



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„EEG-Korrelate des Gedächtnisses im Zusammenhang mit Epilepsie bei
Speicherung und Abruf“

Verfasser

Paul Fiolka

Angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 298

Studienrichtung lt. Studienblatt: Psychologie

Betreuer: A.o. Univ.-Prof. Dr. Michael Trimmel

Ich widme diese Arbeit

meinen Eltern

Manuela und Roy Fiolka.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Paul Fiolka, die Arbeit mit dem Titel „EEG-Korrelate des Gedächtnisses im Zusammenhang mit Epilepsie bei Speicherung und Abruf“ selbstständig verfasst zu haben und ausschließlich zitierte Quellen verwendet zu haben. Ich versichere darüber hinaus, diese Arbeit, in gleicher oder ähnlicher Form, nie zur Beurteilung einer anderen Institution oder einem anderen Gutachter vorgelegt zu haben. Diese Abfassung stimmt mit der von meinem Betreuer begutachteten Version überein.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhalt

Ehrenwörtliche Erklärung	5
1 Einleitung.....	9
1.1 Forschungsvorhaben.....	9
1.2 Epilepsie	9
1.3 Gedächtnis	12
1.3.1 Modales Gedächtnismodell.....	12
1.3.2 Gedächtnisprozesse und ihre Lokalisation.....	13
1.4 Ermittlung von Gedächtnisprozessen anhand von Frequenzen.....	15
1.4.1 Einführung und Überblick.....	15
1.4.2 Theta-Aktivität und Gedächtnis	20
1.4.3 Gamma-Aktivität und Gedächtnis.....	22
1.4.4 High-Gamma-Aktivität und Gedächtnis	23
1.4.5 Theta-Gamma Coupling.....	23
1.5 Epilepsie und Gedächtnis	25
1.5.1 Einführung.....	25
1.5.2 Parameter der Epilepsie und ihr Einfluss auf die Gedächtnisleistung	26
1.5.3 Frequenzunterschiede bei Gedächtniseffekten durch Epilepsie.....	27
2 Methode	29
2.1 Untersuchungsplan	29
2.2 Untersuchungsteilnehmer	29
2.3 Untersuchungsmaterialien	31
2.3.1 Soziodemographischer Fragebogen	31
2.3.2 Subtest „Verbales Arbeitsgedächtnis“ des IGD.....	31
2.3.3 Subtest „Gleiche Wortbedeutung“ des WIT-2	32
2.3.4 Continuous Recognition Memory-Task (CRMT).....	32
2.3.5 Lexical Decision-Task (auch Pseudo-Task).....	33
2.4 Untersuchungsgeräte	34
2.5 Untersuchungsdurchführung	35
2.6 Statistische Hypothesen	37
2.7 Statistische Auswertung	37

3	Ergebnisse	41
3.1	Deskriptive Statistik	41
3.2	Hypothesenprüfende Untersuchungen.....	42
3.2.1	Ergebnisse zur Gedächtnisleistung.....	42
3.2.2	Ergebnisse zur Frequenzanalyse	42
3.2.3	Ergebnisse für die Theta-Aktivität	44
3.2.4	Ergebnisse für die Gamma-Aktivität.....	44
3.2.5	Ergebnisse für die High-Gamma-Aktivität	45
3.2.6	Vergleich der Stimuli	45
3.2.7	Weitere signifikante Ergebnisse.....	46
4	Diskussion.....	47
4.1	Unterschiede in den Frequenzen.....	47
4.2	Unterschiede in den Segmenten und der Elektrodenauswahl.....	49
4.3	Ausblick.....	50
	Zusammenfassung	52
	Abstract	53
	Literatur	54
	Abkürzungen	61
	Anhang	63
	Übersicht der deskriptiven Statistik.....	63
	Übersicht der Ergebnisse	100
	Lebenslauf	122

1 Einleitung

1.1 Forschungsvorhaben

Ziel dieser Arbeit ist es ein tieferes Verständnis für die Gedächtnisverarbeitung zu erreichen. Es soll untersucht werden, inwieweit Epilepsie einen Einfluss auf den mnestischen Prozess hat. Mittels der Methode der Elektroenzephalographie (EEG) werden die elektrischen Spannungsänderungen des Gehirnes aufgezeichnet, während die Probanden Merkaufgaben lösen, um diese anschließend mittels Frequenzanalyse in die einzelnen Frequenzbänder aufzutrennen. Im Anschluss wird mit Hilfe der Varianzanalyse untersucht, ob sich Unterschiede zwischen den beiden Stichproben (Epilepsie-Patienten und gesunden Probanden) ergeben. Es wird erwartet, dass Epilepsie einen negativen Einfluss auf die Merkfähigkeit hat und sich dieses auch in den Ergebnissen widerspiegelt und es eine geringere Aktivität in den Frequenzbändern (Theta, Gamma und High-Gamma) gibt.

1.2 Epilepsie

Epilepsie, wohl eher ein Symptom einer pathologischen Störung als Krankheit selbst, ist eine synchrone Entladung von Gehirnströmen (Bear, Connors & Paradiso, 2008). Bear und Kollegen (2008) schätzen, dass etwa ein Mensch von 125 weltweit von regelmäßigen Krampfanfällen betroffen ist und jeder Zehnte zumindest einmal einen Anfall in seinem Leben erleidet.

Nach Pinel und Pauli (2012) können einmalige Anfälle beispielsweise durch Giftstoffe oder Fieber ausgelöst werden. Epilepsie kann viele Ursachen haben. Zum einen führen Hirnschädigungen (durch Schädel-Hirn-Traumata, Tumore, Neurotoxine oder Viren) zu Krampfanfällen, aber auch genetische Defekte können in Folge zu synchronen Entladungen führen.

Tabelle 1. Einteilung der Epilepsien.

(nach der Internationalen Liga gegen Epilepsie, www.ilae.org) (aus Sturm, Herrman & Münte, 2009, S. 147).

1. Fokale Epilepsien und Syndrome*1.1. Idiopathische Anfälle (mit speziellem Erkrankungsalter)*

Benigne Epilepsie des Kindesalters (Rolando)

Lese-Epilepsie

1.2. Symptomatische Anfälle

Temporallappenepilepsie

Frontallappenepilepsie

Okzipitallappenepilepsie

Parietallappenepilepsie

Supplementär-motorische Epilepsie

*1.3. Kryptogenetische fokale Epilepsie***2. Generalisierte Epilepsien und Syndrome***2.1. Idiopathische Anfälle (mit speziellem Erkrankungsalter)*

Benigne, myoklonische Epilepsie des Kindesalters

Absencen des Kindes- und Jugendalters

Myoklonische Epilepsie des Jugendalters

Epilepsie mit Grand-mal-Anfällen

2.2. Kryptogenetisch oder symptomatisch

West-Syndrom (infantile Spasmen)

Lennox-Gastaut-Syndrom

Myoklonisch-astatische Anfälle

3. Spezielle Syndrome / Situationsabhängige Anfälle

Fieberkrämpfe

Gelegenheitsanfälle

Anfälle bei Intoxikationen oder metabolischen Störungen

Sturm, Herrmann und Münte (2009) übernehmen die Unterscheidung zum einen zwischen idiopathischen Epilepsien, bei denen eine genetische Prädisposition vorliegt bzw. angenommen wird, und symptomatischen Epilepsien, die in Folge einer Hirnerkrankung auftreten (Tabelle 1.). Des Weiteren ist ein wichtiger Differenzierungsaspekt die Lokalisation des Anfallsleidens. Bei generalisierten Epilepsien erfolgen die synchronisierten Entladungen über das gesamte Gehirn; bei fokalen bzw. partiellen Epilepsien sind diese auf bestimmte Regionen beschränkt. Die auftretende Symptomatik richtet sich nach der Lokalisation des Herdes der Anfallsaktivität. Generalisierte Anfälle führen zu Bewusstlosigkeit und unkontrollierter Motorik. Die Symptomatik bei fokalen Anfällen, die man nach eben dieser noch einmal in einfach und komplex unterscheidet, variieren stark. Einfache fokale Anfälle sind beschränkt auf einzelne Symptome z. B. motorische, was sich in Zuckungen von Gliedmaßen äußert, oder sprachliche, welche sich durch Aphasien äußern. Komplex fokale

Anfälle kündigen sich meist durch eine Aura (Sinneswahrnehmung oder Beklemmungsgefühl) an. Im weiteren Verlauf kommt es zu Bewusstseinsstörungen, gepaart mit mimischen Entäußerungen und vegetativen Symptomen (beispielsweise Speichelfluss). Abschließend erfolgt eine Reorientierung und es besteht keine Erinnerung an den Anfall.

Für Krzovska (2012) ist für die Diagnostik die Krankengeschichte des Betroffenen essenziell. Die Anamnese wird mit dem Patienten oder durch jemanden, der einen Anfall beobachten konnte, erhoben. Folgende Punkte sind für Krzovska (2012) neben dem Festhalten der genauen Abfolge der Symptome wichtig: „Bewusstseinslage des Patienten, Aura, Urin- bzw. Stuhlabgang, Verletzungen (Zungenbiss, Schürfwunden u.a.), postiktale Reorientierungsstörung, Müdigkeit, Dauer des Anfalls, Familienanamnese, Gehirnerkrankungen und Lebensführung (Alkohol, Medikamente, Schlafgewohnheiten etc.)“ (S. 88). Zur endgültigen Diagnose einer Epilepsie ist die Ableitung eines Elektroenzephalogramms unablässig. Aufgrund der Tatsache, dass die Aufzeichnungen meist unauffällig sind, werden Provokationsmethoden verwendet (Lichtreize, Schlafentzug oder übermäßig gesteigerte Atmung) um Muster zu evozieren, die auf epileptische Aktivität schließen lassen. Eine weitere Möglichkeit ist eine längere EEG-Aufzeichnung (entweder während des Schlafes oder in Form eines Langzeit-EEGs). Bei gleichzeitiger Videoaufzeichnung ist die Art der Epilepsie einfacher und genauer zu klassifizieren.

Da zur Untersuchung die Gehirnströme aufgezeichnet werden, ist es wichtig, sich auch kurz mit den physiologischen Grundlagen der Pathologie von Epilepsie auseinanderzusetzen. Wie Zschocke und Hansen (2012) schildern, kommt es zu morphologischen Änderungen in Gehirnarealen, die epileptische Herde aufweisen. Die für das EEG wichtigen Pyramidenzellen sind am deutlichsten betroffen. Hier kommt es zu einer Degeneration der Dendriten und deren Verzweigungen. Auch die Zahl an Dornen der Dendriten ist stark verringert. Dieser Prozess wird durch eine Vermehrung der Gliazellen begleitet. Paradoxe Weise führen diese Veränderungen zu einer Verringerung der synaptischen Kontakte, was im Gegensatz zur Erregungssteigerung steht. Zschocke und Hansen vermuten einen kompensatorischen Mechanismus der Supersensitivität. Epileptogene Neurone sprechen verstärkt auf Transmitter an. Darüber hinaus neigen die Neurone zu spontaner oder bei geringer Erregung zu vollständiger Entladung und bleiben über einen Zeitraum von 50 bis 150 ms nicht erregbar. In Folge dessen kommt es zu einer kurzen und hochfrequenten Abfolge von Aktionspotentialen.

Dieses Phänomen wird als paroxysmale Depolarisation (PDS) bezeichnet. Ursächlich dafür ist ein überhöhter Einstrom von Calciumionen. In der Folge führt das zu unspezifischen Ionenkanalöffnungen, welche weitere Kationen in die Zelle strömen lassen.

1.3 Gedächtnis

1.3.1 Modales Gedächtnismodell

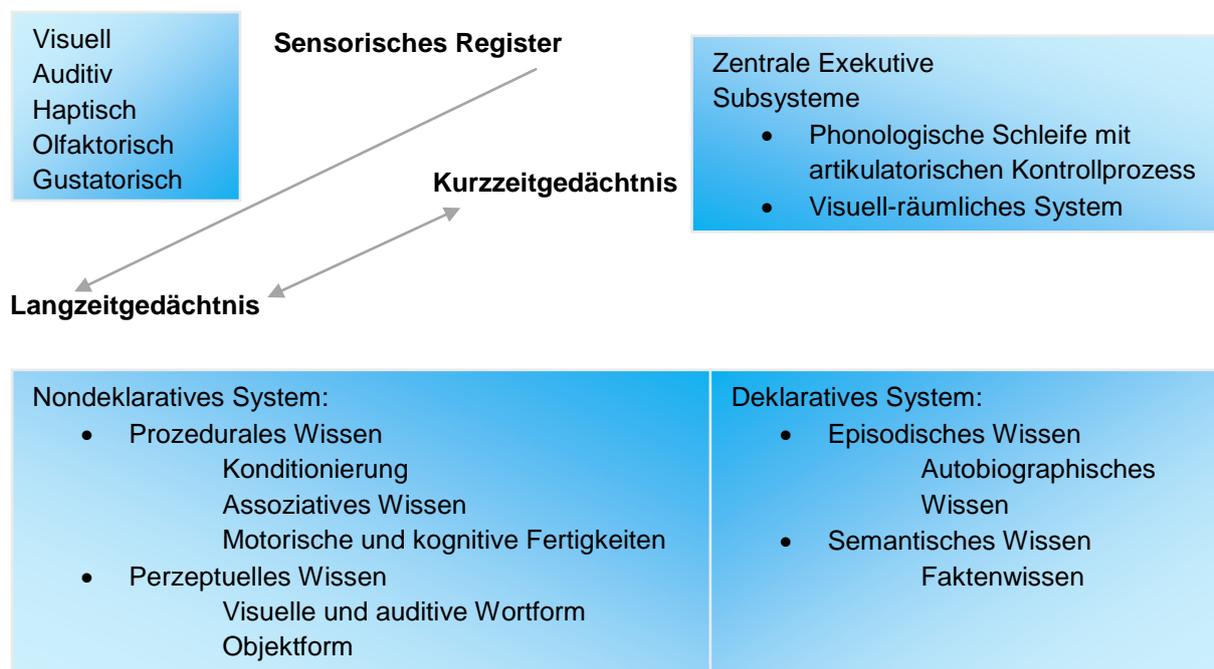


Abbildung 1. Modell des modalen Gedächtnisses (nach Buchner, 2012, S. 542).

Wie in Abbildung 1. zu sehen ist, unterteilt Buchner (2012) das Gedächtnis zunächst in drei Formen: Sensorisches Gedächtnis (sensorisches Register), Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis. An der Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Gedächtnis fungiert das sensorische Gedächtnis (welches je nach Sinnesmodalität weiter unterschieden werden kann – beispielsweise als „ikonisches Gedächtnis“ bei visuellen Reizen). Es repräsentiert sensorische Informationen, die allerdings nach wenigen hundert Millisekunden größtenteils vergessen sind. Beim Kurzzeitgedächtnis (wird auch als „Arbeitsgedächtnis“ bezeichnet) nimmt die zentrale Exekutive eine Kontrollfunktion ein, die akustische und artikulatorische Informationen mittels phonologischer Schleife sowie visuelle Repräsentationen und

Wahrnehmungen mittels eines visuell-räumlichen Notizblocks verarbeitet. Die zentrale Exekutive ist im Prinzip ein Aufmerksamkeitssystem, in dem entschieden wird, inwieweit der Fokus auf einzelne Informationen gelegt wird. Unter einem systemorientierten Blickpunkt können wir das Langzeitgedächtnis weiter in ein deklaratives und ein nondeklaratives Gedächtnis unterteilen. Ersteres beinhaltet abrufbares Wissen über Fakten und Geschehnisse. Die weitere Unterteilung des deklarativen Gedächtnisses in episodisches und semantisches Gedächtnis basiert auf der räumlich-zeitlichen Einordnung der Information und dem Bezug zur eigenen Person. Während das semantische Gedächtnis Fakten, unabhängig vom Kontext, in dem sie gemerkt worden sind, speichert, werden persönliche Erlebnisse, die im episodischen Gedächtnis gespeichert werden, einem räumlich-zeitlichen Kontext zugeordnet. Im Gegensatz dazu lassen sich Informationen aus dem nondeklarativen Gedächtnis nicht abrufen. Es handelt sich um Gedächtnisinhalte, die dem Bewusstsein nicht zugänglich sind.

1.3.2 Gedächtnisprozesse und ihre Lokalisation

Trimmel (2014) unterscheidet drei wichtige Prozesse des Gedächtnisses. Zum einen die Enkodierung, in der es zur Repräsentationsbildung kommt. Die Konsolidierung, welche den Prozess bezeichnet, in dem die biologische Einbettung in bestehendes Wissen stattfindet und zu guter Letzt den Abruf von Wissen.

Nach Schandry (2011) ist Enkodierung die erste geistige Repräsentation eines Reizes, nachdem er von den Sinnesorganen wahrgenommen wurde. Die sensorische Information bleibt meist weniger als eine Sekunde im sensorischen Speicher erhalten, bis sie entweder in den Kurzzeitspeicher überführt wird oder die Gedächtnisspur erlischt. Beteiligt daran sind nach Untersuchungen der Präfrontalkortex und der parahippocampale Kortex (siehe Abbildungen 2. und 3.), letzterer überschneidet sich stark mit dem medialen Temporallappen, der ebenfalls mit Gedächtnisleistungen assoziiert ist. Nach Markowitsch (2012) erfolgt die anschließende Verteilung der Informationen (nach Aufnahme durch die Sensorik) mittels Strukturen des limbischen Systems.

Für Schandry (2011) ist der Hippocampus (siehe Abbildung 3.) die entscheidende Struktur für die Konsolidierung, was sich vor allem anhand von Läsionen dieser Formation

belegen lässt. Der Hippocampus besitzt einen wechselseitigen Anschluss zu allen Assoziationskortexen, die im Zusammenhang mit dem Langzeitgedächtnis stehen.

Der Abruf von Wissen erfolgt nach Markowitsch (2012) über eine Regionkombination. Das episodische Gedächtnis ist rechtshemisphärisch gelagert und funktioniert über den Abruf aus den Strukturen des Temporalpols und inferioren lateralen Frontallappen, die durch den Fasciculus uncinatus miteinander verbunden sind. Für das semantische Gedächtnis gilt dieselbe Regionkombination, bloß linkshemisphärisch gelagert. Bei erst vor kurzem gespeicherten Informationen vermutet Markowitsch ausschließlich den Frontallappen als Lokalisation des Abrufes.

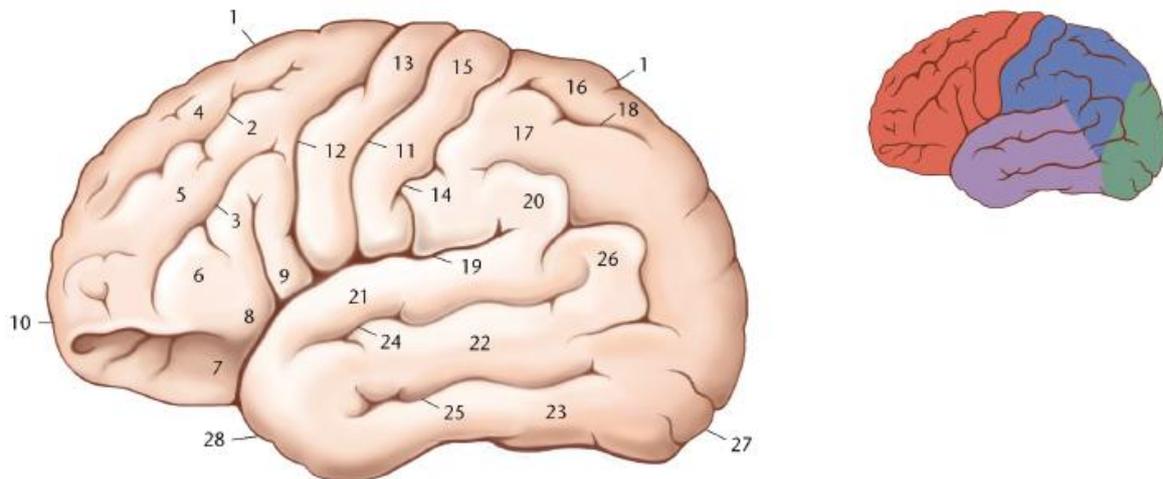


Abbildung 2. Lateralansicht der linken Hemisphäre (aus Trepel, 2012, S. 200).

Frontallappen rot, Parietallappen blau, Okzipitallappen grün und Temporallappen lila.

1 Mantelkante, **2** Sulcus frontalis superior, **3** Sulcus frontalis inferior, **4** Gyrus frontalis superior, **5** Gyrus frontalis medius, **6** Gyrus frontalis inferior, **7** Pars orbitalis, **8** Pars triangularis, **9** Pars opercularis, **10** Frontalpol, **11** Sulcus centralis, **12** Sulcus precentralis, **13** Gyrus precentralis, **14** Sulcus postcentralis, **15** Gyrus postcentralis, **16** Lobus parietalis superior, **17** Lobus parietalis inferior, **18** Sulcus intraparietalis, **19** Sulcus lateralis, **20** Gyrus supramarginalis, **21** Gyrus temporalis superior, **22** Gyrus temporalis medius, **23** Gyrus temporalis inferior, **24** Sulcus temporalis superior, **25** Sulcus temporalis inferior, **26** Gyrus angularis, **27** Okzipitalpol, **28** Temporalpol.

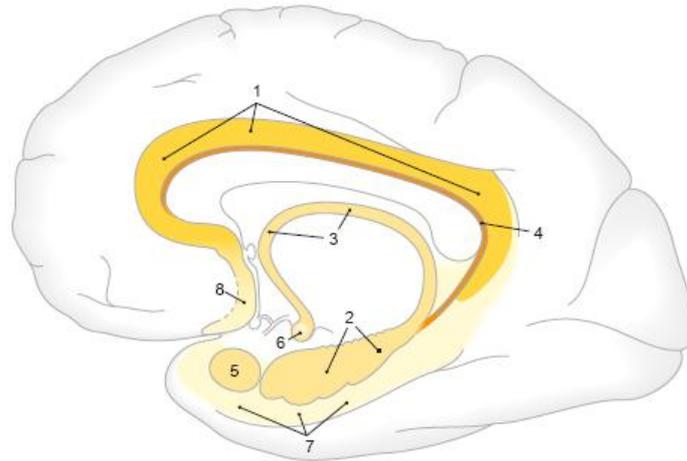


Abbildung 3. Strukturen des Limbischen Systems (aus Trepel, 2012, S. 214).

1 Gyrus cinguli, 2 Hippocampus mit Gyrus dentatus, 3 Fornix, 4 Indusium griseum, 5 Corpus amygdaloideum, 6 Corpus mammillare, 7 Gyrus parahippocampalis, 8 Septumregion.

1.4 Ermittlung von Gedächtnisprozessen anhand von Frequenzen

1.4.1 Einführung und Überblick

Wie Fell und Axmacher (2011) betonen, arbeiten Nervenzellen nicht für sich allein. Sie funktionieren im Verbund und arrangieren sich in Netzwerken. Sie kommunizieren, indem sie sich gegenseitig hemmen oder erregen. Innerhalb eines Netzwerkes entsteht dadurch ein Rhythmus, der sich, bedingt durch die elektrische Aktivität, in einem extrazellulären Feldpotential manifestiert, den wir mittels Elektroenzephalographie aufzeichnen können.

1924 leitete Hans Berger als Erster elektrische Stromschwankungen von der Hirnrinde eines Menschen ab (Berger, 1935). Berger (1935) stellte schon damals fest, dass die vorrangige Schwingung die Alpha-Frequenz ist, die er auf einen Bereich von 8 bis 11 Hz festlegte. Diese Frequenz herrscht hauptsächlich im Ruhezustand vor. Schon 1930 stellte Berger (1935) folgende Arbeitshypothese auf: „Daß wir in den Hauptschwingungen des EEG. des Menschen die elektrischen Begleiterscheinungen derjenigen materiellen Rindenvorgänge vor uns haben, die man als die psychophysischen zu bezeichnen pflegt, da sie unter Umständen mit Bewusstseinserscheinungen verbunden sind.“ (S. 124).

Mittlerweile wird davon ausgegangen, dass es sich beim EEG um eine Überlagerung unterschiedlicher Frequenzen handelt (Wellach, 2011). Nach Wellach haben die Gehirnwellen

ein charakteristisches Spektrum. Die Frequenzen sind nach Wellach (Delta bis Beta) und Witte, Hagemann und Haueisen (Gamma) (2011) folgende:

- Delta-Aktivität in einem Bereich von **0,5 bis 4 Hz**
- Theta-Aktivität in einem Bereich von **4 bis 7 Hz**
- Alpha-Aktivität in einem Bereich von **8 bis 13 Hz**
- Beta-Aktivität in einem Bereich von **13 bis 30 Hz**
- Gamma-Aktivität in einem Bereich von **30 bis 80 Hz**

Es sei hier kurz angemerkt, dass sich die Frequenzen je nach Literaturgrundlage teils erheblich voneinander unterscheiden. Variieren die Frequenzen Delta, Theta und Alpha an ihren Grenzen lediglich um 0,5 bis 1 Hz, so wird die Grenze beispielsweise bei der Beta-Aktivität auch teilweise bei 40 Hz gezogen (Hoppe, 2011). Bei der Gamma-Frequenz verhält es sich ähnlich. Hier wird die Bandbreite auch beispielsweise von 30 bis 100 Hz festgelegt (Fell & Axmacher, 2011).

Im Folgenden sei eine Übersicht über eine Auswahl an Studienergebnissen, die den Zusammenhang von Frequenzen und Gedächtnis untersucht haben, gegeben (Tabelle 2.).

Tabelle 2. Übersicht einer Auswahl an Studienergebnissen über verschiedene Frequenzbänder.

(aus Hanslmayr & Staudigl, 2014, S. 649).

Frequenzband	SME	Autoren	Methode		
Theta (~7 Hz)	Anstieg	Hanslmayr et al. (2011a)	EEG-fMRI		
		Klimesch et al. (1996a)	EEG		
		Lega et al. (2012)	iEEG		
		Osipova et al. (2006)	MEG		
		Staudigl und Hanslmayr(2013)	MEG		
	Rückgang	Burke et al. (2013)	iEEG		
		Guderian et al. (2009)	MEG		
		Lega et al. (2012)	iEEG		
		Sederberg et al. (2007)	iEEG		
		Staudigl und Hanslmayr (2013)	MEG		
Alpha (~10 Hz)	Anstieg	Khader et al. (2010)	EEG		
		Meeuwissen et al. (2011)	MEG		
	Rückgang	Fell et al. (2011)	iEEG		
		Fellner et al. (2013)	EEG		
		Hanslmayr et al. (2009)	EEG		
		Klimesch et al. (1996b)	EEG		
		Sederberg et al. (2007)	iEEG		
		Fell et al. (2008)	iEEG		
Beta (~15 Hz)	Rückgang	Fellner et al. (2013)	EEG		
		Hanslmayr et al. (2009)	EEG		
		Hanslmayr et al. (2011a)	EEG-fMRI		
		Sederberg et al. (2007)	iEEG		
		Gamma (>30 Hz)	Anstieg	Burke et al. (2013)	iEEG
				Gruber et al. (2004)	EEG
Hanslmayr et al. (2009)	EEG				
Osipova et al. (2006)	MEG				
Sederberg et al. (2007)	iEEG				
Rückgang	Fell et al. (2001)	iEEG			

Anmerkung: SME = Subsequent Memory Effect, iEEG = intrakranielle Elektroenzephalographie, MEG = Magnetoenzephalographie, fMRI = Funktionelle Magnetresonanztomographie.

Nach Hanslmayr und Staudigl (2014) ist das Interesse an Untersuchungen über den Zusammenhang von Gehirnwellen und Gedächtnisprozessen in den letzten Jahrzehnten stetig gewachsen. Während am Anfang der Forschung eher einzelne Frequenzen (beispielsweise Theta) im Fokus standen, beschränkte man sich auch bei den untersuchten Variablen eher auf einfache Parameter (beispielsweise die Stärke der Frequenzaktivität oder den Zusammenhang mit bestimmten Hirnregionen). Mit zunehmenden Prozessorgeschwindigkeiten und steigender Speicherfähigkeit führte die Entwicklung der Computertechnologie zu Untersuchungen, die umfangreicher vorgenommen werden konnten. So umfassten neuere Studien mehrere Frequenzen und auch die Parameter wurden komplexer (z.B.: Theta-Gamma-Coupling). Aus

Tabelle 2 ist zu ersehen, dass es offensichtlich kein einheitliches Bild gibt bzw. der Zusammenhang zwischen Gedächtnis und den einzelnen Frequenzen nicht ganz eindeutig ist. All die angeführten Studien belegen den Zusammenhang zwischen Frequenzen und Gedächtnisprozessen, jedoch wurde zum einen der Forschungsgegenstand außen vor gelassen, denn in der Studie von Guderien, Schott, Richardson-Klavehn und Duzel (2009) wurde beispielsweise die Aktivität vor dem Stimulus untersucht; während die Studien von Khader, Jost, Ranganath und Rösler (2010) und Meeuwissen, Takashima, Fernández, Maris und Jensen (2011) ihr Augenmerk eher auf das Zusammenspiel von Kurz- und Langzeitgedächtnis legten.

Zum anderen sind Hanslmayr und Staudigl (2014) der Meinung, dass die unterschiedlichen Ergebnisse prozessbedingt sind. Ihre Ansicht lehnt sich an zwei Konzepte, die im Folgenden näher erläutert werden. Zum einen handelt es sich um das Konzept *Levels of Processing* von Craik und Lockhart und zum anderen um das Konzept *Encoding Specificity Principle* von Tulving.

1972 stellten Craik und Lockhart erstmals das Konzept Levels of Processing (LOP) in einem Artikel vor, welches selbst 40 Jahre nach Aufstellung noch von Bedeutung ist. Dies zeigt sich an der aktuellen Forschung, welche nach den neuronalen Strukturen für das Konzept sucht, wie sich in Studien von Kapur et al. (1994), Fellner, Bäuml und Hanslmayr (2013) und Schott et al. (2013) zeigt. Craik und Lockhart (1972) erklärten, dass Stimuli in unterschiedlichen Stufen verarbeitet werden können. Das reicht von oberflächlicher Reizverarbeitung und Feststellung von Form, Farbe, Helligkeit etc. bis hin zu einem tieferen Verständnis, welches Bedeutung und die Einbeziehung in andere Sachverhalte umfasst. Der Grad der Verarbeitung hängt unter anderem davon ab, welche Bedeutung der Reiz für den Rezipienten hat, welches Ausmaß an Aufmerksamkeit die Person der Analyse des Reizes widmet und welche Verwendung für bzw. welche Absichten der Rezipient mit dem Stimulus hat. Diese Hierarchie meint man mit der Begrifflichkeit „Verarbeitungstiefe“, die sich nach dem Umfang der Auseinandersetzung mit dem Stimulus richtet. Darüber hinaus vermuten Craik und Lockhart (1972), dass mit tieferer Verarbeitung die Gedächtnisspur auch länger bestehen bleibt und stärker im Gedächtnis verhaftet ist. Nach Craik und Lockhart (1972) ist weniger die Absicht sich erinnern zu wollen wichtig, als vielmehr die Art wie Reize enkodiert werden.

1975 haben Craik und Tulving zehn Versuche durchgeführt, um dieses Konzept zu überprüfen. Sie konnten zeigen, dass mit steigendem Grad der Enkodierung die Probanden zwischen 15 % und über 80 % der verbalen Stimuli korrekt wiedergaben. Die Abstufungen in der Verarbeitungstiefe der Stimuli wurden erreicht, indem unterschiedliche Fragen beantwortet werden mussten. Für eine einfache Verarbeitung mussten die Probanden Fragen über die Schrift beantworten, für die nächste Verarbeitungsstufe wurden Fragen nach Reimen gestellt und für den höchsten (bzw. tiefsten) Verarbeitungsgrad mussten die Probanden beurteilen, ob sich die Wörter in bestimmte Kategorien oder in bestimmte Sätze einordnen ließen.

30 Jahre nach Erscheinen des Artikels von Craik und Lockhart hat Craik (2002) noch einmal über das Konzept Levels of Processing resümiert und betont neben der Wahrnehmung und dem Verständnis die Wichtigkeit der Konsolidierung. Grundsätzlich hält er LOP immer noch für ein nützliches Konzept, aber die eigentliche Errungenschaft ihrer Arbeit ist es, seiner Meinung nach, dass man heutzutage dem Gedächtnis einen prozesshaften Charakter zuschreibt.

Ein weiteres klassisches Konzept des episodischen Gedächtnisses, welches hier näher erläutert werden soll, ist das Encoding Specificity Principle. Tulving und Thomson (1973) fassen das Prinzip folgendermaßen prägnant zusammen: Es kann nur abgerufen werden, was vorher gespeichert worden ist und wie es abgerufen werden kann, hängt davon ab, wie es gespeichert worden ist. Wenn sich beispielsweise der Proband ein Wort aus einer Liste merken muss, dann wird die Information über die bestimmte Enkodierung dieses Wortes in Bezug auf die Situation und den Kontext gespeichert. Würde dieses Wort Eingang in das semantische System finden und Bindungen zu anderen Wörtern bilden, dann könnte es auch mittels eines dieser Wörter wieder abgerufen werden. Der Erfolg, mittels Reizen das zu erinnernde Wort wiederzugeben, hängt davon ab, welche Eigenschaften die Gedächtnisspur hat. Auch für dieses Konzept existieren neuere Studien, die sich mit der neuronalen Grundlage beschäftigen. Nyberg, Habib, McIntosh und Tulving (2000) beispielsweise zeigten, dass, wenn beim Enkodieren Wörter mit Tönen gekoppelt vorgegeben wurden, diese Wörter beim Erinnern auch Aktivität im auditorischen Kortex auslösten (ohne dass jetzt ein Ton zu hören gewesen wäre).

Der Subsequent Memory Effect (SME) aus Tabelle 2. basiert auf dem Subsequent Memory Paradigma von Paller und Wagner (2002). Hier wird die neuronale Aktivität beim

Enkodierungsprozess zwischen den Items verglichen, die erinnert wurden und die nicht erinnert wurden. Äquivalent wird der Begriff auch mit den DM effects (differences in memory effects) (Paller, 1987) verwendet.

Nun betrachteten Hanslmayr und Staudigl (2014) die Studien (Tabelle 2.) unter dem Aspekt der Konzepte Levels of Processing und Encoding Specificity Principle. Unter Berücksichtigung der LOP und dementsprechend der Unterscheidung des SME zwischen semantischer und oberflächlicher Enkodierung zeigte sich, dass sich die Frequenzen anhand der unterschiedlichen Enkodierung differenzierten. Bei semantischer Enkodierung zeigte sich bei den Gehirnwellen, dass Alpha- und Betaanteile verringert waren, während bei nicht semantischer Enkodierung die Theta-Anteile erhöht waren. Dass auch das Konzept Encoding Specificity Principle berücksichtigt werden muss, zeigt sich anhand von fMRI-Studien von Johnson, McDuff, Rugg und Norman (2009) und Wheeler, Petersen und Buckner (2000), die nachweisen konnten, dass beim Enkodieren dieselben Muster im Gehirn aktiv waren, wie beim Abruf.

1.4.2 Theta-Aktivität und Gedächtnis

Die aktuelle Gedächtnisforschung fokussiert sich zunehmend auf die Frequenzen Theta und Gamma und deren Wechselspiel (Theta-Gamma-Coupling) bei Gedächtnisprozessen. In den letzten Jahren ist auch das Interesse an höheren Frequenzen aufgekommen, die entweder als High-Gamma (Crone, Korzeniewska & Franaszczuk, 2011) oder als High-Frequency-Activity (Lachaux, Axmacher, Mormann, Halgren & Crone, 2012) bezeichnet werden. Im Folgenden soll hier näher auf die Ergebnisse eingegangen werden. Zunächst werden einige Ergebnisse bezüglich der Theta-Aktivität besprochen.

Jensen und Tesche (2002) konnten in ihrer MEG-Studie zeigen, dass die Theta-Aktivität (hier: 7 bis 8,5 Hz) zum einen mit dem Umfang des zu merkenden Inhaltes linear ansteigt und zum anderen, dass die Theta-Aktivität zwischen Enkodierung und Abruf erhalten bleibt. Angelehnt an die Studie von Sternberg (1966) mussten sich die Probanden Listen mit 1, 3, 5 oder 7 Items merken und im Anschluss angeben, welche sie wiedererkannten. Die Theta-Aktivität zeigte sich in der Studie vorrangig in den frontalen Arealen.

Staudigl und Hanslmayr (2012) konnten zeigen, dass (in Anlehnung an das Encoding Specificity Principle) eine erhöhte Theta-Aktivität bei Übereinstimmung des Kontextes bei Enkodierung und Testung auch zu einem erfolgreicherem Abruf führte. In ihrer MEG-Studie mussten die Probanden wiedergeben, wie sicher sie Wörter wiedererkannten, die zusammen mit Videos präsentiert wurden. Der Kontext wurde manipuliert, indem bei der späteren Abfrage, die Wörter entweder mit demselben Video präsentiert wurden oder mit einem anderen.

Aber der am besten untersuchte Effekt bezüglich der Theta-Frequenz ist die erhöhte Aktivität vor dem einzuprägenden Stimulus, die eine erhöhte korrekte Wiedergabe vorhersagt. Mehrere Studien stützen dieses Ergebnis. In der Studie von Guderian, Schott, Richardson-Klavehn und Düzel (2009) konnte eben dies gezeigt werden. Unter Berücksichtigung der LOP mussten sich die Probanden unter zwei Bedingungen Wörter merken. Die Konditionen ergaben sich durch eine semantische oder phonemische Beurteilung der Wörter. Bei ersterer mussten die Probanden angeben, wie angenehm die Wörter empfunden wurden und bei der zweiten Bedingung musste die Anzahl der Silben angegeben werden. Der Effekt, dass der erfolgreiche Abruf der Wörter im Zusammenhang mit der erhöhten Theta-Aktivität vor dem Stimulus steht, war sogar unabhängig von der Bedingung. Die Studie von Addante, Watrous, Yonelinas, Ekstrom und Ranganath (2011) stützt ebenfalls die These über den Theta-Effekt vor dem Stimulus. Die Autoren stellen darüber hinaus auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse die Vermutung auf, dass der Abruf aus dem episodischen Gedächtnis ein Spiegel des Wechselspiels zwischen Reiz und vorhergehendem neurokognitiven Zustand des Probanden ist. Daraus leiten sie die Frage ab, ob es den Abruf verbessern würde, wenn man die Theta-Aktivität vor dem Abruf induzieren würde. Gruber, Watrous, Ekstrom, Ranganath und Otten (2012) untersuchten ebenfalls das Prästimulus-Theta-Phänomen. Allerdings untersuchten sie den Gedächtnisprozess unter einem weiteren Aspekt und zwar dem der Motivation. Vor der Präsentation des Wortes wurden zwei unterschiedliche monetäre Werte eingeblendet, einer fiel niedrig aus (20 Pence) und einer hoch (2 Pfund). Den Probanden wurde gesagt, sie würden die entsprechende Summe bekommen, sofern sie die Wörter später richtig erinnerten. Es zeigte sich in dieser Untersuchung, dass bei Wörtern, die mehr Geld versprochen, die Theta-Aktivität gut zur Voraussage des Abruferfolges herangezogen werden konnte, während dies bei Wörtern, die einen geringeren monetären Anreiz hatten, nicht der Fall war. Die Autoren sehen hier eine Verbindung, dass Theta-Aktivität auch assoziiert ist mit der Erwartungshaltung an Belohnung.

1.4.3 Gamma-Aktivität und Gedächtnis

Die Gamma-Aktivität steht ähnlich im Ruf wie die Theta-Aktivität ein Marker von Gedächtnisprozessen zu sein. Allerdings zeigt sich hier der Effekt eher nach dem Stimulus, wie die folgenden Studien illustrieren.

Howard, Rizzuto, Caplan, Madsen, Lisman et al. (2003) ließen ihre Probanden den Sternberg-Task bearbeiten, um ihr Arbeitsgedächtnis zu untersuchen. Anschließend werteten sie die Daten des intrakraniellen EEGs aus und stellten fest, dass auch hier ein beinahe linearer Anstieg zwischen Gamma-Aktivität (hier: 30 bis 60 Hz) und steigendem Gedächtnisinhalt zu verzeichnen ist. Die erhöhte Gamma-Aktivität zeigte sich während der Abrufphase und fiel wieder auf ihr normales Niveau zurück, nachdem der jeweilige Durchgang beendet war.

Gruber, Tsivilis, Montaldi und Müller (2004) untersuchten den Zusammenhang von Gamma-Aktivität bei Enkodierung und Abruf. Die Probanden der Studie hatten die Aufgabe, anzugeben, ob sie in der Testphase die präsentierten Wörter wiedererkannten, die man ihnen in der Lernphase gezeigt hatte. Zum einen zeigte sich hier, dass die Gamma-Aktivität höher in der Enkodierungsphase bei richtig erinnerten Wörtern war, als bei vergessenen Wörtern und die Aktivität auch beim Abruf bei den richtig erinnerten Wörtern höher war. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Osipova, Takashima, Oostenveld, Fernández, Maris et al. (2006).

Sederberg, Schulze-Bonhage, Madsen, Bromfield, McCarthy et al. (2007) fanden in ihrer Studie allerdings nur einen Effekt während der Enkodierungsphase. Während die Probanden sich Wörter einprägen mussten und wiedergaben, wurde ein EEG intrakraniell abgeleitet. Bei der Auswertung stellten die Autoren fest, dass die Gamma-Aktivität lediglich bei der Enkodierung richtig erkannter Wörter erhöht war. Zu demselben Ergebnis kam Sederberg auch schon mit einer Forschergruppe einige Jahre zuvor (Sederberg, Kahana, Howard, Donner & Madsen, 2003).

1.4.4 High-Gamma-Aktivität und Gedächtnis

2012 setzten sich Lachaux, Axmacher, Mormann, Halgren und Crone mit den bisherigen Ergebnissen bezüglich der High-Frequency-Activity (HFA) kritisch auseinander. In ihrer Review deuten sie an, dass HFA in unterschiedlichen Wirkungsweisen am Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis beteiligt ist. Zum einen kommt es zu einer anhaltenden erhöhten HFA in der Phase zwischen Enkodierung und Abruf und zum anderen vermuten die Autoren, dass flüchtige Anstiege der HFA eventuell die Enkodierung und Konsolidierung initiieren sowie die Plastizität im Hippocampus und die kortikale Langzeitpotenzierung begünstigen.

In ihrer Studie zeigten Burke, Long, Zaghoul, Sharan, Sperling et al. (2013), dass bei Wörtern, die später wiedererkannt wurden, während der Präsentation eine erhöhte HFA auftrat. Auch sie unterstützen in ihrer Studie die Vermutung von Lachaux et. al. (2012). Allerdings gehen sie noch darüber hinaus und nehmen an, dass HFA ein allgemeines kognitives Aktivierungssignal ist. Sie spekulieren, dass HFA sich nicht nur auf Gedächtnisprozesse beschränkt, sondern auch neuronale Aktivierung bei anderen Reaktionen anzeigt, was sie anhand von Ergebnissen anderer Studien stützen (Crone, Miglioetti, Gordon, Sieracki, Wilson, Uematsu & Lesser, 1998a, Crone, Miglioetti, Gordon & Lesser, 1998b, Crone, Boatman, Gordon & Hao, 2001, Hipp, Engel & Siegel, 2011, Miller, Leuthardt, Schalk, Rao, Anderson, Moran et al., 2007, zitiert nach Burke et al., 2013).

Burke, Sharan, Sperling, Ramayya, Evans et al. (2014) fanden heraus, dass vor allem die HFA im linken medialen Temporallappen eine erfolgreiche Wiedergabe vorhersagt.

1.4.5 Theta-Gamma Coupling

Da Theta- und Gamma-Aktivität vorrangig mit Gedächtnisprozessen assoziiert sind, wurde auch in mehreren Untersuchungen erforscht, inwieweit diese Frequenzen in einem funktionellen Zusammenhang stehen. Eine der Studien, die dies untersuchten, wurde von Friese, Köstner, Hassler, Martens, Trujillo-Barreto et al. (2012) durchgeführt. Sie ließen ihre Probanden 300 Bilder anschauen und nach einer Mathematikaufgabe mussten die Probanden in einem weiteren Durchgang angeben, welche der Bilder sie wiedererkannten. Dabei wurde ein Teil der Bilder aus dem ersten Vorgang und unbekannte Bilder vorgegeben. Die

Gedächtnisprozesse wurden wieder mittels Subsequent Memory Effect ermittelt. Es zeigte sich, dass während der Enkodierungsphase bei Wörtern, die später wiedererkannt wurden, der Zeitabschnitt, in dem die frontale Theta-Aktivität und die parietale/okzipitale Gamma-Aktivität in ihren Auslenkungen gekoppelt waren, länger ist. Die Autoren stellen die Vermutung auf, dass die Kopplung bei der Bildung neuer Gedächtnisinhalte die wechselseitige Beeinflussung zwischen dem Kontrollsystem, das in der frontalen Hirnrinde verortet ist, und den kortikalen Repräsentationen, die im parietalen und okzipitalen Bereich liegen, widerspiegelt.

Um auszuschließen, dass das Theta-Gamma Coupling wirklich nur auf Gedächtnisprozesse zurückzuführen ist und nicht durch Aufmerksamkeit hervorgerufen wird, verglichen Park, Jhung, Lee und An (2013) in ihrer Studie die vorherrschenden Frequenzaktivitäten bei der Bearbeitung von Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsaufgaben. Die Ergebnisse zeigten kein Theta-Gamma Coupling bei der Bearbeitung des Aufmerksamkeitstasks, allerdings – wie in anderen Studien – auch bei der Bearbeitung von Gedächtnisaufgaben. Die Autoren sind der Meinung, dass das Theta-Gamma Coupling spezifisch für die Gedächtnisverarbeitung ist.

Da in der bereits erwähnten Studie von Friese et al. (2012) nur ein Oberflächen-EEG durchgeführt wurde, ist bei der Auswertung natürlich der Hippocampus, der in den vorherigen Abschnitten, als wichtiger Ort der Gedächtnisverarbeitung charakterisiert wurde, außen vor gelassen worden. Inwieweit es auch hier zu einem Theta-Gamma Coupling kommt, fassten Lisman und Jensen (2013) in ihrer Review zusammen. Die Ergebnisse anderer Studien ließen zwar schon darauf schließen, dass das Theta-Gamma Coupling eine zentrale Funktion in der Ausbildung von Gedächtnisspuren hat, allerdings sind einige Fragen offen, die ein vollständiges Verständnis noch nicht möglich machen. Es ist beispielsweise noch unklar, wie der Zusammenhang zwischen Hippocampus und den Regionen, mit denen er interagiert, hergestellt wird.

1.5 Epilepsie und Gedächtnis

1.5.1 Einführung

Das Thema dieser Arbeit ist der Einfluss von Epilepsie auf Gedächtnisprozesse. Auf diesen Zusammenhang soll jetzt näher eingegangen werden. Ende der 1990er Jahre verschob sich die Wahl der Forschungsmethodik bezüglich der Gedächtnisprozesse hin zu Tiefenableitungen und fMRI (Paller & Wagner, 2002). Die Vorteile intrakranieller Ableitungen gegenüber dem Oberflächen-EEG sind, dass es keine extrakraniellen Artefakte gibt (wie Augenbewegungen oder Muskelzuckungen) und darüber hinaus bietet es zum einen die räumliche Auflösung des fMRI und zum anderen die zeitliche Genauigkeit des EEG (Jerbi, Ossandón, Hamamé, Senova, Dalal et al., 2009). Interessanterweise spielte in diesem Prozess Epilepsie in der Erforschung der Gedächtnisprozesse, ohne selbst wirklich Gegenstand der Forschung geworden zu sein, eine bedeutende Rolle. In allen der bisher erwähnten Studien, in denen ein intrakranielles EEG durchgeführt wurde, erfolgte dieses an Epilepsiepatienten, ohne dieses Symptom an sich zu berücksichtigen oder die Werte mit einer Kontrollgruppe zu vergleichen. Darüber hinaus sind die Stichprobenumfänge meist klein zwischen 3 und 14 Personen (bei denen in Folge angegebenen Studien), abgesehen von den Studien von Lega, Jacobs und Kahana (2012) mit 33 Probanden, Burke, Zaghoul, Jacobs, Williams, Sperling et al. (2013) mit 68 Patienten und Merkow, Burke, Stein und Kahana (2014) mit 77 Probanden, wobei die letzten drei Studien mit gemeinsamen Daten arbeiteten und die Daten über einen längeren Zeitraum erhoben wurden. Um dieses Ausmaß kurz zu zeigen, seien hier noch ausdrücklich Studien, die Gedächtnisprozesse mittels Tiefen-EEG bei Epilepsiepatienten untersuchten, ohne das Symptom in irgendeiner Form zu berücksichtigen, erwähnt (Fell, Klaver, Lehnertz, Grundwald, Schaller et al., 2001, Raghavachari, Kahana, Rizzuto, Caplan, Kirschen et al., 2001, Mormann, Fell, Axmacher, Weber, Lehnertz et al., 2005, Meltzer, Zaveri, Goncharova, Distasio, Papademetris et al., 2007, Axmacher, Henseler, Jensen, Weinreich, Elger et al., 2009, Anderson, Rajagovindan, Ghacibeh, Meador & Ding, 2010, Lega, Jacobs & Kahana, 2012, Burke, Zaghoul, Jacobs, Williams, Sperling et al., 2013, Merkow, Burke, Stein & Kahana, 2014).

Bettus, Wendling, Guye, Valton, Régis et al. (2008) konnten in ihrer Studie zeigen, dass allein schon epileptisches Gewebe einen Einfluss auf die Gehirnwellen hat. So zeigte sich, dass Probanden mit medialer Temporallappenepilepsie bei einem Anfall eine geringere Theta-Aktivität in diesen Regionen haben als Epilepsiepatienten, bei denen der Ursprungsherd woanders verortet ist. Was durch die bisherigen Darlegungen die Frage aufwirft, wenn Theta-Aktivität mit Gedächtnisprozessen assoziiert ist und diese in der für Gedächtnis wichtigen Region verringert ist, lässt es die Vermutung zu, dass bei diesen Patienten auch die Gedächtnisleistung reduziert ist.

Dass die Gedächtnisleistung bei Epilepsiepatienten eingeschränkt ist, konnte in diversen Studien gezeigt werden. Chiu, Lin, Chen, Chen, Chen et al. (2010) untersuchten die Gedächtnisleistung von Patienten mit Temporallappenepilepsie (TLE) und verglichen diese Werte mit denen gesunder Probanden. Es zeigten sich Defizite im semantischen und episodischen Gedächtnis bei den Epilepsiepatienten. Mameniskiene, Jatuzis, Kaubrys und Budrys (2006) zeigten, dass Patienten mit TLE auch Defizite im Langzeitgedächtnis haben. Ebenfalls konnten Defizite im Arbeitsgedächtnis bei Personen mit TLE in der Studie von López-Frutos, Poch, García-Morales, Ruiz-Vargas und Campo (2014) gezeigt werden.

1.5.2 Parameter der Epilepsie und ihr Einfluss auf die Gedächtnisleistung

Mameniskiene, Jatuzis, Kaubrys und Budrys (2006) untersuchten das Langzeitgedächtnis bei Epilepsiepatienten und wollten herausfinden, welche Determinanten den größten Einfluss auf die Schädigung des Langzeitgedächtnisses haben. Sie untersuchten 70 Epilepsiepatienten und 59 Kontrollpersonen. Vorgegeben wurden unter anderem ein Test, bei dem Wörter gelernt werden mussten (Rey Auditory Verbal Learning Test (RAVLT)), eine Kurzgeschichte (Verbal Logical Story (VLS)), die unmittelbar und verzögert abgerufen werden sollte, der Rey-Osterriicht Complex Figure Test (ROCFT) und noch einige weitere kognitive Tests. Die Ergebnisse zeigten, dass die Patientengruppe signifikant schlechter in allen kognitiven Tests abschnitt (abgesehen von einem Test, in dem komplexe Figuren kopiert werden mussten). Darüber hinaus fanden die Autoren einen mittleren negativen Zusammenhang zwischen Alter der Patienten und der Testleistung. Die Dauer, unter der die Probanden an Epilepsie bis zum Testzeitpunkt litten, zeigte immerhin in zwei der Tests (VLS und ROCFT) einen mittleren negativen Zusammenhang. Die Anzahl der komplex partiellen Anfälle wirkt sich ebenfalls

negativ auf den Langzeitgedächtnisabruf aus. Auch hier fand sich in allen drei Aufgaben ein mittlerer negativer Zusammenhang. Die Anzahl der Anfälle zwischen erstem Testtermin und dem zweiten Termin vier Wochen später beeinflusste die Leistung im VLS (dabei zeigte sich ebenfalls ein mittlerer negativer Zusammenhang) und ein schwacher negativer Zusammenhang beim ROCFT.

1.5.3 Frequenzunterschiede bei Gedächtniseffekten durch Epilepsie

Wie schon beschrieben, werden viele Studien, die den Zusammenhang von Frequenzen und Gedächtniseffekten untersuchen, mit Epilepsiepatienten durchgeführt, allerdings nicht mit gesunden Probanden verglichen. Im Folgenden soll hier ausführlich auf die Studie von Long, Burke und Kahana (2014) eingegangen werden, weil die Autoren den SME bei Epilepsiepatienten und gesunden Probanden verglichen haben. Allerdings mit der kleinen Einschränkung, dass sie die Epilepsiepatienten mit iEEG untersuchten und die Kontrollpersonen mit einem normalen EEG.

Für die iEEG-Ableitung wurden 98 Teilnehmer untersucht, die im Zuge ihrer Operation mit Tiefenelektroden ausgestattet wurden. Alle Teilnehmer litten an einer medikamentenresistenten Epilepsie. Während der iEEG-Aufzeichnung mussten die Probanden Listen mit Wörtern lernen. Diese Listen bestanden aus 15 bis 20 Substantiven. Nach Vorgabe der Wörter bearbeiteten die Testpersonen einfache arithmetische Aufgaben, um den Rezenzeffekt zu minimieren. Anschließend hatten die Probanden 45 Sekunden Zeit, um die gemerkten Wörter, unabhängig von der Reihenfolge in der sie präsentiert wurden, wiederzugeben.

Für das Oberflächen-EEG wurden 102 Freiwillige untersucht. Allerdings stammen die Daten aus einer anderen Studie (Electrophysiology of Encoding and Retrieval von Penn) und dementsprechend unterscheiden sich die experimentellen Paradigmen. Während der Ableitung mussten ebenfalls Listen mit Wörtern gelernt werden. Da keine Aufgabe zwischen Lerndurchgang und Abruf gestellt wurde, wurden die letzten vier Wörter der 16 Wörter umfassenden Liste gestrichen, um hier den Rezenzeffekt zu reduzieren.

Die Probanden der EEG-Untersuchung konnten im Mittel 68 % der Wörter korrekt wiedergeben, wohingegen die Epilepsiepatienten nur durchschnittlich 24 % der Wörter

korrekt wiedergeben konnten. Die Autoren erklären diesen gravierenden Leistungsunterschied zum einen mit der höheren Schwierigkeit im Task (bei der iEEG-Untersuchung) mit der Distraktionsaufgabe, wodurch die Probanden die Wörter nicht gleich wiedergeben konnten und zum anderen wurde in beiden Teilstichproben der Intelligenzquotient mittels WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale) erhoben. Dabei erreichten die Kontrollpersonen einen durchschnittlichen Intelligenzquotienten von 128 30 Punkte mehr als die Epilepsiepatienten mit im Schnitt 98 Punkten.

Während der Enkodierungsphase zeigten sich in beiden Ableitungsgruppen eine verringerte Theta-Aktivität und eine erhöhte Gamma-Aktivität. Ausgenommen hiervon ist der temporale Bereich, denn hier zeigte sich eine erhöhte Theta-Aktivität. 500 ms nach den Stimuli zeigten sich erhöhte Theta-Aktivitäten im frontalen Bereich, welches sich mit oben geschilderten Ergebnissen deckt und typisch für kognitive Aktivität ist. Die Autoren beurteilen die Frequenzaktivitäten als charakteristisch für Gedächtnisprozesse und unabhängig von der Aufgabe. Darüber hinaus waren die Frequenzaktivitäten für das Oberflächen-EEG und das iEEG bzw. für die beiden Probandengruppen vergleichbar.

2 Methode

2.1 Untersuchungsplan

Der hier durchgeführten Studie liegt ein quasiexperimentelles Design zugrunde, bei der in einem Zweigruppenplan der Einfluss der Epilepsie auf die Frequenzaktivität bei Gedächtnisaufgaben untersucht wurde. Die Versuchsgruppe (VG) setzt sich aus Epilepsiepatienten zusammen und die Kontrollgruppe (KG) aus gesunden Probanden, die in den Variablen Alter und Geschlecht entsprechend der Versuchsgruppe parallelisiert wurde, damit diese Faktoren keinen Einfluss auf das Ergebnis der Untersuchung haben. Es handelt sich hier um ein quasiexperimentelles Design, weil die Testpersonen nicht randomisiert einer der beiden Gruppen zugeordnet werden konnten, sondern die Zuteilung anhand der Diagnose von Epilepsie getroffen wurde. Dadurch ist die unabhängige Variable festgelegt auf das Vorhandensein von Epilepsie oder nicht und die abhängige Variable ist die Frequenzaktivität.

2.2 Untersuchungsteilnehmer

An der Studie nahmen 72 Personen teil. 34 der Probanden sind Epilepsiepatienten und Teil der Versuchsgruppe. Die Epilepsiepatienten wurden über die Epilepsy Monitoring Unit der Universitätsklinik für Neurologie, Medizinische Universität Wien generiert. Gemein ist den Patienten, dass sie an einer medikamentenresistenten fokalen Epilepsie leiden und für einen chirurgischen Eingriff in Frage kamen, um die Epilepsie zu behandeln.

18 der 34 Patienten in der Versuchsgruppe sind männlich und das Durchschnittsalter beträgt 39 Jahre (SD = 12 Jahre). 56 % der Patienten haben einen Abschluss der Mittel- bzw. Hauptschule und ein Viertel der Probanden haben die Matura absolviert. Sechs der Patienten haben einen Hochschulabschluss. Zwanzig der Patienten sind berufstätig und zehn erwerbslos. Drei sind in der Ausbildung und ein Patient ist in Pension.

Im Zuge der prächirurgischen Diagnostik fand eine genaue Anamnese der Krankengeschichte der Epilepsiepatienten statt. Um eine genaue Vorstellung vom Ausmaß der Symptomatik zu bekommen, seien die Parameter der Epilepsie in Folge ausführlich

skizziert. Fünf der Patienten litten schon an Epilepsie bevor sie 6 Jahre alt waren. Bei allen anderen entwickelte sich die Epilepsie später. Die Hälfte der Patienten litt zum Testzeitpunkt seit bis zu 15 Jahren an Epilepsie. Ein Fünftel ist schon zwischen 15 und 30 Jahren betroffen und ein weiteres Fünftel leidet seit über 30 Jahren an Epilepsie. Des Weiteren wurde die Häufigkeit der Anfälle erhoben. Dabei wurden partielle und generalisierte Anfälle unterschieden. Vier der Patienten haben maximal einen partiellen Anfall im halben Jahr. 62 % haben mindestens einen partiellen Anfall im Monat. Bei den restlichen neun Probanden konnte eine regelmäßige Häufigkeit nicht genau evaluiert werden. Die Testpersonen wurden ebenfalls nach der Häufigkeit der generalisierten Anfälle befragt. Ein Viertel hat weniger als einmal im halben Jahr einen generalisierten Anfall. Fünf der Probanden erleiden mindestens einmal im halben Jahr einen generalisierten Anfall. Lediglich Zwei der Testpersonen leiden häufiger an dieser Anfallsart. Bei den restlichen Teilnehmern ließ sich auch hier nicht genau evaluieren, in welcher Regelmäßigkeit diese Anfälle auftraten. Die Lokalisation wurde bei der Datenerhebung ebenfalls berücksichtigt. Ungefähr die Hälfte der Patienten leidet an rechtshemisphärisch gelagerten Anfällen, bei elf der Probanden liegen diese in der linken Hemisphäre und bei einer Person in beiden Hemisphären. 56 % der Probanden haben den Ursprungsherd im Temporallappen. Die Anfälle dreier Probanden gehen vom Frontallappen aus und bei einer Versuchsperson vom parietalen Bereich. Die restlichen Fälle sind durch einen unspezifischen Charakter gekennzeichnet. Bei jeweils neun der Patienten war die Ursache der Epilepsie entweder idiopathisch oder symptomatisch. Alle Patienten nehmen zur Symptomlinderung Antiepileptika (z.B.: Levetiracetam, Carbamazepin, usw.) ein.

20 der 38 Kontrollpersonen sind männlich. Das Durchschnittsalter der Kontrollgruppe liegt bei 37 Jahren (SD = 13 Jahre). Die Hälfte der Probanden hat die Matura als höchsten akademischen Abschluss. Nur 4 Probanden haben einen Haupt- oder Mittelschulabschluss. Die restlichen 40 % der Personen haben einen Hochschulabschluss. 50 % der Kontrollgruppe sind erwerbstätig. 3 Personen sind erwerbslos. Die verbleibenden 42 % befinden sich in der Ausbildung.

2.3 Untersuchungsmaterialien

In den nachfolgenden Ausführungen werden nur die Untersuchungsmaterialien wiedergegeben, die auch für diese Studie für die Auswertung relevant waren. Im Unterpunkt 2.5 Untersuchungsdurchführung werden alle Verfahren, die in der Studie angewendet wurden, erwähnt. Die Untersuchungsplanung und die Entwicklung der EEG-Tasks entstanden unter der Leitung von Frau Dr. Trimmel in Zusammenarbeit mit Marlene Weberberger und Judith Ifkovits.

2.3.1 Soziodemographischer Fragebogen

Mittels dieses Fragebogens wurden die Stammdaten des Probanden/ der Probandin erhoben. Anzugeben waren Merkmale wie: Geburtsdatum, Geschlecht, Familienstand, höchster Bildungsabschluss, Berufstätigkeit, Nationalität und Muttersprache. Die Daten wurden anonymisiert und wie alle weiteren Daten unter einem Probandencode geführt.

2.3.2 Subtest „Verbales Arbeitsgedächtnis“ des IGD

Zur Erfassung der Leistung des verbalen Arbeitsgedächtnisses wurde der Untertest „Verbales Arbeitsgedächtnis“ des Inventars zur Gedächtnisdiagnostik (IGD) (Baller, Brand, Kalbe & Kessler, 2006) verwendet. Den Probanden wurde eine Liste von 14 Wörtern dreimal vorgelesen, wobei sie die Aufgabe hatten, im Anschluss die Wörter mit einem enthaltenden „R“ zu erinnern. Die Liste bestand zur Hälfte aus den Targets: Schnur, Sturm, Becher, Traube, Reifen, Karton und Mauer. Ergänzt wurde die Liste durch die Distractors: Fahne, Küste, Zweig, Weste, Blüte, Biene und Tasche. Im Anschluss an jeden der drei Durchgänge sollten die Probanden die Wörter aufschreiben, die sie sich gemerkt hatten. Die Durchführung beanspruchte ungefähr 5 Minuten.

2.3.3 Subtest „Gleiche Wortbedeutung“ des WIT-2

Der Untertest „Gleiche Wortbedeutung“ des Wilde-Intelligenz-Testes 2 (WIT-2) (Kersting, Althoff & Jäger, 2008) diente zur Erfassung des verbalen Langzeitgedächtnisses. Den Probanden wurden 20 Wörter vorgegeben und für jedes einzelne Wort sollten die Probanden aus einem von fünf weiteren Wörtern, dasjenige auswählen, welches in der Bedeutung am ähnlichsten ist. Beispiel: Für das Wort „Kopf“ standen die Wörter „Haar“, „Haupt“, „Körper“, „Mensch“ und „Hut“ zur Auswahl. Diese Aufgabe war selbstständig und schriftlich zu bearbeiten und beanspruchte ungefähr 5 Minuten.

2.3.4 Continuous Recognition Memory-Task (CRMT)

Sinn dieser Aufgabe war es, dass verbale Arbeitsgedächtnis während der EEG-Ableitung zu überprüfen. Hierbei handelt es sich um ein Rekognitionsparadigma, was bedeutet, dass die Probanden Wörter wiedererkennen mussten, die ihnen kurz zuvor gezeigt worden sind. Diese Aufgabe ist adaptiert nach Papanicolaou et al. (2004) und basiert auf dem von Sternberg formulierten Paradigma (1966). Die Aufgabe wurde am Computer vorgegeben. Zunächst wurden in einer Lernphase die zu merkenden Wörter präsentiert. Es handelte sich dabei um die Substantive: Gedanke, Vorteil, Beweis, Freiheit und Meinung. Diese Phase dauerte 20 Sekunden.

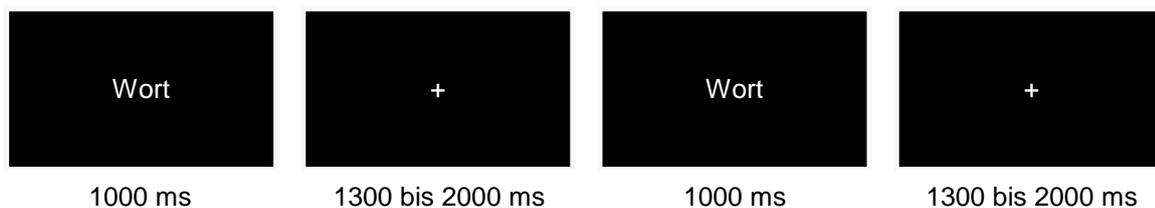


Abbildung 4. Präsentation der Stimuli und ihrer Dauer.

Die zu lernenden Wörter werden als Targets und die Wörter, die nicht in der Lernphase präsentiert wurden, werden als Distractors bezeichnet. Im Anschluss an die Lernphase startete die Testphase. Während dieser Phase wurden zufällig die Wörter präsentiert, wobei die Testpersonen entscheiden mussten, ob es sich um ein Target bzw. um

einen Distractor handelte. Mittels Mausklick zeigten die Probanden an, dass sie ein Wort wiedererkannten (linke Maustaste) oder es sich um ein neues Wort handelte (rechte Maustaste). Neun Durchgänge absolvierten die Testpersonen insgesamt. Jedes Wort wurde eine Sekunde lang präsentiert und in der Phase zwischen den Stimuli wurde für die Dauer von 1,3 bis 2 Sekunden ein weißes Pluszeichen auf dem Monitor gezeigt (siehe Abbildung 4). Der Zweck dieser Maßnahme ist es, die Überlagerung der EEG-Ableitung durch Augenbewegungen zu reduzieren, da der Blick des Probanden wandert. Das Plus wird demnach auf Höhe des Stimulus gezeigt, um den entgegenzusteuern. Pro Durchgang wurden jeweils 5 Targets und 5 Distractors gezeigt. Nach standardisierter Instruktion erfolgte die Bearbeitung der Aufgabe. Einschließlich der Erklärung beanspruchte die Aufgabe ungefähr 10 Minuten.

2.3.5 Lexical Decision-Task (auch Pseudo-Task)

Auch bei dieser Aufgabe erhielten die Testpersonen zunächst eine standardisierte Instruktion über die Vorgehensweise. Ziel dieser Aufgabe war die Überprüfung des verbalen Langzeitgedächtnisses während der EEG-Ableitung. Es handelt sich auch hier um ein Computerverfahren. Die Testpersonen mussten ähnlich wie beim CRMT eine Entscheidung treffen, allerdings bestand dabei die Wahl zwischen Wörtern, die existieren und Wörtern, die erfunden waren. Jeweils 48 Wörter wurden pro Kategorie vorgegeben. Auch hier wurden die Wörter in einer beliebigen Reihenfolge präsentiert. Die Vorgabe erfolgte wie beim CRMT (siehe Abbildung 4). Nach einer Probephase, in der kontrolliert wurde, ob die Testpersonen die Instruktion verstanden hatten, folgte die Testphase. Die Wörter wurden für eine Sekunde gezeigt, in der die Probanden mittels Mausklick angeben mussten, ob es sich um reales Wort (linke Maustaste) oder ob es sich um ein erfundenes Wort handelte. Zwischen den Wörtern wurde wieder auf derselben Position wie die Wörter für 1,3 bis 2 Sekunden ein Pluszeichen gezeigt, um auch hier die Augenbewegungen zu minimieren. Darüber hinaus wurden die Probanden gebeten (wie auch beim CRMT) nur bei dem Pluszeichen zu blinzeln. Die Wörter beider Kategorien waren 4 bis 6 Buchstaben lang. Auch diese Aufgabe dauerte mit Instruktion und Durchführung ungefähr 10 Minuten.

2.4 Untersuchungsgeräte

Zur Aufzeichnung der Gehirnwellen wurde eine „BrainCap Fast’n Easy 64 channel recording cap“ von der BrainProducts GmbH verwendet. Die Haube lag in drei unterschiedlichen Größenausführungen vor (54 cm, 56 cm und 58 cm) und wurde entsprechend den Kopfmaßen ausgewählt. Anschließend wurde der Abstand zwischen Nasion und Inion sowie zwischen den beiden präaurikulären Punkten gemessen, um die Cz (siehe Abbildung 5) mittig zu beiden Abständen auszurichten. Damit die Haube nicht verrutscht, wurde sie mittels eines Bandes, das am Unterkiefer entlangführte, fixiert. Die Ringelektroden bestehen aus einer Silber/Silberchlor-Verbindung. Die Elektrodenplatzierung basiert auf dem internationalen 10-20 System (siehe Abbildung 5.). Über beide Hemisphären sind die Elektroden gleichmäßig verteilt, wobei die FCz die Referenzelektrode darstellt. Drei der Elektroden EO und die zwei EKG werden um die Augen platziert, um die Artefakte, die durch Augenbewegungen entstehen, zu kontrollieren bzw. später leichter zu erkennen, um sie aus der Aufzeichnung zu entfernen. Nach Fixieren und Ausrichten der Haube wurde die Kopfhaut unter den Elektroden mit der alkoholischen Lösung Isozid-H von GebroPharma gereinigt, dafür wurde die Lösung auf ein Wattestäbchen aufgetragen. Darüber hinaus wurden dabei die Haare unter den Elektroden zur Seite geschoben. Anschließend wurde unter die Elektroden die Paste Abralyt2000 der EasyCap GmbH aufgetragen, um den Leitwiderstand zwischen Kopfhaut und Elektrode zu minimieren. Aufgezeichnet wurden die Gehirnströme mit dem BrainVision Recorder 1.20. Die Abtastrate für das EEG-Signal betrug 1000 Hz und wurde mittels Bandpass-Filter auf 0,016 Hz bis 200 Hz gefiltert. Die aufgezeichneten Daten wurden als Rohdaten gespeichert und im Anschluss mit dem BrainVision Analyzer V. 2.0.2 analysiert und bearbeitet.

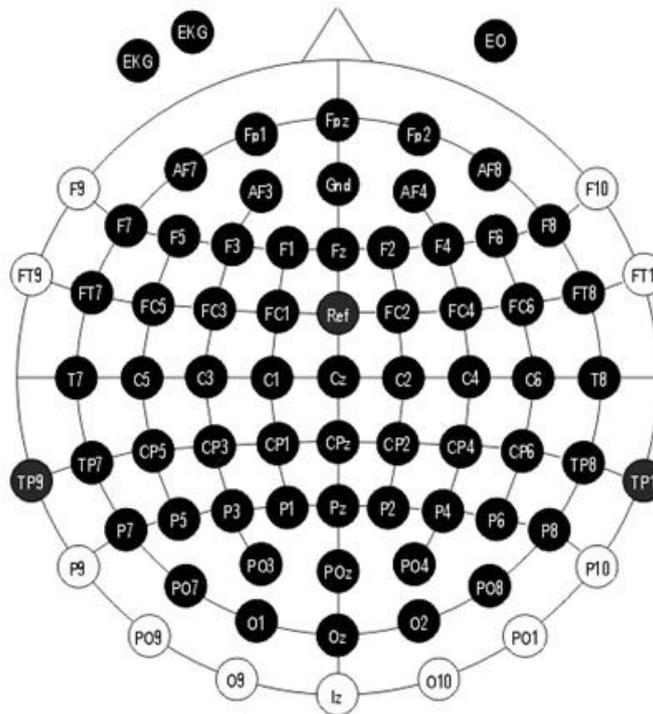


Abbildung 5. Lagebeziehung der Elektroden zueinander (Brain Products GmbH, Online unter: „http://www.brainproducts.com/downloads.php?kid=4&tab=2#dlukat_90“, [Stand: 28.12.2015]). Die Hauben sind um die weißen Elektroden erweiterbar. Aufgezeichnet wurden nur die Daten der schwarzmarkierten Elektroden. Die Bezeichnung der Elektroden ergibt sich aus der Lage über dem jeweiligen Kortexareal und dessen Bezeichnung. Frontopolar (Fp), Anteriorfrontal (Af), Frontal (F), Zentral (C), Parietal (P), Temporal (T) und Okzipital (O). Die Bezifferung der Elektroden erfolgt von der zentralen Linie zwischen Nasion und Inion links und rechts weg, wobei die Elektroden mit den ungeraden Ziffern die Gehirnströme der linken Hemisphäre aufzeichnen und die Elektroden mit den geraden Ziffern die Gehirnströme der rechten Hemisphäre registrieren.

2.5 Untersuchungsdurchführung

Im Rahmen der Studie zur Evaluierung der Sprachlateralisation mittels hochauflösendem Oberflächen-EEG von Frau Dr. Trimmel wirkten mit Marlene Weberberger, Judith Ifkovits, Felicitas Huber und Jens Sachsenweger vier weitere Studenten neben mir mit. Die hier verwendeten Daten, entstammen dieser Studie.

Die Untersuchungen fanden im EEG-Labor der Universitätsklinik für Neurologie, Medizinische Universität Wien statt. Das EEG-Labor ist ein kleiner fensterloser Raum. Während der Durchführung der Untersuchung wurden die Probanden zur Zeit des EEG

videoüberwacht, um mögliche störende Verhaltensweisen für die EEG-Aufzeichnung und Probleme der Testpersonen zu erkennen.

Der Ablauf der Untersuchung erfolgte immer analog, um mögliche Testleitereffekte zu minimieren. Zunächst wurden die Probanden begrüßt und über den Ablauf der Studie informiert. Ihnen wurden eine Zustimmungserklärung zur Unterzeichnung und Informationen über Sinn und Zweck der Studie vorgelegt. Anschließend folgte der soziodemographische Fragebogen. Darüber hinaus wurde die Händigkeit der Testpersonen erhoben mit dem Edinburgh Handedness Inventory (in deutscher Übersetzung). Zur Sicherstellung eines Mindestmaßes an Sprachverständnis der Probanden wurde ihnen ein Sprachverständnistest vorgegeben, um unter Umständen den Datensatz unberücksichtigt zu lassen (was allerdings in keinem Fall nötig war). Des Weiteren wurden den Testpersonen zwei weitere Papier-Bleistift-Verfahren vorgegeben. Zunächst der Untertest „Verbales Arbeitsgedächtnis“ des IGD (Inventar zur Gedächtnisdiagnostik) und anschließend der Subtest „Gleiche Wortbedeutung“ des WIT-2 (Wilde-Intelligenz-Test 2). Weitere Verfahren wurden während der EEG-Aufzeichnung vorgegeben. Nach Vermessung des Schädels der Probanden, um die optimale Größe der EEG-Haube zu eruieren, wurde ihnen die Haube angelegt. Während der Gehirnwellenableitung gaben wir den Probanden drei EEG-Paradigmen vor. Die Probanden bearbeiteten einen Recognition-Task, einen Reim-Erkennungs-Task und einen Pseudowort-Task. Vor jedem Task erhielten die Testpersonen eine standardisierte Instruktion. Bei der Bearbeitung der EEG-Aufgaben befanden sich die Testpersonen allein im Raum, konnten aber jederzeit einen der Testleiter kontaktieren, da diese im Nebenraum die EEG-Aufzeichnung kontrollierten und am Monitor das Verhalten der Probanden verfolgten. Nach 90 bis maximal 120 Minuten war die Testung vorbei. Die Abweichungen in der Dauer ergaben sich in erster Linie aus dem Anlegen der EEG-Haube, da vor jeder Aufzeichnung sichergestellt werden muss, dass alle Elektroden möglichst gut leiten, was beispielsweise durch die unterschiedliche Kopfbehaarung der Probanden und dem tagesabhängigen Fingerspitzengefühl der Versuchsleiter variieren konnte. Nachdem eventuell noch offene Fragen geklärt wurden, wurde die Testperson verabschiedet.

2.6 Statistische Hypothesen

1. Die Theta-Aktivität ist im Bereich 1000 bis 0 ms vor den Stimuli (im Segment „Prä“) bei den Kontrollpersonen höher.
2. Die Gamma-Aktivität ist im Bereich 0 bis 1000 ms nach den Stimuli (im Segment „Post“) bei den Kontrollpersonen höher.
3. Es zeigt sich um die Stimuli im Bereich -1000 bis 2000 ms (in den Segmenten „Prä“, „Post“ und „PostPost“) eine höhere High-Gamma-Aktivität bei den Kontrollpersonen.
4. Die Segmente S1 weisen eine höhere Frequenzaktivität auf als die S2 Segmente.

2.7 Statistische Auswertung

Die mittels BrainVision Recorder 1.20. aufgezeichneten Daten wurden mit dem BrainVision Analyzer V. 2.0.2 für die spätere statistische Analyse bearbeitet. Zunächst wurden die EEG-Aufzeichnungen für jeden Task und für jeden Probanden einzeln kontrolliert. Es wurde als erstes darauf geachtet, ob während der Aufzeichnung Fehler aufgetreten sind (beispielsweise ob auch die Marker, die durch die Mausclicks entstanden, mit aufgezeichnet wurden) und ob der Datensatz vollständig ist (für den Fall, dass beispielsweise die Epilepsiepatienten die Testung aus gesundheitlichen Gründen oder aufgrund schwindender Konzentration hätten abbrechen müssen). Alle Datensätze konnten für die weitere Analyse verwendet werden. Die EEG-Daten wurden noch auf ein Spektrum von 0,1 Hz bis 200 Hz gefiltert.

Der erste Schritt der Bearbeitung ist die Inspektion der Rohdaten auf Artefakte und deren Markierung, damit diese in der späteren Auswertung nicht berücksichtigt werden. Artefakte sind Einflüsse der Ableitung, die nicht auf die Gehirnströme zurückzuführen sind, wie zum Beispiel Blinzeln und Augenbewegungen. Manuell wurden die Artefakte bis zu einer Sekunde vor dem Stimulus und bis zu zwei Sekunden nach dem Stimulus entfernt. Nachdem die Daten von Störungen bereinigt waren, wurden die Marker (Bezeichnung der Stimuli und der Mausclicks in der EEG-Aufzeichnung) umetikettiert, um lediglich Stimuli zu berücksichtigen, die von den Probanden richtig erinnert bzw. erkannt wurden. Die

Aufschlüsselung sah folgendermaßen aus: Ein richtig erinnertes oder erkanntes Wort wurde mit „S1“ kodiert und ein als richtig identifiziertes neues oder unbekanntes Wort wurde mit „S2“ kodiert. Ein nicht erkanntes Wort, das zu erinnern oder bekannt war, wurde mit „SY“ kodiert und ein als richtig erkanntes Wort, obwohl es neu beziehungsweise unbekannt war, wurde mit „SZ“ kodiert. Um zu untersuchen, ob sich die Frequenzaktivität bei Gedächtnisprozessen beider Gruppen tatsächlich unterscheiden, wurden nur Marker, die mit „S1“ und „S2“ kodiert sind, einbezogen. Des Weiteren wurden für diese Arbeit drei Intervalle untersucht (1. Intervall: -1000 bis 0 ms; 2. Intervall: 0 bis 1000 ms; 3. Intervall: 1000 bis 2000 ms). Die Zeit der Intervalle bezieht sich immer auf den Stimulus (S1 und S2).

Im Anschluss wurde die Frequenzanalyse durchgeführt. Eine EEG-Aufzeichnung setzt sich aus mehreren Frequenzkomponenten zusammen, die man mit dem bloßen Auge nicht differenzieren kann. Um diese sichtbar zu machen, transformiert die Frequenzanalyse das Frequenzgemisch des EEG in seine Frequenzanteile (siehe Abbildung 6). Dabei wird das EEG vom Zeitbereich in den Frequenzbereich überführt.

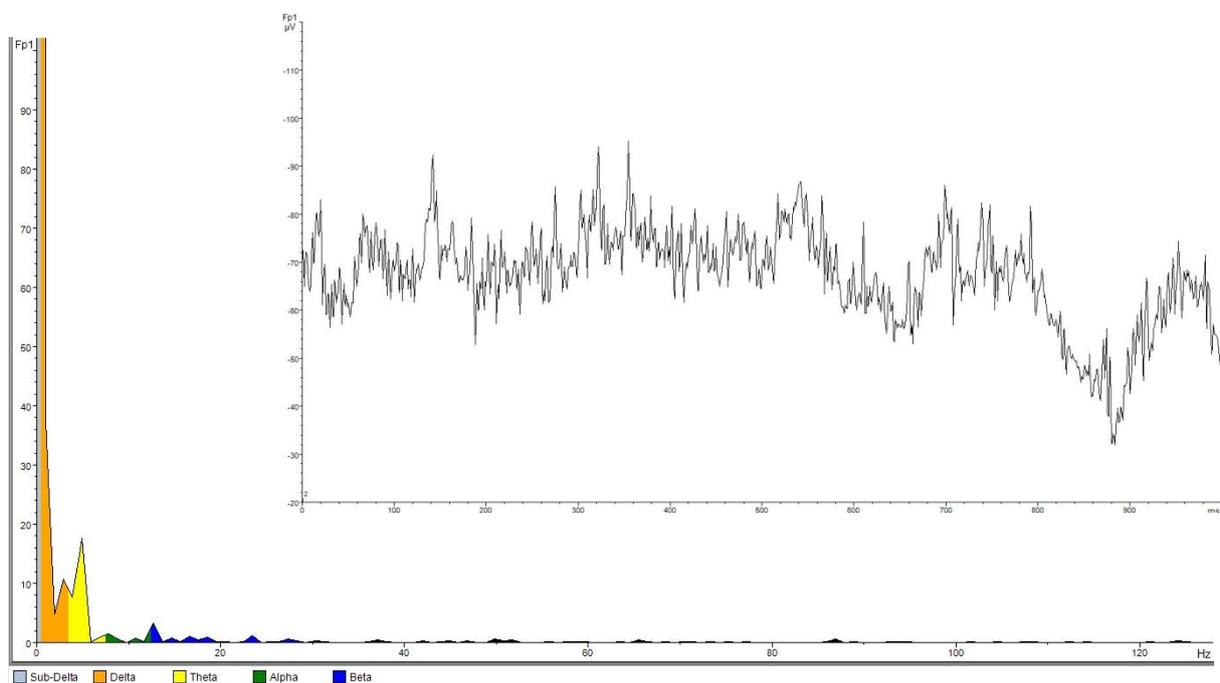


Abbildung 6. Beispiel für eine Fast Fourier Transformation anhand der FP1-Elektrode für das Segment 0 bis 1000 ms für den Stimulus S2. Oben: EEG-Ableitung. Unten: Frequenzbereich.

Zschocke und Hansen (2012) erklären die Frequenzanalyse folgendermaßen:

Das ausgewählte EEG-Segment (EEG-Epoche) wird zunächst mit einer Sinuswelle der gleichen Länge (G) verglichen und dann mit den einzelnen harmonischen Oberwellen (H). Diese Korrelationsrechnung muss 2-mal durchgeführt werden, nämlich ein zweites Mal mit der Kosinusfunktion der harmonischen Wellen. Aus der Summe der Sinus- und Kosinusfunktionen ergibt sich – vereinfacht erläutert – die Information über die Amplitude, mit der die harmonischen Komponenten in dem EEG-Abschnitt enthalten sind, und weitere Berechnungen aus beiden ergeben die Phasenlage dieser Wellenkomponenten. Man erhält also stets zwei Spektren (ein Amplitudenspektrum und ein Phasenspektrum), die man auch getrennt weiterverarbeiten kann. Im weiteren Ablauf der Spektralanalyse werden beide Teilspektren (Amplitude und Phase) miteinander verrechnet Das Ergebnis ist das Leistungsspektrum („power spectrum“) des EEG, wie wir es im Regelfall als Ergebnis der Spektralanalyse erhalten. (S. 447 – 448)

Nach Zschocke und Hansen (2012) gelten im Speziellen die Regeln der Diskreten Fourier Transformation (DFT) bei der Frequenzanalyse einer digitalen EEG-Aufzeichnung. Da wir es bei der digitalen Aufzeichnung mit Abtastwerten zu tun haben und nicht wirklich ein durchgängiges Signal erhalten, liegt das Signal in zeitdiskreter Form vor und „die DFT liefert das Spektrum eines Signals, das durch periodische Fortsetzung dieses Signalausschnittes entstanden ist“ (Hoffman, 2011, S. 44). Zur Berechnung der Frequenzanteile wurde in dieser Studie der Algorithmus der Fast Fourier Transformation (FFT) verwendet.

Für die FFT Analyse wurde die maximale Auflösung verwendet. Die Auflösung ergibt sich aus dem Quotienten von Abtastrate und Segmentlänge und betrug 0,488 Hz. Als Output der Analyse wurde die Leistung (Power [μV^2]) gewählt. Darüber hinaus wurde das ganze Spektrum des Datensatzes für die Analyse herangezogen, was zum einen dem Leistungsoutput Rechnung trägt, da bei dieser Einstellung beide Hälften des Spektrums zu einer Verdoppelung der Spektrallinienwerte führen und zum anderen weil die Leistungsspektren dem Parseval-Theorem gehorchen. Dies bedeutet, dass die Energie im Zeitbereich, dem der im Frequenzbereich entspricht (Hoffmann, 2011). Anders ausgedrückt, könnte man auch sagen, dass es zu keinem Informationsverlust kommt. Damit die FFT-Daten auch vergleichbar sind, wurden sie in einem Bereich von 0,5 bis 200 Hz normalisiert, somit

wird die relative Verteilung der einzelnen Frequenzkomponenten wiedergegeben. Werte unter 0,5 Hz werden ausgeschlossen, da davon auszugehen ist, dass es sich hier nicht um kortikale Ableitungen handelt und diese stark zwischen den Segmenten variieren.

Die Segmentierung führt zu einem Problem, welches mittels Fensterfunktion minimiert werden kann. Denn bei der FFT wird das Segment so verrechnet, als wäre es ein periodisches Signal, was an den Segmentgrenzen zu Artefakten führt. Die Fensterfunktion dämpft die Artefakte ein. Für die Daten wurde das Hanning-Fenster verwendet und die Fensterlänge auf 10 Prozent festgelegt. Am Ende entstanden pro Probanden zwölf Datensätze, die einer Frequenzanalyse unterzogen wurden. Die Datensätze ergaben sich aus den zwei Tasks, den zwei Stimuli und den drei Zeitpunkten. Beim Exportieren der analysierten Daten werden diese in die einzelnen Frequenzen aufgeteilt und in deren mittlerer Aktivität ausgegeben (μV). Festgelegt wurden die Frequenzen folgendermaßen:

- **Delta-Frequenz** **0,5 bis 4 Hz**
- **Theta-Frequenz** **4 bis 8 Hz**
- **Alpha-Frequenz** **8 bis 13 Hz**
- **Beta-Frequenz** **13 bis 30 Hz**
- **Gamma-Frequenz** **30 bis 100 Hz**
- **High-Gamma-Frequenz** **100 bis 200 Hz**

Im Anschluss wurden diese Daten mit SPSS (Version 16) statistisch ausgewertet. Durchgeführt wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung. Zum einen werden die Effekte über alle Elektroden berechnet und im speziellen noch für bestimmte Bereiche (Region of Interest – ROI). Nyhus und Curran (2010) betonen in ihrer Review die Wichtigkeit des frontalen und temporalen Kortex für Gedächtnisprozesse. So spielen für die Enkodierung und den Abruf im Besonderen der dorsolaterale präfrontale Kortex und der Hippocampus eine Rolle. In dieser Arbeit werden, abgeleitet von den Studien von Weidemann, Mollison und Kahana (2009) und Long, Burke und Kahana (2014), folgende ROI genauer betrachtet: Der dorsolaterale Präfrontalkortex entspricht der EEG-Region anterior superior (mit den Elektroden F1, F3, FC1 und FC3 (linke Hemisphäre) und F2, F4, FC2 und FC4 (rechte Hemisphäre)) und der inferiore Temporalkortex entspricht der EEG-Region posterior inferior (mit den Elektroden TP7, P7 und PO7 (linke Hemisphäre) und TP8, P8 und PO8 (rechte Hemisphäre)).

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

Abbildung 7. ist eines von 72 Diagrammen, welche die Mittelwerte und die Konfidenzintervalle für die einzelnen Elektroden angeben. Dabei werden die Werte der einzelnen Elektroden näher für beide Gruppen für die beiden Tasks (CRMT und Pseudo-Task), zu den drei Zeitpunkten (Prä, Post und PostPost), für die zwei Stimuli (CRMT: Memory Set und Neuer; Pseudo-Task: Wort und Pseudo-Wort) und die sechs Frequenzen (Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma und High-Gamma) dargestellt. Anhand von Abbildung 7. soll die Tendenz verdeutlicht werden, dass die Frequenzaktivität der Versuchspersonen geringer ausfielen. Alle Diagramme (Abbildung 8. bis 43.) zur deskriptiven Statistik befinden sich vollständig im Anhang.

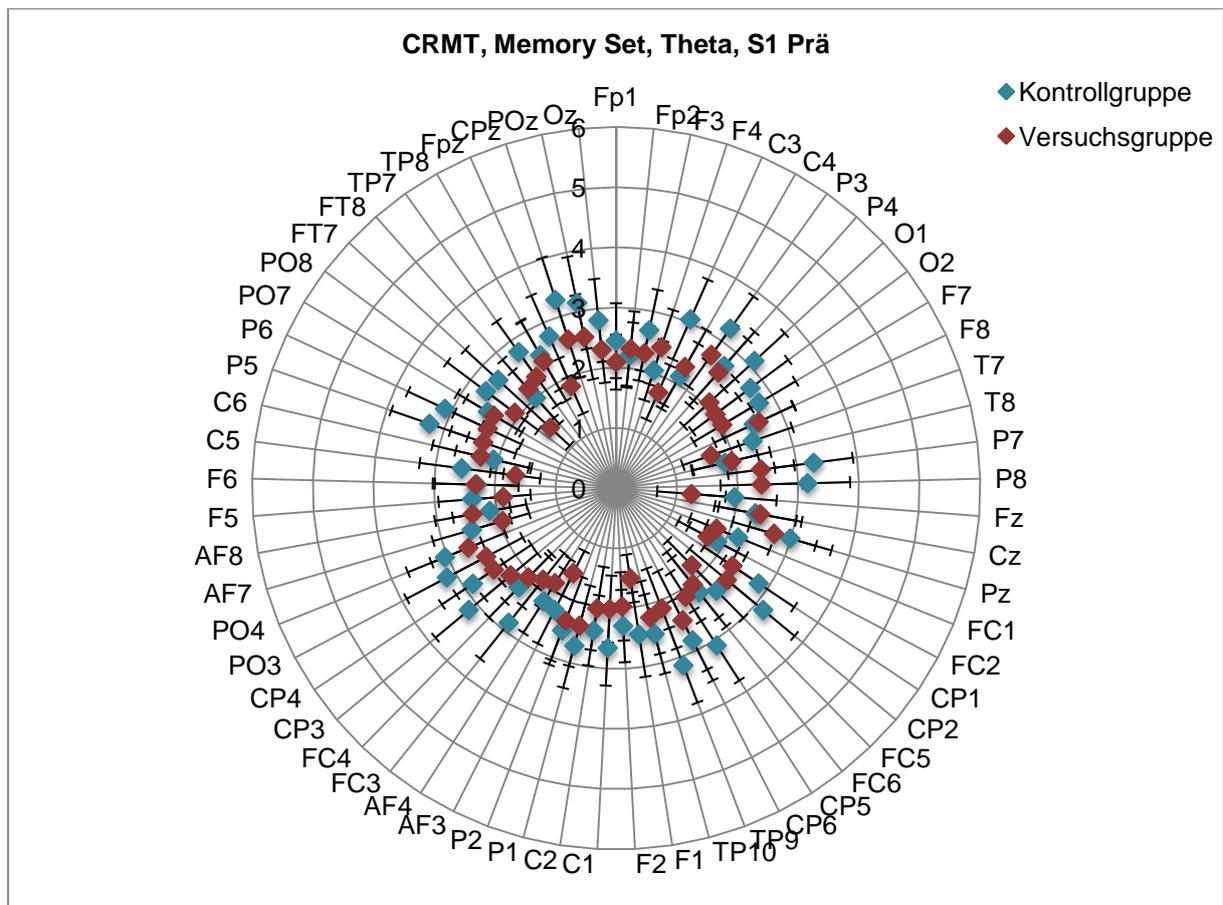


Abbildung 7. Mittelwerte und Konfidenzintervalle für die einzelnen Elektroden. Werte sind in μV angegeben.

3.2 Hypothesenprüfende Untersuchungen

3.2.1 Ergebnisse zur Gedächtnisleistung

Um zu evaluieren, ob sich die Gedächtnisleistung zwischen den Gruppen unterscheidet, wurden die Untertests „Verbales Arbeitsgedächtnis“ des IGD und „Gleiche Wortbedeutung“ des WIT-2 vorgegeben. Für die Auswertung wurde für beide Tests ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt.

Zur Überprüfung des verbalen Arbeitsgedächtnisses wurde der Subtest „Verbales Arbeitsgedächtnis“ vorgegeben. Die Voraussetzung für die Verwendung des t-Tests für abhängige Stichproben (Werte besitzen Intervallskalenniveau und Differenzwerte sind normalverteilt mit $p = .145$) waren gegeben. Die Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied mit $t(33) = -4.108$, $p = .000$. Wobei die Kontrollgruppe (MW = 17.44 und SD = 2.48) eine bessere Leistung erzielte als die Epilepsiepatienten (MW = 14.26 und SD = 3.52).

Zur Erhebung der Leistung bezüglich des Langzeitgedächtnisses wurde der Subtest „Gleiche Wortbedeutung“ vorgegeben. Die Voraussetzungen für die Verwendung des t-Tests für abhängige Stichproben (Werte besitzen Intervallskalenniveau und Differenzwerte sind normalverteilt mit $p = .05$) waren bei dem Verfahren ebenfalls gegeben. Die Auswertung zeigte einen signifikanten Unterschied mit $t(33) = -4.766$, $p = .000$. Die Kontrollgruppe (MW = 15.27 und SD = 3.82) zeigte dabei eine bessere Leistung als die Epilepsiepatienten (MW = 9.82 und SD = 4.36).

3.2.2 Ergebnisse zur Frequenzanalyse

Obwohl die Voraussetzungen für eine MANOVA verletzt sind und wir keine Normalverteilung in den Daten haben und die beobachteten Werte nicht unabhängig voneinander sind, wurde das Verfahren angewendet, um signifikante Haupteffekte und Wechselwirkungen zu überprüfen. Da in Folge mehrere ANOVAs mit Messwiederholung durchgeführt wurden, kann bei der Durchführung der MANOVA der kumulierte Alpha-Fehler vermieden werden und hat somit keinen Einfluss auf die Ergebnisse.

Es wurden signifikante Haupteffekte der Frequenz mit $F(305) = 18.473$, $p = .000$ und für die Versuchsgruppen mit $F(61) = 3.927$, $p = .000$ gefunden. Darüber hinaus ergaben sich signifikante Wechselwirkungen zwischen Frequenz und Segment mit $F(1220) = 1.361$, $p = .000$ und zwischen Frequenz und Versuchsgruppe mit $F(305) = 2.909$, $p = .000$. Für eine genauere Betrachtung wurden mehrere ANOVAs mit Messwiederholung durchgeführt.

Zunächst werden in Tabelle 3. alle signifikanten Ergebnisse dargestellt. Die vollständige Ergebnisdarstellung befindet sich im Anhang.

Tabelle 3. Übersicht der signifikanten Ergebnisse.

Aspekt	Verweis	Task	Segment	Frequenz	p-Wert	Korrektur
Alle Elektroden	Tab. 11	Pseudo	S2 Post	Theta	.033	GG
	Tab. 13	Pseudo	S2 Post	Beta	.022	GG
	Tab. 14	Pseudo	S1 Prä	Gamma	.049	GG
	Tab. 14	Pseudo	S1 Post	Gamma	.047	GG
DLPFC rechts	Tab. 34	Pseudo	S2 Prä	Delta	.028	HF
	Tab. 35	Pseudo	S2 Prä	Theta	.044	HF
	Tab. 36	Pseudo	S2 Post	Alpha	.024	GG
	Tab. 38	Pseudo	S1 Post	Gamma	.033	HF
	Tab. 38	Pseudo	S2 Prä	Gamma	.007	HF
ITC links	Tab. 45	CRMT	S1 PostPost	High-Gamma	.042	GG
	Tab. 49	Pseudo	S2 Prä	Beta	.049	HF
	Tab. 50	Pseudo	S1 Post	Gamma	.022	HF
ITC rechts	Tab. 58	Pseudo	S2 PostPost	Delta	.049	HF
	Tab. 60	Pseudo	S1 Post	Alpha	.035	HF
	Tab. 60	Pseudo	S2 Post	Alpha	.011	HF
Vergleich Segmente	Tab. 64	Pseudo	S1	Beta	.001	GG
	Tab. 65	Pseudo	S2	Theta	.020	GG
	Tab. 65	Pseudo	S1	Beta	.026	GG

Anmerkung: GG = Greenhouse-Geisser, HF = Huynh-Feldt.

Für alle Testwerte war der Mauchly-Test auf Sphärizität signifikant $\alpha < .05$. Aus diesem Grund werden die korrigierten Werte nach Greenhouse-Geisser und Huynh-Feldt wiedergegeben. Die Entscheidung, welcher korrigierte Wert herangezogen wurde, basiert auf Ausführungen von Field (2009). Bei $\epsilon > 0.75$ nach Greenhouse-Geisser wird die Huynh-Feldt Korrektur verwendet. Bei $\epsilon < 0.75$ nach Greenhouse-Geisser wird die gleichnamige Korrektur verwendet.

3.2.3 Ergebnisse für die Theta-Aktivität

Über alle Elektroden fand sich beim CRMT im Frequenzbereich der Theta-Aktivität kein Effekt (Tabelle 5.) (weder vor noch nach dem Stimulus). Beim Lexical Decision-Task hingegen in Tabelle 11. fand sich ein Effekt nach dem Stimulus (Post) „Nicht Wort“ mit $F(7.51, 442.98) = 2.163$, $p = .033$ über alle Elektroden. Für die ROI DLPFC links zeigte sich weder im CRMT (Tabelle 17.) noch im Pseudo-Task (Tabelle 23.) ein signifikanter Effekt. Für die ROI DLPFC rechts zeigte sich im CRMT kein Effekt (Tabelle 29.) allerdings für den Pseudo-Task vor dem Stimulus „Nicht Wort“ (Prä) mit $F(2.38, 161.77) = 2.985$, $p = .044$ (Tabelle 35.). Es zeigte sich auch kein Effekt für die Region ITC links in beiden Tasks (Tabellen 41. und 47.). Ebenfalls keine Effekte zeigten sich in beiden Aufgaben bei der ROI ITC rechts (Tabellen 53. und 59.).

In Bezug auf die Hypothese zeigte sich also lediglich einmal ein signifikanter Unterschied in der Theta-Aktivität vor dem Stimulus („Nicht Wort“) und zwar im rechten dorsolateralen präfrontalen Bereich während der Bearbeitung des Pseudo-Task.

3.2.4 Ergebnisse für die Gamma-Aktivität

Während beim CRMT im Gamma-Bereich über alle Elektroden keine signifikanten Ergebnisse auftreten (Tabelle 8.), zeigen sich Effekte im Pseudo-Task. So sind die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in den beiden Segmenten um den Stimulus „Wort“ signifikant (Tabelle 14.). Das Segment „S1 Prä“ ist signifikant mit $F(11.52, 679.68) = 1.789$, $p = .049$ und das Segment „S1 Post“ mit $F(12.12, 715.08) = 1.780$, $p = .047$. Für die DLPFC-Region zeigen sich auf der linken Seite in beiden Tasks keine signifikanten Ergebnisse (Tabelle 20. und Tabelle 26.). Während beim CRMT auf der rechten Seite ebenfalls kein signifikanter Effekt auftritt (Tabelle 32.) zeigen sich im Pseudo-Task zwei Effekte in der Region DLPFC rechts (Tabelle 38.). So ist das Ergebnis für den Stimulus „Wort“ im Segment S1 Post signifikant mit $F(2.77, 188.09) = 3.070$, $p = .033$ und für den Stimulus „Nicht Wort“ im Segment S2 Prä mit $F(2.70, 183.60) = 4.395$, $p = .007$. Beim CRMT für die linke ITC-Region findet sich kein signifikanter Effekt (Tabelle 44). Es zeigt sich aber auch hier im Pseudo-Task ein signifikantes Ergebnis für die ausgewählten Elektroden. So fällt das Ergebnis für das Segment S1 Post für den Stimulus „Wort“

signifikant aus mit $F(1.75, 108.25) = 4.162$, $p = .022$ (Tabelle 50.). Auf der rechten Seite der ITC-Region finden sich in beiden Tasks keine signifikanten Ergebnisse (Tabelle 56. und Tabelle 62.).

In Bezug auf die Hypothese lässt sich zusammenfassen, dass sich dreimal ein Effekt im Gamma-Bereich nach dem Stimulus „Wort“ bei der Bearbeitung des Pseudo-Tasks zeigt. Einmal über alle Elektroden betrachtet, dann für den rechten Bereich des dorsolateralen Präfrontalkortex und den linken inferioren Temporalkortex bestätigt sich diese.

3.2.5 Ergebnisse für die High-Gamma-Aktivität

Für die Bearbeitung der beiden Tasks konnten bei der Betrachtung über alle Elektroden keine signifikanten Effekte gefunden werden (Tabelle 9. und Tabelle 15.). Auch zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse für den dorsolateralen präfrontalen Bereich in beiden Hemisphären während der Bearbeitung beider Tasks (Tabelle 21., Tabelle 27., Tabelle 33. und Tabelle 39.). Der inferiore Temporalkortex wies einen signifikanten Wert für die linke Hemisphäre auf. Während der Bearbeitung des CRMTs ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen für den Stimulus „Memory“ im Segment S1 PostPost mit $F(1.27, 78.41) = 3.908$, $p = .042$ (Tabelle 45.). Bei der Bearbeitung des Pseudo-Tasks hingegen, waren die Unterschiede in den Gruppen für den kortikalen Bereich nicht signifikant (Tabelle 51.). Im Bereich des rechten inferioren Temporallappens konnten keine signifikanten Effekte gezeigt werden unabhängig für welchen Task (Tabelle 57. und Tabelle 63.).

In Bezug auf die Hypothese lässt sich zusammenfassen, dass sich ein signifikanter Unterschied im höheren Frequenzbereich zeigt. Lediglich im linken inferioren Temporalkortex für den CRMT im Segment S1 PostPost für den „Memory“-Stimulus.

3.2.6 Vergleich der Stimuli

In Tabelle 66. sind die Ergebnisse wiedergegeben. Es zeigt sich, dass es keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Stimuli gibt unabhängig vom Task und der Frequenz.

3.2.7 Weitere signifikante Ergebnisse

Über alle Elektroden zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Effekt im Beta-Bereich bei der Bearbeitung des Pseudo-Tasks für das Segment S2 Post und den Stimulus „Nicht Wort“ mit $F(9.78, 577.02) = 2.124$, $p = .022$ (Tabelle 13.).

Für die Region des rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex zeigen sich noch zwei signifikante Effekte während der Bearbeitung des Pseudo-Tasks. Zum einen im Delta-Bereich für das Segment S2 Prä und dem Stimulus „Nicht Wort“ mit $F(3.00, 203.83) = 3.093$, $p = .028$ (Tabelle 34.) und zum anderen im Alpha-Bereich für das Segment S2 Post und den Stimulus „Nicht Wort“ mit $F(2.17, 147.29) = 3.695$, $p = .024$ (Tabelle 36.).

Im kortikalen Bereich des linken inferioren Temporallappens gibt es für die Beta-Frequenz während der Bearbeitung des Pseudo-Tasks einen signifikanten Wert im Segment S2 Prä für den Stimulus „Nicht Wort“ mit $F(1.85, 114.45) = 3.185$, $p = .049$ (Tabelle 49). Im rechten inferioren Temporallappen zeigen sich ebenfalls signifikante Ergebnisse während der Bearbeitung des Pseudo-Tasks. So ist das Segment S2 PostPost für den Stimulus „Nicht Wort“ signifikant mit $F(1.65, 102.42) = 3.338$, $p = .049$ im Delta-Bereich (Tabelle 58.). Auch im Alpha-Bereich zeigen sich signifikante Ergebnisse. Zum einen für Segment S1 Post „Wort“ mit $F(1.62, 100.32) = 3.761$, $p = .035$ und zum anderen Segment S2 Post „Nicht Wort“ mit $F(1.9, 117.80) = 4.811$, $p = .011$ (Tabelle 60.).

Zur Überprüfung von Positionseffekten wurden auch die Segmente miteinander verglichen. So zeigte sich während der Bearbeitung des CRMT ein signifikanter Effekt für die Beta-Frequenz für den Stimulus „Memory“ mit $F(10.62, 676.14) = 2.199$, $p = .001$ (Tabelle 64.). Die anschließende Analyse nach der Bonferroni Methode ergab, dass sich S1 Prä und S1 Post signifikant voneinander unterscheiden, wobei vor dem Stimulus die höhere Aktivität ist sowie beim Vergleich S1 Post und S1 PostPost, wobei im letzteren Segment die höhere Aktivität ist. So ergibt sich folgendes Bild: Die Aktivität ist im Segment S1 am höchsten mit einem arithmetischen Mittel von $0.897 \mu\text{V}$, gefolgt vom Segment S1 PostPost mit einem arithmetischen Mittel von $0.825 \mu\text{V}$ und die niedrigste Aktivität zeigte sich kurz nach dem Stimulus mit einem arithmetischen Mittel von $0.643 \mu\text{V}$. Die Auswertung der Positionseffekte für den Pseudo-Task ergaben zwei signifikante Ergebnisse (Tabelle 65.). So zeigte sich für die Theta-Frequenz im Stimulus „Nicht Wort“ mit $F(8.58, 506.22) = 1.828$, $p = .020$. Mittels Bonferroni Methode wurde im Anschluss ermittelt, inwiefern sich die Segmente

unterscheiden. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Segmenten S2 Prä und S2 Post, wobei die Aktivität vor dem Stimulus mit einem arithmetischen Mittel von 2.595 μV am niedrigsten war, gefolgt von dem Segment S2 PostPost mit einem arithmetischen Mittel von 3.155 μV . Die höchste Aktivität zeigte sich kurz nach dem Stimulus im Segment S2 Post mit einem arithmetischen Mittel von 3.537 μV . Des Weiteren zeigte sich für die Beta-Frequenz mit dem Stimulus „Wort“ mit $F(10.38, 612.42) = 1.694$, $p = .026$ ein signifikantes Ergebnis. Dabei zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Segmenten S1 Prä und S1 Post. So ist die Aktivität vor dem Stimulus am höchsten mit einem arithmetischen Mittel von 0.937 μV , gefolgt von dem Segment S1 PostPost mit einem arithmetischen Mittel von 0.824 μV und am geringsten ist die Aktivität kurz nach dem Stimulus im Segment S1 Post mit 0.665 μV im arithmetischen Mittel.

4 Diskussion

4.1 Unterschiede in den Frequenzen

Dass die Theta-Aktivität vor dem Stimulus ein Marker dafür ist, wie gut dieser Reiz gemerkt wird, konnte in mehreren Studien bestätigt werden (Addante, Watrous, Yonelinas, Ekstrom & Ranganath, 2011 und Guderien, Schott, Richardson-Klavehn & Düzel, 2009) und dass die Gedächtnisleistung durch Epilepsie negativ beeinflusst wird, zeigten unter anderem Chiu, Lin, Chen, Chen, Chen et al. (2010). Die daraus abgeleitete Hypothese, dass Epilepsiepatienten vor dem Stimulus eine niedrigere Theta-Aktivität aufweisen, konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Zwar wurde ein signifikanter Effekt bei der Bearbeitung des Pseudo-Tasks gefunden, allerdings mit der Einschränkung, dass es sich um den Stimulus „Nicht Wort“ handelt; dementsprechend ist dieses Ergebnis zu vernachlässigen, weil es sich nicht um eine Gedächtnisleistung handelt. Schlechtere Leistungen bei der Bearbeitung von Gedächtnisaufgaben lassen sich aufgrund der Ergebnisse dieser Studie nicht auf eine verminderte Theta-Aktivität vor dem Stimulus zurückführen.

Gruber, Watrous, Ekstrom, Ranganath und Otten (2012) konnten in ihrer Studie einen Zusammenhang zwischen Erwartungshaltung und Theta-Aktivität herstellen. So ließ sich bei

Reizen, bei denen die Motivation niedrig war, die Theta-Aktivität nicht zur Vorhersage heranziehen, wie gut die Stimuli gemerkt worden sind. In Bezug auf unsere Studie lässt sich vermuten, dass die Motivation der Probanden nicht sehr hoch gewesen sein dürfte. Sie erhielten für die Teilnahme keine Entlohnung oder einen anderen Anreiz (zum Beispiel in Form eines Wettbewerbscharakters), um ihre Anstrengung zu erhöhen.

Darüber hinaus lässt der Schwierigkeitsgrad der beiden Aufgaben, die Frage offen, inwieweit schon Gedächtnis oder noch Aufmerksamkeit getestet wurde. Im Speziellen sei das für den CRMT angemerkt. Denn von den 18 signifikanten Ergebnissen dieser Studie entfallen lediglich zwei auf den CRMT. Eventuell war die Aufgabe, sich fünf häufig gebrauchte Wörter zu merken und diese unter anderen Wörtern zu erkennen, zu einfach, sodass es sich möglicherweise nur um eine minimale mnestiche Leistung handelt.

Unter Berücksichtigung des Konzeptes LOP von Craik und Lockhart (1972) lässt sich auch für beide Aufgaben feststellen, dass es sich um eine oberflächliche Verarbeitung handelte, da die Probanden die Wörter lediglich wiedererkennen mussten und dies mittels eines Mausklicks anzeigten. Mit anderen Worten: Mittels der Aufgaben wurden möglicherweise keine tieferliegenden Gedächtnisspuren untersucht.

Entgegen dem Theta-Marker vor den Stimuli, zeigten sich bei der Gamma-Frequenz mehrere Effekte, die die These bestätigen, dass Epilepsie-Patienten eine geringere Aktivität in diesem Frequenzband aufweisen. Vor allem wie erwartet in dem Segment „Post“ Stimulus. Mehrere Studien bestätigten, dass eine erhöhte Gamma-Aktivität einen Rückschluss auf die Gedächtnisleistung zulässt (Gruber, Tsivilis, Montaldi & Müller, 2004, Howard, Rizzuto, Caplan, Madsen, Lisman et al., 2003 und Sederberg, Schulze-Bonhage, Madsen, Bromfield, McCarthy et al., 2007). So zeigten sich (ausnahmslos im Lexical Decision-Task) signifikante Ergebnisse für das „Post“- Segment für den Stimulus „Wort“ über alle Elektroden hinweg und in der rechten Hemisphäre des dorsolateralen Präfrontalkortex und in der linken Hemisphäre des inferioren Temporalkortex. Die Resultate für den linken ITC decken sich mit den Ergebnissen der Studie von Long, Burk und Kahana (2014).

Burke, Long, Zaghoul, Sharan, Sperling et al. (2013) vermuten, dass die High-Gamma-Frequenz ein kognitives Aktivierungssignal ist. In dieser Studie ist nur ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen und zwar im CRMT im Segment „PostPost“ für den Stimulus „Memory“ im linken inferioren Temporalkortex

gefunden worden. Dies lässt die Vermutung zu, dass es kaum einen Unterschied in der Aktivierung bei der Bearbeitung der Aufgaben gab.

Zusammenfassend könnte man die Ergebnisse bezüglich der Frequenzen in der Studie dahingehend interpretieren, dass es weniger einen Unterschied in der Aktivierung (anhand der High-Gamma-Frequenz) und der Enkodierung (anhand der Theta-Frequenz im „Prä“-Segment) ist, der die Unterschiede in der Gedächtnisleistung hervorruft, als vielmehr der Abruf und Zugriff auf das Gedächtnis (anhand der Gamma-Frequenz im „Post“-Segment).

4.2 Unterschiede in den Segmenten und der Elektrodenauswahl

Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stimuli „Memory“ vs. „Non Memory“ und „Wort“ vs. „Nicht Wort“ gefunden, was die These stützt, dass die Aufgaben nicht schwierig genug waren und dementsprechend die Verarbeitung der Stimuli zu oberflächlich war, um Unterschiede innerhalb der Frequenzbänder zu finden. Diese Vermutung wird des Weiteren durch mangelnde signifikante Ergebnisse bezüglich der Vergleiche der Segmente „Prä“, „Post“ und „PostPost“ im Zusammenhang mit den relevanten Frequenzen Theta, Gamma und High-Gamma gestützt.

Interessanterweise zeigen sich mehr signifikante Unterschiede in der rechten Hemisphäre (fünf in der ROI des DLPFCs und drei in der ROI ITCs) als in der Linken (drei in der ROI des ITCs). Dies würde nach Markowitsch (2012) bedeuten, dass hier hauptsächlich ein Unterschied in der Verarbeitung des episodischen Gedächtnisses vorliegt. Dieses Ergebnis wiederum stützt die These der oberflächlichen Verarbeitung, wenn man das Encoding Specificity Principle von Tulving und Thomson (1973) heranzieht. Eine tiefere Verarbeitung würde eine semantische Einbettung zur Folge haben, was zum Resultat haben müsste, dass sich signifikante Unterschiede eher in der linken Hemisphäre zeigen. Denn nach Markowitsch (2012) ist das semantische Gedächtnis linkshemisphärisch gelagert.

Inwieweit es sinnvoll ist, ausgewählte Elektroden bei einer Oberflächenableitung zu analysieren, bleibt als Frage offen. Da das EEG als Messinstrument für die Gehirnaktivität auf Grund seiner zeitlichen Auflösung geschätzt wird, allerdings bekanntermaßen eine schwache räumliche Auflösung aufweist. Inwieweit nur die darunter liegenden Strukturen, die vermeintlich mit den ROIs analysiert werden sollten, aufgezeichnet wurden, bleibt fraglich.

Vor allem da die Schädeldecke die elektrischen Impulse streut. Dass sogar ein signifikanter Effekt über alle Elektroden im Pseudo-Task bei dem Stimulus „Wort“ im „Post“-Segment der Gamma-Frequenz auftritt, könnte darauf hinweisen, wie stark dieser Effekt ist, wenn man bedenkt, dass definitiv nicht alle Strukturen an den Gedächtnisprozessen beteiligt sind und die Einbeziehung aller Elektroden den Effekt aller Wahrscheinlichkeit nach dämpft.

4.3 Ausblick

Generell erscheint die Berücksichtigung der Frequenzen, aus denen sich das EEG zusammensetzt, ein möglicher Schlüssel zum besseren Verständnis kognitiver Abläufe (auch über das Gedächtnis hinaus) zu sein. Für zukünftige Untersuchungen sollten mehrere Aspekte berücksichtigt werden, die sich aus den Problemen dieser Studie, aber auch aus der Beschäftigung mit der Literatur, ergaben.

Zunächst sollte der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben berücksichtigt werden bzw. sollten zukünftige Studien, die Verarbeitungstiefe wie sie nach Craik und Lockhart (1972) schon beschrieben wurde, mit einbezogen werden. Je oberflächlicher die Verarbeitung ist, desto geringer dürfte auch die kognitive Aktivität sein, die damit einhergeht. Bezüglich der Aufgaben sollte auch die Motivation bedacht werden, während die Kontrollpersonen eine EEG-Untersuchung als aufregend empfinden könnten, könnten die Epilepsiepatienten das eher als weitere leidige Untersuchung wahrnehmen und aufgrund dessen weniger motiviert sein.

Die Probandenauswahl ist natürlich immer dadurch beschränkt, dass sie nicht zufällig erfolgen kann, da das Vorhandensein von Epilepsie die Gruppen vorgibt. Allerdings sollten im Vorfeld die zu parallelisierenden Variablen gut überlegt werden. Während Alter und Geschlecht sinnvolle Merkmale zu sein scheinen, sollten auch immer die kognitiven Fähigkeiten erhoben werden, sodass im Vorfeld nicht per se bereits ein Unterschied zwischen den Gruppen herrscht. Während die kognitiven Fähigkeiten in der Epilepsiegruppe wohl eher normalverteilt sein dürften, so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Kontrollpersonen, die wie in unserer Studie im universitären Umfeld generiert wurden, tendenziell bessere kognitive Fähigkeiten haben dürften. Sofern diese Variable nicht berücksichtigt wird, wird eine anschließende Interpretation schwierig.

Ein weiterer Aspekt ist die Ableitung anhand bestimmter Strukturen. Während es auf der einen Seite Sinn macht, sich auf bestimmte Strukturen zu beschränken, wie in unserer Studie auf den dorsolateralen Präfrontalkortex und den inferioren Temporalkortex, so sollten doch die Grenzen der Untersuchungsmethode nicht außen vor gelassen werden. Da das Oberflächen-EEG eine schwache räumliche Auflösung aufweist, bleibt es fraglich, inwieweit bei ausgewählten Elektroden nur die Aktivität der darunter liegenden Strukturen aufgezeichnet wird bzw. die Aktivität anderer Strukturen einstreut und somit die Interpretation schwierig machen. Da das Oberflächen-EEG eine sehr kostengünstige Methode ist, mit ihr auch Kontrollpersonen untersucht werden können und die Ableitung keine größere Unannehmlichkeit für die Testpersonen darstellt, bietet es auf der anderen Seite eben auch Vorteile gegenüber anderen Untersuchungsmethoden. Nichts desto trotz sollte bei dieser Methode immer die räumliche Ungenauigkeit bei der Interpretation bedacht werden.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden die Unterschiede in der Gedächtnisverarbeitung zwischen Epilepsiepatienten und Kontrollpersonen untersucht. Die Grundannahme war, dass die schlechtere Gedächtnisfähigkeit der Epilepsiepatienten vor dem Stimulus (1000 bis 0 ms) zu einer niedrigeren Theta-Aktivität (4 bis 8 Hz), nach dem Stimulus (0 bis 1000 ms) zu einer niedrigeren Gamma-Aktivität (30 bis 100 Hz) und um den Stimulus (-1000 bis 2000 ms) zu einer niedrigeren High-Gamma-Aktivität (100 bis 200 Hz), verglichen mit den Kontrollpersonen, führt. Während einer EEG-Ableitung wurden den 72 Probanden zwei Gedächtnisaufgaben vorgegeben (ein Continuous Recognition Memory-Task und ein Lexical Decision-Task). Während sich im Theta-Bereich und in der High-Gamma-Aktivität keine relevanten Effekte zeigten, so treten Effekte im Gamma-Bereich auf, die die Hypothese bestätigten. Die Resultate könnten darauf hindeuten, dass die schlechtere Gedächtnisleistung von Epilepsiepatienten nicht durch eine schlechtere Enkodierung hervorgerufen wird sondern durch einen schlechteren Abruf. Für weitere Studien ist die Levels of Processing Theorie von Craik und Lockhart (1972) zu berücksichtigen und die Ausgeglichenheit der kognitiven Fähigkeiten zwischen den Untersuchungsgruppen zu beachten.

Abstract

The recent study investigated differences in memory processes between epilepsy patients and healthy controls using electroencephalography (EEG). It was expected that poorer memory performance in epilepsy patients is indicated by less theta activity -1000 to 0 ms before stimulus processing, less gamma activity 0 up to 1000 ms after stimulus processing and less high gamma activity between -1000 to 2000 ms during stimulus processing when compared with the control group. During EEG recording the 72 subjects had to conduct two memory tasks (a continuous recognition memory-task and a lexical-decision-task). No significant differences were found with respect to theta (4 – 8 Hz) and high gamma activity (100 – 200 Hz) whereas for the gamma-activity (30 – 100 Hz) significant differences could be found. These results suggest that poorer memory performance in epilepsy patients is not based on poorer encoding but on poorer retrieval. Future studies should consider the levels of processing theory by Craik and Lockhart (1972) and a homogeneity with respect to cognitive abilities in the examined groups.

Literatur

- Addante, R. J., Watrous, A. J., Yonelinas, A. P., Ekstrom, A. D., & Ranganath, C. (2011). Prestimulus theta activity predicts correct source memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(26), 10702-10707.
- Anderson, K. L., Rajagovindan, R., Ghacibeh, G. A., Meador, K. J., & Ding, M. (2010). Theta Oscillations Mediate Interaction between Prefrontal Cortex and Medial Temporal Lobe in Human Memory. *Cerebral Cortex*, *20*, 1604-1612.
- Axmacher, N., Henseler, M. M., Jensen, O., Weinreich, I., Elger, C., & Fell, J. (2010). Cross-frequency coupling supports multi-item working memory in the human hippocampus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(7), 3228-3233.
- Baller, G., Brand, M., Kalbe, E., & Kessler, J. (2006). *IGD – Inventar zur Gedächtnisdiagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2008). *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. Berlin: Springer Spektrum.
- Berger, H. (1935). Das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Die Naturwissenschaften*, *8*, 121-124.
- Bettus, G., Wendling, F., Guye, M., Valton, L., Régis, J., Chauvel, P. et al. (2008). Enhanced EEG functional connectivity in mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Research*, *81*, 58-68.
- Buchner, A. (2012). Funktionen und Modelle des Gedächtnisses. In H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 541-551). Berlin: Springer.
- Burke, J. F., Long, N. M., Zaghoul, K. A., Sharan, A. D., Sperling, M. R., & Kahana, M. J. (2013). Human intracranial high-frequency activity maps episodic memory formation in space and time. *NeuroImage*, *85*, 834-843.

- Burke, J. F., Sharan, A. D., Sperling, M. R., Ramayya, A. G., Evans, J. J., Healy, M. K. et al. (2014). Theta and High-Frequency Activity Mark Spontaneous Recall of Episodic Memories. *The Journal of Neuroscience*, *34*(34), 11355-11365.
- Burke, J. F., Zaghoul, K. A., Jacobs, J., Williams, R. B., Sperling, M. R., Sharan, A. D. et al. (2013). Synchronous and Asynchronous Theta and Gamma Activity during Episodic Memory Formation. *The Journal of Neuroscience*, *33*(1), 292-304.
- Chiu, M.-J., Lin, C.-W., Chen, C.-C., Chen, T.-F., Chen, Y.-F., Liu, H.-M. et al. (2010). Impaired gist memory in patients with temporal lobe epilepsy and hippocampal sclerotic. *Epilepsia*, *51*(6), 1036-1042.
- Craik, F. I. M. (2002). Levels of processing: Past, present ... and future? *Memory*, *10*, 305-318.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of Processing: A Framework for Memory Research. *Journal Of Verbal Learning And Verbal Behavior*, *11*, 671-684.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of Processing and the Retention of Words in Episodic Memory. *Journal of Experimental Psychology*, *104*(3), 268-294.
- Fell, J., & Axmacher N. (2011). The role of phase synchronization in memory processes. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*, 105-118.
- Fell, J., Klaver, P., Lehnertz, K., Grunwald, T., Schaller, C., Elger, C. E. et al. (2001). Human memory formation is accompanied by rhinal-hippocampal coupling and decoupling. *Nature Neuroscience*, *4*(12), 1259-1264.
- Fellner, M.-C., Bäuml, K.-H. T., & Hanslmayr, S. (2013). Brain oscillatory subsequent memory effects differ in power and long-range synchronization between semantic and survival processing. *NeuroImage*, *79*, 361-370.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*. London: SAGE Publications Ltd.
- Friese, U., Köster, M., Hassler, U., Martens, U., Trujillo-Barreto, N., & Gruber, T. (2013). Successful memory encoding is associated with increased cross-frequency coupling between frontal theta and posterior gamma oscillations in human scalp-recorded EEG. *NeuroImage*, *66*, 642-647.

- Guderian, S., Schott, B. H., Richardson-Klavehn, A., & Düzel, E. (2009). Medial temporal theta state before an event predicts episodic success in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(13), 5365-5370.
- Gruber, M. J., Watrous, A. J., Ekstrom, A. D., Ranganath, C., & Otten, L. J. (2012). Expected reward modulates encoding-related theta activity before an event. *NeuroImage*, *64*, 68-74.
- Gruber, T., Tsivilis, D., Montaldi, D., & Müller, M. M. (2004). Induced gamma band responses: an early marker of memory encoding and retrieval. *NeuroReport*, *15*(2), 1837-1841.
- Hanslmyr, S., & Staudigl, T. (2014). How Brain oscillations form memories – A processing based perspective on oscillatory subsequent memory effects. *NeuroImage*, *85*, 648-655.
- Hoffmann, R. (2011). *Grundlagen der Frequenzanalyse. Eine Einführung für Ingenieure und Informatiker*. Renningen: expert verlag.
- Hoppe, M. (2011). Normales EEG der Erwachsenen und Kinder. In A. Ebner & G. Deuschl (Hrsg.), *EEG* (S. 42-51). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Howard, M. W., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Madsen, J. R., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe et al. (2003). Gamma Oscillations Correlate with Working Memory Load in Humans. *Cerebral Cortex*, *13*, 1369-1374.
- Jensen, O. & Tesche, C. D. (2002). Short Communication. Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*, *15*, 1395-1399.
- Jerbi, K., Ossandón, T., Hamamé, C. M., Senova, S., Dalal, S. S., Jung, J. et al. (2009). Task-Related Gamma-Band Dynamics From an Intracerebral Perspective: Review and Implications for Surface EEG and MEG. *Human Brain Mapping*, *30*, 1758-1771.
- Johnson, J. D., McDuff, S. G. R., Rugg, M. D., & Norman, K. A. (2009). Recollection, Familiarity, and Cortical Reinstatement: A Multivoxel Pattern Analysis. *Neuron*, *63*, 697-708.

- Kapur, S., Craik, F. I. M., Tulving, E., Wilson, A. A., Houle, S., & Brown, G. M. (1994). Neuroanatomical correlates of encoding in episodic memory: Levels of processing effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *91*, 2008-2011.
- Kersting, M., Althoff, K., & Jäger, A. O. (2008). *WIT-2 – Wilde-Intelligenz-Test 2*. Göttingen: Hogrefe.
- Krzovska, M. (2012). *Neurologie*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Lachaux, J.-P., Axmacher, N., Mormann, F., Halgren, E., & Crone, N. E. (2012). High-frequency neural activity and human cognition: Past, present and possible future of intracranial EEG research. *Progress in Neurobiology*, *98*, 279-301.
- Lega, B. C., Jacobs, J., & Kahana, M. (2012). Human Hippocampal Theta Oscillations and the Formation of Episodic Memories. *Hippocampus*, *22*, 748-761.
- Lisman, J. E., & Jensen, O. (2013). The Theta-Gamma Neural Code. *Neuron*, *77*, 1002-1016.
- Long, N. M., Burke, J. F., & Kahana, M. J. (2014). Subsequent memory effect in intracranial and scalp EEG. *NeuroImage*, *84*, 488-494.
- López-Frutos, J. M., Poch, C., García-Morales, I., Ruiz-Vargas, J. M., & Campo, P. (2014). Working memory retrieval differences between medial temporal lobe epilepsy patients and controls: A three layer approach. *Brain and Cognition*, *84*, 90-96.
- Mameniskiene, R., Jatuzis, D., Kaubrys, G., & Budrys, V. (2006). The decay of memory between delayed and long-term recall in patients with temporal lobe epilepsy. *Epilepsy & Behavior*, *8*, 278-288.
- Markowitsch, H. J. (2012). Neuroanatomie und Störungen des Gedächtnisses. In H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 553-566). Berlin: Springer.
- Meltzer, J. A., Zaveri, H. P., Goncharova, I. I., Distasio, M. M., Papademetris, X., Spencer, S. S. et al. (2008). Effects of Working Memory Load on Oscillatory Power in Human Intracranial EEG. *Cerebral Cortex*, *18*, 1843-1855.

- Merkow, M. B., Burke, J. F., Stein, J. M., & Kahana, M. J. (2014). Prestimulus Theta in the Human Hippocampus Predicts Subsequent Recognition But Not Recall. *Hippocampus*, 24, 1562-1569.
- Mormann, F., Fell, J., Axmacher, N., Weber, B., Lehnertz, K., Elger, C. E., & Fernández, G. (2005). Phase/Amplitude Reset and Theta-Gamma Interaction in the Human Medial Temporal Lobe During a Continuous Word Recognition Memory Task. *Hippocampus*, 15, 890-900.
- Nyberg, L., Habib, R., McIntosh, A. R., & Tulving, E. (2000). Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(20), 11120-11124.
- Osipova, D., Takashima, A., Oostenveld, R., Fernández, G., Maris, E., & Jensen, O. (2006). Theta and Gamma Oscillations Predict Encoding and Retrieval of Declarative Memory. *The Journal of Neuroscience*, 26(28), 7523-7531.
- Paller, K. A., Kutas, M., & Mayes A. R. (1987). Neural correlates of encoding in an incidental learning paradigm. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 67, 360-371.
- Paller, K. A., & Wagner, A. D. (2002). Observing the transformation of experience into memory. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6(2), 93-102.
- Papanicolaou, A. C., Simos, P. G., Castillo, E. M., Breier, J. I., Sarkari, S., Patariaia, E. et al. (2004). Magnetocephalography: a noninvasive alternative to Wada procedure. *Journal Neurosurg*, 100, 867-876.
- Park, J. Y., Jhung, K., Lee, J., & An, S. K. (2013). Theta-gamma coupling during a working memory task as compared to a simple vigilance task. *Neuroscience Letters*, 532, 39-43.
- Pinel, J. P. J., & Pauli, P. (2012). *Biopsychologie*. München: Pearson Studium.
- Raghavachari, S., Kahana, M. J., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Kirschen, M. P., Bourgeois, B. et al. (2001). *The Journal of Neuroscience*, 21(9), 3175-3183.
- Schandry, R. (2011). *Biologische Psychologie*. Weinheim: Beltz Verlag.

- Schott, B. H., Wüstenberg, T., Wimber, M., Fenker, D. B., Zierhut, K. C., Seidenbecher, C. I. et al. (2013). The Relationship Between Level of Processing and Hippocampal-Cortical Functional Connectivity During Episodic Memory Formation in Humans. *Human Brain Mapping, 34*, 407-424.
- Sederberg, P. B., Kahana, M. J., Howard, M. W., Donner, E. J., & Madsen, J. R. (2003). Theta and Gamma Oscillations during Encoding Predict Subsequent Recall. *The Journal of Neuroscience, 23*(34), 10809-10814.
- Sederberg, P. B., Schulze-Bonhage, A., Madsen, J. R., Bromfield, E. B., McCarthy, D. C., Brandt, A. et al. (2007). Hippocampal and Neocortical Gamma Oscillations Predict Memory Formation in Humans. *Cerebral Cortex, 17*, 1190-1196.
- Staudigl, T., & Hanslmayr, S. (2013). Theta Oscillations at Encoding Mediate the Context-Dependent Nature of Human Episodic Memory. *Current Biology, 23*, 1101-1106.
- Sternberg, S. (1966). High-Speed Scanning in Human Memory. *Science, 153*(3736), 652-654.
- Sturm, W., Herrmann, M., & Münte, T. F. (2009). *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie. Grundlagen, Methoden, Diagnostik, Therapie*. Heidelberg: Springer.
- Trepel, M. (2012). *Neuroanatomie. Struktur und Funktion*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Trimmel, M. (2014). *Allgemeine Psychologie 2: Kognitive Psychologie*. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding Specificity And Retrieval Processes In Episodic Memory. *Psychological Review, 80*(5), 352-373.
- Weidemann, C. T., Mollison, M. V., & Kahana, M. J. (2009). Electrophysiological correlates of high-level perception during spatial navigation. *Psychonomic Bulletin & Review, 16*(2), 313-319.
- Wellach, I. (2011). *Praxisbuch EEG. Einführung in die Befundung, Beurteilung und Differenzialdiagnose*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

- Wheeler, M. E., Petersen, S. E., & Buckner, R. L. (2000). Memory's echo: Vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(20), 11125-11129.
- Witte, O. W., Hagemann, G., & Haueisen, J. (2011). Physiologische Grundlagen des EEG. In A. Ebner & G. Deuschl (Hrsg.), *EEG* (S. 1-9). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Zschocke, S., & Hansen H.-C. (2012). Epileptische Erregungssteigerung. In S. Zschocke & H.-C. Hansen (Hrsg.), *Klinische Elektroenzephalographie* (S. 153-226). Berlin: Springer.
- Zschocke, S., & Hansen H.-C. (2012). Grundlagen der digitalen EEG-Verarbeitung. Frequenzanalyse des EEG. In S. Zschocke & H.-C. Hansen (Hrsg.), *Klinische Elektroenzephalographie* (S. 435-453). Berlin: Springer.

Abkürzungen

Af	Anteriorfrontal
C	Zentral
CRMT	Continuous Recognition Memory-Task
DF	Freiheitsgrade
DFT	Diskrete Fourier Transformation
DM	Differences in Memory
(i)EEG	(intrakranielle) Elektroenzephalographie
E GG	Epsilon Greenhouse-Geisser
E HF	Epsilon Huynh-Feldt
F	Frontal
FFT	Fast Fourier Transformation
fMRI	funktionelle Magnetresonanztomographie
Fp	Frontopolar
HFA	High-Frequency-Activity
IGD	Inventar zur Gedächtnisdiagnostik
KG	Kontrollgruppe
LOP	Levels of Processing
MEG	Magnetenzephalographie
O	Okzipital
P	Parietal
PDS	paroxysmale Depolarisation
RAVLT	Rey Auditory Verbal Learning Test
ROCFT	Rey-Osterrieth Complex Figure Test
ROI	Region of Interest

SD	Standardabweichung (englisch: standard deviation)
SME	Subsequent Memory Effect
T	Temporal
TLE	Temporallappenepilepsie
VG	Versuchsgruppe
VLS	Verbal Logical Story
WAIS	Wechsler Adult Intelligence Scale
WIT-2	Wilde-Intelligenz-Test 2

Anhang

Übersicht der deskriptiven Statistik

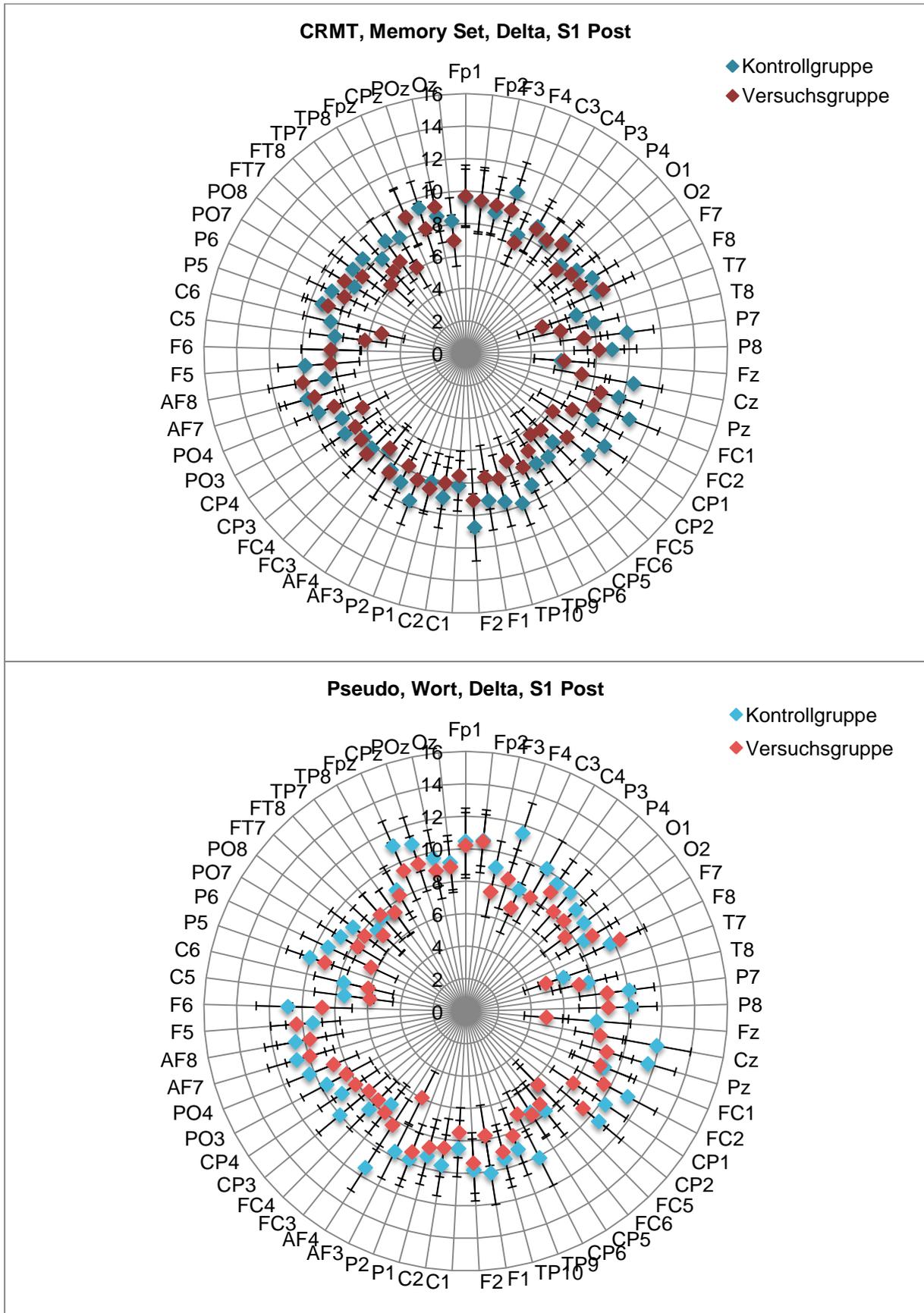


Abbildung 9. deskriptive Statistik (Delta, S1 Post). Werte sind in μV angegeben.

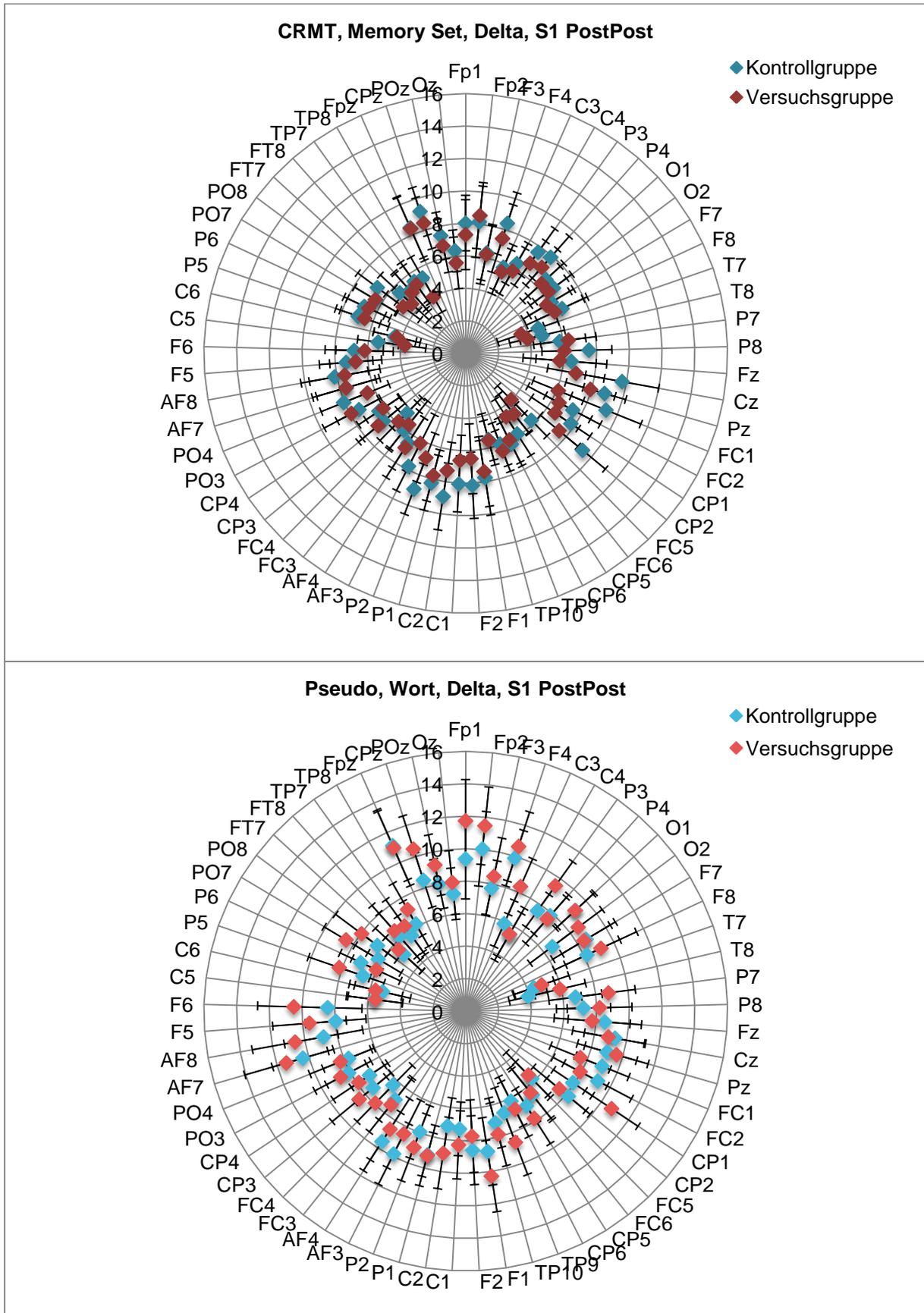


Abbildung 10. deskriptive Statistik (Delta, S1 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

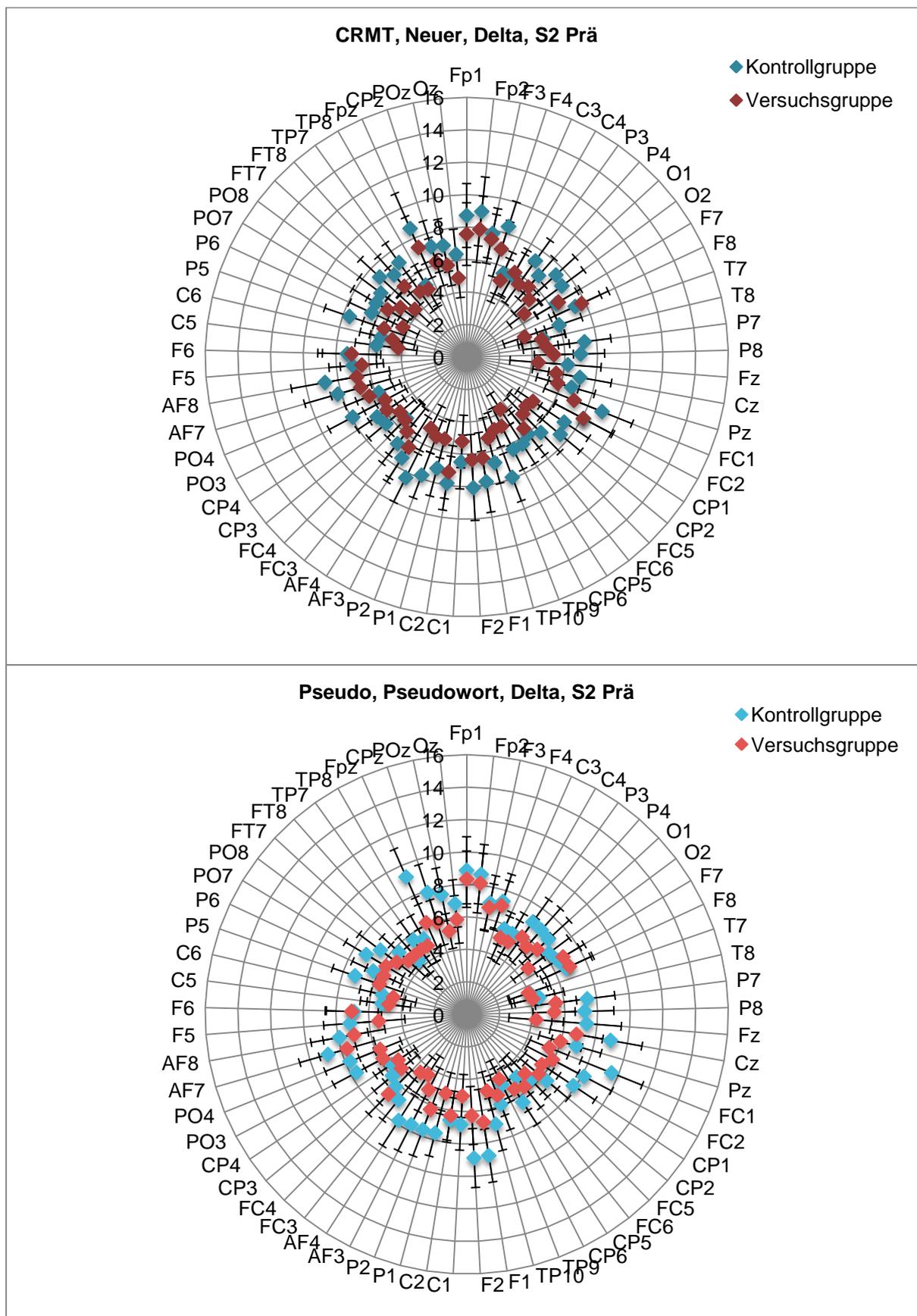


Abbildung 11. deskriptive Statistik (Delta, S2 Prä). Werte sind in μV angegeben.

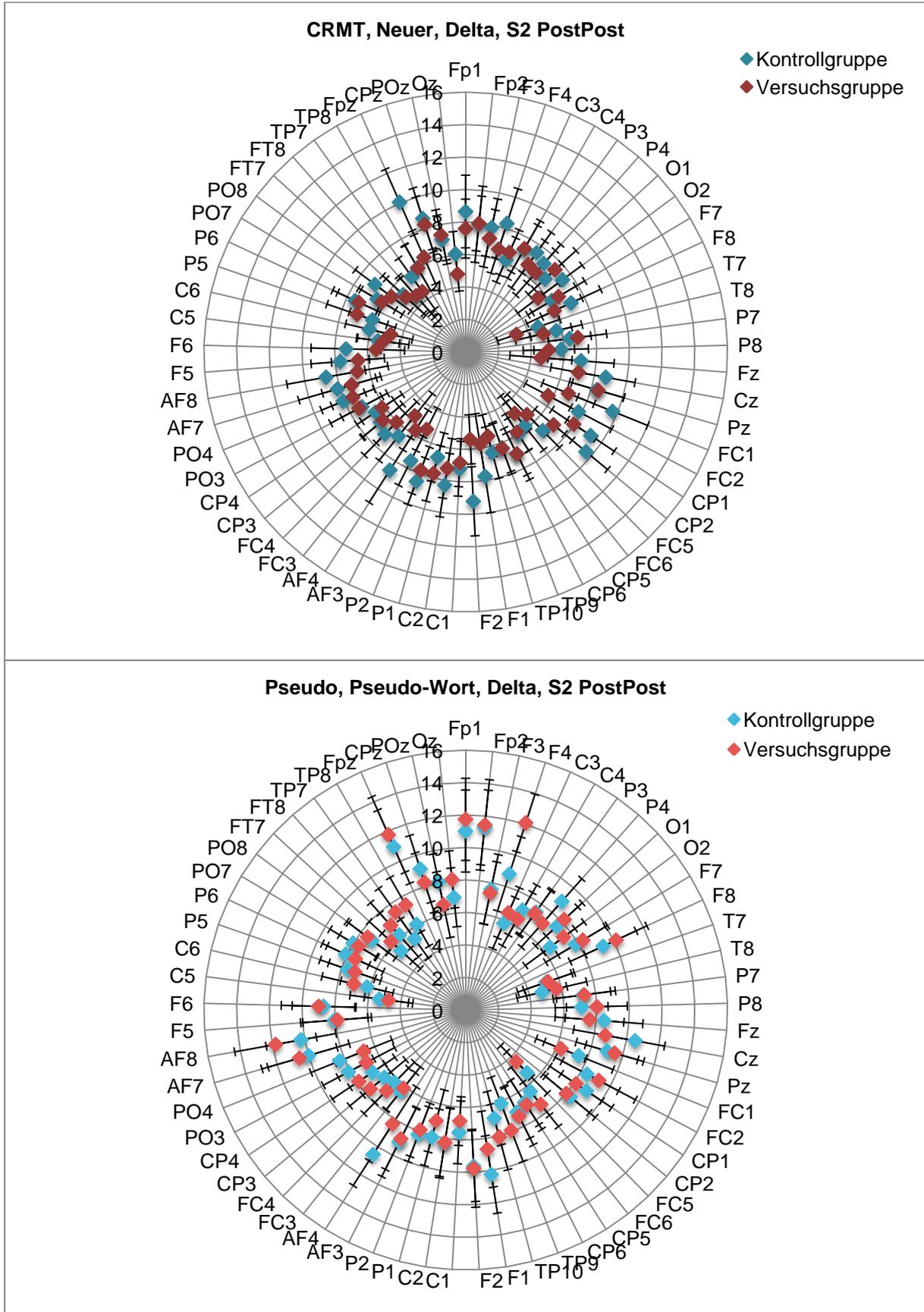


Abbildung 13. deskriptive Statistik (Delta, S2 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

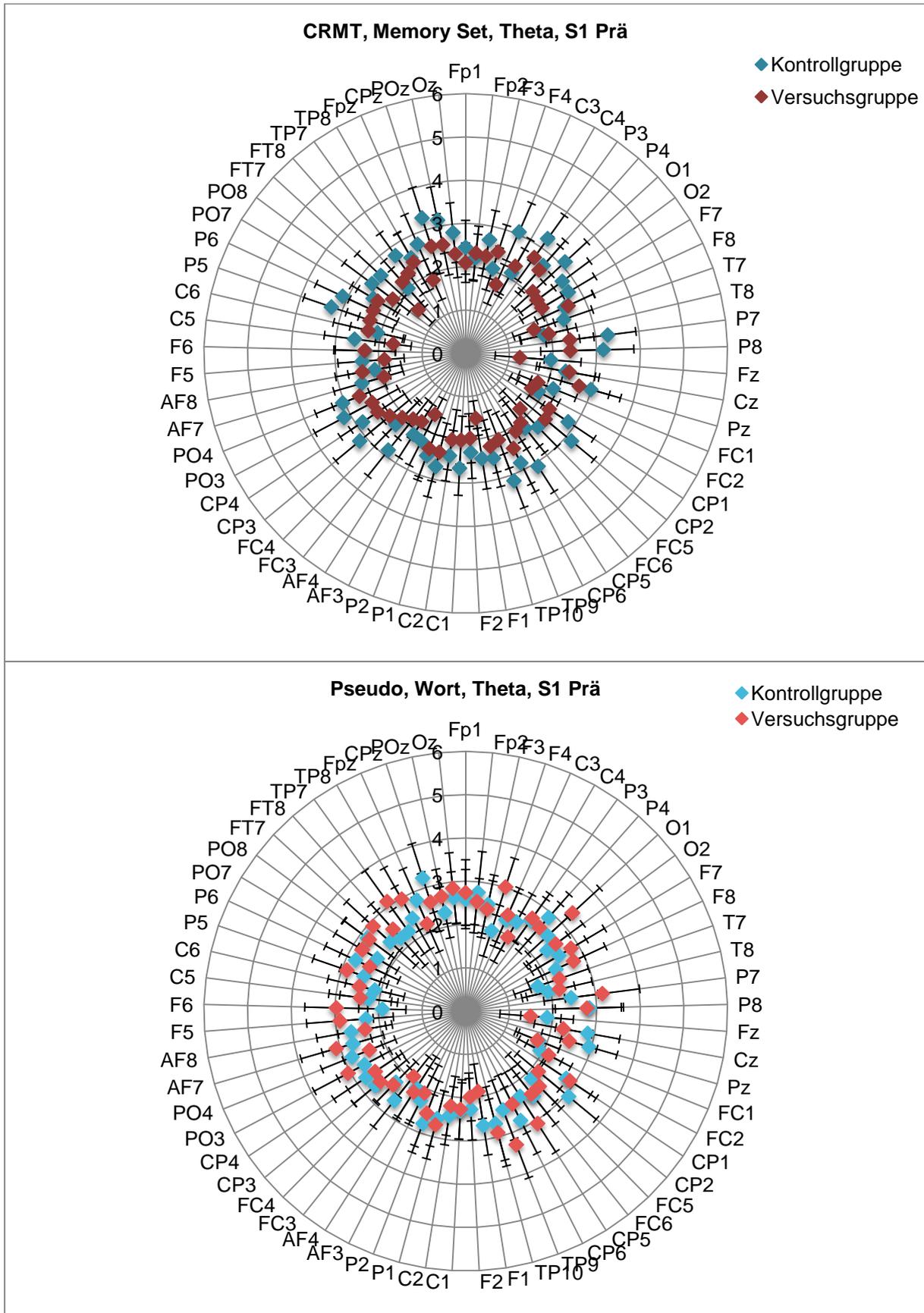


Abbildung 14. deskriptive Statistik (Theta, S1 Prä). Werte sind in μV angegeben.

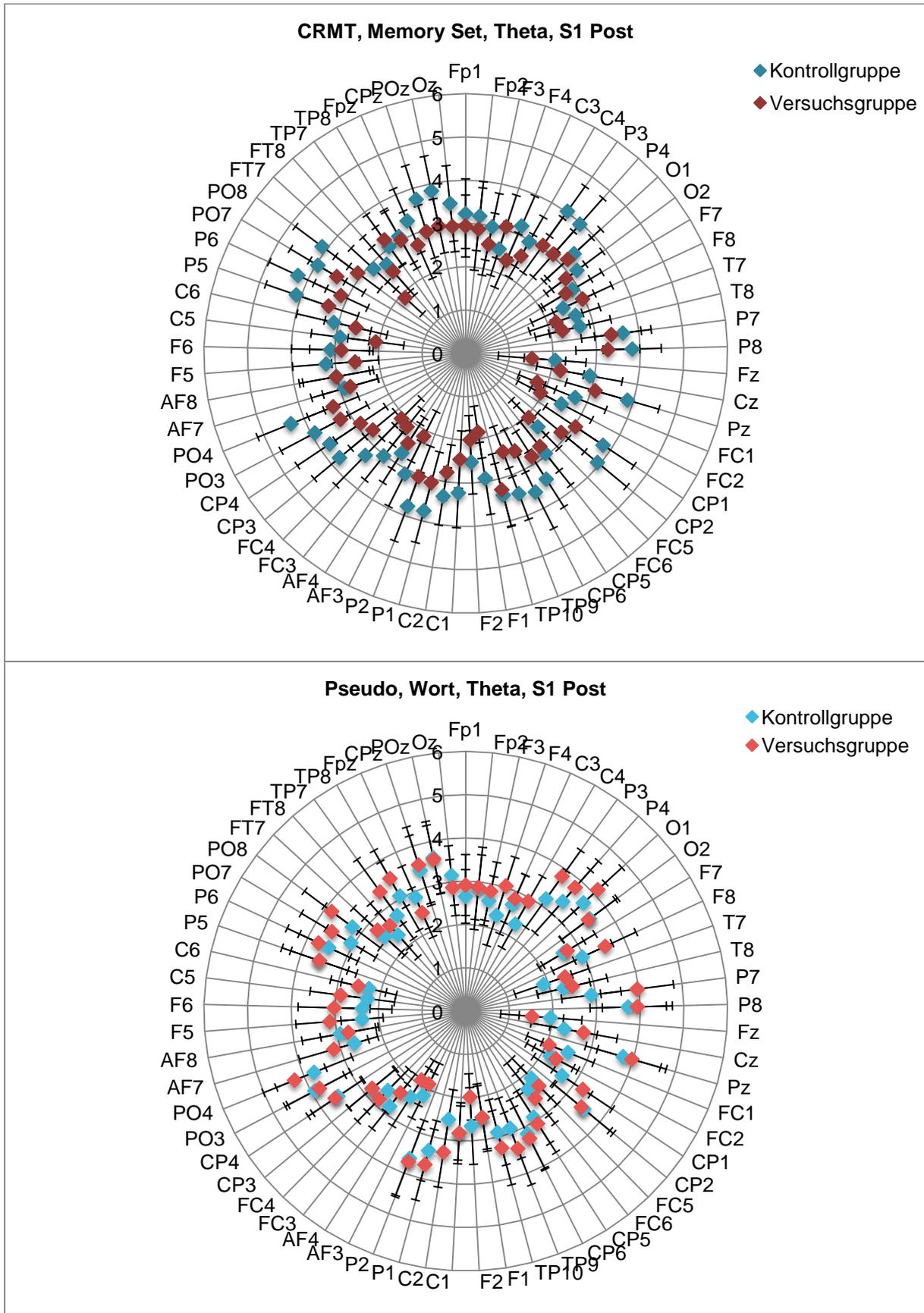


Abbildung 15. deskriptive Statistik (Theta, S1 Post). Werte sind in μV angegeben.

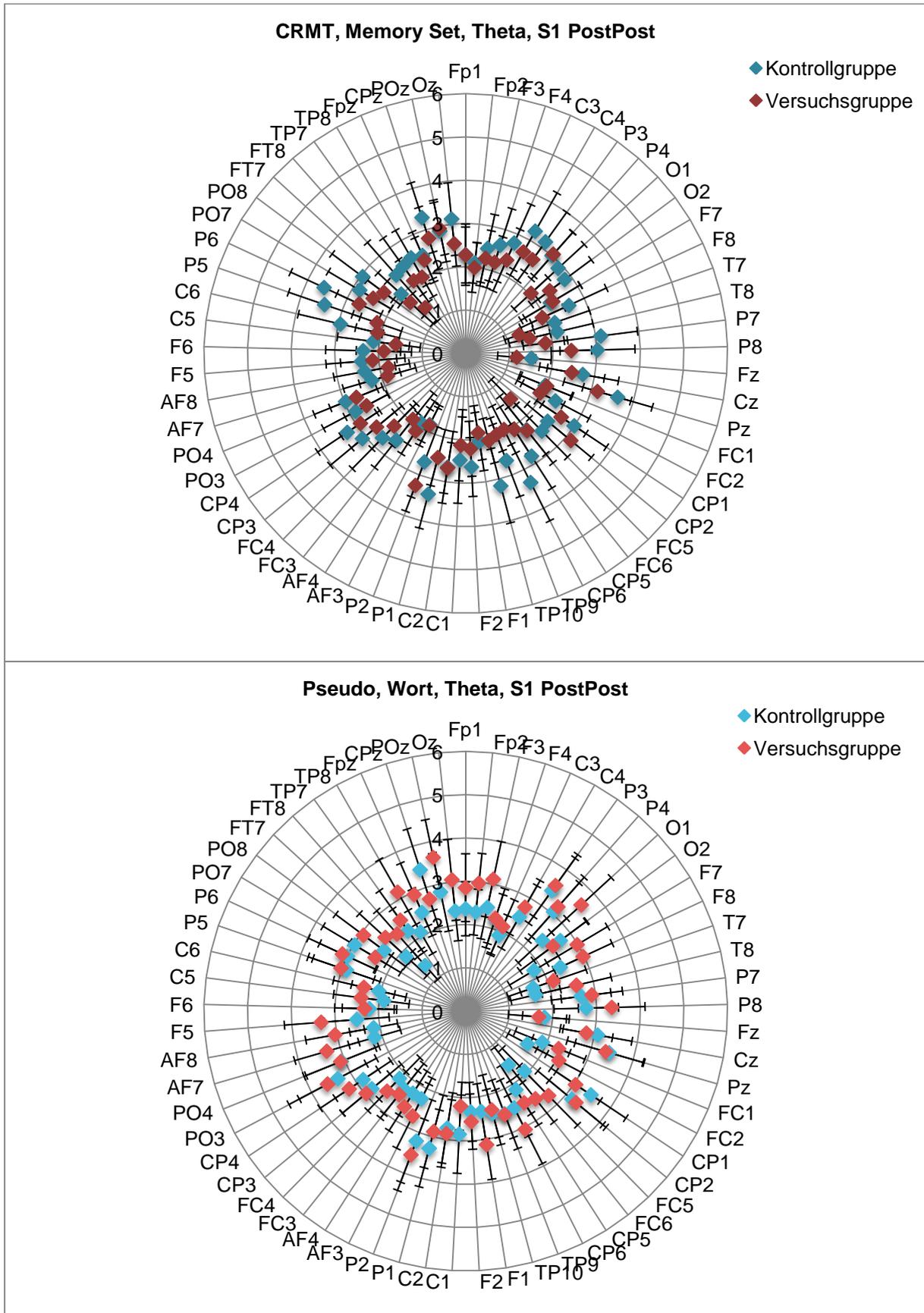


Abbildung 16. deskriptive Statistik (Theta, S1 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

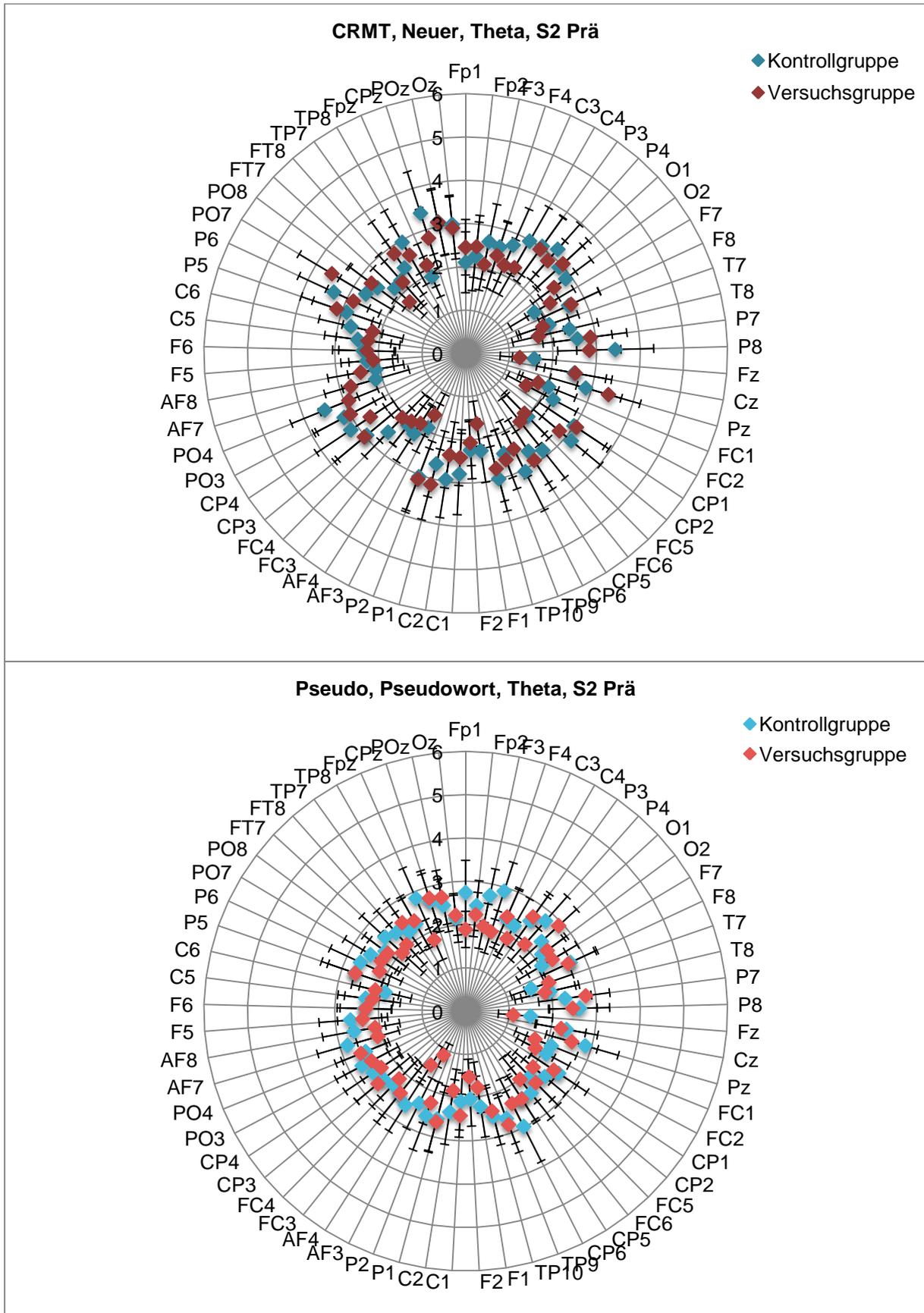


Abbildung 17. deskriptive Statistik (Theta, S2 Prä). Werte sind in μV angegeben.

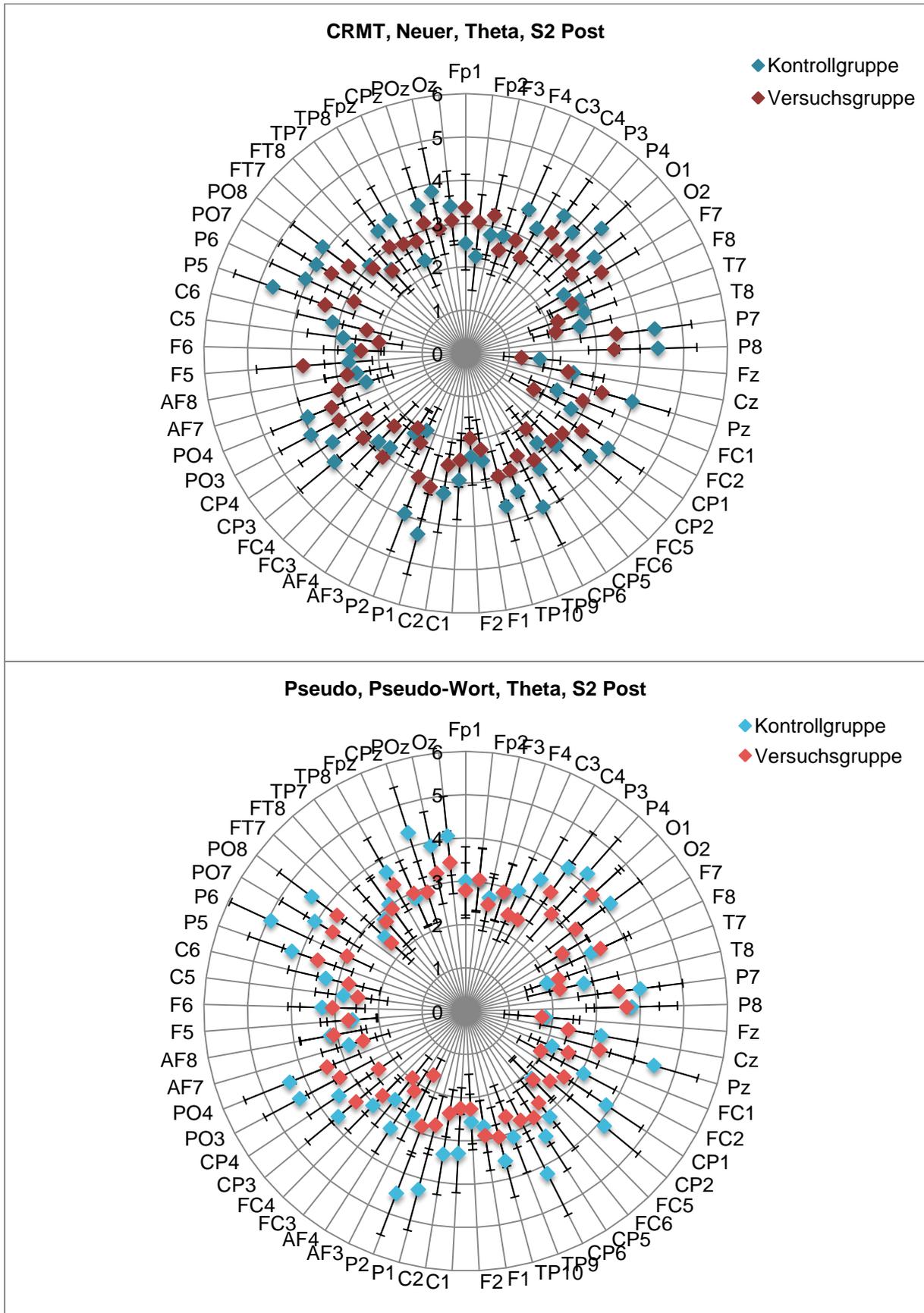


Abbildung 18. deskriptive Statistik (Theta, S2 Post). Werte sind in μV angegeben.

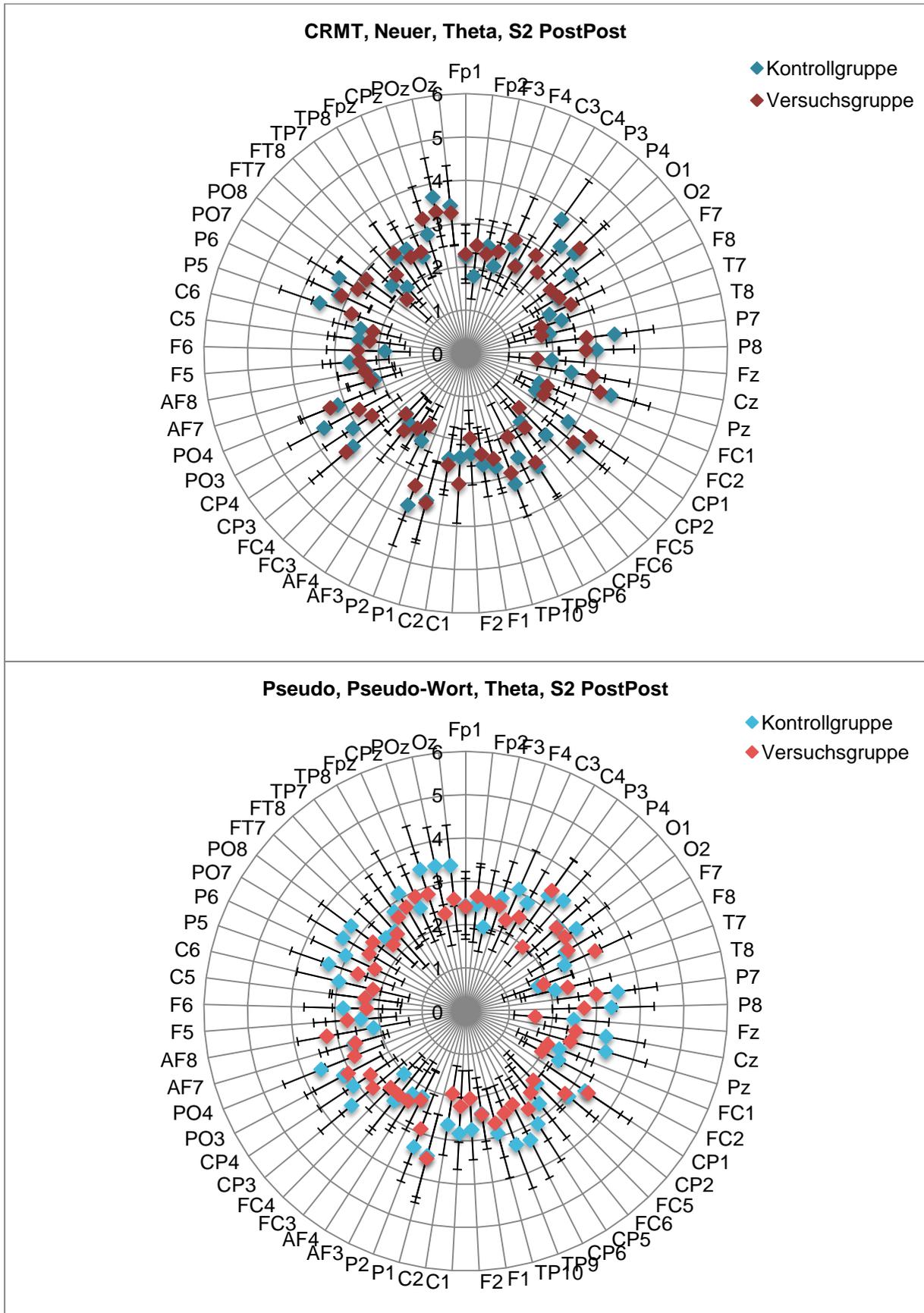


Abbildung 19. deskriptive Statistik (Theta, S2 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

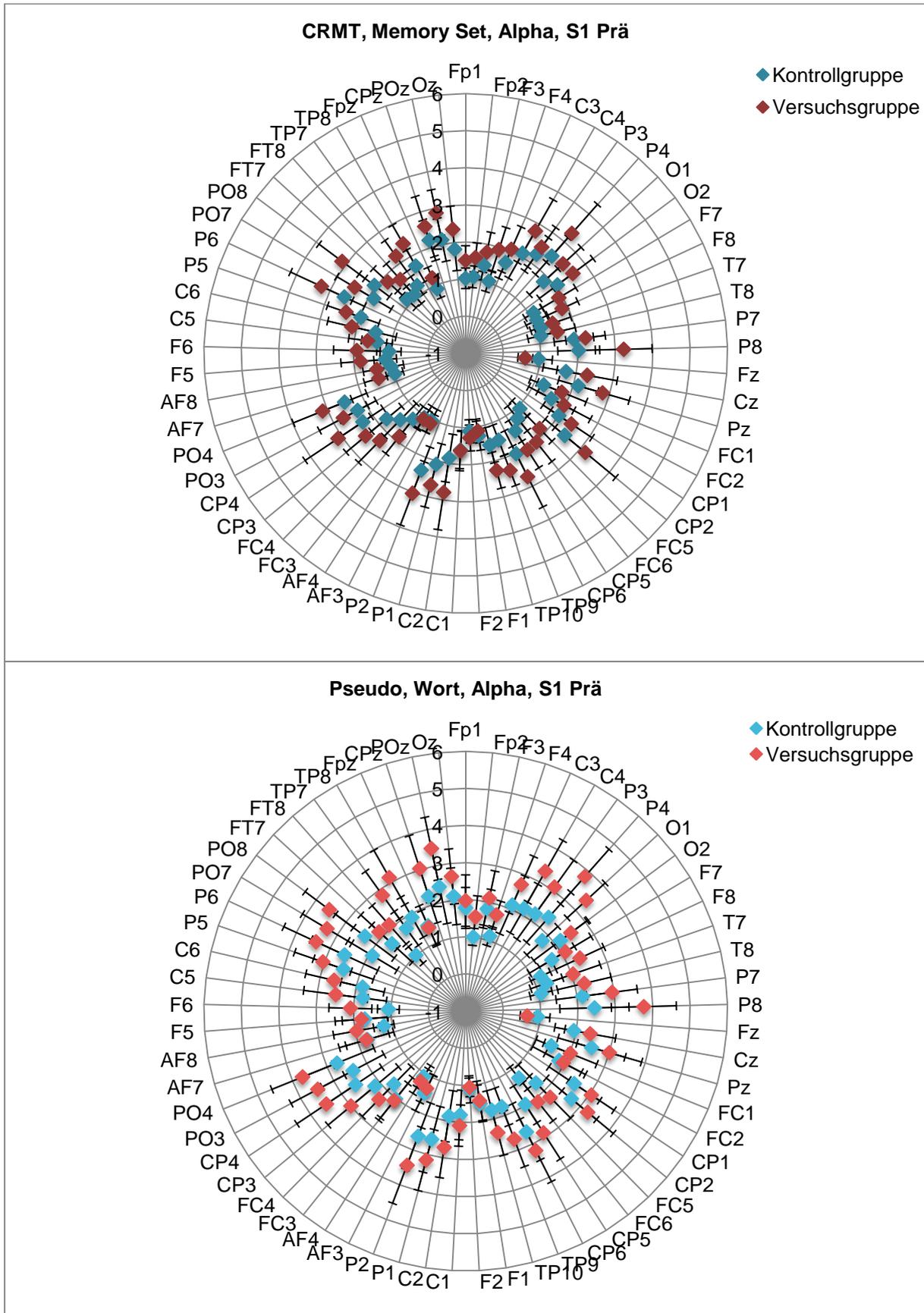


Abbildung 20. deskriptive Statistik (Alpha, S1 Prä). Werte sind in μV angegeben.

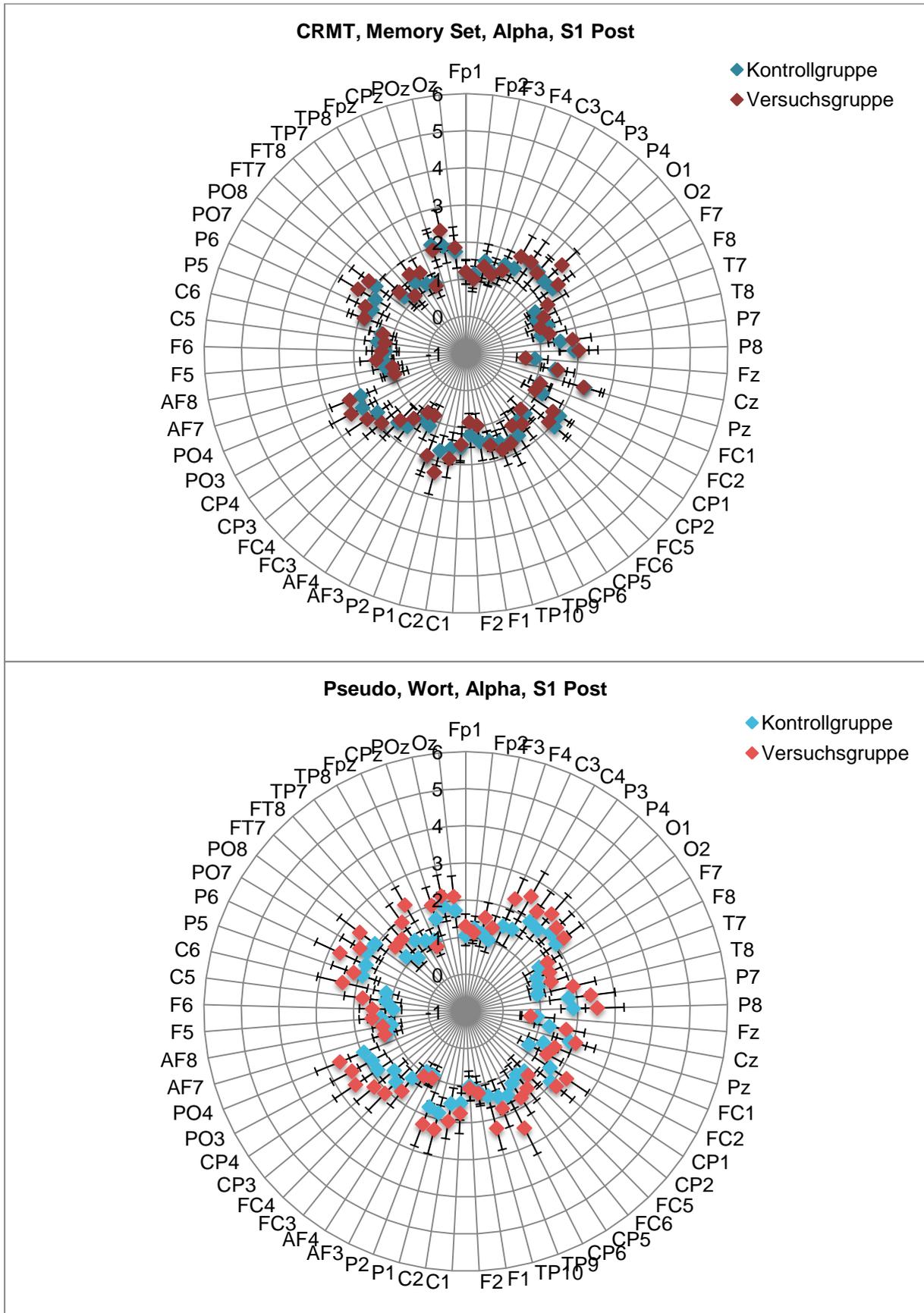


Abbildung 21. deskriptive Statistik (Alpha, S1 Post). Werte sind in μV angegeben.

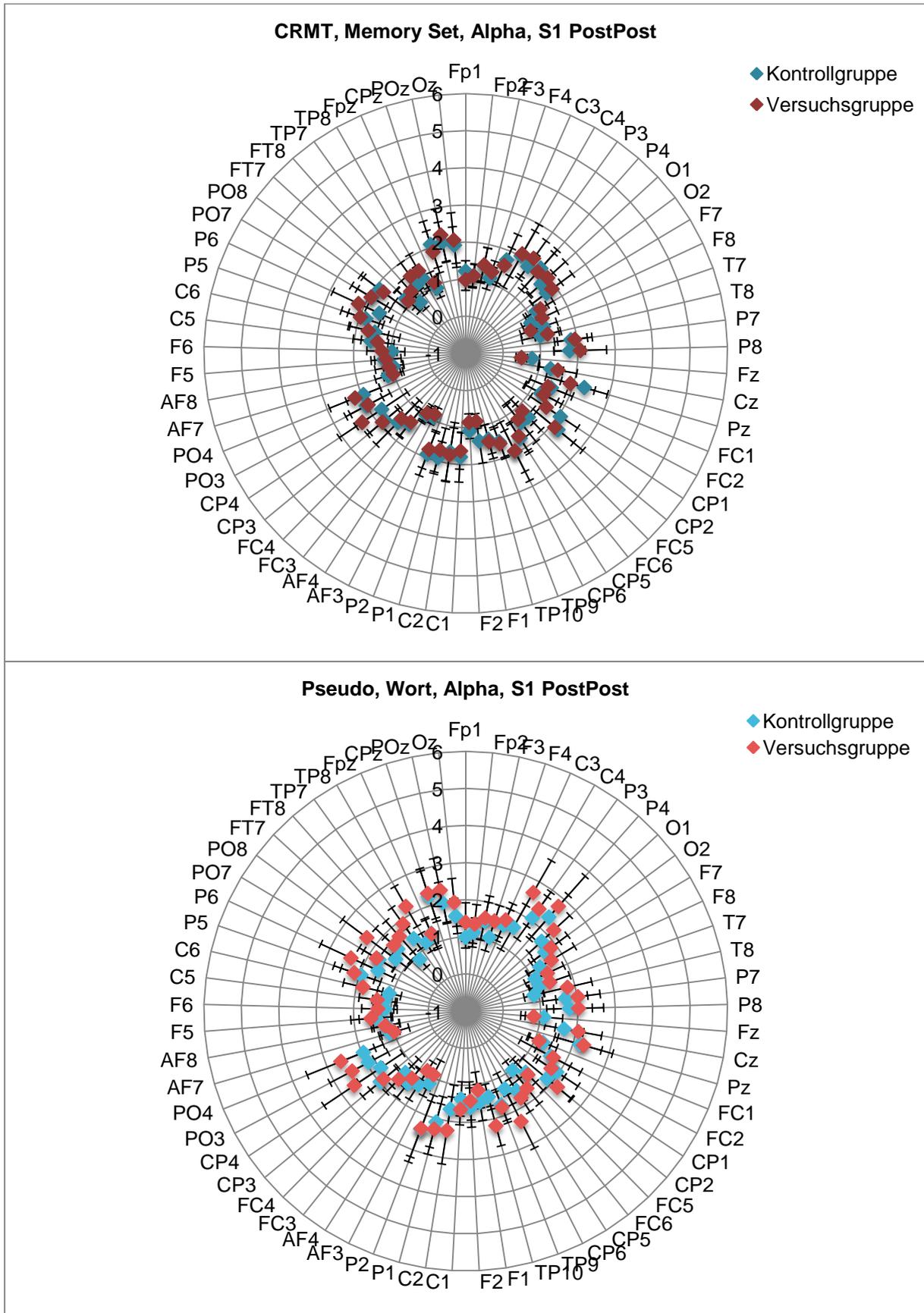


Abbildung 22. deskriptive Statistik (Alpha, S1 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

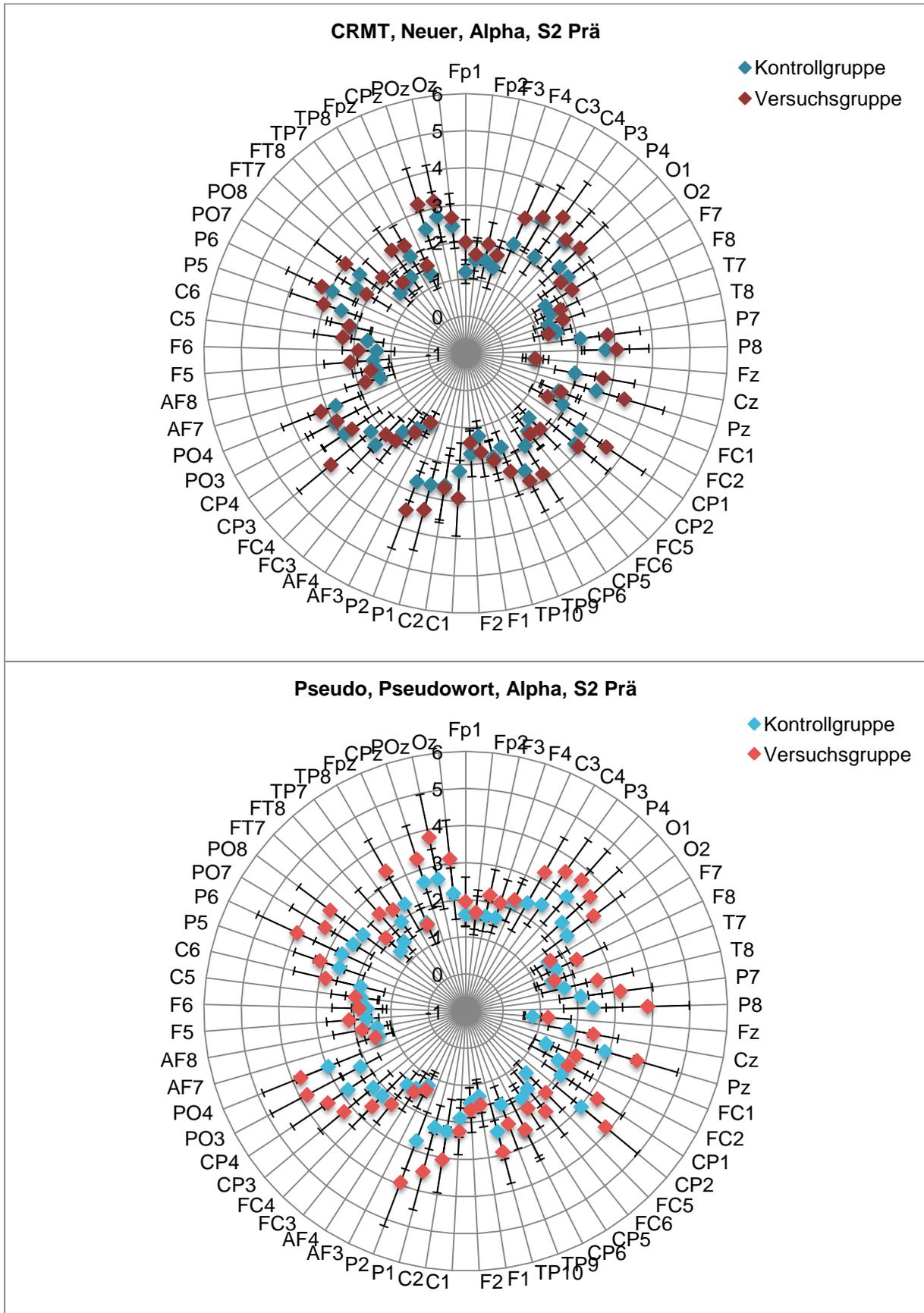


Abbildung 23. deskriptive Statistik (Alpha, S2 Prä). Werte sind in μV angegeben.

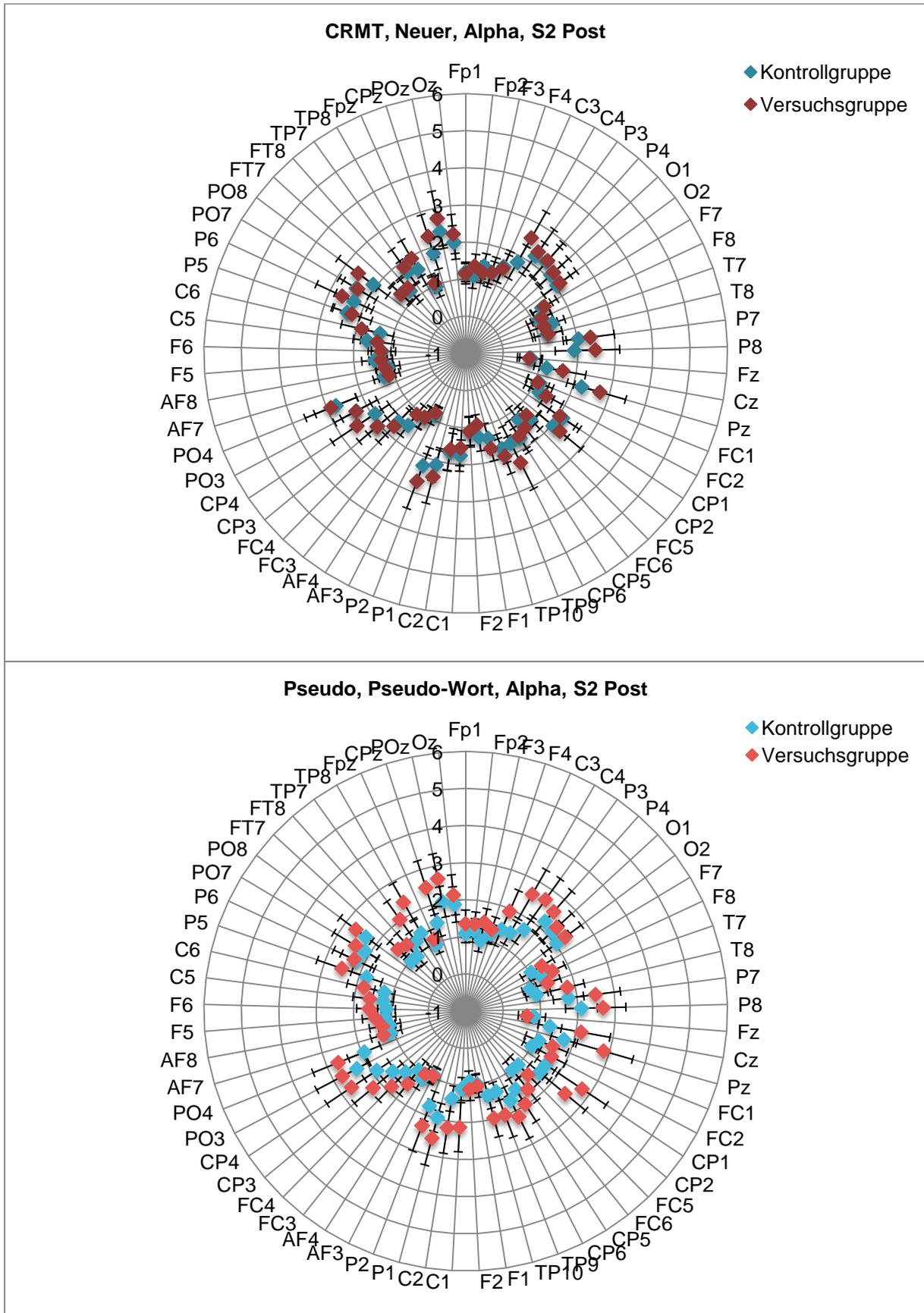


Abbildung 24. deskriptive Statistik (Alpha, S2 Post). Werte sind in μV angegeben.

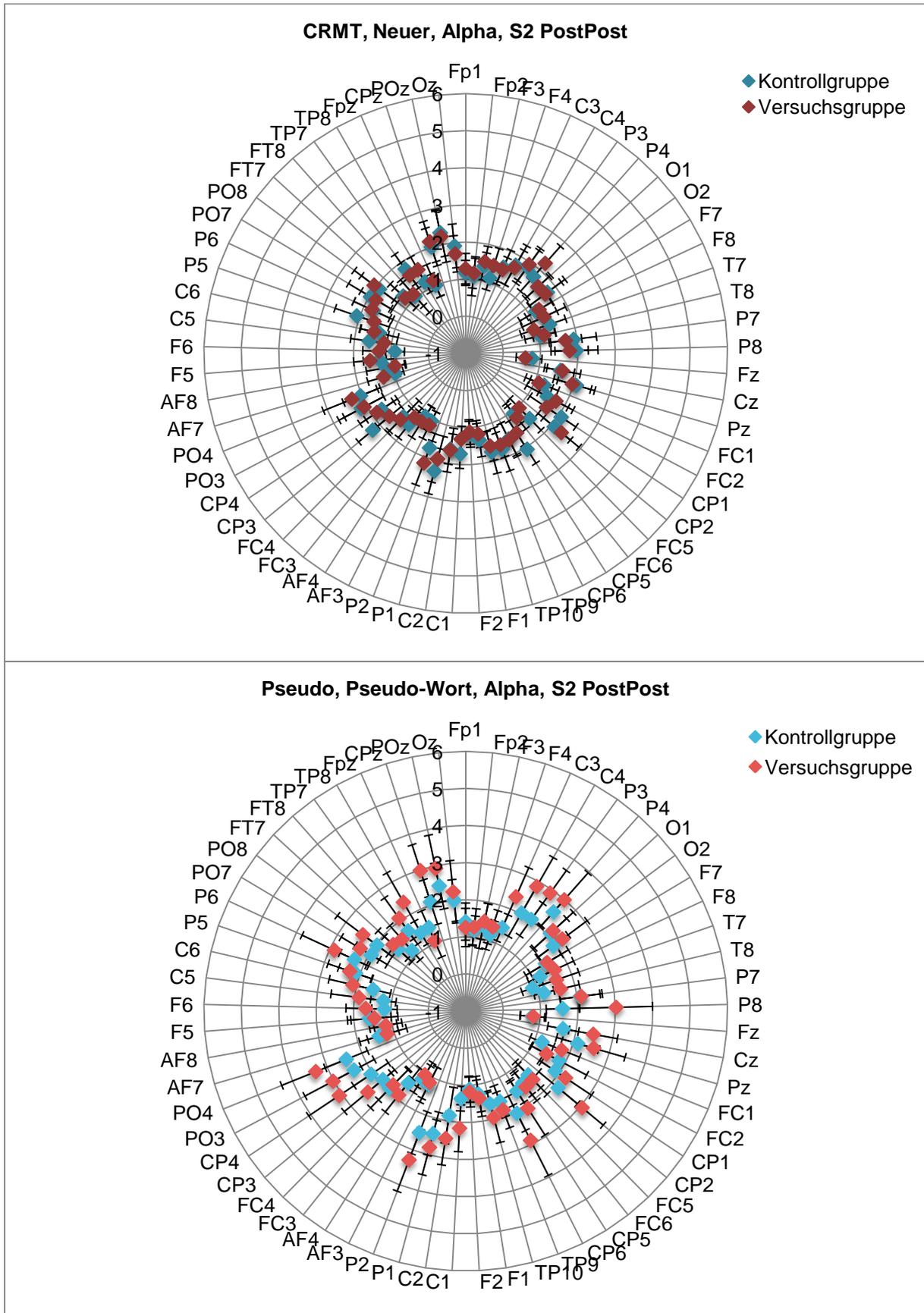


Abbildung 25. deskriptive Statistik (Alpha, S2 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

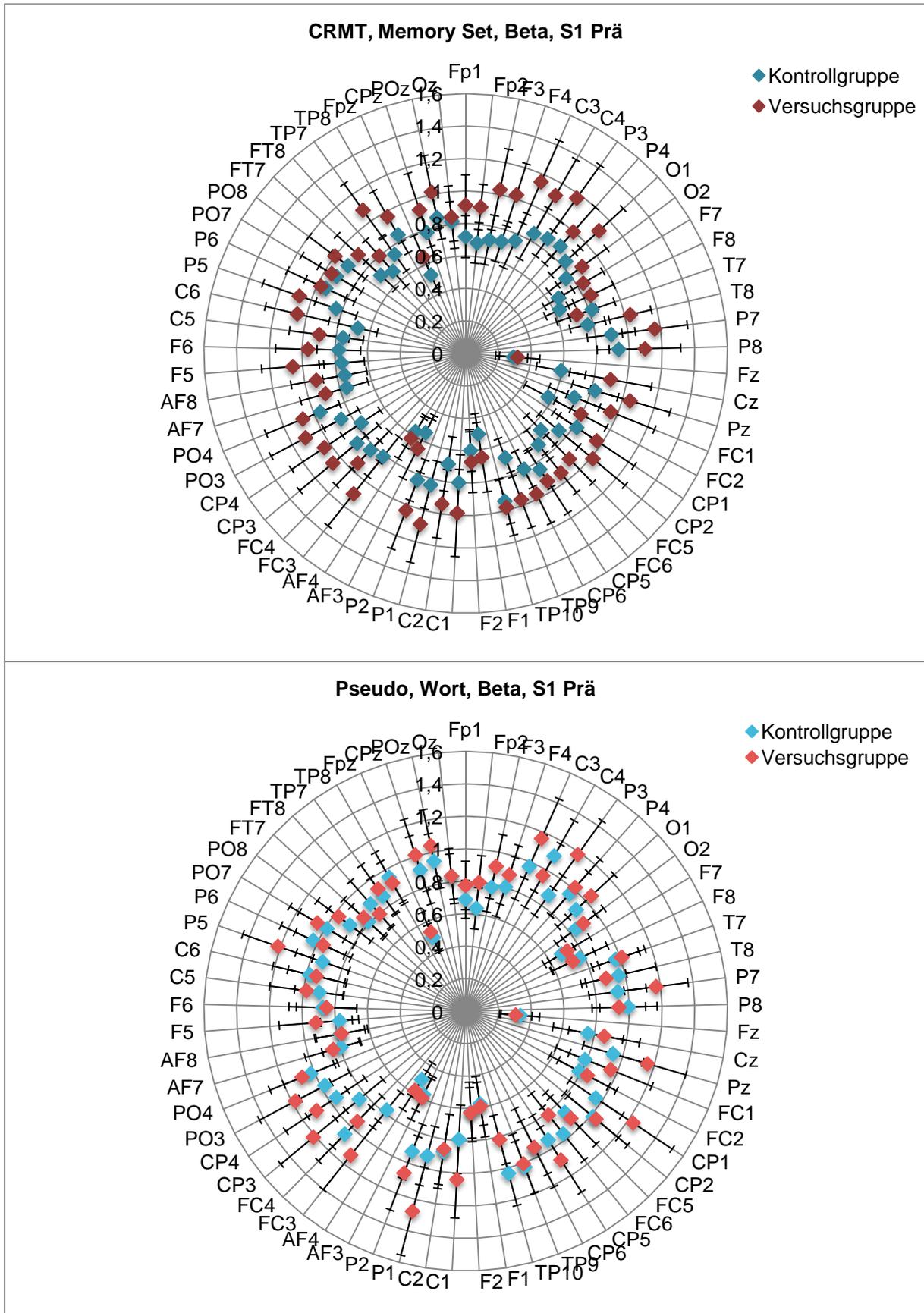


Abbildung 26. deskriptive Statistik (Beta, S1 Prä). Werte sind in μV angegeben.

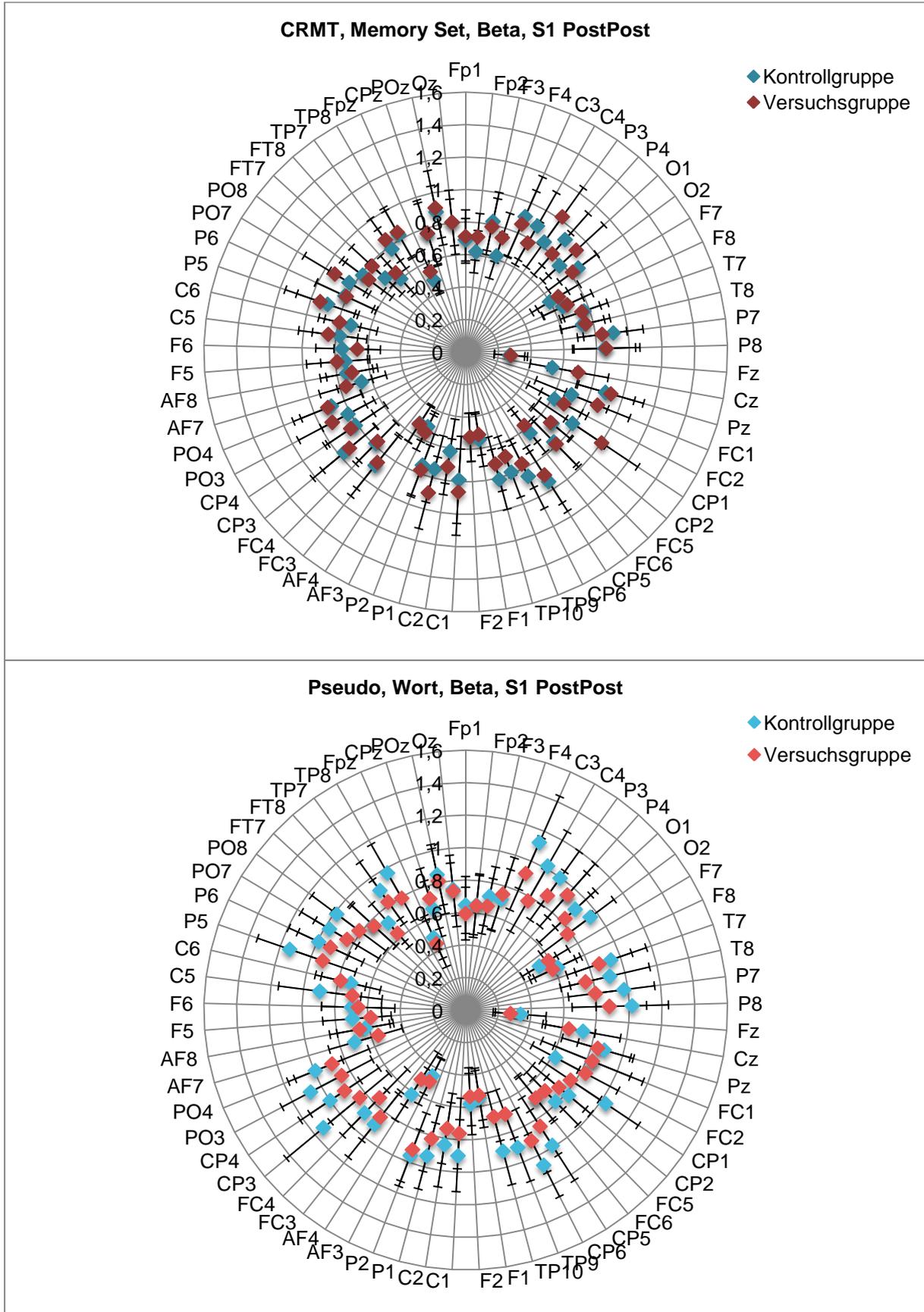


Abbildung 28. deskriptive Statistik (Beta, S1 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

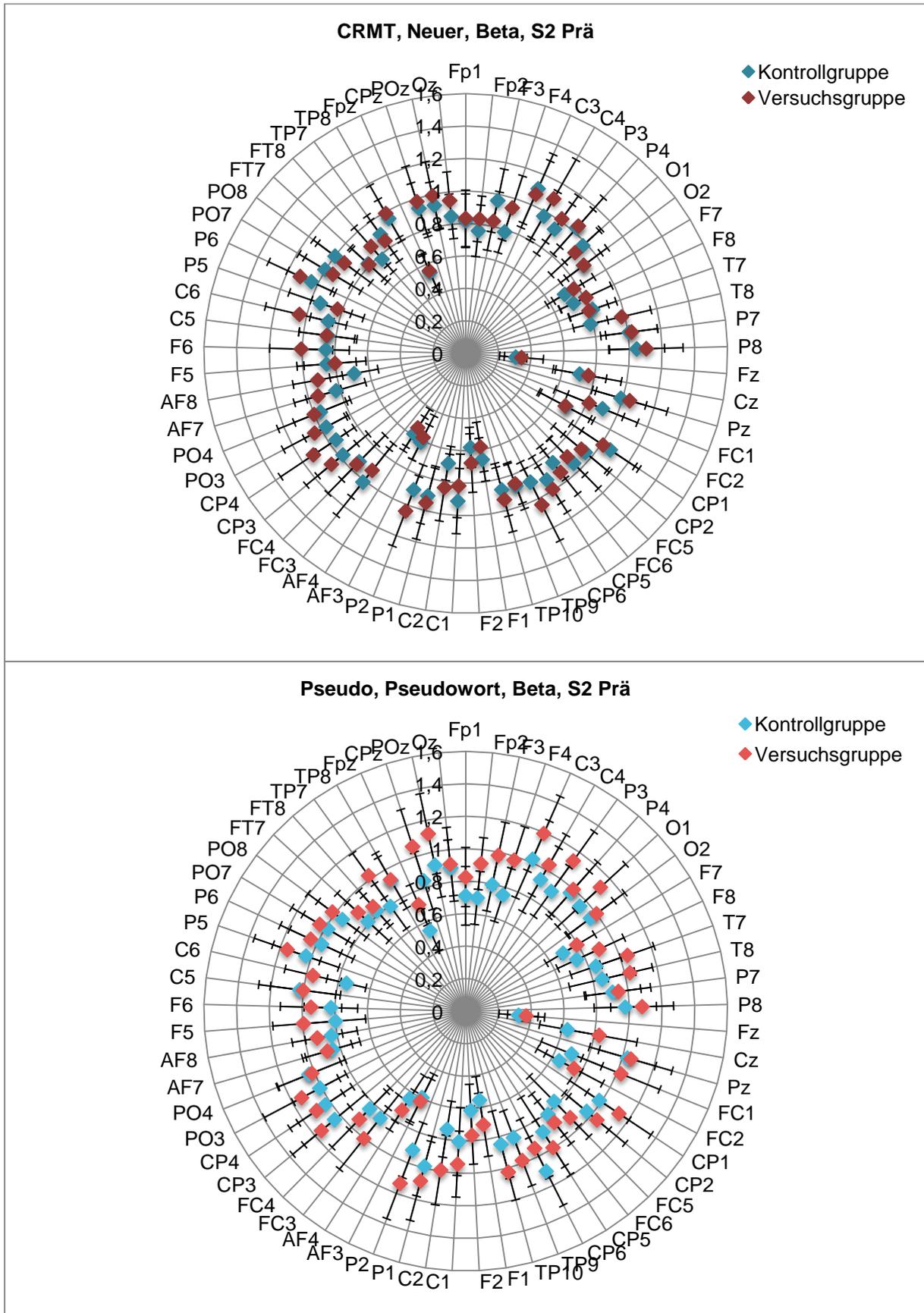


Abbildung 29. deskriptive Statistik (Beta, S2 Prä). Werte sind in μV angegeben.

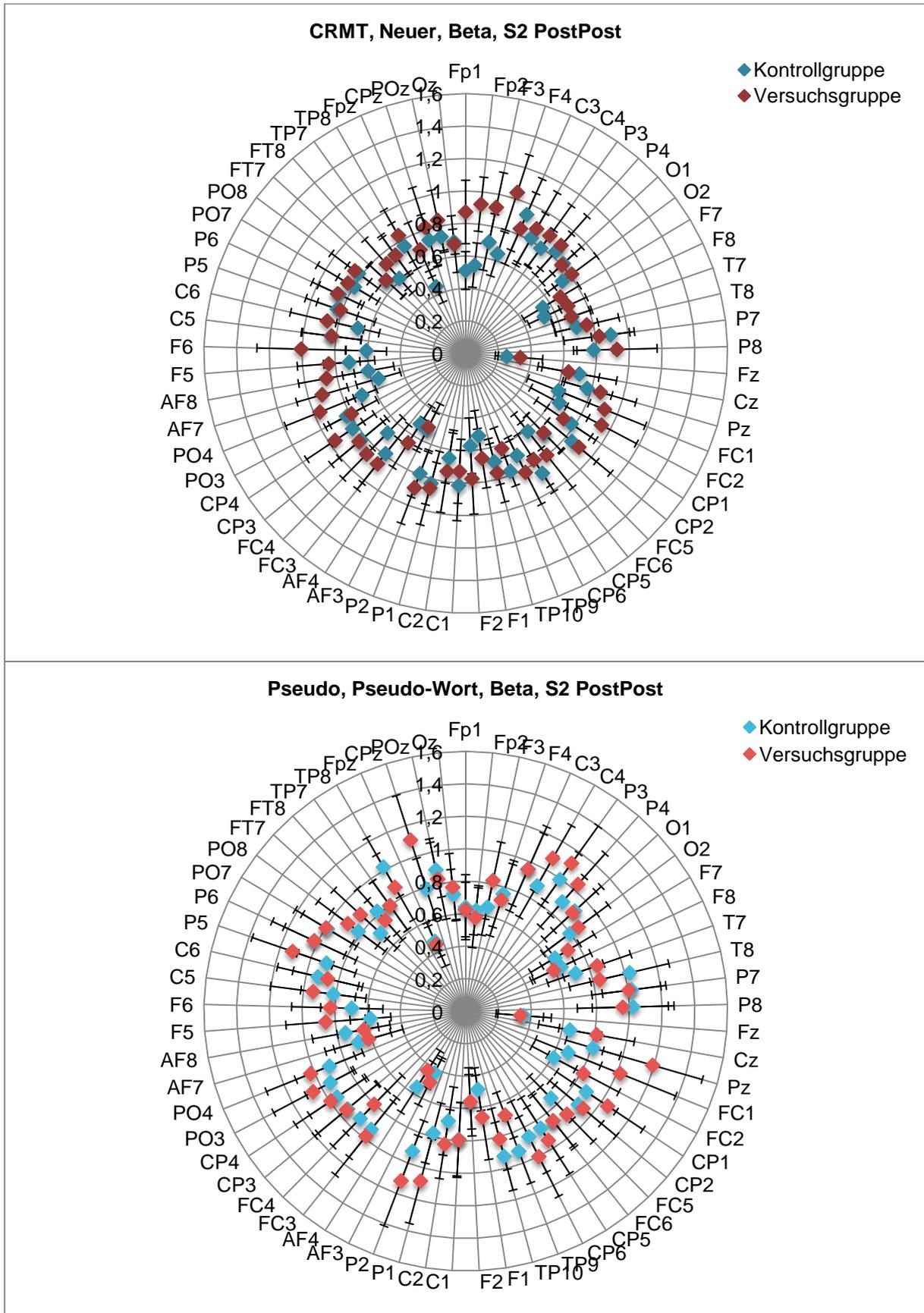


Abbildung 31. deskriptive Statistik (Beta, S2 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

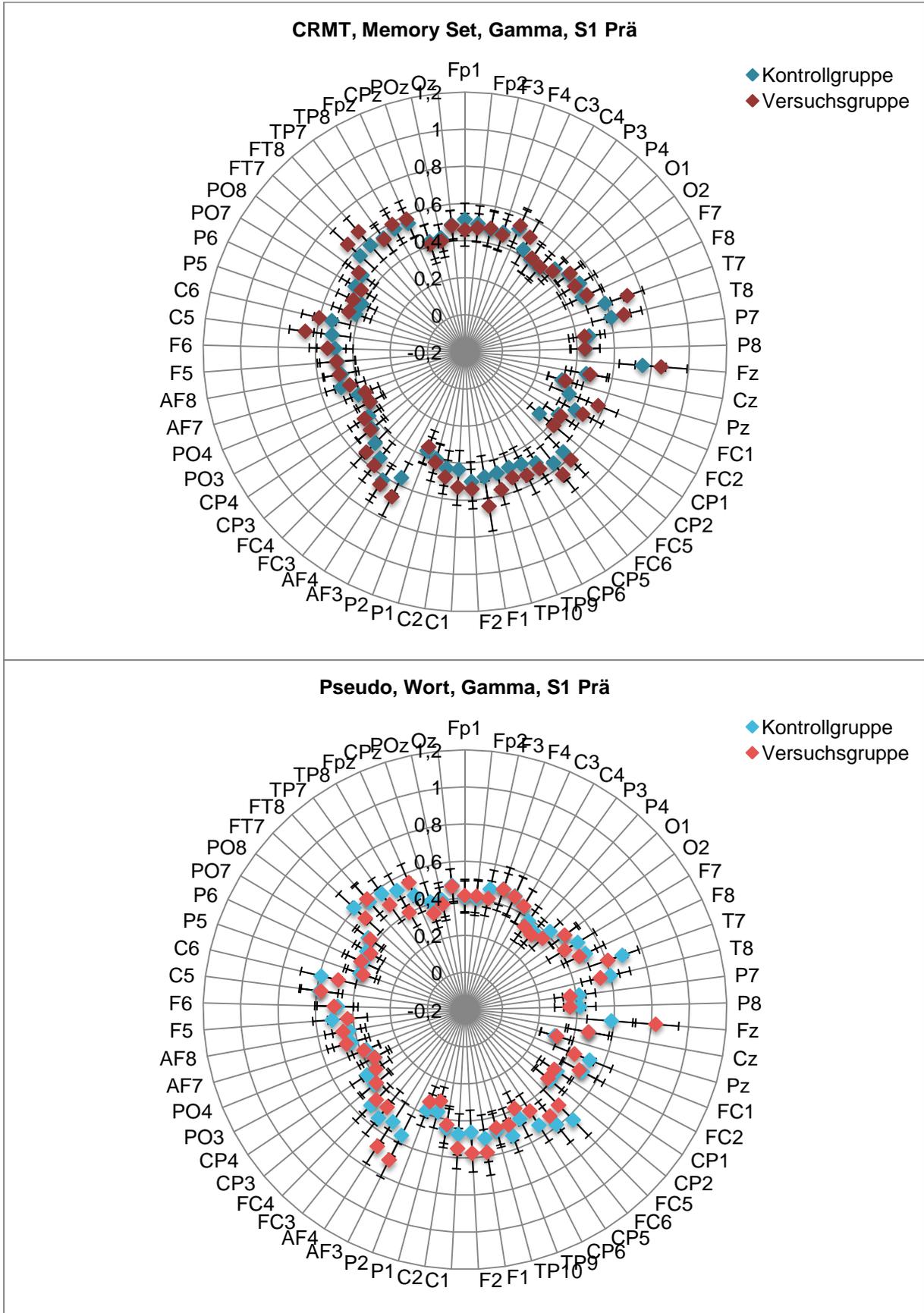


Abbildung 32. deskriptive Statistik (Gamma, S1 Prä). Werte sind in μV angegeben.

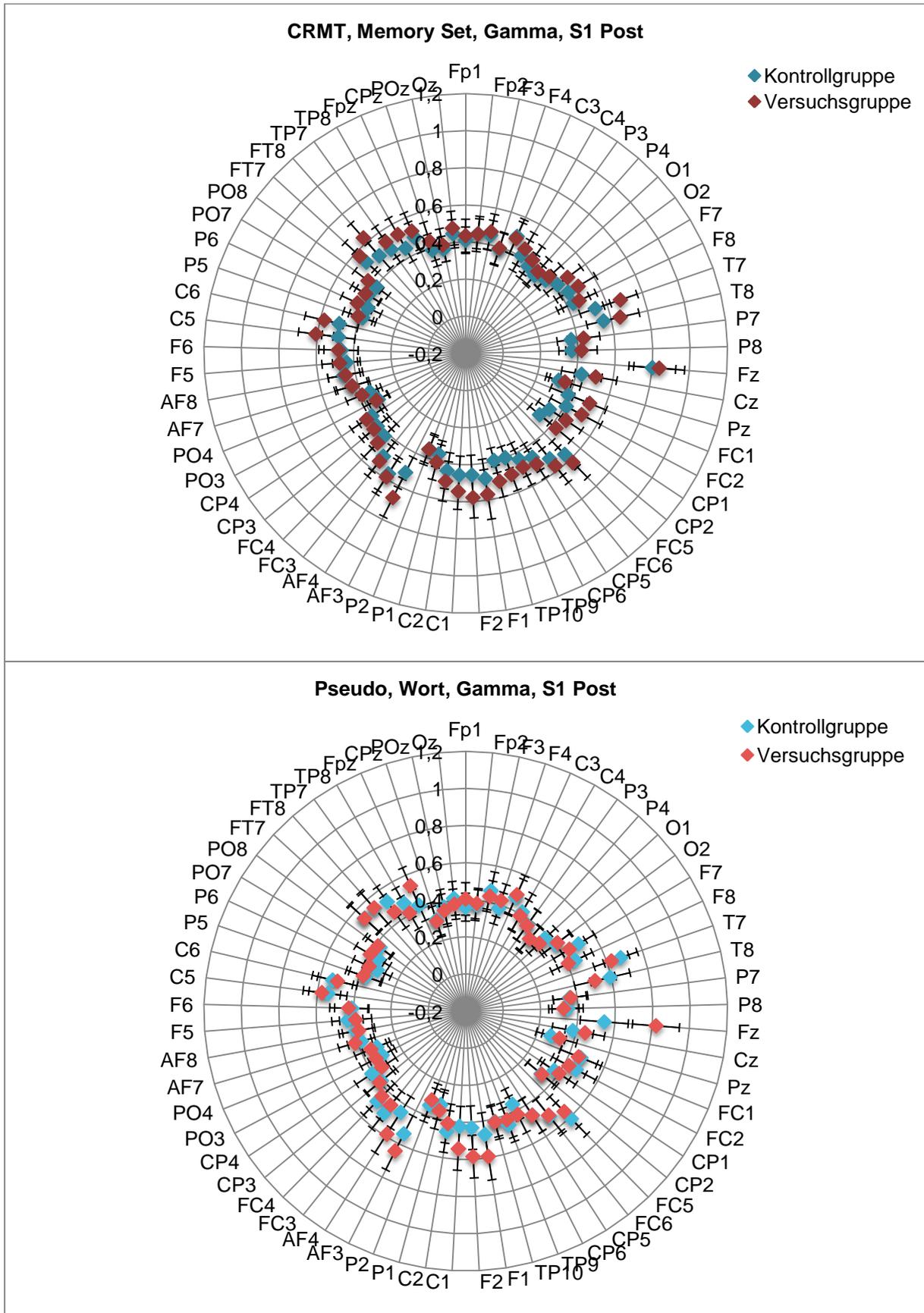


Abbildung 33. deskriptive Statistik (Gamma, S1 Post). Werte sind in μV angegeben.

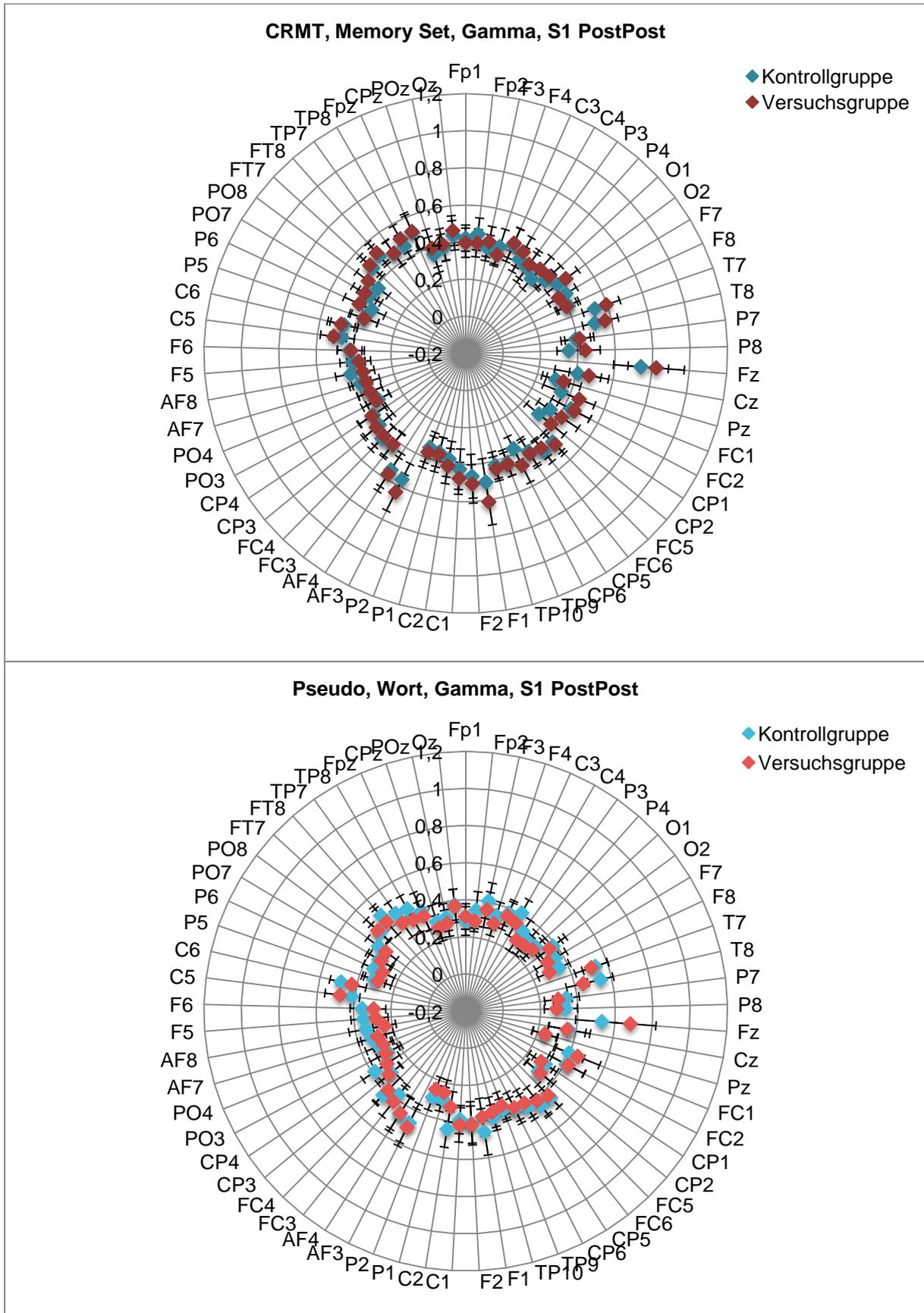


Abbildung 34. deskriptive Statistik (Gamma, S1 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

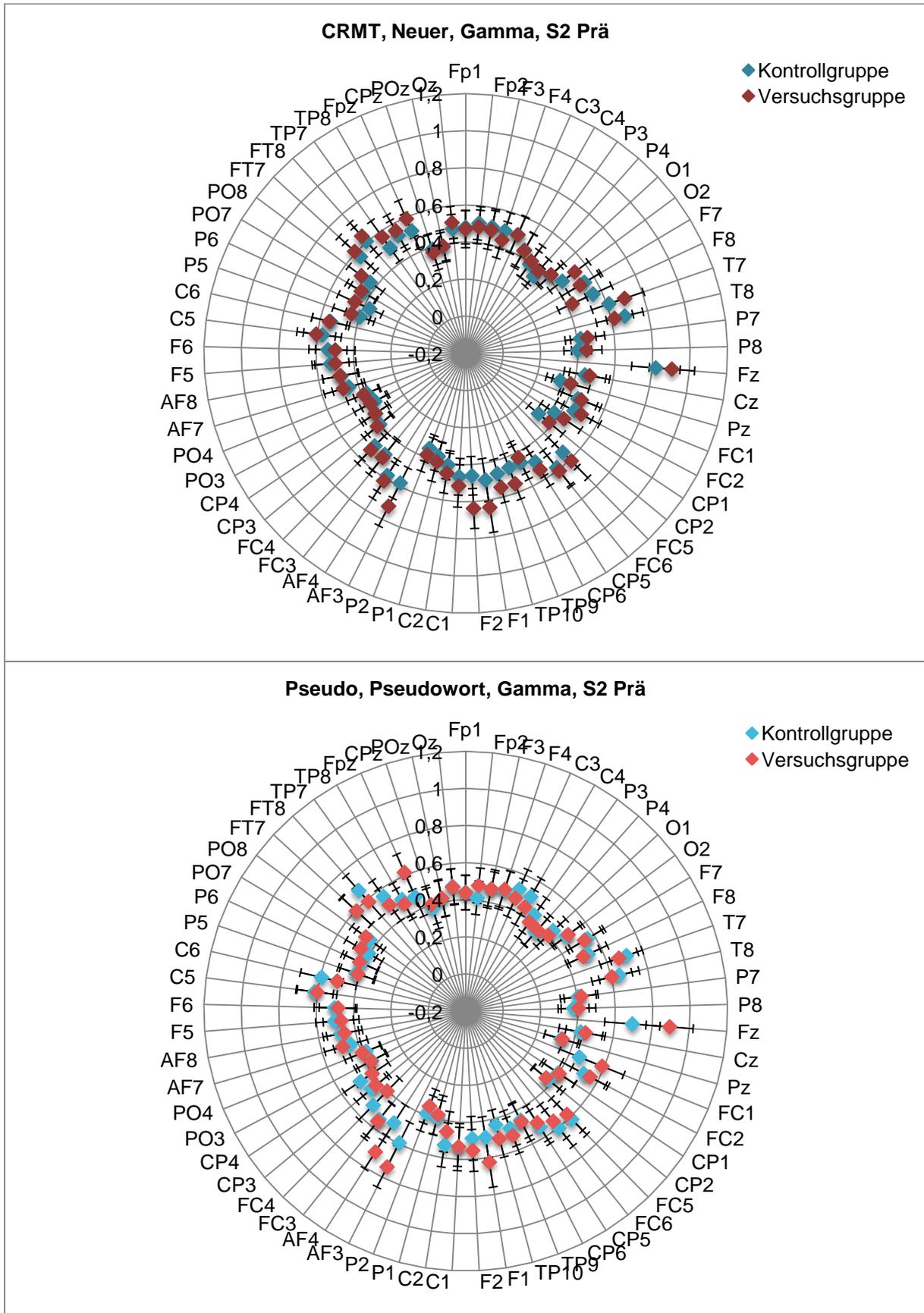


Abbildung 35. deskriptive Statistik (Gamma, S2 Prä). Werte sind in μV angegeben.

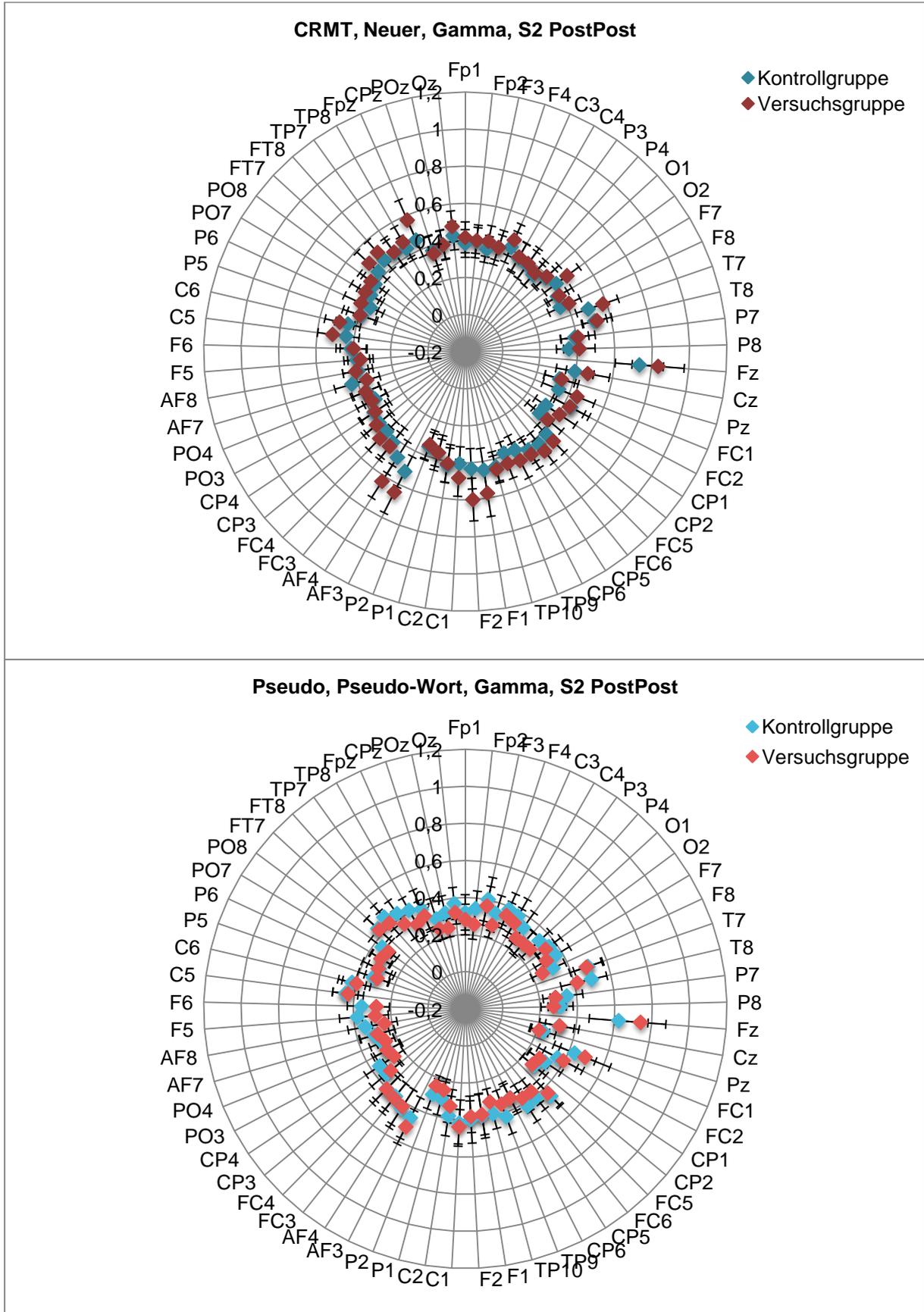


Abbildung 37. deskriptive Statistik (Gamma, S2 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

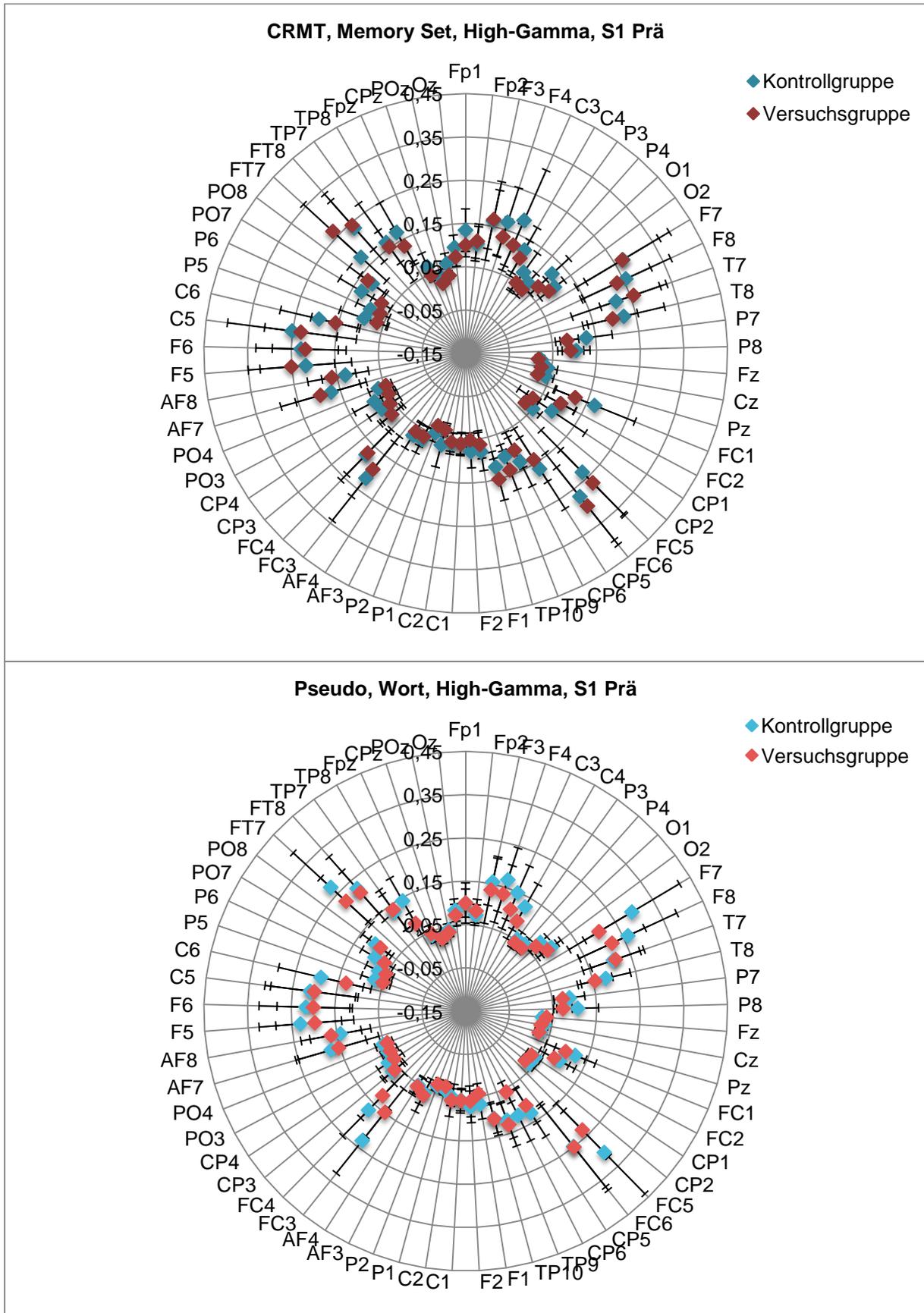


Abbildung 38. deskriptive Statistik (High-Gamma, S1 Prä). Werte sind in μV angegeben.

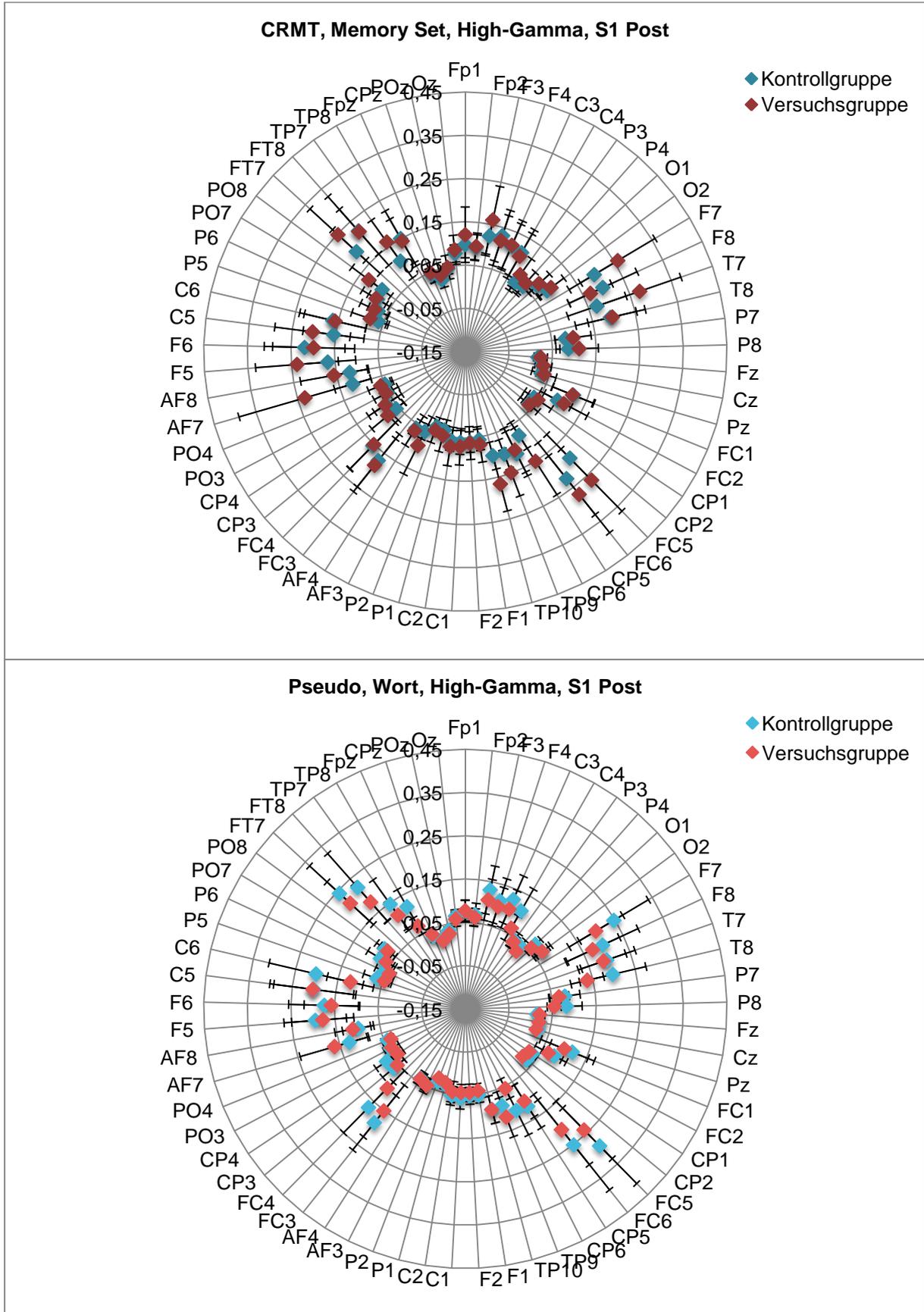


Abbildung 39. deskriptive Statistik (High-Gamma, S1 Post). Werte sind in μV angegeben.

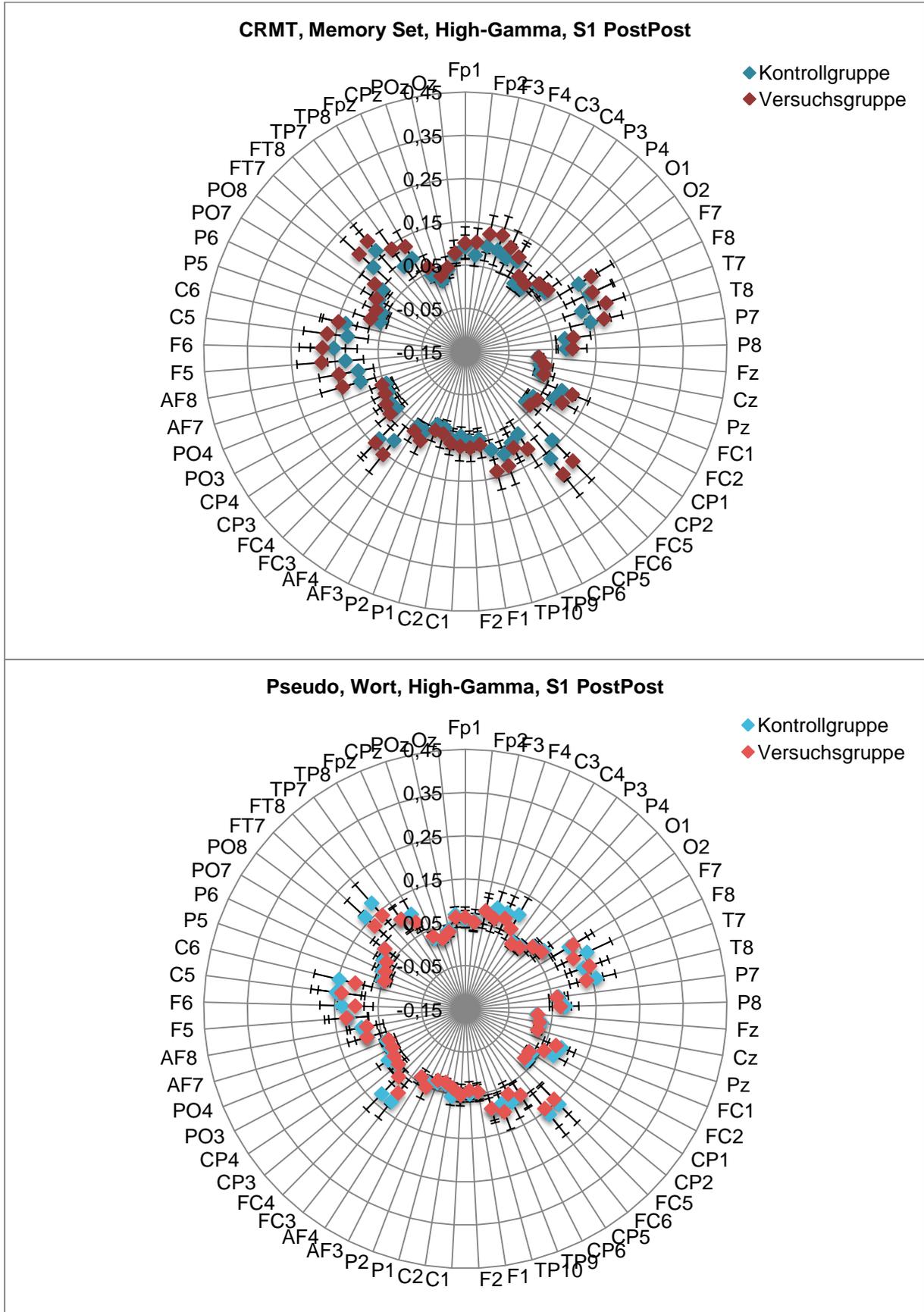


Abbildung 40. deskriptive Statistik (High-Gamma, S1 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

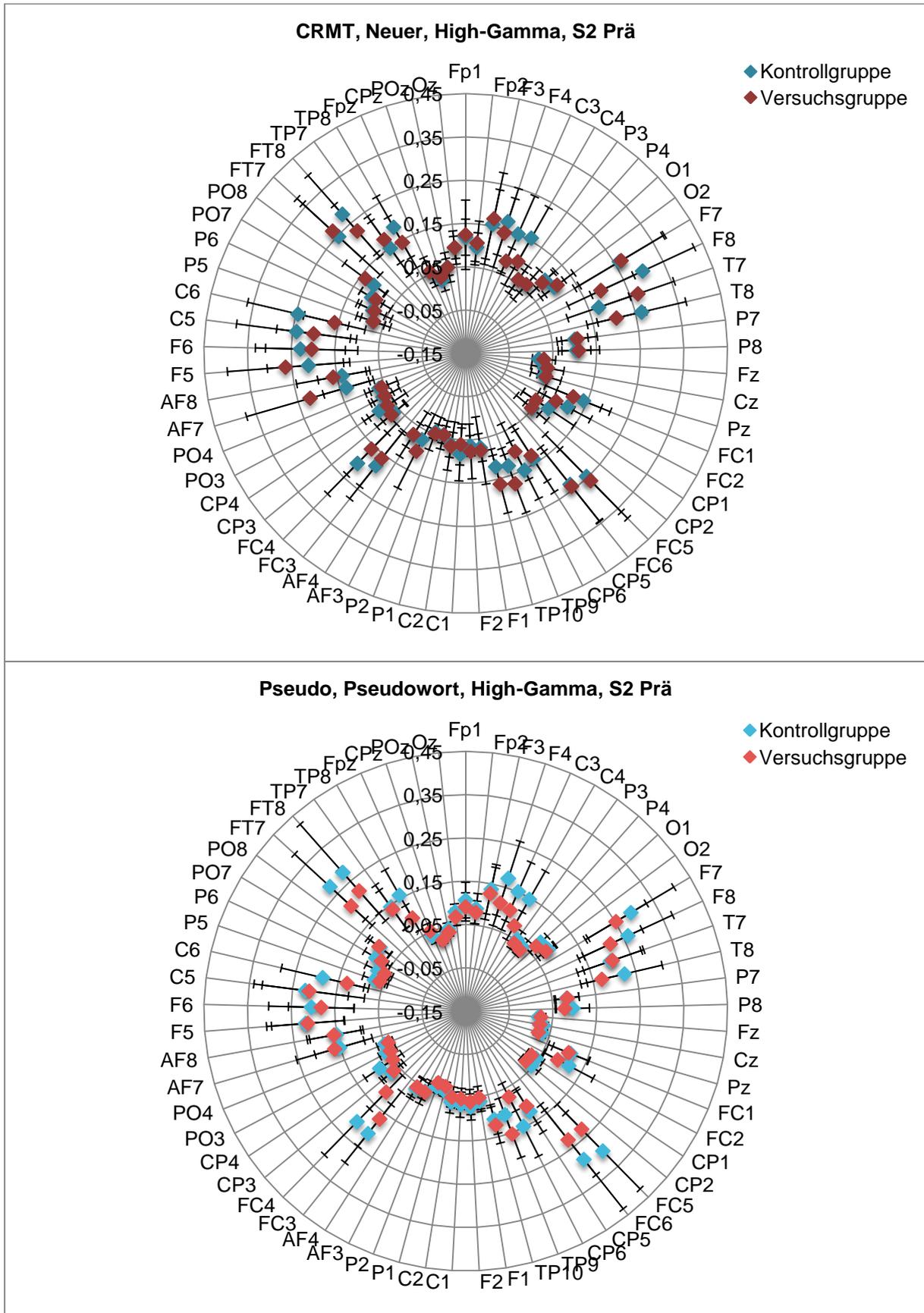


Abbildung 41. deskriptive Statistik (High-Gamma, S2 Prä). Werte sind in μV angegeben.

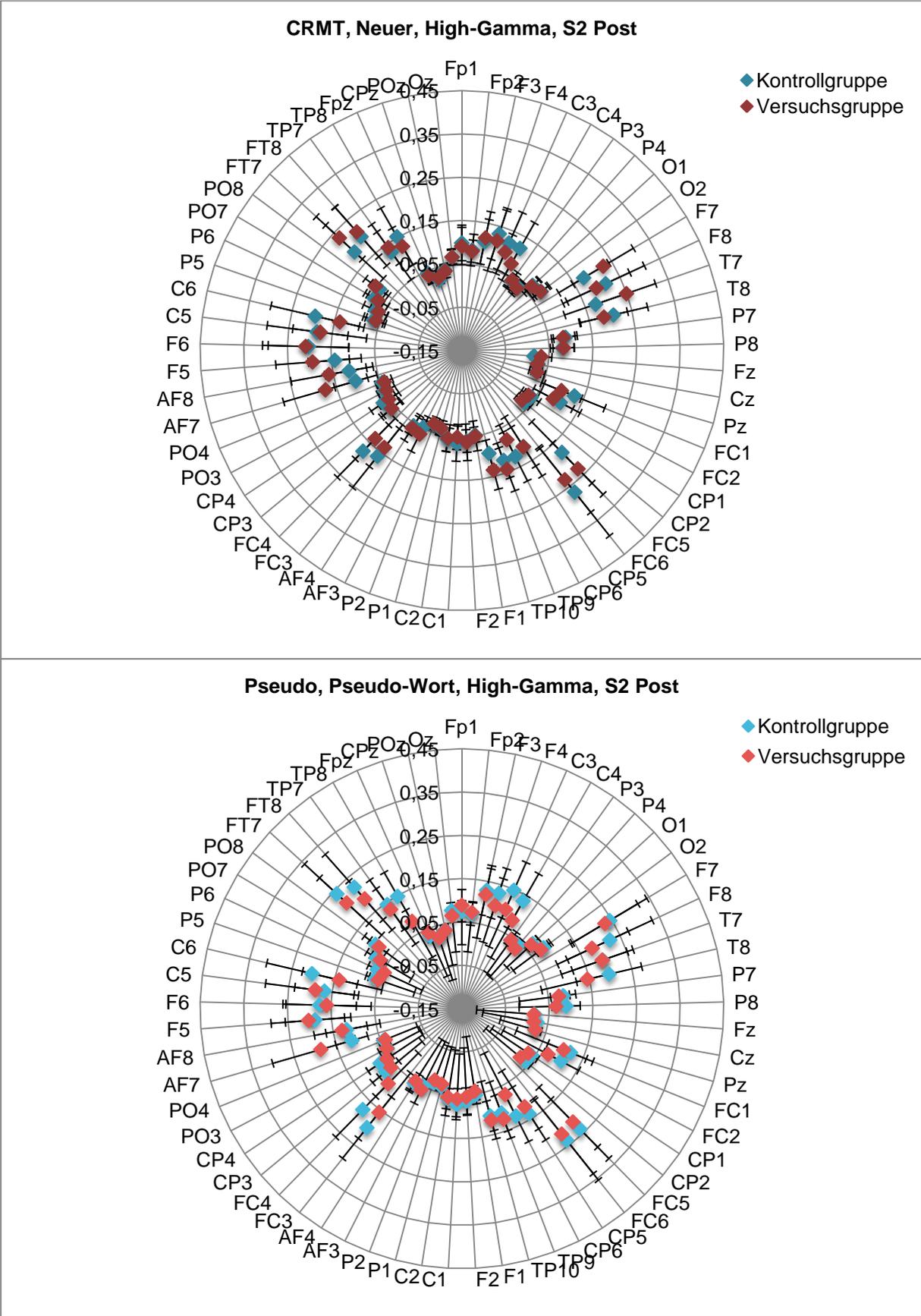


Abbildung 42. deskriptive Statistik (High-Gamma, S2 Post). Werte sind in µV angegeben.

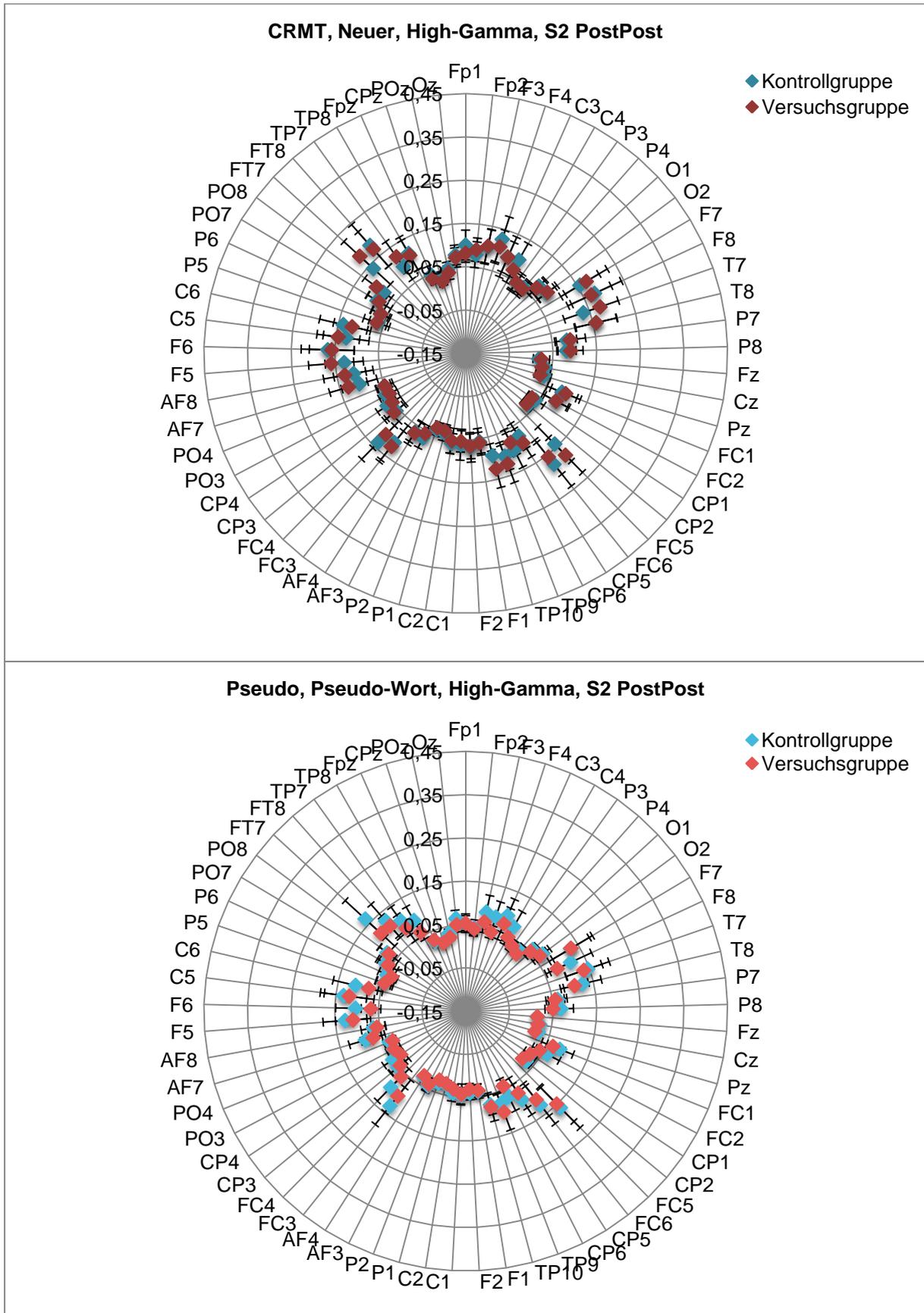


Abbildung 43. deskriptive Statistik (High-Gamma, S2 PostPost). Werte sind in μV angegeben.

Übersicht der Ergebnisse

CRMT (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 4. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	60	0.164	0.201	1.187	0.297	0.288
S1 Post	Memory	60	0.183	0.230	0.602	0.828	0.863
S1 PostPost	Memory	60	0.201	0.266	0.397	0.965	0.983
S2 Prä	Non Memory	60	0.184	0.232	0.541	0.876	0.909
S2 Post	Non Memory	60	0.197	0.252	0.518	0.902	0.933
S2 PostPost	Non Memory	60	0.163	0.207	1.374	0.190	0.170

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 5. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	60	0.118	0.137	1.044	0.399	0.402
S1 Post	Memory	60	0.126	0.149	0.775	0.618	0.638
S1 PostPost	Memory	60	0.117	0.138	0.515	0.824	0.851
S2 Prä	Non Memory	60	0.118	0.138	1.012	0.423	0.427
S2 Post	Non Memory	60	0.121	0.141	1.230	0.283	0.277
S2 PostPost	Non Memory	60	0.110	0.130	0.744	0.627	0.648

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 6. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	60	0.089	0.100	0.755	0.590	0.605
S1 Post	Memory	60	0.102	0.117	0.717	0.639	0.658
S1 PostPost	Memory	60	0.084	0.095	0.441	0.820	0.842
S2 Prä	Non Memory	60	0.096	0.109	0.685	0.656	0.675
S2 Post	Non Memory	60	0.103	0.117	0.784	0.586	0.602
S2 PostPost	Non Memory	60	0.115	0.137	0.923	0.488	0.499

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 7. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	60	0.146	0.175	1.046	0.402	0.403
S1 Post	Memory	60	0.192	0.243	0.760	0.687	0.719
S1 PostPost	Memory	60	0.135	0.164	0.385	0.930	0.951
S2 Prä	Non Memory	60	0.146	0.176	0.667	0.735	0.764
S2 Post	Non Memory	60	0.135	0.161	0.950	0.475	0.484
S2 PostPost	Non Memory	60	0.172	0.221	1.565	0.111	0.088

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 8. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	60	0.157	0.192	0.920	0.510	0.523
S1 Post	Memory	60	0.175	0.218	0.553	0.860	0.892
S1 PostPost	Memory	60	0.180	0.232	0.614	0.815	0.854
S2 Prä	Non Memory	60	0.151	0.183	0.520	0.861	0.890
S2 Post	Non Memory	60	0.178	0.222	0.614	0.812	0.847
S2 PostPost	Non Memory	60	0.165	0.209	0.964	0.473	0.484

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 9. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	60	0.064	0.070	1.148	0.334	0.335
S1 Post	Memory	60	0.081	0.091	0.940	0.454	0.461
S1 PostPost	Memory	60	0.077	0.087	1.111	0.354	0.355
S2 Prä	Non Memory	60	0.070	0.077	0.990	0.416	0.421
S2 Post	Non Memory	60	0.066	0.073	0.808	0.521	0.530
S2 PostPost	Non Memory	60	0.083	0.095	1.186	0.316	0.315

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Pseudo-Task (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 10. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	60	0.213	0.280	1.123	0.336	0.326
S1 Post	Wort	60	0.179	0.225	0.925	0.514	0.528
S1 PostPost	Wort	60	0.134	0.167	0.391	0.926	0.951
S2 Prä	Nicht Wort	60	0.194	0.250	1.403	0.162	0.138
S2 Post	Nicht Wort	60	0.225	0.302	0.853	0.607	0.638
S2 PostPost	Nicht Wort	60	0.171	0.227	1.043	0.406	0.407

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 11. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	60	0.107	0.123	1.453	0.189	0.178
S1 Post	Wort	60	0.144	0.174	0.653	0.745	0.775
S1 PostPost	Wort	60	0.092	0.107	0.742	0.605	0.626
S2 Prä	Nicht Wort	60	0.149	0.181	1.567	0.122	0.105
S2 Post	Nicht Wort	60	0.125	0.148	2.163	0.033*	0.024*
S2 PostPost	Nicht Wort	60	0.112	0.136	1.204	0.301	0.294

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 12. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E FH	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	60	0.093	0.106	1.326	0.242	0.248
S1 Post	Wort	60	0.128	0.152	1.748	0.088	0.075
S1 PostPost	Wort	60	0.077	0.088	0.971	0.432	0.439
S2 Prä	Nicht Wort	60	0.091	0.103	0.812	0.551	0.564
S2 Post	Nicht Wort	60	0.109	0.126	1.311	0.247	0.239
S2 PostPost	Nicht Wort	60	0.097	0.114	1.045	0.396	0.399

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 13. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	60	0.147	0.178	1.124	0.344	0.340
S1 Post	Wort	60	0.146	0.177	0.476	0.887	0.914
S1 PostPost	Wort	60	0.137	0.172	0.494	0.865	0.898
S2 Prä	Nicht Wort	60	0.163	0.203	0.734	0.690	0.721
S2 Post	Nicht Wort	60	0.163	0.201	2.124	0.022*	0.014*
S2 PostPost	Nicht Wort	60	0.168	0.221	1.543	0.121	0.096

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 14. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	60	0.192	0.246	1.789	0.049*	0.033*
S1 Post	Wort	60	0.202	0.262	1.780	0.047*	0.030*
S1 PostPost	Wort	60	0.178	0.238	0.749	0.688	0.728
S2 Prä	Nicht Wort	60	0.192	0.247	1.637	0.080	0.060
S2 Post	Nicht Wort	60	0.191	0.245	1.106	0.353	0.347
S2 PostPost	Nicht Wort	60	0.199	0.277	0.916	0.530	0.553

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 15. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (über alle Elektroden).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	60	0.054	0.059	0.660	0.591	0.602
S1 Post	Wort	60	0.067	0.073	0.645	0.631	0.646
S1 PostPost	Wort	60	0.083	0.095	0.687	0.633	0.654
S2 Prä	Nicht Wort	60	0.063	0.069	0.851	0.489	0.498
S2 Post	Nicht Wort	60	0.068	0.075	0.740	0.569	0.581
S2 PostPost	Nicht Wort	60	0.068	0.077	0.733	0.573	0.589

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

CRMT (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 16. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.860	0.909	1.279	0.283	0.283
S1 Post	Memory	3	0.888	0.941	1.533	0.212	0.210
S1 PostPost	Memory	3	0.845	0.898	1.669	0.183	0.181
S2 Prä	Non Memory	3	0.856	0.906	1.221	0.302	0.302
S2 Post	Non Memory	3	0.887	0.939	1.560	0.205	0.203
S2 PostPost	Non Memory	3	0.895	0.958	1.351	0.261	0.260

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 17. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.799	0.841	0.479	0.655	0.665
S1 Post	Memory	3	0.748	0.786	0.076	0.943	0.949
S1 PostPost	Memory	3	0.760	0.804	0.755	0.488	0.494
S2 Prä	Non Memory	3	0.795	0.838	0.595	0.581	0.590
S2 Post	Non Memory	3	0.697	0.730	0.577	0.571	0.578
S2 PostPost	Non Memory	3	0.856	0.915	0.525	0.638	0.650

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 18. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.781	0.821	2.058	0.123	0.120
S1 Post	Memory	3	0.889	0.941	1.152	0.327	0.328
S1 PostPost	Memory	3	0.764	0.807	0.745	0.494	0.500
S2 Prä	Non Memory	3	0.833	0.880	0.403	0.714	0.725
S2 Post	Non Memory	3	0.784	0.825	0.198	0.854	0.864
S2 PostPost	Non Memory	3	0.645	0.679	0.416	0.654	0.665

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 19. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.889	0.942	1.513	0.217	0.214
S1 Post	Memory	3	0.578	0.600	0.297	0.712	0.720
S1 PostPost	Memory	3	0.797	0.844	0.468	0.661	0.672
S2 Prä	Non Memory	3	0.840	0.887	0.032	0.985	0.988
S2 Post	Non Memory	3	0.832	0.878	0.912	0.422	0.426
S2 PostPost	Non Memory	3	0.814	0.867	0.432	0.690	0.703

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 20. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.796	0.838	2.034	0.125	0.122
S1 Post	Memory	3	0.840	0.887	2.010	0.125	0.121
S1 PostPost	Memory	3	0.787	0.834	0.966	0.395	0.398
S2 Prä	Non Memory	3	0.739	0.776	1.443	0.238	0.238
S2 Post	Non Memory	3	0.826	0.871	1.664	0.185	0.183
S2 PostPost	Non Memory	3	0.727	0.769	0.809	0.457	0.463

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 21. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.716	0.750	0.620	0.550	0.558
S1 Post	Memory	3	0.838	0.885	0.470	0.670	0.680
S1 PostPost	Memory	3	0.870	0.927	0.787	0.487	0.494
S2 Prä	Non Memory	3	0.850	0.899	0.650	0.560	0.568
S2 Post	Non Memory	3	0.653	0.682	0.826	0.438	0.442
S2 PostPost	Non Memory	3	0.919	0.986	0.142	0.923	0.933

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Pseudo-Task (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 22. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.903	0.957	0.367	0.757	0.768
S1 Post	Wort	3	0.848	0.895	1.420	0.242	0.241
S1 PostPost	Wort	3	0.771	0.820	1.529	0.218	0.216
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.892	0.945	2.104	0.108	0.105
S2 Post	Nicht Wort	3	0.861	0.909	0.434	0.700	0.711
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.842	0.899	1.007	0.382	0.385

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 23. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.952	1.000	0.991	0.395	0.398
S1 Post	Wort	3	0.827	0.872	1.336	0.266	0.265
S1 PostPost	Wort	3	0.787	0.837	1.176	0.316	0.318
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.816	0.860	1.189	0.312	0.313
S2 Post	Nicht Wort	3	0.918	0.973	1.692	0.174	0.171
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.872	0.934	0.992	0.390	0.394

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 24. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E FH	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.841	0.887	0.779	0.487	0.493
S1 Post	Wort	3	0.851	0.899	1.168	0.320	0.321
S1 PostPost	Wort	3	0.743	0.788	0.096	0.926	0.934
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.778	0.819	1.115	0.337	0.338
S2 Post	Nicht Wort	3	0.828	0.873	0.823	0.464	0.469
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.737	0.781	0.584	0.576	0.586

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 25. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.884	0.935	0.960	0.405	0.408
S1 Post	Wort	3	0.783	0.824	0.448	0.671	0.681
S1 PostPost	Wort	3	0.646	0.680	0.308	0.729	0.740
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.761	0.800	0.568	0.590	0.599
S2 Post	Nicht Wort	3	0.809	0.852	0.361	0.738	0.749
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.772	0.821	1.106	0.340	0.342

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 26. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.808	0.851	0.946	0.404	0.408
S1 Post	Wort	3	0.890	0.941	1.431	0.238	0.236
S1 PostPost	Wort	3	0.760	0.807	1.913	0.146	0.142
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.898	0.952	1.077	0.356	0.358
S2 Post	Nicht Wort	3	0.859	0.907	0.283	0.807	0.818
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.824	0.880	0.588	0.591	0.602

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 27. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: DLPFC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.718	0.752	1.743	0.176	0.174
S1 Post	Wort	3	0.484	0.499	0.832	0.405	0.408
S1 PostPost	Wort	3	0.732	0.776	0.885	0.424	0.429
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.612	0.638	0.506	0.588	0.596
S2 Post	Nicht Wort	3	0.535	0.554	0.472	0.583	0.589
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.570	0.569	0.593	0.529	0.536

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

CRMT (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 28. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.886	0.938	0.212	0.867	0.877
S1 Post	Memory	3	0.841	0.888	1.266	0.287	0.287
S1 PostPost	Memory	3	0.898	0.958	0.331	0.781	0.794
S2 Prä	Non Memory	3	0.862	0.912	0.891	0.434	0.439
S2 Post	Non Memory	3	0.833	0.880	0.699	0.529	0.536
S2 PostPost	Non Memory	3	0.928	0.996	1.349	0.261	0.260

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 29. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.818	0.862	0.480	0.658	0.668
S1 Post	Memory	3	0.894	0.947	0.812	0.477	0.483
S1 PostPost	Memory	3	0.768	0.812	0.116	0.915	0.923
S2 Prä	Non Memory	3	0.797	0.840	0.650	0.550	0.558
S2 Post	Non Memory	3	0.817	0.861	0.964	0.398	0.401
S2 PostPost	Non Memory	3	0.848	0.906	0.178	0.884	0.895

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 30. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.561	0.581	2.162	0.128	0.126
S1 Post	Memory	3	0.577	0.599	0.269	0.733	0.741
S1 PostPost	Memory	3	0.530	0.551	0.469	0.583	0.590
S2 Prä	Non Memory	3	0.704	0.737	0.635	0.540	0.547
S2 Post	Non Memory	3	0.700	0.732	0.215	0.817	0.827
S2 PostPost	Non Memory	3	0.605	0.634	0.545	0.565	0.573

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 31. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.861	0.910	1.799	0.157	0.154
S1 Post	Memory	3	0.665	0.695	0.648	0.525	0.531
S1 PostPost	Memory	3	0.755	0.798	0.162	0.875	0.885
S2 Prä	Non Memory	3	0.636	0.663	0.605	0.540	0.547
S2 Post	Non Memory	3	0.663	0.692	0.393	0.675	0.684
S2 PostPost	Non Memory	3	0.768	0.816	1.421	0.244	0.243

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 32. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.850	0.898	0.613	0.581	0.590
S1 Post	Memory	3	0.865	0.915	1.759	0.164	0.161
S1 PostPost	Memory	3	0.733	0.774	0.893	0.420	0.425
S2 Prä	Non Memory	3	0.853	0.902	1.624	0.192	0.190
S2 Post	Non Memory	3	0.799	0.842	0.900	0.424	0.428
S2 PostPost	Non Memory	3	0.807	0.860	1.979	0.132	0.129

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 33. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt
S1 Prä	Memory	3	0.607	0.632	0.613	0.528	0.535
S1 Post	Memory	3	0.510	0.527	0.801	0.422	0.425
S1 PostPost	Memory	3	0.767	0.811	0.611	0.567	0.575
S2 Prä	Non Memory	3	0.679	0.710	0.878	0.420	0.424
S2 Post	Non Memory	3	0.662	0.691	0.778	0.461	0.466
S2 PostPost	Non Memory	3	0.766	0.814	0.885	0.428	0.433

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Pseudo-Task (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 34. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.931	0.988	1.129	0.337	0.338
S1 Post	Wort	3	0.896	0.949	1.186	0.315	0.315
S1 PostPost	Wort	3	0.794	0.846	0.837	0.453	0.459
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.940	0.999	3.093	0.031*	0.028*
S2 Post	Nicht Wort	3	0.969	1.000	0.291	0.826	0.832
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.804	0.858	0.813	0.466	0.473

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 35. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.725	0.760	1.527	0.219	0.218
S1 Post	Wort	3	0.772	0.812	2.126	0.115	0.112
S1 PostPost	Wort	3	0.751	0.798	0.668	0.532	0.540
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.754	0.793	2.985	0.047*	0.044*
S2 Post	Nicht Wort	3	0.803	0.846	1.662	0.187	0.185
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.716	0.759	0.418	0.674	0.685

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 36. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E FH	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.552	0.572	1.423	0.245	0.245
S1 Post	Wort	3	0.687	0.719	1.268	0.285	0.286
S1 PostPost	Wort	3	0.525	0.548	0.697	0.468	0.474
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.575	0.598	0.397	0.643	0.650
S2 Post	Nicht Wort	3	0.722	0.757	3.695	0.024*	0.022*
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.528	0.551	0.130	0.830	0.839

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 37. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.793	0.836	1.997	0.130	0.127
S1 Post	Wort	3	0.855	0.904	0.694	0.535	0.543
S1 PostPost	Wort	3	0.861	0.923	0.644	0.565	0.576
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.753	0.791	0.428	0.677	0.687
S2 Post	Nicht Wort	3	0.951	1.000	1.816	0.148	0.145
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.850	0.910	0.411	0.713	0.727

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 38. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.875	0.926	1.581	0.201	0.198
S1 Post	Wort	3	0.872	0.922	3.070	0.036*	0.033*
S1 PostPost	Wort	3	0.821	0.877	0.569	0.603	0.614
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.851	0.900	4.395	0.008*	0.007*
S2 Post	Nicht Wort	3	0.903	0.957	1.634	0.188	0.185
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.803	0.856	0.983	0.389	0.393

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 39. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: DLPFC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	3	0.724	0.759	0.583	0.573	0.581
S1 Post	Wort	3	0.607	0.631	1.519	0.224	0.224
S1 PostPost	Wort	3	0.727	0.772	2.782	0.061	0.058
S2 Prä	Nicht Wort	3	0.596	0.620	2.453	0.096	0.094
S2 Post	Nicht Wort	3	0.583	0.605	2.329	0.109	0.107
S2 PostPost	Nicht Wort	3	0.789	0.841	1.424	0.243	0.242

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

CRMT (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 40. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.726	0.749	1.478	0.233	0.233
S1 Post	Memory	2	0.977	1.000	1.734	0.181	0.180
S1 PostPost	Memory	2	0.926	0.969	0.683	0.496	0.502
S2 Prä	Non Memory	2	0.836	0.867	0.970	0.369	0.372
S2 Post	Non Memory	2	0.815	0.844	0.053	0.920	0.925
S2 PostPost	Non Memory	2	0.889	0.931	0.391	0.653	0.663

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 41. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.661	0.678	0.076	0.849	0.855
S1 Post	Memory	2	0.852	0.884	1.115	0.324	0.326
S1 PostPost	Memory	2	0.715	0.739	1.375	0.254	0.255
S2 Prä	Non Memory	2	0.779	0.805	0.728	0.453	0.457
S2 Post	Non Memory	2	0.649	0.665	0.876	0.378	0.381
S2 PostPost	Non Memory	2	0.892	0.934	0.940	0.385	0.389

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 42. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.687	0.707	0.538	0.520	0.525
S1 Post	Memory	2	0.698	0.718	0.923	0.370	0.372
S1 PostPost	Memory	2	0.574	0.587	0.054	0.849	0.854
S2 Prä	Non Memory	2	0.674	0.693	0.005	0.977	0.979
S2 Post	Non Memory	2	0.715	0.737	0.185	0.756	0.763
S2 PostPost	Non Memory	2	0.703	0.728	0.876	0.387	0.390

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 43. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.900	0.936	0.704	0.482	0.488
S1 Post	Memory	2	0.987	1.000	1.072	0.344	0.345
S1 PostPost	Memory	2	0.815	0.848	0.609	0.514	0.520
S2 Prä	Non Memory	2	0.882	0.917	1.051	0.346	0.348
S2 Post	Non Memory	2	0.978	1.000	0.396	0.669	0.674
S2 PostPost	Non Memory	2	0.799	0.832	0.041	0.931	0.937

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 44. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.719	0.741	0.253	0.702	0.709
S1 Post	Memory	2	0.789	0.817	0.933	0.377	0.380
S1 PostPost	Memory	2	0.874	0.913	0.405	0.640	0.649
S2 Prä	Non Memory	2	0.746	0.770	0.326	0.658	0.665
S2 Post	Non Memory	2	0.762	0.787	0.182	0.773	0.781
S2 PostPost	Non Memory	2	0.891	0.933	0.378	0.662	0.672

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 45. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.573	0.585	0.959	0.343	0.344
S1 Post	Memory	2	0.619	0.633	2.395	0.119	0.118
S1 PostPost	Memory	2	0.632	0.650	3.908	0.042*	0.041*
S2 Prä	Non Memory	2	0.567	0.678	0.593	0.464	0.467
S2 Post	Non Memory	2	0.545	0.555	0.281	0.618	0.622
S2 PostPost	Non Memory	2	0.639	0.658	2.122	0.144	0.143

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Pseudo-Task (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 46. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.824	0.853	0.232	0.750	0.758
S1 Post	Wort	2	0.766	0.791	2.148	0.134	0.132
S1 PostPost	Wort	2	0.773	0.805	0.046	0.919	0.925
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.970	1.000	1.442	0.240	0.240
S2 Post	Nicht Wort	2	0.958	0.998	0.548	0.572	0.579
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.869	0.909	1.706	0.191	0.189

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 47. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.710	0.731	0.635	0.480	0.484
S1 Post	Wort	2	0.735	0.757	0.693	0.460	0.464
S1 PostPost	Wort	2	0.729	0.756	0.824	0.408	0.412
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.882	0.917	1.102	0.330	0.331
S2 Post	Nicht Wort	2	0.851	0.882	1.752	0.183	0.182
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.867	0.908	0.495	0.585	0.593

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 48. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E FH	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.664	0.681	0.051	0.885	0.890
S1 Post	Wort	2	0.783	0.809	0.221	0.747	0.755
S1 PostPost	Wort	2	0.722	0.749	0.455	0.572	0.579
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.664	0.681	0.725	0.434	0.437
S2 Post	Nicht Wort	2	0.755	0.780	0.795	0.423	0.426
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.682	0.706	0.245	0.696	0.704

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 49. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.885	0.919	0.643	0.509	0.515
S1 Post	Wort	2	0.938	0.976	2.218	0.116	0.114
S1 PostPost	Wort	2	0.865	0.905	0.327	0.690	0.700
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.888	0.923	3.185	0.051	0.049*
S2 Post	Nicht Wort	2	0.984	1.000	1.146	0.320	0.321
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.824	0.860	0.311	0.691	0.700

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 50. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.794	0.821	0.501	0.565	0.571
S1 Post	Wort	2	0.842	0.873	4.162	0.024*	0.022*
S1 PostPost	Wort	2	0.738	0.766	0.710	0.454	0.459
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.795	0.822	1.190	0.300	0.301
S2 Post	Nicht Wort	2	0.810	0.838	2.322	0.113	0.112
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.870	0.911	1.666	0.197	0.196

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 51. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: ITC links).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.549	0.559	0.038	0.867	0.871
S1 Post	Wort	2	0.550	0.560	0.265	0.631	0.635
S1 PostPost	Wort	2	0.634	0.653	0.155	0.755	0.762
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.570	0.582	0.176	0.709	0.714
S2 Post	Nicht Wort	2	0.533	0.543	0.462	0.511	0.514
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.560	0.573	0.539	0.485	0.489

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

CRMT (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 52. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.804	0.833	0.055	0.914	0.920
S1 Post	Memory	2	0.816	0.845	1.152	0.311	0.313
S1 PostPost	Memory	2	0.913	0.954	0.066	0.923	0.929
S2 Prä	Non Memory	2	0.823	0.854	0.455	0.598	0.605
S2 Post	Non Memory	2	0.951	0.992	0.334	0.706	0.715
S2 PostPost	Non Memory	2	0.747	0.775	1.233	0.288	0.289

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 53. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.768	0.794	1.304	0.271	0.272
S1 Post	Memory	2	0.878	0.913	0.988	0.366	0.369
S1 PostPost	Memory	2	0.910	0.951	0.663	0.504	0.510
S2 Prä	Non Memory	2	0.876	0.911	0.727	0.468	0.473
S2 Post	Non Memory	2	0.868	0.902	0.179	0.806	0.814
S2 PostPost	Non Memory	2	0.695	0.719	1.025	0.339	0.342

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 54. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.828	0.859	0.349	0.666	0.673
S1 Post	Memory	2	0.724	0.746	0.446	0.578	0.584
S1 PostPost	Memory	2	0.689	0.711	0.751	0.429	0.433
S2 Prä	Non Memory	2	0.753	0.778	0.488	0.562	0.568
S2 Post	Non Memory	2	0.666	0.684	0.409	0.582	0.588
S2 PostPost	Non Memory	2	0.809	0.844	0.337	0.669	0.678

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 55. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.813	0.842	0.124	0.843	0.850
S1 Post	Memory	2	0.739	0.762	1.183	0.299	0.300
S1 PostPost	Memory	2	0.972	1.000	0.158	0.848	0.854
S2 Prä	Non Memory	2	0.806	0.835	1.289	0.276	0.276
S2 Post	Non Memory	2	0.806	0.835	0.428	0.610	0.617
S2 PostPost	Non Memory	2	0.691	0.714	0.900	0.377	0.380

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 56. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.773	0.799	0.003	0.990	0.991
S1 Post	Memory	2	0.841	0.872	0.206	0.776	0.785
S1 PostPost	Memory	2	0.940	0.984	1.042	0.352	0.355
S2 Prä	Non Memory	2	0.800	0.829	0.270	0.714	0.722
S2 Post	Non Memory	2	0.902	0.938	0.679	0.495	0.500
S2 PostPost	Non Memory	2	0.900	0.943	0.467	0.608	0.617

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 57. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Memory	2	0.590	0.603	0.854	0.376	0.378
S1 Post	Memory	2	0.612	0.627	0.951	0.350	0.352
S1 PostPost	Memory	2	0.712	0.736	0.589	0.502	0.507
S2 Prä	Non Memory	2	0.610	0.624	1.540	0.221	0.221
S2 Post	Non Memory	2	0.554	0.565	0.666	0.432	0.434
S2 PostPost	Non Memory	2	0.592	0.608	0.882	0.368	0.371

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Pseudo-Task (Vergleich Kontrollgruppe vs. Versuchsgruppe)

Tabelle 58. Delta-Frequenz 0,5 - 4 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.940	0.980	2.983	0.057	0.055
S1 Post	Wort	2	0.801	0.829	0.432	0.606	0.613
S1 PostPost	Wort	2	0.735	0.763	0.118	0.826	0.835
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.802	0.830	1.109	0.323	0.325
S2 Post	Nicht Wort	2	0.779	0.805	0.314	0.676	0.684
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.793	0.826	3.338	0.051	0.049*

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 59. Theta-Frequenz 4 - 8 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.674	0.692	0.211	0.720	0.726
S1 Post	Wort	2	0.733	0.755	0.056	0.896	0.902
S1 PostPost	Wort	2	0.763	0.793	1.182	0.302	0.303
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.692	0.712	0.331	0.638	0.644
S2 Post	Nicht Wort	2	0.765	0.791	0.405	0.613	0.620
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.797	0.831	0.547	0.541	0.548

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 60. Alpha-Frequenz 8 - 13 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E FH	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.756	0.780	0.931	0.374	0.377
S1 Post	Wort	2	0.782	0.809	3.761	0.036*	0.035*
S1 PostPost	Wort	2	0.905	0.950	0.565	0.553	0.562
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.642	0.658	0.825	0.394	0.397
S2 Post	Nicht Wort	2	0.913	0.950	4.811	0.012*	0.011*
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.672	0.695	0.153	0.771	0.779

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 61. Beta-Frequenz 13 - 30 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.841	0.872	1.815	0.173	0.172
S1 Post	Wort	2	0.858	0.890	0.432	0.620	0.627
S1 PostPost	Wort	2	0.825	0.861	0.166	0.806	0.815
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.676	0.695	0.110	0.815	0.821
S2 Post	Nicht Wort	2	0.888	0.924	2.454	0.096	0.094
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.829	0.866	1.263	0.283	0.284

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 62. Gamma-Frequenz 30 - 100 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.841	0.873	2.578	0.080	0.089
S1 Post	Wort	2	0.855	0.887	1.310	0.271	0.272
S1 PostPost	Wort	2	0.743	0.771	0.279	0.691	0.699
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.779	0.806	1.999	0.151	0.149
S2 Post	Nicht Wort	2	0.803	0.831	0.800	0.427	0.431
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.867	0.907	1.640	0.202	0.201

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 63. High-Gamma-Frequenz 100 - 200 Hz (ROI: ITC rechts).

Segment	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
S1 Prä	Wort	2	0.724	0.746	1.302	0.270	0.271
S1 Post	Wort	2	0.778	0.804	2.278	0.120	0.118
S1 PostPost	Wort	2	0.691	0.715	0.681	0.457	0.462
S2 Prä	Nicht Wort	2	0.637	0.653	2.562	0.105	0.104
S2 Post	Nicht Wort	2	0.583	0.595	2.289	0.130	0.130
S2 PostPost	Nicht Wort	2	0.757	0.787	1.475	0.235	0.235

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Vergleich der Segmente Prä vs. Post vs. PostPost

Tabelle 64. Vergleich der Segmente beim CRMT.

Frequenz	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt
Delta	S1	60	0.207	0.226	0.960	0.520	0.524
Delta	S2	60	0.207	0.226	0.943	0.544	0.549
Theta	S1	60	0.135	0.143	0.839	0.643	0.650
Theta	S2	60	0.130	0.138	0.840	0.637	0.644
Alpha	S1	60	0.107	0.113	1.015	0.434	0.435
Alpha	S2	60	0.115	0.122	1.490	0.109	0.103
Beta	S1	60	0.177	0.191	2.199	0.001*	0.001*
Beta	S2	60	0.181	0.196	1.475	0.073	0.066
Gamma	S1	60	0.184	0.199	0.676	0.867	0.878
Gamma	S2	60	0.179	0.194	0.986	0.479	0.481
High-Gamma	S1	60	0.076	0.080	1.112	0.351	0.351
High-Gamma	S2	60	0.074	0.077	1.188	0.300	0.298

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Tabelle 65. Vergleich der Segmente beim Pseudo-Task.

Frequenz	Stimulus	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt
Delta	S1	60	0.204	0.224	1.332	0.127	0.118
Delta	S2	60	0.238	0.265	1.376	0.089	0.079
Theta	S1	60	0.133	0.142	1.308	0.184	0.178
Theta	S2	60	0.143	0.153	1.828	0.020*	0.017*
Alpha	S1	60	0.106	0.112	1.335	0.188	0.183
Alpha	S2	60	0.108	0.114	1.161	0.304	0.301
Beta	S1	60	0.173	0.188	1.694	0.026*	0.022*
Beta	S2	60	0.189	0.207	1.264	0.181	0.173
Gamma	S1	60	0.208	0.228	0.875	0.642	0.651
Gamma	S2	60	0.211	0.232	0.573	0.956	0.964
High-Gamma	S1	60	0.067	0.069	1.485	0.159	0.156
High-Gamma	S2	60	0.070	0.073	1.829	0.065	0.062

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

Vergleich der Stimuli für den CRMT und für den Pseudo-Task

Tabelle 66. Vergleich Memory (S1) vs. Nonmemory (S2) beim CRMT und Wort (S1) vs. Nicht Wort (S2) beim Pseudo-Task.

Task	Frequenz	DF	E GG	E HF	F-Wert	Greenhouse -Geisser	Huynh- Feldt
CRMT	Delta	60	0.217	0.226	0.485	0.934	0.939
PSEUDO	Delta	60	0.229	0.240	0.618	0.850	0.857
CRMT	Theta	60	0.138	0.142	1.228	0.277	0.276
PSEUDO	Theta	60	0.141	0.146	0.713	0.689	0.693
CRMT	Alpha	60	0.115	0.118	0.567	0.781	0.785
PSEUDO	Alpha	60	0.109	0.112	1.396	0.207	0.206
CRMT	Beta	60	0.183	0.190	0.543	0.875	0.880
PSEUDO	Beta	60	0.188	0.195	0.591	0.842	0.848
CRMT	Gamma	60	0.183	0.190	0.212	0.997	0.997
PSEUDO	Gamma	60	0.213	0.222	0.190	0.999	0.999
CRMT	High-Gamma	60	0.075	0.076	0.210	0.947	0.949
PSEUDO	High-Gamma	60	0.068	0.069	0.123	0.975	0.977

Anmerkung: * $p < 0.05$, DF = Freiheitsgrade, E GG = Epsilon Greenhouse-Geisser, E HF = Epsilon Huynh-Feldt.

10/2007 – 11/2007	CV Films, 14171 Berlin Regieassistentz Organisatorisches
05/2007 – 09/2007	FAB Fernsehen aus Berlin, 10787 Berlin Technik- und Redaktionspraktikant Kameraassistentz, Produktionsassistentz und Redakteurstätigkeiten

Berufserfahrungen

seit Oktober 2013	Strike Bowling GmbH, 1020 Wien Counter-Mitarbeiter Schichtleitung und Bürotätigkeiten
03/2012-09/2013	Kima Cinemas, 1210 Wien Servicemitarbeiter Buffet
seit Oktober 2010	ÖJAB Studentenwohnheim Donauefeld, 1210 Wien Ehrenamtlicher Mitarbeiter Journal- und Bürodienste
07/2010 – 08/2011	Kima Cinemas, 1210 Wien Servicemitarbeiter Buffet
08/2006 – 05/2007	Caritas-Seniorenheim, 13053 Berlin Zivildienst

Sprachkenntnisse

Deutsch	fließend, Muttersprache
Englisch	sicher in Wort und Schrift
Latein	Latinum