

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
Direktor: Herr Prof. Dr. med. Dr. h. c. Thomas Zahnert

Einfluss der Händigkeit auf die passive Verarbeitung seitengetrennt applizierter olfaktorischer Reize

D i s s e r t a t i o n s s c h r i f t

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin Doctor
medicinae (Dr. med.)
vorgelegt
der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus
der Technischen Universität Dresden

von

Marie Gottschlich
aus Köthen (Anhalt)

Dresden 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Vorwort	7
1.2	Das olfaktorische System	7
1.2.1	Anatomie und Physiologie des olfaktorischen Systems	7
1.2.2	Neuronale Verarbeitung olfaktorischer Informationen	9
1.3	Händigkeit	10
1.3.1	Entwicklung der Händigkeit	10
1.3.2	Die Rolle der Händigkeit im kulturellen Kontext	12
1.3.3	Händigkeit und andere Lateralisierungsprozesse	13
1.4	Händigkeit und Lateralisierung im olfaktorischen System	14
2	Fragestellung	16
3	Material und Methoden	17
3.1	Studiendesign	17
3.1.1	Allgemeines Studiendesign	17
3.1.2	Auswahl der Studienteilnehmer und Vorbereitung	18
3.2	Das Olfaktometer	21
3.2.1	Aufbau des Olfaktometers	21
3.2.2	Verwendete Duftstoffe	23
3.2.3	Duftstoffapplikation	23
3.3	Elektrophysiologische Untersuchungen	25
3.3.1	Das Elektroenzephalogramm	25
3.3.2	Olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale	27
3.4	Funktionelle Magnetresonanztomographie	29
3.4.1	Grundlagen der Magnetresonanztomographie	29
3.4.2	Die funktionelle Magnetresonanztomographie und der BOLD-Effekt	30

3.5	Datenauswertung.....	31
3.5.1	SPSS.....	31

3.5.2	SPM	32
4	Ergebnisse	34
4.1	Probandenkollektiv – Deskriptive Statistik	34
4.2	Olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale	37
4.2.1	Psychophysische Daten	37
4.2.2	OEP in Abhängigkeit von der Händigkeit	39
4.2.3	OEP in Abhängigkeit von der Reizseite	40
4.2.4	OEP in Abhängigkeit vom Duftstoff	42
4.2.5	OEP in Abhängigkeit von der Ableitposition	43
4.3	Funktionelle Magnetresonanztomographie.....	44
4.3.1	Psychophysische Daten	44
4.3.2	Olfaktorische Hirnaktivierung ON vs. OFF	46
4.3.3	Aktivierung in Abhängigkeit von der Händigkeit	48
4.3.4	Aktivierung in Abhängigkeit von der Reizseite	48
5	Diskussion	49
5.1	Die Händigkeit und das olfaktorische System.....	49
5.2	Die Rolle der Hedonik	50
5.3	Der Einfluss kognitiver Anforderungen	51
5.4	Die Prädominanz der rechten Hemisphäre.....	53
5.5	Aktivierung sekundärer olfaktorischer Areale	54
5.6	Kritikpunkte	55
5.7	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	56
6	Zusammenfassung.....	58
6.1	Deutsch.....	58
6.2	Englisch	60
7	Verzeichnisse	62
7.1	Literaturverzeichnis	62
7.2	Abbildungsverzeichnis	70
7.3	Tabellenverzeichnis	72

7.4	Abkürzungsverzeichnis	73
8	Anhang	74
8.1	Anamnesebogen	74
8.2	Händigkeitsfragebogen	76
8.3	Varianzanalyse der OEP	77
8.4	Deskriptive Statistik der OEP	78
9	Erklärungen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
9.1	Erklärung zur Eröffnung des Promotionsverfahrens	Fehler! Textmarke nicht definiert.
9.2	Erklärung über die Einhaltung der aktuellen gesetzlichen Vorgaben	Fehler! Textmarke nicht definiert.
10	Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.
11	Danksagung	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Albert Einstein, Leonardo da Vinci und Wolfgang Amadeus Mozart scheinen auf den ersten Blick nicht sehr viele Gemeinsamkeiten zu haben. Und doch verbindet die drei Herren eine Eigenschaft, welcher sie möglicherweise sogar ihre besondere Begabung zu verdanken hatten. Sie waren allesamt Linkshänder und reihen sich damit in eine ganze Riege erfolgreicher Künstler, Wissenschaftler oder auch Politiker und Sportler verschiedenster Epochen ein. Denn Linkshänder sind in diesen spezifischen Gruppen relativ häufiger anzutreffen als in der Normalbevölkerung (Smith et al. 1989; Milenković et al. 2010). Die Erklärungsversuche sind vielfältig und haben Händigkeit und hemisphärische Spezialisierung in den Focus vieler wissenschaftlicher Studien gerückt.

Denn Linkshänder verwenden durch die motorische Dominanz der rechten Hemisphäre nicht nur bevorzugt die linke Hand für Tätigkeiten, welche Geschick, Fingerfertigkeit, Schnelligkeit und Kraft erfordern, sie weisen im Vergleich zu Rechtshändern auch eine erhöhte Inzidenz atypischer Sprachlateralisierung auf (Szaflarski et al. 2002). Darüber hinaus konnten in einigen Untersuchungen Parallelen zwischen der Händigkeit und der Dominanz eines Auges oder eines Ohres gefunden werden (Bourassa et al. 1996; Reiss & Reiss 1999). Wenngleich olfaktorische Reize im Unterschied zu den übrigen Sinnessystemen im Wesentlichen ipsilateral verarbeitet werden (Lascano et al. 2010), so sind doch Effekte der Händigkeit zu erwarten.

1.2 Das olfaktorische System

1.2.1 Anatomie und Physiologie des olfaktorischen Systems

Beim Menschen befindet sich die Riechschleimhaut in der Riechspalte am oberen Nasengang. Dadurch können Duftstoffe nicht nur orthonasal über die Nasenhöhle, sondern auch retronasal beim Kauen oder Schlucken von Speisen und Getränken aus der Mundhöhle über die Choanen wahrgenommen werden.

Die Riechschleimhaut setzt sich aus einem mehrschichtigen olfaktorischen Epithel und der subepithelialen Lamina propria, in welcher sich Bowman-Drüsen, Blutgefäße, Bindegewebe und die Axone der olfaktorischen Rezeptorneurone befinden, zusammen. Das olfaktorische Epithel umfasst beim Erwachsenen eine Gesamtfläche von etwa 500 mm², beim Neugeborenen noch deutlich mehr, und besteht neben den olfaktorischen Rezeptorneuronen

(ORN) aus Basalzellen, Stützzellen sowie mikrovillären Zellen. Zentrale Bedeutung kommt den ORN zu. Es handelt sich dabei um bipolare Zellen, deren dendritische Fortsätze einerseits in die Mukusschicht der Riechschleimhaut ragen und deren Axone andererseits als erstes Neuron der Riechbahn zum Bulbus olfactorius ziehen. In den Zellmembranen der ORN befinden sich Rezeptorproteine, welche Duftstoffe aus der Umgebung binden und dadurch die Aktivierung einer Signaltransduktionskaskade auslösen. Abbildung 1 stellt diesen Mechanismus stark vereinfacht dar. Über die Aktivierung eines spezifischen olfaktorischen G-Proteins (G_{olf}) und die anschließende Aktivierung der Adenylatzyklase wird aus dem Energieträger Adenosintriphosphat (ATP) das zyklische Adenosinmonophosphat (cAMP) als Second Messenger gebildet. Dieses führt zur Öffnung von Kationenkanälen, wodurch wiederum eine Änderung des Membranpotentials bewirkt wird. Das geänderte Membranpotential wird in der Folge bei Überschreiten eines definierten Schwellenpotentials als Aktionspotential zur ersten Synapse im Bulbus olfactorius fortgeleitet (Witt & Hansen 2009).

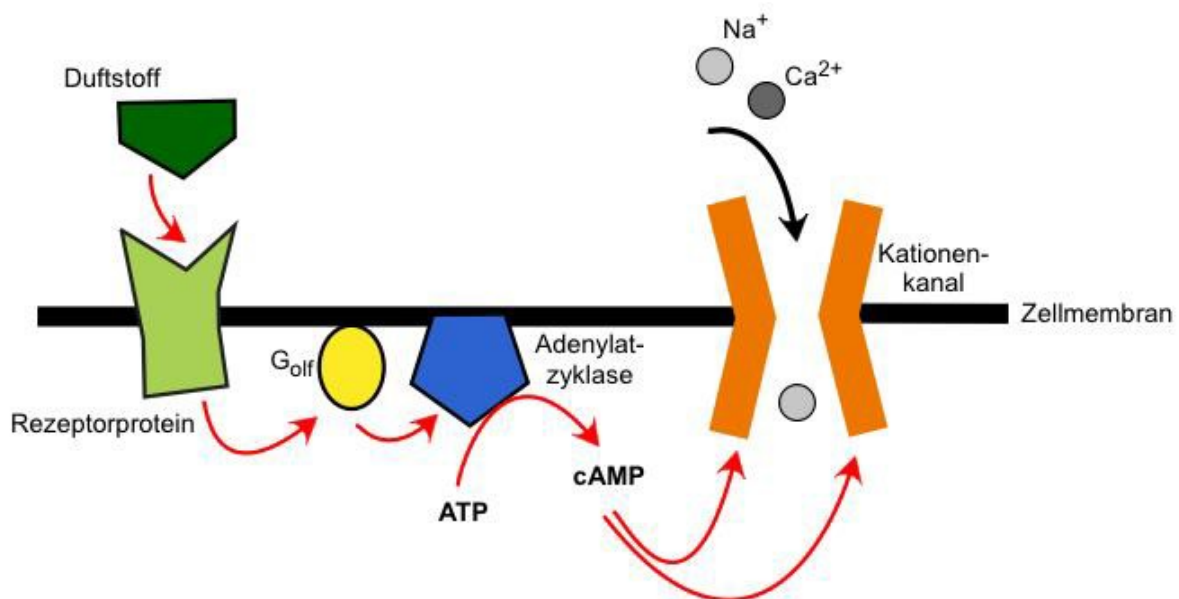


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Signaltransduktionskaskade des physiologischen Riechvorgangs am olfaktorischen Rezeptorneuron

Es wird angenommen, dass jedes ORN nur einen Rezeptortyp exprimiert, wobei jedoch ein Rezeptor verschiedene Duftstoffe binden und ein Duftstoff mit seinen unterschiedlichen Molekülbestandteilen wiederum mehrere Rezeptortypen aktivieren kann (Hatt 2004). Es werden beim Menschen bis zu 400 verschiedene Rezeptorproteintypen vermutet. Durch die teilungsfähigen Basalzellen wird eine lebenslange Regeneration des olfaktorischen Epithels

ermöglicht. Die durchschnittliche Lebensdauer der ORN beträgt dabei etwa 60 Tage und nimmt mit dem Alter merklich zu. Die Stützzellen dienen der Aufrechterhaltung des Ionengleichgewichts mit dem Extrazellularraum und isolieren die ORN mit Hilfe von Tight junctions apikal voneinander. Dadurch kann die Polarität der ORN erhalten werden. Die Funktion der mikrovillären Zellen hingegen ist beim Menschen unklar (Witt & Hansen 2009).

1.2.2 Neuronale Verarbeitung olfaktorischer Informationen

Die gebündelten Axone der ORN bilden die Fila olfactoria, welche in ihrer Gesamtheit dem I. Hirnnerv, dem Nervus olfactorius, entsprechen. Sie ziehen durch die Lamina cribrosa des Siebbeins zum Bulbus olfactorius. Der Bulbus olfactorius stellt eine paarige Ausstülpung des Großhirns dar. Dementsprechend weisen die Bulbi olfactorii ähnlich dem Großhirn sechs laminare Schichten auf. In den Glomeruli, welche die zweite Schicht darstellen, befindet sich zwischen den Axonen der ORN und den sogenannten Mitralzellen die erste synaptische Verbindung der Riechbahn. Axone, die denselben Rezeptortyp exprimieren, konvergieren dabei stets auf eine Mitralzelle. Darüber hinaus wird in den Glomeruli durch die lateral hemmenden Interneurone der Körnerzellen und periglomerulären Zellen eine Kontrastverstärkung und Feinabstimmung des Riecheindrucks erzielt. Die Axone der Mitralzellen stellen schließlich das zweite Neuron der Riechbahn dar und bilden, wie in Abbildung 2 gezeigt, in ihrer Gesamtheit den Tractus olfactorius.

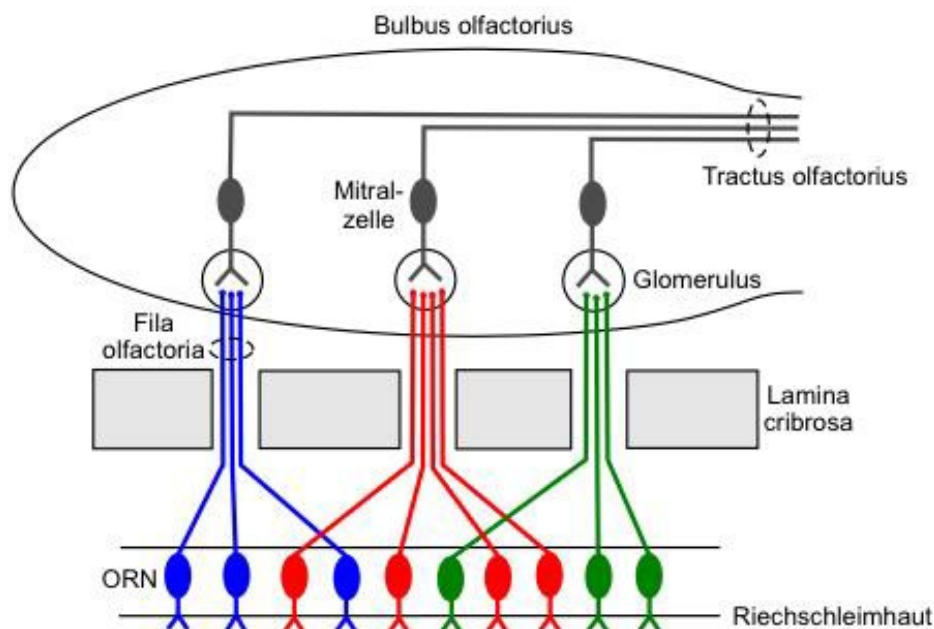


Abbildung 2: Vereinfachte schematische Darstellung der peripheren Riechbahn

Der Tractus olfactorius verläuft unterhalb des Frontallappens im Sulcus olfactorius und projiziert unter Umgehung des Thalamus auf den olfaktorischen Cortex. Dieser gehört wie auch der Bulbus olfactorius entwicklungsgeschichtlich zum Paläo- oder Archicortex, welche als ältere Teile des Großhirns zusammenfassend auch als Allocortex bezeichnet werden. Der olfaktorische Cortex umfasst die Strukturen piriformer Cortex, entorhinaler Cortex, Nucleus olfactorius anterior sowie Amygdala und ventrales Striatum. Der piriforme Cortex stellt dabei die wichtigste Schaltstelle olfaktorischer Informationen dar. Dem entorhinalen Cortex kommt als Verbindung zwischen Allo- und Neocortex, dem entwicklungsgeschichtlich jüngsten Teil des Großhirns, ebenfalls eine besondere Bedeutung zu. Über die Commissura anterior bestehen Verbindungen zwischen den nachgeschalteten olfaktorischen Strukturen beider Hemisphären (Savic 2002). Von diesen Arealen ausgehend ziehen dann Fasern zu Inselrinde und orbitofrontalem Cortex, den olfaktorischen Strukturen des Neocortex. Dort werden die olfaktorischen Informationen bewusst wahrgenommen, interpretiert und über Verbindungen zu Hypothalamus, Thalamus, Basalganglien und dem limbischen System weiterverarbeitet und mit Informationen anderer Sinnesmodalitäten verknüpft. Darüber hinaus nehmen olfaktorische Informationen über das limbische System, insbesondere den Hippocampus, Einfluss auf emotionale Prozesse und das Gedächtnis. Die anatomische Nähe von Amygdala und Hippocampus ermöglicht es offenbar, dass olfaktorische Erlebnisse, wie zum Beispiel die Madeleine des Marcel Proust, dem Gedächtnis auch über lange Zeit zugänglich bleiben (Witt & Hansen 2009).

1.3 Händigkeit

1.3.1 Entwicklung der Händigkeit

Studien haben gezeigt, dass zerebrale Asymmetrie und Händigkeit bereits frühzeitig in der Stammesgeschichte des Menschen existent waren (Uomini 2009). Beispielsweise konnten Rugg und Mullane anhand prähistorischer Funde des Pleistozän nachweisen, dass Waffen und Werkzeuge speziell für Linkshänder gefertigt wurden (Rugg & Mullane 2001). Untersuchungen an Knochen der oberen Extremitäten konnten die frühe Existenz von Linkshändern bestätigen. Sie zeigten allerdings auch, dass der Anteil der Linkshänder offenbar schon zu dieser Zeit geringer war (Trinkaus et al. 1994). Offen und nicht sicher beweisbar bleibt nichtsdestotrotz, ob es sich um wirkliche Linkshänder handelte oder ob nicht Verletzungen oder Amputationen der rechten Hand vorlagen, welche die Benutzung der linken Hand erforderten.

Im Laufe der evolutionären Entwicklung ist die Verteilung der Händigkeit im Wesentlichen stabil geblieben. Linkshänder sind im Vergleich zu Rechtshändern deutlich

unterrepräsentiert. Aufgrund von evolutionären Vor- und Nachteilen der Linkshänder hat sich dennoch ein stabiler Polymorphismus entwickelt (Gutwinski et al. 2011). Einerseits spricht man bei Linkshändern von einem Überraschungseffekt, welcher sich in Eins-zu-Eins-Konfrontationen positiv auswirkt und das Überleben der Linkshänder begünstigt (Raymond et al. 1996). Andererseits besteht bei Linkshändern ein erhöhtes Verletzungs- und Unfallrisiko basierend auf der Tatsache, dass beispielsweise ein Großteil von Maschinen auf Rechtshänder ausgelegt ist. Darüber hinaus treten bestimmte Erkrankungen wie Epilepsie oder Schizophrenie bei Linkshändern häufiger auf, woraus wiederum eine geringere Lebenserwartung resultiert (Halpern & Coren 1988; Coren & Halpern 1991).

Hepper et al. konnten zeigen, dass sich die Händigkeit bereits im Mutterleib entwickelt. Sie beobachteten, dass Feten häufiger am rechten Daumen saugen und auch häufiger den rechten Arm bewegen (Hepper et al. 1998; Hepper et al. 2005). Traumatheorien begründen die Entwicklung der Linkshändigkeit hingegen mit perinatalem Stress und Sauerstoffmangel unter der Geburt. Durch eine frühe Schädigung der linken Hemisphäre würden Rechtshänder somit zu Linkshändern werden (Bakan et al. 1973; Schwartz 1988; Segal 1989).

Ferner wurden unterschiedliche genetische Theorien, welche sich vorrangig von Familienuntersuchungen ableiten, entwickelt. Insbesondere jene von Annett und McManus sind hier zu erwähnen. Annett postulierte die Right-Shift-Theorie, welche besagt, dass sowohl Händigkeit als auch Sprachdominanz durch das sogenannte Right-Shift-Gen beeinflusst werden. Eine homozygote oder heterozygote Ausprägung des Right-Shift-Gens führt zur Schwächung der rechten Hemisphäre. Durch die Dominanz der linken Hemisphäre erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der Rechtshändigkeit, wohingegen sich Händigkeit und Sprache bei Fehlen des Right-Shift-Gens rein zufällig auf die beiden Hemisphären verteilen (Davis & Annett 1994; Annett & Alexander 1996). Die Theorie von McManus unterscheidet zwei Varianten der Händigkeit, welche sich aus den Allelen D (Dextral) und C (Chance) ableiten. Während eine Homozygotie für Dextral (DD) zu 100 % Rechtshändigkeit ergibt, resultiert aus dem Allel Chance in homozygoter Form (CC) eine 50:50-Wahrscheinlichkeit für Links- oder Rechtshändigkeit. Heterozygote Individuen (DC) sind demnach zu 25 % Linkshänder (McManus 1991).

In den letzten Jahren wurde zudem die Rolle des Gens Protocadherin XY diskutiert. Protocadherin XY befindet sich auf den geschlechtsbestimmenden Chromosomen und steuert als Zell-Adhäsions-Molekül möglicherweise über die Migration der Nervenzellen die Entwicklung der zerebralen Asymmetrie. Auch in dieser Theorie wird die Händigkeit einhergehend mit der Entwicklung der Sprache betrachtet (Crow 2001; Crow 2002).

Es existieren zahlreiche weitere Theorien, welche neben soziokulturellen auch pathophysiologische oder evolutionäre Aspekte berücksichtigen. Nichtsdestotrotz konnte die Entwicklung der Händigkeit damit bisher nicht hinreichend erklärt werden und wird auch in Zukunft Gegenstand der Wissenschaft sein.

1.3.2 Die Rolle der Händigkeit im kulturellen Kontext

Der Anteil der Linkshänder an der Gesamtbevölkerung wird mit 5 % bis 25,9 % angegeben (Gutwinski et al. 2011). Laut McManus sind es nur etwa 8 % (McManus 1991), Raymond et al. bezifferten die Prävalenz der Linkshändigkeit wiederum mit 10 % bis 13 % (Raymond et al. 1996).

Dabei scheinen insbesondere kulturelle und regionale Einflüsse bedeutsam zu sein (Raymond & Pontier 2004). Beispielsweise sind in China nur etwa 1 % der Bevölkerung Linkshänder. Traditionelle, religiöse und kulturelle Gründe führen dort auch heute noch zur Diskriminierung und Stigmatisierung von Linkshändern. Ähnlich ist die Situation in Indien und der islamischen Welt (Kushner 2013). Einen weiteren Beleg für kulturelle Einflüsse auf die Entwicklung der Händigkeit lieferten Fagard und Dahmen. Sie verglichen französische mit tunesischen Kindern und zeigten einen geringen Anteil von Linkshändern unter den Tunesiern. Dies führten sie insbesondere auf die Tatsache zurück, dass in Tunesien beim Essen und damit assoziierten Tätigkeiten ein starker Druck zur Verwendung der rechten Hand besteht (Fagard & Dahmen 2004). Ardila et al. konnten einen signifikanten Einfluss von Kultur und Umwelt auf die Festlegung der Handpräferenz bestätigen. Sie postulierten allerdings, dass die Händigkeit weder durch das Geschlecht noch durch das Bildungsniveau beeinflusst wird (Ardila et al. 1989). Zahlreiche Studien haben aber mittlerweile gezeigt, dass es mehr männliche als weibliche Linkshänder gibt (Davis & Annett 1994; Medland et al. 2004). Darüber hinaus ist der Anteil der Linkshänder an der jungen Bevölkerung deutlich höher als in älteren Bevölkerungsschichten. Dies könnte zum einen mit der bereits erwähnten geringeren Lebenserwartung der Linkshänder oder auch mit dem stärkeren sozialen Druck begründet werden, welcher noch vor einigen Jahrzehnten vorherrschte und zum konsequenten Umlernen der Linkshänder führte. Ältere, einst umgelernte Linkshänder tendieren nach wie vor vermehrt dazu die rechte Hand zum Schreiben zu verwenden (Galobardes et al. 1999; Milenković et al. 2010).

Wie einleitend bereits erwähnt, konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass Linkshändigkeit insbesondere unter Sportlern, Musikern und Künstlern, aber auch unter Mathematikern und Physikern gehäuft auftritt (Milenković et al. 2010). Als Ursache dafür wird am ehesten die größere interhemisphärische Konnektivität vermutet, welche sich bei

Linkshändern in der Größe des Corpus callosum widerspiegelt (Witelson 1985). Linkshänder scheinen dadurch den Rechtshändern in der parallelen Verwendung beider Hemisphären überlegen zu sein. So zeigt sich die Neigung zur Beidhändigkeit häufiger bei Links- als bei Rechtshändern, was insbesondere Musikern aber auch Sportlern in bestimmten Sportarten, wie beispielsweise dem Boxen oder Judo zugute kommt (Judge & Stirling 2003). Demgegenüber konnte aber auch beobachtet werden, dass beispielsweise Dyslexie und Lernschwierigkeiten unter Linkshändern häufiger vorkommen und Linkshändigkeit folglich nicht ausschließlich mit besonderen Fähigkeiten assoziiert ist (Steenhuis et al. 1993; Scerri et al. 2011).

1.3.3 Händigkeit und andere Lateralisierungsprozesse

Die Händigkeit stellt das offensichtlichste und bekannteste Merkmal hemisphärischer Spezialisierung dar. Aus der Dominanz der überwiegend linken Hemisphäre für motorische Funktionen resultiert die Rechtshändigkeit. Rechtshänder nutzen für verschiedenste, insbesondere feinmotorische Tätigkeiten bevorzugt die rechte Hand und zeigen oft auch eine Neigung zur Präferenz des rechten Fußes (Oldfield 1971; Reiss & Reiss 1997; Hebbal & Mysorekar 2003). Bei einem weitaus geringeren Teil der Bevölkerung führt hingegen die dominante rechte Hemisphäre zur Linkshändigkeit, wobei die Linksfüßigkeit auch bei Linkshändern deutlich unterrepräsentiert ist.

Im Kontext der zerebralen Asymmetrie spielt darüber hinaus die Sprache eine vordergründige Rolle. Analog zur Händigkeit ist die linke Hemisphäre üblicherweise auch in der Sprachproduktion und Sprachwahrnehmung dominant. Eine fMRT-Studie von Szaflarski et al. hat jedoch gezeigt, dass die Inzidenz atypischer Sprachlateralisierung bei Linkshändern und Beidhändern signifikant höher ist als bei Rechtshändern. 8 % der Probanden, welche allesamt Nicht-Rechtshänder waren, zeigten eine Aktivierung der rechten Hemisphäre, während 14 % eine symmetrische Aktivierung beider Hemisphären boten (Szaflarski et al. 2002). Zusammenhänge in der evolutionären Entwicklung von Sprache und Händigkeit sind folglich anzunehmen, aber nichtsdestotrotz bis heute umstritten (Ocklenburg et al. 2014). Man geht beispielsweise davon aus, dass die Parallelen in der hemisphärischen Spezialisierung von Sprache und Händigkeit daraus resultieren, dass ursprünglich manuelle Gesten der Kommunikation dienten und im Verlauf durch Sprache ersetzt wurden (Corballis 2009).

Lateralisierungsprozesse und Effekte der Händigkeit sind nicht nur auf motorischer, sondern auch auf sensorischer Ebene untersucht worden. Reiss konnte in einer Studie mit 506 Männern und 430 Frauen zeigen, dass nicht nur die rechte Hand und der rechte Fuß

bevorzugt verwendet werden, sondern dass etwa 2/3 der Probanden auch eine Präferenz für das rechte Auge und das rechte Ohr bieten (Reiss & Reiss 1997). Zusammenhänge zwischen Händigkeit und Äugigkeit haben auch Bourassa et al. nachweisen können. Offensichtlich zeigen Linkshänder häufiger eine Präferenz für das linke Auge als Rechtshänder (Bourassa et al. 1996). In anderen Studien sind Assoziationen zwischen der Händigkeit und der Dominanz eines Auges allerdings nur bei Männern festgestellt worden, wohingegen bei Frauen die Händigkeit eher mit der Dominanz eines Ohres assoziiert zu sein scheint (Hebbal & Mysorekar 2003). Van der Haegen et al. hingegen brachten die Ohrdominanz nicht in Zusammenhang mit der Händigkeit sondern mit der Sprachlateralisierung. Probanden mit linkshemisphärischer Sprachdominanz zeigten unabhängig von ihrer Händigkeit einen Vorteil des linken Ohres beim sogenannten dichotischen Hören. Dabei werden gleichzeitig auf beiden Ohren verschiedene Worte dargeboten, die anschließend nachgesprochen werden müssen (Van der Haegen et al. 2013).

1.4 Händigkeit und Lateralisierung im olfaktorischen System

Das olfaktorische System nimmt unter den Sinnesorganen eine gewisse Sonderstellung ein. Denn olfaktorische Reize werden im Unterschied zu akustischen oder visuellen Informationen im Wesentlichen ipsilateral, das heißt ungekreuzt im Gehirn verarbeitet (Hummel et al. 1995; Lascano et al. 2010). Nichtsdestotrotz sind in Analogie zu den übrigen Sinnesorganen Effekte der Händigkeit anzunehmen und folglich in diversen Studien untersucht worden. Die bisherigen Daten sind allerdings uneinheitlich, teilweise widersprüchlich und basieren auf unterschiedlichsten Methoden und Stichproben.

Im Gegensatz zum Seh- und Hörvermögen konnten Hebbal und Mysorekar anhand passiver olfaktorischer Tests keine Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern in Bezug auf das Riechvermögen erfassen (Hebbal & Mysorekar 2003). Hummel et al. untersuchten Links- und Rechtshänder hinsichtlich Duftstoffdiskrimination und Riechschwelle. Während kein Einfluss der Händigkeit auf die Riechschwellen zu beobachten war, zeigten Rechtshänder bei rechtsseitiger und Linkshänder bei linksseitiger Reizung eine signifikant bessere Unterscheidung von Duftstoffen (Hummel et al. 1998b). Demgegenüber fanden Zatorre und Jones-Gotman keine Effekte der Händigkeit, jedoch einen generellen Vorteil der rechten Nasenseite bei der Duftstoffdiskrimination (Zatorre & Jones-Gotman 1990). Zusammenhänge zwischen Händigkeit und Riechschwelle untersuchten auch Frye et al. und stellten fest, dass Rechtshänder bei linksseitiger und Linkshänder bei rechtsseitiger Reizung

sensitiver waren. Gegenteilige Ergebnisse erbrachten die Untersuchungen von Youngentob et al. (Youngentob et al. 1982; Frye et al. 1992).

Dass die zerebrale Asymmetrie eine Rolle bei der zentralen Verarbeitung olfaktorischer Informationen spielt, postulierten bereits Zatorre et al. Denn sie stellten fest, dass dem orbitofrontalen Cortex der rechten Hemisphäre diesbezüglich eine bevorzugte Bedeutung zukommt (Zatorre et al. 1992). Psychophysische Untersuchungen von Brand und Jacquot ergaben ebenfalls Hinweise für eine Prädominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung olfaktorischer Reize (Brand & Jacquot 2001). Zu diesem Ergebnis kam auch die PET-Studie von Savic und Gulyas (Savic & Gulyas 2000). Olofsson et al. hingegen untersuchten nur Rechtshänder und sprachen sich in Bezug auf olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale für eine generelle linkshemisphärische Prädominanz der Antwortamplituden aus (Olofsson et al. 2006). In verschiedenen Untersuchungen zeigte sich zudem, dass insbesondere die während der Duftstoffdarbietung gestellten kognitiven Anforderungen Einfluss auf die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Informationen nehmen. Demnach scheint vor allem die rechte Hemisphäre bei Gedächtnisprozessen aktiv zu sein, wohingegen die linke Hemisphäre bevorzugt in emotionale Prozesse involviert zu sein scheint (Royet & Plailly 2004; Hudry et al. 2014). Dass offenbar auch die Hedonik des wahrgenommenen Duftstoffes die zerebrale Verarbeitung beeinflusst, konnten Royet et al. anhand einer fMRT-Studie zeigen. Bei Reizung mit einem unangenehmen Duftstoff boten Linkshänder mehr Aktivierungen im Bereich der rechten Insula, während bei Rechtshändern die linke Insula signifikant aktiver war (Royet et al. 2003).

Wie die aktuelle Studienlage zeigt, kommt dem Studiendesign bei Untersuchungen in Hinblick auf die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Informationen eine besondere Bedeutung zu. Einheitliche Ergebnisse sind kaum zu erwarten, da neben Händigkeit und Reizseite auch kognitive Aspekte sowie die Hedonik der Duftstoffe berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus spielt die Untersuchungsmethode eine wichtige Rolle. Die Ergebnisse von rein psychophysischen Untersuchungen, welche auf subjektiven Einschätzungen der Probanden basieren, sind oftmals nicht mit denen von Studien mittels fMRT, PET oder Ableitung von OEP vergleichbar. Die Datenlage ist demzufolge inkonsistent und wird es vermutlich auch in Zukunft bleiben. Doch wenngleich es nicht Ziel sein kann eine allgemeingültige Antwort zur Erklärung des Einflusses der Händigkeit auf das olfaktorische System zu finden, scheinen dennoch weitere Untersuchungen unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren sinnvoll, um deren Einwirken genauer definieren und evaluieren zu können. Die vorliegende Studie soll dieser Frage zunächst auf einfachstem Niveau nachgehen.

2 Fragestellung

Es ist bekannt, dass Reize, welche andere Sinnesmodalitäten wie beispielsweise das Hören oder das Sehen betreffen, im Wesentlichen gekreuzt über die kontralaterale Seite des Gehirns verarbeitet werden. Im Gegensatz dazu scheint das olfaktorische System ipsilateral organisiert zu sein. Dennoch sind in Analogie zu den übrigen Sinnesorganen auch in Bezug auf olfaktorische Reize Einflüsse der Händigkeit zu erwarten. Die bisher durchgeführten Studien erbrachten diesbezüglich sehr widersprüchliche Ergebnisse. Zudem wurden diese meist mit Diskriminations- oder Schwellentests oder lediglich anhand funktioneller Bildgebung durchgeführt.

Ziel ist es folglich anhand einer relativ großen Stichprobe junger und gesunder Probanden den Einfluss der Händigkeit auf die passive Verarbeitung einfacher, seitengetrennt applizierter olfaktorischer Reize genauer zu untersuchen. Zu diesem Zweck erfolgen Untersuchungen mittels Ableitung olfaktorisch ereigniskorrelierter Potentiale sowie funktioneller Magnetresonanztomographie. Mit Phenylethylalkohol und Schwefelwasserstoff werden rein olfaktorische Duftstoffe verwendet, welche von den Probanden passiv wahrgenommen werden sollen. Es ergeben sich daher keine besonderen kognitiven Anforderungen.

Als Ergebnis dieser Studie wird erwartet, dass sich die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Informationen während seitengetrennter Duftstoffdarbietung in Abhängigkeit von der Händigkeit sowohl in Bezug auf olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale als auch in Hinblick auf die Aktivierung olfaktorischer Hirnareale unterscheidet und möglicherweise spiegelverkehrt verhält. Es wird angenommen, dass in diesem Zusammenhang sowohl die Händigkeit selbst als auch die Seite der Duftstoffdarbietung eine Rolle spielen. Zudem sind Effekte, welche auf der Hedonik der Duftstoffe basieren, zu vermuten.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

3.1.1 Allgemeines Studiendesign

Der Schwerpunkt dieser prospektiven Studie lag auf der Untersuchung des Einflusses der Händigkeit auf die passive Verarbeitung rein olfaktorischer Reize während seitengetrennter Duftstoffdarbietung. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig. Die Probanden wurden mit Hilfe von Aushängen im Umfeld der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus Dresden sowie über private Kontakte rekrutiert. Der Zeitraum der Datenerfassung erstreckte sich von August 2009 bis November 2009. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus der Technischen Universität Dresden genehmigt (EK 41022009) und entsprechend der Deklaration von Helsinki zu den „Ethischen Grundsätzen für die medizinische Forschung am Menschen“ durchgeführt.

Es nahmen insgesamt 48 Probanden an der Studie teil. Die Probanden wurden entsprechend ihrer Händigkeit in zwei gleiche Gruppen zu je 24 Probanden eingeteilt. Als reine Olfaktoriusreizstoffe wurden die beiden Duftstoffe Phenylethylalkohol (PEA) und Schwefelwasserstoff (H_2S) verwendet, welche seitengetrennt mit Hilfe des Olfaktometers dargeboten wurden. Die Studie bestand aus zwei Hauptabschnitten. Im ersten Teil wurden während der Duftstoffdarbietung sogenannte olfaktorisch evozierte oder ereigniskorrelierte Potentiale (OEP) abgeleitet, während im zweiten Teil zerebrale Aktivierungsmuster mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) aufgezeichnet wurden. In einer im Vorfeld durchgeführten Sitzung erfolgten Aufklärung, Anamneseerhebung und Voruntersuchungen. Des Weiteren wurden die Probanden in einer Probesitzung am Olfaktometer mit den Versuchsbedingungen vertraut gemacht (Hummel und Kobal 2002). Die Untersuchungszeit betrug für jeden Probanden inklusive Vor- und Nachbereitung 4 bis 5 Stunden. Die Probanden erhielten eine Aufwandsentschädigung von 8 € pro Stunde. Alle Untersuchungen wurden durch denselben Untersucher durchgeführt.



Abbildung 3: Studiendesign

3.1.2 Auswahl der Studienteilnehmer und Vorbereitung

Zu Beginn wurden die Probanden mündlich und schriftlich auf die Freiwilligkeit der Studienteilnahme hingewiesen und darüber aufgeklärt, dass die Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen beendet werden könnte. Es erfolgte zudem eine ausführliche Aufklärung zu den Studieninhalten und zum Untersuchungsablauf. Nach schriftlicher Einwilligung wurde mit der Datenerhebung begonnen. Die Probanden wurden gebeten jeweils mindestens eine Stunde vor den Untersuchungen nicht zu essen, zu trinken oder zu rauchen und an den Untersuchungstagen kein Parfüm zu verwenden.

Es wurden Probanden im Alter von 18 bis 45 Jahren mit normalem Riech- und Schmeckvermögen eingeschlossen, welche entsprechend der Händigkeit in zwei gleiche Gruppen LH (Linkshänder) und RH (Rechtshänder) zu je 24 Probanden eingeteilt wurden. Jede Gruppe setzte sich aus 14 weiblichen und 10 männlichen Probanden zusammen. Es wurde bei der Auswahl der Probanden auf eine gleichmäßige Altersverteilung geachtet.

In einem Anamnesebogen, welcher im Anhang zu finden ist, wurden relevante Vorerkrankungen, Operationen etc. erfasst (siehe 8.1 Anamnesebogen). Als Ausschlusskriterien galten Schwangerschaft und Stillzeit (Ochsenbein-Kölble et al. 2007), wesentliche gesundheitliche Beeinträchtigungen, z. B. Diabetes mellitus (Weinstock et al. 1993), M. Parkinson (Doty et al. 1988), Niereninsuffizienz oder Lebererkrankungen (Norès et

al. 2000), die mit Störungen der Riechfunktion einhergehen können, akute oder chronische Entzündungen der Nase und Nasennebenhöhlen (Hummel et al. 1998c) sowie andere relevante Vor- bzw. Begleiterkrankungen im HNO-Bereich (Guss et al. 2009). Ferner wurden aufgrund der erforderlichen MRT-Untersuchung Probanden mit Herzschrittmacher, künstlicher Herzklappe, Gefäßclips, Gelenkprothesen, ausgedehnten Zahnsparungen, Granat- und sonstigen Metallsplintern, Intrauterin-Spirale, Tätowierungen, Metall im Körper oder Klaustrophobie ausgeschlossen.

Ergänzend erfolgte bei jedem Probanden die endoskopische Inspektion der Nasenhöhle, um etwaige Ursachen einer Nasenatmungsbehinderung wie beispielsweise Polypen, Nasenmuschelhyperplasie, Schleimhautschwellung oder Septumdeviation auszuschließen, welche die Verteilung der Duftstoffe beeinträchtigen könnten (Hox et al. 2010). Dazu wurde ein starres Endoskop mit 30°-Winkelung der Firma STORZ® verwendet, welches an eine Kaltlichtquelle angeschlossen war.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Alter 18 – 45 Jahre	Schwangerschaft und Stillzeit
normales Riech- und Schmeckvermögen	wesentliche gesundheitliche Beeinträchtigungen (z. B. Diabetes mellitus, M. Parkinson, Niereninsuffizienz), die mit Störungen der Riechfunktion einhergehen können
	Personen mit akuten oder chronischen Entzündungen der Nase und Nasennebenhöhlen
	Personen mit relevanten Vor- bzw. Begleiterkrankungen im HNO-Bereich
	Herzschrittmacher, künstliche Herzklappe, Gefäßclips, Gelenkprothesen, ausgedehnte Zahnsparungen, Granat- und sonstige Metallsplinter, Intrauterin-Spirale, Tätowierungen, Metall im Körper
	Klaustrophobie

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme

Die Händigkeit wurde mit Hilfe eines Fragebogens, welcher die deutsche Version des Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield 1971) darstellt, verifiziert. Der Händigkeitsfragebogen findet sich im Anhang (siehe 8.2 Händigkeitsfragebogen). Bei diesem Fragebogen mussten die Probanden für zehn Aktivitäten festlegen, mit welcher Hand diese

bevorzugt durchgeführt werden. Je nachdem ob eine Aktivität stets, meist oder manchmal mit links oder rechts ausgeführt wird, wurden Punkte zwischen -2 und +2 vergeben. Es ergab sich daraus eine Punktzahl zwischen -20 und +20. Um die Probanden eindeutig einer der Gruppen zuordnen zu können, musste eine Punktzahl von kleiner bzw. größer 0 erreicht werden.

Mit Hilfe des 16er Sniffin´ Sticks Identifikationstests wurde bei allen Probanden ein normales Riechvermögen nachgewiesen. Es handelt sich hierbei, wie in Abbildung 4 zu sehen, um ein Testkit von 16 Riechstiften. Die Riechstifte, aus welchen Alltagsgerüche freigesetzt werden, ähneln dicken Filzstiften (Kobal et al. 1996; Hummel et al. 2001; Hummel & Welge-Lüssen 2008). Aufgabe war es bei diesem kurzen Test einen Geruch aus vier Auswahlmöglichkeiten zu identifizieren. Der jeweils richtige Duftstoff und die Auswahlalternativen sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Dazu wurde der Riechstift jeweils durch den Untersucher geöffnet und zwei bis drei Sekunden unter die Nasenöffnung des Probanden gehalten. Anschließend musste der Proband den Geruch aus der vorgegebenen Auswahl benennen. Auch wenn sich der Proband unsicher war, musste er sich für einen der Gerüche entscheiden. Um eine Desensibilisierung zu vermeiden, war es bedeutsam, dass zwischen der Verwendung von zwei Riechstiften ein Zeitabstand von mindestens 30 Sekunden eingehalten wurde. Die Teilnahme an der Studie war möglich, wenn mindestens 12 Gerüche korrekt identifiziert wurden.



Abbildung 4: 16er Sniffin´ Sticks Identifikationstest

Nr.	Duftstoff	Alternative Auswahlmöglichkeiten		
1	Orange	Brombeere	Erdbeere	Ananas
2	Schuhleder	Rauch	Klebstoff	Gras
3	Zimt	Honig	Vanille	Schokolade
4	Pfefferminz	Schnittlauch	Zwiebel	Fichte
5	Banane	Kokos	Kirsche	Walnuss
6	Zitrone	Pfirsich	Apfel	Grapefruit
7	Lakritz	Gummibär	Kaugummi	Kekse
8	Terpentin	Gummi	Menthol	Senf
9	Knoblauch	Zwiebel	Sauerkraut	Möhren
10	Kaffee	Zigarette	Wein	Kerzenrauch
11	Apfel	Melone	Pfirsich	Orange
12	Gewürznelke	Senf	Pfeffer	Zimt
13	Ananas	Birne	Pflaume	Pfirsich
14	Rose	Kamille	Himbeere	Kirsche
15	Anis	Rum	Honig	Fichte
16	Fisch	Brot	Käse	Schinken

Tabelle 2: Auswahlmöglichkeiten des 16er Sniffin´ Sticks Identifikationstests

3.2 Das Olfaktometer

3.2.1 Aufbau des Olfaktometers

Zur reproduzierbaren Duftstoffdarbietung wurde das computergesteuerte Olfaktometer OM6b der Firma Burghart (Firma Burghart Messtechnik, Wedel) verwendet, welches in Abbildung 5 dargestellt ist. Ein Olfaktometer ermöglicht die Darbietung eines chemischen Reizstoffes in definierter Konzentration, Reizdauer und Anstiegssteilheit (Hummel & Welge-Lüssen 2008). Es wird u. a. zur Ableitung von OEP, zur Erstellung von Elektroolfaktogrammen sowie zur Messung zerebraler Aktivierungsmuster im Rahmen von fMRT-Untersuchungen verwendet. Dabei kann das Olfaktometer sowohl monorhinal, das heißt nur für eine Nasenseite, als auch birhinal, seitengetrent für beide Nasenseiten, genutzt werden. Die durchgeführten Untersuchungen fanden birhinal statt.

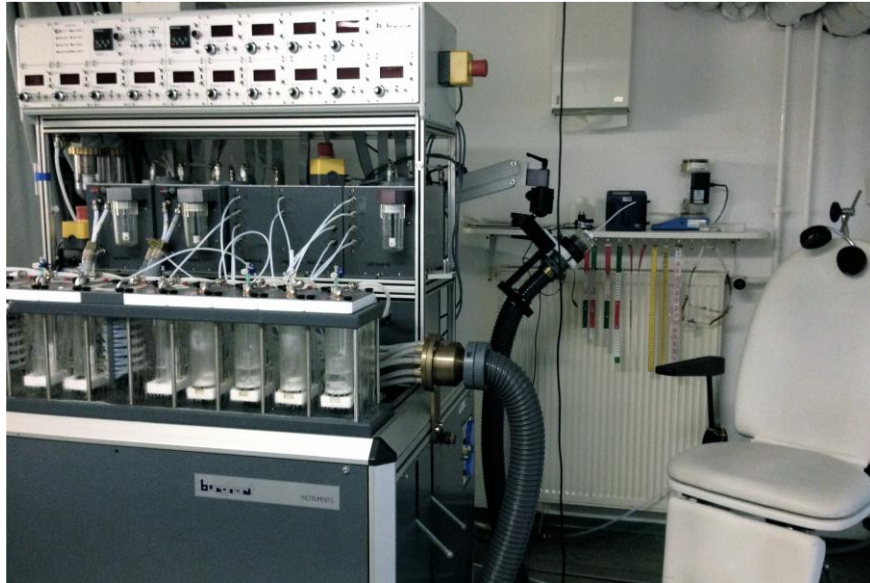


Abbildung 5: Olfaktometer mit Untersuchungsplatz für die Ableitung der OEP

Mit Hilfe des Olfaktometers werden über ein geschlossenes Schlauchsystem zwei parallele Luftströme kontinuierlich zur Nase des Probanden geführt. Die Luftströme werden mit Hilfe von TeflonTM Schläuchen, die in diesem Fall einen inneren Durchmesser von 4 mm aufwiesen, seitengetrent intranasal appliziert. Dazu werden die austauschbaren Endstücke der TeflonTM Schläuche beidseits etwa 1,5 cm in die Nasenhöhle vorgeschoben.

Um einen olfaktorischen Reiz darzubieten, wird der kontinuierliche Strom reiner, geruchloser Luft unterbrochen und der jeweilige Duftstoff als Luftstrom in definierter Reizdauer und Konzentration zugeführt. Das Olfaktometer wechselt dabei computergesteuert innerhalb weniger Millisekunden mittels Anlage eines Vakuums zwischen Duftstoff und geruchlosem Luftstrom. Dabei sind als Komponenten des Luftstroms die geruchlose Luft (Control), die mit Duftstoff gesättigte Luft (Odor) und die ebenfalls geruchlose Verdünnungsluft (Dilution) zu nennen. Die Konzentration der Duftstoffe kann über das Mischungsverhältnis von mit Duftstoff gesättigter Luft (Odor) und Verdünnungsluft (Dilution) genau festgelegt werden. Wenn ein mit Duftstoff angereicherter Luftstrom (Odor + Dilution) appliziert werden soll, wird die geruchlose Luft (Control) über ein Vakuum abgesaugt. Im Interstimulusintervall, das heißt zwischen zwei einzelnen Duftstoffdarbietungen, wird dann umgeschaltet und folglich der mit Duftstoff angereicherte Luftstrom (Odor + Dilution) abgesaugt und die geruchlose Luft (Control) zugeführt. Dadurch wird ein kontinuierlicher Luftstrom gewährleistet.

Um zusätzliche Reizungen mechanischer oder thermischer Art zu vermeiden, weisen die Luftströme eine identische Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit auf (Mohammadian et al. 1999). In den durchgeführten Untersuchungen betrug die relative

Luftfeuchtigkeit etwa 80 %, die Temperatur 36,0 °C und der Luftstrom 6 l/min für jede Nasenseite.

Es wurde das Programm OM6b4.2 (Firma Burghart Messtechnik, Wedel) zur Steuerung und Koordinierung der Duftstoffapplikation verwendet.

3.2.2 Verwendete Duftstoffe

Es wurden für diese Studie nur reine Olfaktoriussreizstoffe verwendet. Es kamen flüssiger Phenylethylalkohol (PEA), ein rosenähnlicher Duft, welcher in der Regel als angenehm empfunden wird, und gasförmiger Schwefelwasserstoff (H_2S), der Geruch fauler Eier, welcher eher unangenehm bewertet wird, zur Anwendung. Als rein olfaktorische Reize enthalten diese Duftstoffe bei den verwendeten Konzentrationen keinerlei trigeminale Komponente, so dass ausschließlich von einer Reizung des Nervus olfactorius ausgegangen werden kann (Kobal & Hummel 1998).

Im Falle von PEA wurde ein Luftstrom durch den flüssigen Duftstoff geleitet und erwärmt, um ihn mit Duftmolekülen zu sättigen und so den mit Duftstoff angereicherten Luftstrom (Odor) zu erhalten. Durch Verdünnung mit der Verdünnungsluft (Dilution) wurde PEA in einer Konzentration von 40 % v/v verwendet. H_2S wurde dem Luftstrom als Gas zugesetzt (Odor) und über Verdünnung mit der Verdünnungsluft (Dilution) in einer Konzentration von 4 ppm für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

3.2.3 Duftstoffapplikation

Die Duftstoffdarbietung fand sowohl während der Ableitung der OEP als auch während der fMRT-Untersuchungen mit Hilfe des Olfaktometers seitengetrent statt. Vor Beginn der Messungen wurden die Probanden zunächst in der Atemtechnik des velopharyngealen Verschlusses geschult. Durch diese Atemtechnik, bei welcher das Gaumensegel gehoben und gegen die Rachenhinterwand gedrückt wird, werden Oropharynx und Nasopharynx voneinander abgeschlossen. Der Proband atmet ausschließlich durch den Mund, wodurch verhindert wird, dass der olfaktorische Reiz durch einen Luftstrom in der Nasenhaupthöhle beeinträchtigt wird (Kobal 1981; Pause et al. 1999; Hummel & Kobal 2001).

Aufgrund der unterschiedlichen Funktionsweise der durchgeführten Untersuchungen unterschieden sich die Protokolle der Duftstoffdarbietungen.

Bei der Ableitung der OEP wurden PEA und H_2S in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen randomisiert dargeboten. Jeder Durchgang bestand aus 16 Duftreizen, welche in zufälliger, ebenfalls randomisierter Reihenfolge seitengetrent links oder rechts appliziert wurden. Ein

Beispiel für die Duftstoffapplikation ist in Abbildung 6 zu sehen. Insgesamt wurden während der Ableitung der OEP 32 Duftreize appliziert, davon jeweils acht eines jeden Duftstoffes für die linke und acht eines jeden Duftstoffes für die rechte Nasenseite. Da zuvor eine Probesitzung erfolgte, ergaben sich insgesamt 64 Duftreize für jeden Probanden. Es wurde zudem zwischen den Probanden die Lage der intranasal liegenden Teflon™ Schläuche variiert. Diese wurden in randomisierter Verteilung bei der Hälfte der Probanden in gekreuzter Position, bei der anderen Hälfte in nicht gekreuzter Position verwendet. Die Stimulusdauer betrug für jeden Duftreiz 200 ms und das Interstimulusintervall 30 s.

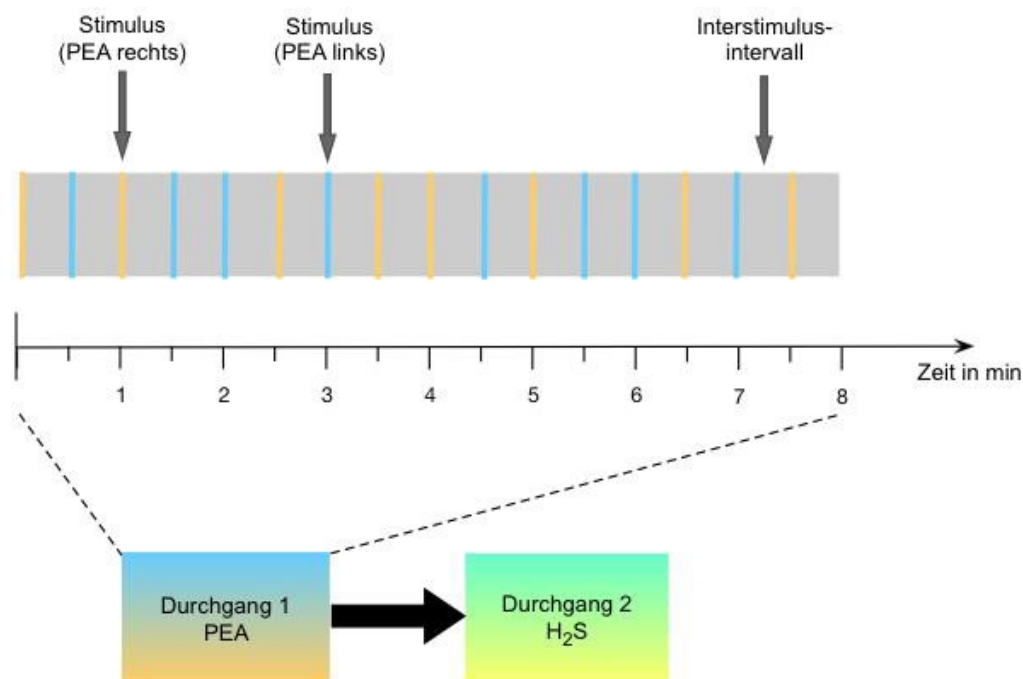


Abbildung 6: Beispielprotokoll für die Duftstoffapplikation während der Ableitung der OEP

Im Rahmen des fMRT wurden PEA und H₂S in vier aufeinanderfolgenden Durchgängen jeweils einseitig dargeboten. In Abbildung 7 ist ein Beispielprotokoll dargestellt, die Reihenfolge ist hie willkürlich gewählt. Jeder Duftstoff wurde während eines Durchganges nur links und während des anderen nur rechts appliziert. Die Reihenfolge der vier Durchgänge wurde unter allen Probanden randomisiert. Zudem wurden auch hierbei die Teflon™ Schläuche bei der Hälfte der Probanden in gekreuzter Position in die Nasenhöhle vorgeschoben. Wie in Abbildung 7 gezeigt bestand jeder Durchgang aus 42 Duftreizen, welche in sechs ON-Blöcken zu je sieben Duftreizen appliziert wurden. Die Stimulusdauer

betrug für jeden Duftreiz 1 s, das Interstimulusintervall 2 s. Auf jeden 20-Sekunden-ON-Block folgte eine Pause von 20 s ohne Stimulation (OFF-Block).

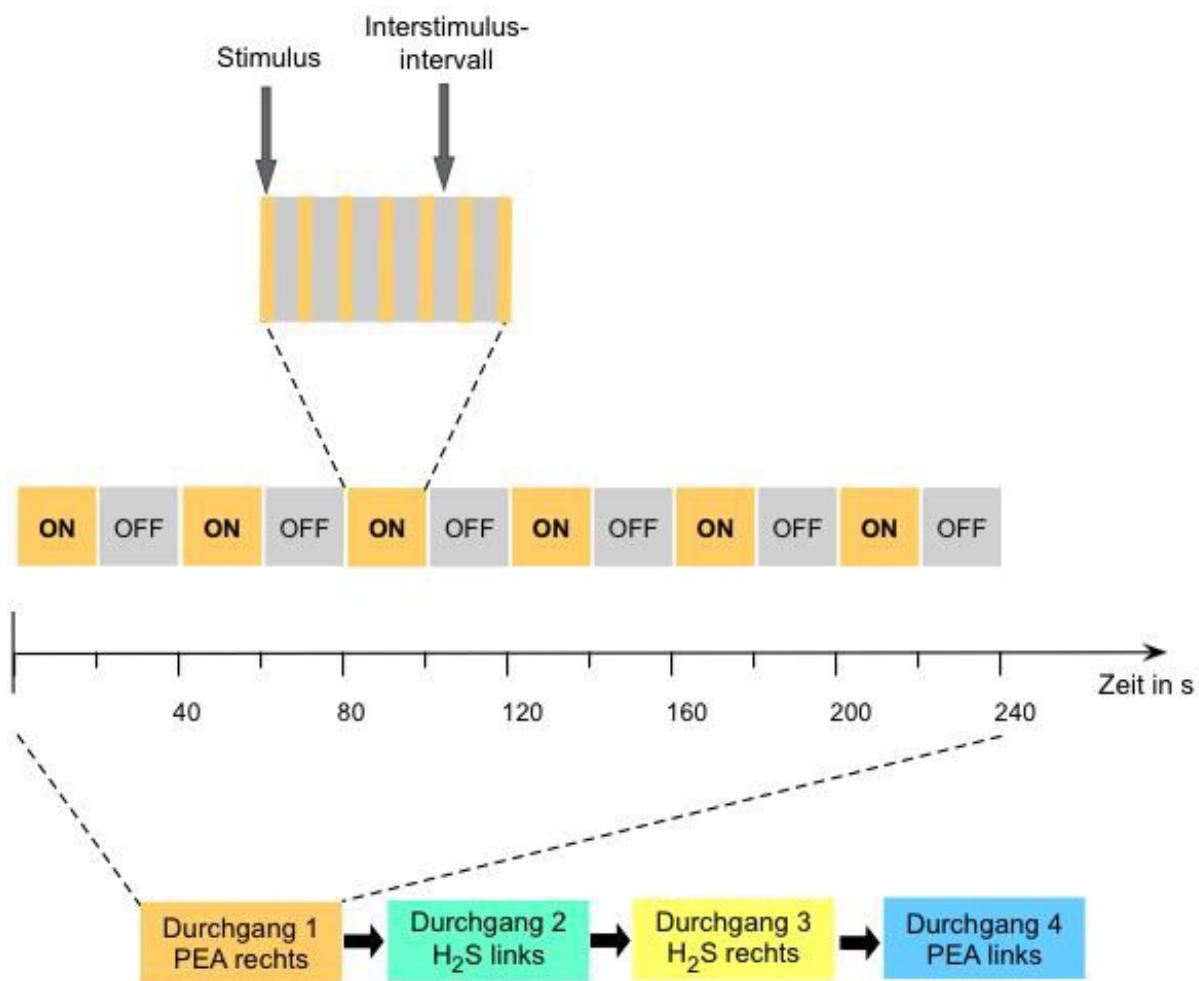


Abbildung 7: Beispielprotokoll für die Duftstoffapplikation während der fMRT-Untersuchung

3.3 Elektrophysiologische Untersuchungen

3.3.1 Das Elektroenzephalogramm

Das Elektroenzephalogramm (EEG) ist eine nichtinvasive Untersuchungsmethode, bei welcher die summierte elektrische Aktivität des Gehirns in Form von Spannungsschwankungen durch Elektroden auf der Kopfhaut der Schädeldecke gemessen und dargestellt wird. Die Amplituden liegen in der Größenordnung von 1 bis 100 μ V, die Frequenzen variieren zwischen 0 und 80 Hz (Schmidt et al. 2007). Das EEG spielt nicht nur

in der Neurologie und Epilepsiediagnostik eine wichtige Rolle, sondern dient beispielsweise auch der Ableitung evozierter Potentiale.

In den durchgeführten Untersuchungen erfolgte die Ableitung des EEG nach dem international gültigen 10-20-System (Klem et al. 1999). Dieses System gibt die Anordnung der Elektroden auf der Kopfhaut vor und richtet sich nach der individuellen Größe und Form des Schädels. Es werden die Strecken zwischen dem Nasion und dem Inion und zwischen den beiden präaurikulären Punkten vor dem linken und rechten Ohr gemessen, welche jeweils 100 % entsprechen. Davon ausgehend werden die Koordinaten im Abstand von 10 % oder 20 % zwischen den Endpunkten festgelegt und die Elektroden entsprechend angeordnet.

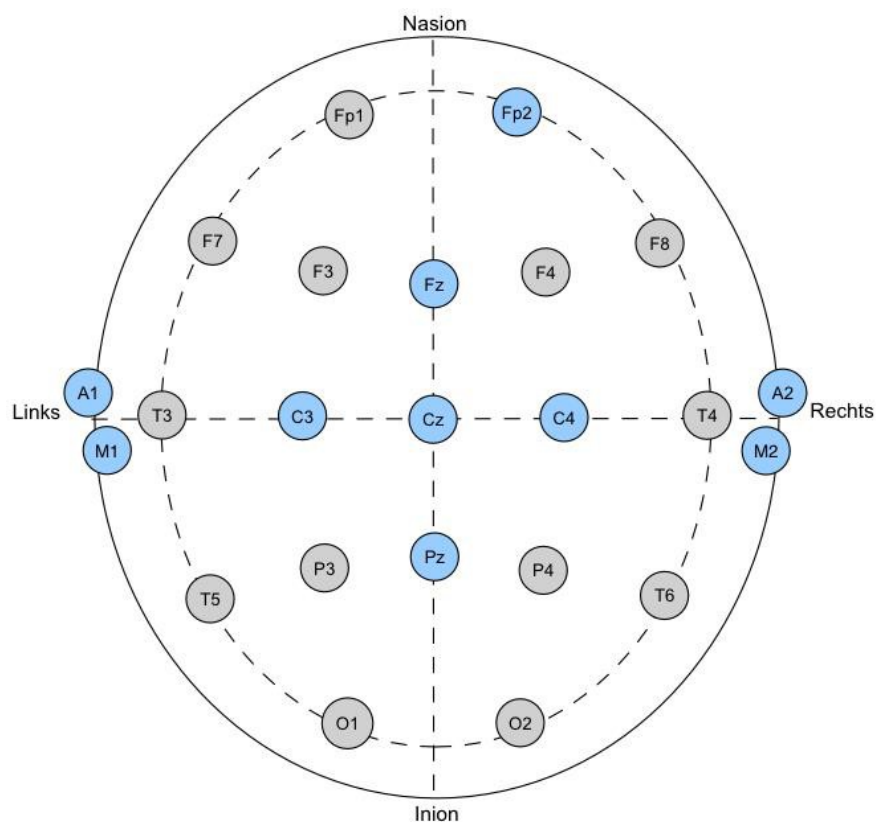


Abbildung 8: Internationales 10-20-System für die Platzierung der EEG-Elektroden

Die in der Studie verwendeten Ableitpositionen, welche in Abbildung 8 farbig gekennzeichnet sind, werden international einheitlich wie folgt bezeichnet: Cz (zentral mittig), Fz (frontal mittig), Pz (parietal mittig), C3 (zentral links) und C4 (zentral rechts). Bei einem Teil der Probanden wurden zusätzlich F3 und F4 (frontal links und rechts) sowie P3 und P4 (parietal links und rechts) abgeleitet. Die Daten konnten aus technischen Gründen jedoch nicht

verwertet werden. Als Referenzelektroden wurden die Elektroden A1 und A2 auf den beiden Ohrläppchen festgelegt. Die Elektroden M1 und M2 auf dem Mastoid beidseits dienten als Erdungselektroden. Zusätzlich wurde die Elektrode Fp2 über der rechten Augenbraue zur Registrierung von Augenzwinkern und starken Augenbewegungen, wodurch Artefakte verursacht werden können, angebracht.

Vor dem Aufbringen der Elektroden auf die Kopfhaut wurden die entsprechenden Hautstellen mit einem Wattestäbchen und skinPure® Reinigungspaste (Nihon Kohden Europe GmbH, Bad Homburg) sowie einem Hautdesinfektionsmittel gereinigt. Anschließend wurden die Elektroden mittels EC2® Elektrodencreme (Grass Product Group, Astro-Med Inc., USA) auf der Kopfhaut befestigt.

3.3.2 Olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale

Die Ableitung der OEP dient der objektiven Beurteilung des Riechvermögens und wird neben Forschungszwecken auch für gutachterliche Fragestellungen verwendet. Es handelt sich dabei um direkte Korrelate der neuronalen Aktivität als Reaktion auf eine Reizung des Nervus olfactorius. Je mehr Nervenzellen durch einen olfaktorischen Reiz aktiviert werden, desto größer sind die Potentialschwankungen im ZNS, welche wiederum auf der Schädeldecke größere Antwortamplituden erzeugen. Ausschlaggebend ist für die Erzeugung der OEP insbesondere die Anstiegssteilheit der Reize (Hummel & Kobal 2001). Bekannt ist, dass OEP unter anderem durch Duftstoffkonzentration (Tateyama et al. 1998), Alter (Hummel et al. 1998a), Geschlecht (Evans et al. 1995) sowie den weiblichen Menstruationszyklus (Pause et al. 1996) beeinflusst werden.

Da die Antwortamplituden der OEP im Vergleich zu den üblichen EEG-Wellen meist sehr klein sind, ist es nötig diese zu mitteln (Averaging) und vom Hintergrundrauschen des EEG zu trennen. Das Hintergrundrauschen setzt sich unter anderem aus Artefakten, welche durch Augenzwinkern oder Muskelkontraktionen entstehen, zusammen. Die OEP weisen als positive und negative Potentialschwankungen eine typische Amplitudenform auf, wie sie in Abbildung 9 zu sehen ist. Die wichtigsten Bestandteile sind die hauptsächliche Negativität N1, welche mit einer Latenz von 320 – 450 ms nach Reizbeginn eintritt, gefolgt von der hauptsächlichen Positivität P2 mit einer Latenz von 530 – 800 ms (Rombaux et al. 2006). Aufgrund der Schaltung der Elektroden werden Negativierungen üblicherweise mit einem Ausschlag nach oben und Positivierungen mit einem Ausschlag nach unten dargestellt. Der späte positive Komplex P3, welcher insbesondere durch emotionale Prozesse beeinflusst wird (Pause & Krauel 2000), wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt und ist daher auch nicht in Abbildung 9 dargestellt.

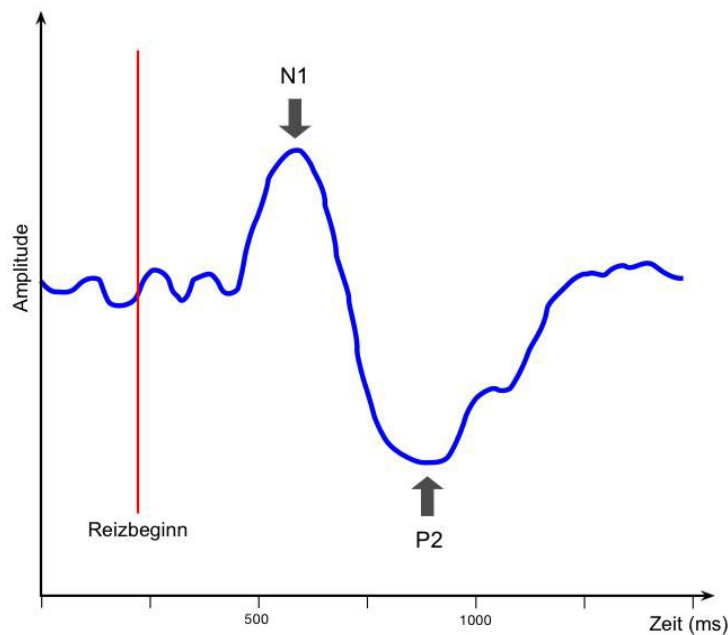


Abbildung 9: Schematische Darstellung eines typischen OEP

Um während der Untersuchungen für alle Probanden stabile Bedingungen zu schaffen und möglichst störfreie Potentiale zu erhalten, fanden die Untersuchungen in einem abgetrennten Teil eines abgedunkelten und klimatisierten Raumes statt. Zur Vermeidung von akustischen Einflüssen wurde über Kopfhörer ein standardisiertes sogenanntes „weißes Rauschen“ mit 60 – 70 dB SPL eingespielt. Ferner ließ man die Probanden während der gesamten Untersuchung auf einen in Augenhöhe befindlichen Bildschirm schauen und ein einfaches Computerspiel spielen. Die Probanden sollten während der Messungen mit einer Computermaus ein kleines Quadrat in einem größeren sich bewegenden Quadrat halten. Diese Aufgabe erfüllt den Zweck, dass Augenbewegungen stabilisiert und Artefakte folglich minimiert werden und dass die Aufmerksamkeit des Probanden aufrechterhalten wird (Hummel & Kobal 2001). Die Probanden wurden zusätzlich gebeten so wenig wie möglich zu zwinkern und eine entspannte Körperhaltung einzunehmen, um Artefakten vorzubeugen.

Nach jedem einzelnen Duftreiz erschien auf dem Bildschirm eine visuelle Analogskala. Die Probanden sollten auf dieser Skala mittels Computermaus die Intensität des wahrgenommenen Duftreizes zwischen 0 und 10 einschätzen. Dabei bedeutete 0, dass gar kein Geruch wahrgenommen wurde, wohingegen 10 als stärkste vorstellbare Intensität definiert war. Des Weiteren musste nach jedem Durchgang die Hedonik des jeweiligen Duftstoffes evaluiert werden. Hierzu diente eine visuelle Analogskala von -5 bis +5. Negative

Zahlen (-5 bis <0) bedeuteten, dass der Duftstoff als unangenehm empfunden wurde, positive Zahlen (0 bis +5) deuteten auf einen angenehm empfundenen Duftstoff hin.

In der durchgeführten Studie erfolgte die Ableitung der OEP unter Verwendung eines 8-Kanal-Verstärkers (Schubert, Röttenbach) während der Duftstoffdarbietung reizkorreliert für jeweils 2048 ms, einschließlich einer Zeitspanne von 500 ms vor Beginn der Reizung. Die Abtastfrequenz betrug 250 Hz bei einem Bandpass-Filter von 0,2 – 30 Hz. Mit dem Programm EPEvaluate (Kobal, Erlangen) wurden die Aufzeichnungen gefiltert, bearbeitet und ausgemessen. Nach Filtern mit einem Tiefpass von 15 Hz wurden die artefaktgestörten Potentiale aussortiert. Übrig blieben jeweils mindestens sechs (7 +/- 1) Aufzeichnungen pro Duftstoff und Reizseite, welche gemittelt (Averaging) werden konnten. Schließlich konnten an den gemittelten Potentialen für die einzelnen Ableitungen (Cz, Fz, Pz, C3 und C4) Amplituden und Latenzen der Komponenten N1 und P2 manuell ausgemessen und im Programm rechnerisch bestimmt werden.

3.4 Funktionelle Magnetresonanztomographie

3.4.1 Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Der Magnetresonanztomographie (MRT), welche synonym auch als Kernspintomographie bezeichnet wird, liegt das physikalische Prinzip der Kernspinresonanz zugrunde. Das Prinzip nutzt die Eigenschaft des menschlichen Körpers, überwiegend aus Wasserstoffatomen in Form von Wasser und Fettsäuren zu bestehen. Atome mit einer ungeraden Protonenzahl, wie beispielsweise Wasserstoff, besitzen einen Eigendrehimpuls (Kernspin) und sind dadurch magnetisch. Normalerweise liegen diese magnetischen Atome im menschlichen Gewebe ungeordnet vor. Durch Anlage eines externen Magnetfeldes richten sie sich in der Achse des Hauptmagnetfeldes aus und rotieren mit einer bestimmten Frequenz, der Larmorfrequenz, in der sogenannten Präzessionsbewegung um ihre eigene Achse. Diese Rotation ist vergleichbar mit einem Kreisel, der ins taumeln geraten ist. Durch das Einbringen eines Hochfrequenzimpulses kommt es zu einer Aufladung und damit Synchronisierung der Rotationsbewegung der Atome. Nach dem Abschalten des Impulses fallen die Atome wieder in ihre Ausgangslage zurück. Sie geben dabei Energie ab, die als Schwingung messbar gemacht und in ein Bild übertragen werden kann. Dies wird als Relaxation bezeichnet.

Je nach Art der chemischen Zusammensetzung des Gewebes ist die Relaxationszeit unterschiedlich lang. Man unterscheidet Längs- und Querrelaxationszeit, gewebespezifische Zeitkonstanten zur Darstellung der Rückkehr der Längs- bzw. Quermagnetisierung in die Ausgangslage. Dadurch können die einzelnen Gewebetypen exakt voneinander abgegrenzt

werden. Der Bildrechner wandelt die eingehenden charakteristischen Signale in Graustufen um und stellt diese als Schnittbilder oder dreidimensionale Bilder auf dem Monitor des Betrachters dar.

Mit Hilfe von bestimmten Sequenzen, welche sich durch eine charakteristische Repetitionszeit und Echozeit voneinander unterscheiden, können je nach Fragestellung Kontraste verstärkt dargestellt werden. Unter der Repetitionszeit (TR) versteht man den Abstand zwischen zwei anregenden Hochfrequenzimpulsen. Die Echozeit (TE) beschreibt die Zeit zwischen dem Hochfrequenzimpuls und dem Echo, welches als MR-Signal ausgelesen wird (Reiser et al. 2011).

In dieser Studie kamen T1-gewichtete Sequenzen und echoplanare Bildgebung (EPI, echoplanar imaging) zur Anwendung. T1-gewichtete Sequenzen zeichnen sich durch eine kurze TR und eine kurze TE aus. Die untersuchten Gewebe werden dadurch vor allem durch ihre Längsrelaxationszeit differenziert. Die EPI-Sequenz ist eine Sonderform, mit welcher durch einen einzigen Hochfrequenzimpuls ein vollständiges MRT-Bild in weniger als 100 ms gewonnen werden kann. Diese Besonderheit ermöglicht es funktionelle Aufnahmen anzufertigen.

3.4.2 Die funktionelle Magnetresonanztomographie und der BOLD-Effekt

Grundlage der funktionellen Magnetresonanztomographie ist die Messung des sogenannten BOLD-Effektes („Blood-Oxygenation-Level-Dependent“-Effekt). Grundsätzlich nutzt man bei diesem Effekt die Eigenschaft des Hämoglobins als Sauerstoffträger zu fungieren. Das Sauerstoff transportierende Oxyhämoglobin ist diamagnetisch, weist damit ähnliche magnetische Eigenschaften wie das umgebende Gewebe auf. Desoxyhämoglobin, welches keinen Sauerstoff gebunden hat, ist paramagnetisch und führt zu einer unterschiedlichen Magnetisierbarkeit (Suszeptibilität) des Blutes und des umgebenden Gewebes, wodurch es zu einem leichten Signalabfall kommt. Kommt es in Folge einer erhöhten neuronalen Aktivität in einem Hirnareal zu einem Anstieg der Durchblutung, führt dies zu einer Zunahme des Oxyhämoglobins und gleichzeitig zu einer Abnahme des Desoxyhämoglobins, wodurch wiederum ein Signalanstieg messbar wird (Ogawa et al. 1990; Kettenmann et al. 2001).

Ziel dieser Studie war es eine erhöhte neuronale Aktivität durch Duftstoffapplikation zu erreichen und mit Hilfe eines Blockdesigns Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern darzustellen. Durch die schnellen EPI-Sequenzen ist es möglich die kurzfristigen durch Duftstoffapplikation hervorgerufenen Aktivierungen sichtbar zu machen. Im Blockdesign wird wiederholt zwischen ON- und OFF-Blöcken gewechselt. Der

Signalanstieg während der ON-Blöcke wird als Signaldifferenz zu den OFF-Blöcken gemessen. Da die Signaldifferenzen nur sehr gering ausgeprägt sind, ist es nötig die Duftstoffe wiederholt darzubieten. Mit statistischen Mitteln, wie dem Programm SPM, welches unter 3.5.2 näher beschrieben ist, können anschließend signifikante Unterschiede erarbeitet und in Form von funktionellen MRT-Bildern sichtbar gemacht werden.

Für die MRT-Untersuchungen im Rahmen dieser Studie wurde ein 1,5 Tesla-Scanner (SONATA-MR; Siemens, Erlangen) des Instituts für Radiologische Diagnostik des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden genutzt. Für jeden der vier Durchgänge, das heißt pro Duftstoff und Nasenseite, entstanden 96 funktionelle MRT-Aufnahmen. Diese bestanden jeweils aus 26 axialen Schnitten einer 2D EPI-Sequenz mit einer Matrix von 64 x 64 Voxeln und einer Voxelgröße von 3 x 3 x 3,75 mm³. Dies entspricht der Auflösung. Die TR betrug 2500 ms bei einer TE von 40 ms. In jedem Durchgang erhielten die Probanden acht Aufnahmen während des 20-Sekunden-ON-Blocks und acht Aufnahmen während des 20-Sekunden-OFF-Blocks. Die Blöcke wurden jeweils sechs Mal wiederholt, was einer Gesamtdauer von 4 Minuten pro Durchgang entsprach.

Um die aktivierten Hirnareale lokalisieren zu können, wurden zusätzlich anatomische T1-gewichtete Aufnahmen mit einer TR von 2180 ms und einer TE von 3,39 ms angefertigt. Diese wurden hinsichtlich pathologischer Befunde von der Abteilung für Neuroradiologie des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden beurteilt.

Während der Untersuchung wurden die Probanden gebeten die Augen geschlossen zu halten, sich so wenig wie möglich zu bewegen und keiner anderen Aufgabe als dem passiven Riechen nachzukommen. Fernen mussten nach jedem Durchgang Intensität und Hedonik des zuvor applizierten Duftstoffes evaluiert werden. Die Probanden wurden über Kopfhörer gebeten die Intensität auf einer Skala von 0 bis 10 und die Hedonik auf einer Skala von -5 bis +5 analog zu den Bewertungen der OEP einzuschätzen.

3.5 Datenauswertung

3.5.1 SPSS

Die statistische Auswertung der deskriptiven Daten und der OEP erfolgte mit SPSS 17.0 und 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Es kamen u. a. T-Tests, Korrelationstests und Varianzanalysen zur Anwendung.

Im Rahmen der Auswertung der OEP wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen (rm-ANOVA, analysis of variance for repeated measures) mit den Faktoren „Duftstoff“ (PEA, H₂S), „Reizseite“ (linke Nasenseite, rechte Nasenseite) und „Ableitposition“ (Cz, Fz, Pz, C3, C4) als Innersubjektfaktoren und „Händigkeit“ (Linkshänder, Rechtshänder) als Zwischensubjektfaktor durchgeführt. Freiheitsgrade wurden nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Aufgrund der relativ kleinen Stichprobe wurden nur Haupteffekte und Interaktionen zwischen maximal zwei Faktoren interpretiert. Einige Probanden mussten ausgeschlossen werden, da in einigen Ableitpositionen keine OEP nachweisbar waren (Lötsch & Hummel 2006). Folglich konnten die kompletten Datensätze von 18 Linkshändern und 14 Rechtshändern für die statistische Auswertung verwendet werden.

3.5.2 SPM

Für die statistische Auswertung der fMRT-Datensätze wurde das Programm SPM8 (Statistical Parametric Mapping; Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London; www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm) verwendet. Als Rahmenprogramm diente MATLAB R2010b (Math Works Inc., Natick, MA, USA). Aus technischen Gründen mussten die Daten von vier Linkshändern ausgeschlossen werden, wodurch sich eine Gesamtzahl von 44 fMRT-Datensätzen ergab.

Zunächst war es notwendig die gesamten Datensätze vom DICOM-Format des MRT in das für SPM8 lesbare NIFTI-Format umzuwandeln. Darauf folgte die sog. Nullpunktkorrektur, wobei die Commissura anterior dem Nullpunkt entsprach. Im Preprocessing wurden die Daten dann für die anschließenden statistischen Auswertungen vorbereitet. Zur Korrektur von Bewegungsartefakten des Kopfes während der Untersuchungen erfolgte das Realignment der Bilder. Im nächsten Schritt, der Coregistrierung, wurden die anatomischen Daten der T1-gewichteten Sequenzen mit den funktionellen EPI-Sequenzen jedes einzelnen Probanden zur Deckung gebracht und im Rahmen der Segmentierung in weiße und graue Substanz zerlegt. Um die Daten vergleichbar zu machen, wurde während der Normalisierung das Koordinatensystem der Daten an das international verwendete MNI-System (Montreal Neurological Institute) adaptiert. Der letzte Schritt des Preprocessings beinhaltete das Glätten (Smoothing) der funktionellen Daten (Hummel 2011).

Im Rahmen der statistischen Auswertungen wurden zwei Analyseebenen berücksichtigt. In der ersten Ebene wurden die intraindividuellen Daten analysiert, um die Kontraste ON vs. OFF herauszuarbeiten, während in der zweiten Ebene Gruppenanalysen durchgeführt

wurden. Zunächst wurden die Aktivierungen der Blöcke ON vs. OFF mit Hilfe von T-Tests im Ganzen verglichen. Schließlich wurden Two-Sample T-Tests verwendet, um die beiden Gruppen LH und RH und die Reizseiten links und rechts intern miteinander vergleichen zu können. Die Cluster wurden ab einem Grenzwert von 16 (cluster level ≥ 16) berücksichtigt, was bedeutet, dass mindestens 16 Voxel als Gruppe aktiviert sein mussten. Unter einem Voxel wird dabei ein dreidimensionaler Bildpunkt verstanden, ein Cluster ist eine Gruppe von mehreren zusammenhängenden Voxeln. Das Signifikanzniveau wurde nach FWE-Korrektur (family wise error) mit $p < 0,05$ festgelegt. Um die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen LH und RH spezieller untersuchen zu können, wurden mit dem Programm WFU PickAtlas 3.0.3 Masken festgelegt, die lediglich die Aktivierungen in primären (Amygdala, piriformer Cortex, entorhinaler Cortex) und sekundären olfaktorischen Arealen (orbitofrontaler Cortex, Insula, Hippocampus, Thalamus, Hypothalamus) erfassten (Maldjian et al. 2003; Savic 2005). Die aktivierten Hirnreale wurden schließlich wie in Abbildung 10 gezeigt zur Veranschaulichung in Form von Voxelclustern im sog. Glassbrain dargestellt und mit einer standardisierten T1-gewichteten Sequenz des Gehirns hinterlegt. Über eine Farbskala wurden die t-Werte der farbigen Voxelcluster definiert. Mit der Anatomy-Toolbox in SPM8 (Eickhoff et al. 2005) konnten die MNI-Koordinaten anatomischen Strukturen zugeordnet werden.

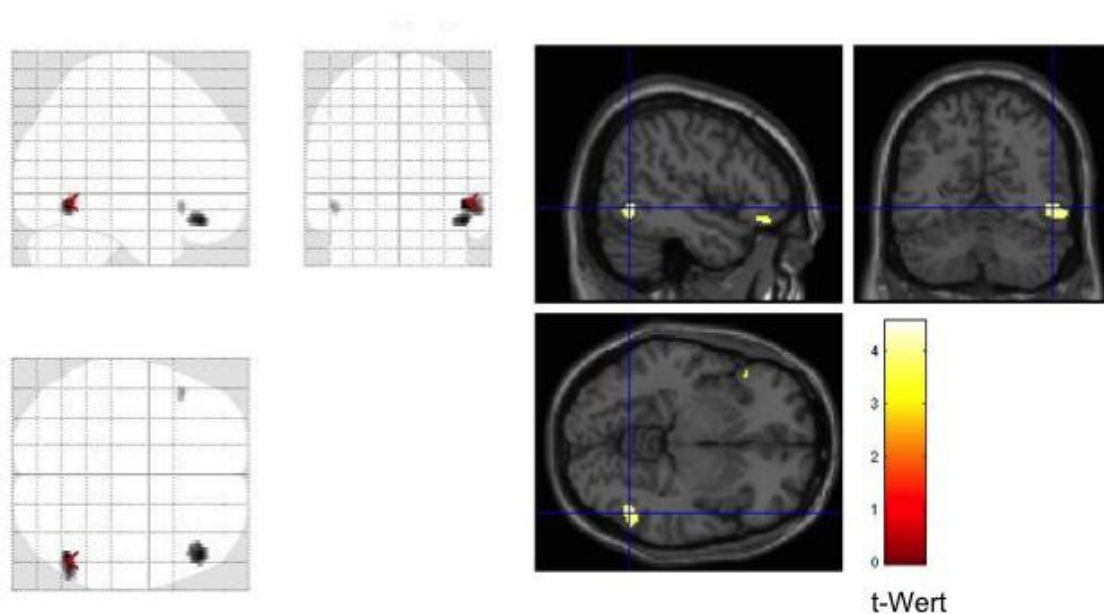


Abbildung 10: Darstellung der Voxelcluster im sog. Glassbrain (links) und standardisierten Gehirn (rechts)

4 Ergebnisse

4.1 Probandenkollektiv – Deskriptive Statistik

In die vorliegende Studie wurden 48 gesunde, normosmische Probanden eingeschlossen. Sie wurden entsprechend ihrer Händigkeit in zwei homogene Gruppe LH und RH zu je 24 Probanden eingeteilt. In jeder Gruppe befanden sich 14 weiblichen und 10 männlichen Probanden.

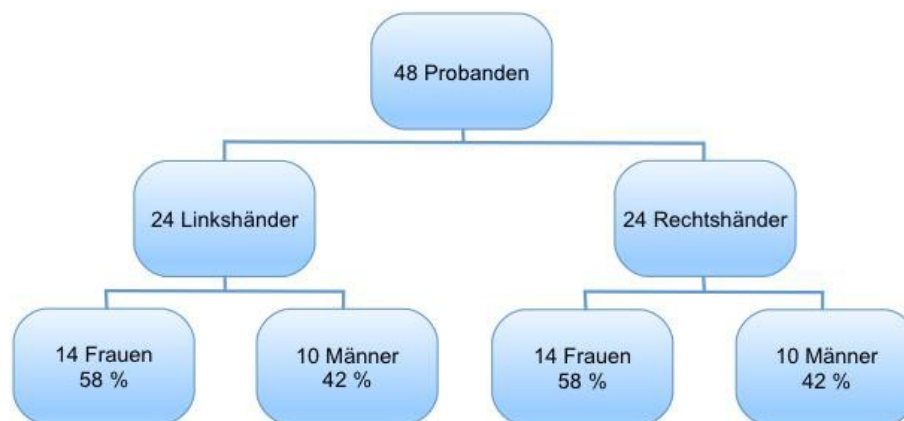


Abbildung 11: Probandenverteilung

Die Probanden hatten ein mittleres Alter von 24,0 Jahren ($SD = 4,3$; Minimum 18, Maximum 45 Jahre), wobei sich Linkshänder ($MW = 23,8$; $SD = 3,5$ Jahre) und Rechtshänder ($MW = 24,3$; $SD = 5,0$ Jahre) hinsichtlich des Alters nicht unterschieden ($p = 0,71$).

Da in die Auswertung der OEP lediglich die Daten von 32 Probanden einbezogen werden konnten, davon 18 LH und 14 RH, wurde für diese kleinen Gruppen ebenfalls die Altersverteilung verglichen. Unter den 32 Probanden betrug das mittlere Alter 24,4 Jahre ($SD = 4,9$ Jahre). Es konnte auch hier kein Unterschied hinsichtlich des Alters der Linkshänder ($MW = 23,7$; $SD = 4,0$ Jahre) und Rechtshänder ($MW = 25,4$; $SD = 5,9$ Jahre) festgestellt werden ($p = 0,36$).

Anhand des Anamnesebogens konnten relevante Begleiterkrankungen, Operationen im Kopfbereich, Alkohol- und Nikotinkonsum, Einnahme der Antibabypille sowie Einflüsse von Chemikalien, Gasen und Stäuben erfasst werden. Tabelle 3 spiegelt die Ergebnisse im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern wider.

		Linkshänder		Rechtshänder	
		Anzahl	in %	Anzahl	in %
Begleit- erkrankungen	nein	13	54,2	13	54,2
	ja, folgende	11	45,8	11	45,8
	Unfall mit Kopfbeteiligung	4	16,7	1	4,2
	Heuschnupfen	6	25	2	8,3
	Kopfschmerzen	1	4,2	4	16,7
	häufige Erkältungen	2	8,3	3	12,5
	behinderte Nasenatmung	0	0	1	4,2
	Schnarchen	2	8,3	1	4,2
	Schilddrüsenunterfunktion	1	4,2	0	0
Operation im Kopfbereich	nein	13	54,2	18	75
	ja, folgende	11	45,8	6	25
	Nasenscheidewand	2	8,3	1	4,2
	Nasenmuscheln	0	0	1	4,2
	Gaumenmandeln	4	16,7	2	8,3
	Rachenmandel	2	8,3	1	4,2
	Mittelohr	1	4,2	0	0
	größere Zahnoperation	7	29,2	3	12,5
Alkohol	nein	3	12,5	0	0
	ja	21	87,5	24	100
Rauchen	nein	18	75	17	70,8
	ja	6	25	7	29,2
Pille	nein	20	83,3	20	83,3
	ja	4	16,7	4	16,7
Chemikalien / Gase / Stäube	nein	23	95,8	23	95,8
	ja	1	4,2	1	4,2

Tabelle 3: Auswertung Anamnesebogen

Bei etwa der Hälfte der Links- und Rechtshänder bestanden keine HNO-relevanten Begleiterkrankungen. Die andere Hälfte gab u. a. vereinzelt Kopfschmerzen, häufige Erkältungen, Heuschnupfen, Schnarchen oder einen Unfall mit Kopfbeteiligung in der Anamnese an. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurden diesbezüglich von keinem der Probanden Symptome oder Beschwerden angegeben. Von den Linkshändern war knapp die Hälfte in der Vergangenheit am Kopf operiert worden. In der Gruppe der Rechtshänder

waren es deutlich weniger. Am häufigsten wurden größere Zahnoperationen, vor allem die Entfernung der Weisheitszähne, und die Entfernung der Gaumenmandeln erwähnt. Nahezu 90 % der Linkshänder und alle Rechtshänder gaben an gelegentlich Alkohol zu trinken. Der überwiegende Teil der Links- und Rechtshänder war Nichtraucher. Die Antibabypille wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen von jeweils vier weiblichen Probanden in beiden Gruppen eingenommen. Von den Linkshändern und auch Rechtshändern gab jeweils ein Proband an beruflich regelmäßig Chemikalien und Gasen ausgesetzt zu sein.

Wie der Tabelle 4 zu entnehmen ist, beurteilten die meisten Links- und Rechtshänder ihr Riechvermögen zudem als normal. Jeweils ein Links- und ein Rechtshänder gab an subjektiv etwas schlechter riechen zu können als andere, während nur wenige Probanden ihr Riechvermögen als besser einschätzten.

Einschätzung Riechvermögen	Linkshänder		Rechtshänder	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %
sehr gut	1	4,2	1	4,2
deutlich besser	0	0	1	4,2
etwas besser	5	20,8	6	25
normal	17	70,8	15	62,5
etwas schlechter	1	4,2	1	4,2
deutlich schlechter	0	0	0	0
sehr schlecht	0	0	0	0

Tabelle 4: Subjektive Einschätzung des Riechvermögens

Im 16er Sniffin´ Sticks Identifikationstest konnten alle Probanden mindestens 13 der 16 angebotenen Gerüche korrekt identifizieren. Zwischen Linkshändern (MW = 14,08; SD = 1,02) und Rechtshändern (MW = 14,42; SD = 0,83) war, wie in Abbildung 12 zu sehen, diesbezüglich kein Unterschied nachweisbar ($p = 0,22$).

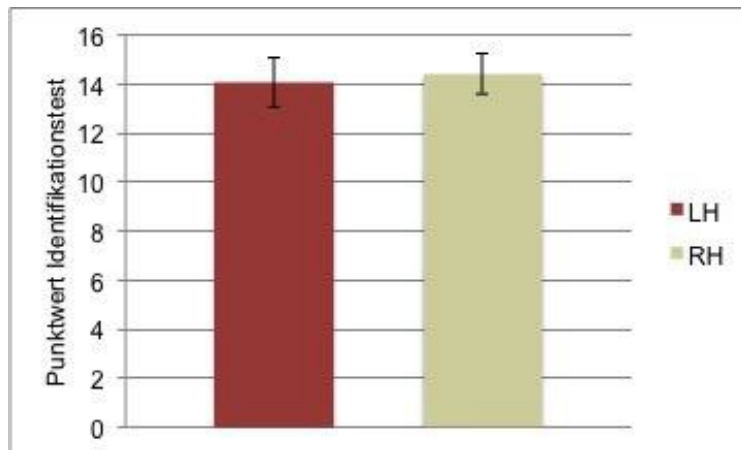


Abbildung 12: Ergebnisse des 16er Sniffin' Sticks Identifikationstests im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern

4.2 Olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale

4.2.1 Psychophysische Daten

Die Probanden schätzten anhand einer visuellen Analogskala von 0 bis 10 nach jeder Duftstoffdarbietung die Intensität des jeweiligen Duftstoffes ein. Daraus wurde für jeden Probanden ein Mittelwert für die Intensität von PEA und H₂S errechnet. Des Weiteren musste durch die Probanden nach jedem Durchgang die Hedonik der Duftstoffe auf einer Skala von -5 bis +5 bestimmt werden.

Die Auswertung der psychophysischen Daten, welche in Tabelle 5 dargestellt ist, ergab, dass sich die beiden Duftstoffe PEA und H₂S in der durchgeführten Studie in ihrer Intensität nicht signifikant unterschieden ($t = 1,42$; $p = 0,16$). Unter allen Probanden betrug der Mittelwert der Intensität von PEA 3,27 (SD = 1,69), der Mittelwert der Intensität von H₂S 3,02 (SD = 1,26). Wie in Abbildung 13 gezeigt, war zwischen Links- und Rechtshändern weder für PEA ($t = 0,93$; $p = 0,36$) noch für H₂S ($t = 0,77$; $p = 0,44$) ein Unterschied nachweisbar.

Bezüglich der Hedonik konnte festgestellt werden, dass H₂S deutlich unangenehmer als PEA empfunden wurde ($t = 12,6$; $p < 0,001$). Der Mittelwert für PEA lag unter allen Probanden bei 1,54 (SD = 2,12), während der Mittelwert für H₂S mit -2,90 (SD = 1,65) bestimmt wurde. Es war auch hier weder für PEA ($t = 0,54$; $p = 0,59$) noch für H₂S ($t = 0,26$; $p = 0,78$) ein Einfluss der Händigkeit zu beobachten. Dies ist der Abbildung 14 zu entnehmen.

			Mittelwert (MW)	Standardabweichung (SD)
PEA	Intensität	LH	3,04	1,90
		RH	3,49	1,46
	Hedonik	LH	1,71	2,58
		RH	1,38	1,58
H ₂ S	Intensität	LH	2,89	1,40
		RH	3,17	1,11
	Hedonik	LH	-2,96	1,73
		RH	-2,83	1,61

Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Intensitäts- und Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der Ableitung der OEP im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern

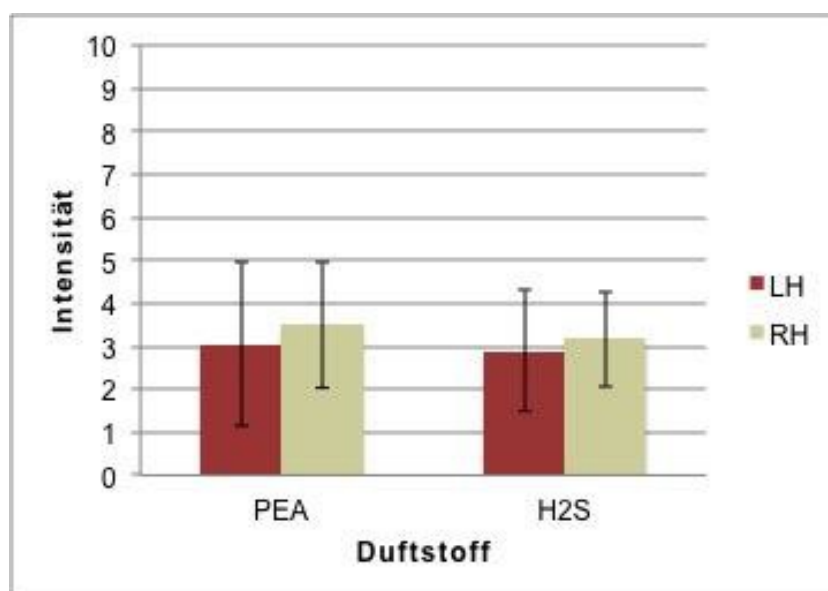


Abbildung 13: Intensitätsbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der Ableitung der OEP

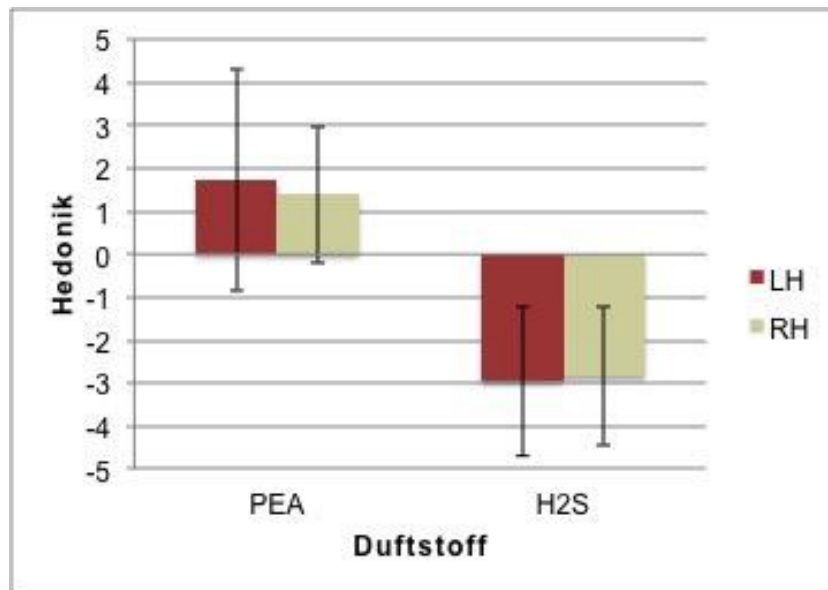


Abbildung 14: Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der Ableitung der OEP

4.2.2 OEP in Abhängigkeit von der Händigkeit

Mittels ANOVA wurden Haupteffekte und Interaktionseffekte auf die OEP analysiert. Dabei wurden neben der Händigkeit (Linkshänder – Rechtshänder) auch Reizseite (links – rechts), Duftstoff (PEA – H₂S) und Ableitposition (Cz, Fz, Pz, C3, C4) als mögliche Einflussfaktoren betrachtet. Im Anhang (siehe 8.3 Varianzanalyse der OEP) sind die Daten der Varianzanalyse (ANOVA) dargestellt. Die signifikanten Effekte ($p < 0,05$) wurden fett gedruckt. Da aufgrund der relativ kleinen Stichprobe nur Interaktionen zwischen maximal zwei Faktoren interpretiert wurden, sind die übrigen Daten blass gedruckt und somit zu vernachlässigen.

Die vollständigen deskriptiven Daten der Amplituden und Latenzen der OEP sind ebenfalls dem Anhang zu entnehmen (siehe 8.4 Deskriptive Statistik der OEP).

Anhand der statistischen Analysen konnte kein Haupteffekt des Faktors „Händigkeit“ auf die Amplituden und Latenzen der OEP nachgewiesen werden. Es zeigte sich jedoch für die Latenz latN1 eine Interaktion zwischen den Faktoren „Händigkeit“ und „Duftstoff“ ($F[1,30] = 5,21$; $p = 0,03$). Linkshänder zeigten bei Reizung mit PEA kürzere und bei Reizung mit H₂S längere Latenzen latN1 als Rechtshänder. In Abbildung 15 ist beispielhaft die Latenz lat N1 für die Ableitposition Cz während rechtsseitiger Reizung dargestellt.

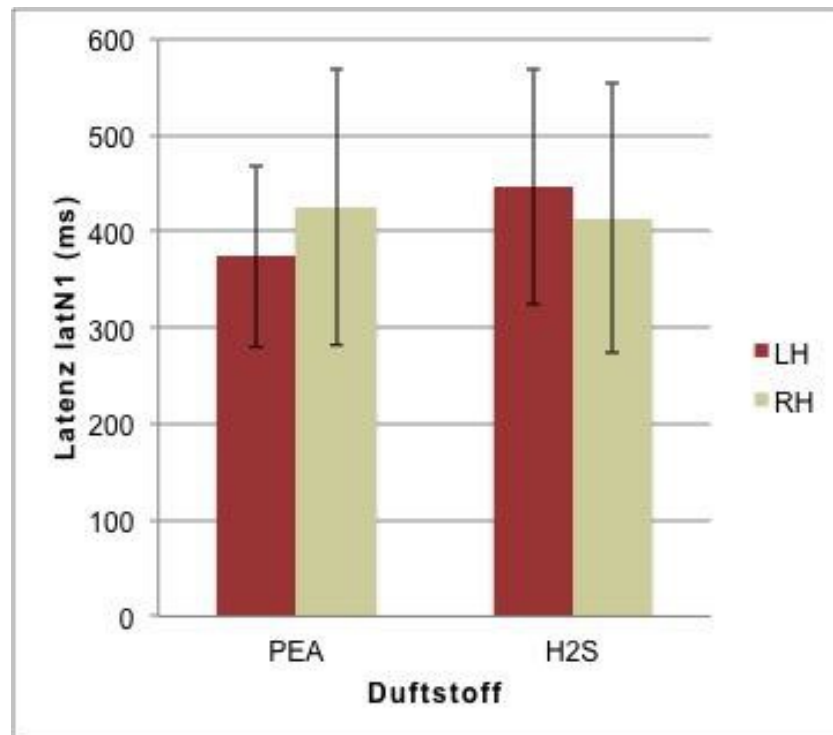


Abbildung 15: Latenz latN1 in Position Cz bei rechtsseitiger Reizung

4.2.3 OEP in Abhängigkeit von der Reizseite

Bezüglich des Faktors „Reizseite“ war in den durchgeführten Untersuchungen ein Haupteffekt auf die Peak-to-Peak-Amplitude ptpN1P2 nachweisbar ($F[1,30] = 5,39$; $p = 0,03$). Wie in den Abbildungen 16 und 17 zu sehen, waren die Antwortamplituden ptpN1P2 bei Reizung der rechten Nasenseite unabhängig vom Duftstoff und der Händigkeit signifikant größer als bei Reizung der linken Nasenseite. Zur Darstellung wurde beispielhaft die Ableitposition Cz gewählt. In Abbildung 16 sind die Peak-to-Peak-Amplituden ptpN1P2 für PEA und H₂S nach links- und rechtseitiger Reizung bei Linkshändern dargestellt. Abbildung 17 zeigt diese Daten für Rechtshänder.

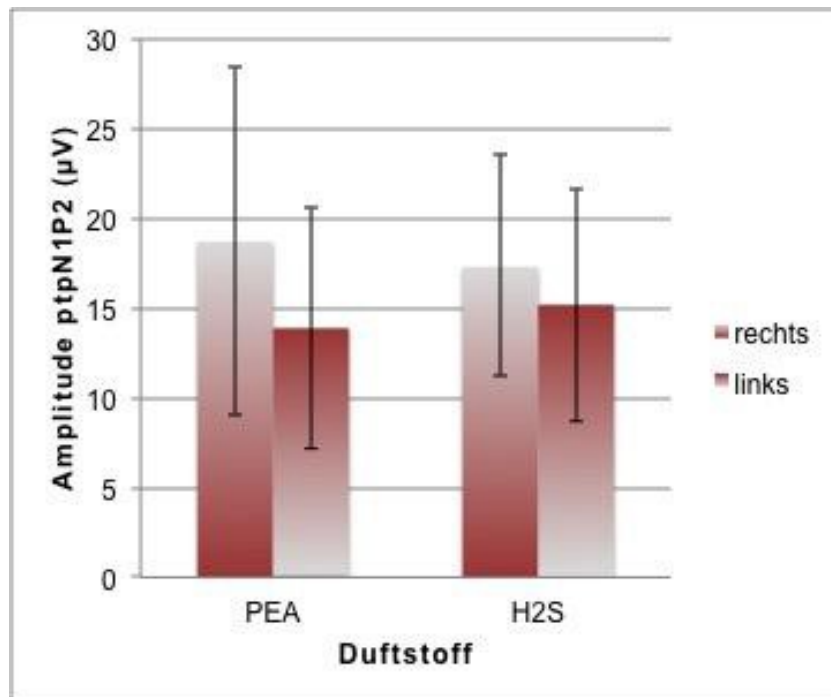


Abbildung 16: Amplitude ptpN1P2 in Position Cz bei Linkshändern

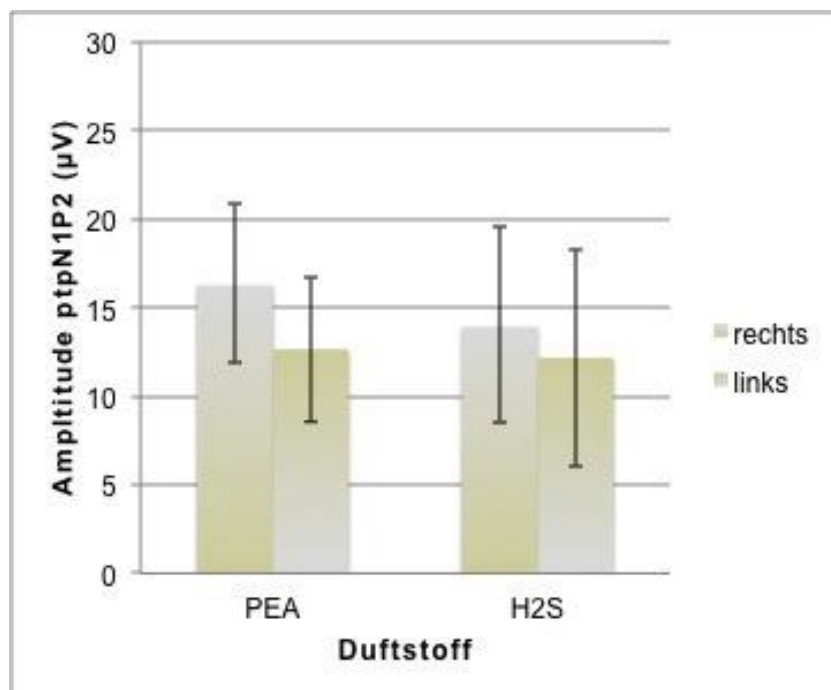


Abbildung 17: Amplitude ptpN1P2 in Position Cz bei Rechtshändern

4.2.4 OEP in Abhängigkeit vom Duftstoff

Der Faktor „Duftstoff“ zeigte einen signifikanten Einfluss auf die Latenzen latN1 ($F[1,30] = 9,22$; $p = 0,005$) und in noch stärkerer Ausprägung auf die Latenzen latP2 ($F[1,30] = 23,26$; $p < 0,001$). Bei Reizung mit PEA waren die Latenzen signifikant kürzer als bei Reizung mit H_2S . Dieser Sachverhalt ist der Abbildung 18 zu entnehmen. Dargestellt ist die Latenz latP2 in der Ableitposition Cz während rechtseitiger Reizung mit PEA oder H_2S . Unabhängig von der Händigkeit ist die Latenz latP2 bei Reizung mit PEA kürzer als bei Reizung mit H_2S .

Des Weiteren war, wie in Abbildung 19 zu sehen, eine Interaktion zwischen den Faktoren „Duftstoff“ und „Ableitposition“ für die Peak-to-Peak-Amplituden ptpN1P2 zu beobachten ($F[4,120] = 3,07$; $p = 0,02$). Bei Reizung mit PEA waren die Antwortamplituden ptpN1P2 in Pz signifikant am größten und nach vorn über Cz zu Fz abnehmend und zeigten in C4 größere Werte als in C3. Hinsichtlich der Reizung mit H_2S war dagegen eine gleichmäßigere und eher zufällige Verteilung der Antwortamplituden ptpN1P2 über die verschiedenen Ableitpositionen nachweisbar. Beispielhaft ist dies in Abbildung 19 für Linkshänder bei rechtsseitiger Reizung dargestellt.

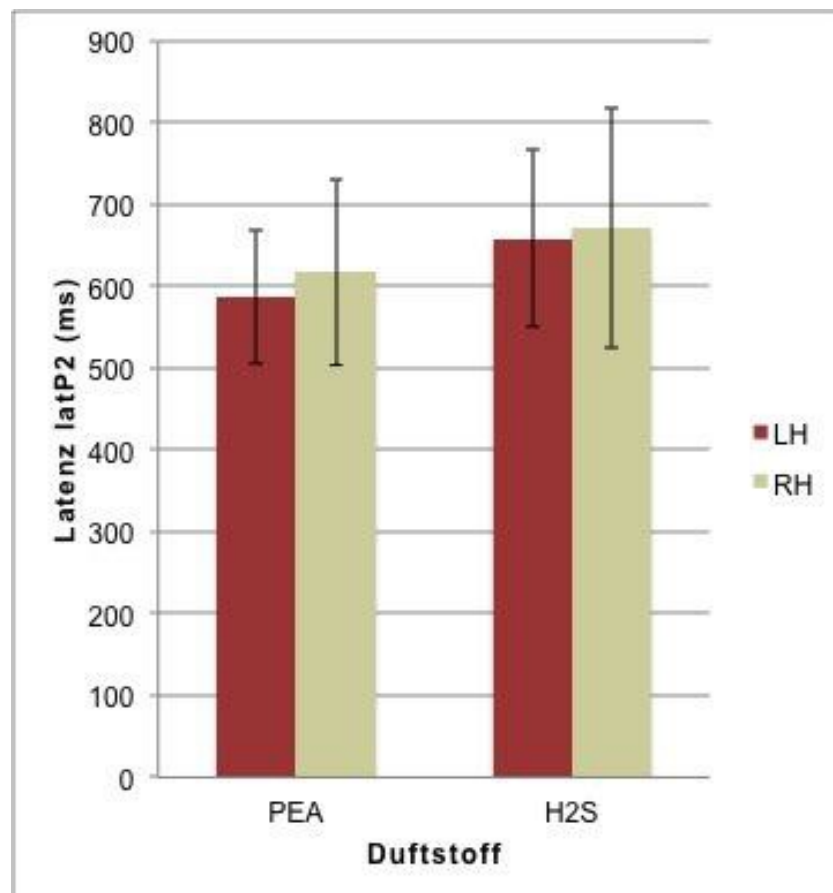


Abbildung 18: Latenz latP2 in Position Cz bei rechtsseitiger Reizung

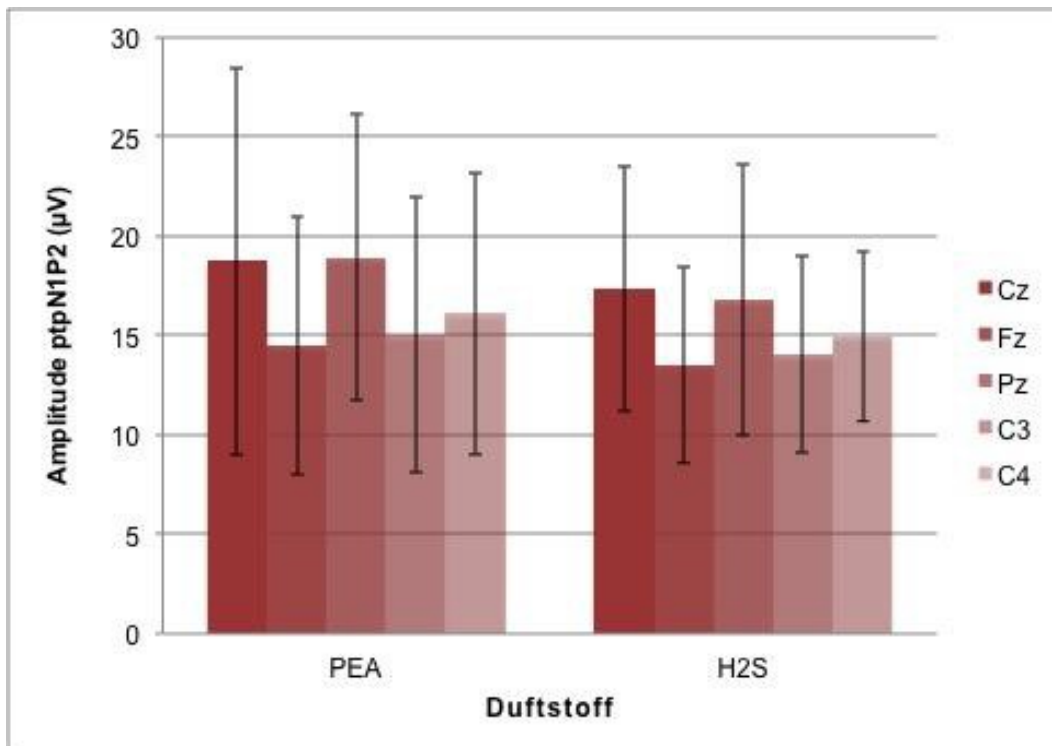


Abbildung 19: Amplitude ptpN1P2 bei Linkshändern bei rechtsseitiger Reizung

4.2.5 OEP in Abhängigkeit von der Ableitposition

Der Faktor „Ableitposition“ hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Latenzen der OEP. Im Gegensatz dazu zeigte der Faktor „Ableitposition“ einen signifikanten Haupteffekt auf die Antwortamplituden ampN1 ($F[4,120] = 6,01$; $p < 0,001$) und ampP2 ($F[4,120] = 35,81$; $p < 0,001$) als auch auf die Peak-to-Peak-Amplituden ptpN1P2 ($F[4,120] = 23,53$; $p < 0,001$). Die Antwortamplituden waren allesamt centroparietal am größten und auf der rechten Seite des Schädels (C4) größer als auf der linken Seite (C3). In Abbildung 20 ist als Beispiel für Linkshänder während rechtsseitiger Reizung die Amplitude ampP2 in den Ableitpositionen Cz, Fz, Pz, C3 und C4 zu sehen. Sowohl für PEA als auch für H₂S sind die Antwortamplituden in Cz und Pz am größten und in C4 größer als in C3. Ein Einfluss der Händigkeit oder Reizseite war dabei nicht zu beobachten.

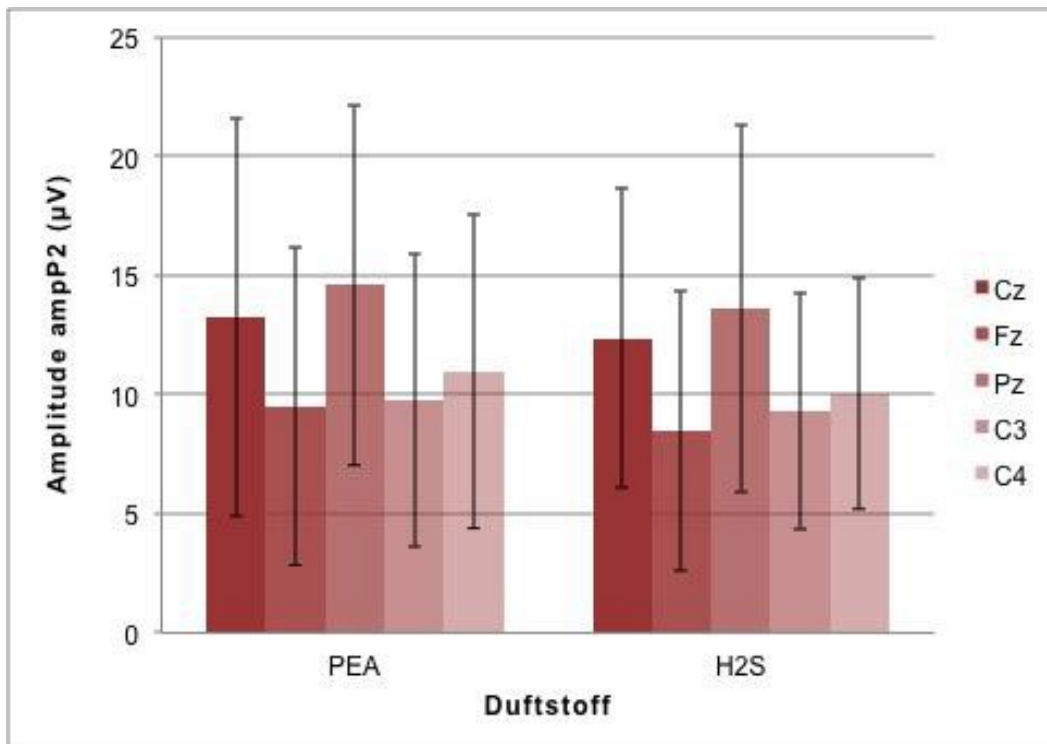


Abbildung 20: Amplitude ampP2 bei Linkshändern bei rechtsseitiger Reizung

4.3 Funktionelle Magnetresonanztomographie

4.3.1 Psychophysische Daten

Nach jedem der vier fMRT-Durchgänge wurden die Probanden aufgefordert die Intensität des zuvor applizierten Duftstoffes auf einer Skala von 0 bis 10 und die Hedonik auf einer Skala von -5 bis +5 einzuschätzen. Die gemittelten Daten sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Die Auswertung der Daten ergab einen signifikanten Einfluss des Duftstoffes auf die Einschätzungen der Intensität und Hedonik. H₂S wurde von den Probanden intensiver wahrgenommen als PEA ($t = 3,49$; $p = 0,001$). Die Intensität von PEA gemittelt unter allen Probanden betrug 5,09 (SD = 1,63), während der Mittelwert der Intensität von H₂S mit 6,18 (SD = 1,89) bestimmt wurde. Des Weiteren konnte, wie in Abbildung 21 zu sehen, im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern festgestellt werden, dass PEA von den Rechtshändern signifikant intensiver eingeschätzt wurde als von den Linkshändern ($t = 2,25$; $p = 0,029$). Während der Mittelwert bei den Linkshändern 4,53 (SD = 1,61) betrug, schätzen Rechtshänder die Intensität von PEA im Mittel mit 5,56 (SD = 1,52) ein. Für die Intensität von H₂S konnte in Bezug auf die Händigkeit kein Unterschied festgestellt werden ($t = 0,24$; $p = 0,81$).

Ferner wurde PEA von den Probanden angenehmer empfunden als H₂S ($t = 11,6$; $p < 0,001$). Der Mittelwert der Hedonik für PEA unter allen Probanden lag bei 1,97 (SD = 2,06), die Hedonik von H₂S wurde mit -2,40 (SD = 2,16) bewertet. Abbildung 22 zeigt, dass diesbezüglich weder für PEA ($t = 0,36$; $p = 0,72$) noch für H₂S ($t = 0,72$; $p = 0,48$) ein signifikanter Einfluss der Händigkeit nachgewiesen werden konnte.

			Mittelwert (MW)	Standardabweichung (SD)
PEA	Intensität	LH	4,53	1,61
		RH	5,56	1,52
	Hedonik	LH	2,08	2,20
		RH	1,88	1,99
H₂S	Intensität	LH	6,15	2,26
		RH	6,12	1,57
	Hedonik	LH	-2,18	2,70
		RH	-2,58	1,63

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Intensitäts- und Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der fMRT-Untersuchung im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern

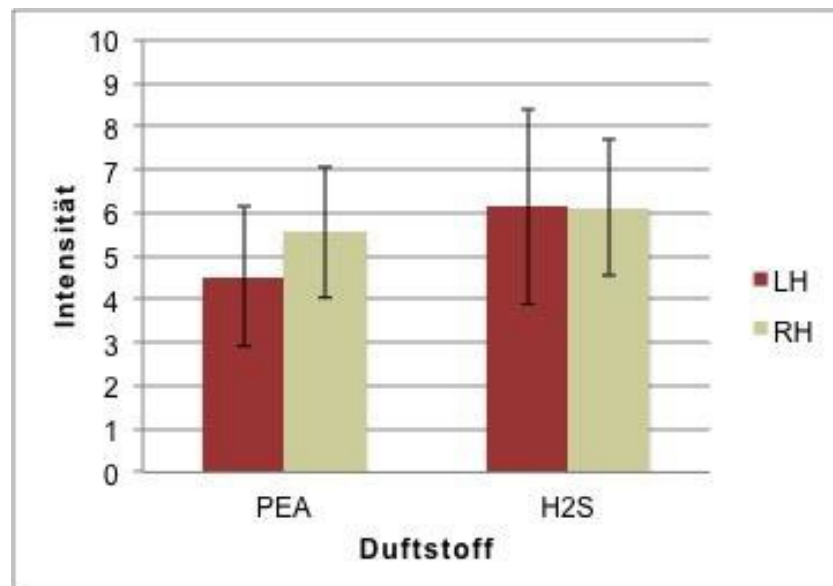


Abbildung 21: Intensitätsbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der fMRT-Untersuchung

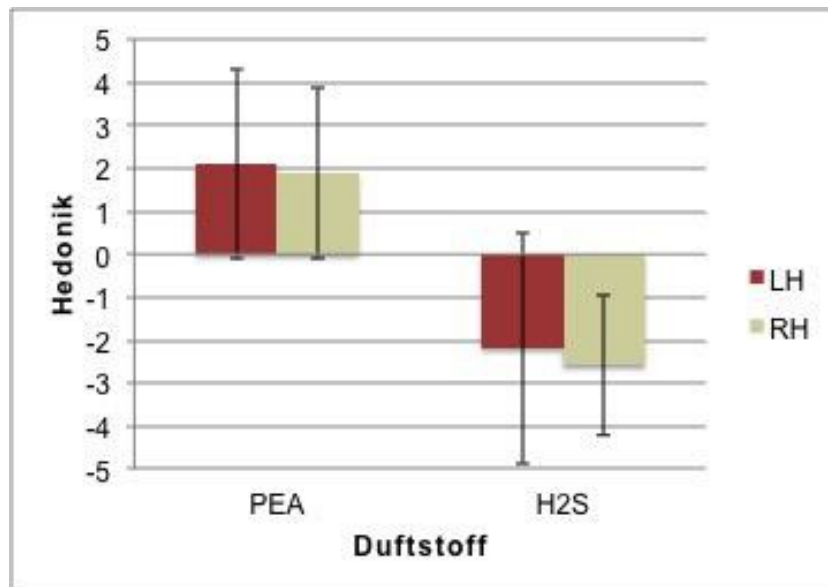


Abbildung 22: Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der fMRT-Untersuchung

4.3.2 Olfaktorische Hirnaktivierung ON vs. OFF

Mit Hilfe des bereits beschriebenen Programmes SPM8 konnten signifikante Hirnaktivierungen bestimmt und visualisiert werden. Es wurden Aktivierungen ab einer Mindestgröße von 16 Voxeln (cluster level ≥ 16) berücksichtigt. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

Zunächst wurde der Effekt der Duftstoffdarbietung per se unter allen Probanden betrachtet, um die olfaktorisch aktivierten Hirnareale zu erfassen. Die Aktivierungen während der ON-Blöcke (Duftstoffdarbietung) wurden mit den Aktivierungen während der OFF-Blöcke verglichen. Dabei zeigten sich signifikante Cluster in typischen olfaktorischen Hirnarealen, insbesondere im Bereich der sekundär olfaktorischen Areale orbitofrontaler Cortex und Insula. Die signifikanten Cluster mit ihren t-Werten sind der Tabelle 7 zu entnehmen. Aktivierungen des orbitofrontalen Cortex waren beidseitig, Aktivierungen der Insula lediglich rechtsseitig nachweisbar. Im Bereich der primär olfaktorischen Areale ließen sich in der durchgeführten Studie keine signifikanten Cluster lokalisieren. In Abbildung 23 sind die entsprechend aktivierten Hirnareale farbig markiert. Die blauen Kreise heben die signifikanten Cluster im links- und rechtsseitigen orbitofrontalen Cortex hervor, während der grüne Kreis einen großen aktivierten Bereich der rechtsseitigen Insula kennzeichnet.

	Clustergröße	t-Wert	MNI-Koordinaten		
			X	Y	Z
Orbitofrontaler Cortex (rechts)	63	7,75	42	40	14
	47	6,34	44	46	-10
	89	5,63	44	48	8
	19	5,31	24	42	-14
Orbitofrontaler Cortex (links)	38	7,42	-44	54	-4
	39	6,97	-50	44	-10
	20	5,52	-40	52	14
Insula (rechts)	105	6,09	40	22	-4

Tabelle 7: Signifikante Aktivierungen ON vs. OFF unter allen Probanden

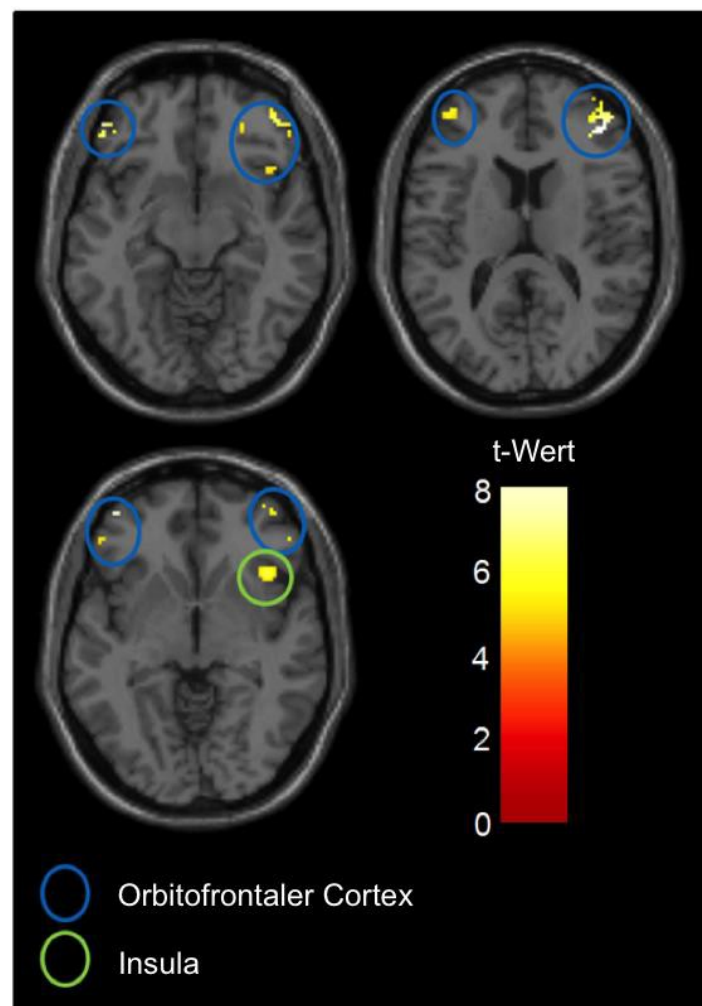


Abbildung 23: Darstellung der signifikanten Voxelcluster der Hirnaktivierungen ON vs. OFF unter allen Probanden

4.3.3 Aktivierung in Abhängigkeit von der Händigkeit

Um einen Einfluss der Händigkeit herauszuarbeiten wurden die ON-Aktivierungen der beiden Gruppen LH und RH verglichen. Ziel war es anhand des T-Tests signifikante überschwellige Aktivierungen zwischen den Gruppen zu erfassen.

Beim Vergleich der Hirnaktivierungen der Linkshänder mit denen der Rechtshänder waren keine signifikanten überschwelligen Voxel im Bereich primärer oder sekundärer olfaktorischer Areale nachweisbar. Dabei wurden die Aktivierungen für beide Reizseiten als auch die Aktivierungen getrennt für die linksseitige und rechtsseitige Reizung betrachtet. Auch in einer ergänzend durchgeführten Ganzhirnanalyse, das heißt ohne Verwendung der Masken für primäre oder sekundäre olfaktorische Areale, waren keine Aktivierungsdifferenzen außerhalb olfaktorisch aktivierter Hirnareale zu beobachten. Ein Unterschied in der zerebralen Verarbeitung der Duftstoffe PEA und H₂S ließ sich zwischen Links- und Rechtshändern folglich nicht nachweisen.

4.3.4 Aktivierung in Abhängigkeit von der Reizseite

Die ON-Aktivierungen während linksseitiger Duftstoffdarbietung wurden mit den ON-Aktivierungen während rechtsseitiger Duftstoffdarbietung verglichen. Ziel war es mit Hilfe des T-Tests signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Reizseite zu erfassen. Analog wurden hier zunächst alle Probanden und schließlich Linkshänder und Rechtshänder getrennt voneinander betrachtet.

Der Vergleich der Hirnaktivierungen während linksseitiger Reizung mit denen während rechtsseitiger Reizung ergab keine signifikanten überschwelligen Voxel im Bereich primärer oder sekundärer olfaktorischer Areale. Eine ergänzend durchgeführte Ganzhirnanalyse, das heißt ohne Verwendung von Masken, zeigte ebenfalls keine unterschiedlichen Aktivitätsmuster außerhalb olfaktorisch aktivierter Hirnareale. Demnach war kein signifikanter Einfluss der Reizseite auf die zerebrale Verarbeitung der verwendeten Duftstoffe zu beobachten.

5 Diskussion

5.1 Die Händigkeit und das olfaktorische System

Die Auswertung der OEP im Rahmen der vorliegenden Arbeit hat keinen signifikanten Haupteffekt des Faktors Händigkeit auf die Verarbeitung seitengetrennt applizierter olfaktorischer Reize ergeben. Ergänzend wurde mit Hilfe der fMRT anhand einer relativ großen Stichprobe von 44 Links- und Rechtshändern die zerebrale Aktivierung im Rahmen der passiven Verarbeitung einfacher olfaktorischer Reize untersucht. Einhergehend mit den Ergebnissen der OEP konnte kein signifikanter Effekt der Händigkeit herausgearbeitet werden. Die zerebralen Aktivierungsmuster von Links- und Rechtshändern unterschieden sich in den durchgeführten Untersuchungen nicht signifikant voneinander. Auch ein Einfluss der Reizseite war in Bezug auf die Händigkeit nicht nachweisbar. Dabei wurden sowohl primäre und sekundäre olfaktorische Areale untersucht als auch die übrigen Hirnregionen im Rahmen einer Ganzhirnanalyse berücksichtigt.

Bei der Auswertung der psychophysischen Daten fiel jedoch auf, dass PEA im Rahmen der fMRT-Untersuchungen unabhängig von der Reizseite von Rechtshändern intensiver eingeschätzt wurde als von Linkshändern. Bei den Bewertungen während der Ableitung der OEP war diesbezüglich kein Unterschied nachweisbar. Da die Reihenfolge der Duftreize randomisiert wurde und auch die Schläuche nach Randomisierung bei der Hälfte der Probanden gekreuzt wurden, sind technische Gründe hierfür nahezu auszuschließen. Nichtsdestotrotz konnte für diese Diskrepanz auch funktionell kein fassbares Korrelat gefunden werden, so dass sich möglicherweise durch das Blockdesign für Rechtshänder eine subjektiv intensivere Wahrnehmung für PEA ergab.

Es ist folglich anzunehmen, dass die Händigkeit die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Informationen nicht wesentlich beeinflusst. Der Einfluss der Händigkeit auf die Verarbeitung olfaktorischer Reize ist in der Vergangenheit bereits Gegenstand zahlreicher Studien gewesen. Wie eingangs schon beschrieben, ist die Studienlage zum einen inkonsistent, zum anderen wurden dabei vorrangig OEP sowie Schwellen- und Diskriminationstests, seltener die funktionelle Bildgebung betrachtet (Youngentob et al. 1982; Zatorre & Jones-Gotman 1990; Hummel et al. 1998b). Vergleichbare Studien mit ähnlichem Stichprobenumfang und Versuchsaufbau, welche sowohl die Ableitung der OEP als auch die Untersuchung mittels fMRT einschlossen, liegen aktuell nicht vor.

Da aus technischen Gründen für die Auswertung der OEP lediglich die Daten von 32 Probanden berücksichtigt werden konnten, ist diese Stichprobe im Vergleich zum fMRT unterrepräsentiert. Die Probandenzahlen von Links- und Rechtshändern sind jedoch annähernd gleich, so dass die Beobachtungen in Bezug auf Haupteffekte und Interaktionen zwischen maximal zwei Faktoren dennoch als aussagekräftig zu bewerten sind.

Das oben genannte Ergebnis ist demnach im Kontext der passiven Wahrnehmung und Verarbeitung einfacher olfaktorischer Reize wegweisend und bestätigt die Beobachtungen von Hebbal und Mysorekar, die allerdings lediglich passive olfaktorische Tests verwendeten und dabei ebenfalls keinen Unterschied zwischen Links- und Rechtshändern feststellen konnten (Hebbal & Mysorekar 2003). Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass, wie eingangs schon vermutet, andere Faktoren wie beispielweise die Hedonik der verwendeten Duftstoffe oder die kognitiven Anforderungen im Zusammenhang mit der Händigkeit Einfluss auf das olfaktorische System nehmen.

5.2 Die Rolle der Hedonik

Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Händigkeit und den in der Studie verwendeten Duftstoffen objektiviert werden. Bei Reizung mit dem als angenehm empfundenen rosenähnlichen Duftstoff PEA waren die Latenzen latN1 bei Linkshändern kürzer als bei Rechtshändern, während bei Reizung mit H₂S, welches an faule Eier erinnert und in der Regel als unangenehm empfunden wird, bei Rechtshändern kürzere Latenzen latN1 gemessen wurden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Hedonik des applizierten Duftstoffes eine Rolle spielt und möglicherweise daraus auch eine Spezialisierung der hemisphärischen Verarbeitung resultiert.

Kobal et al. hatten in ihrer Studie ähnliche Beobachtungen gemacht. Sie stellten fest, dass Duftstoffe, welche positive Assoziationen hervorrufen, in diesem Fall Vanillin, bei rechtsseitiger Reizung zu kürzeren Latenzen und kleineren Amplituden führten, während dies bei unangenehmen Duftstoffen bei linksseitiger Reizung zu beobachten war (Kobal et al. 1992). Obgleich bei den vorliegenden Untersuchungen diesbezüglich kein Einfluss der Reizseite nachweisbar war, sprechen die Ergebnisse dafür, dass sich die hemisphärische Verarbeitung olfaktorischer Reize abhängig davon, ob ein Duftstoff angenehm oder unangenehm empfunden wird, unterscheidet. Gestützt wird diese Hypothese zudem von einer Studie von Kettenmann et al. Sie verwendeten Vanillin und H₂S, um olfaktorisch evozierte magnetische Felder zu messen und fanden bei Reizung mit H₂S im Vergleich zur Reizung mit Vanillin geringer Aktivität im Bereich der linken Hemisphäre (Kettenmann et al. 1997).

Zu erwähnen ist ferner eine fMRT-Studie von Royet et al., in welche 28 Probanden eingeschlossen wurden. In der Untersuchung der Hedonik-assoziierten Verarbeitung von Gerüchen fiel auf, dass sich bei Reizung mit einem unangenehmen Duftstoff bei Linkshändern mehr Aktivierungen im Bereich der rechten ventralen Insula zeigten, während bei Rechtshändern die Aktivierungen im Bereich der linken ventralen Insula stärker waren (Royet et al. 2003).

Die Bedeutung emotionaler Einflüsse auf die Verarbeitung olfaktorischer Informationen ist demnach im Kontext der Händigkeit und hemisphärischen Spezialisierung zu diskutieren. Links- und Rechtshändern scheinen diesbezüglich signifikante Unterschiede aufzuweisen. Folglich erscheint es sinnvoll diese Unterschiede mittels Ableitung von OEP und funktioneller Bildgebung in anderen Studien präziser zu untersuchen. Dabei sollten praktischerweise verschiedene angenehme und unangenehme rein olfaktorische Duftstoffe berücksichtigt und eine größere Stichprobe ausgewählt werden. Nur so ist es möglich unter diesem Gesichtspunkt eindeutige Rückschlüsse zu ziehen.

5.3 Der Einfluss kognitiver Anforderungen

Thurauf et al. hatten in einer Studie 186 Rechtshänder untersucht und Intensitäts- und Hedonikbewertungen 16 verschiedener seitengetrennt applizierter Duftstoffe verglichen. Ein Großteil der Duftstoffe wurde bei rechtsseitiger Reizung intensiver eingeschätzt. Ferner fielen auch die Scores der Identifikations- und Diskriminationstests bei rechtsseitiger Reizung etwas besser aus, wenngleich diese Beobachtungen nicht signifikant waren (Thurauf et al. 2008). Die Datenlage ist bezüglich des Einflusses der Händigkeit auf die Diskriminationsleistung und Riechschwelle ebenfalls sehr widersprüchlich. In einer Studie von Hummel et al. mit 20 Links- und 20 Rechtshändern zeigten Rechtshänder bei rechtsseitiger und Linkshänder bei linksseitiger Reizung bessere Ergebnisse bezüglich der Diskrimination von Duftstoffen, wobei ein Einfluss der Händigkeit oder Reizseite auf die Riechschwellen nicht nachweisbar war (Hummel et al. 1998b). Einen Vorteil der rechten Nasenseite bei der Duftstoffdiskrimination hatten auch Zatorre und Jones-Gotman gezeigt. Allerdings konnten sie keinen Effekt der Händigkeit beobachten (Zatorre & Jones-Gotman 1990).

Frye et al. sowie Youngentob et al. hatten dagegen Unterschiede der Wahrnehmungsschwelle in Abhängigkeit von der Händigkeit und Reizseite nachweisen können. Während Frye et al. feststellten, dass Rechtshänder bei linksseitiger Reizung eine niedrigere Riechschwelle zeigten und Linkshänder bei rechtsseitiger Reizung bessere Ergebnisse erzielten, erbrachte die Studie von Youngentob et al. genau das Gegenteil,

wobei hierbei mit 19 Probanden im Vergleich zu 80 Probanden in der Studie von Frye et al. eine deutlich kleinere Stichprobe untersucht worden war (Youngentob et al. 1982; Frye et al. 1992). Demgegenüber gibt es diverse Studien, die keine signifikanten Effekte der Händigkeit auf die Riechschwelle feststellen konnten (Betchen & Doty 1998; Hummel et al. 1998b).

Diese Ergebnisse führen zu der Annahme, dass die während der Duftstoffdarbietung gestellten kognitiven Anforderungen, das heißt in diesem Fall die Frage nach Duftstoffdiskrimination, -identifikation oder Riechschwelle, einen Einfluss auf die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Reize ausüben.

Hudry et al. untersuchten unter einem ähnlichen Gesichtspunkt 61 Probanden mit Temporallappenepilepsie und eine gesunde Vergleichsgruppe von 60 Probanden. Sie konstatierten für beide Gruppen, dass der rechten Hemisphäre bezüglich des Geruchsgedächtnisses eine größere Bedeutung zukommt. Denn die Probanden zeigten bei rechtsseitiger Reizung bessere Ergebnisse in Bezug auf die Bewertung der Vertrautheit der verwendeten Duftstoffe (Hudry et al. 2014). Dass der rechten Hemisphäre im Zusammenhang mit dem Geruchsgedächtnis eine führende Rolle zukommt, hatten auch Jones-Gotman und Zatorre feststellen können (Jones-Gotman & Zatorre 1993). Sie begründeten damit auch die verbesserte Duftstoffdiskrimination bei Reizung der rechten Nasenseite. Doty und Kerr hatten in einer Studie mit 30 Links- und 30 Rechtshändern speziell Lateralisierungsprozesse in Bezug auf das Geruchsgedächtnis untersucht. Ein signifikanter Effekt der Händigkeit konnte dabei allerdings nicht nachgewiesen werden (Doty & Kerr 2005).

In der bereits erwähnten Studie von Royet et al. zeigten sich verstärkte Aktivierungen im Bereich des orbitofrontalen Cortex als es darum ging die emotionale Qualität der Gerüche bewusst wahrzunehmen (Royet et al. 2003). Anderson et al. machten ähnliche Beobachtungen und definierten unterschiedliche Hirnareale für die Analyse der Intensität und Wertigkeit von Duftstoffen. Bei der Einschätzung der Intensität zeigten sich Aktivierungen im Bereich der Amygdala, bei der Einschätzung der Hedonik hingegen war auch hier vor allem der orbitofrontale Cortex aktiv (Anderson et al. 2003). Royet und Plailly stellten in Analogie zu Hudry et al. ebenfalls fest, dass sich die zerebrale Aktivierung auf olfaktorische Reize unter dem Einfluss der dabei gestellten kognitiven Aufgabe unterscheidet und zur hemisphärischen Spezialisierung führt. Zur Aktivierung der rechten Hemisphäre (orbitofrontaler und piriformer Cortex) führten Gedächtnisprozesse, während die linke Hemisphäre (v. a. orbitofrontaler Cortex, Insula, piriformer Cortex, Amygdala) insbesondere im Zusammenhang mit emotionalen Aspekten aktiviert wurde (Royet & Plailly 2004; Hudry et al. 2014).

Die Rolle der Händigkeit im olfaktorischen System ist folglich nicht absolut zu sehen, denn verschiedene kognitive Anforderungen haben unterschiedliche Auswirkungen auf die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Reize. Das Studiendesign und die jeweiligen Bedingungen sollten daher stets genaue Beachtung finden. In der vorliegenden Studie stand die passive Verarbeitung einfacher olfaktorischer Reize im Fokus. Intensität und Hedonik sollten dabei zwar bewertet, jedoch während der Untersuchungen nicht fokussiert reflektiert werden. Es ergaben sich daher abgesehen von der passiven Wahrnehmung der Reize keine besonderen kognitiven Anforderungen für die Probanden.

5.4 Die Prädominanz der rechten Hemisphäre

Bei der Betrachtung des Einflusses der Reizseite auf die OEP konnte festgestellt werden, dass die Antwortamplituden ptpN1P2 bei Reizung der rechten Nasenseite signifikant größer waren als bei Reizung der linken Nasenseite. Geht man davon aus, dass die Verarbeitung olfaktorischer Reize im Wesentlichen ipsilateral erfolgt (Lascano et al. 2010), führt dies zur Annahme, dass der rechten Hemisphäre hierbei eine vorrangige Bedeutung zukommt. Diese Hypothese wird durch eine Reihe von Studien gestützt. Beispielsweise hatten Hummel et al. 22 Patienten mit Temporallappenepilepsie untersucht und bei rechtstemporalem Focus verstärkt Veränderungen der Amplituden der OEP nachgewiesen, wohingegen Veränderungen der Latenzen sowohl bei links- als auch bei rechtstemporalem Focus erkennbar waren (Hummel et al. 1995). Die bereits genannten Ergebnisse von Kettenmann et al. gehen ebenfalls damit einher. Sie hatten bei olfaktorischer Reizung mit H₂S insgesamt weniger links- als rechtshemisphärielle Aktivitäten beobachtet (Kettenmann et al. 1997).

Im Gegensatz dazu konnten Stuck et al., welche ebenfalls H₂S als olfaktorischen Reiz nutzen, keinen Effekt der Reizseite auf die Ableitung der OEP feststellen (Stuck et al. 2006). Olofsson et al. hingegen nutzten für ihre Untersuchungen Amylacetat und zeigten interessanterweise größere Amplituden ptpN1P2 bei linksseitiger Stimulation, wobei ein Einfluss auf die Latenzen nicht zu beobachten war. Zu beachten ist, dass an dieser Studie ausschließlich Rechtshänder teilnahmen. Olofsson et al. sprachen sich folglich für eine generelle linkshemisphärielle Prädominanz der Antwortamplituden aus (Olofsson et al. 2006) und widerlegten damit die oben genannte Hypothese.

Ferner konnte in der vorliegenden Studie gezeigt werden, dass sich die Antwortamplituden im Gegensatz zu den Latenzen in Abhängigkeit von der Ableitposition unterscheiden. Unabhängig von Reizseite und Händigkeit wurden maximale Amplituden centroparietal gemessen. Darüber hinaus waren die Amplituden rechtshemisphäriell (C4) größer als linkshemisphäriell (C3). Diese Ergebnisse sind in der Literatur weitestgehend bekannt und

gehen einher mit den Beobachtungen zahlreicher anderer Untersuchungen (Hummel & Kobal 1992; Kobal et al. 1992; Livermore et al. 1992). Konträr dazu ist jedoch erneut die Studie von Olofsson et al. zu erwähnen, in welcher größere Antwortamplituden über der linken Hemisphäre gemessen wurden (Olofsson et al. 2006). Da in allen genannten Studien relativ kleine Probandenzahlen untersucht wurden, scheint in Hinblick auf die hemisphärielle Differenzierung der Antwortamplituden die Untersuchung einer größeren Stichprobe sinnvoll.

Brand und Jacquot untersuchten 30 Rechtshänder anhand psychophysischer Messungen und sprachen sich ebenso für eine Prädominanz der rechten Hemisphäre in der Verarbeitung olfaktorischer Reize aus, wobei hierbei die Qualität der Duftstoffe keine Rolle spielte (Brand & Jacquot 2001). In einer PET-Studie zeigten Savic und Gulyas hingegen, dass die Verarbeitung der olfaktorischen Reize sowohl ipsilateral als auch kontralateral erfolgt. Sie beobachteten jedoch ebenfalls verstärkte Aktivierungen im Bereich der rechten Hemisphäre, welche sich allerdings unabhängig von der Reizseite zeigten (Savic & Gulyas 2000).

Während andere Autoren eine Prädominanz des rechtsseitigen orbitofrontalen Cortex in der Verarbeitung olfaktorischer Reize postulierten (Zatorre & Jones-Gotman 1991; Zatorre et al. 1992), waren in der vorliegenden Studie beidseitige Aktivierungen des orbitofrontalen Cortex nachweisbar. Indes zeigten sich hierbei zusätzlich Aktivierungen der rechtsseitigen Insula. Signifikante überschwellige Aktivierungen im Bereich der linkseitigen Insula waren nicht zu beobachten, wodurch in Analogie zu Savic und Gulyas wiederum eine Prädominanz der rechten Hemisphäre zu vermuten ist. Folglich scheinen die Belege für einen höheren Stellenwert der rechten Hemisphäre hinsichtlich der Verarbeitung olfaktorischer Informationen zu überwiegen und werden durch die vorliegende Studie untermauert.

5.5 Aktivierung sekundärer olfaktorischer Areale

Im Rahmen der durchgeführten fMRT-Untersuchungen wurden während der ON-Blöcke unabhängig von Händigkeit und Reizseite keine primären olfaktorischen Areale wie Amygdala, piriformer Cortex und entorhinaler Cortex aktiviert. Dies ist für die Untersuchung des Riechvermögens mittels fMRT nicht ungewöhnlich und wurde bereits in einigen Studien beobachtet. So konnten Reske et al. ebenfalls keine Aktivierungen primärer olfaktorischer Areale nachweisen (Reske et al. 2010). Ferner blieben in anderen Studien signifikante Aktivierungen von Amygdala (Wang et al. 2010) oder piriformem Cortex (Grabenhorst et al. 2011) aus. Eindeutig hingegen waren in der vorliegenden Studie die Aktivierungen sekundärer olfaktorischer Areale (Insula und orbitofrontaler Cortex), wenngleich Effekte der Händigkeit nicht zu beobachten waren.

5.6 Kritikpunkte

In die vorliegende Studie wurden initial 24 Linkshänder und 24 Rechtshänder eingeschlossen. Die Probanden wurden u. a. mit Hilfe von Aushängen rekrutiert, auf welche sich trotz längerer Wartezeit deutlich mehr Frauen als Männer meldeten. Folglich wurde für jede Gruppe eine Anzahl von 14 weiblichen und 10 männlichen Probanden festgelegt. Dass die zentrale Verarbeitung olfaktorischer Reize durch das Geschlecht beeinflusst wird, ist im Wesentlichen bekannt (Evans et al. 1995). Die Studien sind dennoch teilweise widersprüchlich. Während Yousem et al. beispielsweise im Rahmen einer fMRT-Studie bei Frauen stärkere Aktivierungen als bei Männern beobachteten, konnten Bengtsson et al. keine Unterschiede der zerebralen Aktivierung zwischen Frauen und Männern objektivieren (Yousem et al. 1999; Bengtsson et al. 2001). Dabei scheinen unter anderem kognitive Anforderungen eine Rolle zu spielen, welche in der vorliegenden Studie jedoch vergleichsweise gering waren.

Darüber hinaus mussten aus technischen Gründen bei der Auswertung der OEP einige Datensätze ausgeschlossen werden. In der Folge konnten lediglich die Daten von 18 Linkshändern und 14 Rechtshändern für die statistische Auswertung berücksichtigt werden, wodurch sich der Stichprobenumfang signifikant verkleinerte. Bei der Auswertung der funktionellen Bildgebung wurden ebenfalls vier Linkshänder ausgeschlossen. Zum einen resultierte daraus eine Diskrepanz der Probandenzahlen zwischen den verschiedenen Untersuchungsmethoden, zum anderen ergaben sich dadurch geschlechtsbedingte Inhomogenitäten zwischen den Gruppen.

Geschlechtsspezifische Effekte sind in der vorliegenden Studie folglich nicht gänzlich auszuschließen, obgleich die Anzahl weiblicher und männlicher Probanden zwischen den Gruppen initial gleich war.

Zu erwähnen ist des Weiteren, dass aus technischen Gründen in die statistische Auswertung der OEP lediglich die Ableitpositionen Cz, Fz, Pz, C3 und C4 einbezogen werden konnten. Durch Berücksichtigung der Ableitpositionen F3 und F4 sowie P3 und P4 hätten auch die frontalen und parietalen Hirnregionen vollständig erfasst und somit präzisere Ergebnisse erzielt werden können. Insbesondere in Hinblick auf die hemisphärische Spezialisierung wäre dies sinnvoll gewesen. Folglich sind vorhandene Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern aufgrund dieser technischen Schwierigkeiten möglicherweise nicht erfasst worden.

Da das Interstimulusintervall während der Messung der OEP mit 30 s festgelegt wurde, sind Gewöhnungseffekte nicht auszuschließen. Eine Variation des Interstimulusintervalls um

wenige Sekunden wäre geeigneter, um eine Gewöhnung zu vermeiden und die Aufmerksamkeit der Probanden zu steigern. Ob sich dadurch andere Untersuchungsergebnisse ergeben hätten, bleibt allerdings fraglich.

5.7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Linkshänder und Rechtshänder wurden mittels Ableitung von OEP und fMRT untersucht, um Unterschiede in der passiven Verarbeitung seitentrennt applizierter Duftstoffe zu erfassen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Händigkeit im Kontext der passiven Duftstoffwahrnehmung von untergeordneter Bedeutung zu sein scheint.

Häufig werden in Studien, welche das olfaktorische System untersuchen, ausschließlich Rechtshänder eingeschlossen. Es bestehen Bedenken, dass die Ergebnisse durch Effekte der Händigkeit beeinflusst und möglicherweise verfälscht werden könnten. Ursache dafür ist vermutlich die inkonsistente Datenlage bezüglich des Einflusses der Händigkeit auf die Wahrnehmung und Verarbeitung olfaktorischer Reize. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sprechen jedoch dafür, dass diese Bedenken insbesondere im Kontext der passiven Duftstoffwahrnehmung unbegründet sind. Folglich könnten zukünftig auch Linkshänder in Studien eingeschlossen werden, welche das olfaktorische System auf einfachem Niveau untersuchen. Dies gilt vor allem für fMRT-Studien, wenn diese abgesehen von der passiven Wahrnehmung der Duftstoffe keine besonderen Anforderungen an die Kognition der Probanden stellen.

Nichtsdestotrotz weisen die Ergebnisse der vorliegenden Studie auch darauf hin, dass verschiedene Faktoren auf die Verarbeitung olfaktorischer Reize Einfluss nehmen und damit auch im Zusammenhang mit der Händigkeit von Bedeutung sind.

Entsprechend der bisherigen Datenlage scheint die zerebrale Verarbeitung olfaktorischer Reize vor allem von der dabei gestellten Aufgabe und den kognitiven Anforderungen abhängig zu sein. Folglich sind mit steigenden Anforderungen und komplexeren Aufgaben während der Duftstoffapplikation auch Effekte der Händigkeit zu erwarten. Dies könnte somit Gegenstand weiterer Untersuchungen sein, um die Rolle der Händigkeit diesbezüglich genauer definieren zu können.

Ferner sind auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse Unterschiede in der hemisphärischen Verarbeitung olfaktorischer Reize in Abhängigkeit von der Hedonik zu diskutieren. Es wird vermuten, dass angenehme und unangenehme Duftstoffe bei Links- und Rechtshändern auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlicher links- oder rechtshemisphärischer Bedeutung verarbeitet werden. Um diese These zu stützen sind jedoch

weitere Studien mit mehreren angenehmen und unangenehmen Duftstoffen und größerem Stichprobenumfang erforderlich.

In der vorliegenden Studie wurden mit PEA und H₂S ausschließlich rein olfaktorische Duftstoffe verwendet. Interessant wäre in diesem Zusammenhang jedoch auch der Einfluss des trigeminalen Systems (Iannilli et al. 2008; Oertel et al. 2008). Zur Aktivierung des trigeminalen Systems kommt es beispielsweise bei höheren Duftstoffkonzentrationen (Hummel et al. 1992). Bei den hier verwendeten Konzentrationen von PEA und H₂S war eine trigeminale Komponente nicht zu erwarten. Möglicherweise wären im Kontext der passiven Duftstoffwahrnehmung Effekte der Händigkeit nachweisbar, wenn neben dem N. olfactorius auch der N. trigeminus gereizt werden würde. Dies bedarf weiterer Untersuchungen, beispielsweise unter Verwendung höherer Duftstoffkonzentrationen oder unter Verwendung von Duftstoffen, die neben der olfaktorischen auch eine trigeminale Komponente beinhalten.

Viele Fragen sind auf diesem Gebiet noch offen und bedürfen ausführlicher Studien mit möglichst großem Stichprobenumfang, um zu klären ob und unter welchen Bedingungen die Händigkeit die Verarbeitung olfaktorischer Informationen signifikant beeinflusst.

6 Zusammenfassung

6.1 Deutsch

Linkshänder sind in der Gesamtbevölkerung nachweislich unterrepräsentiert. Sie sind charakterisiert durch die bevorzugte Verwendung der linken Hand, insbesondere für Tätigkeiten, welche Geschick, Fingerfertigkeit, Schnelligkeit und Kraft erfordern. Sie unterscheiden sich von den Rechtshändern jedoch nicht nur durch die motorische Dominanz der rechten Hemisphäre, sondern unter anderem auch durch eine erhöhte Inzidenz atypischer Sprachlateralisierung. Händigkeit und zerebrale Asymmetrie sind damit in den Focus vieler wissenschaftlicher Studien gerückt. So konnten beispielsweise auch auf visueller und auditiver Ebene Effekte der Händigkeit beobachtet werden. Olfaktorische Reize werden im Unterschied zu den übrigen Sinnesorganen im Wesentlichen ipsilateral zur Reizseite verarbeitet. Nichtsdestotrotz sind in Analogie zur Sprache und den übrigen Sinnesorganen Auswirkungen der Händigkeit anzunehmen. Die bisherige Studienlage ist diesbezüglich allerdings uneinheitlich.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es folglich den Einfluss der Händigkeit auf die passive Verarbeitung einfacher, seitengetrennt applizierter olfaktorischer Reize zu untersuchen, um die Rolle der Händigkeit im Kontext des olfaktorischen Systems genauer definieren zu können.

Dazu wurden 48 gesunde Probanden im Alter von 18 bis 45 Jahren eingeschlossen und entsprechend ihrer Händigkeit in zwei homogene Gruppen zu je 14 weiblichen und 10 männlichen Probanden eingeteilt. Es wurden die beiden rein olfaktorischen Duftstoffe Phenylethylalkohol, ein rosenähnlicher Duft, und Schwefelwasserstoff, der Geruch fauler Eier, verwendet. Die Duftstoffapplikation erfolgte seitengetrennt mit Hilfe des Olfaktometers. In einer Probesitzung wurden die Probanden zunächst mit den Versuchsbedingungen vertraut gemacht und in der Atemtechnik des velopharyngealen Verschlusses geschult. Im ersten Teil der Studie wurden dann während der Duftstoffdarbietung olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale abgeleitet, während im zweiten Teil zerebrale Aktivierungsmuster mittels funktioneller Magnetresonanztomographie aufgezeichnet wurden. Die Probanden wurden lediglich gebeten die olfaktorischen Reize passiv wahrzunehmen und anschließend Intensität und Hedonik der verwendeten Duftstoffe zu evaluieren.

Die Ergebnisse ergaben keinen signifikanten Effekt der Händigkeit auf die Amplituden oder Latenzen olfaktorisch ereigniskorrelierter Potentiale. Bei Reizung der rechten Nasenseite waren die Antwortamplituden ptpN1P2 allerdings unabhängig von Duftstoff und Händigkeit signifikant größer als bei Reizung der linken Nasenseite. Darüber hinaus zeigte die Hedonik

der verwendeten Duftstoffe Auswirkungen auf die Latenzen. Im Rahmen der funktionellen Bildgebung waren hingegen keinerlei Aktivierungsunterschiede nachweisbar, weder zwischen Links- und Rechtshändern, noch zwischen links- und rechtsseitiger Reizung. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass der Händigkeit im Kontext der passiven Wahrnehmung und Verarbeitung rein olfaktorischer Reize eine untergeordnete Bedeutung zukommt. Wie bereits in anderen Studien gezeigt, scheinen jedoch verschiedene Faktoren, wie beispielsweise die Hedonik der verwendeten Duftstoffe sowie höhere kognitive Anforderungen im Zusammenhang mit der Händigkeit Einfluss darauf zu nehmen. Es bedarf folglich weiterer Studien, um zu klären ob und unter welchen Bedingungen die Händigkeit die Verarbeitung olfaktorischer Informationen signifikant beeinflusst.

6.2 Englisch

Left-handers are demonstrably under-represented among world's population. They are characterized by the preferred use of the left hand, especially when it comes to activities that demand fine motor skills, rapidity and strength. However, they do not only differ from right-handers by the motor dominance of the right hemisphere, but also by a higher incidence of atypical language lateralization. That is why handedness and cerebral asymmetry are focussed by several scientific studies. Even on the level of sensory perception effects of handedness could be observed. But in contrast to other sensory systems olfactory stimuli are processed to some degree ipsilaterally to the stimulated nostril. According to language and in analogy to other sensory systems effects of handedness should be expected. Although regarding this literature is quite inconsistent.

The aim of the present study was to investigate the influence of the subject's handedness on passive processing of simple olfactory stimuli presented unilaterally to the left or right nostril to further clarify the role of handedness in olfaction.

Forty-eight healthy subjects aged from 18 to 45 were included and according to handedness divided into two homogeneous groups of 14 female and 10 male subjects. The two pure olfactory odorants phenyl ethyl alcohol, a rose-like odor, and hydrogen sulfide, the smell of rotten eggs, were used. By means of an olfactometer odorants were presented unilaterally to the left or right nostril. During a specific adaptation session participants were acquainted with the recording conditions and trained in the breathing technique of velopharyngeal closure. In the first part of the study olfactory event-related potentials were recorded. In the second session functional magnetic resonance imaging was used to register cerebral activation. Subjects had no task other than passively smelling the odors and subsequently rating intensity and hedonic.

Results did not reveal a significant main effect of handedness on amplitudes or latencies of olfactory event-related potentials. Independent from handedness or odorant the side of stimulation had a significant effect on amplitudes ptpN1P2 with larger responses when the right nostril was stimulated. Furthermore, the hedonic of the perceived odorant influenced latencies. Concerning functional imaging no activation differences were seen, neither when comparing left-handers with right-handers, nor when comparing left-sided stimulation with right-sided stimulation.

To conclude, the prominent finding of the present study was that handedness does not seem to play a substantial role in the passive perception and processing of olfactory information. However, as previous investigations already indicated, some other factors such as hedonic and higher olfactory tasks may influence olfaction in the context of handedness. Thus future

studies will have to show us if, and under which circumstances handedness is of significance in the processing of olfactory information.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- Anderson AK, Christoff K, Stappen I, Panitz D, Ghahremani DG, Glover G, Gabrieli JDE, Sobel N. 2003. Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nat. Neurosci.* 6: 196–202.
- Annett M, Alexander MP. 1996. Atypical cerebral dominance: predictions and tests of the right shift theory. *Neuropsychologia* 34: 1215–1227.
- Ardila A, Ardila O, Bryden MP, Ostrosky F, Rosselli M, Steenhuis R. 1989. Effects of cultural background and education on handedness. *Neuropsychologia* 27: 893–897.
- Bakan P, Dibb G, Reed P. 1973. Handedness and birth stress. *Neuropsychologia* 11: 363–366.
- Bengtsson S, Berglund H, Gulyas B, Cohen E, Savic I. 2001. Brain activation during odor perception in males and females. *Neuroreport* 12: 2027–2033.
- Betchen SA, Doty RL. 1998. Bilateral Detection Thresholds in Dextrals and Sinistrals Reflect the More Sensitive Side of the Nose, Which Is Not Lateralized. *Chem. Senses* 23: 453–457.
- Bourassa DC, McManus IC, Bryden MP. 1996. Handedness and eye-dominance: a meta-analysis of their relationship. *Laterality* 1: 5–34.
- Brand G, Jacquot L. 2001. Quality of odor and olfactory lateralization processes in humans. *Neurosci. Lett.* 316: 91–94.
- Corballis MC. 2009. The evolution and genetics of cerebral asymmetry. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 364: 867–879.
- Coren S, Halpern DF. 1991. Left-handedness: a marker for decreased survival fitness. *Psychol. Bull.* 109: 90–106.
- Crow TJ. 2001. Protocadherin XY - A brain-expressed cell surface adhesion molecule as a candidate gene for language, cerebral asymmetry and predisposition to psychosis. *Am. J. Med. Genet.* 105: 588–588.
- Crow TJ. 2002. Handedness, language lateralisation and anatomical asymmetry: relevance of protocadherin XY to hominid speciation and the aetiology of psychosis Point of view. *Br. J. Psychiatry* 181: 295–297.

- Davis A, Annett M. 1994. Handedness as a function of twinning, age and sex. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 30: 105–111.
- Doty RL, Deems DA, Stellar S. 1988. Olfactory dysfunction in parkinsonism: a general deficit unrelated to neurologic signs, disease stage, or disease duration. *Neurology* 38: 1237–1244.
- Doty RL, Kerr K-L. 2005. Episodic odor memory: influences of handedness, sex, and side of nose. *Neuropsychologia* 43: 1749–1753.
- Eickhoff SB, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, Zilles K. 2005. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *NeuroImage* 25: 1325–1335.
- Evans WJ, Cui L, Starr A. 1995. Olfactory event-related potentials in normal human subjects: effects of age and gender. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 95: 293–301.
- Fagard J, Dahmen R. 2004. Cultural influences on the development of lateral preferences: a comparison between French and Tunisian children. *Laterality* 9: 67–78.
- Frye RE, Doty RL, Shaman P. 1992. Bilateral and Unilateral Olfactory Sensitivity: Relationship to Handedness and Gender. In: Doty RL and Müller-Schwarze D, editors. *Chemical Signals in Vertebrates 6*, Springer US, p 559–564.
- Galobardes B, Bernstein MS, Morabia A. 1999. The association between switching hand preference and the declining prevalence of left-handedness with age. *Am. J. Public Health* 89: 1873–1875.
- Grabenhorst F, Rolls ET, Margot C. 2011. A hedonically complex odor mixture produces an attentional capture effect in the brain. *NeuroImage* 55: 832–843.
- Guss J, Doghramji L, Reger C, Chiu AG. 2009. Olfactory dysfunction in allergic rhinitis. *ORL J. Oto-Rhino-Laryngol. Its Relat. Spec.* 71: 268–272.
- Gutwinski S, Löscher A, Mahler L, Kalbitzer J, Heinz A, Bermpohl F. 2011. Understanding left-handedness. *Dtsch. Ärztebl. Int.* 108: 849–853.
- Haegen L Van der, Westerhausen R, Hugdahl K, Brysbaert M. 2013. Speech dominance is a better predictor of functional brain asymmetry than handedness: A combined fMRI word generation and behavioral dichotic listening study. *Neuropsychologia* 51: 91–97.
- Halpern DF, Coren S. 1988. Do right-handers live longer? *Nature* 333: 213.
- Hatt H. 2004. Molecular and cellular basis of human olfaction. *Chem. Biodivers.* 1: 1857–1869.
- Hebbal GV, Mysorekar VR. 2003. Anatomical and behavioural asymmetries in right and left handers from India. *Ann. Anat. Anat. Anz. Off. Organ Anat. Ges.* 185: 267–275.

- Hepper PG, McCartney GR, Shannon EA. 1998. Lateralised behaviour in first trimester human fetuses. *Neuropsychologia* 36: 531–534.
- Hepper PG, Wells DL, Lynch C. 2005. Prenatal thumb sucking is related to postnatal handedness. *Neuropsychologia* 43: 313–315.
- Hox V, Bobic S, Callebaux I, Jorissen M, Hellings PW. 2010. Nasal obstruction and smell impairment in nasal polyp disease: correlation between objective and subjective parameters. *Rhinology* 48: 426–432.
- Hudry J, Ryvlin P, Saive A-L, Ravel N, Plailly J, Royet J-P. 2014. Lateralization of olfactory processing: differential impact of right and left temporal lobe epilepsies. *Epilepsy Behav.* EB 37: 184–190.
- Hummel C. 2011. Einführung in fMRI-Datenanalyse. Interdisziplinäres Zentrum für Riechen und Schmecken der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden.
- Hummel T, Barz S, Pauli E, Kobal G. 1998a. Chemosensory event-related potentials change with age. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 108: 208–217.
- Hummel T, Kobal G. 1992. Differences in human evoked potentials related to olfactory or trigeminal chemosensory activation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 84: 84–89.
- Hummel T, Kobal G. 2001. Olfactory Event-Related Potentials. In: Simon SA, Nicolelis MAL, editors. *Methods in Chemosensory Research*, CRC Press LLC, p 430–54.
- Hummel T, Konnerth CG, Rosenheim K, Kobal G. 2001. Screening of olfactory function with a four-minute odor identification test: reliability, normative data, and investigations in patients with olfactory loss. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 110: 976–981.
- Hummel T, Livermore A, Hummel C, Kobal G. 1992. Chemosensory event-related potentials in man: relation to olfactory and painful sensations elicited by nicotine. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 84: 192–195.
- Hummel T, Mohammadian P, Kobal G. 1998b. Handedness is a determining factor in lateralized olfactory discrimination. *Chem. Senses* 23: 541–544.
- Hummel T, Pauli E, Schüller P, Kettenmann B, Stefan H, Kobal G. 1995. Chemosensory event-related potentials in patients with temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 36: 79–85.
- Hummel T, Rothbauer C, Barz S, Grosser K, Pauli E, Kobal G. 1998c. Olfactory function in acute rhinitis. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 855: 616–624.
- Hummel T, Welge-Lüssen A. 2008. Riech- und Schmeckstörungen: Physiologie, Pathophysiologie und therapeutische Ansätze. Georg Thieme Verlag.

- Iannilli E, Gratta C Del, Gerber JC, Romani GL, Hummel T. 2008. Trigeminal activation using chemical, electrical, and mechanical stimuli. *Pain* 139: 376–388.
- Jones-Gotman M, Zatorre RJ. 1993. Odor recognition memory in humans: role of right temporal and orbitofrontal regions. *Brain Cogn.* 22: 182–198.
- Judge J, Stirling J. 2003. Fine motor skill performance in left- and right-handers: Evidence of an advantage for left-handers. *Laterality* 8: 297–306.
- Kettenmann B, Hummel C, Stefan H, Kobal G. 1997. Multiple olfactory activity in the human neocortex identified by magnetic source imaging. *Chem. Senses* 22: 493–502.
- Kettenmann B, Hummel T, Kobal G, Simon SA, Nicolelis MAL. 2001. Functional imaging of olfactory activation in the human brain. In: *Methods in Chemosensory Research*, CRC Press LLC, p 477–506.
- Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, Elger C. 1999. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *The International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.* 52: 3–6.
- Kobal G. 1981. *Elektrophysiologische Untersuchungen des menschlichen Geruchssinns*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Kobal G, Hummel T. 1998. Olfactory and intranasal trigeminal event-related potentials in anosmic patients. *The Laryngoscope* 108: 1033–1035.
- Kobal G, Hummel T, Sekinger B, Barz S, Roscher S, Wolf S. 1996. "Sniffin' Sticks": Screening of olfactory performance. *Rhinology* 34: 222–226.
- Kobal G, Hummel T, Toller SV. 1992. Differences in human chemosensory evoked potentials to olfactory and somatosensory chemical stimuli presented to left and right nostrils. *Chem. Senses* 17: 233–244.
- Kushner HI. 2013. Why are there (almost) no left-handers in China? *Endeavour* 37: 71–81.
- Lascano AM, Hummel T, Lacroix J-S, Landis BN, Michel CM. 2010. Spatio-temporal dynamics of olfactory processing in the human brain: an event-related source imaging study. *Neuroscience* 167: 700–708.
- Livermore A, Hummel T, Kobal G. 1992. Chemosensory event-related potentials in the investigation of interactions between the olfactory and the somatosensory (trigeminal) systems. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 83: 201–210.
- Lötsch J, Hummel T. 2006. The clinical significance of electrophysiological measures of olfactory function. *Behav. Brain Res.* 170: 78–83.

- Maldjian JA, Laurienti PJ, Kraft RA, Burdette JH. 2003. An automated method for neuroanatomic and cytoarchitectonic atlas-based interrogation of fMRI data sets. *NeuroImage* 19: 1233–1239.
- McManus IC. 1991. The inheritance of left-handedness. *Ciba Found. Symp.* 162: 251–267; discussion 267–281.
- Medland SE, Perelle I, Monte V De, Ehrman L. 2004. Effects of culture, sex, and age on the distribution of handedness: an evaluation of the sensitivity of three measures of handedness. *Laterality* 9: 287–297.
- Milenković S, Belojević G, Kocijancić R. 2010. [Social aspects of left-handedness]. *Srp. Arh. Celok. Lek.* 138: 664–667.
- Mohammadian P, Schaefer D, Hummel T, Kobal G. 1999. Experimentally induced nasal irritation. *Rhinology* 37: 175–178.
- Norès JM, Biacabe B, Bonfils P. 2000. [Olfactory disorders and general pathology. Analysis and review of the literature]. *Rev. Médecine Interne Fondée Par Société Natl. Francaise Médecine Interne* 21: 95–104.
- Ochsenbein-Kölble N, Mering R von, Zimmermann R, Hummel T. 2007. Changes in olfactory function in pregnancy and postpartum. *Int. J. Gynaecol. Obstet. Off. Organ Int. Fed. Gynaecol. Obstet.* 97: 10–14.
- Ocklenburg S, Beste C, Arning L, Peterburs J, Güntürkün O. 2014. The ontogenesis of language lateralization and its relation to handedness. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 43: 191–198.
- Oertel BG, Preibisch C, Wallenhorst T, Hummel T, Geisslinger G, Lanfermann H, Lötsch J. 2008. Differential opioid action on sensory and affective cerebral pain processing. *Clin. Pharmacol. Ther.* 83: 577–588.
- Ogawa S, Lee TM, Kay AR, Tank DW. 1990. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 87: 9868–9872.
- Oldfield RC. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97–113.
- Olofsson JK, Broman DA, Gilbert PE, Dean P, Nordin S, Murphy C. 2006. Laterality of the Olfactory Event-Related Potential Response. *Chem. Senses* 31: 699–704.
- Pause BM, Krauel K. 2000. Chemosensory event-related potentials (CSERP) as a key to the psychology of odors. *Int. J. Psychophysiol. Off. J. Int. Organ. Psychophysiol.* 36: 105–122.

- Pause BM, Krauel K, Sojka B, Ferstl R. 1999. Is odor processing related to oral breathing? *Int. J. Psychophysiol. Off. J. Int. Organ. Psychophysiol.* 32: 251–260.
- Pause BM, Sojka B, Krauel K, Fehm-Wolfsdorf G, Ferstl R. 1996. Olfactory information processing during the course of the menstrual cycle. *Biol. Psychol.* 44: 31–54.
- Raymond M, Pontier D. 2004. Is there geographical variation in human handedness? *Laterality* 9: 35–51.
- Raymond M, Pontier D, Dufour AB, Møller AP. 1996. Frequency-dependent maintenance of left handedness in humans. *Proc. Biol. Sci.* 263: 1627–1633.
- Reiser M, Kuhn F-P, Debus J. 2011. *Radiologie*. Georg Thieme Verlag.
- Reiss M, Reiss G. 1997. Lateral preferences in a german population. *Percept. Mot. Skills* 85: 569–574.
- Reiss M, Reiss G. 1999. Earedness and handedness: distribution in a German sample with some family data. *Cortex J. Devoted Study Nerv. Syst. Behav.* 35: 403–412.
- Reske M, Kellermann T, Shah NJ, Schneider F, Habel U. 2010. Impact of valence and age on olfactory induced brain activation in healthy women. *Behav. Neurosci.* 124: 414–422.
- Rombaux P, Mouraux A, Bertrand B, Guerit JM, Hummel T. 2006. Assessment of olfactory and trigeminal function using chemosensory event-related potentials. *Neurophysiol. Clin. Clin. Neurophysiol.* 36: 53–62.
- Royet J-P, Plailly J. 2004. Lateralization of Olfactory Processes. *Chem. Senses* 29: 731–745.
- Royet J-P, Plailly J, Delon-Martin C, Kareken DA, Segebarth C. 2003. fMRI of emotional responses to odors: influence of hedonic valence and judgment, handedness, and gender. *NeuroImage* 20: 713–728.
- Rugg G, Mullane M. 2001. Inferring handedness from lithic evidence. *Laterality* 6: 247–259.
- Savic I. 2002. Brain imaging studies of the functional organization of human olfaction. *Neurosci. Rev. J. Bringing Neurobiol. Neurol. Psychiatry* 8: 204–211.
- Savic I. 2005. Brain Imaging Studies of the Functional Organization of Human Olfaction. *Chem. Senses* 30: i222–i223.
- Savic I, Gulyas B. 2000. PET shows that odors are processed both ipsilaterally and contralaterally to the stimulated nostril. *Neuroreport* 11: 2861–2866.
- Scerri TS, Brandler WM, Paracchini S, Morris AP, Ring SM, Richardson AJ, Talcott JB, Stein J, Monaco AP. 2011. PCSK6 is associated with handedness in individuals with dyslexia. *Hum. Mol. Genet.* 20: 608–614.

- Schmidt RF, Lang F, Heckmann M. 2007. *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schwartz M. 1988. Handedness, prenatal stress and pregnancy complications. *Neuropsychologia* 26: 925–929.
- Segal NL. 1989. Origins and implications of handedness and relative birth weight for IQ in monozygotic twin pairs. *Neuropsychologia* 27: 549–561.
- Smith BD, Meyers MB, Kline R. 1989. For better or for worse: left-handedness, pathology, and talent. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 11: 944–958.
- Steenhuis RE, Bryden MP, Schroeder DH. 1993. Gender, laterality, learning difficulties and health problems. *Neuropsychologia* 31: 1243–1254.
- Stuck BA, Frey S, Freiburg C, Hörmann K, Zahnert T, Hummel T. 2006. Chemosensory event-related potentials in relation to side of stimulation, age, sex, and stimulus concentration. *Clin. Neurophysiol. Off. J. Int. Fed. Clin. Neurophysiol.* 117: 1367–1375.
- Szaflarski JP, Binder JR, Possing ET, McKiernan KA, Ward BD, Hammeke TA. 2002. Language lateralization in left-handed and ambidextrous people: fMRI data. *Neurol.* July 23 2002 59: 238–244.
- Tateyama T, Hummel T, Roscher S, Post H, Kobal G. 1998. Relation of olfactory event-related potentials to changes in stimulus concentration. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 108: 449–455.
- Thuerauf N, Gossler A, Lunkenheimer J, Lunkenheimer B, Maihöfner C, Bleich S, Kornhuber J, Markovic K, Reulbach U. 2008. Olfactory lateralization: Odor intensity but not the hedonic estimation is lateralized. *Neurosci. Lett.* 438: 228–232.
- Trinkaus E, Churchill SE, Ruff CB. 1994. Postcranial robusticity in Homo. II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *Am. J. Phys. Anthropol.* 93: 1–34.
- Uomini NT. 2009. The prehistory of handedness: archaeological data and comparative ethology. *J. Hum. Evol.* 57: 411–419.
- Wang J, Eslinger PJ, Doty RL, Zimmerman EK, Grunfeld R, Sun X, Meadowcroft MD, Connor JR, Price JL, Smith MB, Yang QX. 2010. Olfactory deficit detected by fMRI in early Alzheimer's disease. *Brain Res.* 1357: 184–194.
- Weinstock RS, Wright HN, Smith DU. 1993. Olfactory dysfunction in diabetes mellitus. *Physiol. Behav.* 53: 17–21.
- Witelson SF. 1985. The brain connection: the corpus callosum is larger in left-handers. *Science* 229: 665–668.

- Witt M, Hansen A. 2009. Strukturelle und funktionelle Grundlagen des Riechens. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Youngentob SL, Kurtz DB, Leopold DA, Mozell MM, Hornung DE. 1982. Olfactory sensitivity: Is there laterality? *Chem. Senses* 7: 11–21.
- Yousem DM, Maldjian JA, Siddiqi F, Hummel T, Alsop DC, Geckle RJ, Bilker WB, Doty RL. 1999. Gender effects on odor-stimulated functional magnetic resonance imaging. *Brain Res.* 818: 480–487.
- Zatorre RJ, Jones-Gotman M. 1990. Right-nostril advantage for discrimination of odors. *Percept. Psychophys.* 47: 526–531.
- Zatorre RJ, Jones-Gotman M. 1991. Human Olfactory Discrimination After Unilateral Frontal or Temporal Lobectomy. *Brain* 114A: 71–84.
- Zatorre RJ, Jones-Gotman M, Evans AC, Meyer E. 1992. Functional localization and lateralization of human olfactory cortex. *Nature* 360: 339–340.

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Signaltransduktionskaskade des physiologischen Riechvorgangs am olfaktorischen Rezeptorneuron.....	8
Abbildung 2:	Vereinfachte schematische Darstellung der peripheren Riechbahn.....	9
Abbildung 3:	Studiendesign.....	18
Abbildung 4:	16er Sniffin´ Sticks Identifikationstest.....	20
Abbildung 5:	Olfaktometer mit Untersuchungsplatz für die Ableitung der OEP.....	22
Abbildung 6:	Beispielprotokoll für die Duftstoffapplikation während der Ableitung der OEP	24
Abbildung 7:	Beispielprotokoll für die Duftstoffapplikation während der fMRT-Untersuchung.....	25
Abbildung 8:	Internationales 10-20-System für die Platzierung der EEG-Elektroden.....	26
Abbildung 9:	Schematische Darstellung eines typischen OEP.....	28
Abbildung 10:	Darstellung der Voxelcluster im sog. Glassbrain und standardisierten Gehirn.....	33
Abbildung 11:	Probandenverteilung.....	34
Abbildung 12:	Ergebnisse des 16er Sniffin´ Sticks Identifikationstests im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern.....	37
Abbildung 13:	Intensitätsbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der Ableitung der OEP.....	38
Abbildung 14:	Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der Ableitung der OEP.....	39
Abbildung 15:	Latenz latN1 in Position Cz bei rechtsseitiger Reizung.....	40
Abbildung 16:	Amplitude ptpN1P2 in Position Cz bei Linkshändern.....	41
Abbildung 17:	Amplitude ptpN1P2 in Position Cz bei Rechtshändern.....	41
Abbildung 18:	Latenz latP2 in Position Cz bei rechtsseitiger Reizung.....	42
Abbildung 19:	Amplitude ptpN1P2 bei Linkshändern bei rechtsseitiger Reizung.....	43

Abbildung 20:	Amplitude ampP2 bei Linkshändern bei rechtsseitiger Reizung.....	44
Abbildung 21:	Intensitätsbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der fMRT-Untersuchung.....	45
Abbildung 22:	Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der fMRT-Untersuchung.....	46
Abbildung 23:	Darstellung der signifikanten Voxelcluster der Hirnaktivierungen ON vs. OFF unter allen Probanden.....	47

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme.....	19
Tabelle 2:	Auswahlmöglichkeiten des 16er Sniffin' Sticks Identifikationstests.....	21
Tabelle 3:	Auswertung Anamnesebogen.....	35
Tabelle 4:	Subjektive Einschätzung des Riechvermögens.....	36
Tabelle 5:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Intensitäts- und Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der Ableitung der OEP im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern.....	38
Tabelle 6:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Intensitäts- und Hedonikbewertungen der verwendeten Duftstoffe während der fMRT-Untersuchung im Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern.....	45
Tabelle 7:	Signifikante Aktivierungen ON vs. OFF unter allen Probanden.....	47

7.4 Abkürzungsverzeichnis

BOLD	Blood oxygenation level dependent
EEG	Elektroenzephalogramm
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
LH	Linkshänder
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
OEP	Olfaktorisch ereigniskorrelierte Potentiale
ORN	Olfaktorische Rezeptorneurone
PEA	Phenylethylalkohol
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RH	Rechtshänder
SD	Standardabweichung
ZNS	Zentrales Nervensystem

8 Anhang

8.1 Anamnesebogen

Anamnese	Nr.
----------	-----

Bestehen oder bestanden folgende **Krankheitsbilder** ?

■

ja, folgende

iligung ?

■ / Grippe / Schnupfen?

■

Nasenatmung ?

■ / Hirnerkrankung ?

■

■ überfunktion (Hyperthyreose)?

■ unterfunktion (Hypothyreose)?

Sind Sie bereits im **Kopfbereich operiert** worden ?

■

ja, an

■

wann ?

wann ?

■

wann ?

wann ?

■

wann ?

wann ?

..... wann ?
.....

Trinken Sie **Alkohol** ?

.....

Rauchen Sie ?

Jahren

Nehmen Sie die **Pille**?

Jahren

Sind Sie Chemikalien / Stäuben / Gasen besonders ausgesetzt bzw. ausgesetzt gewesen ?

noch nie

.....

Riechen

Wie beurteilen Sie Ihr **Riechvermögen** im Vergleich zu anderen?

sehr gut -----

deutlich besser-----

etwas besser -----

normal -----

etwas schlechter -----

deutlich schlechter -----

sehr schlecht -----

keine Riechwahrnehmung -----

8.2 Händigkeitsfragebogen

Händigkeits-Fragebogen	Nr.
------------------------	-----

Bitte beschreiben Sie die unten genannten Aktivitäten ob Sie dazu stets die linke, meistens die linke, manchmal die linke oder rechte, meistens die rechte oder stets die rechte Hand benutzen. Bitte beantworten Sie jede Frage. Lassen Sie nur die Aktivität unbeantwortet die Sie überhaupt nicht beantworten können (keine Erfahrung haben).

	stets die linke	meistens die linke	manchmal die linke oder rechte	meistens die rechte	stets die rechte
	-2	-1	0	1	2
Schreiben					
Malen					
Werfen					
Schere					
Zahnbürste					
Fleisch mit Messer					
Löffel					
Fegen mit Besen					
Streichholz anzünden					
Schachtel öffnen					
GESAMTZAHL					

Ergebnis _____

Haben Sie linkshändige Geschwister? _____

Sind Sie ein „umgelernter Linkshänder“? _____

8.3 Varianzanalyse der OEP

Faktor	ampN1		ampP2		ptpN1P2		latN1		latP2	
	F-Wert	p-Wert	F-Wert	p-Wert	F-Wert	p-Wert	F-Wert	p-Wert	F-Wert	p-Wert
Ableitposition	6,01	0,00	35,81	0,00	23,53	0,00	0,81	0,52	0,86	0,49
Ableitposition*Händigkeit	0,70	0,59	2,12	0,08	1,96	0,11	0,23	0,92	0,90	0,47
Duftstoff	0,41	0,84	0,10	0,75	0,22	0,64	9,22	0,005	23,26	0,00
Duftstoff*Händigkeit	0,09	0,76	0,23	0,64	0,50	0,49	5,21	0,03	3,42	0,07
Reizseite	0,24	0,63	4,06	0,05	5,39	0,03	0,18	0,68	1,65	0,21
Reizseite*Händigkeit	0,44	0,51	0,06	0,82	0,01	0,92	0,50	0,49	0,36	0,55
Ableitposition*Duftstoff	0,59	0,67	1,25	0,30	3,07	0,02	0,95	0,44	1,14	0,34
Ableitposition*Duftstoff*Händigkeit	0,37	0,83	0,79	0,53	0,55	0,70	0,47	0,76	1,09	0,37
Ableitposition*Reizseite	1,79	0,14	2,31	0,06	2,35	0,06	0,84	0,50	0,56	0,70
Ableitposition*Reizseite*Händigkeit	0,62	0,65	2,31	0,06	3,67	0,01	1,20	0,32	0,58	0,68
Duftstoff*Reizseite	0,21	0,65	1,93	0,18	2,95	0,10	0,70	0,41	1,04	0,32
Duftstoff*Reizseite*Händigkeit	0,34	0,56	0,01	0,93	0,10	0,76	0,11	0,74	2,06	0,16
Ableitposition*Duftstoff*Reizseite	0,30	0,88	1,67	0,16	1,18	0,33	1,42	0,23	2,31	0,06
Ableitposition*Duftstoff*Reizseite*Händigkeit	0,81	0,52	2,90	0,03	2,16	0,08	0,55	0,70	1,19	0,32

8.4 Deskriptive Statistik der OEP

				ampN1 (in μV)		ampP2 (in μV)		ptpN1P2 (in μV)		latN1 (in ms)		latP2 (in ms)	
Ableit- position	Duftstoff	Reizseite	Händigkeit	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Cz	PEA	rechts	LH	-5,51	4,06	13,25	8,34	18,76	9,75	374	94	587	81
			RH	-4,67	3,34	11,71	4,63	16,38	4,53	426	144	617	113
		links	LH	-3,77	2,87	10,12	6,32	13,89	6,72	388	103	594	76
			RH	-5,67	2,89	6,99	3,53	12,66	4,11	412	118	643	112
	H ₂ S	rechts	LH	-4,98	3,09	12,37	6,28	17,36	6,18	447	123	659	108
			RH	-4,59	5,29	9,45	7,00	14,04	5,56	414	140	671	146
		links	LH	-4,67	2,66	10,51	5,58	15,19	6,49	503	117	736	125
			RH	-4,83	3,98	7,35	5,98	12,18	6,14	431	118	674	100
Fz	PEA	rechts	LH	-4,98	3,88	9,50	6,66	14,48	6,49	386	99	589	77
			RH	-5,89	4,02	8,14	4,96	14,03	4,23	427	149	606	106
		links	LH	-4,62	3,24	6,52	5,84	11,14	5,69	385	114	582	78
			RH	-5,59	4,97	4,64	4,06	10,23	3,89	416	123	635	116
	H ₂ S	rechts	LH	-5,06	3,29	8,47	5,90	13,53	4,94	451	117	660	106
			RH	-4,95	7,73	9,96	9,45	14,91	5,51	431	161	676	143
		links	LH	-5,59	3,08	8,16	5,20	13,75	5,22	496	135	719	136
			RH	-6,13	7,19	4,87	7,44	11,00	5,83	431	117	679	95
Pz	PEA	rechts	LH	-4,34	3,06	14,60	7,56	18,94	7,19	372	88	592	78
			RH	-4,27	2,74	11,84	5,03	16,10	4,98	409	120	615	122
		links	LH	-3,10	2,59	11,44	7,12	14,54	7,53	377	101	578	86
			RH	-5,30	4,05	8,31	4,46	13,61	5,02	413	114	631	116
	H ₂ S	rechts	LH	-3,21	4,18	13,59	7,70	16,80	6,81	452	122	652	114
			RH	-3,66	6,40	8,90	7,37	12,56	5,52	440	125	674	144
		links	LH	-3,85	4,19	12,30	5,72	16,15	7,75	491	133	739	108

			RH	-3,83	4,46	9,71	6,08	13,54	5,38
C3	PEA	rechts	LH	-5,25	2,90	9,78	6,18	15,03	6,94
			RH	-4,20	2,25	8,77	4,46	12,97	3,82
			RH	-4,34	3,64	6,32	3,66	10,65	4,12
			RH	-4,02	4,13	6,18	5,35	10,20	4,73
C4	PEA	rechts	LH	-5,13	3,16	10,97	6,58	16,10	7,08
			RH	-5,10	3,91	9,55	4,34	14,65	5,59
			RH	-4,03	4,20	5,84	3,71	9,87	4,12
			RH	-4,308	4,03	6,74	4,39	10,82	4,67
			RH	-4,03	4,20	5,84	3,71	9,87	4,12
	H ₂ S	rechts	LH	-4,91	2,72	10,07	4,87	14,98	4,29
			RH	-5,02	4,82	6,26	6,81	11,27	5,50
			RH	-4,308	4,03	6,74	4,39	10,82	4,67
			RH	-4,308	4,03	6,74	4,39	10,82	4,67