

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

Untersuchung der Wirkung angenehmer und unangenehmer Gerüche auf die lateralisierte Verarbeitung von Sprachreizen

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 Zahnmedizin
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)
vorgelegt
der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus
der Technischen Universität Dresden

von

Timo Marcel Ludwig

aus Limburg a. d. Lahn

Dresden 2024

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Dichotisches Hören	1
1.2 Gerüche.....	2
2 Grundlagen	4
2.1 Olfaktorische Wahrnehmung.....	4
2.1.1 Die Riechschleimhaut	4
2.1.2 Periphere olfaktorische Transduktion	4
2.1.3 Die zentrale Verarbeitung	5
2.1.4 Sekundär olfaktorische Hirnareale.....	7
2.1.5 Tertiär olfaktorische Hirnareale.....	7
2.1.6 Hedonik von Gerüchen	9
2.1.7 Lateralisation von Geruchsinformationen	10
2.2 Auditorische Wahrnehmung	10
2.2.1 Schallqualitäten	10
2.2.2 Periphere Schalleitung	11
2.2.3 Die zentrale Hörbahn.....	13
2.2.4 Primärer auditorischer Kortex	15
2.3 Lateralisation des Gehirns.....	16
2.3.1 Lateralisation der Sprachverarbeitung	17
2.3.2 Dichotisches Hören.....	18
3 Ziel der Arbeit	21
4 Material und Methoden	22
4.1 Studienteilnehmerinnen.....	22
4.2 Olfaktometer	23
4.2.1 Verwendete Duftstoffe	24
4.3 Ethische Gesichtspunkte.....	24
4.4 Versuchsablauf.....	25

4.4.1	Anamnese.....	25
4.4.2	Händigkeitstest	25
4.4.3	Sniffin-Sticks	26
4.4.4	Dichotischer Hörtest	27
4.4.5	Bewertung der Gerüche.....	33
4.5	Statistische Auswertung	34
5	Ergebnisse	35
5.1	Patientenkollektiv	35
5.2	Bewertung der Händigkeit.....	35
5.3	Bewertung der Gerüche	35
5.4	Korrekte Antworten des rechten Ohres	36
5.4.1	Unterschiede zwischen den FR-, NF-, FL-Sitzungen	36
5.4.2	Unterschiede zwischen den Gerüchen	37
5.5	Korrekte Antworten des linken Ohres.....	39
5.5.1	Unterschiede zwischen den FR-, NF-, FL-Sitzungen	39
5.5.2	Unterschiede zwischen den Gerüchen	40
5.6	Falsche Antworten.....	41
5.6.1	Unterschiede zwischen den FR-, NF-, FL-Sitzungen	41
5.6.2	Unterschiede zwischen den Gerüchen	42
5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	45
6	Diskussion	46
6.1	Rechtes Ohr	46
6.2	Linkes Ohr	46
6.3	Falsche Antworten.....	46
6.4	Implikationen	47
6.4.1	Einfluss des Höreindrucks	47
6.4.2	Einfluss der Gerüche	47
6.5	Limitationen des Versuchs	49
	Zusammenfassung	50
	Summary	51
	Anhänge	52
	Literaturverzeichnis	53

Abkürzungsverzeichnis

FL	Forciert-Links
FR	Forciert-Rechts
Ggl.	Ganglion
Ncl.	Nucleus
NF	Nicht-Forciert

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der Signaltransduktion am olfaktorischen Rezeptorneuron	5
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der peripheren Signaltransduktion vom olfaktorischen Epithel zum Bulbus olfactorius	6
Abbildung 3: Schematische Darstellung der zentralnervösen Projektion der olfaktorischen Neurone	8
Abbildung 4: Schematische Darstellung der auditiven Signalweiterleitung.....	13
Abbildung 5: Schematische Darstellung der zentralen Hörbahn.....	15
Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung des dichotischen Höreindrucks.....	19
Abbildung 7: Frontaldarstellung des mobilen Olfaktometers.....	23
Abbildung 8: Schematischer Aufbau des Olfaktometers.....	24
Abbildung 9: Reihenfolge des Untersuchungsablaufes	25
Abbildung 10: Ein vollständiger Testdurchgang am Beispiel der ersten Probandin... 30	
Abbildung 11: Bedienoberfläche des Programms.....	31
Abbildung 12: Beispielhafte Auswertung des nicht-forcierten Durchgangs.....	31
Abbildung 13: Beispielhafte Auswertung des nicht-forcierten Durchgangs.....	32
Abbildung 14: Beispielhafte Auswertung des Nicht-Forcierten Durchgangs.....	32
Abbildung 15: Beispielhafte Auswertung eines links-forcierten Durchgangs	33
Abbildung 16: Beispielhafte Auswertung des rechts-forcierten Durchgangs.	33
Abbildung 17: Skala zur Bewertung der Gerüche nach Annehmlichkeit und Intensität.....	34
Abbildung 18: Bewertung der Händigkeit nach dem Edinburgh-Handedness-Inventory	35
Abbildung 19: Bewertung der Intensität der Gerüche	35
Abbildung 20: Bewertung der Annehmlichkeit der Gerüche	36
Abbildung 21: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Sitzungen ...	37
Abbildung 22: Anzahl der mit dem rechten Ohr erkannten Silben	38
Abbildung 23: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben nach Sitzung.....	39
Abbildung 24: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben nach Sitzung.....	39
Abbildung 25: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung	40

Abbildung 26: Anzahl der mit dem linken Ohr erkannten Silben. Unterteilung nach Sitzungen und Gerüchen	41
Abbildung 27: Anzahl der nicht erkannten Silben nach Sitzungen.....	42
Abbildung 28: Anzahl der nicht korrekt erkannten Silben nach Gerüchen.....	43
Abbildung 29: Anzahl der nicht erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung nach Gerüchen.....	44
Abbildung 30: Anzahl der nicht erkannten Silben während allen Sitzungen. Unterteilung nach Sitzungen und Gerüchen.	44

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Die Beziehung zwischen dem Händigkeitsgrad und der damit verbundenen Sprachdominanz der rechten Hirnhälfte	23
Tabelle 2: Anamnesebogen mit allgemeiner und spezieller Anamnese.....	25
Tabelle 3: Modifizierter Händigkeitsfragebogen nach dem Edinburgh Handedness Inventory.....	26
Tabelle 4: Auswahlmöglichkeiten des Diskriminationstests	27
Tabelle 5: Darstellung der neun Testdurchgänge.	28
Tabelle 6: Vorgegebene Reihenfolge der Gerüche für die Probanden 1-6.	29
Tabelle 7: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Sitzungen.....	36
Tabelle 8: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Gerüchen.....	37
Tabelle 9: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Gerüchen.....	38
Tabelle 10: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung.....	40
Tabelle 11: Anzahl der nicht erkannten Silben nach Sitzungen	41
Tabelle 12: Anzahl der nicht korrekt erkannten Silben nach Gerüchen.	42
Tabelle 13: Anzahl der nicht erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung nach Gerüchen	43

1 Einleitung

1.1 Dichotisches Hören

Seit Paul Broca vor 160 Jahren erste Hinweise auf eine Hemisphärenlateralisierung fand, ist die Ergründung der anatomischen und funktionellen Unterschiede der Hemisphären des Gehirns ein fester Bestandteil der medizinischen Forschung. Zu diesem Zwecke wurden in der Vergangenheit viele Untersuchungen mittels des Wada-Tests sowie an Läsions- und Split-Brain-Patienten vorgenommen. Eine nicht-invasive Untersuchungsmethode zur Beschreibung von auditiven Asymmetrien ist der dichotische Hörtest. Mit ihm lässt sich zuverlässig nachweisen, dass die linke Hirnhälfte in Bezug auf die Sprachwahrnehmung dominant ist, was aufgrund der kontralateralen Kreuzungen der Hörbahn zu einem Vorteil des rechten Ohres führt (Kimura, 1961). Andere Untersuchungen deuten ebenfalls darauf hin, dass der dichotische Hörtest eine zuverlässige Methode ist, um nicht nur die Sprachlateralisierung, sondern auch die anhaltende Aufmerksamkeit (Asbjørnsen und Hugdahl, 1995), Aufmerksamkeitsverschiebung (Asbjørnsen und Bryden, 1998) und die integrative Funktion des Corpus Callosum (Cowell und Hugdahl, 2000; Hugdahl et al., 2001) zu erfassen.

In den letzten 60 Jahren wurden viele Studien zum Nachweis von intrinsischen und extrinsischen Einflussfaktoren auf die Lateralisierung der Sprachfunktion durchgeführt. Beispiele für solche Faktoren sind Rauchen (Hahn et al., 2011), Lebensalter (Hugdahl et al., 2001), Händigkeit (Knecht et al., 2000) und Geschlecht (Ikezawa et al., 2008). Während eine Untersuchung von Shaywitz et al. (1995) auf geschlechtsspezifische Unterschiede in der verstärkten Aktivierung des linken Gyrus frontalis inferior bei Männern hinweist, gibt es nach Plante (2006) keine wesentlichen Unterschiede zwischen Männern und Frauen.

Durch neuere Untersuchungsmethoden können Gehirnareale genauer topographisch lokalisiert werden, die Aufschluss darüber geben, dass während des dichotischen Hörens nicht nur die klassischen sprachverarbeitenden Regionen aktiv werden, sondern zusätzliche frontotemporale Regionen in den Prozess mit eingebunden sind. Dies sind insbesondere der Gyrus frontalis inferior, Gyrus frontalis medius, Gyrus temporalis superior (Jancke und Shah, 2002; Thomsen et al., 2004) und der Kortex Cinguli (Thomsen et al., 2004).

Bei der komplizierten Verarbeitung der auditorischen Stimuli kommt es zu einem Zusammenspiel von Top-Down- und Bottom-Up-Prozessen. Die unbeeinflusste sensorische

Wahrnehmung der Stimuli stellt dabei einen Bottom-Up-Prozess dar, der durch die Lenkung der Aufmerksamkeit auf eines der beiden Ohren (Top-Down-Prozess) einen Konflikt in der Signalverarbeitung von rechten und linken sensorischen Stimuli hervorruft (Sætrevik und Hugdahl, 2007). So kann durch Aufmerksamkeitslenkung auf das rechte Ohr die Linkshemisphärendominanz bei Rechtshändern synergistisch verstärkt werden. Durch die Verlagerung der Aufmerksamkeit auf das linke Ohr kann dieser Vorteil jedoch gemindert oder gänzlich zu einem Rechtshemisphärenvorteil umgewandelt werden (Hugdahl et al., 2009).

Die frontalen Regionen rund um den präfrontalen Cortex bilden die Schaltzentrale für Top-Down-Modulationen und sind somit an der an der Lösung des Konflikts beteiligt, der sich zwangsläufig aus der Situation ergibt (Falkenberg et al., 2011). Beim dichotischen Hören werden die signalverarbeitenden Areale im Gyrus frontalis medius/inferior, Gyrus temporalis superior und Kortex cinguli stärker aktiviert als bei einem binauralen Höreindruck (Thomsen et al., 2004), was auf eine verstärkte Interaktion zwischen den primären auditorischen Arealen und dem präfrontalen Kortex hinweist (Sætrevik und Specht, 2009).

1.2 Gerüche

Bei den angenehmen und unangenehmen Geruchseindrücken zeigen sich unterschiedliche Aktivierungsmuster im Kortex. Durch die Aktivierung der Amygdala kommt es zur Verbindung von olfaktorischen Reizen mit Emotionen (Anderson et al., 2003; Gottfried et al., 2002a; Wicker et al., 2003). Angenehme Gerüche stimulieren darüber hinaus noch verstärkt den Gyrus cinguli anterior (Bensafi et al., 2012; Rolls et al., 2003), die rechte Insula (Bensafi et al., 2012; Wicker et al., 2003) und den medialen orbitofrontalen Kortex (Rolls et al., 2003).

Unangenehme Gerüche weisen hingegen eine stärkere Aktivierung im Bereich der linken Insula (Bensafi et al., 2007; Bensafi et al., 2012), im linken Kortex piriformis (Bensafi et al., 2007), sowie im lateralen orbitofrontalen Kortex (Anderson et al., 2003) auf. Da Gerüche grundsätzlich sowohl angenehme als auch unangenehme Komponenten beinhalten, werden alle bereits genannten Areale mit unterschiedlicher Intensität angesprochen (Grabenhorst et al., 2007).

Plailly et al. (2007) zeigten, dass bei der Diskrimination von Gerüchen vor allem frontale und frontopolare Regionen sowie die linke anteriore Insula verantwortlich sind. Zusätzlich zeigten Henkin und Levy (2001), dass frontale und temporale Kortexareale an der hedonischen Geruchsverarbeitung beteiligt sind. Demnach aktivieren angenehme

Gerüche vorwiegend Areale der linken Hemisphäre, während unangenehme Gerüche eher die rechte Hemisphäre aktivieren.

Die vorliegende Studie untersucht eine mögliche Auswirkung von angenehmen und unangenehmen Gerüchen auf die lateralisierte Sprachverarbeitung.

2 Grundlagen

2.1 Olfaktorische Wahrnehmung

2.1.1 Die Riechschleimhaut

Die Riechschleimhaut besteht aus einem mehrreihigen olfaktorischen Epithel sowie der subepithelialen Lamina, in welche Blutgefäße, Bowman-Drüsen, Bindegewebe und Axone der olfaktorischen Rezeptorzellen eingebettet sind. Sie liegt zum größten Teil in der Riechspalte, die im Bereich des Meatus nasi superior sowie im anterioren Ansatz des Meatus nasi medius und gegenüberliegenden Septumanteilen lokalisiert ist (Leopold et al., 2000). Die Gesamtfläche des olfaktorischen Epithels beträgt beim Erwachsenen in der rechten und linken Nasehöhle ca. 500 mm^2 (v. Brunn, 1892) und enthält etwa 30 Millionen olfaktorische Rezeptorzellen, deren Regenerationszyklus wenige Wochen (Hatt, 2004), schätzungsweise ca. 60 Tage beträgt (Hummel und Welge-Lüssen, 2009).

Das Riechepithel besteht aus Basal-, Stütz- und mikrovillären Zellen sowie olfaktorischen Rezeptorneuronen (ORN) (Morrison und Costanzo, 1992). Deren dendritische Fortsätze reichen in die Mukusschicht des Cavum nasi und beinhalten olfaktorische Rezeptorproteine. Die Axone der ORN ziehen zum Bulbus olfactorius und bilden das erste Neuron der Riechbahn.

2.1.2 Periphere olfaktorische Transduktion

Die Bindung eines Duftstoffes (Ligand) an ein Rezeptorprotein aktiviert das spezifische G-Protein G_{olf} , welches wiederum die Adenylatcyklase III der Zelle aktiviert. Daraufhin kommt es zur Bildung des Second-Messengers cAMP, welcher nun durch die Öffnung von Ionenkanälen für ein verändertes Membranpotenzial und damit die Umwandlung eines chemischen in ein elektrisches Signal sorgt. Dieses nun gebildete Aktionspotential wandert entlang des Axons zum Bulbus olfactorius (Witt und Hansen, 2009). Mehrere tausend Riechzellaxone konvergieren gemeinsam auf eine Mitralzelle. Dadurch kommt es zwar zu einer Reduktion des Informationsgehaltes, allerdings steigert sich so die Sensitivität gegenüber schwachen Duftreizen (Freiherr und Wiesmann, 2006).

Kommt es zu einer kontinuierlichen Exposition des Duftstoffes auf der Riechschleimhaut, findet eine Adaptation der olfaktorischen Rezeptorneurone statt. Zum einen bindet Ca^{2+} an das Protein Calmodulin (CaM). Dieser Ca^{2+} /CaM-Komplex bindet an die Ionenkanäle

und verringert deren Empfindlichkeit gegenüber cAMP: Das Rezeptorpotenzial nimmt ab. Des Weiteren aktiviert der Komplex Phosphodiesterase-1c2, die zu einer Umwandlung von cAMP zu AMP führt. Durch diese Vorgänge kommt es zu einer Unterbrechung der Signalkette und die Wahrnehmungsschwelle der Zelle steigt (Kurahashi und Menini, 1997) (Abb. 1).

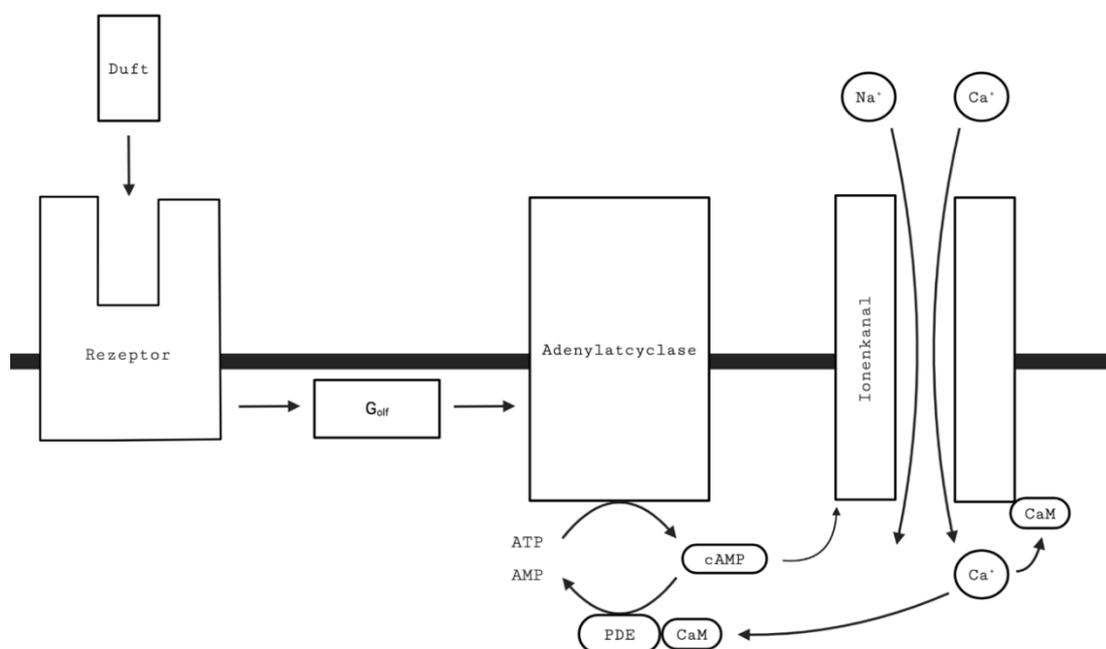


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der Signaltransduktion am olfaktorischen Rezeptorneuron durch Bindung eines Duftmoleküls an den Rezeptor (G_{olf} = olfaktorisches G-Protein, ATP = Adenosintriphosphat, AMP = Adenosinmonophosphat, cAMP = Zyklisches Adenosinmonophosphat, PDE = Phosphodiesterase, CaM = Calmodulin).

2.1.3 Die zentrale Verarbeitung

Die Axone der Geruchszellen durchlaufen gebündelt als Fila olfactoria (N. olfactorius) die Lamina cribrosa des Os ethmoidale und münden im Bulbus olfactorius, welcher den primären olfaktorischen Kortex bildet (Abb. 2). Als Ausstülpung des Prosencephalons weisen die Bulbi olfactorii eine kortikale Schichtung ähnlich der des Cerebrums auf. In der glomerulären Schicht stehen die Axone der olfaktorischen Rezeptorneurone mit den dendritischen Fortsätzen der Mitralzellen mittels des Neurotransmitters Glutamat in Verbindung (Trepel, 2011). Fortsätze von Geruchszellen gleicher Qualität enden hierbei im selben Glomerulum. Durch laterale Inhibitionsmechanismen von Körnerzellen und periglomerulären Zellen findet eine Kontrastverstärkung, also eine verbesserte Trennung der Duftstoffsignale, statt (Trepel, 2011). Die Axone der Mitralzellen bilden im Verlauf

den Tractus olfactorius, das zweite Neuron der Riechbahn. Dieser verläuft im Sulcus olfactorius des Lobus frontalis und teilt sich im Trigonum olfactorium in die Stria olfactoria lateralis und medialis auf, welche zu den Projektionszielen der Riechbahn im Kortex verlaufen. Die Stria olfactoria lateralis enden im präpiriformen Kortex, enthorinalen Kortex sowie dem Corpus amygdaloideum. Die Stria olfactoria medialis münden im Tuberculum olfactorium sowie der Area septalis. Der präpiriforme Kortex, welcher sich im Bereich der Basis des Lobus frontalis sowie der rostromedialen Seite des Lobus temporalis befindet, bildet dabei die primäre Riechrinde. Der enthorinale Kortex bildet den Übergang zwischen Allo- und Neokortex (Trepel, 2011).

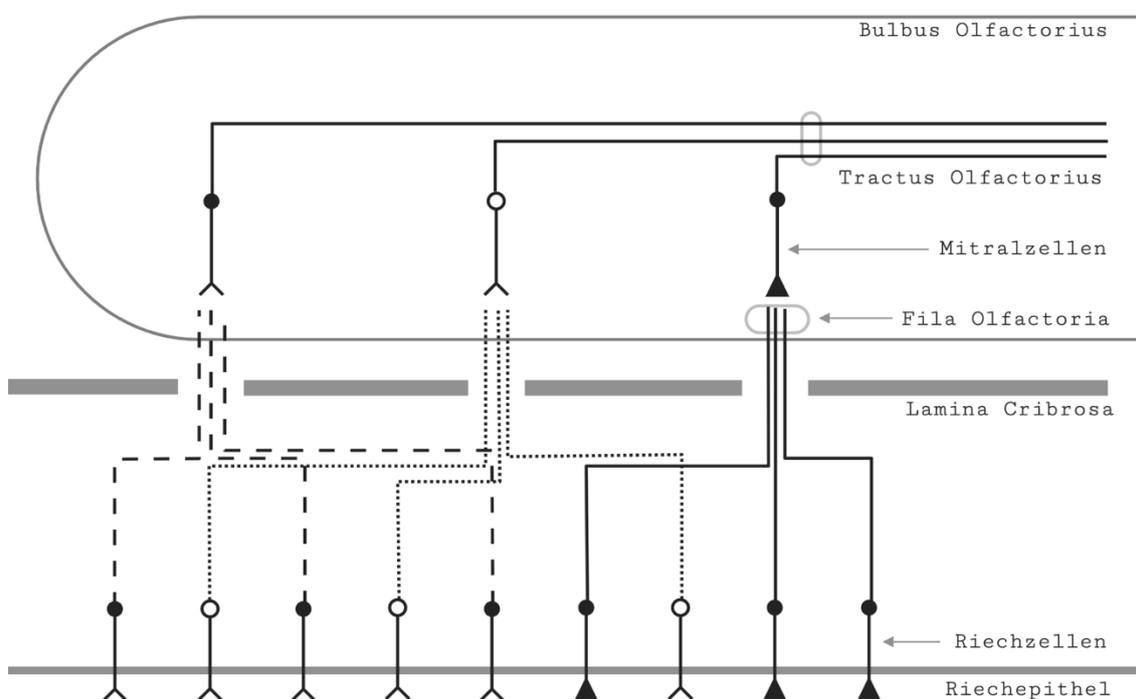


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der peripheren Signaltransduktion vom olfaktorischen Epithel zum Bulbus olfactorius. Die Fortsätze von Geruchszellen gleicher Qualität enden im selben Glomerulum. Die Weiterleitung der Signale erfolgt gebündelt im Tractus olfactorius. Modifiziert nach Schünke et al. (2018).

Die Informationen des olfaktorischen Kortex werden an den frontalen und den orbitofrontalen Kortex weitergeleitet, wo sie wahrgenommen, analysiert, interpretiert, diskriminiert und mit anderen Sinnesmodalitäten verknüpft werden. Durch die Verbindungen zu Amygdala und limbischem System kommt es zur Verknüpfung von Emotionen und Gedächtnisbildung, die mit Geruchseindrücken assoziiert werden (Zald und Pardo, 1997; Witt und Hansen, 2009). Vor allem die linke Hemisphäre ist für die emotionalen Reaktion

auf Gerüche verantwortlich (Royet und Plailly, 2004). Der größte Anteil der Riechbahn verläuft ungekreuzt ipsilateral (Gordon und Sperry, 1969).

2.1.4 Sekundär olfaktorische Hirnareale

Als sekundär olfaktorischer Kortex werden alle Projektionsgebiete der Stria olfactoria lateralis bezeichnet. Dazu gehören der Nucleus olfactorius anterior, der Cortex piriformis, Anteile der Amygdala, der Cortex entorhinalis und der Cortex periamygdaloideus. Der Cortex piriformis bildet dabei die größte sekundäre olfaktorische Struktur (Freiherr und Wiesmann, 2006). Jeder Glomerulus des Bulbus olfactorius projiziert auf mehrere, scheinbar zufällig ausgewählte Neuronen im piriformen Kortex. Gleichmaßen empfängt jedes Neuron des piriformen Kortex Informationen von mehreren Glomeruli des Bulbus olfactorius (Freiherr und Wiesmann, 2006). Der piriforme Kortex besteht aus zwei verschiedenen Regionen, die sich in ihrer Funktionsweise unterscheiden. Zum einen aus dem präpiriformen Kortex, der für die hedonische Verarbeitung eines Geruchs verantwortlich ist und zum anderen aus dem temporal piriformen Kortex, der die Geruchswahrnehmung verarbeitet (Gottfried, 2006). Des Weiteren ist der piriforme Kortex an Lernprozessen (Gottfried/O'Doherty/et al., 2002) und Gedächtnisbildung (Gottfried, 2006) beteiligt. Es besteht die Annahme, dass beim Abrufen von Erinnerungen auch die damit verknüpften olfaktorischen Informationen aktiviert werden (Gottfried, 2006).

2.1.5 Tertiär olfaktorische Hirnareale

Die Informationen des sekundären olfaktorischen Kortex projizieren auf den tertiären olfaktorischen Kortex. Zu dessen Arealen gehören der Hippokampus, das ventrale Striatum und Pallidum, der Cortex orbitofrontalis, Anteile des Hypothalamus, Thalamus, Gyrus cinguli und der Inselkortex. Die komplexen Vernetzungen dieser Strukturen bilden die Basis für die durch Duftstoffe hervorgerufenen Einflüsse auf Emotionen, Erinnerungen und Verhalten (Freiherr und Wiesmann, 2006) (Abb. 3).

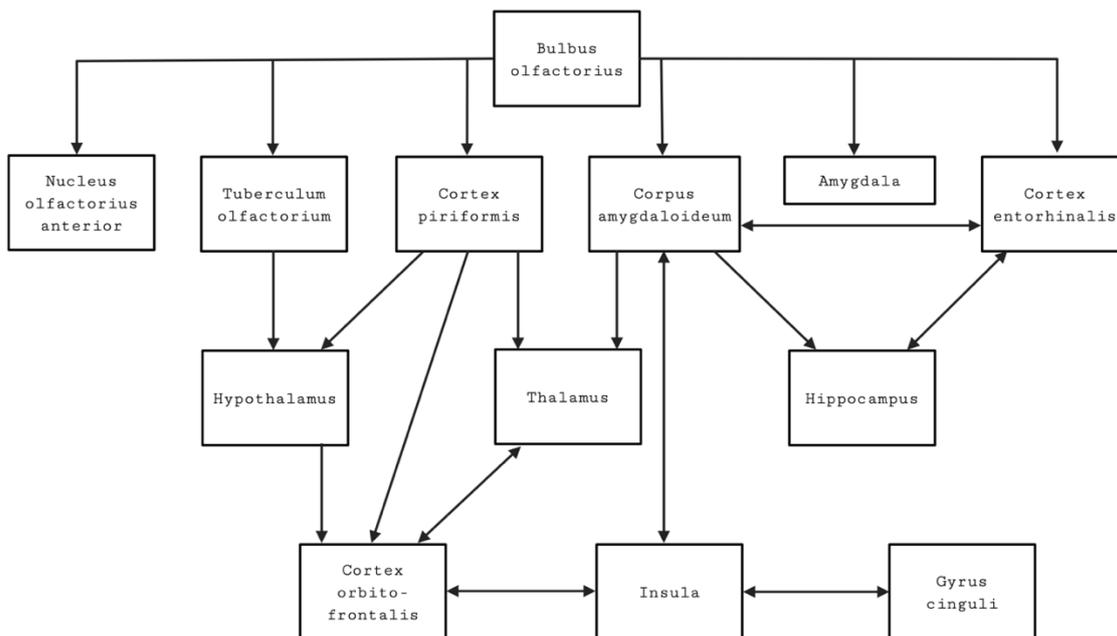


Abbildung 3: Schematische Darstellung der zentralnervösen Projektion der olfaktorischen Neurone. Ausgehend vom Bulbus olfactorius und den primär olfaktorischen Strukturen bis zu den sekundär- und tertiär-olfaktorischen Strukturen. Modifiziert nach Freiherr und Wiesmann (2006)

Orbitofrontaler Kortex

Der orbitofrontale Kortex stellt das wichtigste Projektionsziel des olfaktorischen Kortex dar und ist verantwortlich für die Identifikation und Diskrimination von Gerüchen. Er erhält Afferenzen aus dem limbischen System (Amygdala, Hippocampus, Gyrus cinguli), wodurch es zur Verknüpfung von Emotionen und Gedächtnisprozessen mit Gerüchen kommt (Freiherr und Wiesmann, 2006). Seine Efferenzen projizieren zu ventralen Basalganglien, Hypothalamus und Hirnstamm und beeinflussen damit Verhalten, endokrine Regulation und autonome Systeme (Freiherr und Wiesmann, 2006). Funktionell lässt sich der orbitofrontale Kortex anhand einer rostral-kaudalen Achse unterteilen. Der kaudale Anteil sorgt für Geruchserkennung und passives Riechen, während der rostrale Abschnitt für die Verarbeitung des Arbeitsgedächtnisses sowie Kurz- und Langzeitgedächtnis von Gerüchen verantwortlich ist (Gottfried, 2006). Des Weiteren bestehen funktionelle Unterschiede entlang einer medial-lateral-Achse. Die medialen Bereiche des orbitofrontalen Kortex sowie ventromediale Anteile des präfrontalen Kortex werden vor allem durch angenehme Gerüche aktiviert während unangenehme Gerüche vor allem die lateralen Anteile des orbitofrontalen Kortex sowie den inferioren präfrontalen Kortex aktivieren (Gottfried/Deichmann/et al., 2002). Der orbitofrontale Kortex unterhält reziproke Verbindungen zur Amygdala. Dadurch kann es zur Ausprägung von positiven und

negativen Bewertungen im Bereich des medialen und lateralen orbitofrontalen Kortex kommen. Weitere kognitive Aufgaben, die im orbitofrontalen Kortex verarbeitet werden, sind Intensitätsbeurteilung, Hedonik, Vertrautheit und Qualitätsunterscheidung (Gottfried, 2006).

Amygdala

Die Amygdala ist Bestandteil des limbischen Systems und an der Bearbeitung emotionaler Reize beteiligt. Sie wird unter anderem durch die Exposition stark unangenehmer Gerüche aktiviert (Zald und Pardo, 1997). Andere Untersuchungen belegen, dass sie durch alle Gerüche aktiviert wird (Gottfried/Deichmann/et al., 2002). Durch Efferenzen des Bulbus olfactorius zum limbischen System kommt es zur Verknüpfung von Gedächtnisinformationen mit Gerüchen.

2.1.6 Hedonik von Gerüchen

Als Hedonik bezeichnet man die subjektive, gefühlsspezifische Einteilung der Gerüche in unangenehm, angenehm oder neutral. Sie wird durch persönliche Erfahrungen und Erinnerungen beeinflusst. Die Hedonik unterliegt einer ständigen Neubewertung im Laufe der Zeit, so dass man in späteren Lebensjahren Gerüche anders bewertet als im Kindesalter. Die psychische und physische Verfassung spielt eine Rolle in der Hedonik, ebenso wie die Intensität. Mancher Geruch ist in niedriger Dosierung angenehm, wird jedoch mit steigender Intensität als unangenehm wahrgenommen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2015). Viele Naturdüfte werden als angenehm wahrgenommen, aber zum Beispiel der Geruch nach faulem Fleisch erscheint negativ (Birbaumer und Schmidt, 2010). Der emotionale Beitrag zur Bewertung von Gerüchen resultiert aus der Verbindung des Riechhirns mit dem limbischen System. So kann es durch einen Geruch zu Emotionen wie Antipathie, Sympathie, Unwohlsein oder Wohlbefinden kommen.

Die Hedonik hat ebenfalls einen Einfluss auf kognitive Funktionen. So beeinträchtigte ein unangenehmer Geruch die Teilnehmer einer Studie so sehr, dass es zu Leistungseinbrüchen bei komplexen Aufgaben kam. Die Exposition eines unangenehmen Duftes hatte dementsprechend eine ähnliche Wirkung wie Lärm und andere Stressoren (Rotton, 1983).

Ebenfalls haben angenehme Gerüche einen positiven Effekt auf Probanden, die aufgrund der Exposition effizientere Strategien bei der Bewältigung von Kodierungsaufgaben anwenden und sich höhere Ziele setzen. Angenehme Düfte verbessern dementsprechend das Arbeitsumfeld und die kognitive Leistung (Baron, 1990). Weitere Studien

bestätigten diese Beobachtung (Parasuraman, 1990; Ehrlichman und Bastone, 1992, zit. nach Herz, 2002)

2.1.7 Lateralisation von Geruchsinformationen

Bis zum Bulbus olfactorius werden Geruchsinformationen rein ipsilateral verarbeitet, können aber im Bereich des Ncl. olfactorius anterior über die Commisura anterior auf die kontralaterale Seite wechseln. Der piriforme Kortex erhält vorwiegend ipsilaterale und wenige kontralaterale Informationen (Wilson, 1997; Manzini et al., 2014). Bei nicht-trigeminalen Geruchsinformationen kommt es zur bilateralen Aktivierung der Amygdala sowie des piriformen, anterior-cingulären-, linken agranulär-insulären- und rechten orbitofrontalen Kortex, unabhängig davon, ob das rechte oder linke Nasenloch stimuliert wird (Savic, 2005). Während rechtshemisphärische Areale vorwiegend das Geruchsgedächtnis verarbeiten, sind linkshemisphärische Areale an der emotionalen Reaktion auf Gerüche beteiligt (Royet und Plailly, 2004). Es gibt keine Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern hinsichtlich der Geruchserkennungsschwelle, jedoch bezüglich der Diskriminationsfähigkeit. Die Geruchsunterscheidung ist bei Linkshändern besser, wenn das linke Nasenloch stimuliert wird, während es bei Rechtshändern umgekehrt ist (Hummel/Mohammadian/et al., 1998)

2.2 Auditorische Wahrnehmung

Das Gehör ist ein hochkomplexes System, bestehend aus peripheren und zentralen Strukturen, in welchem die Umwandlung von Luftschallsignalen in elektrische Potenziale, unter Berücksichtigung von Intensität, Frequenz und den räumlichen sowie zeitlichen Eigenschaften der Töne, stattfindet (Griffiths et al., 1999).

2.2.1 Schallqualitäten

Es existieren vier verschiedene Schallqualitäten, die zur Weiterleitung im Hörnerv kodiert werden müssen: Schallfrequenz, Schallintensität, Schallrichtung und Entfernung der Schallquelle (Silbernagl, 2007).

Der wahrnehmbare Frequenzbereich des menschlichen Ohres liegt bei etwa 16 Hz bis 20 kHz. Frequenzen unterhalb von 16 Hz werden als Infraschall, Frequenzen oberhalb von 20 kHz als Ultraschall bezeichnet. Im Laufe des Lebens nimmt die Hörbarkeit von hohen Frequenzen tendenziell ab. Der niedrigste hörbare Schalldruck wird als Hörschwelle bezeichnet und ist Frequenzabhängig. Unterschiedliche Frequenzen werden entsprechend der Frequenzdispersion in verschiedenen Bereichen der Cochlea

registriert. Der Mensch ist in der Lage, Frequenzen mit einem Unterschied von 3 Hz zu unterscheiden (Frequenzunterschiedsschwelle).

Die Stärke von Schall wird als Schalldruckpegel beschrieben, welcher in Dezibel (dB) angegeben wird. Eine Verdopplung des Schalldrucks bedeutet eine Zunahme des Schalldruckpegels um 6 dB. Eine Verzehnfachung des Schalldrucks entspricht einer Erhöhung des Schalldruckpegels um 20 dB, was auf einen logarithmischen Zusammenhang hinweist.

Eine Erhöhte Schallintensität führt zur vermehrten Ausbildung von Aktionspotenzialen im Hörnerv und zur Rekrutierung benachbarter Nervenfasern. Die relative Intensitätsunterschiedsschwelle beträgt 0,1, d. h. man empfindet ein Schallereignis erst dann lauter oder leiser, wenn die Schallintensität mindestens um den Faktor 1,1 verändert wird.

Um die Richtung, aus der ein Schall gehört wird, zu unterscheiden ist binaurales Hören erforderlich. Der zugrunde liegende Mechanismus besteht darin, dass ein akustisches Signal ein Ohr vor dem anderen erreicht. Die Richtungsschwelle, also die Richtungsabweichung, bei der gerade noch ein Richtungsunterschied erkannt werden kann, liegt bei 3 Grad. Das dem Schallereignis abgewandte Ohr hört den Schall leiser. Dieser geringere Schalldruck sorgt wiederum für eine verspätete Ausbildung von Aktionspotenzialen und dadurch zu einer erhöhten Latenzzeit. Durch die Physiologie des äußeren Ohres ist ebenfalls eine dreidimensionale Unterscheidung der Schallrichtung möglich.

Die Abschätzung der Entfernung einer Schallquelle ist u. a. durch die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Schallwellen möglich. Hohe Frequenzen werden in ihrem Verlauf stärker gedämpft als niedrige Frequenzen, was sich vor allem über weitere Distanzen bemerkbar macht (Deetjen, 2004; Silbernagl, 2007).

2.2.2 Periphere Schalleitung

Die peripheren Anteile des Gehörs bestehen aus Außen-, Mittel- und Innenohr (Cochlea) sowie dem Nervus cochlearis, der den Beginn der neuronalen Hörbahn bildet. Die akustischen Signale gelangen über die knorpeligen Verwindungen des Außenohres durch den äußeren Gehörgang zum Trommelfell, ab welchem das Mittelohr beginnt. Dieses besteht aus einem luftgefüllten, durch die Eustachische Röhre mit dem Rachen verbundenen Hohlraum, in dem die Schallweiterleitung vom Trommelfell mittels einer Signalkaskade über die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel zum ovalen Fenster stattfindet.

Der *Musculus tensor tympani* sowie *M. stapedius* greifen modulierend in die Signalkaskade ein und sorgen für eine Verringerung der Schallenergie, die über die Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster weitergeleitet wird. Die Aufgabe des Mittelohres im akustischen System besteht aus einer Impedanzanpassung der Schallwellenwiderstände von einem luftgefüllten in ein flüssigkeitsgefülltes Medium (Innenohr), ohne die es zu einer 98%igen Reflektion des eintreffenden Schalls kommen würde. Diese Anpassungsvorgänge werden durch das Flächenverhältnis von Trommelfell zu Steigbügel Fußplatte sowie den Hebelwirkungen der Gehörknöchelchenkette realisiert. Die Flächenveränderung von Trommelfell zu Steigbügel Fußplatte sorgt für eine 35-fache Druckverstärkung am ovalen Fenster, während die Hebelwirkung der Gehörknöchelkette eine 1,32-fache Druckerhöhung bewirkt. Ohne die Strukturen des Mittelohres wäre die Schallempfindung um bis zu 30 dB verringert.

Das Innenohr befindet sich im Pars petrosus des Os temporale und wird auch als Labyrinth bezeichnet. Es besteht aus dem Hörorgan, in dem sich die Cochlea befindet und dem Gleichgewichtsorgan, welches die Bogengänge beinhaltet. Durch das ovale Fenster ist das Innenohr mit dem Steigbügel verbunden und empfängt von dort die akustischen Signale, während das runde Fenster als Ausgleich gegen die eintreffenden Druckschwankungen dient. Die vom Mittelohr ankommenden Schallwellen werden am ovalen Fenster in ein mit Flüssigkeit gefülltes Medium innerhalb der Cochlea übertragen. Diese besteht aus einem mit Lymphe gefüllten, dreigeteilten, spiraligen Rohr und ähnelt einer Schnecke. Die Scala vestibuli und Scala tympani sind am oberen Ende der Cochlea über das Helikotrema miteinander verbunden und mit Perilymphe gefüllt, die mittlere Scala media hingegen mit Endolymphe (Trepel, 2011). Peri- und Endolymphe weisen unterschiedliche Ionenzusammensetzungen auf.

Die Scala vestibuli wird durch die Membrana vestibularis (Reißner-Membran) von der Scala media getrennt, die Trennung von Scala media und Scala tympani erfolgt durch die Basilarmembran (Membrana basilaris). Das Sinnesepithel, bestehend aus mechanorezeptiven inneren und äußeren Haarzellen sowie Stützzellen, sitzt auf der Basilarmembran und wird Corti-Organ genannt. Hier findet die Umwandlung von mechanischen Schallwellen in elektrische Signale statt (Trepel, 2011). Es beinhaltet ca. 3.500 innere und 11.200-16.000 äußere Haarzellen (Nadol, 1988) und wird von der gelartigen Tectorialmembran überdeckt. Zur Schallweiterleitung versetzt der Steigbügel Fuß das ovale Fenster und damit die sich dahinter befindende Perilymphe in Schwingung. Aufgrund seiner inkompressiblen Eigenschaften führt ein Auslenken des ovalen Fensters zu einer gleichförmigen Auslenkung des runden Fensters. Diese Volumenverschiebung führt nun

zu einer Schwingung der Basilarmembran und dem aufliegenden Corti-Organ, welche an die über ihr liegende Tektorialmembran übertragen wird (Delb und Praetorius, 2004). Durch die Auslenkung der Stereozilien der inneren Haarzellen erfolgt ein Kationeneinstrom, gefolgt von der Expression von Glutamat und der Reizweiterleitung zum ZNS (Silbernagl, 2007).

Von der Basis der Cochlea zum Apex verändern sich die mechanischen Eigenschaften der Cochlea so, dass verschiedene Abschnitte der Trennmembranen unterschiedlich ausgelenkt werden. In Richtung des Apex wird die Basilarmembran breiter, dünner und dadurch flexibler und weniger steif. Dies führt zu einer asynchronen Auslenkung der Membran und der Ausbildung einer Wanderwelle, die an einer für die Frequenz charakteristischen Stelle ihre höchste Auslenkung hat. Diese Frequenzdispersion führt dazu, dass jeder Ort der Basilarmembran durch eine spezifische Frequenz angeregt wird. Hohe Frequenzen haben ihr Maximum im basalen und niedrige Frequenzen im apikalen Bereich nahe des Helicotrema. An dieser frequenzspezifischen Stelle kommt es durch die Abscherung der Haarzellen zur Ausbildung eines Rezeptorpotenzials und im Folgenden zur Transmitterfreisetzung in Richtung des Hörnervs (Abb. 4) (Silbernagl, 2007).



Abbildung 4: Schematische Darstellung der auditiven Signalweiterleitung. Das Geräusch wird im Außenohr gesammelt und über verschiedene Stationen weitergeleitet, bis schließlich eine Umwandlung der mechanischen Schallwellen in elektrische Signale stattfindet.

2.2.3 Die zentrale Hörbahn

Die Hörbahn beginnt in der Cochlea und leitet die akustischen Signale bis zur primären und sekundären Hörrinde im Lobus temporalis, wo die Interpretation und Erkennung der Schallsignale stattfinden. Die ankommenden Schallreize werden in den Sinneshaarzellen nach Lautstärke und Frequenz (tonotopisch) sortiert (Berger, 2007). Die zentrale Hörbahn besteht aus mehreren parallelen und sich überlappenden Bahnen, die in ihrem Verlauf immer wieder divergieren und konvergieren (Pickles, 2015). Allerdings ist eine exakte Zuordnung der einzelnen funktionalen Leistungen des Hörprozesses zu den morphologischen Strukturen des zentralen Nervensystems zum derzeitigen Stand der Wissenschaft nicht möglich (Ptok et al., 2000)

Das erste Neuron befindet sich im Ganglion Spirale cochleae und zieht von dort zu den Ncll. cochleares. Von dort ausgehend ziehen Hörbahnfasern entlang des Hirnstamms sowohl ipsilateral als auch kontralateral nach kranial. Bereits zu Beginn findet eine teilweise Verschaltung auf die Ncll. olivares superiores statt, welche eine wichtige Bedeutung für das Richtungshören haben (Trepel, 2011). Ebenfalls kommt es im Hirnstamm zur Verarbeitung der Nervenimpulse bezogen auf Frequenzkodierung, Intensität, Phase und Stimulationszeit sowie Signalmerkmalsextraktion. Dadurch kommt es zur Lokation, Summation, Fusion, Separation, Diskrimination, Identifikation, Differenzierung und Integration der eintreffenden Signale (Ptok und Ptok, 2001).

Als Lemniscus lateralis bezeichnet steigen die Hörbahnfasern weiter auf und gelangen über die Colliculi inferiores zum Corpus geniculatum mediale, welcher ein Teil des Thalamus ist. Von hier aus gelangen sie als „Hörstrahlung“ zur primären Hörrinde in den Gyri temporales transversi sowie zum angrenzenden Gyrus temporalis superior. Während des gesamten Verlaufs behält die Hörbahn ihre tonotopische Gliederung bei und es kommt zu ständigen Seitenwechseln der Bahnverläufe sowohl von ipsi- als auch von kontralateral (Trepel, 2011) (Abb. 5).

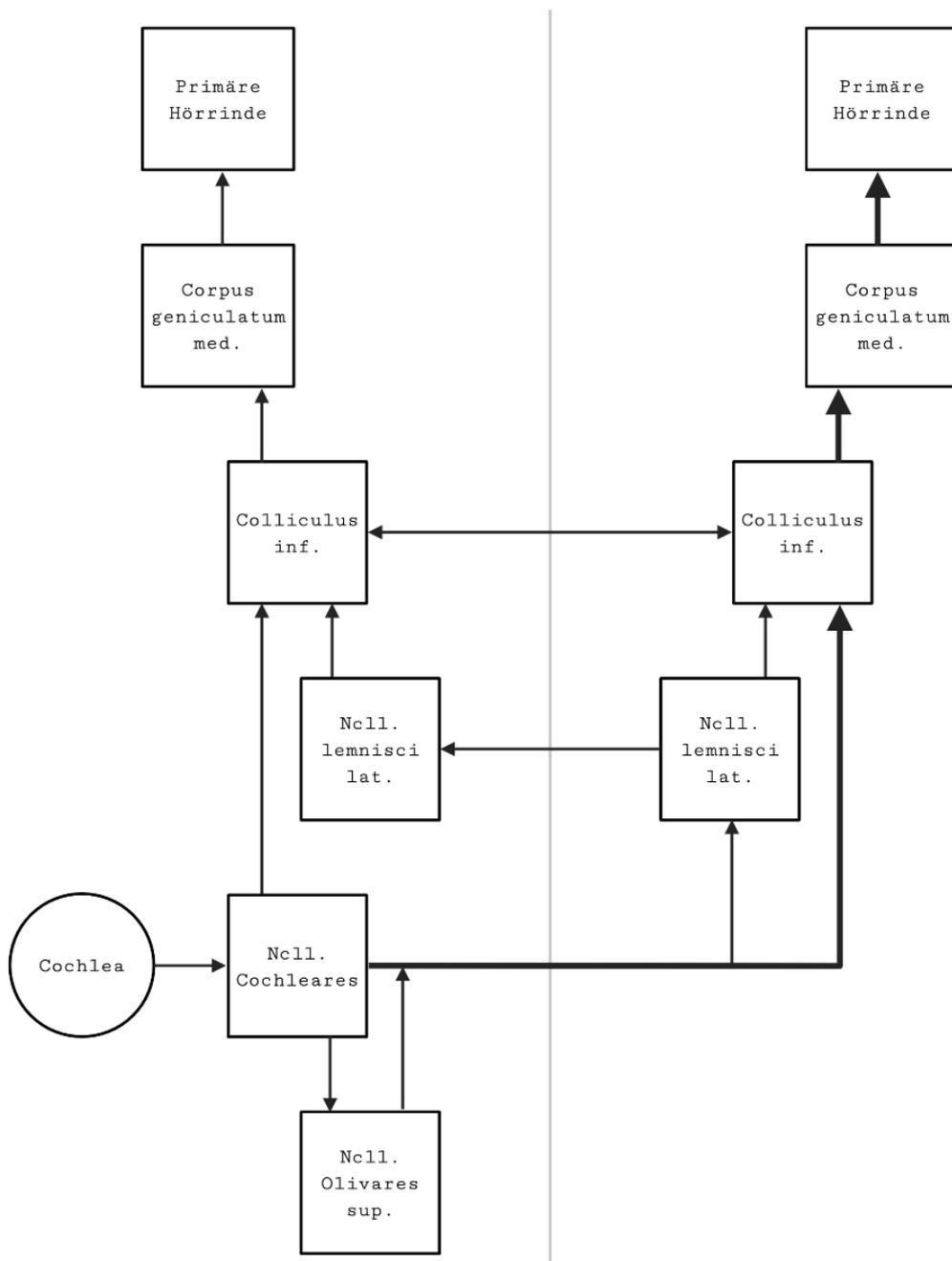


Abbildung 5: Schematische Darstellung der zentralen Hörbahn, ausgehend von der Cochlea bis hin zur primären Hörrinde. Die Signale werden sowohl ipsi- als auch kontralateral weitergeleitet und es kommt zu ständigen Seitenwechseln der Bahnverläufe. Modifiziert nach Trepel (2011).

2.2.4 Primärer auditorischer Kortex

Die Herschl'sche Querwindungen (Gyri temporales transversi) befinden sich im Lobus temporalis. Sie enthalten den primären auditorischen Kortex und werden als primäre Hörrinde bezeichnet. Sie entsprechen der Area 41 nach Brodmann und sind für die „interpretationsfreie Bewusstwerdung der auditorischen Impulse aus dem Innenohr

verantwortlich“ (Trepel, 2011). Die Hörbahn endet hier in tonotopischer Anordnung, d. h. jede Frequenz endet an einem anderen Punkt der primären Hörrinde. Durch die Überkreuzungen der Hörbahn erhalten sowohl die primäre Hörrinde der rechten als auch der linken Seite die Informationen sowohl des rechten als auch linken Ohres. Kommt es also zu einer zentralen Schädigung des Kortex führt dies nicht zu einem Totalausfall eines Ohres, sondern nur zu einer Verminderung der Hörleistung. Durch die überwiegend kontralaterale Kreuzung der Hörbahn gelangen Sprachinformationen des rechten Ohres direkt in das dominante Sprachzentrum der linken Hirnhälfte, während die Informationen des linken Ohres erst über das Corpus Callosum zur Gegenseite kreuzen müssen. Von der primären Hörrinde gelangen die Informationen weiter zur ebenfalls im Lobus temporalis lokalisierten sekundären Hörrinde. Diese entspricht den Brodman-Arealen 42 und 22 und ist für die Interpretation der Signale zuständig. Hier findet die Erkennung der Laute als Wörter, Geräusche und Melodien statt (Trepel, 2011). In der dominanten Hemisphäre befindet sich das sensorische (Wernicke-)Sprachzentrum, welches für das Verständnis von Sprache verantwortlich ist. Dieses befindet sich zumeist in der linken Hirnhälfte (Hellige, 1990). In 65 % der Fälle (Geschwind und Levitsky, 1968) befindet sich vor allem bei Rechtshändern (Steinmetz et al., 1991) linkshemisphärisch ein vergrößertes Areal (Planum temporale), welches eine wichtige Funktion für die Sprachverarbeitung erfüllt und damit auf eine dominante Lateralisierung der Sprachfunktionen hinweist. In der nicht-dominanten Hirnhälfte findet vor allem die Verarbeitung von Geräuschen und Musik statt (Kimura, 1967).

Durch Funktionsausfälle im Bereich der Sprachzentren kommt es zu Aphasien. Eine motorische (Broca)-Aphasie resultiert aus einer Schädigung des Broca-Sprachzentrums und ist durch eine gestörte Lautbildung gekennzeichnet, während das Sprachverständnis unangetastet bleibt. Eine sensorische (Wernicke)-Aphasie entsteht aus der Schädigung des Wernicke-Sprachzentrums der dominanten Hirnhälfte und zeichnet sich durch ein gestörtes Sprachverständnis aus. Eine Kombination aus beiden Aphasieformen ist möglich (Trepel, 2011).

2.3 Lateralisation des Gehirns

Die Hirnhälften unterliegen einer funktionellen Aufgabenteilung. Einige Funktionen werden somit eher in der rechten, andere wiederum größtenteils in der linken Hirnhälfte ausgeführt. Diese Aufteilung wird als Lateralisation bezeichnet, die sich in anatomischen und funktionellen Asymmetrien äußert. Die rechte und linke Hemisphäre ähneln sich bei

oberflächlicher Betrachtung, dennoch unterscheiden sie sich in Bezug auf Funktionalität deutlich voneinander. Man spricht somit von einer funktionellen Hirnasymmetrie. Bei der anatomischen (strukturellen) Hirnasymmetrie hingegen existieren mikro- und makroskopische Unterschiede in den entsprechenden Strukturen des Großhirns.

Die Linkshemisphärendominanz lässt sich anatomisch durch ein meist linksseitig vergrößertes Planum temporale nachweisen (Geschwind und Levitsky, 1968), das eine wichtige Funktion für die Sprachverarbeitung im Gehirn erfüllt. Es ist Teil des Wernicke-Zentrums und befindet sich in der Sylvischen Furche des Gyrus temporalis superior.

2.3.1 Lateralisation der Sprachverarbeitung

Die Verarbeitung menschlicher Sprache ist ein äußerst komplexer Vorgang und deswegen nicht nur einem einzigen Areal im Kortex zuzuordnen. Vielmehr ist ein weit verzweigtes Netzwerk an spezialisierten Strukturen für die Verarbeitung der Kernkomponenten – Phonetik, Semantik, Orthographie, Syntax, Prosodie und Sprachbildung – zuständig.

Erstmals wurde die Hypothese der lateralisierten Sprachfunktion von Paul Broca aufgestellt (Broca, 1861; Broca, 1865), der das nach ihm benannte Sprachzentrum im Kortex entdeckte. Später führten Untersuchungen von Carl Wernicke (1874) zur Entdeckung des sensorischen Sprachzentrums (Wernicke-Zentrum) in der linken Hemisphäre und im Folgenden zum Konzept der Sprachdominanz des linken Kortex.

Erste Ansätze eines lateralisierten Sprachverständnisses wurden von Wernicke dem Gyrus temporalis superior zugeschrieben, auf dessen Oberfläche sich das Planum temporale befindet. Diese Region weist eine anatomische Hemisphärenasymmetrie auf (Geschwind und Levitsky, 1968) und spielt eine entscheidende Rolle in der Verarbeitung von Sprachfunktionen (Galaburda et al., 1978).

Spätere Untersuchungen zeigten, dass die einfache dichotome Trennung in ein motorisches Broca-Zentrum und ein sensorisches Wernicke-Zentrum nicht ausreichend für die komplexen Vorgänge der Sprachverarbeitung sind (Ojemann et al., 1989). Es wurde nachgewiesen, dass es auch außerhalb der traditionellen Wernicke- und Broca-Zentren sprachverarbeitende Regionen gibt (Binder et al., 1997). Binder verfasste später ein Modell der Sprachverarbeitung, das den Temporallappen in eine hierarchische Struktur unterteilt. Laterale Anteile des Gyrus temporalis superior sowie das Planum temporale reagieren vor allem auf einfache auditorische Signale wie Töne. Weiter ventral gelegene Anteile des Gyrus temporalis superior reagieren auf komplexere auditorische Signale wie zum Beispiel Frequenzmodulationen oder Richtungssignale. Ventral des Sulcus

temporalis superior findet hingegen die Verarbeitung der lexikalisch-semantischen Informationen statt (Binder et al., 2000).

Zum Nachweis, welche Funktionen in welcher Gehirnhälfte lokalisiert sind, wird unter anderem auch der Wada-Test angewandt (Wada und Rasmussen, 1960). Bei diesem Eingriff wird dem Patienten eine Amobarbitallösung injiziert, welche eine kurzzeitige Funktionsblockade einer Hemisphäre verursacht. Währenddessen können an dem Patienten Untersuchungen durchgeführt werden. Rasmussen und Milner wiesen mittels des Wada-Tests nach, dass bei rechtshändigen Patienten zu 96 % eine linkshemisphärische Sprachdominanz vorliegt, während 4 % eine rechtshemisphärische Sprachdominanz besitzen. Bei Linkshändern wurde bei 70 % eine linksseitige, bei 15 % eine rechtsseitige und bei 15 % eine bilaterale Sprachdominanz nachgewiesen (Rasmussen und Milner, 1975). Diese Ergebnisse decken sich mit den bereits vorher durchgeführten Untersuchungen von Branch et al. (1964).

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass der mit Abstand größte Teil der Rechtshänder eine Linkshemisphärenlateralisation aufweist, ein sehr geringer Anteil eine Rechtshemisphärenlateralisation und eine Bilateralität quasi ausgeschlossen ist. Bei Linkshändern hingegen weist ein großer Anteil eine linksseitige Hemisphärenlateralisation auf, während allerdings ein wesentlicher Anteil eine Rechts- bzw. Bilateralität der Sprachfunktion besitzt.

2.3.2 Dichotisches Hören

Eine große Anzahl an durchgeführten Studien belegen, dass Sprachfunktionen größtenteils in der linken Hemisphäre verarbeitet werden (Josse und Tzourio-Mazoyer, 2004).

Beim binauralen Hören erreicht der Schall beide Ohren. Dabei unterscheidet sich dessen Wahrnehmung zwischen den Ohren. Zum einen bestehen geringfügige Lautstärkeunterschiede, je nachdem welches Ohr der Schallquelle zugewandt ist und es existieren Laufzeitunterschiede des Tonsignals. Aufgrund dieser Parameter ist es dem Gehirn möglich, eine Ortung des Schalls im Raum vorzunehmen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn auf beide Ohren der gleiche Stimulus wirkt. Davon zu unterscheiden ist der dichotische Höreindruck. Bei ihm werden beiden Ohren zeitgleich unterschiedliche Stimuli dargeboten, die einer bilateralen, aber monoauralen Wahrnehmung entsprechen.

Der dichotische Hörtest ist ein nicht-invasives Verfahren, bei dem die lateralisierte Sprachverarbeitung des Temporallappens untersucht wird. Er gibt somit Aufschluss über die funktionellen Strukturen des Gehirns und kann dazu verwendet werden, die

sprachdominante Hirnhälfte zu erkennen. Des Weiteren lassen sich durch ihn Rückschlüsse auf interhemisphärische Konnektivität und Interaktion ziehen (Westerhausen und Hugdahl, 2008). Durch dichotisches Hören verbessert sich das Sprachverständnis in geräuschvollen Umgebungen (Cocktail-Party-Phänomen) (Cherry, 1953).

Während des dichotischen Hörtests hört der Proband zur selben Zeit auf beiden Ohren über Stereokopfhörer abgespielte, unterschiedliche auditorische Stimuli wie Wörter, Sätze, Silben oder Zahlen. Neben den sprachlichen Stimuli können aber auch Geräusche, Tonfolgen oder Melodien dargeboten werden. Die Probanden müssen den dargebotenen Stimulus korrekt erkennen oder wiedergeben. Die richtig bzw. falsch erkannten Stimuli werden dann zur Bestimmung der akustischen Lateralität herangezogen und ausgewertet. In den Experimenten der vorliegenden Arbeit wird ein dichotischer Hörtest der Universität Bergen angewendet (Bless et al., 2013) (Abb. 6).

Wie bereits angemerkt werden sprachliche Informationen vorwiegend in der linken Hirnhälfte verarbeitet, welche ihre auditorischen Informationen hauptsächlich aus dem rechten Ohr erhält. Dieser Umstand wird als „Vorteil des rechten Ohres – Right Ear Advantage“ bezeichnet. Nonverbale Stimuli werden hingegen vor allem in der rechten Hemisphäre verarbeitet, die ihre Informationen größtenteils vom linken Ohr erhält. Dies liegt unter anderem daran, dass mehr Fasern aus dem kontralateralen als aus dem ipsilateralen Ohr zu den auditorischen Zentren führen (Kimura, 1967).

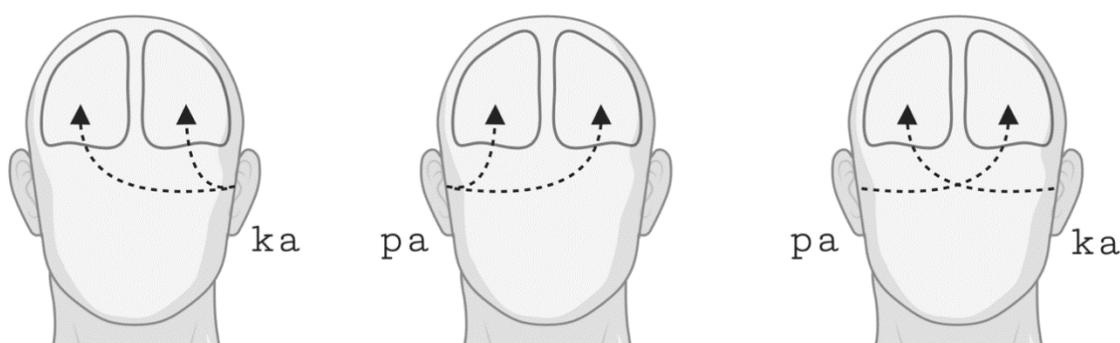


Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung des dichotischen Höreindrucks. Links und Mitte: Monaurale Präsentation der Silben „ka“ bzw. „pa“. Es erfolgt eine Weiterleitung und Verarbeitung in beiden Hemisphären. Rechts: Dichotische Präsentation der Silben „pa“ und „ka“. Die Dominanz der kontralateralen Signalweiterleitung blockiert die ipsilateralen Bahnen. Daher wird das Signal des rechten Ohrs primär auf die linke Hemisphäre und das Signal des linken Ohres primär auf die rechte Hemisphäre projiziert. Modifiziert nach Hugdahl (2003).

Nach Rosenzweig (1951) existieren zwischen den kontralateralen und ipsilateralen Bahnen Überschneidungspunkte. An diesen Punkten kommt es zu einer zusätzlichen

Hemmung der ipsilateralen Bahnen, so dass die kontralateralen Signale noch mehr überwiegen. Die interhemisphärische Verbindung des Corpus callosum hat ebenfalls einen Einfluss auf die dichotische Sprachverarbeitung (Westerhausen und Hugdahl, 2008). Die Rechts-Dominanz ist vor allem dann gegeben, wenn die Testperson sich auf das rechte oder beide Ohren gleichermaßen konzentriert. Wird die Aufmerksamkeit auf das linke Ohr gelegt, sinkt der „Vorteil des rechten Ohres“ oder kann sich gänzlich auf das linke Ohr verlagern (Asbjørnsen und Hugdahl, 1995).

3 Ziel der Arbeit

Da sowohl die Geruchswahrnehmung als auch die Verarbeitung dichotischer Reize im Gyrus temporalis superior Aktivität zeigen, liegt die Vermutung nahe, dass es bei gleichzeitiger olfaktorischer und dichotisch-auditiver Reizdarbietung zu Interferenzen kommen kann (Bensafi et al., 2012; Thomsen et al., 2004). Allerdings gibt es bis zum jetzigen Zeitpunkt nur wenige Studien, die sich mit dieser Hypothese befassen.

Zatorre und Jones-Gotman (1990) untersuchten den Zusammenhang zwischen olfaktorischer und auditorischer Lateralität. Sie zeigten auf, dass die olfaktorische Reizverarbeitung größtenteils in ipsilateralen und die dichotische Sprachverarbeitung größtenteils in kontralateralen Hirnregionen stattfindet. Eine Interaktion zwischen beiden konnte allerdings nicht nachgewiesen werden.

Miyazaki et al. führten in diesem Zusammenhang ebenfalls zwei Studien durch. Sie führten den Probanden einen auf Alkohol basierenden Geruch zu, während diese einen non-verbalen dichotischen Hörtest unterliefen. Dabei verlagerte sich sowohl bei Männern als auch Frauen die Dominanz von der rechten auf die linke Hemisphäre (Miyazaki et al., 2002). In der zweiten Untersuchung zeigten sie, dass die Exposition von Benzingeruch die Sprachreaktionszeiten verbesserten und dadurch einen optimierenden Effekt auf die Durchführung von Sprachaufgaben hat (Miyazaki et al., 2004).

Trotz der bisherigen Untersuchungen gibt es immer noch keine Nachweise über die Auswirkungen von angenehmen und unangenehmen Geruchsreizen auf die lateralisierte Verarbeitung von verbalen Stimuli sowie die damit einhergehende Aufmerksamkeitsverzerrung. Kommt es unter Einfluss eines angenehmen Duftes zu einer Verbesserung, bzw. unter Einfluss eines unangenehmen Duftes zu einer Verschlechterung des Sprachverständnisses? Die vorliegende Studie versucht eine Antwort auf diese Frage zu finden.

4 Material und Methoden

4.1 Studienteilnehmerinnen

Bezogen auf Intensität, Annehmlichkeit (Doty et al., 1984), Wahrnehmungsschwelle (Koelega und Köster, 1974; Sorokowski et al., 2019) sowie Diskrimination und Identifizierung (Sorokowski et al., 2019) von Gerüchen bestehen Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Auch gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede im Bereich der auditiven Asymmetrie bzw. des dichotischen Hörens (Ikezawa et al., 2008; Voyer, 2011). Aus diesen Gründen wurde ein ausschließlich aus Frauen bestehendes Patientenkollektiv getestet.

Die Probandinnenkohorte bestand aus 120 volljährigen, rechtshändigen Frauen mit normaler Riech- und Hörfunktion. Das durchschnittliche Alter betrug 30,7 Jahre (SD = 13,4) (Min.: 18; Max.: 83 Jahre). 107 Teilnehmerinnen gaben Deutsch als Muttersprache an. Die Probandinnen wurden durch Aushänge an der medizinischen Fakultät Carl-Gustav-Carus sowie durch Kleinanzeigen rekrutiert.

Ausschlusskriterien waren gesundheitliche Beeinträchtigungen, die zu einer Einschränkung des Riech- oder Hörvermögens hätten führen können: Diabetes Mellitus, Morbus Parkinson (Doty et al., 1988), Niereninsuffizienz (Griep et al., 1997), Nebenniereninsuffizienz (Norès et al., 2000). Akute oder ausgeprägte chronische Entzündungen der Nase oder Nasennebenhöhlen (Rhinosinusitis) (Hummel/Rothbauer/et al., 1998; Simola und Malmberg, 1998; Raviv und Kern, 2006), Beeinträchtigungen des Hörvermögens sowie in der Vergangenheit durchgeführte operative Eingriffe im Nasalbereich (z. B. Polypenentfernung) (Nguyen et al., 2013) führten ebenfalls zu einem Ausschluss aus der Studie. Schwangere und Stillende (Ochsenbein-Kölble et al., 2007) sowie Raucherinnen (Katotomichelakis et al., 2007; Hahn et al., 2011) waren ebenfalls ausgeschlossen. Ebenfalls wurden an Schizophrenie leidende Probandinnen ausgeschlossen, da bei ihnen oftmals eine deutlich rechts-lateralisierte Sprachverarbeitung vorliegt (Friedman et al., 2001).

Nach (Pujol et al., 1999) und Anderen weisen 96 % der Rechtshänder, aber nur 76 % der Linkshänder eine linkshemisphärische Sprachlateralisation auf, während die rechtshemisphärische Sprachlateralisation bei Rechtshändern 0 % und bei Linkshändern 10 % beträgt. Diese Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern wurden ebenfalls von

Knecht et al. (2000) nachgewiesen. Um eine Verfälschung der für die Studie gewonnenen Daten zu minimieren wurden daher ausschließlich Rechtshänder rekrutiert.

	Links		← Händigkeit →				Rechts	
Händigkeits-Score	< -99	-99	-75	-25	25	75	> 99	
		bis	bis	Bis	bis	bis		
		-75	-25	25	75	99		
Rechtsdominanz (%)	27	27	22	11	10	6	4	

Tabelle 1: Die Beziehung zwischen dem Händigkeitsgrad und der damit verbundenen Sprachdominanz der rechten Hirnhälfte. Modifiziert nach Knecht et al. (2000).

4.2 Olfaktometer

Für die Zuführung der Gerüche wurde ein mobiles Olfaktometer nach Sommer et al. (2012) verwendet (Abb. 7). Damit wurden den Probandinnen ein zeitlich definierter Geruchsreiz angeboten. Es enthält drei, mit einem Duftstoff versehene Glasflaschen, die über ein pneumatisches Schlauchsystem die Gerüche mittels einer Sauerstoffbrille an die Probandin weitergeben (Abb. 8). Die Duftpräsentation fand in Blöcken statt. Abwechselnd wurde für zwei Sekunden der jeweilige Geruch sowie darauffolgend für eine Sekunde normale Umgebungsluft präsentiert, um eine Adaptation und Habituation zu vermeiden.



Abbildung 7: Frontaldarstellung des mobilen Olfaktometers. Quelle: Sommer et al., 2012, S. 190.

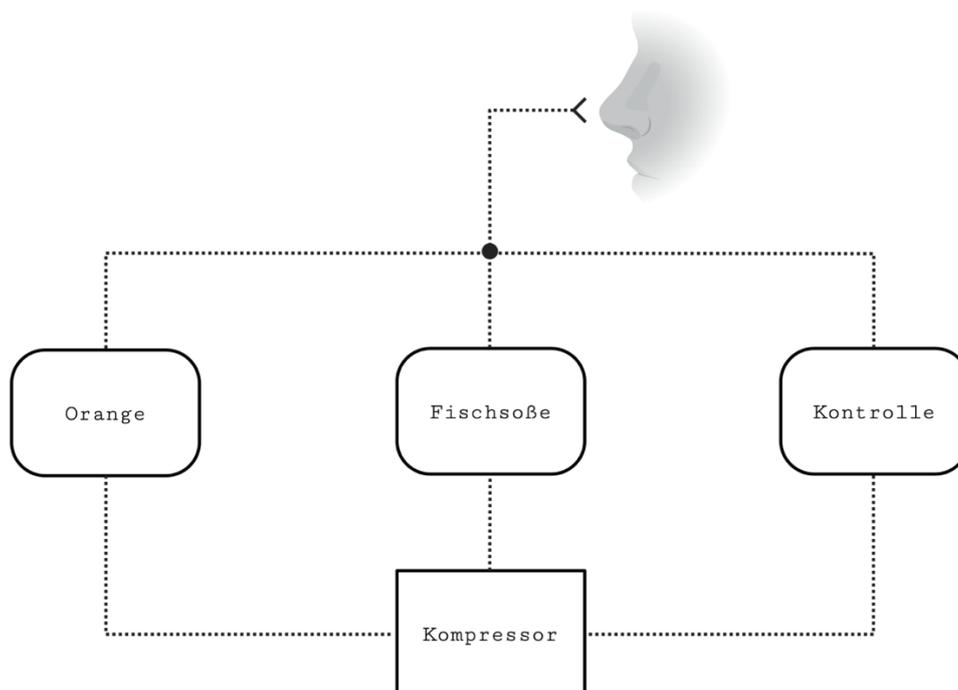


Abbildung 8: Schematischer Aufbau des Olfaktometers. Ein computergesteuerter Kompressor leitet Luft durch das pneumatische Schlauchsystem. Diese wird mit Gerüchen angereichert und mittels Sauerstoffbrille dem Probanden zugeführt.

4.2.1 Verwendete Duftstoffe

Es kamen insgesamt drei verschiedene Gerüche zum Einsatz. Für den angenehmen Geruchseindruck wurde brasilianische Orange (Orangenöl brasilianisch; Art.-Nr. S010099; Firma Frey und Lau, Henstedt-Ulzburg, Deutschland) verwendet. Orangenduft wird allgemein als angenehm, entspannend und stimmungshobend empfunden (Lehrner et al., 2000). Um einen möglichst unangenehmen Geruchseindruck herbeizuführen wurde Fischsoße (Squid brand, The Fish Sauce Factory, Thailand) gewählt. Diese enthält einige flüchtige Verbindungen wie Aldehyde, Alkohole, Ammoniak und Trimethylamin, die im Allgemeinen als geruchlich unangenehm beschrieben werden. Der Kontrollgeruch bestand aus Raumluft, die im Olfaktometer befeuchtet wurde.

4.3 Ethische Gesichtspunkte

Die Studie wurde von der Ethikkommission an der technischen Universität Dresden (EK202052017) genehmigt.

4.4 Versuchsaufbau

Zu Beginn jeder Testung wurden die Probanden über den Ablauf der Studie, die Risiken und die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme belehrt und hatten zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit, ohne Angabe von Gründen, von dem Versuch zurückzutreten. Mit einer Unterschrift auf der Einwilligungserklärung stimmten sie der Verarbeitung ihrer anonymisierten, personenbezogenen Daten zu.

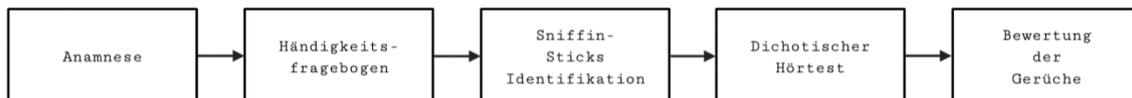


Abbildung 9: Reihenfolge des Untersuchungsablaufes. Zuerst wurde eine persönliche Anamnese erhoben, es folgte die Bestimmung der Händigkeit sowie Fähigkeit zur Identifikation der Gerüche des Sniffin-Sticks-Tests. Im Anschluss wurde der eigentliche Versuch durchgeführt und am Ende eine Bewertung der Hedonik und Intensität der Gerüche abgefragt.

4.4.1 Anamnese

Im Anschluss wurde von den Probanden ein Anamnesebogen ausgefüllt, der die für den Versuch wichtigsten Basisparameter abfragte (Tab. 2). Diese sind im Einzelnen:

Allgemeine Anamnese	Geschlecht, Alter, Körpergröße, Körpergewicht, Muttersprache, Derzeitiger Gesundheitszustand, Rauchen, Alkohol, Drogen, Medikamente
Spezielle Anamnese	Nasenoperationen, Polypen, Asthma, SHT, Morbus Parkinson in der Familie, Morbus Alzheimer in der Familie, andere neurologische Erkrankungen, andere Chronische Erkrankungen

Tabelle 2: Anamnesebogen mit allgemeiner und spezieller Anamnese

4.4.2 Händigkeitstest

Zur Bestimmung der Händigkeit wurde ein Standard-Händigkeitstest nach dem Edinburgh Handedness Inventory durchgeführt (Oldfield, 1971). Die Probandinnen mussten hierbei angeben, mit welcher Hand sie die folgenden zwölf alltäglichen Situationen bevorzugt durchführen: schreiben, werfen, kehren, schaufeln, ein Zündholz anzünden, einen Tennisschläger halten, einen Faden in ein Nadelöhr einbringen, Karten beim Kartenspiel verteilen, einen Glasdeckel öffnen sowie Benutzen einer Schere, eines Hammers und einer Zahnbürste. Die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten waren „Immer rechts/links“, „Meistens rechts/links“ und „Weder noch“, mit deren Hilfe ein Punktwert

ermittelt wurde, um die Rechts- oder Linkshändigkeit des Probanden festzustellen (Tab. 3). Die Skalenwerte betragen -2 (Immer links), -1 (meistens links), 0 (weder noch), +1 (meistens rechts) und +2 (immer rechts). Die Gesamtpunktzahl variierte dabei von -24, was für eine ausgeprägte Präferenz der linken Hand spricht, bis +24, was eine ausgeprägte Rechtspräferenz darstellt. Probanden mit Werten >0 galten dementsprechend als Rechtshänder, Probanden mit Werten <0 als Linkshänder.

<i>Mit welcher Hand..</i>	<i>Immer links</i>	<i>Meistens links</i>	<i>Weder noch</i>	<i>Meistens rechts</i>	<i>Immer rechts</i>
<i>...halten sie den Stift, um einen Brief leserlich zu schreiben?</i>					
<i>...werfen Sie einen Ball, um ein bestimmtes Ziel zu treffen?</i>					
<i>...halten Sie einen Tennisschläger?</i>					
<i>...greifen Sie das obere Ende des Schaufelstiels beim Schaufeln?</i>					
<i>...nehmen Sie das Zündholz, um es an einer Streichholzschachtel anzuzünden?</i>					
<i>...halten Sie die Schere beim Schneiden eines Stück Papiers?</i>					
<i>...halten Sie den Faden beim Einfädeln eines Fadens in ein Nadelöhr</i>					
<i>...verteilen Sie die Karten beim Kartenspiel</i>					
<i>...halten Sie den Hammer, um einen Nagel in die Wand zu schlagen?</i>					
<i>...halten Sie die Zahnbürste beim Zähneputzen?</i>					
<i>...öffnen Sie den Deckel eines Glases?</i>					

Tabelle 3: Modifizierter Händigkeitsfragebogen nach dem Edinburgh Handedness Inventory. Eigene Darstellung nach Oldfield (1971)

4.4.3 Sniffin-Sticks

Im Anschluss wurde zur Feststellung der Fähigkeit der Teilnehmer, Gerüche voneinander zu unterscheiden, der Sniffin-Sticks-Identifikationstest nach Hummel und Kobal durchgeführt (Hummel et al., 1997), mit dessen Hilfe sich Normosmiker von Anosmikern

zuverlässig unterscheiden lassen (Wolfensberger, 2000) (Tab. 4). Dabei wurden den Probandinnen 16 Kunststoffröhrchen mit unterschiedlichen Gerüchen im Abstand von ca. 1-2 cm für 2 Sekunden präsentiert. Aus vier verschiedenen Auswahlmöglichkeiten musste die korrekte Antwort entsprechend des Multiple-Choice-Prinzips gewählt werden. Die Auswahl der Gerüche basiert darauf, dass Probanden mit allen zu identifizierenden Gegenständen vertraut sind, die zu unterscheidenden Gerüche sich ähneln und von Normosmikern in mindestens 75 % der Fälle richtig erkannt werden sollten (Hummel et al., 1997). Wurden weniger als 11 der 16 Gerüche korrekt erkannt, führte dies zum Ausschluss der Probandin aus der Studie.

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

Tabelle 4: Auswahlmöglichkeiten des Diskriminationstests. Die farbigen Markierungen entsprechen den korrekten Antworten. Eigene Darstellung nach Hummel et al. (1997).

4.4.4 Dichotischer Hörtest

Zur Durchführung des dichotischen Hörtests wurde auf einem iPad (Apple, China) in Verbindung mit Over-Ear-Kopfhörern (Sony MDR-XB950APB, China) die App iDichotic (v1.3.0, Bergen fMRI Group) verwendet. In den Einstellungen der App wurde die

Sprachausgabe „Deutsch“ verwendet. Ebenfalls mussten die Probandinnen ihre Muttersprache, Geschlecht, Alter und Händigkeit in den Einstellungen angeben.

Zu Beginn absolvierten sie einen Hörtest, bei dem sie die Lautstärke eines 1000-Hz-Tons so einstellen mussten, dass sie ihn gerade so nicht mehr hören konnten. Dieser Test wurde für das rechte und das linke Ohr getrennt voneinander vorgenommen und diente dazu, Hörasymmetrien auszuschließen, die sich verfälschend auf das Ergebnis auswirken könnten (Bless et al., 2013).

Im Anschluss absolvierten die Probandinnen den dichotischen Hörtest, bei dem auf dem rechten und linken Ohr jeweils zeitgleich unterschiedliche Silben abgespielt wurden (Bryden, 1988, zit. nach Hugdahl et al., 2009), während sie die Geruchseindrücke mittels Nasenbrille zugeführt bekamen. Basierend auf dem Standardtest für dichotisches Hören der Universität Bergen bestanden die Stimuli aus den sechs Silben /ba/, /da/, /ga/, /ta/, /ka/ und /pa/ (Hugdahl, 2003, zit. nach Bless et al., 2013, S. 2), die paarweise und randomisiert in allen möglichen Kombinationen präsentiert wurden. Es konnten dementsprechend insgesamt 36 verschiedene Silbenkombinationen vorkommen, von denen sechs Homonyme waren. Die Homonyme wurden aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Ein vollständiger Versuchsdurchgang bestand somit aus 3x36 akustischen Stimuli, die im Abstand von vier Sekunden abgegeben wurden. Innerhalb des 4-sekündigen Intervalls mussten die Probanden die von ihnen erkannte Silbe auf dem Tablet auswählen. Insgesamt absolvierten alle Probanden für jeden Geruch drei Durchgänge, also insgesamt neun (Tab. 5). Forciert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Probandinnen auf eines der beiden Ohren konzentrierten (Rechts-forciert, links-forciert) oder auf keines der beiden Ohren (Nicht-forciert).

Kontrollgeruch	<i>Nicht-forciert</i>
	<i>Forciert-Rechts</i>
	<i>Forciert-Links</i>
Orange	<i>Nicht-forciert</i>
	<i>Forciert-Rechts</i>
	<i>Forciert-Links</i>
Fischöl	<i>Nicht-Forciert</i>
	<i>Forciert-Rechts</i>
	<i>Forciert-Links</i>

Tabelle 5: Darstellung der neun Testdurchgänge.

Der nicht-forcierte Durchgang wurde dabei stets zuerst durchgeführt, die Reihenfolge der beiden forcierten Durchgänge wurde nach dem Zufallsprinzip festgelegt. Es konnten pro Durchgang nach Abzug der sechs Homonyme maximal 30 Silben korrekt erkannt werden. Die Reihenfolge der Gerüche wurde nachfolgendem Muster entnommen (Tab. 6).

Proband	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3
1	Kontrollgeruch	Orange	Fischöl
2	Orange	Fischöl	Kontrollgeruch
3	Fischöl	Kontrollgeruch	Orange
4	Kontrollgeruch	Orange	Fischöl
5	Orange	Fischöl	Kontrollgeruch
6	Fischöl	Kontrollgeruch	Orange

Tabelle 6: Vorgegebene Reihenfolge der Gerüche für die Probanden 1-6.

Die erste Probandin begann also mit dem Kontrollgeruch, auf den der angenehme Geruch und anschließend der unangenehme Geruch folgten. Zu Beginn eines jeden Geruchs konzentrierte sich die Probandin also auf beide Ohren gleichermaßen (nicht-forciertes Durchgang). Danach musste sie sich, ausgewählt durch das Zufallsprinzip, entweder auf das rechte (forciert-rechts) oder linke (forciert-links) Ohr konzentrieren (Abb. 10).

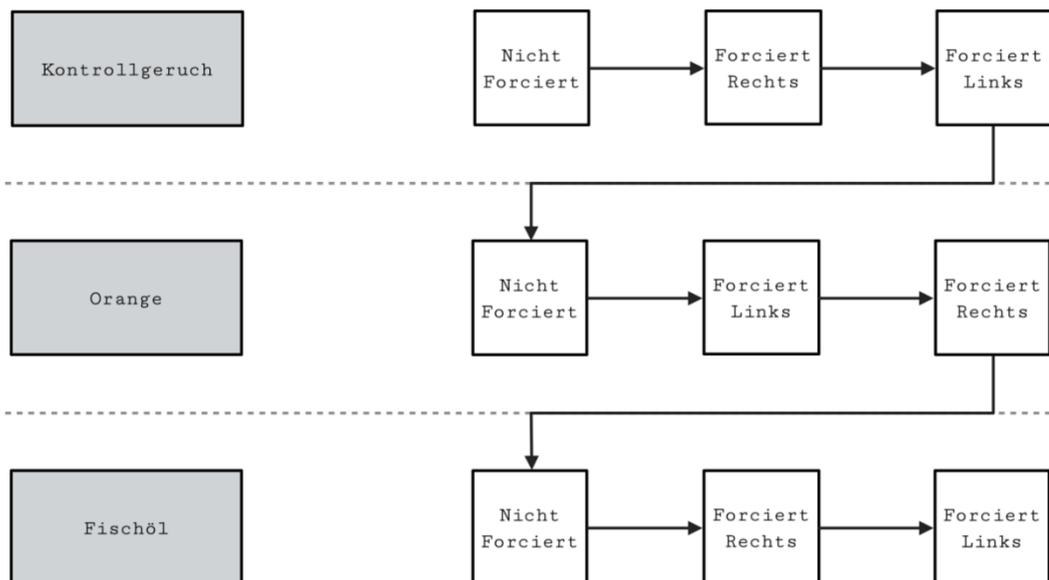


Abbildung 10: Ein vollständiger Testdurchgang am Beispiel der ersten Probandin. Sie startete mit dem Kontrollgeruch, auf den die Orange und schließlich das Fischöl folgte. Der nicht-forcierte Durchgang wurde dabei immer zu Beginn eines Geruchwechsels durchgeführt. Die Reihenfolge der forciert-rechts- und forciert-links-Durchgänge entsprach dem Zufallsprinzip.

Nicht-forcierter Durchgang:

Im nicht-forcierten Durchgang wurden die Probandinnen gebeten, sich gleichmäßig auf beide Ohren zu konzentrieren. Sie sollten die Silben eingeben, die sie am deutlichsten verstanden hatten, unabhängig davon, ob sie sie auf dem rechten oder linken Ohr erkannten. Nur die Eingabe einer einzigen Silbe war möglich. Die Eingabe einer nicht genannten, also falsch erkannten Silbe bedeutete eine fehlerhafte Antwort. Der Durchgang dauerte ca. drei Minuten (Abb. 11-13).

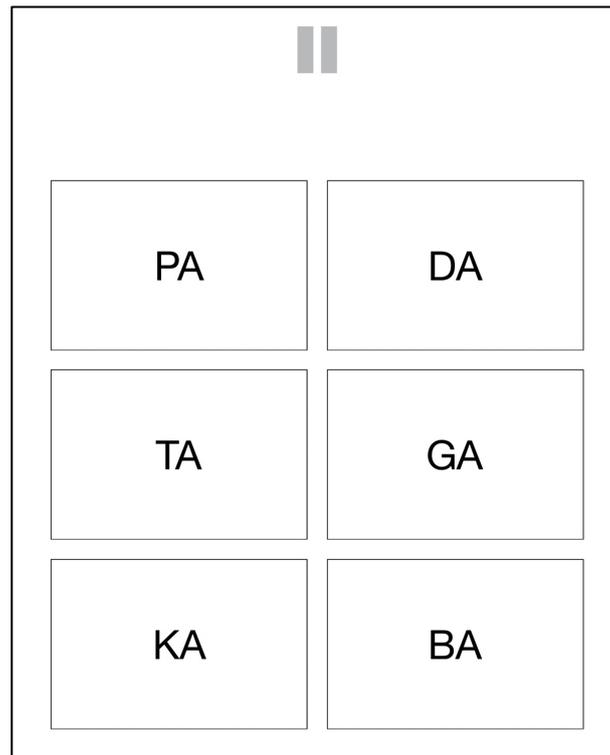


Abbildung 11: Bedienoberfläche des Programms. Quelle: iDichotic, Bergen fMRI Group

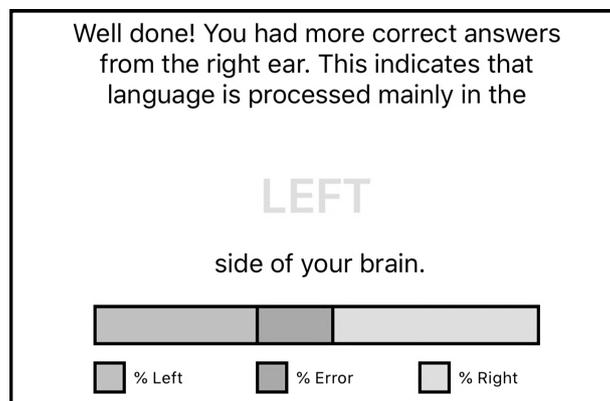


Abbildung 12: Beispielhafte Auswertung des nicht-forcierten Durchgangs. Quelle: iDichotic, Bergen fMRI Group

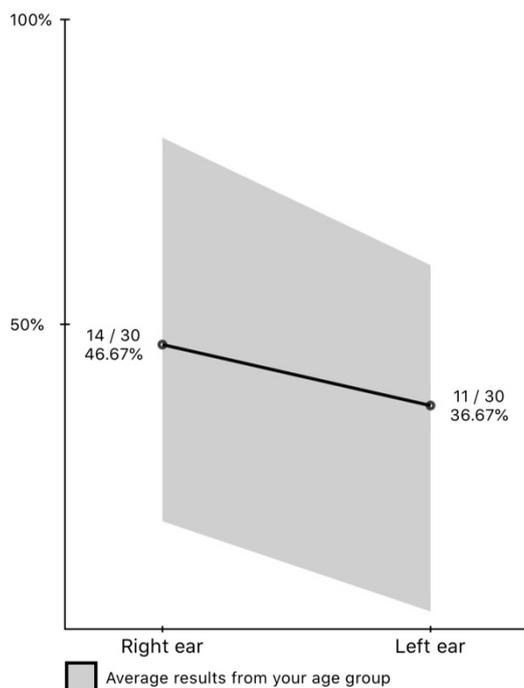


Abbildung 13: Beispielhafte Auswertung des nicht-forcierten Durchgangs. Mit dem rechten Ohr wurden 14 Silben erkannt, mit dem linken Ohr 11 Silben. 5-Mal wurde weder auf dem rechten, noch auf dem linken Ohr die korrekte Silbe erkannt. Quelle: iDichotic, Bergen fMRI Group

Forcierte Durchgänge:

In den forcierten Sitzungen wurden die Probandinnen gebeten, diejenige Silbe einzugeben, die sie auf dem rechten (Forciert-Rechts) oder linken (Forciert-Links) Ohr hörten. Nur die Silbe der korrekten Seite wurde dabei als richtige Antwort gewertet. Das heißt, dass in der Forciert-Rechten Sitzung die Silbe mit dem rechten Ohr erkannt werden musste, in der Forciert-Linken Sitzung aber die Silbe mit dem linken Ohr (Abb. 15).

Well done! You were correct 40.00% of the time.

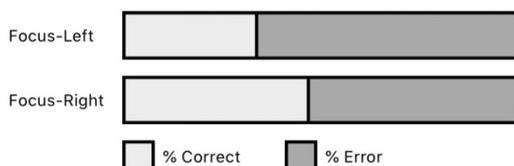


Abbildung 14: Beispielhafte Auswertung des Nicht-Forcierten Durchgangs. Quelle: iDichotic, Bergen fMRI Group

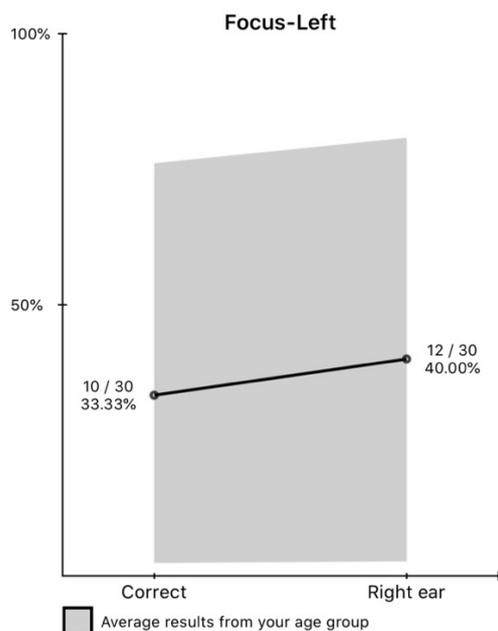


Abbildung 15: Beispielhafte Auswertung eines links-forcierten Durchgangs. Mit dem rechten Ohr wurden 10 Silben erkannt, mit dem linken Ohr 12 Silben. 8-Mal wurde weder auf dem rechten, noch auf dem linken Ohr die korrekte Silbe erkannt. Quelle: iDichotic, Bergen fMRI Group

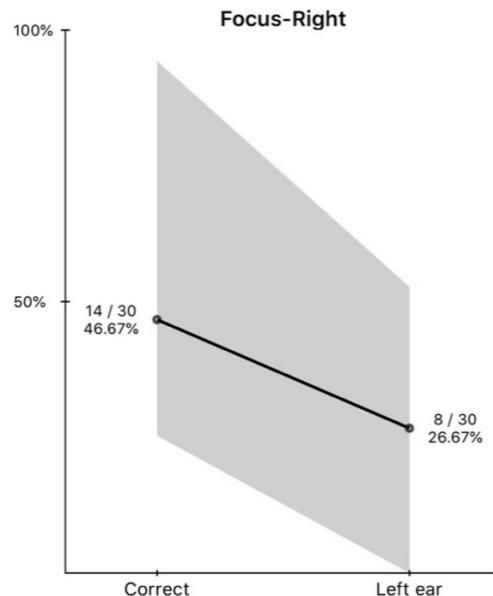


Abbildung 16: Beispielhafte Auswertung des rechts-forcierten Durchgangs. Mit dem rechten Ohr wurden 14 Silben erkannt, mit dem linken Ohr 8 Silben. 8-Mal wurde weder auf dem rechten, noch auf dem linken Ohr die korrekte Silbe erkannt. Quelle: iDichotic, Bergen fMRI Group

Die Ergebnisse des Tests wurden den Probandinnen erst nach einer kompletten Sitzung mit allen drei Durchgängen präsentiert, um eine Verfälschung durch die Zwischenergebnisse zu vermeiden (Anhang 1).

4.4.5 Bewertung der Gerüche

Nach einem kompletten Durchgang mit einem Geruch mussten die Teilnehmerinnen diesen in Bezug auf Intensität und Hedonik bewerten. Die Hedonik konnte von -10 (sehr unangenehm) bis +10 (sehr angenehm) bewertet werden. Die Intensitätsskala reichte von 0 (nicht wahrnehmbar) bis 10 (sehr intensiv) (Abb.17).

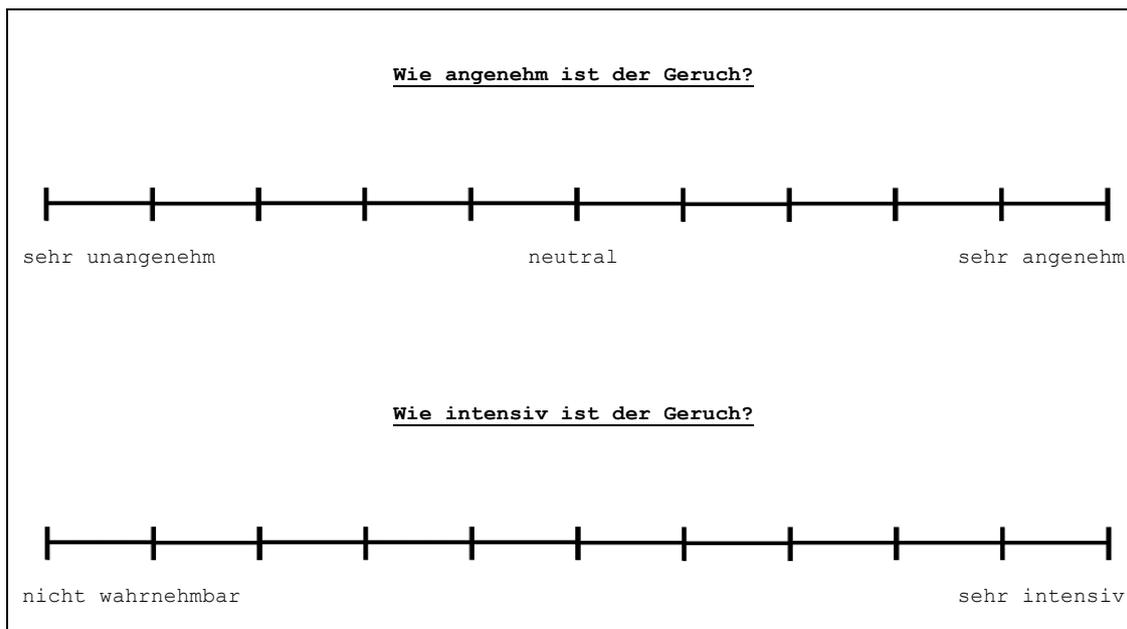


Abbildung 17: Skala zur Bewertung der Gerüche nach Annehmlichkeit und Intensität.

4.5 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit dem Programm „Statistical Package for the Social Sciences“ (Version 24; SPSS Inc., USA) durchgeführt. Die Anzahl der richtigen und falschen Antworten vom rechten und linken Ohr waren dabei die abhängigen Variablen. Die Daten wurden mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) analysiert. Abhängige Faktoren waren die Sitzungen (forciert-links, forciert-rechts, nicht-forciert) sowie die Geruchseindrücke (angenehm, unangenehm, neutral) innerhalb eines „within-subject“-Designs. Kam es im Mauchly-Test zu Verletzungen der Sphärizität, wurde eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser angewendet.

5 Ergebnisse

5.1 Patientenkollektiv

Um eine homogene Gruppe mit Rechtsohr-Vorteil zu erhalten, wurden in die Auswertung ausschließlich Probandinnen einbezogen, die mehr Silben auf dem rechten Ohr als auf dem linken Ohr erkannten. Dies traf auf 89 (74 %) Probandinnen zu, deren mittleres Alter bei $31,1 \pm 13,9$ Jahren lag.

5.2 Bewertung der Händigkeit

Im Mittel erreichten die Probanden gemäß des Edinburgh Handedness Inventory einen Händigkeitspunktwert von $20,76 \pm 3,76$ bei 24 maximal möglichen Punkten.

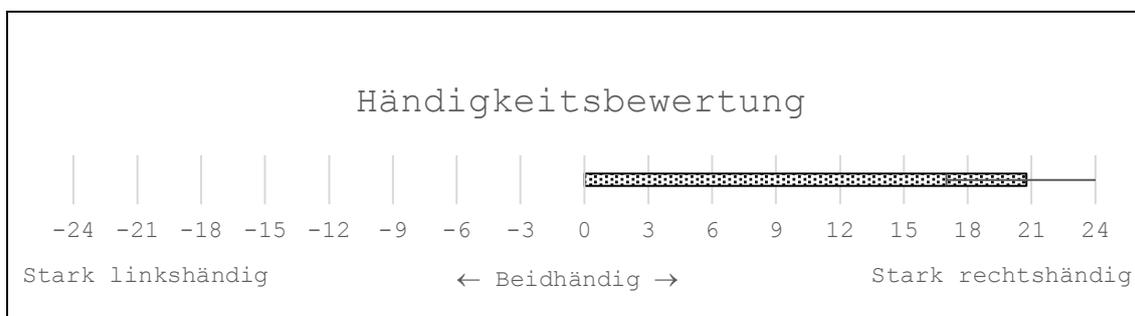


Abbildung 18: Bewertung der Händigkeit nach dem Edinburgh-Handedness-Inventory. Positive Werte zeigen die Tendenz zur Rechtshändigkeit, negative Werte die Tendenz zur Linkshändigkeit.

5.3 Bewertung der Gerüche

Im Schnitt bewerteten die Probanden den angenehmen (Orange: $6,03 \pm 1,85$) und unangenehmen (Fischöl: $6,90 \pm 2,04$) Geruch mit einer hohen Intensität.

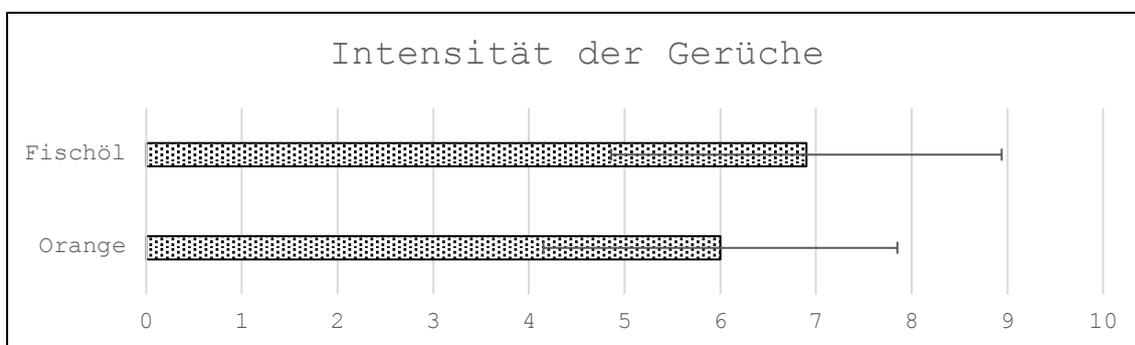


Abbildung 19: Bewertung der Intensität der Gerüche von 0 (nicht wahrnehmbar) bis 10 (sehr intensiv).

Die Annehmlichkeit der brasilianischen Orange wurde mit 4.8 ± 3.6 bewertet, während das Fischöl mit $-4,7 \pm 3,5$ als unangenehm empfunden wurde.

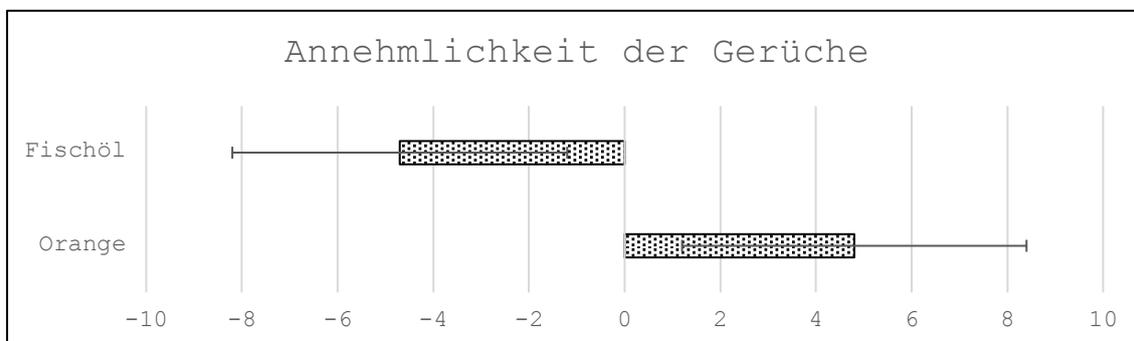


Abbildung 20: Bewertung der Annehmlichkeit der Gerüche von -10 (sehr unangenehm) über 0 (neutral) bis +10 (sehr angenehm).

5.4 Korrekte Antworten des rechten Ohres

5.4.1 Unterschiede zwischen den FR-, NF-, FL-Sitzungen

Bei der Auswertung der auf dem rechten Ohr korrekt erkannten Silben zeigte sich ein signifikanter Effekt zwischen den Sitzungen ($F(1.13,99.20) = 91,1, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,509$).

Auf dem rechten Ohr wurden während der FR-Sitzungen mehr Silben ($17,30 \pm 0,37$) erkannt als in den NF-Sitzungen ($15,10 \pm 0,24, p < 0,001$) und FL-Sitzungen ($10,86 \pm 0,40, p < 0,001$). Während den NF-Sitzungen wurden mehr Silben erkannt als in den FL-Sitzungen ($p < 0,001$).

Konzentrierten sich die Probanden also auf das rechte Ohr, erkannten sie mehr Silben mit dem rechten Ohr korrekt, während sie bei einer gleichmäßigen Fokussierung auf beide Ohren weniger und bei der Fokussierung auf das linke Ohr noch weniger Silben mit dem rechten Ohr richtig erkannten.

forciert-links	nicht-forciert	forciert-rechts
$10,86 \pm 0,40$	$15,10 \pm 0,24$	$17,30 \pm 0,37$

Tabelle 7: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Sitzungen. Dargestellt ist der Mittelwert mit Angabe des Standardfehlers.

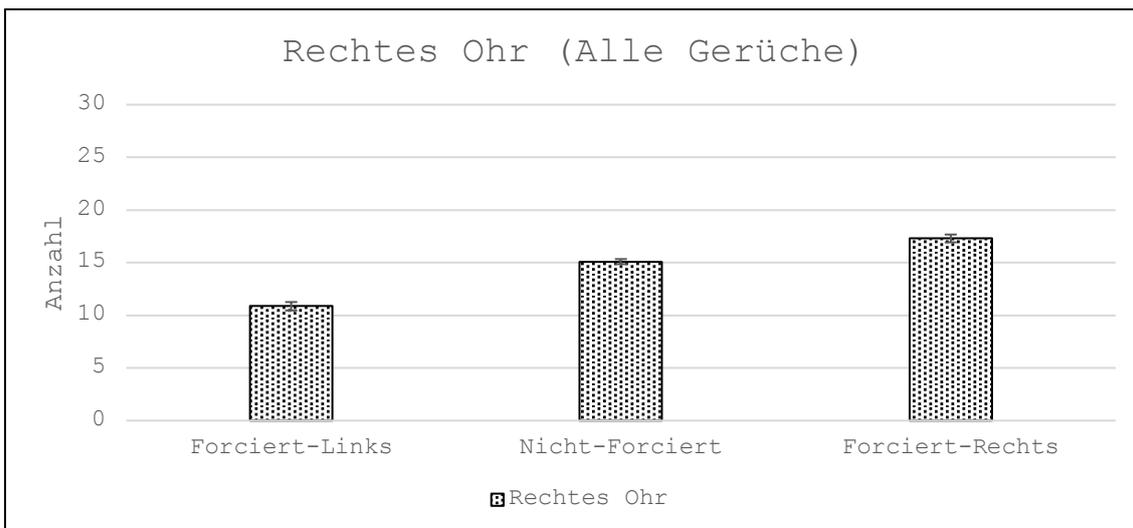


Abbildung 21: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Sitzungen. Dargestellt sind die mit dem rechten Ohr korrekt erkannten Silben über alle Gerüche hinweg (Mittelwert). Forciert links = Die Probandin konzentrierte sich auf das linke Ohr. Nicht-forciert: Die Probandin konzentrierte sich auf keines der beiden Ohren. Forciert-rechts = Die Probandin konzentrierte sich auf das rechte Ohr.

5.4.2 Unterschiede zwischen den Gerüchen

Bei der Auswertung der auf dem rechten Ohr korrekt erkannten Silben zeigte sich ein signifikanter Effekt zwischen den Gerüchen ($F(2,176) = 3,54, p = 0,031, \eta_p^2=0,039$).

Während der Darbietung des angenehmen Geruchs wurden auf dem rechten Ohr mehr Silben korrekt erkannt ($14,69 \pm 0,23$) als während der Wahrnehmung des unangenehmen Geruchs ($14,20 \pm 0,22, p = 0,028$). Der Kontrollgeruch ($14,36 \pm 0,22$) unterschied sich nicht signifikant vom angenehmen ($p = 0,26$) und unangenehmen Geruch ($p \approx 1,00$)

Orange	Neutral	Fischöl
$14,69 \pm 0,23$	$14,36 \pm 0,22$	$14,20 \pm 0,22$

Tabelle 8: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Gerüchen. Dargestellt ist der Mittelwert mit Angabe des Standardfehlers.

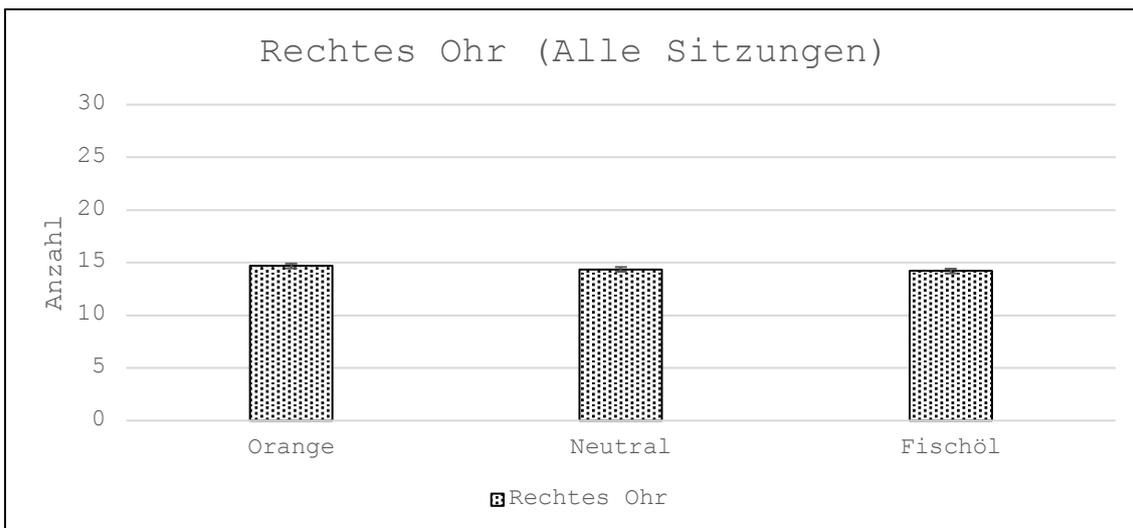


Tabelle 9: Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben nach Gerüchen. Dargestellt sind die mit dem rechten Ohr korrekt erkannten Silben über alle Sitzungen hinweg (Mittelwert und Standardfehler).

Zwischen Sitzungen und Gerüchen wurde kein signifikanter Effekt festgestellt ($F(3,55,312.06) = 1,22, p = 0,301, \eta_p^2 = 0,014$).

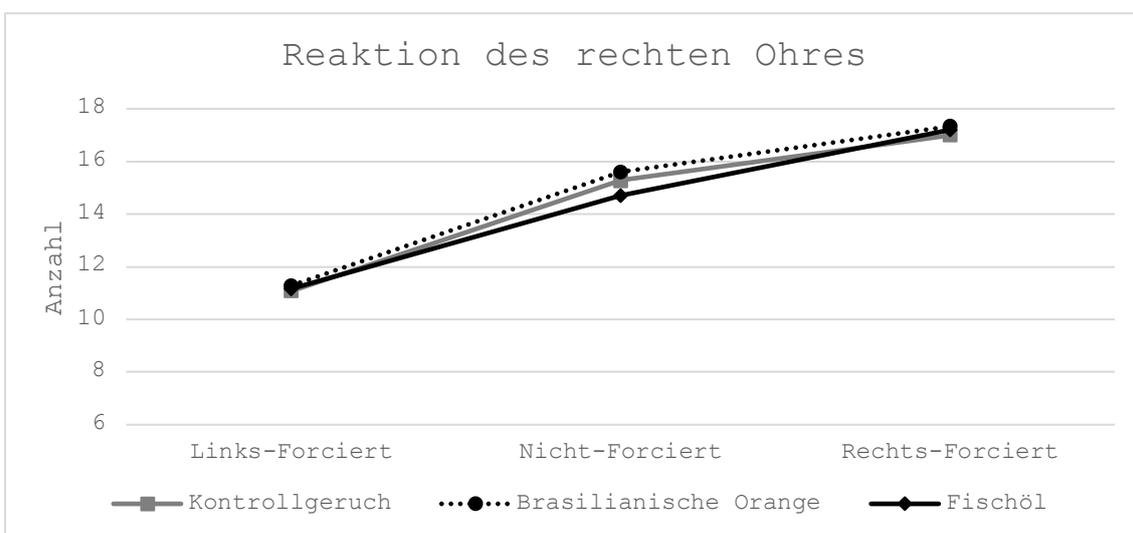


Abbildung 22: Anzahl der mit dem rechten Ohr erkannten Silben unterteilt nach Sitzungen und Gerüchen. Dargestellt sind die mit dem rechten Ohr korrekt erkannten Silben unter allen geprüften Bedingungen: forciert-rechts, forciert-links sowie nicht-forciert unter dem Einfluss von Orangen-, Fischöl- und Kontrollduft.

5.5 Korrekte Antworten des linken Ohres

5.5.1 Unterschiede zwischen den FR-, NF-, FL-Sitzungen

Bei der Auswertung der auf dem linken Ohr korrekt erkannten Silben zeigte sich signifikante Unterschiede zwischen den Sitzungen ($F(1.13,99.68) = 75,03, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,460$).

Auf dem linken Ohr wurden während den FL-Sitzungen mehr Silben erkannt ($12,65 \pm 0,44$) als in den NF- ($9,14 \pm 0,21, p < 0,001$) und FR-Sitzungen ($7,25 \pm 0,26, p < 0,001$). Während den NF-Sitzungen wurden mehr Silben erkannt als in den FR-Sitzungen ($p < 0,001$). Konzentrierte sich die Probandinnen also auf das linke Ohr, erkannten sie mehr Silben mit dem linken Ohr korrekt, während sie bei einer gleichmäßigen Fokussierung auf beide Ohren weniger und bei der Fokussierung auf das rechte Ohr noch weniger Silben mit dem linken Ohr richtig erkannten.

forciert-links	nicht-forciert	forciert-rechts
$12,65 \pm 0,44$	$9,14 \pm 0,21$	$7,25 \pm 0,26$

Abbildung 23: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben nach Sitzung. Dargestellt ist der Mittelwert mit Angabe des Standardfehlers.

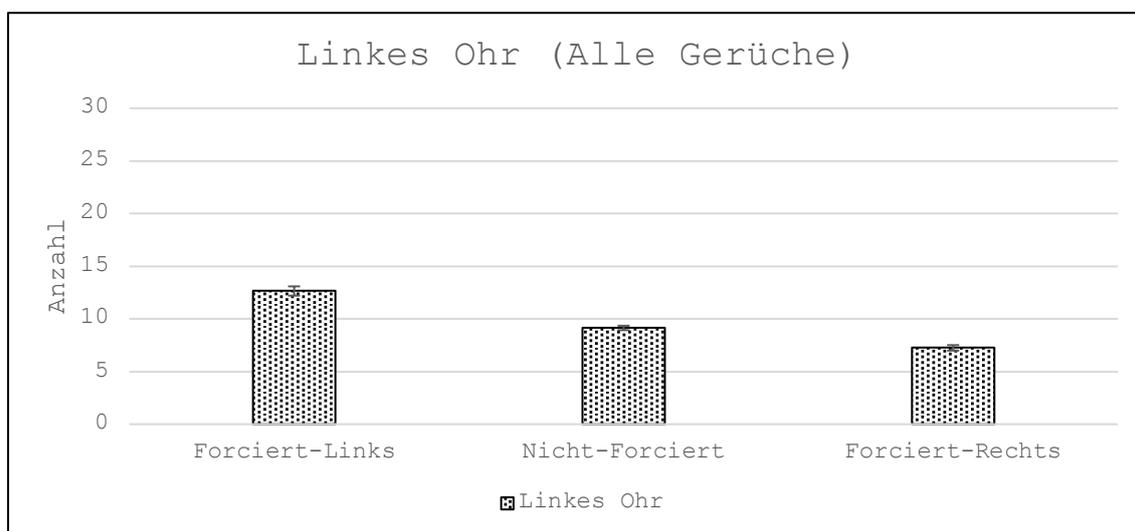


Abbildung 24: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben nach Sitzung. Dargestellt sind die mit dem linken Ohr korrekt erkannten Silben über alle Gerüche hinweg. Forciert links = Die Probandin konzentrierte sich auf das linke Ohr. Nicht-forciert: Die Probandin konzentrierte sich auf keines der beiden Ohren. Forciert-rechts = Die Probandin konzentrierte sich auf das rechte Ohr (Mittelwert und Standardfehler).

5.5.2 Unterschiede zwischen den Gerüchen

Bei der Auswertung der auf dem linken Ohr korrekt erkannten Silben zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gerüchen ($F(2,176) = 0,56$, $p = 0,57$, $\eta_p^2 = 0,006$). Allerdings zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Sitzungen und Gerüchen ($F(4,352) = 3,08$, $p = 0,016$, $\eta_p^2 = 0,034$).

Während des nicht-forcierten Durchgangs wurden bei Darbietung des Kontrollgeruchs auf dem linken Ohr weniger Silben ($8,64 \pm 0,22$) korrekt erkannt als während des angenehmen Geruchs ($9,33 \pm 0,33$, $p = 0,028$) und des unangenehmen Geruchs ($9,45 \pm 0,27$, $p = 0,011$). In den forciert-rechten und forciert-linken Sitzungen zeigte sich dagegen kein signifikanter Unterschied zwischen den Gerüchen.

Orange	Neutral	Fischöl
$9,33 \pm 0,33$	$8,64 \pm 0,22$	$9,45 \pm 0,27$

Tabelle 10: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung. Unterteilung nach Gerüchen. Dargestellt ist der Mittelwert mit Angabe des Standardfehlers.

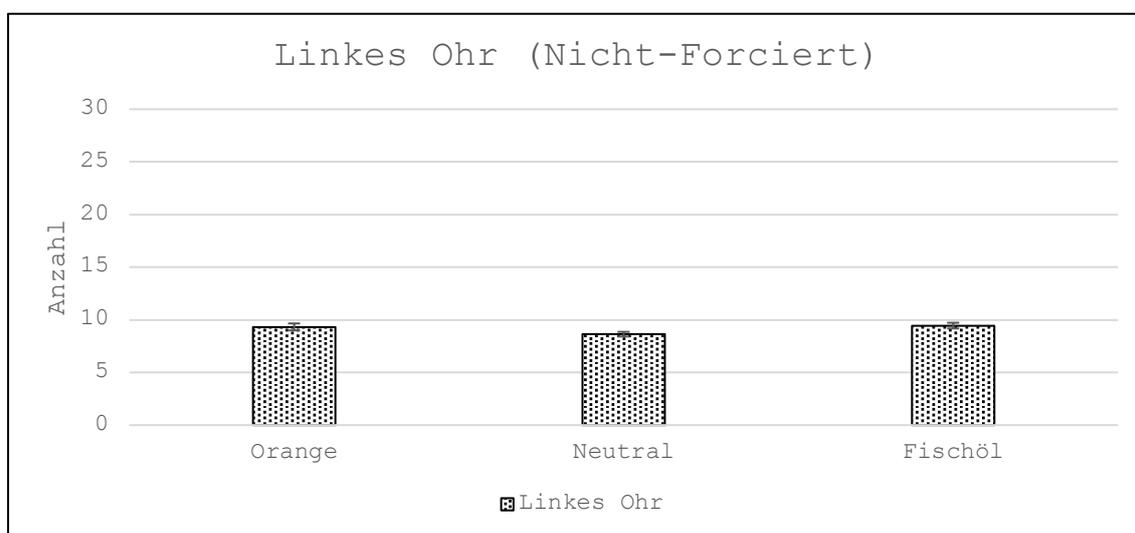


Abbildung 25: Anzahl der auf dem linken Ohr erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung. Unterteilung nach Gerüchen. Dargestellt sind die mit dem linken Ohr korrekt erkannten Silben, wenn der Proband sich auf keines der beiden Ohren konzentrierte (Mittelwert und Standardfehler).

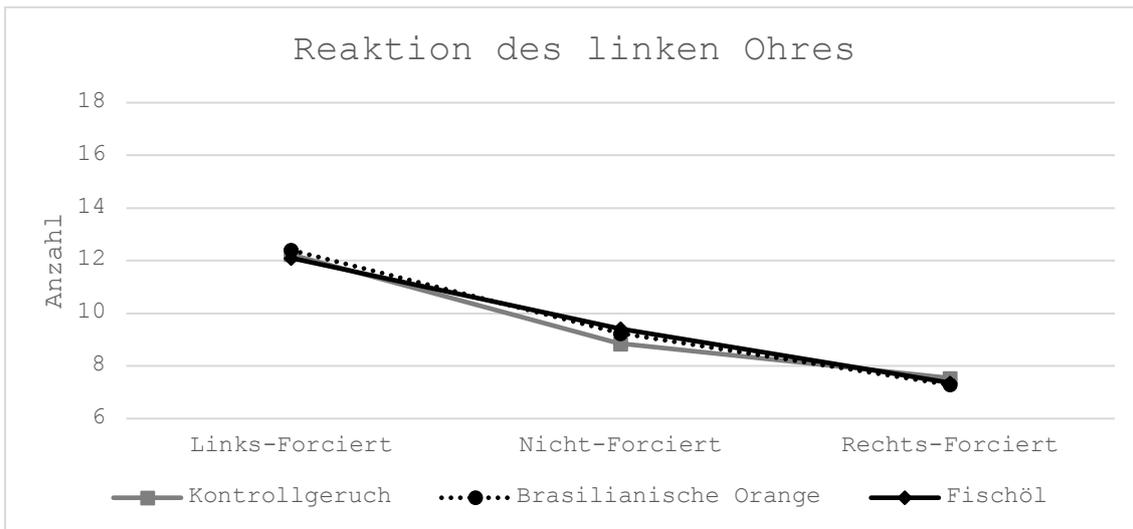


Abbildung 26: Anzahl der mit dem linken Ohr erkannten Silben. Unterteilung nach Sitzungen und Gerüchen. Dargestellt sind die mit dem linken Ohr korrekt erkannten Silben unter allen geprüften Bedingungen: Forciert-rechts, forciert-links sowie nicht-forciert unter dem Einfluss von Orangen-, Fischöl- und Kontrollduft.

5.6 Falsche Antworten

5.6.1 Unterschiede zwischen den FR-, NF-, FL-Sitzungen

Eine fehlerhafte Antwort lag immer dann vor, wenn die Probandin keine der beiden gleichzeitig präsentierten Silben erkennen konnte.

Bei der Auswertung der falsch erkannten Silben zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Sitzungen ($F(1.57, 137.96) = 15,16, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,147$).

Während der FL-Sitzungen wurden mehr Silben ($6,49 \pm 0,24$) falsch erkannt als in den NF-Sitzungen ($5,76 \pm 0,20, p = 0.004$) und den FR-Sitzungen ($5,46 \pm 0,20, p < 0,001$). Zwischen der FR-Sitzung und NF-Sitzung zeigte sich kein signifikanter Unterschied ($p=0,087$).

forciert-Links	nicht-forciert	forciert-rechts
$6,49 \pm 0,24$	$5,76 \pm 0,20$	$5,46 \pm 0,20$

Tabelle 11: Anzahl der nicht erkannten Silben nach Sitzungen. Dargestellt ist der Mittelwert mit Angabe des Standardfehlers.

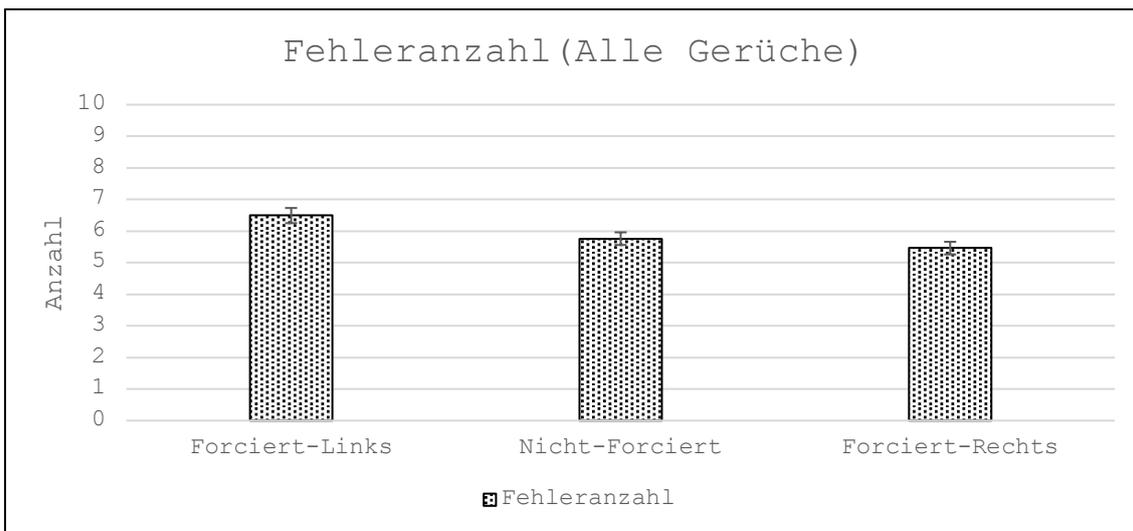


Abbildung 27: Anzahl der nicht erkannten Silben nach Sitzungen. Dargestellt sind die nicht erkannten Silben über alle Gerüche hinweg. Eine fehlerhafte Antwort lag immer dann vor, wenn der Proband keiner der beiden gleichzeitig präsentierten Silben erkennen konnte. Forciert links = Die Probandin konzentrierte sich auf das linke Ohr. Nicht-forciert: Die Probandin konzentrierte sich auf keines der beiden Ohren. Forciert-rechts = Die Probandin konzentrierte sich auf das rechte Ohr (Mittelwert und Standardfehler).

5.6.2 Unterschiede zwischen den Gerüchen

Bei der Auswertung der nicht korrekt erkannten Silben zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gerüchen ($F(2,176) = 5,56, p = 0,005, \eta_p^2 = 0,059$).

Während der Darbietung des angenehmen Geruchs wurden weniger Fehler gemacht ($5,56 \pm 0,22$) als während des unangenehmen Geruchs ($6,11 \pm 0,20, p = 0,012$) und des Kontrollgeruchs ($6,04 \pm 0,22, p = 0,013$).

Angenehm	Neutral	Unangenehm
$5,56 \pm 0,22$	$6,04 \pm 0,22$	$6,11 \pm 0,20$

Tabelle 12: Anzahl der nicht korrekt erkannten Silben nach Gerüchen.

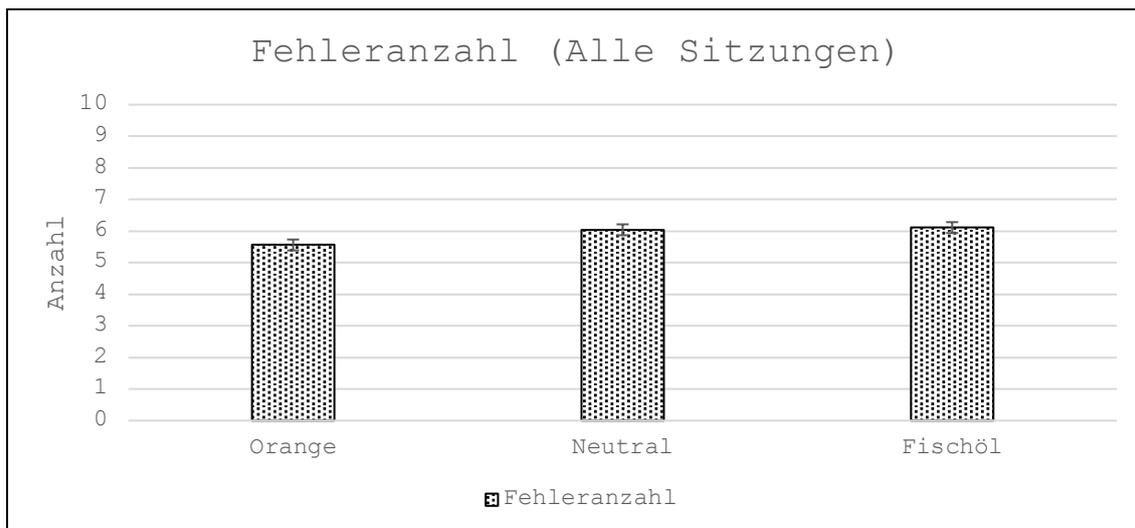


Abbildung 28: Anzahl der nicht korrekt erkannten Silben nach Gerüchen. Dargestellt sind die nicht erkannten Silben in allen Sitzungen unter den jeweiligen Geruchseinflüssen als Mittelwert mit Standardfehler. Eine fehlerhafte Antwort lag immer dann vor, wenn der Proband keiner der beiden gleichzeitig präsentierten Silben erkennen konnte.

Bei der Auswertung der nicht korrekt erkannten Silben zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Sitzungen und Gerüchen ($F(3.76,330.98) = 2,49, p = 0,047, \eta_p^2 = 0,028$).

Während der NF-Sitzung wurden unter Darbietung des angenehmen Geruchs ($5,46 \pm 0,24$) weniger Fehler gemacht als unter Darbietung des unangenehmen ($6,51 \pm 0,3, p = 0,006$) sowie des Kontrollgeruchs ($6,17 \pm 0,24, p < 0,001$). In den forciert-rechten und forciert-linken Sitzungen zeigte sich dagegen kein signifikanter Unterschied zwischen den Gerüchen.

Angenehm	Neutral	Unangenehm
5.46 ± 0.24	6.17 ± 0.24	6.51 ± 0.3

Tabelle 13: Anzahl der nicht erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung nach Gerüchen. Dargestellt ist der Mittelwert mit Angabe des Standardfehlers.

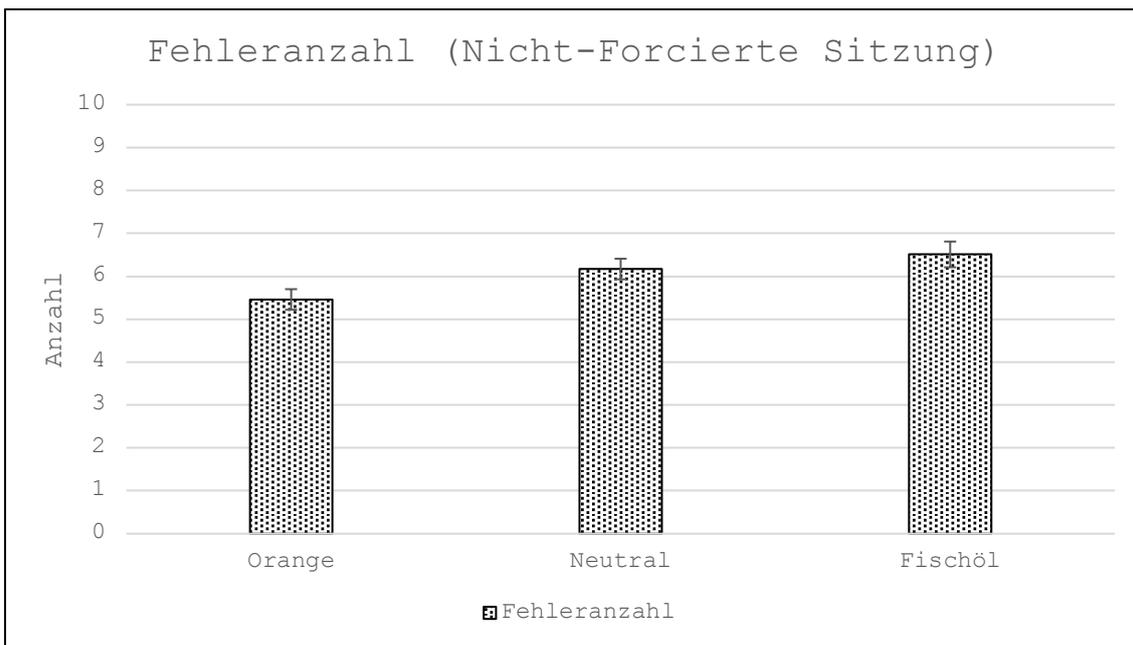


Abbildung 29: Anzahl der nicht erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung nach Gerüchen. Dargestellt sind die nicht erkannten Silben während der nicht-forcierten Sitzung unter den jeweiligen Geruchseinflüssen als Mittelwert mit Standardfehler. Eine fehlerhafte Antwort lag immer dann vor, wenn die Probandin keiner der beiden gleichzeitig präsentierten Silben erkennen konnte.

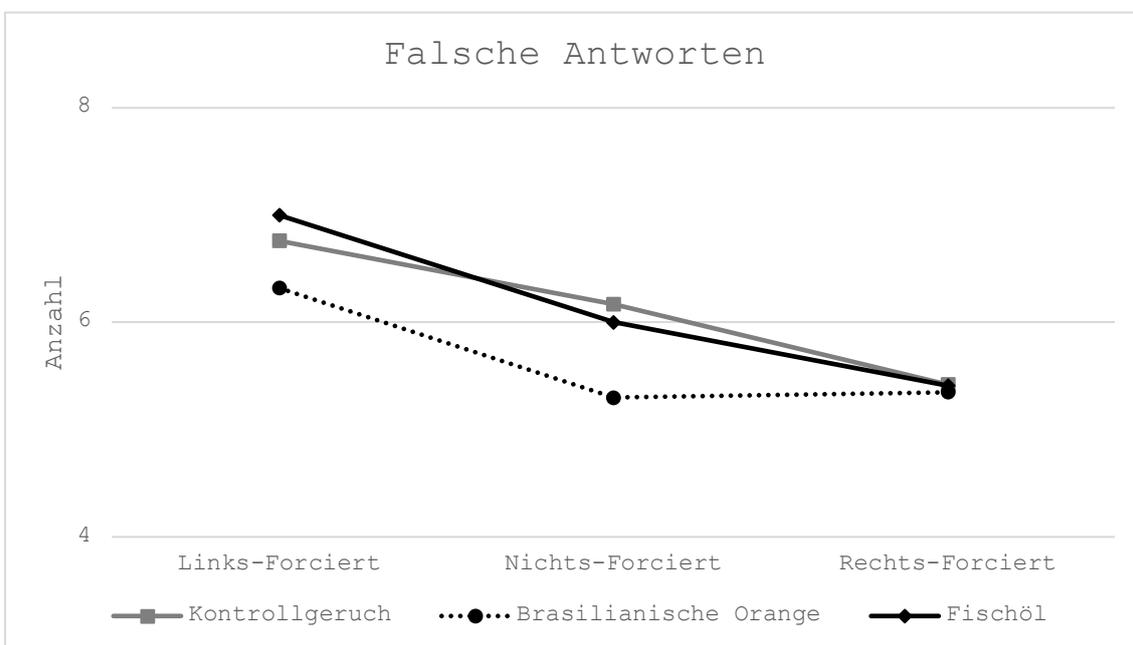


Abbildung 30: Anzahl der nicht erkannten Silben während allen Sitzungen. Unterteilung nach Sitzungen und Gerüchen.

5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Auf dem rechten Ohr zeigte sich unter Einfluss des angenehmen Geruchs ein besseres Sprachverständnis als unter Einfluss des unangenehmen Geruchs.
2. Auf dem linken Ohr zeigte sich während der ungerichteten Aufmerksamkeit (NF) unter beiden Geruchsvarianten ein verbessertes Sprachverständnis
3. Angenehme Gerüche reduzieren die Anzahl falsch erkannter Silben, vor allem während der Durchgänge der ungerichteten Aufmerksamkeit (NF).

6 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden mit Hilfe eines dichotischen Hörtests die möglichen Auswirkungen von angenehmen und unangenehmen Gerüchen auf die auditorische Asymmetrie untersucht.

6.1 Rechtes Ohr

In Übereinstimmung mit der Literatur zeigte sich sowohl bei gerichteter als auch bei ungerichteter Aufmerksamkeit eine Rechtsohrdominanz bei Rechtshändern (Sætrevik und Hugdahl, 2007). Diese war insbesondere in den FR-Sitzungen aber auch in den NF- und FL-Sitzungen nachweisbar. Die geringste Anzahl der auf dem rechten Ohr erkannten Silben wurde während der FL-Sitzungen gemessen, die höchste Anzahl während der FR-Sitzungen. Der angenehme Geruch verstärkte im Vergleich zu den anderen beiden Geruchseindrücken die Rechtsohrdominanz über alle Sitzungen hinweg am meisten. Am stärksten ausgeprägt war dieser Unterschied in den NF-Sitzungen.

6.2 Linkes Ohr

Während der FL-Sitzungen wurden auf dem linken Ohr signifikant mehr Silben richtig erkannt als während der NF- und FR-Sitzungen. Die Geruchseindrücke hingegen hatten nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis. Lediglich in den NF-Sitzungen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Geruchseindrücken einerseits und dem Kontrollgeruch andererseits. Die Probanden schnitten unter dem Einfluss des Kontrollgeruchs schlechter ab als unter dem Einfluss des angenehmen bzw. unangenehmen Geruchs.

6.3 Falsche Antworten

Die FL-Sitzungen wiesen eine signifikant höhere Fehlerquote auf als die NF- und FR-Sitzungen, die sich nur geringfügig voneinander unterschieden. Ebenfalls zeigte sich, dass unter dem Einfluss des angenehmen Geruchs, vor allem während der NF-Sitzung, signifikant weniger Fehler gemacht wurden als unter Einfluss des unangenehmen bzw. Kontrollgeruchs. Hier führte der unangenehme Geruch zu einer signifikant erhöhten Fehlerquote.

6.4 Implikationen

6.4.1 Einfluss des Höreindrucks

Beim dichotischen Hören kommt es zur Interaktion von Top-Down und Bottom-Up-Prozessen im Gehirn, die sich gegenseitig beeinflussen und nicht voneinander trennbar sind. Die physikalischen Eigenschaften des Stimulus (Bottom-Up-Prozess) sowie die gezielte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf eines der Ohren (Top-Down-Prozess) beeinflussen dabei entscheidend die Signalverarbeitung und damit den Rechts- bzw. Links-Ohr-Vorteil. Beim Bottom-Up-Prozess des Hörens gelangt die Information zum Hörer, während es bei der Top-Down-Modulation zur Übertragung von Vorwissen auf ebendiese kommt. So kann die Person aus bereits gehörten Informationen Rückschlüsse daraus ziehen, was aus seiner bisherigen Erfahrung heraus als nächstes gesagt werden könnte. Bei Rechtshändern kommt es während der kognitiv anspruchsvolleren FL-Sitzungen möglicherweise zu einem Konflikt zwischen diesen Bottom-Up und Top-Down-Prozessen. Während der reine Reiz (Bottom-Up) zu einem Rechtsohrvorteil strebt, drängt die Aufmerksamkeitsverschiebung (Top-Down) auf die Gegenseite. Im Gegenzug kommt es bei den FR-Sitzungen zu einer synergetischen Wirkung von Bottom-Up und Top-Down-Einflüssen (Westerhausen et al., 2009).

Die drei Sitzungsvarianten (NF, FL, FR) sorgten für unterschiedliche kognitive Belastungen. Im Vergleich zu einer binauralen Präsentation birgt die dichotische Hörsituation ein erhöhtes Konfliktpotential, die die Zuschaltung von frontalen Hirnregionen erfordert. Dadurch kommt es zu einem temporo-frontalen Shift mit Aktivierungsmustern im Gyrus frontalis und Gyrus temporalis superior (Bayazit et al., 2009). Ebenfalls findet eine Aktivierung im Gyrus cinguli statt, der für kognitive Prozesse im Bereich der Aufgabenplanung und Fehlererkennung zuständig ist (Yeung und Nieuwenhuis, 2009). Es kommt somit zur Aktivierung von Regionen, die nicht den klassischen Sprachzentren zuzuordnen sind. Diese durch die Verarbeitungskonflikte hervorgerufenen Verknüpfungen könnten für die erhöhte Fehlerquote in den FL-Sitzungen verantwortlich sein.

6.4.2 Einfluss der Gerüche

Auch beim Riechen kommt es zur Interaktion von Top-Down und Bottom-Up Prozessen. Im Bottom-Up-Prozess fließen die sensorischen Informationen beginnend von den Geruchsrezeptoren über den Riechkolben bis zu den kortikalen Hirnregionen. Der rechte Sulcus olfactorius ist deutlicher ausgeprägt als auf der Gegenseite, was für eine Lateralisierung des Riechsystems spricht (Bromley et al., 1997). Die Händigkeit spielt dabei

keine Rolle (Zang et al., 2020). Auch deuten viele Asymmetrien von mit Geruchswahrnehmung assoziierten Strukturen im Großhirn auf eine Lateralisierung hin (Bromley et al., 1997). Bei olfaktorischen Top-Down-Prozessen werden vom Gehirn bekannte Informationen im Bulbus olfactorius verarbeitet, um die eingehenden Bottom-Up-Reize zu modulieren. Dies betrifft insbesondere die Sensitivitätsschwelle und die Fähigkeit zur Geruchsdiskrimination. Die Bewertung der Gerüche nach Hedonik und Intensität basierte auf den subjektiven Einschätzungen der Probandinnen. Diese Wahrnehmung wird durch viele Faktoren beeinflusst, zu denen auch vorangegangene positive und negative Erfahrungen mit dem jeweiligen Duft (Distel, 1999; Robin, 1999), das Lebensalter und Geschlecht (Seo et al., 2008) zählen. Orangenduft steigert Wohlbefinden, Stimmung, Gelassenheit und entfaltet eine entspannende Wirkung auf die exponierten Personen (Lehrner et al., 2000). Angenehme Gerüche verstärken kognitive Funktionen und haben einen positiven Effekt auf die Gedächtnisleistung sowie Stimmung der Probandinnen (Moss et al., 2003; Moss et al., 2006). Die vorliegenden Ergebnisse stützen diese Thesen. Die Gerüche enthielten angenehme und unangenehme Komponenten, so dass beide Geruchseindrücke in den gleichen Arealen des Cortex orbitofrontalis medialis verarbeitet werden (Grabenhorst et al., 2007). Die Verarbeitung der mit Vertrautheit und Intensität zusammenhängenden Geruchseigenschaften lässt sich auf eine Aktivierung des linken medialen orbitofrontalen Kortex mit angenehmen Gerüchen zurückführen (Grabenhorst et al., 2007; Royet et al., 2003). Das Belohnungszentrum ist ebenfalls dort lokalisiert (Cheng et al., 2016). Die Versuchsergebnisse legen die Vermutung nahe, dass es bei der Darbietung des angenehmen Geruchs zu einer Aktivierung des Belohnungszentrums und dadurch zu einer Verbesserung der dichotischen Hörleistung kommt. Dieser Effekt ließ sich allerdings nur in den NF-Sitzungen nachweisen, nicht jedoch in den FR- und FL-Sitzungen. Eine mögliche Erklärung liegt darin, dass während der NF-Sitzungen reizbezogene (Bottom-Up-)Prozesse priorisiert werden, während aufmerksamkeitsbezogene (Top-Down-)Prozesse während der erzwungenen FL- und FR-Sitzungen eine höhere Priorität erhalten. Ebenfalls liegt die Vermutung nahe, dass die aufmerksamkeitsgerichteten (Top-Down-)Prozesse während der forcierten Sitzungen die Effekte der dargebotenen Gerüche verdrängen, während die Bottom-Up-Stimulation durch die Gerüche in den NF-Sitzungen eine verstärkte Stimulation verursachte. Die erhöhte kognitive Belastung in den FL und FR-Sitzungen führt somit zu einer erhöhten Hirnaktivität im Frontallappen beider Hirnhälften, welche den Einfluss der olfaktorischen Reize überschattet (Bayazit et al., 2009). Die Top-Down-Modulation verfügt über mehr Ressourcen als der Bottom-Up-Reiz und unterdrückt diesen dadurch. Auch führen

aufmerksamkeitsbezogene Prozesse möglicherweise zu einer verringerten Aktivierung des Belohnungssystems durch angenehme Gerüche. Derzeit liegen noch nicht ausreichend Studiendaten vor, um den genauen Einfluss von Bottom-Up-Mechanismen während der Aufmerksamkeitsprozesse unter olfaktorischen Einflüssen nachzuweisen.

Folgende Vermutungen lassen sich aufstellen:

1. Angenehme Gerüche führen zu einer Aktivierung des Belohnungssystems und damit zu einer Verstärkung der Top-Down-Prozesse beim dichotischen Sprachverständnis. Sie verstärken vorwiegend den linkshemisphärischen Kortex und führen zu einer kognitiven Verbesserung in nicht-aufmerksamkeitsbezogenen (NF) Prozessen.
2. Bei ungerichteter Aufmerksamkeit (NF) überwiegt der Einfluss des Stimulus (Bottom-Up-Prozess). Hier führen angenehme und unangenehme Gerüche zu einer verstärkten Aktivität in beiden Hemisphären.
3. In den aufmerksamkeitsgerichteten, forcierten Sitzungen (FR/FL) überwiegt der Einfluss der Top-Down-Modulation des Gehirns.
4. In den aufmerksamkeitsgerichteten, forcierten Sitzungen (FR/FL) führen beide Geruchseindrücke zu einer Verstärkung der kognitiven Leistung der rechten Hemisphäre.

6.5 Limitationen des Versuchs

In der vorliegenden Studie wurden in der Sprachausgabe einzelne Silben verwendet. Andere, non-verbale, Stimuli könnten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Ebenfalls wurde der Einfluss der Muttersprache nicht berücksichtigt. Die Gerüche wurden von manchen Probanden hedonisch anders bewertet als zu erwarten gewesen wäre. Einige empfanden den Fischgeruch als angenehm, den Orangenduft hingegen als unangenehm. Ebenfalls muss die zeitliche Länge des Experiments als mögliche Fehlerquelle in Betracht gezogen werden. Der Versuch dauerte ca. eine Stunde und stellte eine enorme kognitive Belastung dar, die die Ergebnisse, vor allem in den letzten Durchgängen, negativ beeinflusst haben könnte. Teilgenommen haben vorwiegend jüngere Probandinnen mit enger Beziehung zur technischen Universität Dresden. Der höhere Bildungsgrad und die höhere Intelligenz im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung könnten sich in einer unterschiedlich hohen kognitiven Belastung widerspiegeln (Frischkorn und Schubert, 2018).

Zusammenfassung

Hintergrund

Das Ziel der Studie war es, herauszufinden, ob angenehme und unangenehme Gerüche einen Einfluss auf die lateralisierte Verarbeitung von Sprachreizen haben.

Material und Methoden

Das Patientenkollektiv bestand aus 120 volljährigen (Durchschnittsalter $30,7 \pm 13,4$ Jahre), rechtshändigen Frauen mit normaler Riech- und Hörfunktion. Zu Beginn wurde ein „Sniffin-Sticks“-Identifikationstest sowie ein Hörtest zur Bestimmung von möglichen Hörverlusten durchgeführt. Im Anschluss absolvierten die Probandinnen einen dichotischen Hörtest unter dem Einfluss eines unangenehmen, eines angenehmen sowie eines neutralen Kontrollgeruchs. Insgesamt durchlief jede Probandin neun Durchgänge.

Ergebnisse

Angenehme Gerüche verstärken die Sprachwahrnehmung des rechten Ohres. Angenehme und unangenehme Gerüche verstärken die Sprachwahrnehmung auf dem linken Ohr. Angenehme Gerüche verringern die Anzahl an falsch erkannten Silben insgesamt

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse legen nahe, dass angenehme Gerüche vor allem die linke Hemisphäre aktivieren. Angenehme und unangenehme Gerüche aktivieren beide die rechte Hemisphäre. Angenehme Gerüche beeinflussen das Sprachverständnis insgesamt positiv.

Summary

Background

The purpose of this study was to determine whether pleasant and unpleasant odors have an effect on the lateralized processing of speech stimuli.

Methodology

The patient collective consisted of 120 adult (mean age $30,7 \pm 13,4$ years, right-handed females with normal olfactory and auditory function. Initially, a "Sniffin-Sticks"-Identification test was performed, as well as a hearing test to determine possible hearing loss. Subsequently, the subjects completed a dichotic hearing test under the influence of an unpleasant, a pleasant, and a neutral control odor. In total, each subject underwent nine sessions.

Results

Pleasant odors enhance speech perception in the right ear. Pleasant and unpleasant odors enhance speech perception in the left ear. Pleasant odors decrease the number of incorrect responses.

Conclusion

Pleasant odors mainly activate the left cerebral hemisphere. Pleasant and unpleasant odors both activate the right cerebral hemisphere. Pleasant odors positively influence language comprehension overall

Anhänge

Name: _____ Sniffin-Sticks: _____ Probanden-Nr.: _____

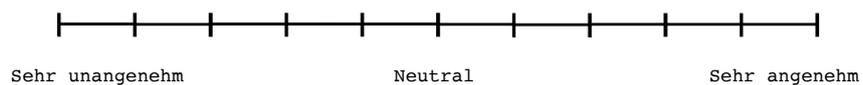
First Session

Geruch: Kontrolle / angenehm / unangenehm

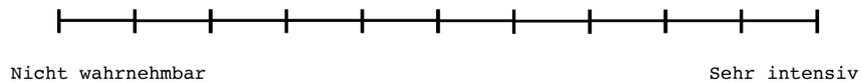
Korrekte Antworten

	Right Ear	Left Ear
Non-Forced		
Forced-Right		
Forced-Left		

Wie angenehm ist der Geruch?



Wie intensiv ist der Geruch?



Literaturverzeichnis

- Anderson, A. K.; Christoff, K.; Stappen, I.; Panitz, D.; Ghahremani, D. G.; Glover, G.; Gabrieli, J. D. E. und Sobel, N. (2003): ‚Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction‘, *Nature Neuroscience*, 6(2), S. 196–202. doi: 10.1038/nn1001.
- Asbjørnsen, A. E. und Hugdahl, K. (1995): ‚Attentional effects in dichotic listening‘, *Brain and Language*, 49(3), S. 189–201. doi: 10.1006/brln.1995.1029.
- Asbjørnsen und Bryden, M. P. (1998): ‚Auditory attentional shifts in reading-disabled students: quantification of attentional effectiveness by the Attentional Shift Index‘, *Neuropsychologia*, 36(2), S. 143–148. doi: 10.1016/s0028-3932(97)00090-0.
- Baron (1990): ‚Environmentally Induced Positive Affect: Its Impact on Self-Efficacy, Task Performance, Negotiation, and Conflict‘, *Journal of Applied Social Psychology*, 20(5), S. 368–384. doi: 10.1111/j.1559-1816.1990.tb00417.x.
- Bayazit, O.; Öviz, A.; Hahn, C.; Güntürkün, O. und Özgören, M. (2009): ‚Dichotic listening revisited: Trial-by-trial ERP analyses reveal intra- and interhemispheric differences‘, *Neuropsychologia*, 47(2), S. 536–545. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.002.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2015): ‚Gerüche und Geruchsbelästigungen‘, . Verfügbar unter: https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_23_geruchsbelaestigungen.pdf.
- Bensafi, M.; Iannilli, E.; Poncelet, J.; Seo, H.-S.; Gerber, J.; Rouby, C. und Hummel, T. (2012): ‚Dissociated Representations of Pleasant and Unpleasant Olfacto-Tri-germinal Mixtures: An fMRI Study‘, *Public Library Of Science*, 7(6), S. e38358. doi: 10.1371/journal.pone.0038358.
- Bensafi, M.; Sobel, N. und Khan, R. M. (2007): ‚Hedonic-Specific Activity in Piriform Cortex During Odor Imagery Mimics That During Odor Perception‘, *Journal of Neurophysiology*, 98(6), S. 3254–3262. doi: 10.1152/jn.00349.2007.
- Berger, R. (2007): ‚Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS)‘, *ZFA - Zeitschrift für Allgemeinmedizin*, 83(3), S. 113–117. doi: 10.1055/s-2007-971040.

- Binder, J. R.; Frost, J. A.; Hammeke, T. A.; Bellgowan, P. S.; Springer, J. A.; Kaufman, J. N. und Possing, E. T. (2000): ‚Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds‘, *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 10(5), S. 512–528. doi: 10.1093/cercor/10.5.512.
- Binder, J. R.; Frost, J. A.; Hammeke, T. A.; Cox, R. W.; Rao, S. M. und Prieto, T. (1997): ‚Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging‘, *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 17(1), S. 353–362.
- Birbaumer, N. und Schmidt, R. F. (2010): *Biologische Psychologie*. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-540-95938-0.
- Bless, J. J.; Westerhausen, R.; Arciuli, J.; Kompus, K.; Gudmundsen, M. und Hugdahl, K. (2013): ‚“Right on all Occasions?” – On the Feasibility of Laterality Research Using a Smartphone Dichotic Listening Application‘, *Frontiers in Psychology*, 4. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00042.
- Branch, C.; Milner, B. und Rasmussen, T. (1964): ‚Intracarotid Injection of Sodium Amytal for the Lateralization of Cerebral Speech Dominance: Experimental and Clinical Observations‘, *Journal of Neurosurgery*, 21, S. 399–405. doi: 10.3171/jns.1964.21.5.0399.
- Broca, M. P. (1861): ‚Remarques sur le siege de la faculté articulé, suivies d’un observation d’aphemie‘, *Bulletin de la Société Anatomique*, (6), S. 330–357.
- Broca, M. P. (1865): ‚Sur le siège de la faculté du langage articulé‘, *Bulletins de la Société Anthropologique de Paris*, (6), S. 377–393. doi: 10.3406/bmsap.1865.9495.
- Bromley, S. M.; Moberg, P. J. und Hummel, T. (1997): ‚Laterality in Human Nasal Chemoreception‘, in: *Cerebral Asymmetries in Sensory and Perceptual Processing*.
- v. Brunn, A. (1892): ‚Beiträge zur mikroskopischen Anatomie der menschlichen Nasenhöhle‘, *Archiv für mikroskopische Anatomie*, 39(1), S. 632–651. doi: 10.1007/BF02961542.
- Cheng, W.; Rolls, E. T.; Qiu, J.; Liu, W.; Tang, Y.; Huang, C.-C.; Wang, X.; Zhang, J.; Lin, W.; Zheng, L.; Pu, J.; Tsai, S.-J.; Yang, A. C.; Lin, C.-P.; Wang, F.; Xie, P. und Feng, J. (2016): ‚Medial reward and lateral non-reward orbitofrontal cortex circuits change in opposite directions in depression‘, *Brain*, 139(12), S. 3296–3309. doi: 10.1093/brain/aww255.

- Cherry, E. C. (1953): ‚Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears‘, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), S. 975–979. doi: 10.1121/1.1907229.
- Cowell, P. und Hugdahl, K. (2000): ‚Individual differences in neurobehavioral measures of laterality and interhemispheric function as measured by dichotic listening‘, *Developmental Neuropsychology*, 18(1), S. 95–112. doi: 10.1207/S15326942DN1801_6.
- Deetjen, P. (2004): ‚Physiologie und Repetitorium Physiologie/Physiologie von P Deetjen | ISBN 978-3-437-41317-9‘,.
- Delb, W. und Praetorius, M. (2004): ‚Physiologie und Pathophysiologie der Hörwahrnehmung‘, *Sprache · Stimme · Gehör*, 28(2), S. 51–59. doi: 10.1055/s-2004-818995.
- Distel, H. (1999): ‚Perception of Everyday Odors Correlation between Intensity, Familiarity and Strength of Hedonic Judgement‘, *Chemical Senses*, 24(2), S. 191–199. doi: 10.1093/chemse/24.2.191.
- Doty, R. L.; Deems, D. A. und Stellar, S. (1988): ‚Olfactory dysfunction in parkinsonism: a general deficit unrelated to neurologic signs, disease stage, or disease duration‘, *Neurology*, 38(8), S. 1237–1244. doi: 10.1212/wnl.38.8.1237.
- Doty, R. L.; Shaman, P. und Dann, M. (1984): ‚Development of the university of pennsylvania smell identification test: A standardized microencapsulated test of olfactory function‘, *Physiology & Behavior*, 32(3), S. 489–502. doi: 10.1016/0031-9384(84)90269-5.
- Ehrlichman, H. und Bastone, L. (1992): ‚The use of odour in the study of emotion‘, in: *Fragrance: The psychology and biology of perfume*. New York, NY, US: Elsevier Applied Science Publishers/Elsevier Science Publishers, S. 143–159.
- Falkenberg, L. E.; Specht, K. und Westerhausen, R. (2011): ‚Attention and cognitive control networks assessed in a dichotic listening fMRI study‘, *Brain and Cognition*, 76(2), S. 276–285. doi: 10.1016/j.bandc.2011.02.006.
- Freiherr, J. und Wiesmann, M. (2006): ‚Das olfaktorische System des Menschen‘, *Der Nervenarzt*, 77, S. 931–9. doi: 10.1007/s00115-006-2121-z.

- Friedman, M. S.; Bruder, G. E.; Nestor, P. G.; Stuart, B. K.; Amador, X. F. und Gorman, J. M. (2001): ‚Perceptual Asymmetries in Schizophrenia: Subtype Differences in Left Hemisphere Dominance for Dichotic Fused Words‘, *American Journal of Psychiatry*, 158(9), S. 1437–1440. doi: 10.1176/appi.ajp.158.9.1437.
- Frischkorn, G. und Schubert, A.-L. (2018): ‚Cognitive Models in Intelligence Research: Advantages and Recommendations for Their Application‘, *Journal of Intelligence*, 6(3), S. 34. doi: 10.3390/jintelligence6030034.
- Galaburda, A. M.; Sanides, F. und Geschwind, N. (1978): ‚Human brain: Cytoarchitectonic left–right asymmetries in the temporal speech region‘, *Archives of Neurology*, 35(12), S. 812–817. doi: 10.1001/archneur.1978.00500360036007.
- Geschwind, N. und Levitsky, W. (1968): ‚Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region‘, *Science*, 161(3837), S. 186–187. doi: 10.1126/science.161.3837.186.
- Gordon, H. W. und Sperry, R. W. (1969): ‚Lateralization of olfactory perception in the surgically separated hemispheres of man‘, *Neuropsychologia*, 7(2), S. 111–120. doi: 10.1016/0028-3932(69)90009-8.
- Gottfried, J. A. (2006): ‚Smell: central nervous processing‘, *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, 63, S. 44–69. doi: 10.1159/000093750.
- Gottfried, J. A.; Deichmann, R.; Winston, J. S. und Dolan, R. J. (2002): ‚Functional Heterogeneity in Human Olfactory Cortex: An Event-Related Functional Magnetic Resonance Imaging Study‘, *The Journal of Neuroscience*, 22(24), S. 10819–10828. doi: 10.1523/JNEUROSCI.22-24-10819.2002.
- Gottfried, J. A.; O’Doherty, J. und Dolan, R. J. (2002): ‚Appetitive and Aversive Olfactory Learning in Humans Studied Using Event-Related Functional Magnetic Resonance Imaging‘, *Journal of Neuroscience*, 22(24), S. 10829–10837. doi: 10.1523/JNEUROSCI.22-24-10829.2002.
- Grabenhorst, F.; Rolls, E. T.; Margot, C.; da Silva, M. A. A. P. und Velazco, M. I. (2007): ‚How Pleasant and Unpleasant Stimuli Combine in Different Brain Regions: Odor Mixtures‘, *Journal of Neuroscience*, 27(49), S. 13532–13540. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3337-07.2007.

- Griep, M.; Van der Niepen, P.; Sennesael, J.; Mets, T.; Massart, D. und Verbeelen, L. (1997): ‚Odour perception in chronic renal disease‘, *Nephrology Dialysis Transplantation*, 12(10), S. 2093–2098. doi: 10.1093/ndt/12.10.2093.
- Griffiths, T.; Rees, A. und Green, G. (1999): ‚Disorders of human complex sound processing‘, *Neurocase*, 5, S. 365–378. doi: 10.1080/13554799908402733.
- Hahn, C.; Neuhaus, A. H.; Pogun, S.; Dettling, M.; Kotz, S. A.; Hahn, E.; Brüne, M. und Güntürkün, O. (2011): ‚Smoking reduces language lateralization: A dichotic listening study with control participants and schizophrenia patients‘, *Brain and Cognition*, 76(2), S. 300–309. doi: 10.1016/j.bandc.2011.03.015.
- Hatt, H. (2004): ‚Molecular and Cellular Basis of Human Olfaction‘, *Chemistry & Biodiversity*, 1(12), S. 1857–1869. doi: 10.1002/cbdv.200490142.
- Hellige, J. B. (1990): ‚Hemispheric Asymmetry‘, *Annual Review of Psychology*, 41(1), S. 55–80. doi: 10.1146/annurev.ps.41.020190.000415.
- Henkin, R. I. und Levy, L. M. (2001): ‚Lateralization of Brain Activation to Imagination and Smell of Odors Using Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI): Left Hemispheric Localization of Pleasant and Right Hemispheric Localization of Unpleasant Odors‘, *Journal of Computer Assisted Tomography*, 25(4), S. 493–514. doi: 10.1097/00004728-200107000-00001.
- Herz, R. S. (2002): ‚Influences of odors on mood and affective cognition‘, in: *Olfaction, taste, and cognition*. New York, NY, US: Cambridge University Press, S. 160–177. doi: 10.1017/CBO9780511546389.016.
- Hugdahl, K. (2003): ‚Dichotic Listening: An Experimental Tool in Clinical Neuropsychology‘, in: Hugdahl, K. (Hrsg.): *Experimental Methods in Neuropsychology*. Neuropsychology and Cognition. Boston, MA: Springer US, S. 29–46. doi: 10.1007/978-1-4615-1163-2_2.
- Hugdahl, K.; Carlsson, G. und Eichele, T. (2001): ‚Age Effects in Dichotic Listening to Consonant-Vowel Syllables: Interactions With Attention‘, *Developmental Neuropsychology*, 20(1), S. 445–457. doi: 10.1207/S15326942DN2001_8.
- Hugdahl, K.; Westerhausen, R.; Alho, K.; Medvedev, S.; Laine, M. und Hämäläinen, H. (2009): ‚Attention and cognitive control: Unfolding the dichotic listening story‘, *Scandinavian Journal of Psychology*, 50(1), S. 11–22. doi: 10.1111/j.1467-9450.2008.00676.x.

- Hummel, T.; Mohammadian, P. und Kobal, G. (1998): ‚Handedness is a determining factor in lateralized olfactory discrimination‘, *Chemical Senses*, 23(5), S. 541–544. doi: 10.1093/chemse/23.5.541.
- Hummel, T.; Rothbauer, C.; Barz, S.; Grosser, K.; Pauli, E. und Kobal, G. (1998): ‚Olfactory function in acute rhinitis‘, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855, S. 616–624. doi: 10.1111/j.1749-6632.1998.tb10632.x.
- Hummel, T.; Sekinger, B.; Wolf, S. R.; Pauli, E. und Kobal, G. (1997): ‚‘Sniffin’ Sticks‘: Olfactory Performance Assessed by the Combined Testing of Odour Identification, Odor Discrimination and Olfactory Threshold‘, *Chemical Senses*, 22(1), S. 39–52. doi: 10.1093/chemse/22.1.39.
- Hummel und Welge-Lüssen (2009): *Strukturelle und funktionelle Grundlagen des Riechens. Riech- und Schmeckstörungen: Physiologie, Pathophysiologie und therapeutische Ansätze*. Stuttgart: Thieme. ISBN 978-3-13-147811-5.
- Ikezawa, S.; Nakagome, K.; Mimura, M.; Shinoda, J.; Itoh, K.; Homma, I. und Kamijima, K. (2008): ‚Gender differences in lateralization of mismatch negativity in dichotic listening tasks‘, *International Journal of Psychophysiology*, 68(1), S. 41–50. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2008.01.006.
- Jancke, L. und Shah, N. J. (2002): ‚Does dichotic listening probe temporal lobe functions?‘, *Neurology*, 58(5), S. 736–743. doi: 10.1212/WNL.58.5.736.
- Josse, G. und Tzourio-Mazoyer, N. (2004): ‚Hemispheric specialization for language‘, *Brain Research. Brain Research Reviews*, 44(1), S. 1–12. doi: 10.1016/j.brainresrev.2003.10.001.
- Katotomichelakis, M.; Balatsouras, D.; Tripsianis, G.; Davris, S.; Maroudias, N.; Danielides, V. und Simopoulos, C. (2007): ‚The effect of smoking on the olfactory function‘, *Rhinology*, 45(4), S. 273–280.
- Kimura, D. (1961): ‚Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli‘, *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 15(3), S. 166–171. doi: 10.1037/h0083219.
- Kimura, D. (1967): ‚Functional Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening‘, *Cortex*, 3(2), S. 163–178. doi: 10.1016/S0010-9452(67)80010-8.

- Knecht, S.; Dräger, B.; Deppe, M.; Bobe, L.; Lohmann, H.; Flöel, A.; Ringelstein, E.-B. und Henningsen, H. (2000): ‚Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans‘, *Brain*, 123(12), S. 2512–2518. doi: 10.1093/brain/123.12.2512.
- Koelega, H. S. und Köster, E. P. (1974): ‚Some experiments on sex differences in odor perception‘, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 237(1 Odors), S. 234–246. doi: 10.1111/j.1749-6632.1974.tb49859.x.
- Kurahashi, T. und Menini, A. (1997): ‚Mechanism of odorant adaptation in the olfactory receptor cell‘, *Nature*, 385(6618), S. 725–729. doi: 10.1038/385725a0.
- Lehrner, J.; Eckersberger, C.; Walla, P.; Pötsch, G. und Deecke, L. (2000): ‚Ambient odor of orange in a dental office reduces anxiety and improves mood in female patients‘, *Physiology & Behavior*, 71(1–2), S. 83–86. doi: 10.1016/S0031-9384(00)00308-5.
- Leopold, D. A.; Hummel, T.; Schwob, J. E.; Hong, S. C.; Knecht, M. und Kobal, G. (2000): ‚Anterior Distribution of Human Olfactory Epithelium‘, *The Laryngoscope*, 110(3), S. 417–421. doi: 10.1097/00005537-200003000-00016.
- Manzini, I.; Frasnelli, J. und Croy, I. (2014): ‚Wie wir riechen und was es für uns bedeutet: Grundlagen des Geruchssinns‘, *HNO*, 62(12), S. 846–852. doi: 10.1007/s00106-014-2925-2.
- Miyazaki, Y.; Ito, J. und Tanemura, J. (2004): ‚Effects of gasoline-olfactory stimulation on performance of language tasks‘, *Higher Brain Function Research*, 24(4), S. 335–342. doi: 10.2496/hbfr.24.335.
- Miyazaki, Y.; Tanemura, J. und Ito, J. (2002): ‚Effect of olfactory stimulation on cerebral lateralization in the cognition of non-verbal sounds: A study by the use of dichotic listening test‘, *Higher Brain Function Research*, 22(4), S. 300–305. doi: 10.2496/apr.22.300.
- Morrison, E. E. und Costanzo, R. M. (1992): ‚Morphology of olfactory epithelium in humans and other vertebrates‘, *Microscopy Research and Technique*, 23(1), S. 49–61. doi: 10.1002/jemt.1070230105.

- Moss, M.; Cook, J.; Wesnes, K. und Duckett, P. (2003): ‚AROMAS OF ROSEMARY AND LAVENDER ESSENTIAL OILS DIFFERENTIALLY AFFECT COGNITION AND MOOD IN HEALTHY ADULTS‘, *International Journal of Neuroscience*, 113(1), S. 15–38. doi: 10.1080/00207450390161903.
- Moss, M.; Howarth, R.; Wilkinson, L. und Wesnes, K. (2006): ‚Expectancy and the aroma of Roman chamomile influence mood and cognition in healthy volunteers‘, *International Journal of Aromatherapy*, 16(2), S. 63–73. doi: 10.1016/j.ijat.2006.04.002.
- Nadol, J. B. (1988): ‚Comparative anatomy of the cochlea and auditory nerve in mammals‘, *Hearing Research*, 34(3), S. 253–266. doi: 10.1016/0378-5955(88)90006-8.
- Nguyen, D. T.; Gauchotte, G.; Nguyen-Thi, P.-L. und Jankowski, R. (2013): ‚Does Surgery of the Olfactory Clefts Modify the Sense of Smell?‘, *American Journal of Rhinology and Allergy*, 27(4), S. 317–321. doi: 10.2500/ajra.2013.27.3907.
- Norès, J. M.; Biacabe, B. und Bonfils, P. (2000): ‚Olfactory disorders and general pathology Analysis and review of the literature‘, *La Revue De Medecine Interne*, 21(1), S. 95–104. doi: 10.1016/s0248-8663(00)87235-5.
- Ochsenbein-Kölble, N.; von Mering, R.; Zimmermann, R. und Hummel, T. (2007): ‚Changes in olfactory function in pregnancy and postpartum‘, *International Journal of Gynaecology and Obstetrics: The Official Organ of the International Federation of Gynaecology and Obstetrics*, 97(1), S. 10–14. doi: 10.1016/j.ijgo.2006.12.009.
- Ojemann, G.; Ojemann, J.; Lettich, E. und Berger, M. (1989): ‚Cortical language localization in left, dominant hemisphere An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients‘, *Journal of Neurosurgery*, 71(3), S. 316–326. doi: 10.3171/jns.1989.71.3.0316.
- Oldfield, R. C. (1971): ‚The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory‘, *Neuropsychologia*, 9(1), S. 97–113. doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4.
- Parasuraman, J. S. W., William N. Dember, Raja (1990): ‚Effects of Fragrances on Vigilance Performance and Stress‘, *Perfumer & Flavorist*. Verfügbar unter: <https://www.perfumerflavorist.com/fragrance/research/Effects-of-Fragrances-on-Vigilance-Performance-and-Stress-372277362.html>.

- Pickles, J. O. (2015): ‚Auditory pathways‘, in: *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier, S. 3–25. doi: 10.1016/B978-0-444-62630-1.00001-9.
- Plailly, J.; Radnovich, A. J.; Sabri, M.; Royet, J.-P. und Kareken, D. A. (2007): ‚Involvement of the left anterior insula and frontopolar gyrus in odor discrimination‘, *Human Brain Mapping*, 28(5), S. 363–372. doi: 10.1002/hbm.20290.
- Plante, E.; Schmithorst, V. J.; Holland, S. K. und Byars, A. W. (2006): ‚Sex differences in the activation of language cortex during childhood‘, *Neuropsychologia*, 44(7), S. 1210–1221. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.08.016.
- Ptok, M.; Berger, R.; von Deuster, Chr.; Gross, M.; Lamprecht-Dinnesen, A.; Nickisch, A.; Radü, H. J. und Uttenweiler, V. (2000): ‚Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen* - Konsensus-Statement -‘, *Sprache · Stimme · Gehör*, 24(2), S. 90–94. doi: 10.1055/s-2000-11157.
- Ptok, M. und Ptok, A. (2001): ‚Formen kindlicher Schwerhörigkeit‘, *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 149(9), S. 870–876. doi: 10.1007/s001120170078.
- Pujol, J.; Deus, J.; Losilla, J. M. und Capdevila, A. (1999): ‚Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI‘, *Neurology*, 52(5), S. 1038–1043. doi: 10.1212/wnl.52.5.1038.
- Rasmussen, T. und Milner, B. (1975): ‚Clinical and Surgical Studies of the Cerebral Speech Areas in Man‘, in: Zülch, K. J., Creutzfeldt, O., und Galbraith, G. C. (Hrsg.): *Cerebral Localization: An Otfrid Foerster Symposium*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 238–257. doi: 10.1007/978-3-642-66204-1_19.
- Raviv, J. R. und Kern, R. C. (2006): ‚Chronic Rhinosinusitis and Olfactory Dysfunction‘, in: Hummel, T. und Welge-Lüssen, A. (Hrsg.): *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*. Basel: KARGER, S. 108–124. doi: 10.1159/000093757.
- Robin, O. (1999): ‚Basic Emotions Evoked by Eugenol Odor Differ According to the Dental Experience A Neurovegetative Analysis‘, *Chemical Senses*, 24(3), S. 327–335. doi: 10.1093/chemse/24.3.327.
- Rolls, E. T.; Kringelbach, M. L. und de Araujo, I. E. T. (2003): ‚Different representations of pleasant and unpleasant odours in the human brain‘, *European Journal of Neuroscience*, 18(3), S. 695–703. doi: 10.1046/j.1460-9568.2003.02779.x.

- Rosenzweig, M. R. (1951): ‚Representations of the Two Ears at the Auditory Cortex‘, *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 167(1), S. 147–158. doi: 10.1152/ajplegacy.1951.167.1.147.
- Rotton, J. (1983): ‚Affective and Cognitive Consequences of Malodorous Pollution‘, *Basic and Applied Social Psychology*, 4(2), S. 171–191. doi: 10.1207/s15324834basp0402_5.
- Royet, J.-P. und Plailly, J. (2004): ‚Lateralization of Olfactory Processes‘, *Chemical Senses*, 29(8), S. 731–745. doi: 10.1093/chemse/bjh067.
- Royet, J.-P.; Plailly, J.; Delon-Martin, C.; Kareken, D. A. und Segebarth, C. (2003): ‚fMRI of emotional responses to odors‘, *NeuroImage*, 20(2), S. 713–728. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00388-4.
- Sætrevik, B. und Hugdahl, K. (2007): ‚Priming inhibits the right ear advantage in dichotic listening: Implications for auditory laterality‘, *Neuropsychologia*, 45(2), S. 282–287. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.07.005.
- Sætrevik, B. und Specht, K. (2009): ‚Cognitive conflict and inhibition in primed dichotic listening‘, *Brain and Cognition*, 71(1), S. 20–25. doi: 10.1016/j.bandc.2009.03.006.
- Savic, I. (2005): ‚Brain Imaging Studies of the Functional Organization of Human Olfaction‘, *Chemical Senses*, 30(Supplement 1), S. i222–i223. doi: 10.1093/chemse/bjh194.
- Schünke, M.; Schulte, E.; Schumacher, U.; Voll, M. und Wesker, K. (2018): *PROMETHEUS: Kopf, Hals und Neuroanatomie: Lernetlas der Anatomie*. Stuttgart: Thieme. doi: 10.1055/b-006-149644.
- Seo, H.-S.; Buschhüter, D. und Hummel, T. (2008): ‚Contextual Influences on the Relationship between Familiarity and Hedonicity of Odors‘, *Journal of Food Science*, 73(6), S. S273–S278. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00818.x.
- Shaywitz, B. A.; Shaywitz, S. E.; Pugh, K. R.; Constable, R. T.; Skudlarski, P.; Fulbright, R. K.; Bronen, R. A.; Fletcher, J. M.; Shankweiler, D. P.; Katz, L. und Gore, J. C. (1995): ‚Sex differences in the functional organization of the brain for language‘, *Nature*, 373(6515), S. 607–609. doi: 10.1038/373607a0.
- Silbernagl, S. (2007): *Taschenatlas der Physiologie. 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage*. Stuttgart: Thieme.

- Simola, M. und Malmberg, H. (1998): ‚Sense of smell in allergic and nonallergic rhinitis‘, *Allergy*, 53(2), S. 190–194. doi: 10.1111/j.1398-9995.1998.tb03869.x.
- Sommer, J. U.; Mabooshe, W.; Griebel, M.; Heiser, C.; Hörmann, K.; Stuck, B. A. und Hummel, T. (2012): ‚A mobile olfactometer for fMRI-studies‘, *Journal of Neuroscience Methods*, 209(1), S. 189–194. doi: 10.1016/j.jneumeth.2012.05.026.
- Sorokowski, P.; Karwowski, M.; Misiak, M.; Marczak, M. K.; Dziekan, M.; Hummel, T. und Sorokowska, A. (2019): ‚Sex Differences in Human Olfaction: A Meta-Analysis‘, *Frontiers in Psychology*, 10, S. 242. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00242.
- Steinmetz, H.; Volkman, J.; Jäncke, L. und Freund, H. J. (1991): ‚Anatomical left-right asymmetry of language-related temporal cortex is different in left- and right-handers‘, *Annals of Neurology*, 29(3), S. 315–319. doi: 10.1002/ana.410290314.
- Thomsen, T.; Rimol, L. M.; Ersland, L. und Hugdahl, K. (2004): ‚Dichotic listening reveals functional specificity in prefrontal cortex: an fMRI study‘, *NeuroImage*, 21(1), S. 211–218. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.08.039.
- Trepel, M. (2011): *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. 5. Auflage. München: Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH.
- Voyer, D. (2011): ‚Sex differences in dichotic listening‘, *Brain and Cognition*, 76(2), S. 245–255. doi: 10.1016/j.bandc.2011.02.001.
- Wada, J. und Rasmussen, T. (1960): ‚Intracarotid Injection of Sodium Amytal for the Lateralization of Cerebral Speech Dominance: Experimental and Clinical Observations‘, *Journal of Neurosurgery*, 17(2), S. 266–282. doi: 10.3171/jns.1960.17.2.0266.
- Wernicke, C. (1974): ‚Der aphasische Symptomenkomplex‘, in: Wernicke, C. (Hrsg.): *Der aphasische Symptomencomplex: Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 1–70. doi: 10.1007/978-3-642-65950-8_1.
- Westerhausen, R. und Hugdahl, K. (2008): ‚The corpus callosum in dichotic listening studies of hemispheric asymmetry: a review of clinical and experimental evidence‘, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(5), S. 1044–1054. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.04.005.

- Westerhausen, R.; Moosmann, M.; Alho, K.; Medvedev, S.; Hämäläinen, H. und Hugdahl, K. (2009): ‚Top–down and bottom–up interaction: manipulating the dichotic listening ear advantage‘, *Brain Research*, 1250, S. 183–189. doi: 10.1016/j.brainres.2008.10.070.
- Wicker, B.; Keysers, C.; Plailly, J.; Royet, J.-P.; Gallese, V. und Rizzolatti, G. (2003): ‚Both of Us Disgusted in My Insula‘, *Neuron*, 40(3), S. 655–664. doi: 10.1016/S0896-6273(03)00679-2.
- Wilson, D. A. (1997): ‚Binaral Interactions in the Rat Piriform Cortex‘, *Journal of Neurophysiology*, 78(1), S. 160–169. doi: 10.1152/jn.1997.78.1.160.
- Witt und Hansen (2009): ‚2 Strukturelle und funktionelle Grundlagen des Riechens‘, in: *Riech- und Schmeckstörungen*. Thieme Verlag. doi: 10.1055/b-0034-33241.
- Wolfensberger, M. (2000): ‚Sniffin‘Sticks: a New Olfactory Test Battery‘, *Acta Oto-Laryngologica*, 120(2), S. 303–306. doi: 10.1080/000164800750001134.
- Yeung, N. und Nieuwenhuis, S. (2009): ‚Dissociating Response Conflict and Error Likelihood in Anterior Cingulate Cortex‘, *Journal of Neuroscience*, 29(46), S. 14506–14510. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3615-09.2009.
- Zald, D. H. und Pardo, J. V. (1997): ‚Emotion, olfaction, and the human amygdala: Amygdala activation during aversive olfactory stimulation‘, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(8), S. 4119–4124. doi: 10.1073/pnas.94.8.4119.
- Zang, Y.; Whitcroft, K. L.; Glöckler, C. und Hummel, T. (2020): ‚Is Handedness Associated with the Depth of the Olfactory Sulcus?‘, *ORL*, 82(3), S. 115–120. doi: 10.1159/000507787.
- Zatorre, R. J. und Jones-Gotman, M. (1990): ‚Right-nostril advantage for discrimination of odors‘, *Perception & Psychophysics*, 47(6), S. 526–531. doi: 10.3758/BF03203105.