Universität zu Lübeck
Sektion Medizin
Aus der Klinik für Neurologie, AG: Kognitive Neurologie

Die medio-frontale Negativierung als elektrophysiologisches Korrelat der Inhibition von Tabuwörtern – eine EKP Studie

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck

- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von
Carolin Gottschlich
aus Mannheim

Lübeck 2021

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Marcus Heldmann
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Klaus Junghanns
Tag der mündlichen Prüfung: 02.12.2022
Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 02.12.2022
Promotionskommission der Sektion Medizin

Inhaltsverzeichnis

I Abkürzungsverzeichnis .....

1) Einleitung.....1
1.1 Allgemeines.....1
1.2 Hintergründe.....6
1.2.1 SLIP-Paradigma.....6
1.2.2 Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale.....8

2) Forschungsstand.....16
2.1 Magnetresonanztomographie.....16
2.2 Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale.....20

3) Material & Methoden.....24
3.1 Probanden.....24
3.2 Über das Paradigma 25
3.3 Datenerfassung.....28
3.4 Auswertung 29
3.4.1 Behaviorale Daten.....29
3.4.2 Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale.....29

4) Ergebnisse 32
4.1 Spoonerismen.....32
4.2 EKP Daten.....32

5) Diskussion.....37

6) Zusammenfassung.....43

7) Literaturangaben.....45

8) Anhang 52
8.1 Ethikvotum.....52
8.2 Wortlisten.....53

9) Danksagung.....58

10) Lebenslauf.....59

I Abkürzungsverzeichnis

ACC	Anteriorer Cingulärer Cortex
ANOVA	Analysis of Variance/Varianzanalyse
CBBM	Center of Brain, Behavior and Metabolism
dACC	dorsaler Anteriorer Cingulärer Cortex
EDA	Elektrodermale Aktivität
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorreliertes Potential
EPSP	Exzitatorisches postsynaptisches Potential
ERN	Error-related Negativity
Gfi	Gyrus frontalis inferior
ICA	Independent Component Analysis
IPSP	Inhibitorisches postsynaptisches Potential
MFN	medio-frontale Negativierung
MRT	Magnetresonanztomographie
PWI-Task	Picture Word Interference-Task
rACC	rostraler Anteriorer Cingulärer Cortex
SLIP	Spoonerisms of Laboratory Induced Predisposition

1) Einleitung

1.1 Allgemeines

Sprechen, die „hörbare Form der Kommunikation“ (Bear et al., 2018b, S.742), ist für den Menschen ein einfacher und müheloser Prozess: Lediglich einen Fehler, im Folgenden auch Versprecher genannt, pro eintausend Wörter macht ein Mensch im Durchschnitt (Levelt, 1989). Trotz der vielen Distraktoren in der Umwelt wird Sprache demnach akkurat und fast fehlerfrei gebildet. Sprache wird in einem sozialen Kontext und als etwas Natürliches erlernt, denn auch Kinder lernen in einem sprechenden Umfeld das Sprechen und Sprachverständnis ohne bestimmtes Training (Bear et al., 2018b).

Versprecher scheinen dann durch zwei oder mehr miteinander konkurrierenden Sprechplänen hervorgerufen zu werden, wenn diese gleichzeitig aktiviert wurden und der fehlerhafte Sprechplan von der Person nicht mehr rechtzeitig inhibiert werden kann (Möller et al., 2007). Die auf Levelt (1983) zurückgehende „perceptual loop theory“ bietet einen Erklärungsansatz für die Seltenheit von Sprechfehlern, welcher auf einem Prinzip von dauerhafter Selbstüberwachung, also einem konstanten Sich-Selbst-Zuhören, fußt. Er gliedert das internale Sprach-Reparierungsprogramm des Menschen in drei Phasen: Die erste Phase beinhaltet die Selbstkontrolle und die Unterbrechung einer Formulierung, falls ein Fehler detektiert wird. In der zweiten Phase verzögert sich das weitere Formulieren durch die Verwendung von Füllwörtern (beispielsweise „äh“). In der dritten Phase findet schließlich die Reparatur beziehungsweise die Korrektur des Fehlers statt. Der Mensch scheint demnach die Korrektheit seines Sprechens kontinuierlich internal zu prüfen und zu verbessern (Levelt, 1983; Hartsuiker & Kolk, 2001). Auch andere Autoren widmen sich der Thematik solch einer präartikulatorischen Repräsentation von Sprechplänen (Oomen et al., 2001). Nozari et al. (2012) diskutieren jedoch zwei Probleme der „perceptual loop theory“: Zum einen bleibt unklar, ob die Fehlerfindung abhängig von dem allgemeinen Sprachverständnis der Person ist und zum anderen bleibt die Frage offen, ob Sprechpläne auch noch internal korrigiert werden können, während sie schon gleichzeitig offen ausgesprochen werden.

Neuere Studien widmen sich mittels moderner Messmethoden wie dem

Elektroenzephalogramm (EEG) oder bildgebenden Verfahren wie der Magnetresonanztomographie (MRT) jenen neuronalen Strukturen, denen eine Beteiligung bei kognitiven Konflikten zugesprochen werden kann.

So gewinnt zum Beispiel der medio-frontal gelegene Anteriore Cinguläre Cortex (ACC), ein Teil des Gyrus cinguli, immer mehr an Bedeutung in seiner Aufgabe als Schaltzentrale für Konfliktsituationen. Rolls (2019) sieht in dem ACC ein System „that aims to obtain goals and takes into account the outcomes received after actions in that it is sensitive to devaluation of the goal and will not select an action if the goal has been devalued“ (S. 25). Der ACC scheint durch seine Aktivität einen Einfluss auf die kognitive Kontrolle eines Menschen auszuüben (siehe Kapitel 2.1). Ebenso zeigt dieses Hirnareal in generellen, konfliktbehafteten Situationen eine erhöhte Aktivität (Botnivik et al., 2001). Auch der Konflikt zwischen intendiertem Sprechplan und ausgeführtem Sprechplan zählt zu solchen konfliktbehafteten Situationen, weshalb eine Involvierung des ACC in dem Zusammenhang mit Sprache, Versprechern und ihrer Inhibition wahrscheinlich ist (siehe dazu auch Kapitel 2.2).

Sprache ist ein sozial gelernter Prozess und wird auch immer im Rahmen eines sozialen Kontexts durch andere bewertet. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines akkuraten Verbalisierens durch die Inhibition von Versprechern. Die Autoren Severens et al. (2011) nehmen in ihrer Studie Bezug auf José Zapatero, den ehemaligen, spanischen Ministerpräsidenten. Er versprach sich in einer Pressekonferenz von 2011 und vermischte die Wörter „favorecer” (begünstigen) und „apoyar” (unterstützen) zu dem Wort “follar”, einem vulgären Ausdruck für Geschlechtsverkehr. Dieses Beispiel unterstreicht nicht nur die Wichtigkeit eines adäquaten Ausdrückens und die notwendige Inhibition von Versprechern, sondern vor allem auch die Wichtigkeit der Inhibition des unerwünschten Aussprechens von sogenannten Tabuwörtern in bestimmten sozialen Situationen.

Ein Tabu ist ein „ungeschriebenes Gesetz, das aufgrund bestimmter Anschauungen innerhalb einer Gesellschaft verbietet, bestimmte Dinge zu tun“ (Dudenredaktion, o. J., Abrufdatum 06.09.2021). Demnach sind in einem sozialen Kontext Tabuwörter „verbotene“ Wörter, wie zum Beispiel Schimpfwörter oder fluchende Ausdrücke. Der Gebrauch dieser Art von Wörtern ist ein kulturübergreifendes Phänomen: Tabuwörter kommen in jeder Sprache und jeder Kultur vor (Hansen et al., 2019; Sulpizio et al., 2019) und nehmen, meist

unabhängig von der Sprache und Kultur, häufig Bezug auf Körperteile, vor allem Genitalien, Exkremente und Sex (Hansen et al., 2019). Aber wie wird ein Wort zu einem Tabuwort? Diese Frage stellen sich auch Reilly et al. (2020) und sehen die Schwierigkeit einer allgemeingültigen Definition in der Ursache-Wirkung-Beziehung: Einerseits bewirkt ein Tabuwort eine gewisse Erregtheit (auch *Arousal* genannt) durch eine negative Bedeutung, andererseits erlangt ein Wort erst durch ein hohes Arousal eine negative Bedeutung. Im sozialen Kontext ist die Verwendung von Tabuwörtern unerwünscht und wird von anderen Menschen, zum Beispiel Eltern, häufig auf eine Weise „bestraft“ (Jay et al., 2006; Thomash & Reed, 2013). Den wohl ältesten Erklärungsansatz dieses Phänomens einer Konditionierung beschrieb B. F. Skinner, denn „if a given response is followed by an aversive stimulus, any stimulation which accompanies the response, whether it arises from the behavior itself or from concurrent circumstances, will be conditioned“ (Skinner, 1953, S. 188). Besonders das (unerwünschte) Aussprechen von Tabuwörtern zieht negative, emotionale Wirkungen mit sich, und zwar sowohl für den Sprechenden, als auch für den Hörenden, was sich zum Beispiel durch Scham äußert oder in einer Reaktion nach einer Beleidigung (Hansen et al., 2019). Die Hautleitfähigkeit, ein physiologischer Parameter, der mit der sympathischen Aktivität und somit mit dem autonomen Arousal einer Person korreliert (Liberzon, 2000; Harris et al., 2003) ist, steigt bei dem Aussprechen von Tabuwörtern signifikant an (Motley et al., 1981; Harris et al., 2003). Eine Notwendigkeit der Inhibierung von Tabuwörtern wird ebenso durch Studienergebnisse bestärkt, die zeigen, dass Probanden weniger Sprechfehler bei Tabuwörtern machen als bei neutralen Wörtern (Motley et al., 1981; Dhooge & Hartsuiker, 2011).

Das sonst für den Menschen leichte, meist fehlerfreie Sprechen wird im Zusammenhang mit Tabuwörtern scheinbar jedoch nochmals bedachter und langsamer werden (Motley et al., 1981; Siegrist, 1995; Dhooge & Hartsuiker, 2011). Dies verdeutlicht beispielsweise eine Studie von Siegrist (1995). Hier führten die Probanden eine *Stroop-Aufgabe* durch. Ein klassisches Beispiel ist die Aufgabe, die Tintenfarbe eines Wortes zu benennen. Wenn das Wort **BLAU** visuell dargeboten wird, aber in der zu benennenden Tintenfarbe **grün** geschrieben ist, kommt es bei den Probanden zu einer Inkongruenz zwischen dem visuell dargebotenen und laut auszusprechenden Wort. Die Ergebnisse von Siegrist

(1995) zeigen verlängerte Antwortzeiten der zu benennenden Farbe eines Wortes in Trials mit Tabuwörtern im Vergleich zu Trials mit neutralen Wörtern. Auch bei Dhooge & Hartsuiker (2011) kam es in einer Picture-Word-Interference Task (PWI-Task) bei Trials mit Tabuwörtern als Distraktoren zu längeren Antwortzeiten als bei Trials mit neutralen Wörtern als Distraktoren.

Es kann festgehalten werden, dass Versprecher selten passieren (Levelt, 1989) und eben noch seltener, wenn es sich um Tabuwörter handelt (Motley et al., 1981; Siegrist, 1995; Dhooge & Hartsuiker, 2011). Das Gehirn scheint Mechanismen zu bieten, vor allem das Aussprechen von sozial unerwünschten Wörtern zu inhibieren. Ist dieser Mechanismus auf irgendeine Art und Weise beeinträchtigt (beispielsweise situativ nach Alkoholkonsum oder konstitutionell bei neurologischen Krankheiten), kann es zu einem unwillkürlichen Aussprechen von Wörtern kommen, wie beispielsweise bei aphasischen Patienten oder auch bei der Koprolalie im Rahmen eines Tourette-Syndroms (Hansen et al., 2019).

Um jedoch die Pathologien des Kranken zu verstehen, muss zunächst die Physiologie des Gesunden untersucht werden – darauf zielt die vorliegende Arbeit ab. Welche Hirnareale sind mit einer Unterdrückung von bestimmten Wörtern assoziiert? Wie reagiert der Körper physiologisch auf Versprecher? Welche Aktivitätsveränderungen lassen sich bei der Inhibition von unerwünschten Versprechern, speziell Tabuwörtern, in einem Elektroenzephalogramm finden? Gibt es elektrophysiologisch messbare Unterschiede zwischen der Inhibition von neutralen Wörtern und Tabuwörtern? Fragen wie diese bilden die Basis für die vorliegende Arbeit, welche mittels Literaturrecherche und der Auswertung einer Elektroenzephalogramm-Studie Antworten zu finden versucht.

Ziel der Studie war es, die Inhibition von induzierten Sprechfehlern, in dieser Arbeit sogenannten Spoonerismen (siehe Kapitel 1.2.1), zu untersuchen. Das für die Studie konzipierte und an gesunden Probanden angewandte „Spoonerisms of Laboratory Induced Predisposition“ (SLIP-) Paradigma (siehe Kapitel 1.2.1) sollte bei dem Probanden zwei konkurrierende Sprechpläne aktivieren, von denen einer zu einem korrekten Aussprechen von Wörtern, der andere zu einer Aussprache von inkorrekten Tabu- oder neutralen Wörtern führen konnte. Der genaue Ablauf des Paradigmas wird in Kapitel 3 beschrieben. Die Liste der Wortpaare der Kontroll- und Tabuwortbedingung befindet sich im Anhang ab Seite 51. Während der Durchführung der Aufgabe wurde bei den Probanden ein

Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet und in Form von *gemittelten* (auch *grand average* genannten) ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs, siehe Kapitel 1.2.2) ausgewertet.

Auf Basis der in Kapitel 2 dargestellten Forschungsergebnisse bisheriger Studien wird im Rahmen des angewandten Studiendesigns zum einen ein Unterschied zwischen der Häufigkeit von Versprechern in den zwei Bedingungen (Tabuwort und neutrales Wort) erwartet, nämlich weniger Versprecher in der Tabuwortbedingung als in der Kontrollbedingung mit neutralen Wörtern.

Zum anderen wurde angenommen, eine Negativierung beginnend ab 450 ms nach dem Referenzpunkt in den EKPs zu sehen. Solch eine Negativierung wurde in der Literatur bereits als konfliktindizierend beschrieben und als medio-frontale Negativierung (MFN) betitelt (Möller et al., 2007; West & Bailey, 2012, siehe Kapitel 1.2.2 und 2.3). Außerdem wurde eine deutlichere Negativierung in der Tabuwortbedingung erwartet als in der Kontrollbedingung mit neutralen Wörtern. Das Verständnis des (Aus-)sprechens von Wörtern als eine motorische Handlung (durch die nötige Anspannung verschiedener Muskelgruppen für den Sprechakt) führte ebenso zu der Untersuchung der EKPs auf eine potentielle N2-Komponente. Diese ist mit genereller Konfliktüberwachung assoziiert: und zwar einer motorischen Antwort zeitlich vorausgehend, die nach einer Aufforderung zu geben ist (Yeung et al., 2004; Carter & van Veen, 2007; Trewartha & Phillips, 2013).

In den folgenden Unterkapiteln werden die wissenschaftlichen Hintergründe und die angewandten Methoden genauer erläutert. Das zweite Kapitel dient der Übersicht bisheriger Forschungsergebnisse, wobei sich hinsichtlich des Aspekts der Relevanz für diese Arbeit, hauptsächlich auf die Darstellung von MRT- und EEG-Studien beschränkt wurde. Daraufhin wird im dritten Kapitel das genaue Studiendesign und die Durchführung beschrieben, gefolgt von der Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 4 und einer abschließenden Diskussion im fünften Kapitel.

1.2 Hintergründe

1.2.1 SLIP-Paradigma

Wie in Kapitel 1.1 bereits erwähnt werden Versprecher, die schon von dem Neurologen Sigmund Freud thematisiert wurden (Baars et al., 1992), als Resultat zweier oder mehrerer konkurrierender Sprechpläne und dem Scheitern der Inhibition des inkorrekten Sprechplans gesehen (Möller et al., 2007). Diesem Gedanken und Mechanismus bedienen sich geeignete Methoden, Versprecher bei Probanden zu induzieren, wie zum Beispiel das auf William Spooner (1844-1930) zurückzuführende Prinzip von Spoonerismen. Spooner prägte berühmte Beispiele wie das Aussprechen des Satzes „*Three cheers for our queer old dean*" anstelle von „T*hree cheers for our dear old queen*" oder „Y*ou have hissed all my mystery lectures"* anstelle von „Y*ou have missed all my hystery lectures"*. Motley & Baars entwickelten die sogenannte „Spoonerisms of Laboratory Induced Predisposition" (SLIP-) Technik (1975, 1976; Möller et al., 2007), welche auch in der vorliegenden Arbeit Anwendung findet. Bei der SLIP-Technik soll der Proband auf einem Computerbildschirm gezeigte Wortpaare (**Induktorwortpaare**) lesen und nur gelegentlich, nach Aufforderung, aussprechen (Severens et al., 2012). Dieses auszusprechende Wortpaar wird im Folgenden auch **target-Wortpaar** genannt. In der Regel beginnt bei den Induktorwortpaaren das Wort an erster Stelle jeweils mit dem gleichen Buchstaben, sowie auch das Wort an zweiter Stelle mit einem gleichen Buchstaben. Bei dem Wortpaar, auf welches die Sprechinstruktion folgt, sind die Anfangsbuchstaben der beiden Wörter vertauscht (*„spoonerisiert"*), sodass es im Falle eines Aussprechens des Wortes mit dem vorig „gelernten" Anfangsbuchstabens zu induzierten (dennoch sinnvollen) Versprechern kommen kann (Motley et al., 1976). Häufig genannte Beispiele sind die Wortfolgen:
→ „**d**uck **b**ill" (= Induktorwortpaar) → „**d**art **b**oard" (= Induktorwortpaar)
→ „**b**arn **d**oor" (= target-Wortpaar) versus → „**d**arn **b**ore" (= Spoonerismus)
Ein Beispiel für das SLIP-Paradigma mit Tabuwörtern zeigt Abbildung 1.

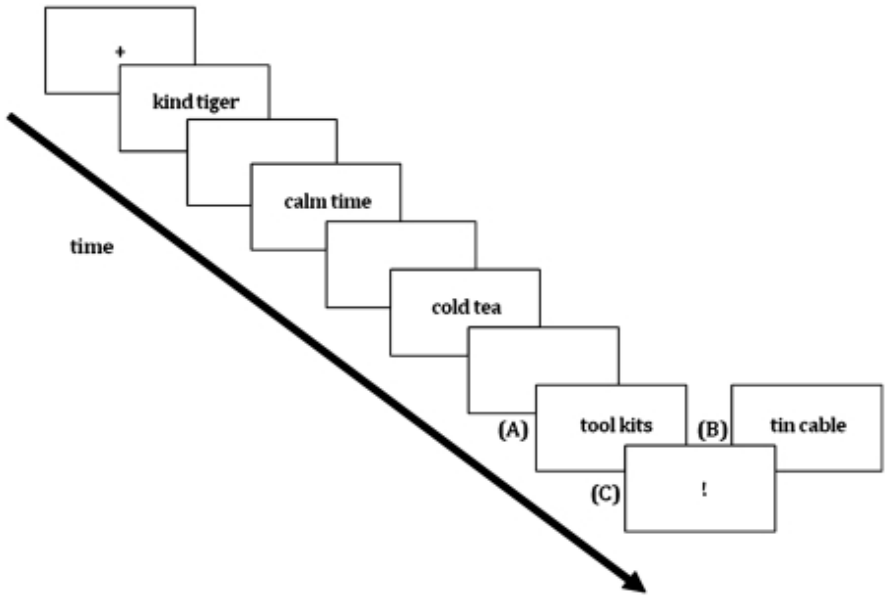

Abbildung 1:
Beispiel der Abfolge eines SLIP-Paradigmas mit Tabuwörtern nach Severens et al. (2012, Fig. 1). Das „+“ zu Beginn dient als Fixationskreuz. Die Induktorwortpaare haben jeweils die Anfangsbuchstaben k/c und t. Bei (A) und (B) wurden jeweils die Anfangsbuchstaben der vorigen Wörter vertauscht, sodass es bei (A) zu den Wörtern, beziehungsweise Spoonerismen, „**c**ool **t**its“ anstelle von „**t**ool **k**its“ (Tabuwortbedingung) und bei (B) zu den neutralen Wörtern „**c**in **t**able“ anstelle von „**t**in **c**able“ kommen kann (Kontrollbedingung). (C) Als Sprechaufforderung diente hier das Ausrufezeichen (Severens et al., 2012).

Dieses Prinzip lässt demnach bei dem Probanden zwei konkurrierende Sprechpläne entstehen, die nach Möller et al. (2007) zu Versprechern führen: Einerseits entsteht der richtige Sprechplan, nämlich das visuell dargebotene Wortpaar, und andererseits der falsche Sprechplan, nämlich der Spoonerismus. Es ist jedoch zu beachten, dass SLIP-Paradigmen nicht unbedingt Tabuwörter beinhalten müssen.

Bisherige Studien, die sich dem Prinzip des SLIP-Paradigmas bedienten, lassen darauf schließen, dass Tabuwörter internal gebildet und formuliert, dann detektiert und anschließend korrigiert werden (Dhooge & Hartsuiker, 2011). Bei Eyetracking-Studien konnte kein Unterschied zwischen der Prozessierungszeit bei dem Lesen von neutralen und Tabuwörtern gefunden werden, was ein Hinweis dafür ist, dass

sich die zugrundeliegenden Mechanismen des reinen Sprachverständnisses von neutralen und Tabuwörtern nicht unterscheiden (Nye & Ferreira, 2017). Die oben genannten, von Dhooge & Hartsuiker (2011) postulierten, Korrekturmechanismen schlagen sich jedoch in verlängerten Antwortzeiten in Aufgaben mit Tabuwörtern im Vergleich mit den Antwortzeiten in Aufgaben mit neutralen Wörter nieder (Siegrist, 1995; Dhooge & Hartsuiker, 2011).

1.2.2 Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale

Das Elektroenzephalogramm (EEG) für den Menschen wurde 1929 zum ersten Mal von Hans Berger beschrieben (Bear et al., 2018a) und stellt die älteste Technik dar, die elektrische Aktivität der Großhirnrinde aufzuzeichnen (Sokolowski, 2011). Es misst postsynaptische Dendritenpotentiale von Pyramidenzellen des Kortex, die sowohl räumlich als auch zeitlich summiert werden können (Neundörfer, 2002; Pinel & Barnes, 2014; Bear et al., 2018a).
Hierbei gilt: Werden oberflächliche, exzitatorische (stimulierende) Synapsen erregt, kommt es durch Einstrom von Kationen in die postsynaptische Zelle zu einer Verringerung der positiven Ladung der Zellaußenseite an der Synapse. An dieser erregten, oberflächlichen Synapse entsteht dadurch ein Minuspol. Gleichzeitig fungiert der postsynaptische Abschnitt andererseits als Pluspol, da die Zellaußenseite dort im Verhältnis positiver geladen ist (Zschocke & Hansen, 2012, siehe auch Abbildung 2). Dies führt zu der Entstehung eines Dipols, nämlich durch den entstandenen Minuspol an dieser erregten, oberflächlichen Synapse einerseits, sowie dem Pluspol an dem postsynaptischen Abschnitt andererseits, an dem die Zellaußenseite im Verhältnis positiver geladen ist (Zschocke & Hansen, 2012, siehe auch Abbildung 2a). Durch die Verringerung der positiven Ladung an der Oberfläche des Kortex resultiert im EEG eine negative Ableitung (Neundörfer, 2002; Zschocke & Hansen, 2012; Bischofberger, 2016). Die Potentialschwankungen des EEGs werden zu einem großen Teil durch eben diese exzitatorischen postsynaptischen Potentiale (EPSP) der oberflächlichen, apikalen Dendriten beeinflusst (Zschocke & Hansen, 2012).
Die Erregung tieferer, am Soma der Zelle gelegener, exzitatorischer Synapsen führt hingegen durch den Einstrom von Kationen in die Zelle zu einem Minuspol an

der tiefergelegenen Synapse und zu der Entstehung eines Pluspols der präsynaptischen Abschnitte, da dort, im Verhältnis zu der erregten Synapse, die Ladung der Zellaußenseite positiver ist. Dies hat positive Potentialänderungen in dem EEG zur Folge (Bischofberger, 2016; siehe auch Abbildung 2b).

Eine Erregung tiefergelegener inhibitorischer (hemmender) Synapsen führt zu einem Einstrom von Anionen in die Zelle, wodurch sie hyperpolarisiert. Dadurch kommt es gleichzeitig zu einer Verringerung der negativen Ladung (Positivierung) der Zellaußenseite. Somit entsteht über der erregten Synapse ein Pluspol sowie durch die im Vergleich negativer geladenen Zellaußenseiten der prä- und postsynaptischen Abschnitte ein Minuspol (Zschocke & Hansen, 2012). Die Ableitung im EEG wird negativ (Zschocke & Hansen, 2012; Bischofberger, 2016; siehe auch Abbildung 2d). Die nachfolgende Abbildung von Zschocke & Hansen (2012, S. 10, Abb. 1.7) skizziert die Entstehung der Dipole und ihre Auswirkungen auf die Potentialschwankungen in einer EEG-Ableitung schematisch:

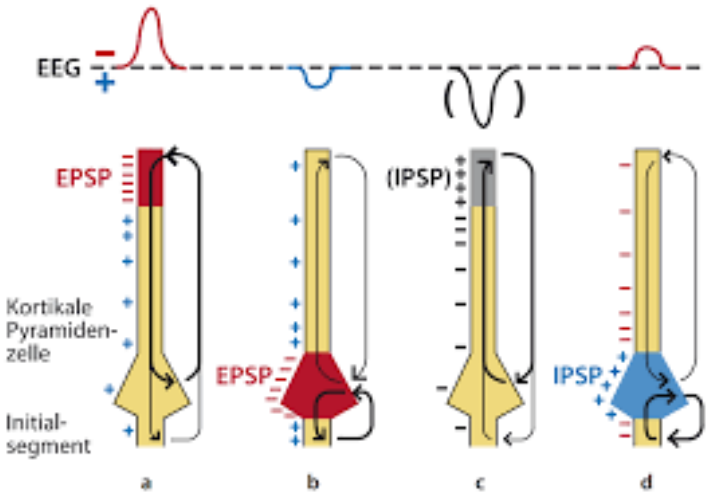

Abbildung 2

Vereinfachte Darstellung der Entstehung von Dipolen und ihrer Auswirkungen auf die Polarität von EEG-Wellen nach Zschocke & Hansen (2012, S. 10, Abb. 1.7), negative Wellen werden nach oben, positive Wellen nach unten aufgetragen

a) Werden an apikalen Dendriten oberflächliche, exzitatorische Synapsen erregt, resultiert durch den Einstrom von Kationen (EPSP) und der Verringerung der Ladung der Zellaußenseite ein zum Kortex gelegenes, negatives Potential. Die EEG-Ableitung wird negativ.

b) Werden tiefergelegene, exzitatorische Synapsen am Soma erregt, kommt es zu einem zur Oberfläche des Kortex gesehenen positiven Potential, die Ableitung im EEG wird positiv.

c) Die Erregung oberflächlicher, inhibitorischer Synapsen resultiert durch Einstrom von Anionen eine Hyperpolarisation der Zelle und eine Positivierung der Ladung der Zellaußenseite. Die EEG-Ableitung wird positiv.

d) Die Erregung tiefergelegener inhibitorische Synapsen am Soma resultiert in einer negativen Ableitung.

EEG: Elektroenzephalogramm, EPSP: exzitatorisches postsynaptisches Potential, IPSP: inhibitorisches postsynaptisches Potential (Zschocke & Hansen, 2012)

Eine Nervenzelle kann tausende Synapsen ausbilden und jede Synapse entwickelt bei Aktivierung solch einen oben beschriebenen Dipol. Erst die Summierung aller Dipole macht diese elektrischen Potentialschwankungen als sogenanntes Summenpotential messbar (Zschocke & Hansen, 2012).

Diese dauerhaften Potentialschwankungen werden von den Hirnhäuten und dem Schädel weitergeleitet und können von auf dem Kopf angebrachten Elektroden aufgezeichnet werden. Die sich ständig verändernden Spannungen werden gegen

eine Referenzelektrode abgeleitet, die entweder am Mastoid oder am Ohrläppchen angebracht wird (Gazzaniga et al., 2014).

Die Kabel der an dem Kopf angebrachten Elektroden sind mit einem Verstärker und einem Computer verbunden, der diese Potentialschwankungen aufzeichnet. Es hat sich eine Darstellungsweise etabliert, bei der negative Ableitungen nach oben, positive Ableitungen hingegen nach unten abgetragen werden (Bear et al., 2018a). Zusammenfassend reflektiert das EEG somit die elektrische Aktivität der Hirnregionen, welche durch die darüberliegenden Elektroden erfasst werden (Gazzaniga et al., 2014).

Um ein EEG aufzuzeichnen, werden diese Elektroden nach einer internationalen Norm an der Schädelkalotte angebracht und mit Zahlen gekennzeichnet. Hierbei gilt: Gerade Zahlen kennzeichnen rechts hemisphärisch angebrachte, ungerade Zahlen links hemisphärisch angebrachte Elektroden (Bischofberger, 2016, Rojas et al., 2018). Die folgende Abbildung 3 zeigt das internationale 10-20 System nach Jasper (1958), welches auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit Anwendung gefunden hat.

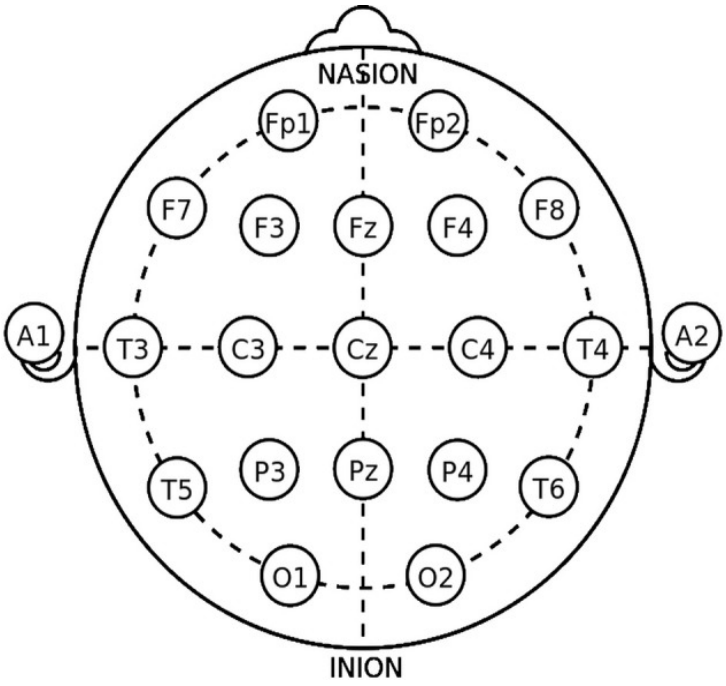

Abbildung 3

Gezeigt ist nach Rojas et al. (2018, Fig. 1) das internationale 10-20 System nach Jasper (1958). Für die Anbringung der Elektroden gilt ein standardisiertes Verfahren, bei dem, ausgehend von den Referenzpunkten Nasion und Inion, die Schädelkalotte in proportionale Anteile geteilt wird (Rojas et al., 2018). Die Benennung der Elektroden bezieht sich auf die Lokalisierung (F = frontal, C = zentral, P = parietal, T = temporal, O = okkzipital), die Zahl auf die Hemisphäre/Seite (gerade = rechts, ungerade = links).

Aus dem EEG lassen sich sogenannte ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) ableiten, die als Folge einer bestimmten Erwartung oder eines, zum Beispiel sensorischen oder auditorischen, Reizes auftreten (Bischofberger, 2016). Dieser Reiz wird zu einem sogenannten Referenzpunkt. Die Amplituden der EKPs weisen teilweise nur sehr wenige Mikrovolt auf, können in ihrer Stärke aber auch sehr variieren und treten zusätzlich zu der Spontanaktivität des EEGs auf. Einzelne EKPs sind in den EEG-Ableitungen demnach nicht ohne weiteres zu erkennen. Daher werden sie pro Elektrode nach mehrmaligen Mess- beziehungsweise Reizwiederholungen übereinandergelegt und gemittelt (Luck, 2015; Bischofberger, 2016). G*rand average* oder *gemittelte* ereigniskorrelierten Potentiale zeigen die

Mittelwerte der gemessenen EKPs einer bestimmten Elektrode aller Probanden in zeitlicher Abhängigkeit zu einem bestimmten Stimulus beziehungsweise Referenzpunkt (Luck, 2015). Durch das Mittelungsprinzip soll die nicht-stimulusbezogene Varianz verringert werden, wodurch das tatsächlich zu einem ausgewählten Stimulus folgende EKP besser zu beobachten ist. Hierbei wird auf der x-Achse eine Zeitspanne vor und nach dem Stimulus/Referenzpunkt, auf der y-Achse die Spannung in Mikrovolt der gemittelten Ableitungen aufgetragen (Gazzaniga et al., 2014), wobei auch hier negative Ableitungen nach oben, positive Ableitungen nach unten aufgetragen werden (Luck, 2015).
Das nachfolgende Schaubild von Luck (2015) verdeutlicht dieses Prinzip der gemittelten EKPs:

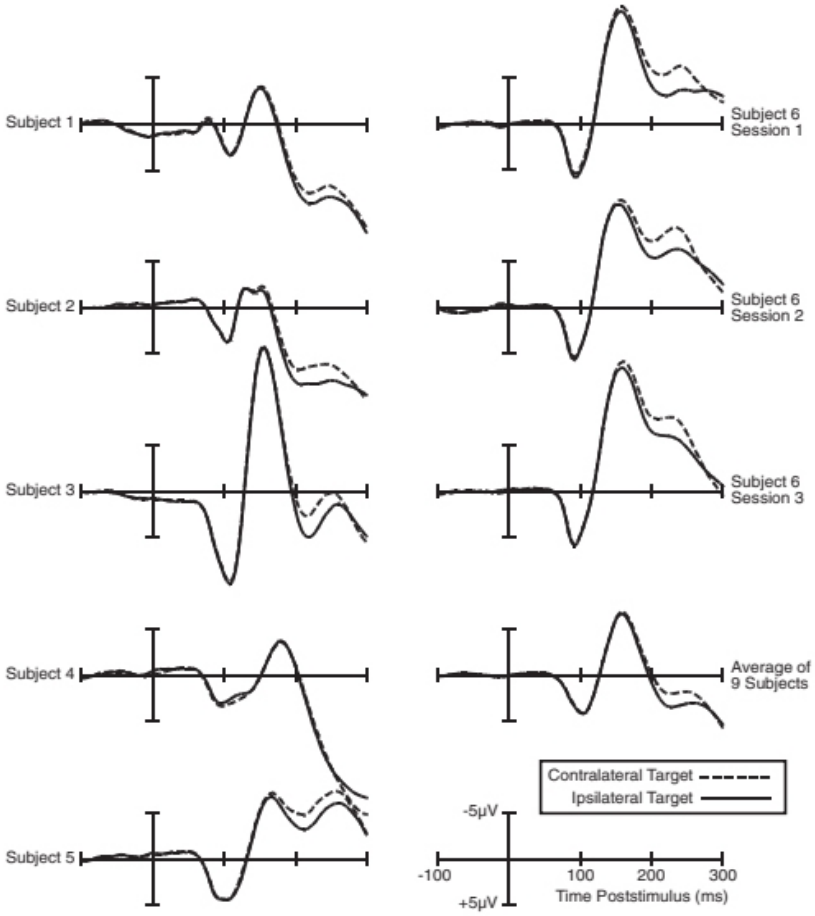

Abbildung 4

Generierung, „Mittelung“ (*average*) eines ereigniskorrelierten Potentials durch Zusammenrechnung und Mitteln der EEGs mehrerer Probanden nach Luck (2015, S. 19, Fig. 1.3). X-Achse: -100 ms vor bis 300 ms nach einem Stimulus, y-Achse: Spannung der Ableitung in Mikrovolt. Negative Ableitungen werden nach oben aufgetragen, positive Ableitungen nach unten. (Luck, 2015)

Das EKP zeigt dementsprechend die neuronale Aktivität in direkter Beziehung zu einem bestimmten Stimulus und gibt Aufschluss über die Frage, wie das Hirn auf eine spezielle Aufgabe reagiert – und ist daher nicht nur für klinische, sondern auch für wissenschaftliche Zwecke interessant (Gazzaniga et al., 2014).

Bei der Interpretation von EKPs gilt, dass die Komponenten nach ihrer Polarität (P für Positivierung und N für Negativierung) und ihrem zeitlichen Auftreten nach dem Stimulus oder Referenzpunkt benannt werden. So bedeutet P100 (auch P1 genannt) eine Positivierung bei 100 ms nach dem Auftreten des Referenzpunktes (Gazzaniga et al., 2014). Das EEG und das EKP als Messmethoden von kortikalen Vorgängen verfügen über eine gute zeitliche, jedoch eine schlechte räumliche Auflösung (Prinz & Müsseler, 2011).

Bisher konnten einige Komponenten von EKP-Wellen bestimmten Reizen und Verarbeitungsprozessen des Gehirns zugeordnet werden. Die folgenden Komponenten wurden von Luck (2015) aufgeführt und sind von Relevanz für die vorliegende Studie.

So ist die P100-Welle (P1) assoziiert mit visuellen Stimuli und dementsprechend in den okzipitalen Ableitungen am deutlichsten zu sehen. Sie ist gefolgt von der N100-Welle (N1), die nach ca. 150 ms ihr Maximum in den anterioren Elektroden und etwas später ihr Maximum in den okzipitalen Ableitungen erreicht.

Eine Negativierung nach 170 ms, N170, ist auf die Erkennung von Gesichtern oder bekannten Wörtern zurückzuführen (Schendan et al., 1998).

In anterioren Ableitungen findet man eine Negativierung nach circa 200 ms (N2), welche mit genereller Konfliktüberwachung (bei zu gebenden motorischen Antworten) assoziiert ist (Carter & van Veen, 2007; Trewartha & Phillips, 2013) und zeitlich vor eben dieser Antwort zu sehen ist (Yeung et al., 2004).

Die N400-Komponente (N4) stellt eine weitere sprachbezogene Komponente dar. Sie hat ihr Maximum über den zentralen und parietalen Elektroden und ist Ausdruck einer Antwort auf Inkongruenzen von semantischen Erwartungen der Probanden (Luck, 2015). So wird die N4 Komponente größer bei unpassenden Wortpaaren wie „Reifen – Zucker“, als bei Wortpaaren wie „Mehl – Zucker“ (Luck, 2015). Unbekannte oder selten verwendete Wörter führen ebenso zu einer stärkeren Negativierung nach 400 ms (Luck, 2015).

Des Weiteren wurden im Zusammenhang mit Versprechern und Wortinkongruenzen mehrere Negativierungen in der Literatur beschrieben, die mit

Konfliktprozessen assoziiert sind. Dazu gehören die sogenannte *medio-frontale Negativierung* (MFN) und die fehlerhaftes Verhalten anzeigende *error-related negativity* (ERN, siehe hierfür auch Kapitel 2 und Kapitel 5).

2) Forschungsstand

Die Thematik von induzierten (Tabuwort-)versprechern, deren Inhibition und die Hirnaktivität im Zuge dessen sind schon länger Gegenstand der Forschung. In den folgenden Unterkapiteln sollen bisherige Forschungsergebnisse aufgearbeitet werden, die für die vorliegende Arbeit relevant sind. Daher wurde sich auf die Darstellung von Erkenntnissen durch die (funktionelle) MRT und das EEG beschränkt.

2.1 Magnetresonanztomographie

Im Hinblick auf Sprache im Allgemeinen erlangen vor allem zwei Areale des Gehirns eine größere Wichtigkeit. Das Wernicke-Areal als sensorisches Sprachzentrum liegt in dem Temporallappen, genauer dem Gyrus temporalis inferior der dominanten Hirnhemisphäre und ist für das Sprach- und Wortsinnverständnis zuständig (Bear et al., 2018b).
Das motorische Sprachzentrum, nach seinem Erstbeschreiber auch *Broca-Areal* genannt, liegt hauptsächlich in dem Gyrus frontalis inferior (Carter et al., 2014; Bear et al., 2018b). Es ist sowohl an der Initiierung von verbalen Antworten durch Aktivierung der nötigen Muskeln beteiligt (Xue et al., 2008), als auch an der Formung von Satzbau und Wortlaut (Papoutsi, 2009). So konnte bei stotternden Probanden im Vergleich zu gesunden Probanden beispielsweise ein verminderter Blutfluss in diesem Hirnareal gemessen werden (Desai et al., 2017). Das Wernicke- und das Broca-Areal sind über Nervenfaserstränge, dem Fasciculus arcuatus, miteinander verbunden (Carter et al., 2014; Michon et al., 2019). Im Rahmen einer fMRT-Studie, die jene Hirnregionen untersuchen soll, welche für Sprache und auch bei induzierten Versprechern relevant sind, wird also unter anderem eine Aktivierung des Gyrus frontalis inferior (Gfi, dem Broca-Areal) erwartet. Der Gfi steht nach Ergebnissen von Aron et al. (2007) mit dem Nucleus subthalamicus und dem präsupplementär-motorischen Areal in Verbindung (siehe auch Xue et al., 2008). Der Nucleus subthalamicus ist ein Teil der Basalganglien und hat einen hemmenden Einfluss auf Bewegungsimpulse (Miller, 2007), während dem präsupplementär-motorischen Areal eine bewegungsvorbereitende

Funktion zugeschrieben wird (Garcia, 1993). So ist der Gfi als motorisches Sprachzentrum mit funktionell gegensätzlichen Hirnregionen verbunden, nämlich bewegungsinhibierenden zum einen und bewegungsinitiierenden Regionen zum anderen.

Der rechte Gfi gilt demnach auch als maßgeblich beteiligt an dem Prozess der Inhibition von verbalen Antworten (Aron et al., 2003; Xue et al., 2008; Severens et al., 2012). Bei Severens et al. (2012) zeigte sich beispielsweise eine Aktivitätssteigerung des rechten Gfi in Verbindung einer Inhibition des Aussprechens von Tabuwörtern. Menschen, die an dem Gilles de la Tourette-Syndrom erkrankt sind, zeigen eine reduzierte weiße Substanz in eben diesem Hirngebiet auf, was im Hinblick des Aspekts des unwillkürlichen Verbalisierens von Lauten und Tabuwörtern (Koprolalie) interessant ist (Müller-Vahl et al., 2009). Im Gegensatz dazu wird eine Überaktivität des rechten Gfi bei stotternden Patienten diskutiert (Neef et al., 2018). Hansen et al. (2019) konnten zwar die erhöhte Aktivität in diesem Hirnareal im Rahmen einer Picture Word Interference (PWI-) Studie mit Tabuwörtern als Distraktoren replizieren, jedoch konnte kein signifikanter Unterschied in dieser Aktivität zwischen Tabuwörtern und neutralen Wörtern nachgewiesen werden.

Dem dorsalen, medio-frontalen Kortex wird nach Brass & Haggard (2007) eine Mitwirkung an der intern getriggerten, endogenen Selbstkontrolle zugeschrieben und sollte bei einer Beteiligung eben dieser Mechanismen (interne, endogene Selbstkontrolle) bei der Inhibition von Tabuwörtern aktiver sein. Severens et al. (2012) fanden dennoch keinen Aktivierungsunterschied in dem dorsalen, medio-frontalen Kortex bei neutralen Wörtern und Tabuwörtern und werfen die Frage auf, ob die endogene Selbstkontrolle überhaupt an der Inhibition von verbalen Antworten beteiligt ist. Im Gegensatz zu der endogenen Selbstkontrolle ist an der extern getriggerten, zum Beispiel bei *Stop Signal*-Paradigmen durch außen „vorgeschriebene“, Selbstkontrolle der Pars triangularis des Gfi beteiligt (Aron et al., 2003; 2007). So können soziale, externe „Regelhaftigkeiten“ (wie die Inakzeptanz der Verwendung von Tabuwörtern im sozialen Kontext) internalisiert werden und im Zuge dessen wie ein Stop-Signal wirken (Severens et al., 2012).

In der fMRT zeigen sich auch andere Teile des Frontalhirns, wie der linke Gyrus frontalis medius, aktiv, was den Prozess der emotionalen Bewertung der dargebotenen Stimuli reflektieren könnte (Liberzon et al., 2000).

Auch das limbische System nimmt eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit emotionsbeladenen Stimuli, wie es auch Tabuwörter sein können, ein. Bei aversiven Stimuli scheinen Teile des limbischen Systems (Hypothalamus, Thalamus, Amygdala) besonders aktiviert zu werden. Befunde von Liberzon et al. (2000) legen jedoch nahe, dass diese Aktivierung durch kognitive Prozesse moduliert werden kann: Sollten aversive Stimuli lediglich wiedererkannt und nicht bewertet werden, führte dies zu einer deutlich geringeren Aktivität der rechten Amygdala (Liberzon et al., 2000).

Sulpizio et al. (2019) führten eine MRT Studie durch, in welcher mono- und bilinguale Probanden bei dem Lesen von Tabuwörtern und Kontrollwörtern verglichen wurden. Die Tabuwortbedingung führte bei bilingualen Probanden in ihrer zweiten Sprache zu einer Aktivitätssteigerung in der Insula (siehe auch Hansen et al., 2019) und dem anterioren cingulären Cortex (ACC). Der ACC ist ein Teil des limbischen Systems, ist mit dem Thalamus verbunden (Liberzon et al., 2000) und ist mit kognitiven affektiven Regulationsprozessen assoziiert (Botnivick et al., 2001; Sulpizio et al., 2019). Ebenso scheint er an der subjektiven Bewertung der persönlichen Leistung beteiligt zu sein (Yeung et al., 2004). Läsionen des ACC führen beispielsweise zu apathischen Zuständen oder Unaufmerksamkeit (Bush et al., 2000). Tow & Whitty (1953) berichteten in einigen Falldarstellungen von Patienten, bei denen es durch eine Operation in diesem Hirngebiet zu einer Veränderung der Persönlichkeit kam: unter anderem wurden sensiblere Themen, wie eigene Emotionen oder sexuelle Themen, von den Patienten häufiger angesprochen als vor der Operation.

Auch die Antwortzeit ist mit der Aktivität des ACC korreliert: Eine höhere Aktivität des ACC geht mit einer langsameren Reaktionszeit in auszuführenden Stroop-Aufgaben einher (Botnivick et al., 2001). Bush et al. (2000) konnten den ACC weiter unterteilen: in den dorsalen ACC (dACC) einerseits, der bei kognitiven Konflikten aktiver ist, während die Aktivität in dem rostralen ACC (rACC) andererseits eher emotionale Konflikte reflektiert (siehe auch Abbildung 5; siehe auch Mohanty et al., 2007).

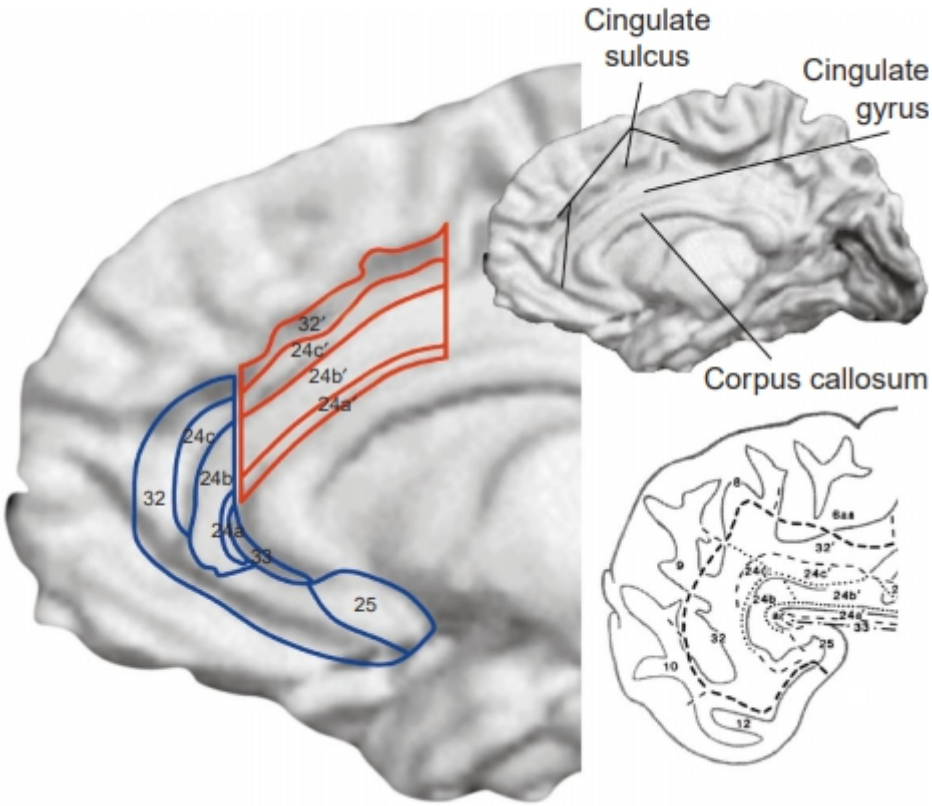

Abbildung 5

Darstellung der Anatomie des Anterior Cingulären Cortex (ACC) nach Bush et al. (2000, Fig. 1).
links: vereinfachte und schematische Markierung der Lage des ACC. Rot: dorsaler ACC, aktiver bei kognitiven Konflikten, blau: rostraler ACC, aktiver bei emotionalen Konflikten,
Bezifferung: Areale mit ähnlicher Zytoarchitektur (Brodmann-Areale)
Oben rechts: MRT-Rekonstruktion der rechten Hemisphäre, mediale Ansicht.
Rechts unten: Schematische Darstellung des ACC. Dünne, durchgehende Linie: Grenzen der einzelnen Sulci, gestrichelte Linie: Markierung des ACC.
Bezifferung: Areale mit ähnlicher Zytoarchitektur (Brodmann-Areale)

Nach Hansen et al. (2019) liegt der kognitiven Verarbeitung von Tabuwörtern im Rahmen ihrer PWI-Aufgabe ein thalamo-kortikales Netzwerk zugrunde: der Prozess der Verarbeitung geht mit einer erhöhten Aktivität in dem medio-frontalen Kortex, dem Thalamus, dem ACC, der Insula und dem linken Gfi einher. Letzterer scheint mit der inhibitorischen Kontrolle bei emotionalen Konflikten in Verbindung zu stehen (Song et al., 2017). Hansen et al. (2019) fanden, konträr zu der Arbeit

von Severens et al. (2012), jedoch zum einen keinen Aktivierungsunterschied des rechten Gfi zwischen der Tabuwort- und der Kontrollbedingung, zum anderen konnte keine signifikante Aktivierung der Amygdala und des rACC festgestellt werden. Ein Erklärungsansatz hierfür könnte eine unterschiedliche linguistische Klasse von Tabuwörtern im Vergleich mit negativ-emotionalen Wörtern darstellen: so argumentieren Hansen et al. (2019), dass Tabuwörter nicht grundsätzlich zu einem Arousal des Probanden führen müssen oder dass Wörter möglicherweise bei Sprechaufgaben weniger auf ihren emotionalen Wert geprüft werden, als bei reinen Verständnisaufgaben.

Zusammenfassend gilt zwar, den Gyrus frontalis inferior (das Broca-Areal) und den Anterioren Cingulären Cortex als neurogene Strukturen zu nennen, die bei der Inhibition und dem Verständnis von Sprache als besonders aktiv und demnach als bedeutsam erachtet werden können. Jedoch ist festzuhalten, dass die Studienlage über die genannten Hirnstrukturen und ihrer Beteiligung bei der Verarbeitung von Tabuwörtern bislang keine einheitlichen Ergebnisse liefert

2.2 Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale

Es lassen sich bereits einige Studien von Autoren finden, die sich mit der Thematik um induzierte Versprecher und auszusprechende Tabuwörter befassen und hierfür EKPs analysierten. Die Ergebnisse haben eine Negativierung in frontalen Ableitungen gemeinsam (Liotti et al., 2000; West, 2003; Xiang et al., 2013; Chouiter et al., 2014; Larson et al., 2014; Rey-Mermet at al., 2019), die ab 450 ms beginnt, deren zeitliches Maximum jedoch variiert.

Diese Negativierung wird häufig im Rahmen konfliktreicher Trials einer Stroop-Aufgabe gefunden, wie bei Chouiter et al. (2014). Auch Xiang et al. (2013) berichten über eine stärkere Negativierung bei inkongruenten als bei kongruenten Trials ihrer durchgeführten Stroop-Aufgabe.

Auch bei SLIP-Paradigmen lässt sich solch eine negative Komponente finden:

In der Arbeit von Möller et al. (2007) wurden die EKPs auf die Präsentation des target-Wortpaares gemittelt. Die Ergebnisse zeigen eine negative Komponente, deren Maximum sich zwischen 350-600 ms in den fronto-zentralen Ableitungen befindet und sich zwischen den Bedingungen unterschiedlich zeigte: Bei

fehlerhaften Trials fanden sie eine stärkere Negativierung als bei korrekt ausgesprochenen Trials. Diese Befunde sollen einen Konflikt in einem phonetisch/phonologischen Kodierungsstadium reflektieren (Möller et al., 2007). Dieser Konflikt scheint in der Tabuwortbedingung stärker zu sein als in der Kontrollbedingung.

EKPs gemittelt auf die Sprechaufforderung zeigten bei Möller et al. (2007) eine weitere Negativierung in medialen, präfrontalen Ableitungen bei fehlerhaft ausgesprochenen Wörtern. Dies könnte nach Möller et al. (2007) auf einen Konflikt in einem artikulatorischen/motorischen Stadium hinweisen.

Severens et al. (2011) untersuchten anhand von EKPs, ob Tabuwörter bereits vor einer Verbalisierung internal detektiert und korrigiert werden. Ausgewertet wurden hierfür zwar korrekt ausgesprochene Wörter, die durch ein angewandtes SLIP-Paradigma jedoch auch zu einem Aussprechen von Tabuwörtern hätten führen können. In diesen Trials der Tabuwortbedingung fanden sie eine stärkere Negativierung in zentralen Ableitungen nach 600 ms, was den Autoren nach Ausdruck der internalen Inhibition des Versprechens sein soll. Ihre Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass Versprecher internal erkannt und verbessert werden (Severens et al., 2011). Bei dem Erscheinen des target-Wortpaares als Referenzpunkt finden Severens et al. (2011) keine Unterschiede in den EKPs, was in einem Gegensatz zu den Befunden bei Möller et al. (2007) steht. Severens et al. (2011) schreiben hierüber, dass es in ihrer Arbeit, verglichen mit Möller et al. (2007), unvorhersehbarer für die Probanden war, wann es zu einem lauten Aussprechen gezeigter Wörter kommt, was die Unterschiede erklären könnte.

Generell gilt die Annahme, dass diese negative Komponente mit dem Erkennen von Konflikten und dem Finden von Lösungen für diese Konflikte in Verbindung zu bringen ist (West, 2003; Larson et al., 2014). Auch in Stroop-Aufgaben oder SLIP-Paradigmen scheint Konflikterkennung und -lösung demnach mit einer Negativierung über frontalen Ableitungen verbunden zu sein. Diese wird im Folgenden medio-frontale Negativierung (MFN) genannt (West, 2003) und ihr Auftreten ist mit den eben genannten Prozessen maßgeblich assoziiert (West, 2003; Larson et al., 2014). Auch im Zusammenhang mit der MFN rückt der ACC (siehe auch Kapitel 2.2) in den Fokus: Liotti et al. (2000) sehen den neuralen Ursprung dieser Negativierung in einer höheren Aktivität des dACC, welche in ihrer Studie durch inkongruente Wortbedeutungen ausgelöst wurde. Auch West &

Bailey (2012), Chouiter et al. (2014) und Xiang et al. (2014) lokalisierten die Entstehung der MFN in einer Aktivitätsänderung des ACC. Letztere werfen zusätzlich die Frage auf, ob Konfliktbewusstsein überhaupt eine notwendige Voraussetzung für die Detektion eines Konfliktes sei (siehe dazu auch Jiang et al., 2016).

Die MFN konnte außerdem mit dem supplementär-motorischen Areal in Verbindung gebracht werden, welches unter anderem mit den Basalganglien in Verbindung steht (Ackermann et al., 1996), also mit den Kernen im Marklager des Telencephalons (Großhirns), die ebenso bei der motorischen Regulation zusammenspielen (Miller, 2007). Zum Beispiel führt eine Stimulation (Brickner, 1940) oder Störungen (Jonas, 1981) des supplementär-motorischen Areals bei Menschen, die an Epilepsie erkrankt sind, zu ungewollten oder ausbleibenden Vokalisierungen (Brickner, 1940; Jonas, 1981). Auch ist der ACC der Ursprung der N2-Komponente, die nach Yeung et al. (2004) ebenso einen Konflikt anzeigt. Dieser spielt sich zeitlich vor einer zu gebenden motorischen Antwort ab (zum Beispiel einem festgelegten Tastendruck auf bestimmte Reize, wie bei einer Flanker-Aufgabe). Die Amplitude der N2 ist bei Trials mit höherem Konflikt höher (Yeung et al., 2004; Trewartha & Phillips, 2013).

Trewartha & Phillips (2013) stellten sich in ihrer Studie die Frage, ob Sprechfehler diesem gleichen (motorischen) Konfliktmonitoring unterliegen. Es konnte jedoch kein Unterschied der Ausprägung der N2-Amplitude zwischen korrekten und inkorrekten Trials nachgewiesen werden, was in den Augen der Autoren für eine konstantes Konfliktmonitoring in früheren Phasen der Sprachproduktion spricht (Trewartha & Phillips, 2013).

Es kann festgehalten werden, dass konfliktinduzierende Paradigmen, wie Stroop-Aufgaben oder auch das in dieser Arbeit verwendete SLIP-Paradigma, zu einer Negativierung ab 450 ms nach einem Referenzpunkt in den EKPs führen. Hier ist jedoch zu beachten, dass sich Studien teilweise in ihren Referenzpunkten, nach welchen diese Negativierung zu finden ist, unterscheiden (vgl. Möller et al., 2007 und Severens et al., 2011, siehe auch Kapitel 5).

Die Negativierung scheint außerdem bei Bedingungen mit Tabuwörtern deutlicher ausgeprägt zu sein und könnte Ausdruck eines stärkeren Konfliktes in dieser Bedingung sein.

Ein weiteres zu diskutierendes elektrophysiologisches Korrelat in EKPs, das

fehlerbehaftetes Verhalten anzeigt, ist die die sogenannte „*error related negativity*“ (ERN, Falkenstein et al., 1990; Gehring et al., 1993), welche, im Vergleich zu den anderen genannten, konfliktassoziierten EKP-Komponenten, zwar einen ähnlichen topographischen Ursprung aufweist, jedoch zeitlich nicht vor, sondern nach einer bereits gegebenen Antwort zu finden ist (Yeung et al., 2004, siehe Kapitel 5).

3) Material & Methoden

In dieser Studie wurden folgende Methoden eingesetzt: ein Elektroenzephalogramm (EEG) mit anschließender Auswertung von ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs), eine Audioaufnahme und die Messung der Elektrodermalen Aktivität (EDA). Bei der Auswertung der EDA zeigte sich, dass sich dieser Parameter zu langsam veränderte und die Werte unbrauchbar waren. Daher wird die EDA im Folgenden nicht mehr berücksichtigt. Die nachfolgenden Unterkapitel dienen der Beschreibung des Studiendesigns, ihrer Durchführung, der Datenerhebung und der Datenauswertung.

3.1 Probanden

Im Rahmen der Studie wurden junge, gesunde Probanden gesucht, die über den studentischen E-Mail-Verteiler der Universität zu Lübeck rekrutiert wurden.
Folgende Kriterien galten als Einschlusskriterien:

- Deutsch als Muttersprache
- Rechtshändigkeit
- kein Tragen von Kontaktlinsen bei der Messung
- keine neurologische oder psychiatrische Vorerkrankungen
- keine Einnahme von Drogen oder Medikamenten mit Einfluss auf das zentrale Nervensystem

Es wurden 24 weiblichen Studentinnen und 8 männlichen Studenten im Alter von 18-31 Jahren (Durchschnittsalter 24,1 Jahre), die obige Einschlusskriterien erfüllten, eingeschlossen.
Die Messungen fanden zwischen März 2019 und Mai 2019 in einem EEG-Labor im Center of Brain, Behavior und Metabolism (CBBM) der Universität zu Lübeck statt. Vor Beginn der Untersuchung stimmten die Probanden ihrer Teilnahme an der Studie zu. Nach dem Anbringen der Elektroden erfolgte eine mündliche Erklärung der Aufgabe, wonach ein Testdurchlauf durchgeführt wurde, jedoch mit einfachen Vornamen als dargebotene und auszusprechende Wörter, um keine

Hinweise auf Tabuwörter oder Spoonerismen zu geben. Hatte der Proband die Instruktion verstanden und richtig durchgeführt, startete die Messung. Zwischen den insgesamt vier Blöcken wurde jeweils eine kurze Pause eingelegt, die der Proband selbstständig durch einen beliebigen Tastendruck beenden konnte, um mit dem nächsten Block zu beginnen.

3.2 Über das Paradigma

Das für diese Arbeit entwickelte Paradigma enthielt target-Wortpaare, die Spoonerismen provozieren sollten und so entweder zu Tabuwörtern (Tabuwortbedingung), oder, als Kontrolle, zu neutralen Wörtern (Kontrollbedingung) geführt haben.
Hierfür wurden pro Messung insgesamt 152 neutrale target-Wortpaare (Beispiel: **F**ICHTE – **N**AMEN, Spoonerismus: **N**ICHTE) und Tabuwort target-Wortpaare (Beispiel: **F**EGER – **N**AMEN, Spoonerismus: **N**EGER) dargeboten. Jedes Wortpaar wurde in weißen Großbuchstaben auf schwarzem Hintergrund für 1200 ms auf einem Computerbildschirm dargeboten, das Zeitintervall zum nächsten Wortpaar betrug 1300 ms. Nach mindestens einem, maximal vier nur zu lesenden Induktorwortpaaren (mit der gleichen Kombination der Anfangsbuchstaben) folgte das target-Wortpaar, bei welchem die Anfangsbuchstaben vertauscht wurden, sodass ein Spoonerismus induziert werden konnte (NEBEL + FLAGGE; NAMEN + FABEL; **F**EGER + **N**AMEN → möglicher Spoonerismus: **N**EGER, siehe Abbildung 6). Als Hinweis für den Probanden, dass er das zuletzt gelesene Wortpaar laut aussprechen soll, erschien auf dem Bildschirm die Aufforderung „Jetzt sprechen!”. Nach 2300 ms begann ein neues Trial. Das target-Wortpaar der Kontrollbedingung induzierte auch einen möglichen Spoonerismus, allerdings ein neutrales Wort (NEBEL + FLAGGE; NAMEN + FABEL; **F**ICHTE + **N**AMEN → möglicher Spoonerismus: **N**ICHTE, siehe Abbildung 6). Die folgende Abbildung verdeutlicht das Prinzip und den Ablauf.

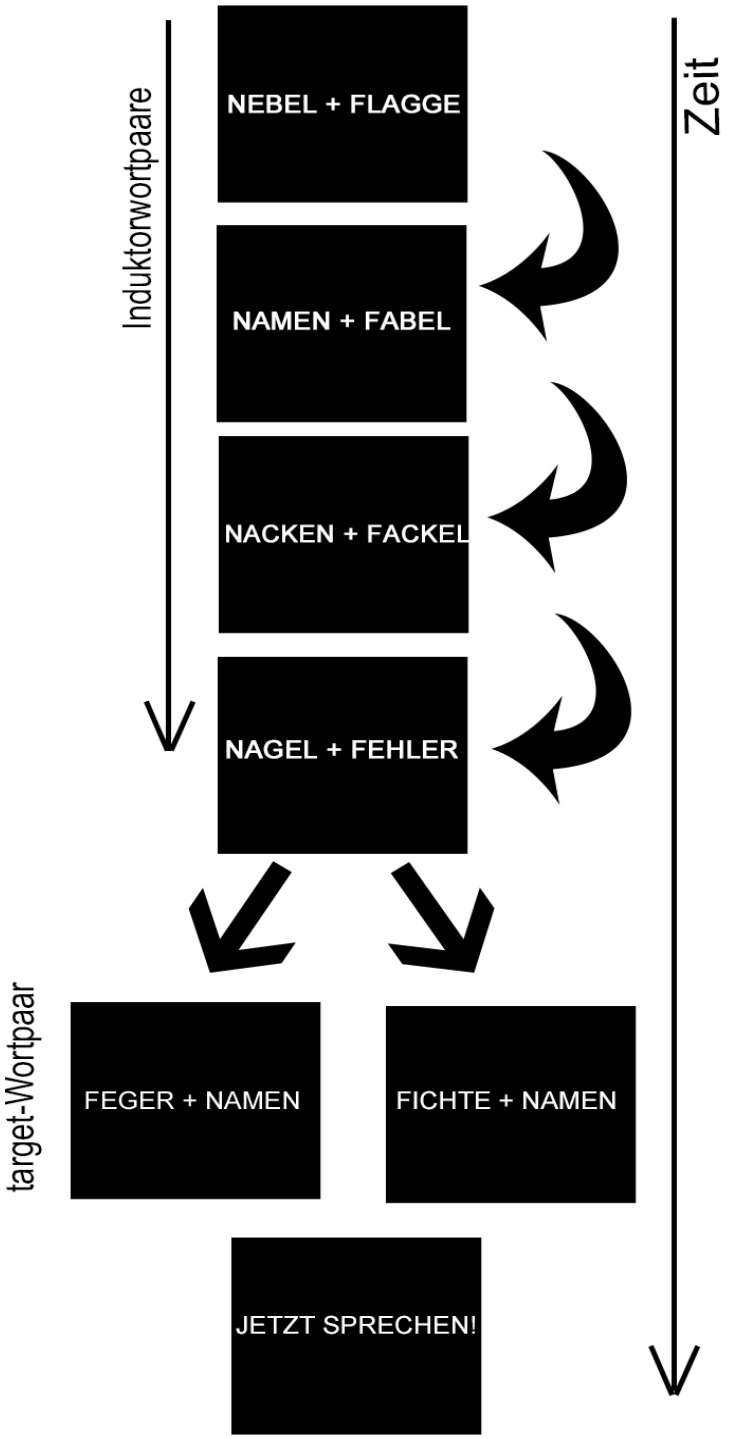

Abbildung 6

Ein beispielhaftes Trial des angewandten SLIP-Paradigmas. Die Induktorwortpaare beginnen mit jeweils dem gleichen Buchstaben (hier: N und F) und werden dem Probanden nacheinander auf dem Bildschirm dargeboten. Nach mindestens einem, maximal vier Induktorwortpaaren folgt das target-Wortpaar (linker Pfeil: Tabuwortbedingung, möglicher Spoonerismus „NEGER“ versus „FEGER“, rechter Pfeil: Kontrollbedingung, möglicher Spoonerismus „NICHTE“ versus „FICHTE“) und anschließend die Sprechaufforderung.

Die Liste der Wortpaare einzelner Trials wurde nach ähnlichen Charakteristika der Wörter erstellt, wie beispielsweise einer gleichen Silbenanzahl oder Wortgattungen wie Verben oder Substantive. Die target-Wörter der beiden Bedingungen wurden möglichst nach lexikalischen Ähnlichkeiten ausgewählt: Zum Beispiel „weiche" und „weiße" als target-Wörter, um die Spoonerismen "Scheiche" (Kontrollbedingung) und „scheiße" (Tabuwortbedingung) auszulösen. Um die Gleichwertigkeit der ausgewählten Wörter sicherzustellen, wurden alle target-Wörter, also jene Wörter, die zu einem Spoonerismus führen sollten, für beide Bedingungen bei der Online-Suchmaschine *google* eingegeben und der Durchschnitt der Anzahl der Ergebnisse gebildet. Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Anzahl der Ergebnisse der zwei Bedingungen (Durchschnitt der Ergebnisse aller target-Wörter der Tabuwortbedingung 450,325,287; Durchschnitt der Ergebnisse aller target-Wörter der Kontrollwortbedingung 356,133,958; p=0.75, ungepaarter t-Test). Die Wörter finden somit in der Alltagssprache gleichermaßen Gebrauch.
Des Weiteren zeigte ein Vergleich der target-Wörter beider Bedingungen mithilfe der Datenbank SUBTLEX-DE (Brysbaert et al., 2011) keinen signifikanten Unterschied in der lexikalischen Häufigkeit, welche durch den lgSUBTLEX Wert angegeben ist (Durchschnitt der target-Wörter der Tabuwortbedingung: 2.08, Durchschnitt der target-Wörter der Kontrollwortbedingung 2.17, p=0.66, ungepaarter t-Test). Zusätzlich wurden die in der *Berlin Affective Word List Reloaded* (BAWL-R; Võ et al., 2009) gelisteten target-Wörter auf ihren emotionalen Wert und Arousal verglichen. Es wurde kein signifikanter Unterschied nachgewiesen (emotionaler Wert: target-Wörter der Tabuwortbedingung: 0.25, target-Wörter der Kontrollwortbedingung: 0.21, p=0.88; Arousal: target-Wörter der Tabuwortbedingung: 2.63, target-Wörter der Kontrollwortbedingung: 2.68, p=0.78, ungepaarter t-Test).

Um einen Lerneffekt zu vermeiden, wurde zum einen die Anzahl der Wortpaare pro Trial zufällig ausgewählt (mindestens ein, maximal vier Induktorwortpaare), zum anderen aber auch das auszusprechende Wortpaar zufällig ausgewählt (Kontrolldurchgang versus Tabuwort). 38 Trials, bestehend aus mindestens zwei, maximal fünf Wortpaaren, bildeten einen Block, die Messung bestand aus insgesamt vier Blöcken und damit 152 Trials. Die gesamte Messung dauerte circa

37 Minuten. Die Studie ist im Rahmen der Forschergruppe „*TEC4tic“* (eine Kooperation der Universität Dresden und Lübeck) durchgeführt worden, nachdem sie durch die Ethikkommission mit dem Aktenzeichen EK309082017 begutachtet und genehmigt wurde. Eine Sammlung der verwendeten Wortpaare beider Bedingungen befindet sich im Anhang dieser Arbeit ab Seite 51.

3.3 Datenerfassung

Jede Messung wurde mit einem Mikrofon (*Rode Podcaster®)* und dem Programm *Audacity* aufgenommen.

Nach dem Vermessen des Kopfes des Probanden wurde eine passende EEG-Haube mit bereits integrierten Kopfelektroden nach dem internationalen 10-20 System aufgesetzt (Jasper, 1958, siehe Kapitel 1.2.2 und Abbildung 3). In die einzelnen Kopfelektroden wurde das Elektrolytgel *eci Electro Gel™* gegeben. Insgesamt wurden 29 Kopfelektroden abgeleitet: *Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T7, T8, P7, P8, Fz, Cz, Pz, FC1, FC2, CP1, CP2, PO3, PO4, FC5, FC6, CP5, CP6*. Die in der Haube integrierte Elektrode AFz diente als ground-Elektrode, als Referenzelektrode diente eine Klemmelektrode am linken Ohrläppchen des Probanden. Hautpartien wurden zunächst gesäubert, um den Widerstand durch Hautschuppen oder ähnliches zu reduzieren. Für die Anbringung der Klemmelektrode wurde ebenso das oben genannte Elektrolytgel verwendet. Eine Klemmelektrode am rechten Ohr diente als weitere Referenz-Ableitung *A2.* Die Erfassung von vertikalen Augenbewegungen erfolgte durch Elektroden über- und unterhalb des linken Auges, horizontale Augenbewegungen wurden durch seitlich neben dem rechten und linken Auge angebrachte Elektroden erfasst.

Die Impedanz der EEG-Elektroden wurde möglichst unter 5 kOhm, die der Augenelektroden möglichst unter 10 kOhm gehalten. Das EEG und das EOG wurden mit der Acquire® Software aufgezeichnet.

Für die Aufzeichnung wurde der Verstärker Brainamp MR von Brainproducts verwendet, die Samplingfrequenz betrug 1 kHz. Es wurden ein Bandpassfilter von 0,016 Hz-1 kHz sowie ein Notchfilter von 50 Hz eingesetzt. Das EEG und das EOG wurden mit der Software BrainRecorder® aufgezeichnet.

3.4 Auswertung

3.4.1 Behaviorale Daten

Die Auswertung der generierten Audiodateien mittels *Audacity* erfolgte im Anschluss der Messungen mit Fokus auf produzierte Spoonerismen. Ausgezählt wurden sowohl die Spoonerismen in der Kontrollbedingung als auch komplette Spoonerismen und „fast-Spoonerismen“ in der Tabuwortbedingung (Beispiel: **F**EGER **+ N**AMEN*,* „fast-Spoonerismus“: **N**EG-). Die statistische Auswertung der behavioralen Daten (Häufigkeit von vokalisierten neutralen und Tabuwort-Spoonerismen der Probanden) wurde mithilfe eines *Wilcoxon signed rank Test* durchgeführt. Dieser erfolgte mit R® 3.6.1 (R Core Team, 2019).

3.4.2 Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale

Die Auswertung der EEGs erfolgte mit den Programmen EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004) und ERPLAB (Lopez-Calderon & Luck, 2014).
Die EEG-Ableitungen wurden zunächst in auszuwertende Intervalle von 1600 ms segmentiert: 400 ms vor, 1200 ms nach zwei ausgewählten Referenzpunkten. Als Referenzpunkt diente zum einen das Erscheinen des target-Wortpaares auf dem Bildschirm, zum anderen das Erscheinen des Sprechhinweis' „Jetzt sprechen!“.
Nach der Durchführung einer Independent Component Analyse (ICA) konnten die Komponenten der EEG-Ableitungen, welche die Augenartefakte enthielten, nach visueller Inspektion mittels eines Subtraktionsverfahrens herausgerechnet werden. Mit der „moving window peak-to-peak threshold”-Funktion wurden nach visueller Inspektion der EEG-Ableitungen aller Probanden andere Störartefakte detektiert und diese Segmente gegebenenfalls von der Analyse ausgeschlossen.
Insgesamt wurden für die folgende Analyse der EKPs auf das Erscheinen des target-Wortpaares (Referenzpunkt) 12.6% (9.28 von 73.64, Tabuwortbedingung) und 12.5% (9.12 von 72.72, Kontrollbedingung) der Trials ausgeschlossen. Für die Analyse der EKPs auf den Sprechhinweis (Referenzpunkt) wurden 24.4% (18 von

73.64, Tabuwortbedingung) und 24.2% (17.6 von 72.68 Kontrollbedingung) der Trials ausgeschlossen.[1]

Die EKPs wurden mit einem 20 Hz low-pass Filter gefiltert, die Baseline wurde definiert als Intervall von -100 bis 0 ms.
Bei den vorliegenden EKPs handelt es sich um grand average EKPs. Hierfür wurden die EKPs aller Probanden für jedes einzelne Trial mit entweder zwei, drei, vier oder fünf Wortpaaren für jeweils beide Bedingungen (Tabuwort und Kontrollwort) zusammengerechnet und gemittelt. Insgesamt erhielt man dementsprechend pro Elektrode vier gemittelte EKPs zu den genannten vier Trial-Optionen pro Bedingungen. Die auszuwertenden grand average EKPs stellen das Gruppenmittel (aller Probanden) dar, in welche wiederum die gemittelten EKPs eines jeden Probanden eingeschlossen werden (siehe Kapitel 1.2.2 und Abbildung 4).
Ausgewertet wurden die Trials mit drei oder vier gezeigten Wortpaaren, um eine adäquate Vorbereitung durch mindestens zwei Induktorwortpaare zu gewährleisten und um der Vorhersagbarkeit der Sprechaufforderung nach spätestens vier Induktorwortpaaren auszuschließen.
Die Auswertung der EKPs mit dem Erscheinen des target-Wortpaares als Referenzpunkt erfolgte mittels angewandter Varianzanalysen, *„Analysis of Variance“* (ANOVAs). Es wurden folgende Elektroden analysiert: F3/Fz/F4/C3/Cz/C4.
Die visuelle Inspektion der EKPs zeigte zwischen 500-1000 ms auf das Erscheinen des target-Wortpaares einen sichtbaren Unterschied in den zwei Bedingungen mit einem Maximum zwischen 500-800 ms (siehe Kapitel 4.2 und Abbildung 7).
Um die Durchschnittsamplitude in eben diesem Zeitraum zu berechnen, wurde eine 2 (Bedingung: Tabuwortbedingung versus Kontrollwortbedingung) x 2 (anterior/posterior: frontal versus zentral) x 3 (Hemisphäre: rechts versus zentral versus links) ANOVA im Messwiederholungsdesign durchgeführt. Mit einem post-

1 Aufgrund technischer Fehler hat nicht jeder Proband alle Trials durchlaufen, sodass es zu einer leicht variablen Anzahl an Trials pro Proband kam. Dies erklärt die genannten ungeraden Anzahlen der Trials.

hoc t-Test wurde auf potentielle Unterschiede in den Elektrodenpositionen getestet.

Um auf eventuelle Differenzen der N2-Komponente nach der Präsentation des target-Wortpaares zu testen, wurde die Durchschnittsamplitude im Zeitintervall zwischen 280 ms und 380 ms beider Bedingungen analysiert.

Außerdem wurde für die EKPs mit der Sprechaufforderung als Referenzpunkt die Durchschnittsamplitude zwischen 400 ms und 600 ms analysiert, da die visuelle Inspektion der EKPs in diesem Zeitfenster einen möglichen Unterschied der beiden Bedingungen zeigte.

Alle statistischen Analysen wurden mit *R® 3.6.1* (R Core Team, 2019) und dem *Packet ezANOVA* (Lawrence, 2016) durchgeführt.

Die Verletzungen der Sphärizität wurden mit einer Greenhouse-Geisser Korrektur korrigiert. Es werden im folgenden Kapitel unkorrigierte F-Werte, aber korrigierte p-Werte genannt.

4) Ergebnisse

4.1 Spoonerismen

Im Durchschnitt produzierte jeder Proband 2.03 Spoonerismen, was bei 152 auszusprechenden Wortpaaren (also 304 Wörtern pro Messung), einem prozentualen Anteil von 0.67% entspricht.
In der Kontrollbedingung traten mit durchschnittlich 1.38 Versprechern pro Proband (0.91 %) häufiger Spoonerismen auf als in der Tabuwortbedingung mit 0.65 Versprechern pro Probanden (0.43 %). Ein angewandter Wilcoxon signed rank Test zeigte eine statistische Signifikanz dieses Ergebnis' (V=6, p=0.017).
Diese Befunde stehen im Einklang mit bisherigen Studienergebnissen, die ebenso zeigten, dass Tabuwörter seltener verbalisiert werden als neutrale Wörter (Motley et al., 1981; Siegrist, 1995; Dhooge & Hartsuiker, 2011).

4.2 EKP Daten

Die visuelle Inspektion der gemittelten EKPs (siehe Abbildungen 7 und 8) zeigt für das Studiendesign typische Komponenten (siehe Kapitel 1.2.2).
So findet sich eine positive Komponente, die 100 ms nach dem Referenzpunkt auftritt und als P1/P100 identifiziert werden kann. Diese ist typisch für visuelle Stimuli (Luck, 2015) und resultiert in dieser Arbeit aus der Darstellung der Wörter auf einem Computerbildschirm. Sie ist gefolgt von der N100-Welle (N1), die nach ca. 150 ms ihr Maximum an den anterioren Elektroden erreicht. Die 170 ms später folgende Negativierung kann als N170 angesehen werden und weist auf das Erkennen von bekannten Wörtern hin (Schendan et al., 1998). Diese Komponenten lässt sich mit dem Lesen und Erkennen der gezeigten Wortpaare erklären.
In den frontalen Ableitungen zeigt sich eine negative Komponente im Zeitfenster von 500-1000 ms nach Präsentation des target-Wortpaares als Referenzpunkt (siehe dazu Abbildung 7), die auf die in Kapitel 2.3 vorgestellte medio-frontale Negativierung (MFN) hinweist und sich bei visueller Betrachtung zwischen den beiden Bedingungen (Tabuwort versus Kontrollbedingung) in ihrer Ausprägung

unterscheidet. Die Abweichungen voneinander sind nach visueller Betrachtung in dem Zeitintervall zwischen 600-800 ms am größten.

Die EKPs mit dem Sprechhinweis „Jetzt sprechen!“ als Referenzpunkt zeigen ebenso eine Negativierung in diesem Zeitfenster, jedoch vorerst keinen deutlich visuell sichtbaren Unterschied zwischen den beiden Bedingungen (siehe Abbildung 8).

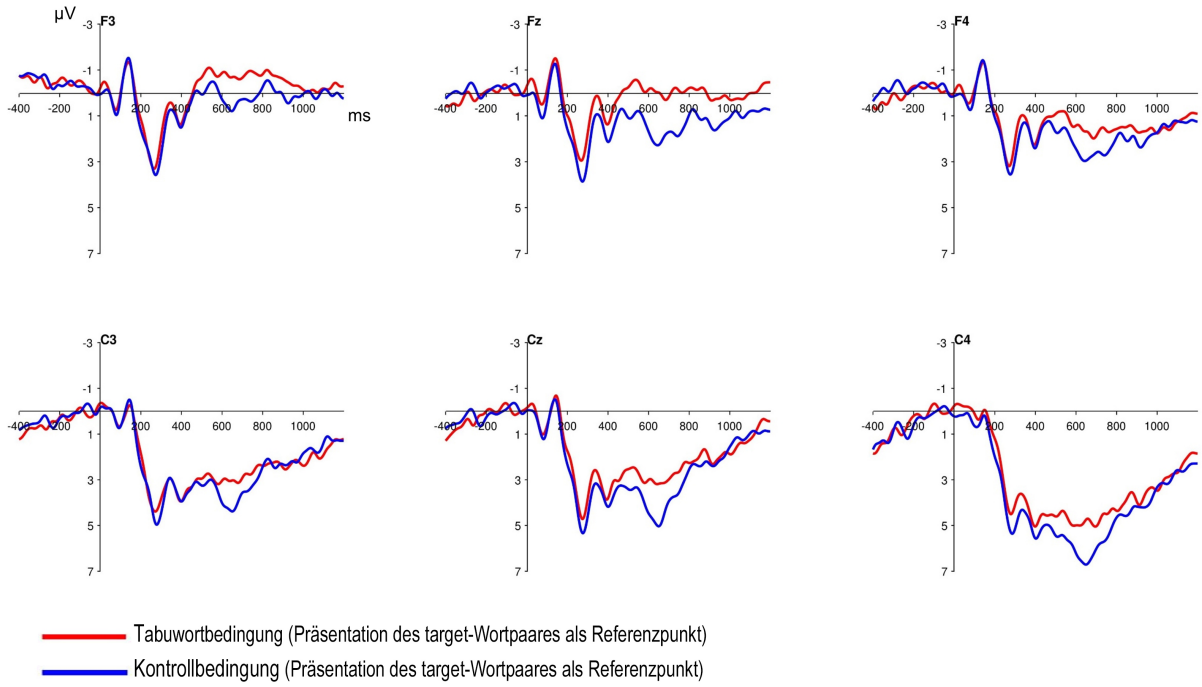

Abbildung 7

Gemittelte EKPs der Elektroden F3, Fz, F4, C3, Cz, C4 -400 ms vor und 1200 ms nach der Präsentation des target-Wortpaares. Negative Polarität wird nach oben aufgetragen. Die negative Komponente ist in der Tabuwortbedingung deutlicher und Ausdruck des Konfliktprozesses. Die Baseline ist bei -100 - 0 ms. Ein 20 Hz lowpass Filter wurde eingesetzt.

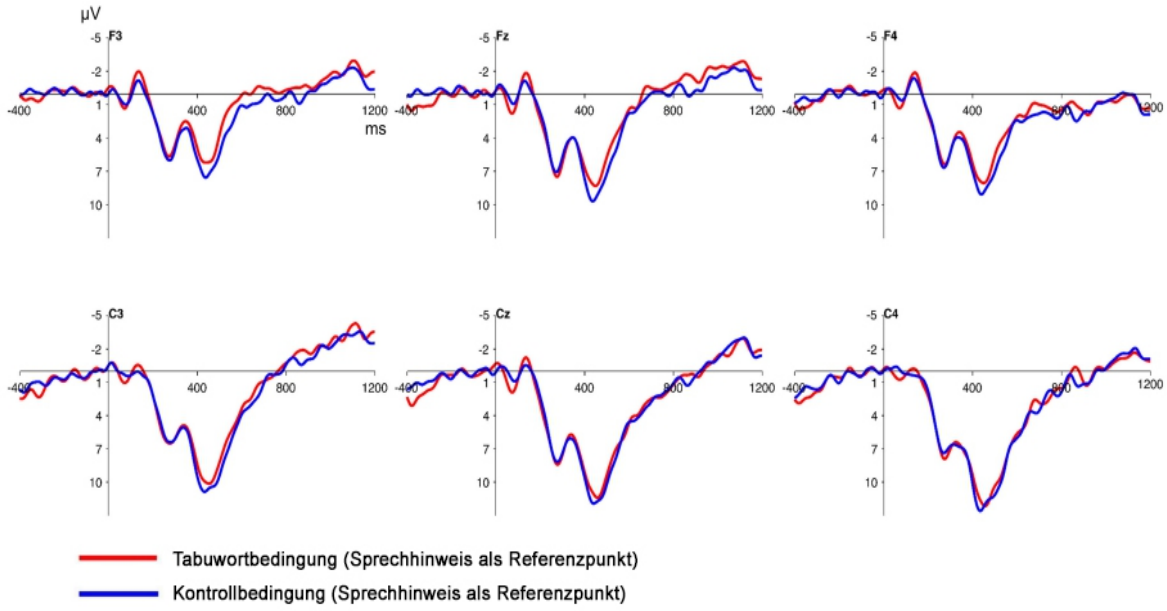

Abbildung 8

Gemittelte EKPs der Elektroden F3, Fz, F4, C3, Cz, C4 -400 ms vor und 1200 ms nach der Sprechaufforderung („Jetzt Sprechen!“). Negative Polarität wird nach oben aufgetragen. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen Tabuwort versus Kontrollwort. Die Baseline ist bei -100 - 0 ms. Ein 20 Hz lowpass Filter wurde eingesetzt.

Um die fronto-zentralen Elektroden (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4) zu analysieren, wurde eine 2 (Bedingung: Tabuwortbedingung versus Kontrollwortbedingung) x 2 (anterior/posterior: frontal versus zentral) x 3 (Hemisphäre: rechts versus zentral versus links) ANOVA im Messwiederholungsdesign mit der Huynh-Feldt Korrektur durchgeführt.

Diese zeigte eine signifikante Bedingung*anterior/posterior*Hemisphäre Interaktion ($F(2,48)=4,97$; $p=0.013$). Die Haupteffekte 'Anterior/Posterior' und 'Hemisphäre' waren hoch signifikant ($F(1,24)=57,27$; $p<0.001$ und $F(2,48)=17,03$; $p<0.001$). Der Haupteffekt 'Bedingung' war nicht signifikant ($F(1,24)=3,05$; $p=0.94$). Post-hoc t-Tests für die Tabuwortbedingung versus Kontrollwortbedingung für einzelne Elektroden zeigten einen signifikanten Bedingungsunterschied für die Fz Elektrode ($t(24)=2.28$, $p=0.03$). Es konnte kein signifikanter Bedingungsunterschied für andere Elektroden gezeigt werden (siehe auch

Abbildung 9A und 9B).

Außerdem wurde die N2 Komponente im Zeitintervall zwischen 280 und 380 ms analysiert. Hierfür wurde für die fronto-zentralen Elektroden eine 2 (Bedingung: Tabuwortbedingung versus Kontrollwortbedingung) x 2 (anterior/posterior: frontal versus zentral) x 3 (Hemisphäre: rechts versus zentral versus links) ANOVA im Messwiederholungsdesign durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Haupteffekt der 'Bedingung' ($F(1,24)=1,88$; $p=0.183$) und ebenso keine signifikante Bedingung*anterior/posterior*Hemisphäre Interaktion ($F(2,48)=2,3$; $p=0.124$).

Die EKPs mit dem Sprechhinweis als Referenzpunkt zeigen bei visueller Betrachtung keine deutlichen Differenzen zwischen den beiden Bedingungen. Um dies statistisch zu überprüfen, wurde für die fronto-zentralen Elektroden im Zeitrahmen zwischen 400 und 600ms eine 2 (Bedingung: Tabuwortbedingung versus Kontrollwortbedingung) x 2 (anterior/posterior: frontal versus zentral) x 3 (Hemisphäre: rechts versus zentral versus links) ANOVA im Messwiederholungsdesign durchgeführt.

Diese zeigte keinen signifikanten Haupteffekt der 'Bedingung' ($F(1,24)=1,81$; $p=0.191$) und keine signifikante Bedingung*anterior/posterior*Hemisphäre Interaktion ($F(2,48)=1,7$; $p=0.2$).

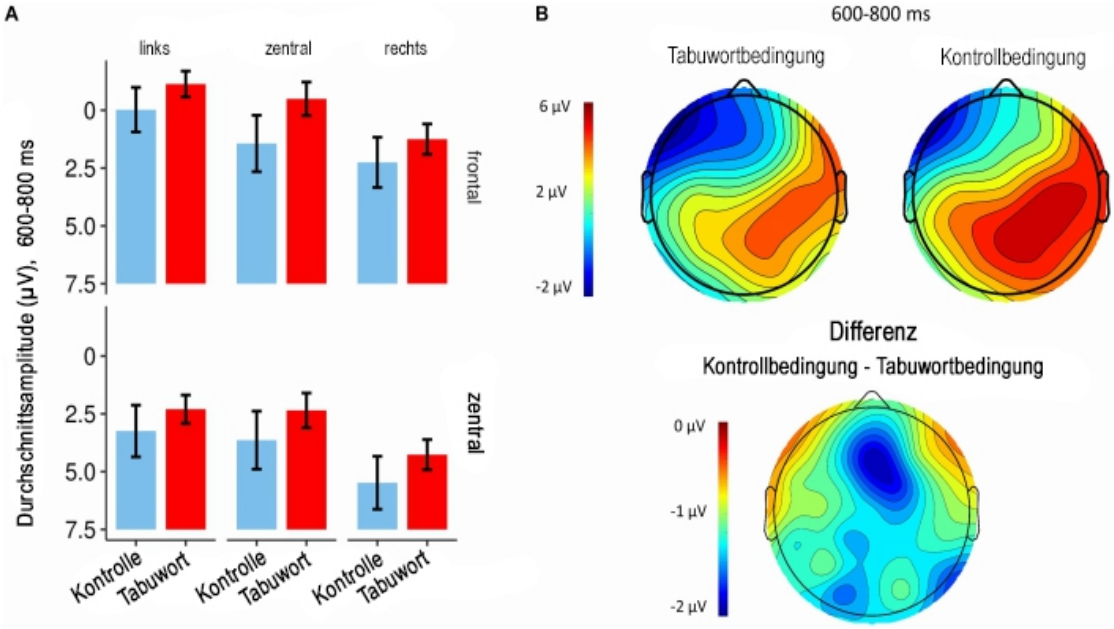

Abbildung 9

A. Balkendiagramm über die Durchschnittsamplitude in Mikrovolt im Zeitfenster zwischen 600-800 ms nach der Präsentation des target-Wortpaares für die fronto-zentralen Elektroden F3, Fz, F4, C3, Cz, C4. Rot: Tabuwortbedingung, blau: Kontrollwortbedingung. Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler (SEM) an.

B. Oben: Topographie der unterschiedlichen Wellen der EKPs in den beiden Bedingungen (Tabuwort versus Kontrollwort) im Zeitfenster zwischen 600-800 ms nach der Präsentation des target-Wortpaares. Unten: Darstellung der Differenz der zwei oberen Plots. Das Ergebnis ist eine fronto-zentrale Lokalisation der im EKP sichtbaren Komponente.

5) Diskussion

Die vorliegende Arbeit untersucht elektrophysiologische Korrelate und potentielle Unterschiede bei der Inhibierung des Aussprechens von Tabuwörtern und neutralen Wörtern an jungen, gesunden Probanden. Mithilfe eines sogenannten SLIP-Paradigmas wurden zwei konkurrierende Sprechpläne aktiviert, von denen einer durch einen Spoonerismus zu einem Verbalisieren von Tabuwörtern führen konnte. Mittels EEG-Messungen wurden kortikale Aktivitätsveränderungen aufgezeichnet und die daraus resultierenden EKPs analysiert.

Die behavioralen Daten zeigen zwei Ergebnisse. Zum einen konnte allgemein herausgefunden werden, dass Versprecher selten vorkommen, im Durchschnitt produzierte jeder Proband nur 2.03 Versprecher, was bei 304 auszusprechenden Wörtern einem prozentualen Anteil von 0.67% entspricht. Dieses Ergebnis, das die Seltenheit von Versprechern verdeutlicht, deckt sich mit bisherigen Studienergebnissen: Zum Beispiel konnten Severens et al. (2011) über einen Anteil von Versprechern von 1% berichten. Möller et al. (2007) konnten in ihrer Studie zwar sogar bis zu 10% Versprecher nachweisen, jedoch wurden die Probanden vor der Messung über die Spoonerismen aufgeklärt. Solch eine Aufklärung fand in der vorliegenden Studie nicht statt.

Zum anderen waren Versprecher in der Kontrollbedingung mit 0.91% deutlich häufiger als in der Tabuwortbedingung mit 0.43%. Somit wird die in Kapitel 1.1 formulierte Hypothese bestätigt. Dieses Ergebnis legt nahe, dass Tabuwörter besser detektiert und vor allem das Aussprechen solcher unerwünschten Wörter stärker inhibiert wird. Hinter diesem kognitiven Mechanismus wird eine cerebrale Grundlage vermutet, wodurch bestimmte Wörter, wie Tabuwörter, identifiziert und eine Verbalisierung verhindert werden kann. Auch dieses Ergebnis ist kongruent mit bisherigen Studienergebnissen, die zeigen konnten, dass Tabuwörter signifikant seltener ausgesprochen werden als neutrale Wörter (Motley et al., 1981; Siegrist, 1995; Dhooge & Hartsuiker, 2011).

Die gemittelten EKPs dieser Studie zeigen unter anderem eine fronto-zentrale Negativierung zwischen 500-1000 ms nach der Präsentation des Tabuwortpaares. Auch dieser Befund wurde, wie in Kapitel 1.1 geschrieben, erwartet.

Larsen et al. (2014) postulierten in dieser Komponente des EKPs, die als MFN

identifiziert werden kann, eine konfliktanzeigende Komponente.

Andere Autoren konnten ebenfalls eine Negativierung über den frontalen Elektroden nachweisen (Liotti et al., 2000; West, 2003; Xiang et al., 2013; Chouiter et al., 2014; Larson et al., 2014; Rey-Mermet at al., 2019) und anhand einiger Studien zeigen, dass eine betonte MFN mit einer Detektion von Konflikten und dem Finden von Lösungen in Verbindung zu bringen ist (West, 2003; Larson et al., 2014).

Das verwendete SLIP-Paradigma sollte, an die Idee von Möller et al. (2007) angelehnt, bei dem Probanden einen Konflikt auslösen, in dem zwei verschiedene Sprechpläne aktiviert wurden: nämlich einen korrekten und einen inkorrekten, der zu einem Spoonerismus und je nach Bedingung zu einem neutralen oder einem Tabuwort führt. Es kommt also zu einem Konkurrieren der beiden Sprechpläne, wobei ein Versprecher das Resultat der fehlerhaften Inhibition des inkorrekten Sprechplanes darstellt. Die in den EKPs resultierte Negativierung scheint ein Ausdruck des Konfliktes zwischen diesen zwei von dem SLIP-Paradigma induzierten Sprechplänen zu sein – dem korrekten Aussprechen des Wortes und dem induzierten Spoonerismus.

In der vorliegenden Studie wurde ein signifikanter Unterschied zwischen der MFN in der Kontrollbedingung und in der Tabuwortbedingung gefunden – in letzterer ist die MFN deutlicher in den EKPs zu sehen. Hier ist jedoch nochmals zu erwähnen, dass dieser Unterschied nur mit dem Erscheinen des target-Wortpaares als Referenzpunkt zu finden war und nicht bei dem Sprechhinweis als Referenzpunkt.

Auch Möller et al. (2007) fanden in ihrer Studie mit Spoonerismen ohne Tabuwörter eine negative Komponente mit Maximum zwischen 350-600 ms nach dem Erscheinen des target-Wortpaares als Referenzpunkt. Außerdem zeigten ihre EKPs eine deutlichere Negativierung bei gebildeten Spoonerismen (also fehlerhaft ausgesprochenen Wortpaaren). Die Autoren sehen in dieser Negativierung nach dem gewählten Referenzpunkt eine Reflektion eines Konfliktes in einem phonetisch/phonologischen Kodierungsstadium.

Möller et al. (2007) konnten auch eine Negativierung auf den Sprechhinweis folgend finden, die sich bei fehlerhaften Antworten deutlich zeigte. Dies reflektiert nach den Autoren einen Konflikt in einem artikulatorisch/motorischen Stadium. Sie äußern die Idee, dass sich die Negativierungen nach beiden Referenzpunkten ebenso in ihrem neurogenen Ursprung unterscheiden.

Severens et al. (2011) hingegen führten eine SLIP-Task mit Tabuwörtern durch und konnten auch eine deutlichere Negativierung beginnend ab 600 ms in ihrer Tabuwortbedingung zeigen, jedoch ist hierbei zu beachten, dass die Sprechaufforderung bei Severens et al. (2011) als Referenzpunkt diente und zu den Ergebnissen führte.

In der vorliegenden Arbeit konnte jedoch kein signifikanter Unterschied der EKPs nach der Sprechaufforderung gezeigt werden (siehe auch Abbildung 8). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen demnach eher mit den Befunden von Möller et al. (2007) in Einklang.

Die Unterschiede in den Ergebnissen zwischen den Arbeiten von Severens et al. (2011), Möller et al. (2007) und der hier vorliegenden könnten durch mehrere Aspekte hervorgerufen worden sein. Die Probanden bei Möller et al. (2007) wurden über die Spoonerismen aufgeklärt, während die Probanden dieser Studie keinen Hinweis auf solche hatten. Zu den Unterschieden könnten außerdem die verschiedene Zusammensetzung der jeweiligen Wortlisten, die Anzahl der Induktor-Wortpaare, Füllwörter etc. und deren genaue Anwendung innerhalb des Paradigmas eine Rolle spielen, welche es beispielsweise nach Severens et al. (2011) in ihrer Studie stark unvorhersehbar machte, wann Wörter auszusprechen waren.

Unter Berücksichtigung der MFN als elektrophysiologisches, konfliktanzeigendes EKP-Korrelat, scheint eine deutlichere MFN der Ausdruck eines höheren Konfliktlevels in der Tabuwortbedingung zu sein als in der Kontrollbedingung. Auch dieser Befund stimmt mit den in Kapitel 1.1 genannten Hypothesen überein. So scheint die Inhibition von falschen Wörtern zusätzlich wichtiger zu werden, handelt es sich bei dem falschen Wort um ein Tabuwort, vor allem unter Berücksichtigung des sozialen Kontexts, der die Unerwünschtheit von Tabuwörtern vorgibt (zum Beispiel im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie an der Universität).

Die MFN wird mit dem anterioren cingulären Cortex (ACC) in Verbindung gebracht (West, 2003; Yeung et al., 2004; Carter & van Veen, 2007), der, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, Teil des limbischen Systems ist und bedeutend für die affektive und kognitive Regulation ist (Bush, 2000; Botnivick et al., 2001; Sulpizio et al., 2019).

Severens et al. (2012) lokalisierten die Inhibierung von Wörtern allgemein, also sowohl neutraler, als auch Tabuwörter, auf neuronaler Ebene im rechten Gyrus frontalis inferior, dessen Aktivität sich nach den Autoren ebenso auf die MFN

auszuwirken scheint.

Eine weitere zu nennende konfliktanzeigende Komponente in EKPs ist die sogenannte „error related negativity“ (ERN). Die ERN besteht aus einer Negativierung in den zentralen und frontalen Ableitungen, gefolgt von einer Positivierung (Falkenstein, 1990; Gehring et al., 1993; Luck, 2015). Diese Komponente hat ihr Maximum bei 100-150 ms nach einer fehlerhaften motorischen Antwort (Scheffers et al., 1996) und ist stärker ausgeprägt, wenn es sich bei der zu behandelnden Aufgabe um eine Genauigkeits-, und nicht etwa um eine Schnelligkeitsaufgabe, handelt (Gehring et al., 1993). Gehring et al. (2002) verknüpfen diese Komponente mit inkorrekten, verlustbringenden Antworten der Probanden und sie scheint mit einem Konflikt zwischen gegebener und intendierter Antwort in Verbindung zu stehen (Botnivick et al., 2001; Luck, 2015). So erhält die ERN eine Bedeutung für den Prozess des Sich-Bewusstwerdens über eigenes, fehlerhaftes Verhalten. Sie unterscheidet sich maßgeblich durch den Zeitpunkt ihres Auftretens von anderen konfliktanzeigenden Komponenten wie der MFN, denn wichtig ist das Auftreten der ERN nach einer motorisch gegebenen, inkorrekten Antwort des Probanden (wie zum Beispiel dem falschen Drücken einer Taste auf einer Tastatur).

Daher konnte in der vorliegenden Studie keine ERN nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu der vorliegenden Studie untersuchten Trewartha & Phillips (2013), ob eine ERN-Komponente auch auf ein fehlerhaftes Aussprechen von Wörtern folgt. Sie konnten eine ERN-ähnliche Welle nachweisen, die sie als Ausdruck von „error processing“ titulieren. Diese ERN-Komponente nach der Verbalisierung inkorrekter Wörter zeigte ein gleiches zeitliches Auftreten und die gleiche Topographie wie die ERN-Komponente nach falschen motorischen Antworten. Trewartha & Phillips (2013) vermuten, dass die Aktivität des ACC auch bei der Überprüfung von Sprechfehlern eine Rolle spielt.

Die MFN und die ERN zeigen topographische Ähnlichkeiten und könnten beide dem gleichen Mechanismus zugrunde liegen. Der ACC scheint als zentraler Monitor zu dienen, der sowohl bei Konflikten durch verschiedene Stimuli, als auch bei Konflikten durch fehlerhafte Antworten aktiviert wird (Trewartha & Phillips, 2013). So könnte das SLIP-Paradigma dieser Arbeit den ACC als zentralen Monitor durch das Hervorrufen zweier, konkurrierender Sprechpläne aktiviert und einen Konflikt vor der Verbalisierung eines Sprechplans induziert haben. Dies wird

durch Komponenten in EKPs, wie der MFN, aber auch der ERN, reflektiert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle in Kapitel 1 geschriebenen Hypothesen bestätigt werden konnten. Die Wichtigkeit der Inhibition des Aussprechens von unerwünschten Tabuwörtern lässt sich einerseits an den Verhaltensdaten zeigen, denn Versprecher waren selten, wobei Tabuwörter noch deutlich seltener ausgesprochen wurden. Andererseits konnte dies auch elektrophysiologisch gezeigt werden: die EKPs zeigen ab 500 ms nach dem Erscheinen des target-Wortpaares auf dem Bildschirm eine Negativierung, die als MFN identifiziert werden konnte und in der Tabuwortbedingung signifikant deutlicher ist. Diese negative Komponente ist ein Indiz für einen Konflikt, der durch das SLIP-Paradigma und verschiedenen Sprechpläne ausgelöst wurde und im Zusammenhang mit Tabuwörtern größer zu sein scheint. Ihren neurogenen Ursprung hat diese MFN in Hirnstrukturen wie dem ACC und dem rechten Gfi, die oben und in den Kapiteln 2.2 und 2.3 bereits genauer erläutert wurden. Nach Brown (2013) ist der ACC aktiver, je höher das Bedürfnis von Kontrolle ist. Dies spricht dafür, dass Tabuwörter sozial unakzeptiert sind und in (einigen) sozialen Kontexten inhibiert werden müssen. Mit den Ergebnissen der Studie konnten alle erstellten Hypothesen (siehe Kapitel 1.1) bestätigt werden.

Diese Studie hat jedoch auch Einschränkungen. Tabuwörter werden als solche von jeder Person subjektiv wahrgenommen. Für diese Arbeit wurde der „Tabucharakter“ der ausgewählten Wörter vorher nicht von Dritten bewertet. Dies lässt daher die Frage offen, ob es sich bei jedem Spoonerismus-Wortpaar in der Tabuwortbedingung auch für den Probanden um ein Tabuwort handelte. Außerdem bleibt ungewiss, ob die Probanden das tabuwort-induzierende Paradigma innerhalb der Messung „durchschaut“ haben und besonders auf ein korrektes Aussprechen der target-Wortpaare achten konnten.

Bei den Probanden handelte es sich außerdem ausschließlich um gesunde, junge Studentinnen und Studenten. Die Ergebnisse sind somit nicht problemlos auf die Allgemeinheit übertragbar. Für die Zukunft wären weitere Messungen an anderen Personengruppen, auch an kranken Personen, beispielsweise an dem Tourette-Syndrom Erkrankten, nötig und interessant. Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Studie und folgenden Studien mit kranken Probanden kann Aufschluss darüber geben, ob das unwillkürliche Aussprechen bestimmter Wörter bei Gesunden und

bei Kranken (zum Beispiel bei der Koprolalie im Rahmen des Tourette-Syndroms) in gleichen (patho-)physiologischen Mechanismen wurzelt. Ebenso könnten Erkenntnisse darüber das Ziehen von Rückschlüssen auf zugrundeliegende, defekte Mechanismen möglich machen, die bei dem Tourette-Syndrom bis heute noch nicht abschließend geklärt sind. Menschen, die an einem Tourette-Syndrom erkrankt sind, zeigen zum Beispiel bei erhöhtem Stress oder Arousal eine Zunahme der Tics (Nagai, 2015), was mit Augenmerk auf die elektrodermale Aktivität als Messparameter des Sympathikotonus (siehe Kapitel 1.2.3) spannend sein kann.

Die N2-Komponente wurde lediglich nach dem Erscheinen der target-Wortpaare als Referenzpunkt untersucht – hier wäre eine zusätzliche Untersuchung dieser EKP-Komponente nach dem Sprechhinweis als Referenzpunkt denkbar gewesen, da diese, wie in vorigen Kapiteln erläutert, vor dem Geben einer motorischen Antwort auftritt (Yeung et al., 2004) und das Sprechen als solches eine motorische Antwort darstellen könnte.

Die vorliegende Arbeit legt also die Basis für zukünftige Arbeiten, die sich mit der Inhibition des Aussprechens von Tabuwörtern beschäftigt und bietet viele Möglichkeiten für weitere Forschungsfragen, die sich vor allem mit dem Vergleich von Gesundem und Krankem beschäftigen.

6) Zusammenfassung

Das Sprechen ist beim gesunden Menschen trotz zahlreicher und permanenter Distraktoren der Umwelt ein fast fehlerfreier Prozess. Ein entscheidendes Merkmal zur Gewährleistung eines fehlerfreien Ablaufs der Sprachproduktion ist eine kontinuierliche interne Überwachung von Sprache. Es wird postuliert, dass diese interne Sprachüberwachung durch das Erkennen von Konflikten zwischen verschiedenen Antwortoptionen oder „Sprechplänen" erfolgt. Daraus resultiert, dass Sprechfehler dann auftreten, wenn zwei oder mehr konkurrierende Sprechpläne aktiviert werden und der Sprecher nicht in der Lage ist, den/die fehlerhaften Plan/Pläne vor der Vokalisation zu hemmen.

Als prototypisches Beispiel eines solchen Sprechplans, der unterdrückt werden muss, gilt das versehentliche Aussprechen eines (sozial unerwünschten) Tabuwortes.

In der vorliegenden Arbeit werden ereigniskorrelierte Potentiale als elektrophysiologisches Korrelat bei der Unterdrückung der unwillkürlichen Äußerung eines Tabuwortes untersucht. Hierfür wird ein sogenanntes SLIP-Paradigma ("Spoonerisms of Laboratory Induced Predisposition", SLIP) genutzt, um zwei konkurrierende Sprechpläne zu induzieren, von denen einer korrekt ist und der andere entweder ein Tabuwort- oder einen neutralen beziehungsweise Nicht-Tabuwort-Spoonerismus enthält.

Die EEG-Messungen erfolgten an 32 gesunden Proband*innen (Durchschnittsalter 24,1 Jahre). Die Hypothese, dass inadäquate Sprachpläne im Allgemeinen effektiv unterdrückt werden können, konnte bestätigt werden, ebenso wie die Annahme, dass diese Kontrolle effektiver in der Tabuwortbedingung ist, da hier kognitive Kontrollprozesse sowohl durch die konkurrierenden Sprechpläne als auch durch die soziale Unangemessenheit der Tabuwörter induziert wird.

Die Auswertung der ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) zeigte als neurales Korrelat der Inhibition eine mediofrontale Negativierung (MFN), welche Konflikterkennung und -lösung zu reflektieren scheint. Die MFN war in der Tabuwortbedingung signifikant stärker ausgeprägt als in der Kontrollwortbedingung, welche als ein höheres Level des Konflikts bei der ungewollten Verbalisierung von Tabuwörtern interpretiert werden kann.

Diese Arbeit legt den Grundstein für weitere Forschungsschwerpunkte. Vor allem mit Blick auf Tic-Störungen (beispielsweise das Tourette-Syndrom und im Rahmen dessen das Phänomen der Koprolalie) könnten zukünftig folgende Untersuchungen Aufschluss über zugrundeliegende neuronale Unterschiede geben.

7) Literaturangaben

Ackermann, H., Daum, I., Schugens, M.M., & Grodd, W. (1996). Impaired procedural learning after damage to the left supplementary motor area (SMA). *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 60, 94-97.

Aron, A.R., Fletcher, P.C., Bullmore, E.T., Sahakian, B.J., Robbins, T.W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature Neuroscience*, 6(12), 115–6.

Aron, A.R., Behrens, T.E., Smith, S., Frank, M.J. & Poldrack, R.A. (2007). Triangulating a cognitive control network using diffusion-weighted magnetic resonance imaging (MRI) and functional MRI. *Journal of Neuroscience*, 27(14), 3743–3752.

Baars, B. J., Cohen, J., Bower, G. H., & Berry, J. W. (1992). Some Caveats on Testing the Freudian Slip Hypothesis Problems in Systematic Replication. In B. J. Baars (Hrsg.) *Experimental Slips and Human Error (*S. 289-313). New York: Springer Science + Business Media.

Bear, M., Connors, B. & Paradiso, M. (2018a). Gehirnrhythmen und Schlaf. In A. Engel (Hrsg.), *Neurowissenschaften – ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (S. 695-739). Berlin: Springer Verlag.

Bear, M., Connors, B. & Paradiso, M. (2018b). Sprache. In A. Engel (Hrsg.), *Neurowissenschaften – ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (S. 741-773). Berlin: Springer Verlag.

Bischofberger, J. (2016). Integrative Leistungen des zentralen Nervensystems. In J. C. Behrends et al. (Hrsg.) *Physiologie*, S. 747-779. Stuttgart: Thieme.

Botvinick, M. M, Braver, T. S, Carter, C. S, Barch, D. M, Cohen, J. D. (2001). Evaluating the demand for control: Anterior cingulate cortex and crosstalk monitoring. *Psychological Review.* 108, 624–652.

Brass, M., Haggard, P. (2007). To do or not to do: The neural signature of self-control. *Journal of Neuroscience*, 27(34), 9141–5.

Brickner R.M. (1940). A human cortical area producing repetitive phenomena when stimulated. *J Neurophysiol* 3, 128-130.

Brown J. W. (2013). Beyond conflict monitoring: Cognitive control and the neural basis of thinking before you act. *Current directions in psychological science*, *22*(3), 179–185. doi: https://doi.org/10.1177/0963721412470685

Brysbaert, M., Buchmeier, M., Conrad, M., Jacobs, A. M., Bölte, J., & Böhl, A. (2011). The word frequency effect. *Experimental psychology.*

Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 4(6), 215–222.* doi:10.1016/s1364-6613(00)01483-2

Carter, C.S. & van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: An update of theory and data. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 7, 367–379.

Carter, R., Aldridge, S., Page, M., Parker, S. (2014). Das Gehirn. München: Dorling Kindersley Verlag GmbH.

Chouiter, L., Dieguez, S., Annoni, J. M., & Spierer, L. (2014). High and low stimulus-driven conflict engage segregated brain networks, not quantitatively different resources. *Brain topography*, 27(2), 279-292.

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. Journal of neuroscience methods, 134(1), 9-21.

Desai, J., Huo, Y., Wang, Z., Bansal, R., Williams, S.C., Lythgoe, D., Zelaya, F.O., & Peterson, B.S. (2017). Reduced perfusion in Broca's area in developmental stuttering. *Hum Brain Mapp.* 38(4):1865-1874. doi: 10.1002/hbm.23487.

Dhooge, E., & Hartsuiker, R. J. (2011). How Do Speakers Resist Distraction? Evidence From a Taboo Picture-Word Interference Task. *Psychological Science* 22, 855-859.

Dudenredaktion (o. J.): „Tabu“ auf Duden online. URL: https://www.duden.de/node/178732/revision/178768 (Abrufdatum: 06.09.2021)

Falkenstein, M. (1990). Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention. *Psychophysiological brain research*.

Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., Blanke, L. (1990). Effects of errors in choice reaction tasks on the ERP under focused and divided attention. In: Brunia, C.H.M., Gaillard, A.W.K., Kok, A. (Hrsg.), *Psychophysiological Brain Research* (S. 192-195). Tilburg Univesity Press: Tilburg.

Garcia, C. (1993). Supplementär-motorisches Areal (SMA). *Fortschritte der Neurologie/Psychiatrie, 61(11), 383–389.* doi:10.1055/s-2007-999109

Gazzaniga, M., Ivry, R. & Mangun, G. (2014). Methods of cognitive Neuroscience. In M. Gazzaniga., M. Ivry. & G. Mangun (Hrsg.), *Cognitive Neuroscience* (S. 71-119). New York: W.WW. Norton & Company.

Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error-detection and compensation. *Psychological Science* 4, 385–390.

Gehring, W. J., & Willoughby, A. R. (2002). The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science* 295, 2279–2282.

Hansen, S. J., McMahon, K. L., de Zubicaray, G. I. (2019). The neurobiology of taboo language processing: fMRI evidence during spoken word production. *Soc Cogn Affect Neurisci* 14, 271–279.

Harris, C., Aycicegi, A., & Gleason, J. B. (2003). Taboo words and reprimands elicit greater autonomic reactivity in a first than a second language. *Applied Psycholinguistics* 24, 561–579.

Hartsuiker, R. J. & Kolk, H. H. J. (2001). Error Monitoring in Speech Production: A Computational Test of the Perceptual Loop Theory. *Cognitive Psychology* 42, 113–157

Jasper, H. H. (1958). The Ten Twenty Electrode System of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 10, 371-375.

Jay, T., King, K., & Duncan, T. (2006). College students' memories of punishment for cursing. *Sex Roles* 32, 123–133.

Jonas, S. (1981). The supplementary motor region and speech emission. *Journal of Communication Disorder* 14, 349-373.

Jiang, J., Bailey, K., Xiang, L., Zhang, L.,& Zhang, Q. (2016). Comparing the neural correlates of conscious and unconscious conflict control in a masked stroop priming task. *Frontiers in Human Neuroscience* 10:297. doi: 10.3389/fnhum.2016.00297

Larson, M. J., Clayson, P. E., & Clawson, A. (2014). Making sense of all the conflict: a theoretical review and critique of conflict-related ERPs. *International Journal of Psychophysiology*, *93*(3), 283-297.

Lawrence, M. A. (2016). *ez: Easy Analysis and Visualization of Factorial Experiments.* R package version 4.4-0. URL: https://CRAN.R- project.org/package=ez.

Levelt, W. J. M. (1983). Monitoring and self-repair in speech. *Cognition*, 14, 41–104.

Levelt, W. J. M. (1989). *Speaking: From intention to articulation.* Cambridge, USA/MA: MIT Press.

Liberzon, I., Taylor, S. F., Fig, L. M., Decker, L. R., Koeppe, R. A., & Minoshima, S. (2000). Limbic Activation and Psychophysiologic Responses to Aversive Visual Stimuli: Interaction with Cognitive Task. *Neuropsychopharmacology* 23, 508-516.

Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez III, R., & Mayberg, H. S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38(5), 701-711.

Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. Frontiers in human neuroscience, 8, 213.

Luck, S. J. (2015). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. USA, MA: MIT Press.

Michon, M., López, V., & Aboitiz, F. (2019). Origin and evolution of human language. *Progress in Brain Research.* doi:10.1016/bs.pbr.2019.01.005

Miller, R. (2007). The „Indirect“ Pathways from Striatum to Basal Ganglia Output Nuclei, and Their Relation to the „Direct“ Pathway. In R. Miller (Hrsg.) *A Theory of the Basal Ganglia and Their Disorders*, S. 37-71. USA: CRC Press.

Mohanty, A., Engels, A.S., Herrington J.D., Heller, B. C., Ho, M. R., Banich, M. T., Webb, A. G., Warren, S. L.,& Miller, G. A. (2007). Differential engagement of anterior cingulate cortex subdivisions for cognitive and emotional function. *Psychophysiology*, 44, 343–351.

Motley, M. T., and Baars, B. J. (1975) Encoding sensitivities to phonological markedness and transitional probability: evidence from spoonerisms. *Human Communication Research*, 2, 351-361.

Motley, M.T. & Baars, B.J. (1976). Semantic bias effect on the outcomes of verbal slips. *Cognition* 4, 177-187.

Motley, M. T., Camden, C. T., & Baars, B. J. (1981). Toward verifying the assumptions of laboratory-induced slips of the tongue: The output error and editing issues. *Human Communication Research* 8, 3–15.

Möller, J., Jansma, B. M., Rodriguez-Fornells, A., & Münte, T. F. (2007). What the brain does before the tongue slips. *Cerebral Cortex*, 17(5), 1173-1178.

Müller-Vahl, K.R., Kaufmann, J., Grosskreutz, J., Dengler, R., Emrich, H.M., & Peschel, T. (2009). Prefrontal and anterior cingulate cortex abnormalities in Tourette Syndrome: evidence from voxel-based morphometry and magnetization transfer imaging. *BMC Neuroscience*, 10, 47.

Nagai, Y. (2015). Modulation of autonomic activity in neurological conditions: Epilepsy and Tourette Syndrome. *Front. Neurosci.* 9:278.

Neef, N.E., Anwander, A., Bütfering, C., Schmidt-Samoa,C., Friederici, A. D., Paulus, W., & Sommer, M. (2018). Structural connectivity of right frontal hyperactive areas scales with stuttering severity. Brain 141(1). 191-204. doi:10.1093/brain/awx316

Neundörfer, B. (2002). *EEG-Fibel. Das EEG in der ärtzlichen Praxis.* München/Jena: Urban Fischer Verlag.

Nozari, N., Dell, G. S., & Schwartz, M. F. (2011). Is comprehension necessary for error detection? A conflict-based account of monitoring in speech production. *Cognitive psychology*, *63*, 1-33.

Nye, J., & Ferreira, F. (2017). Sentence processing of taboo words: Evidence from eyetracking. https://doi.org/10.31234/osf.io/h8uzs, zuletzt abgerufen am 21.02.2020

Oomen, C. C. E., Postma, A., & Kolk, H. H. J. (2001). Prearticulatory and postarticulatory self-monitoring in Broca's aphasia. *Cortex*, 37, 627–641.

Papoutsi, M., de Zwart, J.A., Jansma, J.M., Pickering, M.J., Bednar, J.A.,& Horwitz, B., (2009). From phonemes to articulatory codes: an fMRI study of the role of Brocas area in speech production. *Cereb. Cortex 19*(9), 2156–2165. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn239

Pinel, J. P. J. & Barnes, S. J. (2014). The Research Methods of Biopsychology. In J. P. J. Pinel & S. J. Barnes (Hrsg.) *Introduction to Biopsychology*, S. 125-152. England: Pearson.

Prinz, W. & Müsseler, J. (2011). Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Bewusstsein. In J. Müsseler (Hrsg.) *Allgemeine Psychologie*, S. 16-57. Berlin: Springer Verlag.

R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*, Wien, Österreich. URL: http://www.r-project.org/index.html

Reilly, J., Kelly, A., Zuckerman, B.M., Twigg, P. P., Wells, M., Jobson, K. R.,& Flurie, M. (2020). Building the perfect curse word: A psycholinguistic investigation of the form and meaning of taboo words. *The Psychonomic Bulletin & Review 27, 139-148.*

Rey-Mermet, A., Gade, M., & Steinhauser, M. (2019). Sequential conflict resolution under multiple concurrent conflicts: An ERP study. *NeuroImage* 188, 411-418.

Rojas, G. M., Alvarez, C., Montoya, C. E., de la Iglesia-Vayá, M., Cisternas, J. E., & Gálvez, M. (2018). Study of Resting-State Functional Connectivity Networks Using EEG Electrodes Position As Seed. *Frontiers in neuroscience 12*, 235. doi: https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235

Rolls, E. T. (2019). The cingulate cortex and limbic systems for action, emotion, and memory. *Handbook of Clinical Neurology,* 23–37. doi:10.1016/b978-0-444-64196-0.00002-9

Scheffers, M. K., Coles, M. G. H., Bernstein, P., Gehring, W. J., & Donchin, E. (1996). Event-related brain potentials and error-related processing: An analysis of incorrect responses to go and no-go stimuli. *Psychophysiology, 33(1), 42–53.* doi:10.1111/j.1469-8986.1996.tb02107.x

Schendan, H. E., Ganis, G., & Kutas, M. (1998). Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces within 150 ms. *Psychophysiology* 35, 240–251.

Severens, E., Janssens, I., Kühn, S., Brass, M.,& Hartsuiker, R. J. (2011). When the brain tames the tongue: Covert editing of inappropriate language. *Psychophysiology* 48, 1252–1257.

Severens, E., Kühn S., Hartsuiker, R. J., & Brass, M. (2012). Functional mechanisms involved in the internal inhibition of taboo words. *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 7, 431–435.

Siegrist, M. (1995). Effects of taboo words on color-naming performance on a Stroop test. *Perceptual & Motor Skills* 81, 1119–1122.

Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior. New York.* NY: The Free Press.

Sokolowski, K. (2011). Emotion. In J. Müsseler (Hrsg.) *Allgemeine Psychologie*, S. 296-327. Berlin: Springer Verlag.

Song, S., Zilverstand, A., Song, H., Uquillas, F. D. O., Wang, Y., Xie, C.,Cheng, L., & Zou, Z. (2017). The influence of emotional interference on cognitive control: A meta-analysis of neuroimaging studies using the emotional Stroop task. *Scientific Reports*, 7(1). Doi: 10.1038/s41598-017-02266-2

Sulpizio, S., Toti, M., Del Maschio, N., Costa, A., Fedeli, D., Job, R., & Abutalebi, J. (2019).Are you really cursing? Neural processing of taboo words in native and foreign language. *Brain Lang* 194, 84-92.

Tomash, J.J., & Reed, P. (2013). The Relationship Between Punishment History and Skin Conductance Elicited During Swearing. *The Analysis of verbal Behavior* 29, 109-115.

Tow, P. M. & Whitty, C. W. M. (1953). Personality Changes after Operations on the cingulate Gyrus in Man. Journal of Neurology, *Neurosurgery & Psychiatry, 16(3), 186–193.* doi:10.1136/jnnp.16.3.186

Trewartha, K. M. & Phillips, N. A. (2013). Detecting self-produced speech errors before and after articulation: an ERP investigation. *Frontiers in Human Neuroscience* 7, 763. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00763

Veen, V. v., & Carter, C. S. (2002). The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(4), 593-602.

Võ, M. L., Conrad, M., Kuchinke, L., Urton, K., Hofmann, M.J., & Jacobs, A. M. (2009). The Berlin affective word list reloaded (BAWL-R). *Behavior research methods, 41*(2), 534-538.

West, R. (2003). Neural correlates of cognitive control and conflict detection in the Stroop and digit-location tasks. *Neuropsychologia*, *41*(8), 1122-1135.

West, R., & Bailey, K. (2012). ERP correlates of dual mechanisms of control in the counting S troop task. *Psychophysiology*, *49*(10), 1309-1318.

Xiang, L., Wang, B., & Zhang, Q. (2013). Is consciousness necessary for conflict detection and conflict resolution? *Behavioural brain research*, 247, 110-116.

Xue, G., Aron, A.R., Poldrack, R.A. (2008). Common neural substrates for inhibition of spoken and manual responses. *Cerebral Cortex*, 18(8), 1923–32

Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological review,* 111(4), 931.

Zschocke, S. & Hansen, H. C. (2012). Entstehungsmechanismen des EEG. In S. Zschocke und H. C. Hansen (Hrsg.) *Klinische Elektroenzephalographie* (S. 2-28). Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.

8) Anhang

8.1 Ethikvotum

Die Studie ist im Rahmen der Forschergruppe TEC4tic durchgeführt worden und ist eine Kooperation der Technischen Universität Dresden und der Universität zu Lübeck.
Die Studie wurde von der Ethikkomision mit dem Aktenzeichen EK309082017 begutachtet und genehmigt.
Nähere Informationen zu der Forschergruppe TEC4tic finden sich unter:
https://www.tec4tic.uni-luebeck.de/startseite.html
(zuletzt aufgerufen am 13.09.2021)

8.2 Wortlisten

Wortliste der Kontroll-Bedingung	Wortliste der Tabuwort-Bedingung
kellnern bücken können bitten kippen baden kommen bellen bitten klettern	kellnern bücken können bitten kippen baden kommen bellen backen ketten
fette dolle faule dichte feine dürre fade derbe diese flinke	fette dolle faule dichte feine dürre fade derbe dicke feuchte
Schale Fichte Schwager Flanke Schwellung Fackel Schwerpunkt Fußweg Fleiß Schwiele	Schale Fichte Schwager Flanke Schwellung Fackel Schwerpunkt Fußweg Fuchtel Schwiele
rollen misten reifen malen rangeln melken rosten mesten massieren riechen	rollen misten reifen malen rangeln melken rosten mesten motzen riechen
Bahn Keil Barsch Koch Bild Kind Blitz Kinn Keil Brand	Bahn Keil Barsch Koch Bild Kind Blitz Kinn Kitsch Brand
stecken segeln stoßen singen stellen sagen stören sollen suhlen stellen	stecken segeln stoßen singen stellen sagen stören suhlen söhnen stellen
Puder Tasse Preise Tinte Pasta Tusche Puste Tische Tapir Pate	Puder Tasse Preise Tinte Pasta Tusche Puste Tische Tussy Pate
Galle Fische Gänse Filme Gitter Feder Glitzer Fieber Falle Gondel	Galle Fische Gänse Filme Gitter Feder Glitzer Fieber Flieder Gondel

mögen düsen müssen ducken mähen drehen möchten danken ducken machen	mögen düsen müssen ducken mähen drehen möchten danken dösen machen
fett kann frech kalt flott kahl früh kunst kahl fad	fett kann frech kalt flott kahl früh kunst kurz fahl
klauen meiden klatschen mahnen kommen morden kratzen mogeln müssen kleiden	klauen meiden klatschen mahnen kommen morden kratzen mogeln motzen kratzen
Nebel Flagge Namen Fabel Nacken Fackel Nagel Fehler Fichte Namen	Nebel Flagge Namen Fabel Nacken Fackel Nagel Fehler Feger Namen
Flosse Kasten Früchte Kriege Flasche Kessel Feste Kräfte Kohlen Feger	Flosse Kasten Früchte Kriege Flasche Kessel Feste Kräfte Kresse Feger
pusten dürfen poltern dunsten passen dehnen pinseln düsen dellen peitschen	pusten dürfen poltern dunsten passen dehnen pinseln düsen dissen pirschen
Leiden Wappen Lappen Wetter Lasten Wolle Leben Weste Weiher Leber	Leiden Wappen Lappen Wetter Lasten Wolle Leben Weste Wespe Leiter
kennen paaren kürzen protzen kappen pilgern kämpfen polstern plappern können	kennen paaren kürzen protzen kappen pilgern kämpfen polstern packen kennen
wischen machen werden müssen wärmen messen wirken melken machen wollen	wischen machen werden müssen wärmen messen wirken melken mixen welken

Pille Häuser Palmen Hefen Priester Hase Pickel Hirte Hetze Pfunde	Pille Häuser Palmen Hefen Priester Hase Pickel Hirte Himmel Panne
Päckchen Steine Pollen Stelle Plätze Straße Porto Stoppeln Stille Pflaume	Päckchen Steine Pollen Stelle Plätze Straße Porto Stoppeln Storno Pflanze
prickeln schreiben pusten schreien poltern schielen pöbeln schonen schicken pflücken	prickeln schreiben pusten schreien poltern schielen pöbeln schonen shoppen pflücken
Spiel Halt Spruch Herz Spalt Haar Spaß Hund Hecht Spatz	Spiel Halt Spruch Herz Spalt Haar Spaß Hund Hast Specht
flackern tollen freuen tanzen flitzen träumen fiepen tigern toppen fliegen	flackern tollen freuen tanzen flitzen träumen fiepen tigern ticken faseln
Partner Ratte Poster Reihe Pinsel Ringel Palme Rübe Rille Pilze	Partner Ratte Poster Reihe Pinsel Ringel Palme Rübe Risse Pille
Netze Kumpel Nudel Kinder Nebel Kreise Nutzen Kugel Kessel Nichte	Netze Kumpel Nudel Kinder Nebel Kreise Nutzen Kugel Kutte Nichte
parken klicken piepsen klemmen pilgern klaffen putzen klingeln klappern pendeln	parken klicken piepsen klemmen pilgern klaffen putzen klingeln klimpern pendeln
Masse Oper Mulde Ostern Muskel Ofen Meister Ochse Ode Maler	Masse Oper Mulde Ostern Muskel Ofen Meister Ochse Öse Mode

schöne weiche schale warme scheue weite schiefe wüste weiche scharfe	schöne weiche schale warme scheue weite schiefe wüste weiße scharfe
mürbe bare morsche breite matte beige milde blinde beide müde	mürbe bare morsche breite matte beige milde blinde böse müde
tippen bauen tadeln beten taufen basteln turnen buchen bauen tanzen	tippen bauen tadeln beten taufen basteln turnen buchen bitten tanzen
fasten blättern fechten blubbern futtern beißen finden blechen blitzen fahren	fasten blättern fechten blubbern futtern blitzen finden blechen blicken finden
Pappel Honig Peitsche Hummel Pony Hänger Perle Hörner Hetze Pfade	Pappel Honig Peitsche Hummel Pony Hänger Perle Hörner Himmel Panther
Pizza Schule Pinsel Schmiede Pony Scheibe Party Schiene Schelle Puder	Pizza Schule Pinsel Schmiede Pony Scheibe Party Schiene Schimmel Puder
Türe Mantel Tochter Münze Taucher Motte Tennis Mantel Mücke Tulpe	Türe Mantel Tochter Münze Taucher Motte Tennis Mantel Mitte Teller
schützen häufen scheinen helfen schätzen handeln scheuen hoffen hocken schreiben	schützen häufen scheinen helfen schätzen handeln scheuen hoffen heißen schieben
Folge Zentner Fischer Zuschlag Fessel Zierde Formel Zehe Zeile Falle	Folge Zentner Fischer Zuschlag Fessel Zierde Formel Zehe Zicke Falle

Arm Meer Achse Mumm Amt Mord Affe Milch Mauer Adel	Arm Meer Achse Mumm Amt Mord Affe Milch Marsch Art
finde mahle fühle murre föhne meine fahre miete made fiepe	finde mahle fühle murre föhne meine fahre miete motze finde
Pickel Werber Perser Wirte Pendel Waren Pisten Weine Wolle Peitsche	Pickel Werber Perser Wirte Pendel Waren Pisten Weine Wimpern Polster

9) Danksagung

Ich möchte mich besonders bei meinem Doktorvater Dr. Marcus Heldmann bedanken, mit dessen Engagement und stets verlässlicher Unterstützung und Hilfestellung das Anfertigen dieser Arbeit erst möglich gemacht wurde. Seine fachliche Kompetenz gepaart mit Humor und Spaß an der Forschung werden mich sicherlich auch in Zukunft gerne an diese Zeit zurückblicken lassen.
Außerdem gilt mein Dank Prof. Dr. Münte für die Unterstützung bei der Themenfindung.
Ich bedanke mich ebenso für die Möglichkeit, die Räumlichkeiten und technischen Geräte des CBBM für die EEG-Messungen und -auswertungen nutzen zu dürfen.
Weiterhin danke ich Jan Uter und Susanne Schellbach für die nette und flexible Einarbeitung im EEG Labor und Tobias Wagner-Altendorf für den regelmäßigen und hilfreichen Austausch.
Ich danke ebenso allen Probanden und meinen Freunden, die diese Arbeit Korrektur gelesen haben.

Zuletzt gilt ganz besonderer Dank:
meinen Eltern, ohne die das Studium für mich nicht möglich gewesen wäre und die mir immer mit Rat und Tat zur Seite stehen,
meinem Mann, der mich immer, so auch im Rahmen dieser Arbeit, uneingeschränkt unterstützt, motiviert und jederzeit ein offenes Ohr hat
und meiner kleinen Tochter, die jeden Tag ihre pure Lebensfreude verbreitet.

10) Lebenslauf