterhin erfolgte die Beurteilung der Handlungsausführung durch ein einfaches Drücken der linken oder rechten Steuerungstaste, unabhängig von der Art der Bewegungsstörung, weshalb keine Rückschlüsse auf natürliche, alltagsrelevante Bewegungen gezogen werden können (Weissbach et al., 2023).

Zusammenfassend zeigt sich, dass Patientinnen und Patienten mit FBS eine ausgeprägte Wahrnehmungs-Handlungs-Hyperbindung aufweisen, die mit einer nicht-physiologischen Modulation der R-Cluster-Aktivität im Gyrus frontalis inferior (Brodmann-Areal 44) und veränderten Aktivierungsmustern von C-Cluster-Prozessen im inferioren parietalen Kortex (Brodmann-Areal 40) einhergeht. Diese Auffälligkeiten scheinen auf einer gestörten Integration von Wahrnehmung und Handlung zu beruhen. Somit stellt sich die gestörte Integrationsleistung möglicherweise als ein zentrales und relevantes Element der Pathophysiologie und klinischen Phänomenologie dar. Neurophysiologische Marker dieser Integration ermöglichen eine detaillierte Beschreibung potenziell störungsspezifischer Mechanismen neuropsychiatrischer Erkrankungen und könnten sich zur Charakterisierung und Systematisierung klinischer Symptome eignen (Weissbach et al., 2023). Unsere Ergebnisse erweitern aktuelle Konzepte, insbesondere im Hinblick auf neue Therapieansätze, da erst in den letzten Jahren wurden erste Erfolge in der Behandlung erzielt (Hallett, 2018). Eine frühzeitige und präzise

Diagnosestellung sowie effiziente Therapie dieser Erkrankung ist entscheidend, um iatrogene Schäden durch überflüssige Untersuchungen oder ungeeignete Medikamente zu vermeiden (Hinson und Haren, 2006). Ein erweitertes pathophysiologisches Verständnis bietet eine fundierte Grundlage für die Entwicklung krankheitsspezifischer Behandlungen und eröffnet neue Perspektiven für therapeutische Konzepte.

## 5 Ausblick

Diese Erkenntnisse liefern eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen, die darauf abzielen, ein besseres Verständnis der pathophysiologischen Grundlagen der Erkrankung zu erarbeiten und darauf aufbauend neue Behandlungskonzepte zu etablieren. Ein zentraler Therapieansatz könnte darin bestehen, die aufgezeigte Hyperbindung durch eine gezielte Entkopplung der verstärkten Wahrnehmungs-Handlungs-Bindungen abzuschwächen oder zu normalisieren. Ein Hauptaugenmerk könnte hierbei auf ein Aufmerksamkeitstraining gelegt werden, da Aufmerksamkeitsprozesse eine zentrale Rolle bei der Verarbeitung von Ereignisdateien spielen (Hommel et al., 2013). Neue Behandlungsstrategien, die die Aufmerksamkeit von betroffenen Körperregionen auf gesunde Bereiche oder externe Reize lenken, könnten bestehende Wahrnehmungs-Handlungs-Bindungen lockern und die Bildung neuer Bindungen erleichtern, sodass kognitive Ressourcen effektiver genutzt werden können (Weißbach, 2022). Dies könnte behavioral zu einer Reduktion abnormer Hyperbindungen führen und die Rekonfiguration von neuen Wahrnehmungs-Handlungs-Bindungen effizienter unterstützen (Weissbach et al., 2023). Auf neurophysiologischer Ebene wäre dies möglicherweise aufgrund einer physiologischen kognitiven Verarbeitung an einer P3-Amplitudenmodulation im C-Cluster statt im R-Cluster zu erkennen (Weissbach et al., 2023).

Zukünftige Forschungen könnten zudem natürlichere Bewegungsabläufe untersuchen, die dem individuellen Krankheitsphänotyp entsprechen (Weissbach et al., 2023). Wir beschränkten uns in unserer Studie auf einheitliche Bewegungsaufgaben, die für die Teilnehmenden unterschiedlich herausfordernd waren, abhängig von der betroffenen Körperregion. Neurophysiologische Signaturen von Wahrnehmungs-Handlungs-Integrationsprozessen könnten eine präzise Abgrenzung störungsspezifischer Mechanismen bei Personen mit neuropsychiatrischen Erkrankungen ermöglichen und ein einheitlicher konzeptioneller Ansatz könnte dabei unterstützen, klinische Syndrome neurophysiologisch zu charakterisieren (Weissbach et al., 2023).

Die Ergebnisse dieser Studie liefern sowohl behaviorale als auch neurophysiologische Hinweise auf eine ungewöhnlich verstärkte Bindung zwischen Wahrnehmung und Handlung bei Patientinnen und Patienten mit FBS. In diesem

Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Prozesse die Stärke und Verarbeitung von Bindungen in Ereignisdateien beeinflussen können und dass bisher unklar bleibt, welchen Einfluss Distraktoren auf die Stärke der Bindungen ausüben (Frings et al., 2020; Opitz et al., 2020). Diese Zunahme der Bindung kann Ausdruck der gewünschten Verknüpfung von S1 und R1 sein, jedoch auch durch Bindung an für uns irrelevante Merkmale und Informationen, sogenannte Distraktor-Reaktions-Bindung, beeinflusst sein (Opitz et al., 2020). In dem abgewandelten Stimulus-Reaktions-Paradigma konnten die Stimuli unterschiedliche Eigenschaften in den Kategorien Farbe, Position und Ausrichtung aufzeigen. Wir reduzierten die Kombinationsmöglichkeiten auf die relevanten Bedingungen aufgrund von Erkenntnissen vorheriger Veröffentlichungen (Colzato et al., 2006). Eine veränderte Position und besonders die Farbe der Balken könnte jedoch eine ablenkende Komponente darstellen im Vergleich zu einer Aufgabe in Schwarz-Weiß. Die Überprüfung dieser Distraktor-Reaktions-Bindung stellt einen interessanten Ausblick für zukünftige Studien dar (Pastötter et al., 2024).

Trotz der verhaltensbezogenen und neurophysiologischen Erkenntnisse auf eine ungewöhnlich starke Wahrnehmungs-Handlungs-Bindung bei FBS bedarf es weiterer Studien, um diese Ergebnisse zu replizieren und durch zusätzliche Untersuchungen zu erweitern.

## 6 Zusammenfassung

Funktionelle neurologische Bewegungsstörungen (FBS) zählen zu den häufigsten und stark beeinträchtigenden neuropsychiatrischen Erkrankungen, bei denen neben der veränderten Bewegungsausführung auch sensorische und kognitive Prozesse eine zentrale Rolle in der Krankheitsentstehung und -aufrechterhaltung spielen. Bisher wurde nicht untersucht, ob kognitive Prozesse, die für die Verknüpfung von Wahrnehmung und Handlung zuständig sind, bei Patientinnen und Patienten mit FBS verändert sind.

Im Rahmen dieser Doktorarbeit wurden daher 21 Personen mit FBS und 21 gesunde Kontrollen mit Hilfe einer visuell-motorischen Stimulus-Reaktions-Aufgabe untersucht, welche auf der Theorie der Ereigniskodierung (*Theory of Event Coding, TEC*) basiert. Zur neurophysiologischen Untersuchung der Wahrnehmungs-Handlungs-Prozesse wurde eine Elektroenzephalographie unter Verwendung zeitlicher Signalzerlegungs- und Quellenlokalisierungsmethoden durchgeführt.

Verstärkte Wahrnehmungs-Handlungs-Bindungen (Hyperbindungen) wurden bei Patientinnen und Patienten mit FBS sowohl auf behavioraler Ebene bezüglich der Genauigkeit als auch auf neurophysiologischer Ebene identifiziert. Diese gingen mit veränderten Aktivierungen im inferioren parietalen Kortex (Brodmann-Areal 40) im C-Cluster und im inferioren frontalen Gyrus (Brodmann-Areal 44) im R-Cluster einher. Diese veränderten Aktivierungen deuten auf eine gestörte motorische Verarbeitung hin, die zu einer abnormen Integration von Wahrnehmung und Handlung führt. Zudem zeigte sich für bestimmte Bedingungen eine signifikante Korrelation zwischen der klinischen Symptomstärke und der behavioralen sowie neurophysiologischen Performance. Mit zunehmender Beeinträchtigung traten stärkere Bindungseffekte mit einer verminderten P3-Amplitudenmodulation im C-Cluster auf.

Diese Studie liefert neue Erkenntnisse darüber, dass Personen mit FBS im Vergleich zu gesunden Kontrollen eine stärkere Wahrnehmungs-Handlungs-Bindung aufweisen. Diese Hyperbindung führt zu Schwierigkeiten bei der Rekonfiguration von zuvor etablierten Stimulus-Reaktions-Assoziationen, was ein zentrales Merkmal der Pathophysiologie darstellen und für die Entwicklung neuer Therapiestrategien von Relevanz sein könnte.

## 7 Literaturverzeichnis

- Aybek, S., Nicholson, T. R., O'Daly, O., Zelaya, F., Kanaan, R. A., & David, A. S. (2015). Emotion-Motion Interactions in Conversion Disorder: An fMRI Study. *PLOS ONE*, *10*(4), e0123273. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123273>
- Baizabal-Carvallo, J. F., Hallett, M., & Jankovic, J. (2019). Pathogenesis and pathophysiology of functional (psychogenic) movement disorders. *Neurobiology of Disease*, *127*, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2019.02.013>
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, *108*, 44–79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>
- Barsky, A. J., Orav, E. J., & Bates, D. W. (2005). Somatization increases medical utilization and costs independent of psychiatric and medical comorbidity. *Archives of General Psychiatry*, *62*(8), Article 8. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.62.8.903>
- Batla, A., Stamelou, M., Edwards, M. J., Pareés, I., Saifee, T. A., Fox, Z., & Bhatia, K. P. (2013). Functional movement disorders are not uncommon in the elderly. *Movement Disorders*, *28*(4), 540–543. <https://doi.org/10.1002/mds.25350>
- Blakemore, S.-J., & Sirigu, A. (2003). Action prediction in the cerebellum and in the parietal lobe. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, *153*, 239–245. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1597-z>
- Canavese, C., Ciano, C., Zibordi, F., Zorzi, G., Cavallera, V., & Nardocci, N. (2012). Phenomenology of psychogenic movement disorders in children. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, *27*(9), Article 9. <https://doi.org/10.1002/mds.24947>
- Carson, A., Stone, J., Hibberd, C., Murray, G., Duncan, R., Coleman, R., Warlow, C., Roberts, R., Pelosi, A., Cavanagh, J., Matthews, K., Goldbeck, R., Hansen, C., & Sharpe, M. (2011). Disability, distress and unemployment in neurology outpatients with symptoms 'unexplained by organic disease'. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *82*(7), 810–813. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2010.220640>

- Colzato, L. S., Warrens, M. J., & Hommel, B. (2006). Priming and binding in and across perception and action: A correlational analysis of the internal structure of event files. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*(10), 1785–1804. <https://doi.org/10.1080/17470210500438304>
- Czarnecki, K., & Hallett, M. (2012). Functional (psychogenic) movement disorders. *Current Opinion in Neurology*, *25*(4), Article 4. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e3283551bc1>
- de Lange, F. P., Roelofs, K., & Toni, I. (2007). Increased self-monitoring during imagined movements in conversion paralysis. *Neuropsychologia*, *45*(9), 2051–2058. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.02.002>
- Denney, D. A., Ringe, W. K., & Lacritz, L. H. (2015). Dyadic Short Forms of the Wechsler Adult Intelligence Scale-IV. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *30*(5), 404–412. <https://doi.org/10.1093/arclin/acv035>
- Dippel, G., & Beste, C. (2015). A causal role of the right inferior frontal cortex in implementing strategies for multi-component behaviour. *Nature Communications*, *6*, 6587. <https://doi.org/10.1038/ncomms7587>
- Edwards, M. J., Adams, R. A., Brown, H., Pareés, I., & Friston, K. J. (2012). A Bayesian account of „hysteria“. *Brain: A Journal of Neurology*, *135*(Pt 11), Article Pt 11. <https://doi.org/10.1093/brain/aws129>
- Fahn, S., & Williams, D. T. (1988). Psychogenic dystonia. *Advances in Neurology*, *50*, 431–455.
- Farrer, C., Bouchereau, M., Jeannerod, M., & Franck, N. (2008). Effect of Distorted Visual Feedback on the Sense of Agency. *Behavioural Neurology*, *19*(1–2), 53–57. <https://doi.org/10.1155/2008/425267>
- Frings, C., Hommel, B., Koch, I., Rothermund, K., Dignath, D., Giesen, C., Kiesel, A., Kunde, W., Mayr, S., Moeller, B., Möller, M., Pfister, R., & Philipp, A. (2020). Binding and Retrieval in Action Control (BRAC). *Trends in Cognitive Sciences*, *24*(5), 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.02.004>
- Gasca-Salas, C., & Lang, A. E. (2016). Neurologic diagnostic criteria for functional neurologic disorders. In: Hallett, M., Stone, J., & Carson, A. (Hrsg.): *Handbook of Clinical Neurology*, Bd. 139, 193–212. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801772-2.00017-5>
- Gupta, A., & Lang, A. E. (2009). Psychogenic movement disorders. *Current*

*Opinion in Neurology*, 22(4), Article 4.

<https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e32832dc169>

- Guy, W. (1976). *ECDEU assessment manual for psychopharmacology* (Rev. 1976.). Rockville, Md: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Alcohol, Drug Abuse, and Mental Health Administration, National Institute of Mental Health, Psychopharmacology Research Branch, Division of Extramural Research Programs.
- Hallett, M. (2018). The most promising advances in our understanding and treatment of functional (psychogenic) movement disorders. *Parkinsonism & Related Disorders*, 46 Suppl 1, S80–S82. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2017.07.002>
- Hautus, M. J. (1995). Corrections for extreme proportions and their biasing effects on estimated values of  $d'$ . *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 27(1), 46–51. <https://doi.org/10.3758/BF03203619>
- Hinson, V. K., Cubo, E., Comella, C. L., Goetz, C. G., & Leurgans, S. (2005). Rating scale for psychogenic movement disorders: Scale development and clinimetric testing. *Movement Disorders*, 20(12), Article 12. <https://doi.org/10.1002/mds.20650>
- Hinson, V. K., & Haren, W. B. (2006). Psychogenic movement disorders. *The Lancet. Neurology*, 5(8), Article 8. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(06\)70523-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(06)70523-3)
- Hommel, B. (1998). Event Files: Evidence for Automatic Integration of Stimulus-Response Episodes. *Visual Cognition*, 5(1–2), Article 1–2. <https://doi.org/10.1080/713756773>
- Hommel, B., Memelink, J., Zmigrod, S., & Colzato, L. (2013). Attentional control of the creation and retrieval of stimulus–response bindings. *Psychological research*, 78. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0503-y>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), Article 5. <https://doi.org/10.1017/s0140525x01000103>
- Huys, A.-C. M. L., Haggard, P., Bhatia, K. P., & Edwards, M. J. (2021). Misdirected attentional focus in functional tremor. *Brain*, 144(11), 3436–3450. <https://doi.org/10.1093/brain/awab230>

- Kayser, J., & Tenke, C. E. (2015). On the benefits of using surface Laplacian (current source density) methodology in electrophysiology. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 97(3), 171–173. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.06.001>
- Kleimaker, M., Takacs, A., Conte, G., Onken, R., Verrel, J., Bäumer, T., Münchau, A., & Beste, C. (2020). Increased perception-action binding in Tourette syndrome. *Brain*, 143(6), 1934–1945. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa111>
- Klimesch, W. (2011). Evoked alpha and early access to the knowledge system: The P1 inhibition timing hypothesis. *Brain Research*, 1408, 52–71. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.06.003>
- Kranick, S. M., Moore, J. W., Yusuf, N., Martinez, V. T., LaFaver, K., Edwards, M. J., Mehta, A. R., Collins, P., Harrison, N. A., Haggard, P., Hallett, M., & Voon, V. (2013). Action-effect binding is decreased in motor conversion disorder: Implications for sense of agency. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 28(8), 1110–1116. <https://doi.org/10.1002/mds.25408>
- Kühn, S., Brass, M., & Haggard, P. (2013). Feeling in control: Neural correlates of experience of agency. *Cortex*, 49(7), 1935–1942. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.002>
- Liesefeld, H. R., & Janczyk, M. (2019). Combining speed and accuracy to control for speed-accuracy trade-offs(?). *Behavior Research Methods*, 51(1), 40–60. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1076-x>
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (2nd edition). Cambridge, MA: MIT Press, A Bradford Book.
- Macerollo, A., Chen, J.-C., Pareés, I., Kassavetis, P., Kilner, J. M., & Edwards, M. J. (2015). Sensory Attenuation Assessed by Sensory Evoked Potentials in Functional Movement Disorders. *PLOS ONE*, 10(6), e0129507. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129507>
- Maurer, C. W., LaFaver, K., Ameli, R., Epstein, S. A., Hallett, M., & Horowitz, S. G. (2016). Impaired self-agency in functional movement disorders: A resting-state fMRI study. *Neurology*, 87(6), 564-570. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002940>
- Mielke, E., Takacs, A., Kleimaker, M., Schappert, R., Conte, G., Onken, R.,

- Künemund, T., Verrel, J., Bäumer, T., Beste, C., & Münchau, A. (2021). Tourette syndrome as a motor disorder revisited – Evidence from action coding. *NeuroImage: Clinical*, 30, 102611. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102611>
- Morgante, F., Edwards, M., & Espay, A. (2013). Psychogenic Movement Disorders. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*, 19, 1383–1396. <https://doi.org/10.1212/01.CON.0000436160.41071.79>
- Morgante, F., Tinazzi, M., Squintani, G., Martino, D., Defazio, G., Romito, L., Albanese, A., Di Matteo, A., Quartarone, A., Girlanda, P., Fiorio, M., & Berardelli, A. (2011). Abnormal tactile temporal discrimination in psychogenic dystonia. *Neurology*, 77(12), 1191–1197. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31822f0449>
- Nahab, F. B., Kundu, P., Maurer, C., Shen, Q., & Hallett, M. (2017). Impaired sense of agency in functional movement disorders: An fMRI study. *PLOS ONE*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172502>
- Nielsen, G., Ricciardi, L., Meppelink, A. M., Holt, K., Teodoro, T., & Edwards, M. (2017). A Simplified Version of the Psychogenic Movement Disorders Rating Scale: The Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale (S-FMDRS). *Movement Disorders Clinical Practice*, 4(5), Article 5. <https://doi.org/10.1002/mdc3.12475>
- Opitz, A., Beste, C., & Stock, A.-K. (2020). Using temporal EEG signal decomposition to identify specific neurophysiological correlates of distractor-response bindings proposed by the theory of event coding. *NeuroImage*, 209, 116524. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116524>
- Ouyang, G., Herzmann, G., Zhou, C., & Sommer, W. (2011). Residue iteration decomposition (RIDE): A new method to separate ERP components on the basis of latency variability in single trials. *Psychophysiology*, 48(12), 1631–1647. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01269.x>
- Ouyang, G., Sommer, W., & Zhou, C. (2015). A toolbox for residue iteration decomposition (RIDE)—A method for the decomposition, reconstruction, and single trial analysis of event related potentials. *Journal of Neuroscience Methods*, 250, 7–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.10.009>
- Pareés, I., Brown, H., Nuruki, A., Adams, R., Davare, M., Bhatia, K., Friston, K., &

- Edwards, M. (2014). Loss of sensory attenuation in patients with functional (psychogenic) movement disorders. *Brain: a journal of neurology*, 137. <https://doi.org/10.1093/brain/awu237>
- Pareés, I., Saifee, T. A., Kassavetis, P., Kojovic, M., Rubio-Agusti, I., Rothwell, J. C., Bhatia, K. P., & Edwards, M. J. (2012). Believing is perceiving: Mismatch between self-report and actigraphy in psychogenic tremor. *Brain: A Journal of Neurology*, 135(Pt 1), Article Pt 1. <https://doi.org/10.1093/brain/awr292>
- Pascual-Marqui, R. D., Esslen, M., Kochi, K., & Lehmann, D. (2002). Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): A review. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24 Suppl C, 91–95.
- Pastötter, B., Weissbach, A., Takacs, A., Moyé, J., Verrel, J., Chwolka, F., Friedrich, J., Paulus, T., Zittel, S., Bäumer, T., Frings, C., Beste, C., & Münchau, A. (2024). Increased beta synchronization underlies perception-action hyperbinding in functional movement disorders. *Brain Communications*, 6(5), fcae301. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcae301>
- Pérez, D. L., Matin, N., Barsky, A., Costumero-Ramos, V., Makaretz, S. J., Young, S. S., Sepulcre, J., LaFrance, W. C., Keshavan, M. S., & Dickerson, B. C. (2017). Cingulo-Insular Structural Alterations Associated with Psychogenic Symptoms, Childhood Abuse and PTSD in Functional Neurological Disorders. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 88(6), 491–497. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2016-314998>
- Peterson, K. T., Kosior, R., Meek, B. P., Ng, M., Perez, D. L., & Modirrousta, M. (2018). Right Temporoparietal Junction Transcranial Magnetic Stimulation in the Treatment of Psychogenic Nonepileptic Seizures: A Case Series. *Psychosomatics*, 59(6), 601–606. <https://doi.org/10.1016/j.psych.2018.03.001>
- Petruo, V., Stock, A.-K., Münchau, A., & Beste, C. (2016). A systems neurophysiology approach to voluntary event coding. *NeuroImage*, 135. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.007>
- Prochnow, A., Bluschke, A., Weissbach, A., Münchau, A., Roessner, V., Mückschel, M., & Beste, C. (2021). Neural dynamics of stimulus-response representations during inhibitory control. *Journal of Neurophysiology*, 126(2), 680–692. <https://doi.org/10.1152/jn.00163.2021>

- Roelofs, K., de Bruijn, E. R. A., & Van Galen, G. P. (2006). Hyperactive action monitoring during motor-initiation in conversion paralysis: An event-related potential study. *Biological Psychology*, 71(3), 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.07.002>
- Sadnicka, A., Daum, C., Meppelink, A.-M., Manohar, S., & Edwards, M. (2020). Reduced drift rate: A biomarker of impaired information processing in functional movement disorders. *Brain*, 143(2), Article 2. <https://doi.org/10.1093/brain/awz387>
- Sekihara, K., Sahani, M., & Nagarajan, S. S. (2005). Localization bias and spatial resolution of adaptive and non-adaptive spatial filters for MEG source reconstruction. *NeuroImage*, 25(4), 1056–1067. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.051>
- Shill, H., & Gerber, P. (2006). Evaluation of clinical diagnostic criteria for psychogenic movement disorders. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 21(8), 1163–1168. <https://doi.org/10.1002/mds.20921>
- Stone, J., Carson, A., Duncan, R., Roberts, R., Warlow, C., Hibberd, C., Coleman, R., Cull, R., Murray, G., Pelosi, A., Cavanagh, J., Matthews, K., Goldbeck, R., Smyth, R., Walker, J., & Sharpe, M. (2010). Who is referred to neurology clinics? - The diagnoses made in 3781 new patients. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 112(9), 747–751. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2010.05.011>
- Takacs, A., Bluschke, A., Kleimaker, M., Münchau, A., & Beste, C. (2020). Neurophysiological mechanisms underlying motor feature binding processes and representations. *Human Brain Mapping*, 42(5), 1313–1327. <https://doi.org/10.1002/hbm.25295>
- Takacs, A., Mückschel, M., Roessner, V., & Beste, C. (2020). Decoding Stimulus-Response Representations and Their Stability Using EEG-Based Multivariate Pattern Analysis. *Cerebral Cortex Communications*, 1(1), tgaa016. <https://doi.org/10.1093/texcom/tgaa016>
- Takacs, A., Zink, N., Wolff, N., Münchau, A., Mückschel, M., & Beste, C. (2020). Connecting EEG signal decomposition and response selection processes using the theory of event coding framework. *Human Brain Mapping*, 41(10), Article 10. <https://doi.org/10.1002/hbm.24983>

- Tenke, C. E., & Kayser, J. (2012). Generator localization by current source density (CSD): Implications of volume conduction and field closure at intracranial and scalp resolutions. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 123(12), 2328–2345. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.06.005>
- Tinazzi, M., Fasano, A., Peretti, A., Bove, F., Conte, A., Dall'Occhio, C., Arbasino, C., Defazio, G., Fiorio, M., & Berardelli, A. (2014). Tactile and Proprioceptive Temporal Discrimination Are Impaired in Functional Tremor. *PLoS ONE*, 9(7), e102328. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102328>
- Tinazzi, M., Morgante, F., Marcuzzo, E., Erro, R., Barone, P., Ceravolo, R., Mazzucchi, S., Pilotto, A., Padovani, A., Romito, L. M., Eleopra, R., Zappia, M., Nicoletti, A., Dallochio, C., Arbasino, C., Bono, F., Pascarella, A., Demartini, B., Gambini, O., Modugno, N., Olivola, E., Di Stefano, V., Albanese, A., Ferrazzano, G., Tessitore, A., Zibetti, M., Calandra-Buonaura, G., Petracca, M., Esposito, M., Pisani, A., Manganotti, P., Stocchi, F., Coletti Moja, M., Antonini, A., Defazio, G., & Geroin, C. (2020). Clinical Correlates of Functional Motor Disorders: An Italian Multicenter Study. *Movement Disorders Clinical Practice*, 7(8), 920–929. <https://doi.org/10.1002/mdc3.13077>
- Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (1983). *The stochastic modeling of elementary psychological processes*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- van Poppelen, D., Saifee, T. A., Schwingenschuh, P., Katschnig, P., Bhatia, K. P., Tijssen, M. A., & Edwards, M. J. (2011). Attention to self in psychogenic tremor. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 26(14), 2575–2576. <https://doi.org/10.1002/mds.23911>
- van Wouwe, N. C., Mohanty, D., Lingaiah, A., Wylie, S. A., & LaFaver, K. (2020). Impaired Action Control in Patients With Functional Movement Disorders. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 32(1), 73–78. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.19030076>
- Verleger, R., Jaskowski, P., & Wascher, E. (2005). Evidence for an integrative role of P3 in linking reaction to perception. *Journal of Psychophysiology*, 19(3), 165–181. <https://doi.org/10.1027/0269-8803.19.3.165>
- Verleger, R., Metzner, M., Ouyang, G., Smigajewicz, K., & Zhou, C. (2014). Testing

- the Stimulus-to-Response Bridging Function of the Oddball-P3 by Delayed Response Signals and Residue Iteration Decomposition (RIDE). *NeuroImage*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.06.036>
- Verrel, J., Chwolka, F., Filevich, E., Moyé, J., Paulus, T., Zittel, S., Bäumer, T., Münchau, A., & Weissbach, A. (2023). Impaired Metacognition of Voluntary Movement in Functional Movement Disorder. *Movement Disorders*, 38(3), 435–443. <https://doi.org/10.1002/mds.29303>
- Voon, V., Brezing, C., Gallea, C., Ameli, R., Roelofs, K., LaFrance, W. C., & Hallett, M. (2010). Emotional stimuli and motor conversion disorder. *Brain*, 133(5), 1526–1536. <https://doi.org/10.1093/brain/awq054>
- Voon, V., Brezing, C., Gallea, C., & Hallett, M. (2011). Aberrant supplementary motor complex and limbic activity during motor preparation in motor conversion disorder. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 26(13), Article 13. <https://doi.org/10.1002/mds.23890>
- Voon, V., Gallea, C., Hattori, N., Bruno, M., Ekanayake, V., & Hallett, M. (2010). The involuntary nature of conversion disorder. *Neurology*, 74(3), 223–228. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181ca00e9>
- Weißbach, A. (2022). Metacognitive Therapy and Neuro-physiotherapy as a Treatment for Functional Movement Disorders—A Randomized, Observer-blinded Feasibility Trial (Clinical trial registration No. NCT05323344). [clinicaltrials.gov](https://clinicaltrials.gov). <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT05323344>. Tag des Zugriffs: 01.07.2025.
- Weißbach, A., Hamami, F., Münchau, A., & Ganos, C. (2023). Von den klinischen Charakteristika zur sicheren Diagnose funktioneller neurologischer Bewegungsstörungen. *Nervenheilkunde*, 42(08), 512–523. <https://doi.org/10.1055/a-2103-7666>
- Weissbach, A., Moyé, J., Takacs, A., Verrel, J., Chwolka, F., Friedrich, J., Paulus, T., Zittel, S., Bäumer, T., Frings, C., Pastötter, B., Beste, C., & Münchau, A. (2023). Perception–Action Integration Is Altered in Functional Movement Disorders. *Movement Disorders*, 38(8), 1399–1409. <https://doi.org/10.1002/mds.29458>
- Yamaguchi, S., & Knight, R. (1991). Anterior and posterior association cortex contributions to the somatosensory P300. *The Journal of Neuroscience*, 11(7), 2039–2054. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.11-07-02039.1991>

Zito, G. A., Wiest, R., & Aybek, S. (2020). Neural correlates of sense of agency in motor control: A neuroimaging meta-analysis. *PLOS ONE*, 15, e0234321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234321>

## 8 Anhänge

### 8.1 Ergänzende Statistik

**Ergänzende Tabelle 1:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung mit Zwischensubjektfaktor Gruppe und Innersubjektfaktoren Stimulus und Reaktion für die Genauigkeit.

Effekt	DFn	DFd	F	p	$\eta_p^2$
Gruppe	1	40	5,53	<b>0,024</b>	0,121
Reaktion	1	40	0,27	0,607	0,007
Stimulus	1	40	0,25	0,617	0,006
Gruppe x Reaktion	1	40	0,58	0,450	0,014
Gruppe x Stimulus	1	40	1,70	0,200	0,041
Reaktion x Stimulus	1	40	85,21	<b>&lt; 0,001</b>	0,681
Gruppe x Reaktion x Stimulus	1	40	4,54	<b>0,039</b>	0,102

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 2:** Ergebnisse der Genauigkeit beider Gruppen aufgeschlüsselt nach den Bedingungen.

Bedingung	rep S rep R	alt S rep R	rep R alt R	alt S alt R
Mittelwert	95,5 %	83,9 %	82,9 %	95,4 %
Standardabweichung	4,2 %	11,8 %	12,8 %	6,6 %
Minimum	79,5 %	50,0 %	54,2 %	64,6 %
Maximum	100,0 %	100,0 %	97,9 %	100,0 %

rep S = Stimuluswiederholung, alt S = Stimulusalternation, rep R = Reaktionswiederholung, alt R = Reaktionsalternation

**Ergänzende Tabelle 3:** Ergebnisse der durchschnittlichen Genauigkeit der FBS-Gruppe und gesunden Kontrollen über alle Bedingungen.

Gruppe	FBS-Gruppe	Gesunde Kontrollen
Mittelwert	86,9 %	92,0 %
Standardabweichung	8,3 %	5,2 %
Minimum	65,9 %	78,0 %
Maximum	99,5 %	99,0 %

FBS = funktionelle neurologische Bewegungsstörungen

**Ergänzende Tabelle 4:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung mit Zwischensubjektfaktor Gruppe und Innersubjektfaktoren Stimulus und Reaktion für die Reaktionszeit.

Effekt	DFn	DFd	F	p	$\eta_p^2$
Gruppe	1	40	0,66	0,420	0,016
Reaktion	1	40	0,25	0,618	0,006
Stimulus	1	40	0,39	0,537	0,010
Gruppe x Reaktion	1	40	1,18	0,283	0,029
Gruppe x Stimulus	1	40	1,46	0,234	0,035
Reaktion x Stimulus	1	40	67,37	<b>&lt; 0,001</b>	0,627
Gruppe x Reaktion x Stimulus	1	40	1,55	0,220	0,037

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 5:** Ergebnisse der Bindungseffekte. Statistische Gruppenvergleiche in Bezug auf Genauigkeit und Reaktionszeit zwischen der FBS-Gruppe und gesunden Kontrollen.

Abhängige Variablen	FBS-Gruppe	Gesunde Kontrollen	Bindung	Gruppe
<b>Genauigkeit</b> ( $\pm$ SD)	-14,81 ( $\pm$ 9,81)	-9,26 ( $\pm$ 6,82)	U = 0 <b>p &lt; 0,001</b>	W = 140,5 <b>p = 0,045</b>
<b>Reaktionszeit</b> ( $\pm$ SD)	57,43 ( $\pm$ 47,25)	42,28 ( $\pm$ 29,44)	U = 888 <b>p &lt; 0,001</b>	t(33,5) = 1,25 p = 0,221
<b>IES</b> ( $\pm$ SD)	1,92 ( $\pm$ 1,21)	1,20 ( $\pm$ 1,20)	U = 902 <b>p &lt; 0,001</b>	W = 330,0 <b>p = 0,005</b>
<b>BIS</b> ( $\pm$ SD)	-1,78 ( $\pm$ 0,91)	-1,16 ( $\pm$ 0,78)	U = 0 <b>p &lt; 0,001</b>	W = 123,0 <b>p = 0,014</b>
<b>logRT</b> ( $\pm$ SD)	0,09 ( $\pm$ 0,06)	0,08 ( $\pm$ 0,04)	t(41) = 10,07 <b>p &lt; 0,001</b>	t(35,4) = 0,81 p = 0,426
<b>d-prime</b> ( $\pm$ SD)	-1,32 ( $\pm$ 0,55)	-1,01 ( $\pm$ 0,47)	t(41) = -14,28 <b>p &lt; 0,001</b>	t(39,1) = -1,94 p = 0,059
<b>logIES</b> ( $\pm$ SD)	0,28 ( $\pm$ 0,14)	0,19 ( $\pm$ 0,12)	U = 903 <b>p &lt; 0,001</b>	W = 307,0 <b>p = 0,029</b>

FBS = funktionelle neurologische Bewegungsstörungen, SD = Standardabweichung; IES = Inverse Efficiency Score, BIS = Balanced Integration Score, logRT = logarithmical Response Time, d-prime = Signal-Theoretic Sensitivity Index; logIES = logarithmical Inverse Efficiency Score; U = Mann-Whitney-Test; p = p-Wert; t = Zweistichproben-t-Test; W = Wilcoxon-Test; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 6a:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung der FBS-Gruppe für Genauigkeit.

Effekt	DFn	DFe	F	p	$\eta_p^2$
Reaktion	1	20	0,03	0,873	0,001
Stimulus	1	20	0,26	0,614	0,013
Reaktion x Stimulus	1	20	47,85	<b>&lt;0,001</b>	0,705

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 6b:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung gesunden Kontrollen für Genauigkeit.

Effekt	DFn	DFe	F	p	$\eta_p^2$
Reaktion	1	20	0,94	0,345	0,045
Stimulus	1	20	2,08	0,164	0,094
Reaktion x Stimulus	1	20	38,71	<b>&lt;0,001</b>	0,659

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 7a:** Ergebnisse der Genauigkeitsdifferenz bei Reaktionswiederholung von Stimuluswiederholung (rep S/ rep R) zu Stimulusalternation (alt S/ rep R) der FBS-Gruppe und gesunden Kontrollen.

Gruppe	FBS-Gruppe	Gesunde Kontrollen
Mittelwert	15,5 %	7,6 %
Standardabweichung	11,7 %	5,8 %
Minimum	1,3 %	0,0 %
Maximum	39,6 %	18,8 %

FBS = funktionelle neurologische Bewegungsstörungen

**Ergänzende Tabelle 7b:** Ergebnisse der Genauigkeitsdifferenz bei Reaktionsalternation von Stimulusalternation (alt S/ alt R) zu Stimuluswiederholung (rep S/ alt R) der FBS-Gruppe und gesunden Kontrollen.

Gruppe	FBS-Gruppe	Gesunde Kontrollen
Mittelwert	14,1 %	10,9 %
Standardabweichung	11,7 %	10,6 %
Minimum	0,0 %	2,1 %
Maximum	45,7 %	37,1 %

FBS = funktionelle neurologische Bewegungsstörungen

**Ergänzende Tabelle 8:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung mit Zwischensubjektfaktor Gruppe und Innersubjektfaktoren Stimulus und Reaktion für BIS.

Effekt	DFn	DFd	F	p	$\eta_p^2$
Gruppe	1	40	3,92	0,055	0,089
Reaktion	1	40	0,05	0,833	0,001
Stimulus	1	40	0,03	0,866	< 0,001
Gruppe x Reaktion	1	40	1,41	0,242	0,034
Gruppe x Stimulus	1	40	2,50	0,122	0,059
Reaktion x Stimulus	1	40	127,35	<b>&lt; 0,001</b>	0,761
Gruppe x Reaktion x Stimulus	1	40	5,58	<b>0,023</b>	0,123

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

## 8.2 Ergänzende Statistik – Ausschluss von Ausreißern

**Ergänzende Tabelle 9:** Ergebnisse der Bindungseffekte. Statistische Gruppenvergleiche in Bezug auf Genauigkeit und Reaktionszeit der FBS-Gruppe und gesunden Kontrollen nach Ausschluss von Ausreißern (R2-Genauigkeit  $\geq 60\%$ ).

Abhängige Variablen	FBS-Gruppe	Gesunde Kontrollen	Bindung	Gruppe
<b>Genauigkeit</b>	-12,53	-7,55	U = 0	t(26,0) = -2,36
( $\pm$ SD)	( $\pm 7,89$ )	( $\pm 4,32$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	<b>p = 0,026</b>
<b>Reaktionszeit</b>	63,63	35,35	U = 696	t(23,1) = 2,34
( $\pm$ SD)	( $\pm 47,00$ )	( $\pm 20,75$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	<b>p = 0,028</b>
<b>IES</b>	1,73	0,84	U = 702	W = 270,0
( $\pm$ SD)	( $\pm 1,12$ )	( $\pm 0,38$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	<b>p = 0,002</b>
<b>BIS</b>	-1,62	-0,95	U = 0	t(25,7) = -3,12
( $\pm$ SD)	( $\pm 0,81$ )	( $\pm 0,43$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	<b>p = 0,004</b>
<b>logRT</b>	0,10	0,07	t(36) = 10,51	t(29,8) = 2,07
( $\pm$ SD)	( $\pm 0,06$ )	( $\pm 0,04$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	<b>p = 0,047</b>
<b>d-prime</b>	-1,25	-0,95	t(36) = -14,13	t(34,8) = -1,99
( $\pm$ SD)	( $\pm 0,46$ )	( $\pm 0,45$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	p = 0,054
<b>logIES</b>	0,25	0,15	U = 703	t(26,2) = 3,01
( $\pm$ SD)	( $\pm 0,12$ )	( $\pm 0,07$ )	<b>p &lt; 0,001</b>	<b>p = 0,006</b>

FBS = funktionelle neurologische Bewegungsstörungen, SD = Standardabweichung; IES = Inverse Efficiency Score, BIS = Balanced Integration Score, logRT = logarithmical Response Time, d-prime = Signal-Theoretic Sensitivity Index; logIES = logarithmical Inverse Efficiency Score; U = Mann-Whitney-Test; p = p Wert; t = Zweistichproben-t-Test; W = Wilcoxon-Test; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 10a:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (FBS-Gruppe [n = 18]; gesunde Kontrollen [n = 19]) und Innersubjektfaktoren Stimulus und Reaktion für die Genauigkeit nach Ausschluss von 5 Ausreißern (R2-Genauigkeit  $\geq 60\%$ ).

Effekt	DFn	DFd	F	p	$\eta_p^2$
Gruppe	1	35	7,16	<b>0,011</b>	0,170
Reaktion	1	35	< 0,01	0,987	< 0,001
Stimulus	1	35	1,39	0,246	0,038
Gruppe x Reaktion	1	35	0,19	0,666	0,005
Gruppe x Stimulus	1	35	0,06	0,807	0,002
Reaktion x Stimulus	1	35	93,45	<b>&lt; 0,001</b>	0,728
Gruppe x Reaktion x Stimulus	1	35	5,75	<b>0,022</b>	0,141

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 10b:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe und den Innersubjektfaktoren Stimulus und Reaktion für die Reaktionszeit nach Ausschluss von Ausreißern (R2-Genauigkeit  $\geq 60\%$ ).

Effekt	DFn	DFd	F	p	$\eta_p^2$
Gruppe	1	35	3,25	0,080	0,085
Reaktion	1	35	< 0,01	0,958	< 0,001
Stimulus	1	35	0,07	0,787	0,002
Gruppe x Reaktion	1	35	0,50	0,486	0,014
Gruppe x Stimulus	1	35	0,50	0,483	0,014
Reaktion x Stimulus	1	35	69,96	<b>&lt; 0,001</b>	0,667
Gruppe x Reaktion x Stimulus	1	35	5,71	<b>0,022</b>	0,140

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 10c:** Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe und den Innersubjektfaktoren Stimulus und Reaktion für *BIS* nach Ausschluss von Ausreißern (R2-Genauigkeit  $\geq 60\%$ ).

Effekt	DFn	DFd	F	p	$\eta_p^2$
Gruppe	1	35	7,28	0,011	0,172
Reaktion	1	35	< 0,01	0,975	< 0,001
Stimulus	1	35	0,70	0,407	0,020
Gruppe x Reaktion	1	35	0,53	0,472	0,015
Gruppe x Stimulus	1	35	0,33	0,567	0,009
Reaktion x Stimulus	1	35	147,09	<b>&lt; 0,001</b>	0,808
Gruppe x Reaktion x Stimulus	1	35	10,04	<b>0,003</b>	0,223

DFn = Freiheitsgrad des Zählers; DFd = Freiheitsgrad des Nenners; F = F-Test; p = p-Wert;  $\eta_p^2$  = Eta-Quadrat; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

**Ergänzende Tabelle 11:** Ergebnisse der Bindungseffekte nach Unterteilung nach Symptomlokalisierung. Vergleich innerhalb der FBS-Gruppe zwischen mit ( $n = 14$ ) und ohne ( $n = 7$ ) Beeinträchtigung der oberen Extremität.

Abhängige Variablen	Mit Beteiligung	Ohne Beteiligung	Gruppe
<b>Genauigkeit</b> ( $\pm$ SD)	-15,70 ( $\pm$ 10,67)	-13,03 ( $\pm$ 8,30)	U = 57,0 p = 0,585
<b>Reaktionszeit</b> ( $\pm$ SD)	63,08 ( $\pm$ 50,43)	46,12 ( $\pm$ 41,32)	U = 41,0 p = 0,585
<b>IES</b> ( $\pm$ SD)	2,11 ( $\pm$ 1,38)	1,52 ( $\pm$ 0,69)	U = 40,0 p = 0,535
<b>BIS</b> ( $\pm$ SD)	-1,90 ( $\pm$ 1,02)	-1,53 ( $\pm$ 0,61)	U = 59,0 p = 0,488

FBS = funktionelle neurologische Bewegungsstörungen, SD = Standardabweichung; *IES* = *Inverse Efficiency Score*, *BIS* = *Balanced Integration Score*, U = Mann-Whitney-Test; p = p Wert; signifikante Werte ( $p < 0,05$ ) sind fett markiert

## 8.3 Ethikvotum



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK

Universität zu Lübeck · Ratzeburger Allee 160 · 23538 Lübeck

Frau  
PD Dr. med. Weißbach  
Institut für Systemische Motorikforschung

im Hause

anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de

### **Ethik-Kommission**

Vorsitzender:  
Herr Prof. Dr. med. Alexander Katalinic  
Universität zu Lübeck  
Stellv. Vorsitzender:  
Herr Prof. Dr. med. Frank Gieseler  
Ratzeburger Allee 160  
23538 Lübeck

Sachbearbeitung: Frau Janine Erdmann  
Tel.: +49 451 3101 1008  
Fax: +49 451 3101 1024

ethikkommission@uni-luebeck.de

**Aktenzeichen: 20-316**

**Datum: 22. September 2020**

### **Sitzung der Ethik-Kommission am 03. September 2020**

**Antragsteller: Frau PD Dr. Weißbach**

**Titel: Neurophysiologische Untersuchungen an Patienten mit funktionellen Bewegungsstörungen**

Sehr geehrte Frau Dr. Weißbach,

vielen Dank für Ihr Schreiben vom 15. September 2020, in dem Sie den Hinweisen aus unserer Sitzung vom 03. September 2020 nachkommen.

Folgende Unterlagen lagen vor:

- Ihr Schreiben vom 15. September 2020
- Aufklärungsmaterialien Kontrollprobanden und Patienten mit und ohne Änderungen
- Studienprotokoll mit und ohne Änderungen.

Die Kommission hat gegen die Durchführung der Studie keine Bedenken.

Bei Änderung des Studiendesigns sollte der Antrag erneut vorgelegt werden.

Über alle schwerwiegenden oder unerwarteten und unerwünschten Ereignisse, die während der Studie auftreten, ist die Kommission umgehend zu benachrichtigen.

Die Deklaration von Helsinki in der aktuellen Fassung fordert in § 35 dazu auf, jedes medizinische Forschungsvorhaben mit Menschen zu registrieren. Daher empfiehlt die Kommission grundsätzlich die Studienregistrierung in einem öffentlichen Register (z.B. unter [www.drks.de](http://www.drks.de)). Die ärztliche und juristische Verantwortung des Studienleiters und der an der Studie teilnehmenden Ärzte bleibt entsprechend der Beratungsfunktion der Ethikkommission durch unsere Stellungnahme unberührt.

Datenschutzrechtliche Aspekte von Forschungsvorhaben werden durch die Ethikkommission grundsätzlich nur kursorisch geprüft. Dieses Votum / diese Bewertung ersetzt mithin nicht die Konsultation des zuständigen Datenschutzbeauftragten.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. Alexander Katalinic  
Vorsitzender

## 8.4 Patientinnen- und Patientenaufklärung



Campus Lübeck

Institut für Systemische Motorikforschung  
Direktor: Prof. Dr. med. Alexander Münchau

**Ansprechpartner:**  
Priv.-Doz. Dr. med. Anne Weißbach  
Prof. Dr. med. Tobias Bäumer

**Doktoranden:**  
Josephine Moyé und Fabian Chwolka

**Tel.:** 0451/31018215 oder 0163/7644232  
**E-Mail:** josephine.moye@student.uni-luebeck.de;  
fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de  
[www.ISMS.uni-luebeck.de](http://www.ISMS.uni-luebeck.de)  
[www.uksh.de](http://www.uksh.de)

Datum: 23. Juli 2020

### Aufklärung für Patienten

#### „Neurophysiologische Untersuchungen an Patienten mit funktionellen Bewegungsstörungen“

Sehr geehrter Patient, sehr geehrte Patientin,

vielen Dank für Ihr Interesse und Ihre Bereitschaft, unser Forschungsprojekt zu unterstützen.

Ziel unserer Studie ist es die zugrundeliegenden neurophysiologischen Ursachen Ihrer Erkrankung besser zu verstehen.

Zu diesem Zweck kommen vier unterschiedliche neurophysiologische Techniken zur Anwendung: 1) die Elektroenzephalographie, 2) die Pupillometrie, 3) die visuelle-zeitliche Diskrimination und 4) eine Metakognition-Motor-Aufgabe.

Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethoden können wir untersuchen, in welchem Maße sich die Wahrnehmung, die kognitive Verarbeitung und das Reaktionsvermögen auf äußere Reize, eigene Bewegungen und Handlungsabläufe zwischen Patienten, die wie Sie an funktionellen Bewegungsstörungen leiden und gesunden Probanden, unterscheiden.

Die so identifizierten neurophysiologischen Charakteristika Ihrer Erkrankung möchten wir gerne mit der Art und Schwere Ihrer motorischen Symptome korrelieren. Um Ihre Symptome genauer beurteilen zu können, möchten wir eine detaillierte neurologische Untersuchung durchführen und diese per Video aufzeichnen. Außerdem möchten wir im Rahmen der Studie einen Intelligenztest (IQ-Test) durchführen.

Die Untersuchungen werden insgesamt ca. 3 Stunden dauern und können an einem Untersuchungstage absolviert werden. Zwischen und während der einzelnen Untersuchungen können je nach Bedarf Pausen eingelegt werden.

In der vorliegenden Information werden wir Ihnen alle vier Methoden einzeln, detailliert erläutern. Sie sind alle nicht-invasiv und nicht schmerzhaft.

Bitte lesen Sie diese Information sorgfältig durch. Ihr Studienarzt wird mit Ihnen auch direkt über die Studie sprechen. Bitte fragen Sie Ihren Studienarzt, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wenn Sie zusätzlich Informationen benötigen.

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Die Ergebnisse der Untersuchungen unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht und werden pseudonymisiert ausgewertet. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen die Teilnahme an der Studie beenden, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile entstehen.

Was beabsichtigen wir mit dieser Studie? Welchen persönlichen Nutzen hat die Studie für mich?

Mit Hilfe dieser Studie möchten wir neurophysiologische Marker identifizieren, die auf eine veränderte Wahrnehmung und Verarbeitung von Bewegungen und äußeren Reizen hindeuten. Diese können die Grundlage bilden für die Entstehung und Aufrechterhaltung der motorischen Symptome, die im Rahmen der funktionellen Bewegungsstörungen auftreten. Dieses Wissen kann uns in nachfolgenden Studien helfen, neue Therapiekonzepte zu entwickeln.

Durch die Teilnahme an dieser Studie ist allerdings kein sofortiger, anschließender persönlicher, gesundheitlicher Nutzen für Sie zu erwarten.

Studienplan: Welche Untersuchungen sind im Einzelnen geplant?

Elektroenzephalographie (EEG), Reaktionstests und Pupillometrie

Die EEG und Pupillometrie werden zeitgleich im selben Experiment erhoben.

Die EEG ermöglicht eine nicht-invasive Ableitung von Hirnströmen. Die gemessenen Hirnströme erlauben Rückschlüsse auf die Hirnaktivität in unterschiedlichen Gebieten des Gehirns. Dafür werden Ihnen mit etwas Gel 64 Messelektroden über eine Kopfhaube angebracht. Während der EEG-Messung führen Sie eine Reaktionsaufgabe am Computer aus, bei der man nach bestimmten Regeln auf Bilder, die am Bildschirm gezeigt werden, mit einem Tastendruck reagieren soll. Gleichzeitig wird die Weite Ihrer Pupille (Pupillometrie) mittels Eye-Tracker verfolgt und aufgezeichnet.

Dies dauert pro Sitzung insgesamt ca. eine Stunde.

Metakognition-Motor-Aufgabe

Die Metakognition-Motor-Aufgabe findet auf einem elektronischen Schreibpad statt. Die Zeichenbewegungen können auf einem Computer angezeigt werden. Bei dieser Untersuchung bekommen Sie verschiedene Aufgaben, bei denen Sie in einer flüssigen Handbewegung von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt eine Linie zeichnen sollen. Nach Abschluss einer jeden Bewegung zeigt Ihnen der Computer zwei Linien an. Dabei ist eine Linie Ihre selbstgezeichnete und eine weitere Linie durch den Computer generiert. Ihre Aufgabe ist es, die Linie zu identifizieren, die Sie gezeichnet haben. Im Anschluss sollen Sie auf einer Skala von 1 - 4 (1 = sehr unsicher, 4 = sehr sicher) bewerten, wie sicher Sie in der Identifizierung Ihrer selbstgezeichneten Linie sind.

Dieser Teil der Untersuchungen wird 40 Minuten dauern.

Visuelle-zeitliche Diskrimination

Für die visuelle-zeitliche Entscheidungsfähigkeit (= visuelle-zeitliche Diskrimination) wird die sogenannte Diskriminationsschwelle bestimmt. Durch zwei getrennte visuelle Reize wird das kürzeste Zeitintervall bestimmt, bei dem diese zwei Reize von Ihnen als getrennt wahrgenommen werden können. Bei dieser Untersuchung fixieren Sie einen bestimmten Punkt an. Neben diesem befindet sich eine kleine Box mit zwei LED-Lampen. Die beiden Lampen leuchten in verschiedenen Abständen auf. Sie bestimmen durch einen Tastendruck, welche der beiden Lampen, Ihrer Meinung nach, als erste aufgeleuchtet hat. Dieser Teil der Untersuchungen wird 30 Minuten in Anspruch nehmen.

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



#### Videoaufzeichnung der Symptome

Damit die neurologische Untersuchung bei allen Patienten gleich und standardisiert abläuft, wird diese mit Hilfe eines Videofilms instruiert, auf dem Ihnen eine Mitarbeiterin alle Bewegungen, die Sie ausführen sollen, demonstriert. Um im Anschluss daran Ihre Symptome genau beurteilen zu können, werden wir diese Untersuchung auf Video aufnehmen. Diese Untersuchung wird 15 Minuten dauern.

#### Intelligenztest

Im Rahmen dieser Studie wird kein vollständiger Intelligenztest durchgeführt. Sie werden aber vier kurze Teiltests der sogenannten Wechsler Intelligenzskala für Erwachsene ausführen. Dazu kommen die folgenden Aufgaben zur Anwendung: 1) Bilder ergänzen 2) Zahlensymboltest 3) rechnerisches Denken und 4) Gemeinsamkeiten finden. Wir können damit nicht ihren exakten Intelligenzquotienten herausfinden. Die Erfassung der Teiltests ist aber wichtig, damit wir Ihre Ergebnisse aus den neurophysiologischen Untersuchungen mit denen von Personen, die als gesunde Kontrollen an unserer Studie teilnehmen und ähnliche Ergebnisse in den Teiltests der Wechsler Intelligenzskala hatten, vergleichen können. Insgesamt wird dies etwas 20 Minuten dauern.

#### Kostenerstattungen / Anfahrt

Die Kosten für Ihre An- und Abreise zu unserem Studienzentrum nach Lübeck werden übernommen. Für Ihre An- und Abreise wird keine Wegeversicherung abgeschlossen.

#### Welche Risiken entstehen durch die Teilnahme an der Studie?

Die jeweiligen Untersuchungen erfolgen nicht-invasiv, sind nicht schmerzhaft und mit keinen Risiken verbunden.

#### Verantwortlich für die Datenverarbeitung ist die Studienleitung

Frau Priv.-Doz. Dr. med. Anne Weißbach, Herr Prof. Dr. med. Tobias Bäumer  
Institut für Systemische Motorikforschung, CBBM  
Marie-Curie-Straße, 23562 Lübeck  
Tel.: +49 451 3101 8215

#### Welche Daten werden erhoben?

Erhoben werden personenbezogene Daten, wie Name, Geburtsdatum und Adresse, die Ergebnisse der o. g. Aufgaben, außerdem medizinische Daten in Form von elektrophysiologischen und klinischen Daten.

#### Wie werden die Daten gespeichert?

Alle Untersuchungen sowie die Datenspeicherung erfolgen pseudonymisiert gemäß dem Bundesdatenschutzgesetz (§ 46 BDSG 2018). Alle unmittelbar Ihre Person identifizierenden Daten (Name, Geburtsdatum, Anschrift etc.) werden unverzüglich durch einen Identifizierungscode ersetzt (pseudonymisiert). Die Sie unmittelbar identifizierenden Daten bleiben in der Einrichtung, in der die Daten gewonnen wurden. Eine Weitergabe der Ihre Person identifizierenden Daten an Forscher oder andere unberechtigte Dritte, etwa Versicherungsunternehmen oder Arbeitgeber, erfolgt nicht.

#### Wer erhält Zugriff auf die Daten?

Auf die persönlichen Daten haben nur ausgewählte Mitglieder der Arbeitsgruppe Zugang, die in die Rekrutierung der Probanden und Durchführung der Experimente involviert sind. Weitere Mitglieder der Arbeitsgruppe oder andere kooperierende Forschungsgruppen haben nur Zugriff auf die pseudonymisierten Daten.

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



#### Videoaufzeichnung der Symptome

Damit die neurologische Untersuchung bei allen Patienten gleich und standardisiert abläuft, wird diese mit Hilfe eines Videofilms instruiert, auf dem Ihnen eine Mitarbeiterin alle Bewegungen, die Sie ausführen sollen, demonstriert. Um im Anschluss daran Ihre Symptome genau beurteilen zu können, werden wir diese Untersuchung auf Video aufnehmen. Diese Untersuchung wird 15 Minuten dauern.

#### Intelligenztest

Im Rahmen dieser Studie wird kein vollständiger Intelligenztest durchgeführt. Sie werden aber vier kurze Teiltests der sogenannten Wechsler Intelligenzskala für Erwachsene ausführen. Dazu kommen die folgenden Aufgaben zur Anwendung: 1) Bilder ergänzen 2) Zahlensymboltest 3) rechnerisches Denken und 4) Gemeinsamkeiten finden. Wir können damit nicht ihren exakten Intelligenzquotienten herausfinden. Die Erfassung der Teiltests ist aber wichtig, damit wir Ihre Ergebnisse aus den neurophysiologischen Untersuchungen mit denen von Personen, die als gesunde Kontrollen an unserer Studie teilnehmen und ähnliche Ergebnisse in den Teiltests der Wechsler Intelligenzskala hatten, vergleichen können. Insgesamt wird dies etwas 20 Minuten dauern.

#### Kostenerstattungen / Anfahrt

Die Kosten für Ihre An- und Abreise zu unserem Studienzentrum nach Lübeck werden übernommen. Für Ihre An- und Abreise wird keine Wegeversicherung abgeschlossen.

#### Welche Risiken entstehen durch die Teilnahme an der Studie?

Die jeweiligen Untersuchungen erfolgen nicht-invasiv, sind nicht schmerzhaft und mit keinen Risiken verbunden.

#### Verantwortlich für die Datenverarbeitung ist die Studienleitung

Frau Priv.-Doz. Dr. med. Anne Weißbach, Herr Prof. Dr. med. Tobias Bäumer  
Institut für Systemische Motorikforschung, CBBM  
Marie-Curie-Straße, 23562 Lübeck  
Tel.: +49 451 3101 8215

#### Welche Daten werden erhoben?

Erhoben werden personenbezogene Daten, wie Name, Geburtsdatum und Adresse, die Ergebnisse der o. g. Aufgaben, außerdem medizinische Daten in Form von elektro-physiologischen und klinischen Daten.

#### Wie werden die Daten gespeichert?

Alle Untersuchungen sowie die Datenspeicherung erfolgen pseudonymisiert gemäß dem Bundesdatenschutzgesetz (§ 46 BDSG 2018). Alle unmittelbar Ihre Person identifizierenden Daten (Name, Geburtsdatum, Anschrift etc.) werden unverzüglich durch einen Identifizierungscode ersetzt (pseudonymisiert). Die Sie unmittelbar identifizierenden Daten bleiben in der Einrichtung, in der die Daten gewonnen wurden. Eine Weitergabe der Ihre Person identifizierenden Daten an Forscher oder andere unberechtigte Dritte, etwa Versicherungsunternehmen oder Arbeitgeber, erfolgt nicht.

#### Wer erhält Zugriff auf die Daten?

Auf die persönlichen Daten haben nur ausgewählte Mitglieder der Arbeitsgruppe Zugang, die in die Rekrutierung der Probanden und Durchführung der Experimente involviert sind. Weitere Mitglieder der Arbeitsgruppe oder andere kooperierende Forschungsgruppen haben nur Zugriff auf die pseudonymisierten Daten.

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



#### Werden die Daten veröffentlicht?

Wissenschaftliche Veröffentlichungen von den Gesamtergebnissen der Studie erfolgen ausschließlich anonymisiert, also in einer Form, die keine Rückschlüsse auf Ihre Person zulässt. Wir werden Ihnen persönlich die individuellen Ergebnisse der oben beschriebenen Experimente nicht rückmelden.

#### Wo werden die Daten gespeichert?

Ihre Daten werden auf dem Experimentalrechner und auf einem zugangsgesicherten Server, auf den nur von direkt am Projekt beteiligten Mitarbeitern und nur innerhalb des Instituts zugegriffen werden kann. Die Daten sind vor fremden Zugriffen geschützt. Eine Löschung der Daten geschieht nur auf Ihren ausdrücklichen Wunsch.

#### Was passiert mit meinen Videoaufnahmen?

Ihre Videoaufnahmen werden analog zu den anderen erhobenen Daten auf einem zugangsgesicherten Server, pseudonymisiert gespeichert. Die Videoaufnahmen werden ausschließlich zur Datenauswertung verwendet.

Darüber hinaus wäre es für den wissenschaftlichen Austausch und die medizinische Ausbildung sehr wertvoll, wenn wir ausgewählte Ausschnitte aus den Aufnahmen (selbstverständlich ohne Angaben von Namen oder Kontaktdaten) in Lehrveranstaltungen an der Universität oder bei wissenschaftlichen Kongressen zeigen könnten. Videos oder Bilder werden NICHT im Internet hochgeladen oder anderweitig an Dritte weitergegeben. Zur Präsentation von Videoausschnitten bei Seminaren und Konferenzen können Sie unten unabhängig von der Einwilligung zur Studienteilnahme Ihr Einverständnis erklären.

#### Welche Rechte haben Sie?

Die Bestimmungen der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) werden eingehalten.

Die Einwilligung zur Verarbeitung Ihrer Daten ist freiwillig, Sie können jederzeit die Einwilligung ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für Sie widerrufen.

Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden Daten zu erhalten, auch in Form einer unentgeltlichen Kopie. Für alle Teilnehmer besteht das Recht auf Datenlöschung, von welchem auch bis zu 10 Jahre nach Ende der Studie Gebrauch gemacht werden kann. Dazu wenden Sie sich an die im Briefkopf genannten Ansprechpartner.

Im Falle einer Beschwerde wenden Sie sich an den Datenschutzbeauftragten der Universität zu Lübeck: Dr. Stefan Braun, Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck, E-Mail:

[datenschutz@uni-luebeck.de](mailto:datenschutz@uni-luebeck.de)

Sie können sich mit einer Beschwerde auch an die zuständige Datenschutzaufsichtsbehörde wenden: Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein, Holstenstraße 98, 24103 Kiel, E-Mail: [mail@datenschutzzentrum.de](mailto:mail@datenschutzzentrum.de)

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



## Einverständniserklärung für Patienten

### „Neurophysiologische Untersuchungen an Patienten mit funktionellen Bewegungsstörungen“

Ich bin heute über die im Rahmen der Studie geplanten Untersuchungen aufgeklärt worden. Ich bin ausreichend in mündlicher und schriftlicher Form über die Ziele und Methoden, die möglichen Risiken und den Nutzen der Studie informiert worden. Ich habe die Patienteninformation gelesen und den Inhalt verstanden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, die Studie mit meinem Arzt zu besprechen und Fragen zu stellen. Alle meine Fragen und Bedenken wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet. Ich nehme an der o.g. Studie teil und bin mit den geplanten Untersuchungen und Interventionen einverstanden.

Ich weiß, dass meine Studienteilnahme freiwillig ist und dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zusage zur Teilnahme zurückziehen kann und mir daraus keine Nachteile entstehen.

#### Datenschutz und Einwilligungserklärung

Ich bin darüber informiert worden, dass bei dieser wissenschaftlichen Studie persönliche Daten und medizinische Befunde über mich erhoben werden. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt zur Teilnahme an der Studie die folgende freiwillige Einwilligung voraus:

**Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung an die in der Studie beteiligten Forscher weitergegeben werden.**

Einer wissenschaftlichen Auswertung der Daten und einer möglichen Veröffentlichung stimme ich zu.

**Ich bin damit einverstanden, dass Ausschnitte meiner Videoaufzeichnungen anderen Ärzten und Forschern bei Seminaren, wissenschaftlichen Kongressen zu wissenschaftlichen oder Lehrzwecken gezeigt werden.** (Eine Zustimmung hierzu ist für den wissenschaftlichen Austausch und Qualitätssicherung äußerst wertvoll. Nur so könnten wissenschaftliche Methoden auch von anderen Forschungsgruppen genau nachvollzogen und gemeinsame Standards etabliert werden.)

Ja  Nein

**Ich gebe hiermit meine freiwillige Zustimmung zur Teilnahme an dieser Studie. Eine Kopie dieser Einwilligung habe ich erhalten.**

---

Unterschrift des Patienten / Vor- und Nachname in Druckbuchstaben

Datum/Ort

---

Unterschrift des Studienarztes / Vor- und Nachname in Druckbuchstabe

Datum/Ort

*Im Falle von Rückfragen können Sie sich an die Studienärztin und Studienleiterin Frau Dr. med. Anne Weißbach (Tel.: 0451-31018219, [anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de](mailto:anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de)), Herrn Fabian Chwolka ([fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de](mailto:fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de)) und Frau Josephine Moyé (Tel.: 0163 7644232 [josephine.moye@student.uni-luebeck.de](mailto:josephine.moye@student.uni-luebeck.de)) wenden.*

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



## 8.5 Patientinnen- und Patientenaufklärung unter 18 Jahren

### Einverständniserklärung für Patienten

#### „Neurophysiologische Untersuchungen an Patienten mit funktionellen Bewegungsstörungen“

Ich bin heute über die im Rahmen der Studie geplanten Untersuchungen aufgeklärt worden. Ich bin ausreichend in mündlicher und schriftlicher Form über die Ziele und Methoden, die möglichen Risiken und den Nutzen der Studie informiert worden. Ich habe die Patienteninformation gelesen und den Inhalt verstanden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, die Studie mit meinem Arzt zu besprechen und Fragen zu stellen. Alle meine Fragen und Bedenken wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet. Ich nehme an der o.g. Studie teil und bin mit den geplanten Untersuchungen und Interventionen einverstanden.

Ich weiß, dass meine Studienteilnahme freiwillig ist und dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zusage zur Teilnahme zurückziehen kann und mir daraus keine Nachteile entstehen.

#### Datenschutz und Einwilligungserklärung

Ich bin darüber informiert worden, dass bei dieser wissenschaftlichen Studie persönliche Daten und medizinische Befunde über mich erhoben werden. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt zur Teilnahme an der Studie die folgende freiwillige Einwilligung voraus:

**Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung an die in der Studie beteiligten Forscher weitergegeben werden.**

Einer wissenschaftlichen Auswertung der Daten und einer möglichen Veröffentlichung stimme ich zu.

**Ich bin damit einverstanden, dass Ausschnitte meiner Videoaufzeichnungen anderen Ärzten und Forschern bei Seminaren, wissenschaftlichen Kongressen zu wissenschaftlichen oder Lehrzwecken gezeigt werden.** (Eine Zustimmung hierzu ist für den wissenschaftlichen Austausch und Qualitätssicherung äußerst wertvoll. Nur so könnten wissenschaftliche Methoden auch von anderen Forschungsgruppen genau nachvollzogen und gemeinsame Standards etabliert werden.)

Ja  Nein

**Ich gebe hiermit meine freiwillige Zustimmung zur Teilnahme an dieser Studie. Eine Kopie dieser Einwilligung habe ich erhalten.**

---

Unterschrift des Probanden / Vor- und Nachname in Druckbuchstaben Datum/Ort

---

Unterschrift der Erziehungsberechtigten / Vor- und Nachname in Druckbuchstaben Datum/Ort

---

Unterschrift des Studienarztes / Vor- und Nachname in Druckbuchstaben Datum/Ort

*Im Falle von Rückfragen können Sie sich an die Studienärztin und Studienleiterin Frau Dr. med. Anne Weißbach (Tel.: 0451-31018219, [anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de](mailto:anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de)), Herrn Fabian Chwolka ([fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de](mailto:fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de)) und Frau Josephine Moyé (Tel.: 0163 7644232 [josephine.moye@student.uni-luebeck.de](mailto:josephine.moye@student.uni-luebeck.de)) wenden.*

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



## 8.6 Aufklärung für gesunde Teilnehmende



UKSH, Institut für Systemische Motorikforschung,  
Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck



**Campus Lübeck**

**Institut für Systemische Motorikforschung**  
Direktor: Prof. Dr. med. Alexander Münchau

**Ansprechpartner:**  
Priv.-Doz. Dr. med. Anne Weißbach  
Prof. Dr. med. Tobias Bäumer  
**Doktoranden:**  
Josephine Moyé und Fabian Chwolka

**Tel.:** 0451/31018215 oder 0163/7644232  
**E-Mail:** josephine.moye@student.uni-luebeck.de;  
fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de  
[www.ISMS.uni-luebeck.de](http://www.ISMS.uni-luebeck.de)  
[www.uksh.de](http://www.uksh.de)

Datum: 23. Juli 2020

### Aufklärung für Kontrollteilnehmer

#### „Neurophysiologische Untersuchungen an Patienten mit funktionellen Bewegungsstörungen“

Sehr geehrter Studienteilnehmer, sehr geehrte Studienteilnehmerin,

vielen Dank für Ihr Interesse und Ihre Bereitschaft, unser Forschungsprojekt als gesunde/r Kontrollproband/in zu unterstützen.

Ziel unserer Studie ist es die zugrundeliegenden, neurophysiologischen Ursachen von funktionellen Bewegungsstörungen besser zu verstehen.

Zu diesem Zweck kommen 4 unterschiedliche neurophysiologische Techniken zur Anwendung: 1) die Elektroenzephalographie, 2) die Pupillometrie, 3) die visuelle-zeitliche Diskrimination und 4) eine Metakognition-Motor-Aufgabe.

Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethoden können wir untersuchen, in welchem Maße sich die Wahrnehmung, die kognitive Verarbeitung und das Reaktionsvermögen auf äußere Reize, eigene Bewegungen und Handlungsabläufe zwischen gesunden Probanden, wie Ihnen und Patienten, die an sogenannten funktionellen Bewegungsstörungen leiden, unterscheiden. Außerdem möchten wir im Rahmen der Studie einen Intelligenztest (IQ-Test) durchführen.

Die Untersuchungen werden insgesamt ca. 3 Stunden dauern und können an einem Untersuchungstag absolviert werden. Zwischen und während der einzelnen Untersuchungen können je nach Bedarf Pausen eingelegt werden.

In der vorliegenden Information werden wir Ihnen alle vier Methoden einzeln, detailliert erläutern. Sie sind alle nicht-invasiv und nicht schmerzhaft.

Bitte lesen Sie diese Information sorgfältig durch. Der Studienarzt wird mit Ihnen auch direkt über die Studie sprechen. Bitte fragen Sie den Studienarzt, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wenn Sie zusätzlich Informationen benötigen

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Die Ergebnisse der Untersuchungen unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht und werden pseudonymisiert ausgewertet. Sie können

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



1/4

jederzeit ohne Angabe von Gründen die Teilnahme an der Studie beenden, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile entstehen.

#### Was beabsichtigen wir mit der geplanten Studie?

Mit Hilfe dieser Studie möchten wir neurophysiologische Marker identifizieren, die auf eine veränderte Wahrnehmung und Verarbeitung von Bewegungen und äußeren Reizen hindeuten. Diese können die Grundlage bilden für die Entstehung und Aufrechterhaltung der motorischen Symptome, die im Rahmen der funktionellen Bewegungsstörungen auftreten. Dieses Wissen kann uns in nachfolgenden Studien helfen, neue Therapiekonzepte zu entwickeln.

Es ist nicht zu erwarten, dass die Studie einen direkten Nutzen für Sie persönlich hat.

#### Studienplan: Welche Untersuchungen sind im Einzelnen geplant?

##### Elektroenzephalographie (EEG), Reaktionstests und Pupillometrie

Die EEG und Pupillometrie werden zeitgleich im selben Experiment erhoben.

Die EEG ermöglicht eine nicht-invasive Ableitung von Hirnströmen. Die gemessenen Hirnströme erlauben Rückschlüsse auf die Hirnaktivität in unterschiedlichen Gebieten des Gehirns. Dafür werden Ihnen mit etwas Gel 64 Messelektroden über eine Kopfhaube angebracht. Während der EEG-Messung führen Sie eine Reaktionsaufgabe am Computer aus, bei der man nach bestimmten Regeln auf Bilder, die am Bildschirm gezeigt werden, mit einem Tastendruck reagieren soll. Gleichzeitig wird die Weite Ihrer Pupille (Pupillometrie) mittels Eye-Tracker verfolgt und aufgezeichnet.

Dies dauert pro Sitzung insgesamt ca. eine Stunde.

##### Metakognition-Motor-Aufgabe

Die Metakognition-Motor-Aufgabe findet auf einem elektronischen Schreibpad statt. Die Zeichenbewegungen können auf einem Computer angezeigt werden. Bei dieser Untersuchung bekommen Sie verschiedene Aufgaben, bei denen Sie in einer flüssigen Handbewegung von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt eine Linie zeichnen sollen. Nach Abschluss einer jeden Bewegung zeigt Ihnen der Computer zwei Linien an. Dabei ist eine Linie Ihre selbstgezeichnete und eine weitere Linie durch den Computer generiert. Ihre Aufgabe ist es, die Linie zu identifizieren, die Sie gezeichnet haben. Im Anschluss sollen Sie auf einer Skala von 1 - 4 (1 = sehr unsicher, 4 = sehr sicher) bewerten, wie sicher Sie in der Identifizierung Ihrer selbstgezeichneten Linie sind.

Dieser Teil der Untersuchungen wird 40 Minuten dauern.

##### Visuelle-zeitliche Diskrimination

Für die visuelle-zeitliche Entscheidungsfähigkeit (=visuelle-zeitliche Diskrimination) wird die sogenannte „temporale Diskriminationsschwelle“ bestimmt. Durch zwei getrennte visuelle Reize wird das kürzeste Zeitintervall bestimmt, bei dem diese zwei Reize von Ihnen als getrennt wahrgenommen werden können. Bei dieser Untersuchung fixieren Sie einen bestimmten Punkt an. Neben diesem befindet sich eine kleine Box mit zwei LED-Lampen. Die beiden Lampen leuchten in verschiedenen Abständen auf. Sie bestimmen durch einen Tastendruck, welche der beiden Lampen, Ihrer Meinung nach, als erste aufgeleuchtet hat. Dieser Teil der Untersuchungen wird 20 Minuten in Anspruch nehmen.

##### Intelligenztest

Im Rahmen dieser Studie wird kein vollständiger Intelligenztest durchgeführt. Sie werden aber vier kurze Teiltests der sogenannten Wechsler Intelligenzskala für Erwachsene ausführen. Dazu kommen die folgenden Aufgabe zur Anwendung: 1) Bilder ergänzen 2)

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



Zahlensymboltest 3) rechnerisches Denken und 4) Gemeinsamkeiten finden. Wir können damit nicht ihren exakten Intelligenzquotienten herausfinden. Die Erfassung der Teiltests ist aber wichtig, damit wir Ihre Ergebnisse aus den neurophysiologischen Untersuchungen mit denen von Patienten, die an funktionellen Bewegungsstörungen leiden und ähnliche Ergebnisse in den Teiltests der Wechsler Intelligenzskala hatten, vergleichen können. Insgesamt wird dies etwas 20 Minuten dauern.

#### Kostenerstattungen / Anfahrt/ Vergütung

Die Kosten für Ihre An- und Abreise zu unserem Studienzentrum nach Lübeck werden übernommen. Für Ihren Zeitaufwand erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung von 10 € / Stunde. Für Ihre An- und Abreise wird keine Wegeversicherung abgeschlossen.

#### Welche Risiken entstehen durch die Teilnahme an der Studie?

Die jeweiligen Untersuchungen erfolgen nicht-invasiv, sind nicht schmerzhaft und mit keinen Risiken verbunden.

#### Verantwortlich für die Datenverarbeitung ist die Studienleitung

Frau Priv.-Doz. Dr. med. Anne Weißbach, Herr Prof. Dr. med. Tobias Bäumer  
Institut für Systemische Motorikforschung, CBBM  
Marie-Curie-Straße, 23562 Lübeck  
Tel.: +49 451 3101 8215

#### Welche Daten werden erhoben?

Erhoben werden personenbezogene Daten, wie Name, Geburtsdatum und Adresse, die Ergebnisse der o. g. Aufgaben, außerdem medizinische Daten in Form von elektrophysiologischen und klinischen Daten.

#### Wie werden die Daten gespeichert?

Alle Untersuchungen sowie die Datenspeicherung erfolgen pseudonymisiert gemäß dem Bundesdatenschutzgesetz (§ 46 BDSG 2018). Alle unmittelbar Ihre Person identifizierenden Daten (Name, Geburtsdatum, Anschrift etc.) werden unverzüglich durch einen Identifizierungscode ersetzt (pseudonymisiert). Die Sie unmittelbar identifizierenden Daten bleiben in der Einrichtung, in der die Daten gewonnen wurden. Eine Weitergabe der Ihre Person identifizierenden Daten an Forscher oder andere unberechtigte Dritte, etwa Versicherungsunternehmen oder Arbeitgeber, erfolgt nicht.

#### Wer erhält Zugriff auf die Daten?

Auf die persönlichen Daten haben nur ausgewählte Mitglieder der Arbeitsgruppe Zugang, die in die Rekrutierung der Probanden und Durchführung der Experimente involviert sind. Weitere Mitglieder der Arbeitsgruppe oder andere kooperierende Forschungsgruppen haben nur Zugriff auf die pseudonymisierten Daten.

#### Werden die Daten veröffentlicht?

Wissenschaftliche Veröffentlichungen von den Gesamtergebnissen der Studie erfolgen ausschließlich anonymisiert, also in einer Form, die keine Rückschlüsse auf Ihre Person zulässt. Wir werden Ihnen persönlich die individuellen Ergebnisse der oben beschriebenen Experimente nicht rückmelden.

#### Wo werden die Daten gespeichert?

Ihre Daten werden auf dem Experimentalrechner und auf einem zugangsgesicherten Server, auf den nur von direkt am Projekt beteiligten Mitarbeitern und nur innerhalb des Instituts

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



3/4

zugegriffen werden kann. Die Daten sind vor fremden Zugriffen geschützt. Eine Löschung der Daten geschieht nur auf Ihren ausdrücklichen Wunsch.

Welche Rechte haben Sie?

Die Bestimmungen der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) werden eingehalten. Die Einwilligung zur Verarbeitung Ihrer Daten ist freiwillig, Sie können jederzeit die Einwilligung ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für Sie widerrufen. Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden Daten zu erhalten, auch in Form einer unentgeltlichen Kopie. Für alle Teilnehmer besteht das Recht auf Datenlöschung, von welchem auch bis zu 10 Jahre nach Ende der Studie Gebrauch gemacht werden kann. Dazu wenden Sie sich an die im Briefkopf genannten Ansprechpartner.

Im Falle einer Beschwerde wenden Sie sich an den Datenschutzbeauftragten der Universität zu Lübeck: Dr. Stefan Braun, Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck, E-Mail: [datenschutz@uni-luebeck.de](mailto:datenschutz@uni-luebeck.de)

Sie können sich mit einer Beschwerde auch an die zuständige Datenschutzaufsichtsbehörde wenden: Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein, Holstenstraße 98, 24103 Kiel, E-Mail: [mail@datenschutzzentrum.de](mailto:mail@datenschutzzentrum.de)

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



**Einverständniserklärung für Studienteilnehmer**  
**„Neurophysiologische Untersuchungen an Patienten mit funktionellen  
Bewegungsstörungen“**

Ich bin heute über die im Rahmen der Studie geplanten Untersuchungen aufgeklärt worden. Ich bin ausreichend in mündlicher und schriftlicher Form über die Ziele und Methoden, die möglichen Risiken und den Nutzen der Studie informiert worden. Ich habe die Patienteninformation gelesen und den Inhalt verstanden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, die Studie mit meinem Arzt zu besprechen und Fragen zu stellen. Alle meine Fragen und Bedenken wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet. Ich nehme an der o.g. Studie teil und bin mit den geplanten Untersuchungen und Interventionen einverstanden.

Ich weiß, dass meine Studienteilnahme freiwillig ist und dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zusage zur Teilnahme zurückziehen kann und mir daraus keine Nachteile entstehen.

**Datenschutz und Einwilligungserklärung**

Ich bin darüber informiert worden, dass bei dieser wissenschaftlichen Studie persönliche Daten und medizinische Befunde über mich erhoben werden. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt zur Teilnahme an der Studie die folgende freiwillige Einwilligung voraus:

**Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung an die in der Studie beteiligten Forscher weitergegeben werden.**

Einer wissenschaftlichen Auswertung der Daten und einer möglichen Veröffentlichung stimme ich zu.

**Ich gebe hiermit meine freiwillige Zustimmung zur Teilnahme an dieser Studie. Eine Kopie dieser Einwilligung habe ich erhalten.**

---

Unterschrift des Probanden / Vor- und Nachname in Druckbuchstaben Datum/Ort

---

Unterschrift des Studienarztes / Vor- und Nachname in Druckbuchstabe Datum/Ort

*Im Falle von Rückfragen können Sie sich an die Studienärztin und Studienleiterin Frau Dr. med. Anne Weißbach (Tel.: 0451-31018219, [anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de](mailto:anne.weissbach@neuro.uni-luebeck.de)), Herrn Fabian Chwolka ([fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de](mailto:fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de)) und Frau Josephine Moyé (Tel.: 0163 7644232 [josephine.moye@student.uni-luebeck.de](mailto:josephine.moye@student.uni-luebeck.de)) wenden.*

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



5/4

## 8.7 Rekrutierungsbogen



UKSH, Institut für Systemische Motorikforschung,  
Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck



### Campus Lübeck

**Institut für Systemische Motorikforschung**  
Direktor: Prof. Dr. med. Alexander Münchau

**Ansprechpartner:**  
Priv.-Doz. Dr. med. Anne Weißbach  
Prof. Dr. med. Tobias Bäumer

**Doktoranden:**  
Josephine Moyé und Fabian Chwolka

**Tel.:** 0163/7644232  
**E-Mail:** josephine.moye@student.uni-luebeck.de;  
fabian.chwolka@student.uni-luebeck.de  
[www.ISMS.uni-luebeck.de](http://www.ISMS.uni-luebeck.de)  
[www.uksh.de](http://www.uksh.de)

Datum: 8. Januar 2021

### Gesunde Versuchsteilnehmer\*innen für neurophysiologische Untersuchungen gesucht

Am Institut für Systemische Motorikforschung der Universität zu Lübeck werden Versuchsteilnehmer\*innen gesucht, die an einer Studie zur Pathophysiologie von funktionellen Bewegungsstörungen, als gesunde Kontrollgruppe teilnehmen möchten. Ziel unserer Studie ist es die zugrundeliegenden, neurophysiologischen Ursachen von funktionellen Bewegungsstörungen besser zu verstehen.

Zu diesem Zweck kommen 4 unterschiedliche neurophysiologische Techniken zur Anwendung:

- 1) die Elektroenzephalographie
- 2) die Pupillometrie
- 3) visuelle, temporale (zeitliche) Diskrimination
- 4) eine Metakognition-Motor-Aufgabe

Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethoden können wir untersuchen, in welchem Maße sich die Wahrnehmung, die kognitive Verarbeitung und das Reaktionsvermögen auf äußere Reize, eigene Bewegungen und Handlungsabläufe zwischen gesunden Probanden, wie Ihnen und Patienten, die an sogenannten funktionellen Bewegungsstörungen leiden, unterscheiden.

Die Untersuchungen sind jeweils nicht-invasiv und nicht schmerzhaft. Es werden keine Medikamentengaben oder Blutentnahmen erfolgen. Für die Vergleichbarkeit der Daten wird außerdem ein Intelligenztest durchgeführt. Die Untersuchungen nehmen einmalig **ca. 2,5 Stunden** in Anspruch und können an einem Untersuchungstag absolviert werden. Je nach Bedarf können zwischen den Untersuchungen individuell Pausen eingelegt werden.

#### Einschlusskriterien:

- Abwesenheit neurologischer oder psychischer Erkrankungen
- > 18 Jahre

Die Fahrtkosten für Ihre An- und Abreise zu unserem Studienzentrum nach Lübeck werden erstattet und der Zeitaufwand wird im Rahmen Ihrer Teilnahme an der Studie mit **10€/h** vergütet. Bei Interesse und für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Herrn Fabian Chwolka und Frau Josephine Moyé unter der oben angegebenen Telefonnummer oder per Email.

Universitätsklinikum  
Schleswig-Holstein  
Anstalt des  
öffentlichen Rechts

Vorstand:  
Prof. Dr. Jens Scholz  
(Vorsitzender)  
Peter Pansegrau  
Michael Kiens  
Prof. Dr. Christopher Baum  
Prof. Dr. Joachim Thiery

Bankverbindung:  
Förde Sparkasse  
IBAN: DE14 2105 0170 0000 1002 06  
SWIFT/BIC: NOLA DE 21 KIE  
Commerzbank AG  
IBAN: DE17 2308 0040 0300 0412 00  
SWIFT/BIC: DRES DE FF 230



## 8.8 Vergütungs- und Fahrtkostenerstattungsbogen



Anlage E

Dezernat Finanzen und Rechnungswesen

### PROBANDENAUSZAHLUNG

Name des Bearbeitenden:\* .....

Telefon oder E-Mail:\* .....

**Empfänger:** Bitte in Druckbuchstaben ausfüllen!

Name:\* .....

Vorname:\* .....

Geburtsdatum:\* .....

Str./HSnr.\* .....

PLZ\* .....

Ort\* .....

IBAN: .....

Bankname: .....

*Die Angaben bitte leserlich und vollständig ausfüllen, da die Weiterbearbeitung ansonsten nicht gewährleistet werden kann!!*

Studienname:\* .....

Untersuchungsdatum:\* .....

Finanzierungsschlüssel:\* .....

Kostenstelle:\* .....

Buchungskreis:\*  0100 UKSH  0500 ZIP

Betrag \* Vergütung:  EUR Fahrkostenerstattung:  EUR  
(Beleg beifügen, bzw. km-Angabe)

\_\_\_\_\_  
Datum/Unterschrift Projektleiter mit Budgetverantwortung

\_\_\_\_\_  
Stempel oder Name in DRUCKSCHRIFT Projektleiter

Die Auszahlung kann nur bearbeitet werden, wenn alle Pflichtfelder ordnungsgemäß und leserlich ausgefüllt sind !!!

Achtung! Bei fehlerhaften Bankdaten erfolgt keine Nachverfolgung seitens des UKSH.

\* = Pflichtfeld

**HINWEIS:**

Probandengelder sind Einkünfte gemäß § 22 Nr. 3 EStG. Ihnen obliegt daher die Verpflichtung, die Einkünfte aus diesem Vertrag beim zuständigen Finanzamt selbst ordnungsgemäß zu melden und zu versteuern.

Das UKSH ist gemäß §§ 90, 93, 97 AO zur Mitwirkung verpflichtet und hat dem Finanzamt umfassend Auskunft, auch über personenbezogene Daten, zu erteilen. Ausgenommen davon sind Informationen, welche der ärztlichen Schweigepflicht unterliegen.

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Proband/in\*

## 8.9 Dokumentationsbogen

ID:

Datum:

DOB: Alter: Alter bei Diagnose: Symptombeginn:		<b>Händigkeit</b> <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links <b>Geschlecht</b> <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w <input type="checkbox"/> d
Höchster Schulabschluss: Beruf:		<input type="checkbox"/> Einwilligungserklärung <input type="checkbox"/> WAIS-IV <b>Score:</b> <input type="checkbox"/> Video
<b>FMD</b>  <b>Vorerkrankungen</b>	<u>Symptome:</u>  <u>Psychiatrische Vorerkrankungen</u> (z.B. Psychosen, Depression, ADHS)? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja (Medikamente, Dosis, Häufigkeit)  <u>Neurologische Erkrankungen:</u> <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja (Medikamente, Dosis, Häufigkeit)  <u>Komorbiditäten:</u> <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja (Art, Medikamente) _____  <b>Trauma</b> <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja mental/physisch/ørinnerlich _____ <b>Rente</b> <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja befristet? _____ <b>Arbeit</b> <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja Arbeitszeit? _____ <b>Schmerzen</b> <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja _____ <b>Fehldiagnosen</b>	
<b>Behandlungen</b> Vhstherapie: (Art, Zeit) Physiotherapie: (Zeit) Medikamentös: (Art, Zeit)	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja	
<b>EEG</b> <b>Pupillometrie</b> <b>SR-Task</b>	Haubengröße:	
<b>TDT</b>		
<b>MM</b>	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links	

## 8.10 Fragebogen Risikoerfassung SARS CoV-2



### Patientenfragebogen zur Erfassung des Risikos der Infektion mit SARS CoV-2 („Corona-Virus“) vor stationärer Aufnahme oder ambulanten Besuchen am UKSH

Name	Vorname
Geburtsdatum	Tel.
PLZ/Ort	Straße/Hausnr.
<p>1. Haben Sie Beschwerden? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, welche?</p> <p><input type="checkbox"/> Fieber <input type="checkbox"/> Husten <input type="checkbox"/> Heiserkeit <input type="checkbox"/> Luftnot <input type="checkbox"/> Gliederschmerz <input type="checkbox"/> Kopfschmerz</p> <p><input type="checkbox"/> Durchfall <input type="checkbox"/> Geruchs-/ Geschmackstörung <input type="checkbox"/> Übelkeit/ Erbrechen <input type="checkbox"/> Verwirrtheit</p> <p>Seit wann fühlen Sie sich krank? <input type="text"/></p>	
<p>2. Hatten Sie in den letzten 14 Tagen einen persönlichen Kontakt (z.B. Gespräch, Umarmung) mit einer Person von der Sie wissen, dass das Coronavirus sicher in einem Labor nachgewiesen wurde?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja</p>	
<p>3. Befinden Sie sich derzeit in einer angeordneten Quarantäne? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja</p>	
<p>Wir müssen Sie darauf aufmerksam machen, dass wissentlich oder leichtfertig falsch gemachte Angaben zu zivilrechtlichen Ansprüchen gegen Sie führen und für Sie auch strafrechtliche Konsequenzen haben können. Wir sind angehalten, in diesem Fall alle rechtlichen Schritte in die Wege zu leiten.</p>	
<p>Ort/Datum <input type="text"/></p> <p>Mit Freigabe dieses Fragebogens bestätige ich die Vollständigkeit und Richtigkeit meiner Angaben.</p>	

### **8.11 Videoprotokoll der neurologischen Untersuchung**

Folgendes Videoprotokoll wurde für die Studie verwendet. Die Patientinnen und Patienten mit FBS wurden durch eine Mitarbeiterin instruiert, bestimmte Bewegungsabläufe selbstständig durchzuführen.

“Vielen Dank für die Teilnahme an unserer Studie. Im Folgenden möchten wir eine klinische Untersuchung mit Ihnen durchführen. Diese zeichnen wir auf, damit auch Kollegen diese sehen und bewerten können. Wir erklären die einzelnen Aufgaben und führen diese vor, sodass Sie sie anschließend nachmachen können. Im Anschluss erscheint ein schwarzer Bildschirm und es wird von 3 heruntergezählt, dann erscheint das Wort ‚Los‘ und Sie können mit der Aufgabe beginnen.

Bitte legen Sie Halstuch, Schal und Brille ab und ziehen Sie sich die Schuhe aus. Setzen Sie sich aufrecht auf ihren Stuhl, legen Sie Ihre Hände entspannt auf die Armlehnen, stellen Sie Ihre Füße parallel auf den Boden und sitzen Sie so bei geöffneten Augen für 10 Sekunden. Starten Sie bitte nach Ablauf des Countdowns, sobald Sie das Wort ‚Los‘ sehen. Bleiben Sie so lange so sitzen, bis das Wort ‚Los‘ wieder verschwindet.

Legen Sie Ihre Hände nun locker in den Schoß und bleiben Sie erneut für 10 Sekunden so sitzen.

Erzählen Sie uns nun in 20 Sekunden, was Sie auf dem gezeigten Bild sehen. – Danke, das genügt.

Sprechen Sie bitte folgende Sätze nach: ‚Liebe Lilly Lehmann.‘

Und jetzt sprechen Sie nach: ‚Dritte reitende Artilleriebrigade.‘

Öffnen Sie nun dreimal möglichst schnell die Augen und schließen Sie sie wieder, wie ich dies vormache.

Öffnen und schließen Sie jetzt bitte dreimal den Mund, wie es im Video zu sehen ist.

Legen Sie Ihr Kinn auf die Brust und dann in den Nacken, neigen Sie Ihren Hals zu jeder Seite also nach rechts und links. Führe Sie die Bewegung nun selbst aus.

Strecken Sie zunächst Ihre rechte Hand nach vorne aus und drehen Sie Ihre Handfläche abwechselnd nach oben zur Decke und nach unten zum Boden. Machen Sie dies zehnmal so schnell wie möglich.

Strecken Sie nun Ihre linke Hand nach vorne aus und drehen Sie Ihre Handfläche abwechselnd nach oben zur Decke und nach unten zum Boden. Machen Sie dies zehnmal so schnell wie möglich.

Strecken Sie Ihre Hände mit geschlossenen Augen waagrecht nach vorne aus. Die Handflächen zeigen dabei zum Boden. Die Finger können Sie dabei ganz leicht auseinanderfallen lassen, sodass sein wenig Abstand zwischen den Fingern besteht. Verbleiben Sie so für 10 Sekunden.

Drehen Sie Ihre Handflächen in dieser Position mit geschlossenen Augen zehnmal abwechselnd nach oben zur Decke und nach unten zum Boden.

Sie können die Augen nun wieder öffnen. Nun nehmen Sie Ihre Hände waagrecht vor Ihre Brust ohne, dass sich die Fingerspitzen berühren und halten Sie die Position für 10 Sekunden.

Legen Sie nun beide Hände wieder ab, strecken Sie die rechte Hand nach vorne, sodass die Handinnenseite zur Kamera zeigt. Öffnen und schließen Sie eine Faust. Machen Sie die Bewegung zehnmal, so groß und so schnell wie Sie können.

Machen Sie die gleiche Übung auch mit links zehnmal.

Nehmen Sie nun Ihre rechte Hand neben sich und tippen Sie Ihren Zeigefinger auf Ihren Daumen. Machen Sie die Bewegung zehnmal, so groß und so schnell wie Sie können.

Machen Sie das Gleiche nun zehnmal mit der linken Hand.

Jetzt sind Ihre Füße dran. Tippen Sie so wie es im Video vorgemacht wird mit Ihrer Fußspitze auf dem Boden auf. Zunächst mit dem rechten Fuß. Machen Sie die Bewegung zehnmal, so groß und so schnell wie Sie können.

Führen Sie die gleiche Bewegung nun mit dem linken Fuß aus, wieder zehnmal.

Stampfen Sie nun mit dem rechten Fuß zehnmal auf dem Boden auf. Machen Sie die Bewegung zehnmal, so groß und so schnell wie Sie können.

Stampfen Sie jetzt mit Links zehnmal auf den Boden auf.

Strecken Sie zunächst ihren rechten Arm aus und führen Sie Ihren Zeigefinger vom Zeigefinger des Untersuchers ohne Unterbrechung zur eigenen Nase. Wiederholen Sie dies dreimal. Achten Sie auf ein möglichst schnelles Tempo.

Machen Sie jetzt die gleiche Übung mit der linken Hand.

Schreiben Sie nun auf den Zettel vor Ihnen dreimal: ‚Heute ist ein sonniger Tag‘. Legen Sie dabei Ihre nicht dominante Hand flach auf dem Tisch ab. Wenn Sie fertig sind, zeigen Sie das Ergebnis bitte in die Kamera.

Bitte schreiben Sie das Gleiche nun auch mit der anderen Hand. Zeigen Sie Ergebnis bitte in die Kamera.

Zeichnen Sie nun in die vorliegenden Spirale eine eigene Spirale. Sie dürfen dabei die Linien der vorliegenden Spirale nicht berühren. Ihre nicht dominante Hand legen Sie flach auf den Tisch ab und versuchen Sie nur mit dem Stift das Papier zu berühren. Bitte zeigen Sie auch dieses Bild in die Kamera.

Zeichnen Sie die Spirale nun auch mit der anderen Hand. Zeigen Sie Ergebnis bitte in die Kamera.

Ihre nächste Aufgabe soll es sein, mit verschränkten Armen, also ohne Zuhilfenahme der Arme, aus dem Stuhl aufzustehen. Wenn Sie sich dies nicht zutrauen, dürfen Sie ein wenig an die Stuhlkante rutschen und es so versuchen. Funktioniert das Aufstehen ohne die Hilfe der Arme nicht, stützen Sie sich mit diesen ab. Brauchen Sie generell Hilfe beim Aufstehen, lassen Sie sich direkt von uns helfen.

Stellen Sie sich nun hin und schauen Sie in die Kamera. Danach drehen Sie sich um 90 Grad zur Seite, sodass Ihre Schulter zur Kamera zeigt und Sie zum Schrank gucken. Drehen Sie sich nun zur anderen Seite, sodass Sie den anderen Schrank angucken.

Stellen Sie sich nun bitte auf das linke Bein, ohne dass der rechte Fuß Boden berührt. Halten Sie diese Position für 5 Sekunden.

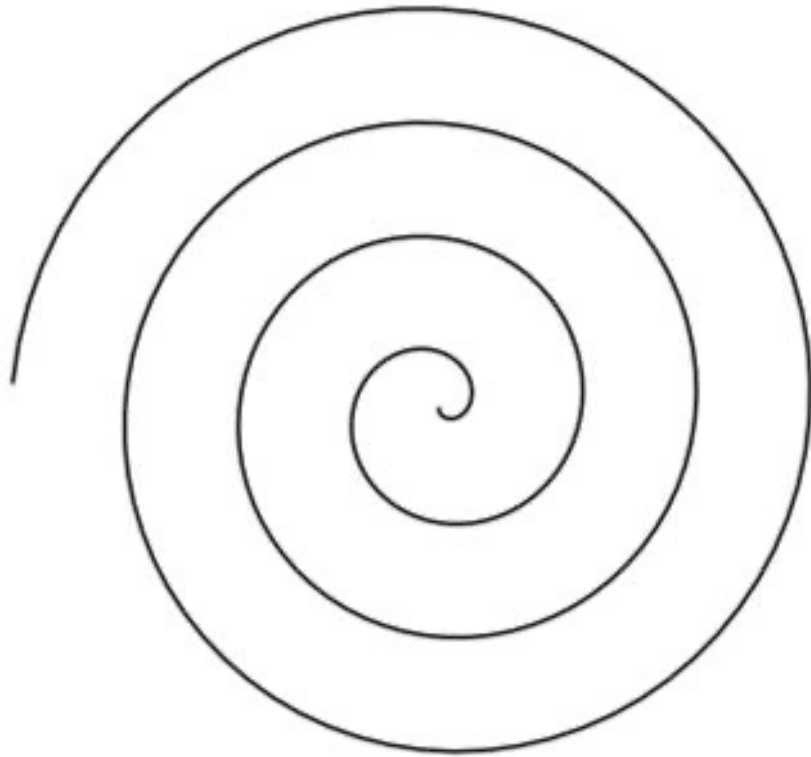
Hüpfen Sie nun bitte auf dem linken Bein in dieser Position dreimal auf der Stelle.

Stellen Sie sich nun bitte auf das rechte Bein, ohne dass der linke Fuß den Boden berührt. Halten Sie diese Position für 5 Sekunden.

Hüpfen Sie nun bitte auf dem rechten Bein in dieser Position dreimal auf der Stelle.

Wir möchten nun Ihr Gleichgewicht überprüfen. Dazu geben wir Ihnen einen kleinen Stoß in unsere Richtung, während wir hinter Ihnen stehen. Sie dürfen gerne einen Schritt machen, um sich abzufangen. Sollten Sie dennoch nach hinten fallen, werden wir Sie auffangen.

Laufen Sie jetzt 10 Schritte zur Wand, drehen dann um und laufen zur Kamera zurück. Wir möchten Sie bitten dazu Ihre Schuhe und Socken auszuziehen und Ihre Hosenbeine etwas hochzukrempeln. Wiederholen Sie dies, laufen Sie nun aber auf der Außenkante Ihrer Füße. Laufen Sie nun bitte 10 Schritte zur Wand und zurück im Seiltänzerengang, indem Sie direkt einen Fuß vor dem anderen stellen. Vielen Dank.“



## 8.12 Simplified Functional Movement Disorders Rating Scale

ID: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

---

### SIMPLIFIED FUNCTIONAL MOVEMENT DISORDERS RATING SCALE (S-FMDRS)

Regions	Severity	Duration	Total	Scoring	
				Severity	Duration
Face & tongue				<b>0</b>	None
Head & neck				<b>1</b>	Mild
Left UL & shoulder girdle				<b>2</b>	Moderate
Right UL & shoulder girdle				<b>3</b>	Severe
Trunk & abdomen					Constant
Left LL					
R LL					
Function					
Gait					
Speech					
			TOTAL		

---

Unterschrift Behandler:in

## 8.13 Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition

### 2. Gemeinsamkeiten finden (GF)



**Start**  
Alter 16–90:  
Übungsaufgabe,  
danach Aufgabe 3



**Umkehrregel**  
Kann *eine* der Aufgaben 3 oder 4 nur mit **0 oder 1 Punkt** bewertet werden, werden die vorangehenden Aufgaben in **umgekehrter** Reihenfolge so lange vorgegeben, bis zwei aufeinander folgende Aufgaben richtig gelöst wurden.



**Abbruch**  
Nach 3 aufeinanderfolgenden Bewertungen mit 0 Punkten.



**Bewertung**  
**0, 1 oder 2 Punkte**

Siehe Antwortbeispiele im Manual

Aufgabe	Antwort	Punkte
Ü. Zwei – Sieben		
1. Karotte – Brokkoli		0 1 2
2. Pferd – Tiger		0 1 2
3. Klavier – Schlagzeug		0 1 2
4. Gabel – Löffel		0 1 2
5. Schiff – Auto		0 1 2
6. Nase – Zunge		0 1 2
7. Knospe – Welp		0 1 2
8. ängstlich – wütend		0 1 2
9. Gedicht – Statue		0 1 2
10. Nahrungsmittel – Benzin		0 1 2
11. Musik – Gezeiten		0 1 2
12. wünschen – erwarten		0 1 2
13. Akzeptanz – Ablehnung		0 1 2
14. Talar – Krone		0 1 2
15. Anker – Zaun		0 1 2
16. immer – niemals		0 1 2
17. erlauben – verbieten		0 1 2
18. Feind – Freund		0 1 2

\*Wenn die Testperson keine 2-Punkte-Antwort gibt, geben Sie die im Manual vorgegebene Hilfestellung.

Gemeinsamkeiten finden  
Rohwertsumme  
(Max. = 36)

## 5. Rechnerisches Denken (RD)

(Zeitbegrenzung: 30 Sekunden)



**Start**  
Alter 16-90:  
Übungsaufgabe,  
danach Aufgabe 6



**Umkehrregel**  
Kann eine der Aufgaben 6 oder 7 nur mit 0 Punkten bewertet werden, werden die vorangehenden Aufgaben in **umgekehrter Reihenfolge** so lange vorgegeben, bis zwei aufeinander folgende Aufgaben richtig gelöst wurden.



**Abbruch**  
Nach 3 aufeinanderfolgenden Bewertungen mit 0 Punkten.



**Bewertung**  
0 oder 1 Punkt

Aufgabe	Lösungszeit	Richtige Antwort	Antwort	Punkte	Aufgabe	Lösungszeit	Richtige Antwort	Antwort	Punkte
Ü. Ball	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>		12. Kaugummi	<input type="text"/>	200	<input type="text"/>	0 1
*1. Blumen	<input type="text"/>	zählt bis 3	<input type="text"/>	0 1	13. Tafeln	<input type="text"/>	38	<input type="text"/>	0 1
*2. Äpfel	<input type="text"/>	zählt bis 10	<input type="text"/>	0 1	14. Joggen	<input type="text"/>	140	<input type="text"/>	0 1
3. Baseball	<input type="text"/>	6	<input type="text"/>	0 1	15. Schlange	<input type="text"/>	30	<input type="text"/>	0 1
4. Vögel	<input type="text"/>	9	<input type="text"/>	0 1	16. Kuchen	<input type="text"/>	186	<input type="text"/>	0 1
5. Leine	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	0 1	17. Bilder	<input type="text"/>	600	<input type="text"/>	0 1
6. Decke	<input type="text"/>	8	<input type="text"/>	0 1	18. Stunden	<input type="text"/>	47	<input type="text"/>	0 1
7. Stifte	<input type="text"/>	5	<input type="text"/>	0 1	19. Kuchen	<input type="text"/>	49½	<input type="text"/>	0 1
8. Spielsachen	<input type="text"/>	5	<input type="text"/>	0 1	20. Runden	<input type="text"/>	51	<input type="text"/>	0 1
9. Alter	<input type="text"/>	17	<input type="text"/>	0 1	21. Maschinen	<input type="text"/>	96	<input type="text"/>	0 1
10. Bücher	<input type="text"/>	5	<input type="text"/>	0 1	22. Post	<input type="text"/>	23.100	<input type="text"/>	0 1
11. Eintrittskarten	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>	0 1					

\*Wenn die Testperson keine richtige Antwort gibt, geben Sie die im Manual vorgegebene Hilfestellung.

Rechnerisches Denken Rohwertsumme  
(Max. = 22)

## 7. Symbol-Suche (SYS)

(Zeitbegrenzung: 120 Sekunden (= 2 Minuten))



**Start**  
Alter 16-90:  
Beispielaufgaben, Übungsaufgaben, danach Testaufgaben



**Abbruch**  
Nach 120 Sekunden



**Bewertung**  
Auswertung erfolgt mithilfe der Auswertungsschablone  
Es wird die Differenz aus der Anzahl der richtig und der fehlerhaft bearbeiteten Aufgaben gebildet. Ist diese Differenz < 0, beträgt die Rohwertsumme 0 Punkte.

Lösungszeit

Richtige Antworten

Falsche Antworten

Symbol-Suche  
Rohwertsumme  
(Max. = 60)

## 14. Durchstreich-Test (DT) (Zeitbegrenzung: 45 Sekunden)



**Start**  
**Alter 16-69:**  
 Beispielaufgabe A, Übungsaufgabe A,  
 danach Aufgabe 1  
**Alter 70-90:**  
 In dieser Altersgruppe wird der Test nicht  
 durchgeführt.



**Abbruch**  
 Nach 45 Sekunden für jede  
 Aufgabe



**Bewertung**  
 Auswertung erfolgt mithilfe der Auswertungsschablone.  
 Es wird die Differenz aus der Anzahl der richtig und der fehlerhaft bearbeiteten  
 Aufgaben gebildet. Ist diese Differenz < 0, beträgt die Rohwertsumme 0 Punkte.  
 Der Gesamtrohwert bildet sich aus der Summe der Punkte aller Aufgaben.

Aufgabe	Lösungszeit	Richtige Lösungen	Falsche Lösungen	erreichte Punkte
16-69 → 1.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Durchstreich-Test Rohwertsumme  
 (Max. = 72)

## 15. Bilder ergänzen (BE) (Zeitbegrenzung: 20 Sekunden)



**Start**  
**Alter 16-90:**  
 Übungsaufgabe,  
 danach Aufgabe 4



**Umkehrregel**  
 Kann eine der Aufgaben 4 oder 5 nur mit 0 Punkten be-  
 wertet werden, werden die vorangehenden Aufgaben in  
 umgekehrter Reihenfolge so lange vorgegeben, bis zwei  
 aufeinander folgende Aufgaben richtig gelöst wurden.



**Abbruch**  
 Nach 4 aufein-  
 anderfolgenden  
 Bewertungen mit 0  
 Punkten



**Bewertung**  
 0 oder 1 Punkt

Siehe Antwortbeispiele im Manual

Alle der folgenden Erinnerungen und Nachfragen darf *nur einmal* während des gesamten Untertests an die Testperson gerichtet werden:

Venn die Testperson lediglich das abgebildete Objekt, nicht aber das fehlende nennt, sagen Sie: „Ja, aber was fehlt hier?“

Venn die Testperson ein Teil nennt, das nicht auf der Seite abgebildet ist, sagen Sie: „Welches Teil fehlt?“

Venn die Testperson ein unwesentliches fehlendes Teil nennt, sagen Sie: „Ja, aber welches besonders wichtige Teil fehlt hier?“

Aufgabe	Lösungszeit	verbale Antwort	gezeigte Antwort	Punkte	Aufgabe	Lösungszeit	verbale Antwort	gezeigte Antwort	Punkte
→ Ü. Kamm	<input type="text"/>		ZR ZF		13. Schließfach	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
1. Tisch	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	14. Karate	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
2. Gesicht	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	15. Scheune	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
3. Spiegel	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	16. Gehen	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
4. Brille	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	17. Pfütze	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
5. Joggen	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	18. Schuhe	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
6. Messer	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	19. Zelt	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
7. Kanne	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	20. Auto	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
8. Rosen	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	21. Bücher- regal	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
9. Kuchen	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	22. Korb	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
10. Kuh	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	23. Flugzeug	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
11. Tor	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1	24. Herd	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1
12. Bäume	<input type="text"/>		ZR ZF	0 1					

Wenn die Testperson keine richtige Antwort gibt, geben Sie die im Manual vorgegebene Hilfestellung.

Bilder ergänzen Rohwertsumme  
 (Max. = 24)

### Zahlen-Symbol-Test

1	2	3	4	5	6	7	8	9
└	)	^	—		┌	⊂	└	└

Beispiel

Übung

6	8	3	9	5	4	1	7	2		1	4	8	2	7	6	9	3	5
8	3	1	9	2	5	6	4	3	7	2	9	8	1	4	7	6	5	
9	1	2	4	7	2	5	6	9	5	8	6	4	3	1	7	8	3	
1	3	9	6	3	9	7	5	1	4	2	8	7	2	8	5	6	4	
7	6	4	1	3	2	8	1	7	9	2	5	3	4	8	6	5	9	
8	1	9	5	1	4	2	6	9	8	7	3	5	6	4	7	2	3	
3	6	8	9	1	8	4	7	5	2	9	6	7	1	5	2	3	4	
6	4	1	9	5	7	3	6	8	3	2	7	5	8	4	2	9	1	

## **8.14 Untersuchungsprotokoll**

### **Vorbereitung**

- Aufklärungsbögen, Dokumentationsbogen, Fahrtkostenerstattungen, Vergütungsbogen und SARS CoV-2-Bogen bereitstellen
- ID vergeben
- Büro: Elektroenzephalographie-Laptop, Experimentalbildschirm anschalten
- Labor: Experimentalbildschirm, Elektroenzephalographie-Bildschirm anschalten
- Spritzen mit Gel befüllen, Maßband, Wattestäbchen, Handschuhe, Peelinggel, Pflasterrolle bereitstellen
- Wasser, Verpflegung bereitstellen

### **Nach Eintreffen der Teilnehmenden**

- Aufklärung erfolgt durch Ärztin oder Arzt
- Fragen auf dem Dokumentationsbogen durchgehen
- Bei Patientinnen und Patienten Videoprotokoll starten
- *WAIS-IV* durchführen

### **Elektroenzephalographie-Vorbereitung**

- Elektroenzephalographie und weitere Schritte erklären
- wichtig: Müssen die Teilnehmenden vorher in das Badezimmer? Verpflegung anbieten
- Kopf ausmessen, Haube an Elektroenzephalographie-Recorder anschließen
- Stromversorgung des Recorders ausschalten, Geräte anschalten
- Elektrodenhaube aufsetzen, Teilnehmenden schließen Haube selbstständig
- 1. Elektrode sitzt zentral → auf der Hälfte zwischen Inion und Nasion und zwischen beiden präaurikulären Punkten
- zuerst die Ground- und Referenzelektrode anbringen, Einstellung: 0 - 10 k $\Omega$
- Elektroden müssen grün erscheinen bei der Einstellung 0 – 20 k $\Omega$
- Elektroenzephalographie-Programm: „Brainvision Recorder Programm“ öffnen  
→ „file“ → open workspace → FMD\_Meta\_\_Beste\_EEG\_Def einstellen
- Augen bewegen, blinzeln und Muskeln der Teilnehmenden anspannen lassen und Artefakte im Elektroenzephalogramm zeigen → wenn möglich, vermeiden sich zu ärgern und entspannt sein

## **Stimulus-Reaktions-Aufgabe Vorbereitung**

- Stimulus-Reaktions-Aufgabe erklären mit Pausenzeiten, Länge der Aufgabe (Pausen nach jedem Block, die selbstständig genutzt werden können) und zu verwendende Tasten erläutern: Steuerungstasten und Enter
- Am Experimentalrechner: Ordner: FMD\_Meta\_2020 → „SR-task\_reduced.exp-Verknüpfung“ aufrufen
- Übung: „SR\_task\_reduced\_exercise“ starten, Benennung eingeben
- Start: „run scenario“ auswählen
- mit dem Teilnehmenden den Übungsblock zusammen durchgehen
- wichtig: Haben die Teilnehmenden die Aufgabe verstanden? Erneut durchgehen?

## **Messung beginnen**

- auf dem Experimentalcomputer die Stimulus-Reaktions-Aufgabe „SR\_task\_reduced2.sce“ auswählen
- Elektroenzephalographie starten: auf „Play-Symbol“ drücken
- Datei auf dem Laptop benennen
- auf Experimentalrechner Stimulus-Reaktions-Aufgabe öffnen und starten, Datei benennen, dann „run sce“
- Elektroenzephalographie-Bildschirm im Labor ausschalten, um Ablenkung zu vermeiden
- Raum verlassen, im Nebenraum Untersuchung mitverfolgen
- wichtig: Probleme, Auffälligkeiten vermerken
- gibt es Probleme mit einzelnen Ableitungen während eines Blockes, können einzelne Kanäle ausgestellt werden
- Stoppen der Elektroenzephalographie, wenn die Stimulus-Reaktions-Aufgabe beendet wurde

## **Messung beenden**

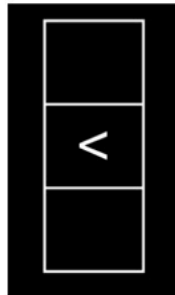
- Elektrodenhaube vorsichtig abnehmen
- Badezimmer zeigen, Handtuch, Shampoo, Fön geben, Hilfestellung geben
- nach Rückfahrt erkundigen, ggf. jemanden kontaktieren
- Daten auf DBN-Server sichern

## 8.15 Instruktion der Stimulus-Reaktions-Aufgabe

### Instruktion: SR-Task

Im Folgenden werden Ihnen kurz hintereinander drei verschiedene Symbole gezeigt auf die Sie bitte wie folgt reagieren.

1. Zunächst sehen Sie die Pfeilspitze.  
Merken Sie sich die Richtung und warten Sie bis zum ersten Balken.



2. Als Nächstes wird Ihnen ein Balken gezeigt.  
Geben Sie bitte nun per Tastendruck an in welche Richtung die Pfeilspitze zuvor gezeigt hat.



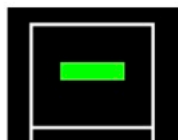
Pfeil hat nach links gezeigt:  
**LINKE Taste**



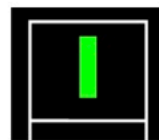
Pfeil hat nach rechts gezeigt:  
**RECHTE Taste**

- Wenn Sie nicht schnell genug die Pfeilrichtung angeben, beginnt der Durchgang von vorne.

3. Während Sie den **zweiten Balken** sehen, geben Sie bitte per Tastendruck an, ob der zweite Balken **liegt** (**LINKE Taste**) oder **steht** (**RECHTE Taste**).



LINKE  
Taste



RECHTE  
Taste

## 9 Danksagung

Hiermit möchte ich einigen Menschen danken, die mich in diesem Projekt unterstützt haben und ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. med. Anne Weißbach, Herrn Prof. Dr. med. Alexander Münchau und Herrn Prof. Dr. med. Tobias Bäumer für die lehrreiche Leitung und liebevolle Zusammenarbeit. Insbesondere danke ich Frau Prof. Dr. med. Anne Weißbach, die mich mit ihrer motivierenden Art für dieses wichtige Thema und dessen Forschung begeistert, meine Stärken gesehen und bestärkt hat. Ihre hervorragende Betreuung, großzügige Unterstützung sowie fachliche Expertise hat maßgeblich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen.

Bei Herrn Dr. Julius Verrel möchte ich mich sehr für die andauernde Unterstützung und wertvollen Hinweise bedanken. Mit seiner Hilfe wurde selbst die komplexeste Statistik verständlich. In gleichem Maße danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Systemische Motorikforschung für das großartige Arbeitsumfeld und stete Hilfsbereitschaft sowie dem Institut für Kognitive Neurophysiologie der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie der Technischen Universität in Dresden für die Unterstützung bei der finalen Auswertung der neurophysiologischen Daten. Weiterhin danke ich den Studienteilnehmenden, die mit ihrer Beteiligung die Durchführung dieser Studie erst ermöglicht haben.

Ein liebevoller Dank geht an Herrn Fabian Chwolka. Gemeinsam konnten wir unsere Stärken einsetzen und auf diese Studie entsprechend aufteilen.

Bei meinen Eltern möchte ich mich besonders herzlich für die liebevolle und beständige Unterstützung bedanken. Sie haben mit viel Zuspruch den Druck von mir genommen.

In liebevollem Gedenken widme ich diese Arbeit meiner Großmutter.