

Untersuchung der „Contingent Negative Variation“ bei akustischen Reizpaaren unter verschiedenen Bedingungen olfaktorischer Stimulation

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

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin

Doctor medicinae (Dr.med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät Carl Gustav
Carus

der Technischen Universität Dresden

von

Stefanie Zelder

aus Hoyerswerda

Dresden 2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Anatomische und physiologische Grundlagen des Riechens	3
2.1.1 Anatomie der Nase	3
2.1.2 Physiologie des Riechens	4
2.2 Elektrophysiologische und psychophysische Testverfahren.....	8
2.2.1 Ereigniskorrelierte Potentiale	8
2.2.2 Das akustisch ereigniskorrelierte Potential.....	9
2.2.3 Die kontingent negative Variation.....	11
2.3 Persönlichkeit	14
2.3.1 Fragebogen – Der NEO-FFI.....	15
2.4 Zielstellung.....	17
3 Material und Methoden	19
3.1 Stichprobenbeschreibung	19
3.1.1 Studienplanung.....	19
3.2 Psychophysische Untersuchung	21
3.2.1 Geruchsidentifikationstest	21
3.2.2 Fragebogen - Bedeutung der Geruchswahrnehmung.....	23
3.2.3 Fragebogen – NEO-FFI.....	23
3.2.4 Reaktionszeit	24
3.2.5 Hedonik.....	24
3.3 Elektrophysiologische Untersuchung	25
3.3.1 Training der velopharyngealen Atemtechnik.....	25
3.3.2 CNV- und AEP-Gewinnung.....	25
3.3.3 Olfaktometer	26
3.3.4 Gasgemische	27
3.3.5 Versuchsablauf	28

3.3.6	Signalanalyse und Datenauswertung	29
3.3.7	Statistische Auswertung	30
4	Ergebnisse	31
4.1	Deskriptive Analyse	31
4.2	Bewertungen der Gerüche	31
4.3	CNV	35
4.4	AEP	36
4.5	Reaktionszeit	37
4.6	IOQ-Score.....	37
4.7	NEO-FFI-Score.....	38
5	Diskussion	40
5.1	Bewertung der Gerüche	41
5.2	CNV und AEP	42
5.3	IOQ-Score und NEO-FFI.....	44
5.4	Reaktionszeit	45
6	Limitation und Ausblick	47
7	Zusammenfassung	50
8	Summary	47
9	Literaturverzeichnis.....	54
10	Anhang.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abkürzungsverzeichnis

AEP	akustisch evoziertes Potential
ANOVA	engl.: analysis of variance, Varianzanalyse
CNV	engl.: contingent negative variation
EEG	Elektroenzephalografie
ERP	engl.: event-related potentials, ereigniskorreliertes Potential
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
ISI	Interstimulusintervall
M	arithmetisches Mittel
m	männlich
N	Anzahl
ORN	olfaktorische Rezeptorneurone
p	p-Wert oder Signifikanzwert
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
S1/S2	Stimulus 1/ Stimulus 2
SD	engl.: standard deviation, Standardabweichung
t	T-Wert
Va	Varianz
w	weiblich

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des olfaktorischen Epithels	4
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Signalkaskade	5
Abbildung 3: Schematische Darstellung der primären, sekundären und tertiären Strukturen der Riechbahn	7
Abbildung 4: Kurvenverlauf des akustisch evozierten Potentials	11
Abbildung 5: Experimenteller Arbeitsablauf	20
Abbildung 6: Testbatterie mit Sniffin' Sticks	22
Abbildung 7: Darstellung der Elektrodenpositionen nach dem 10/20-System	26
Abbildung 8: Das Olfaktometer	27
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Entstehung von CNV	30
Abbildung 10: Verteilung der zwei Gruppen.....	31
Abbildung 11: Graphische Auswertung der Hedonik, Intensität und beruhigender Wirkung ..	34
Abbildung 12: Graphische Darstellung der mittleren Amplituden (Mittelwert \pm SD; in μ V) der kontingenten negativen Variation (CNV)	35
Abbildung 13: Graphische Darstellung der mittleren Amplituden (Mittelwert \pm SD; in μ V) des ERPs N1P2	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die fünf Persönlichkeitsdimensionen des NEO-FFI.....	16
Tabelle 2: Die vier Auswahlmöglichkeiten der jeweiligen Sniffin' Sticks	22
Tabelle 3: Randomisiertes Schema zur Geruchsdarbietung	28
Tabelle 4: Auswertung der Hedonik zwischen den Geruchspaarungen	32
Tabelle 5: Geruchsbewertungen.....	33
Tabelle 6: Mittlere Amplituden (Mittelwert \pm SD; in μ V) der CNV für die jüngere und ältere Gruppe	36
Tabelle 7: Auswertung der Reaktionszeit zwischen den Geruchspaarungen	37
Tabelle 8: Mittelwerte (Mittelwert \pm SD) des IOQ-Fragebogens.	38
Tabelle 9: Auswertung des NEO-FFI zwischen den Dimensionen	39
Tabelle 10: Mittelwerte (Mittelwert \pm SD) des NEO-FFI-Fragebogens	39

1 Einleitung

Jeden Tag wirken auf den Menschen unzählige Eindrücke aus der Umwelt ein und es versteht sich von selbst, dass dieser mittels seiner fünf Sinne für ihn lesbare Informationen daraus gewinnen kann. Zu diesen Eindrücken zählen sowohl das Schmecken, das Sehen, das Hören, als auch das Fühlen und schließlich das Riechen (Clark-Gambelunghe und Clark, 2015). Obwohl dem Geruchssinn einige Zeit lang keine große Beachtung in der Forschung geschenkt wurde (Egger, 2018), nimmt er evolutionsbiologisch eine besondere Stellung ein. Das Riechen ist anatomisch gesehen der älteste Sinn des „Homo sapiens“, da die Verarbeitung der Geruchsinformationen im Paläocortex stattfindet, dem ältesten Teil des Gehirns (Wiesmann et al., 2006). Nicht zuletzt wurde in den letzten Jahren gezeigt, dass ein Verlust des Geruchssinns erhebliche Auswirkungen auf das Individuum haben kann. Ein partieller oder gar kompletter Ausfall des Riechvermögens nimmt Einfluss auf die Sicherheit des Menschen, indem mögliche Gefahren wie Rauch nicht mehr detektieren oder verdorbene Nahrungsmittel nicht rechtzeitig erkennen kann (Miwa et al., 2001; Ache und Young, 2005). Auch bei der Hygiene und der damit einhergehenden Gesundheit des Menschen oder bei der Partnerwahl spielt die Fähigkeit des Riechens eine entscheidende Rolle (Frasnelli und Hummel, 2005; Kromer et al., 2016).

Es ist außerdem bekannt, dass Duftstoffe modifizierende Auswirkungen auf das Bewusstsein des Einzelnen und – möglicherweise noch wichtiger – auf die Emotionen eines Menschen haben (Manley, 1993; Lorig et al., 1995). So ist es nicht verwunderlich, dass der betörende Duft der eigenen Babys als anziehend gilt, während der unangenehme Geruch von öffentlichen Toiletten dem ein oder anderen lieber das Weite suchen lässt. Auch die olfaktorische Wahrnehmung von Frauentränen lässt die Libido eines Mannes um bis zu 80 % sinken. Der Grund dafür ist ein chemisches Signal, welches nicht bewusst wahrgenommen wird, jedoch unser Verhalten instinktiv steuert (Gelstein et al., 2011). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Düfte unsere Welt emotional und lebendig erscheinen lassen (Croy und Hummel, 2017). Es ist also nicht verwunderlich, dass ein Verlust des Geruchssinns auch Auswirkungen auf die psychische Gesundheit hat. Personen, die mit diesem Verlust einhergehen, verspüren keine Freude mehr am Essen und Trinken. Eine Mahlzeit unter Freunden wird gemieden und es kommt in Folge dessen zur gesellschaftlichen Ausgrenzung. Auch der eigene Körpergeruch, sowie der des Partners oder der Verwandten kann nicht mehr aktiv erfasst werden. Aus der

Unsicherheit für das Bewusstsein der eigenen Hygiene resultieren oft Isolation und eine emotionale Belastung des Betroffenen (Hüttenbrink et al., 2013; Kohli et al., 2016).

Schon lange gilt die systematische Geruchsapplikation als anerkannte Therapie bei Patienten mit Ausfall des Riechvermögens (Hummel et al., 2017) und beruht auf dem einzigartigen Prinzip der Neuroplastizität. Dieser Vorgang ermöglicht die Regeneration der Riechzellen und Neustrukturierung (Hummel et al., 2018). Studien zeigten, dass die Verordnung eines Geruchstrainings nicht nur die Wiederherstellung des Geruchssinns zur Folge hat, sondern auch positive Effekte auf eine Depression, den kognitiven Fähigkeiten und den emotionalen Zustand einer Person haben kann (Hummel et al., 2018).

Obwohl das Wohlbefinden eines Menschen eng mit der Wahrnehmung von Gerüchen verbunden ist (Khan et al., 2007; Kadohisa, 2013), ist es problematisch, die Unterschiede zwischen den jeweiligen Gerüchen in Bezug auf ihre Wertigkeit objektiv zu messen, vor allem, wenn diese Abweichungen subtil sind (Pichon et al., 2015). Eine Möglichkeit zur Beurteilung der Geruchsgefälligkeit wäre die Verwendung der kontingent negativen Variation (CNV). Sie wurde bereits 1964 von Walter aus dem Elektroenzephalogramm (EEG) durch Mittelungen von Stimulus-korrelierten EEG-Abschnitten beobachtet und als eines der ersten evozierten Antworten beschrieben. Torii und Kollegen (1988) beobachteten, dass der stimulierende Geruch Jasmin zu einer erhöhten Amplitude der CNV führte. Lavendel, dem hingegen eine sedierende Wirkung zugeschrieben wird, reduzierte den Anstieg im EEG (Torii et al., 1988). Eine weitere Studie von Hiruma (2002) belegte die stimulierende Wirkung von Hiba-Öl (mit den Hauptbestandteilen 4-Terpineol und anderen Terpinolen) auf die Stressmodulation, was ebenfalls einen höheren CNV-Gipfel zur Folge hatte. Der Zusammenhang der CNV mit Gerüchen unterschiedlicher hedonischer Valenz wurde bisher aber noch nicht untersucht. Falls diese Abhängigkeit hergestellt werden kann, stellt sich außerdem die Frage, ob die Persönlichkeit eines Menschen darauf Einfluss nehmen kann und welche Rolle die Bedeutung der Geruchswahrnehmung im Alltag dabei spielt.

2 Grundlagen

2.1 Anatomische und physiologische Grundlagen des Riechens

2.1.1 Anatomie der Nase

Für viele Menschen stellt die Nase auf der einen Seite eines der wichtigsten optischen Erkennungsmerkmale dar, auf der anderen Seite ist sie der Schlüssel zur Welt der Gerüche. Sie wird aus dem sichtbaren äußeren Teil und dem nicht erkennbaren inneren Teil gebildet. Ersterer setzt sich aus einem knöchernen und einem knorpeligen Anteil zusammen, wohingegen die innere Nase durch das Septum nasi (Nasenscheidewand) in eine rechte und eine linke Höhle unterteilt wird. Dorsal geht die knöcherne Nasenhöhle mit den ovalen, paarig angelegten Choanen in den Nasopharynx (oberer Rachenraum) über. Die Conchae nasalis (Nasenmuscheln), die aus drei paarig angelegten Knochenspangen bestehen, sind mit Schleimhaut bedeckt und ragen aus der seitlichen Wand der Nasenhöhle hervor. Sie dienen der Oberflächenvergrößerung teilen die Nase in drei Meatus nasi (Nasengänge) ein (Vaupel, Schaible und Mutschler, 2015).

Die Nasenhöhle, welche komplett mit Schleimhaut ausgekleidet ist, wird histologisch in drei Bereiche aufgeteilt: die Regio respiratoria, die hauptsächlich mit Flimmerepithel ausgekleidet ist, die Regio cutanea, welche den Nasenvorhof kennzeichnet und die für das Riechen zuständige Regio olfactoria (Aumüller et al., 2014). Im Folgenden soll nur auf die für die vorliegende Arbeit relevante Regio olfactoria eingegangen werden.

Damit der Mensch ein Duftmolekül erfassen kann, muss dieses entweder mit dem Luftstrom orthonasal durch eines der beiden Nasenlöcher oder retronasal über den Mund- und Rachenraum in die Nasenhöhle und zur Riechschleimhaut geleitet werden. Die Riechschleimhaut setzt sich aus dem mehrreihigen olfaktorischen Epithel und der Lamina propria zusammen. Die zuletzt genannte Schicht zeichnet sich durch Blutgefäße, Bindegewebe und gebündelte Axone der olfaktorischen Rezeptorneurone (ORN) aus. Die olfaktorische Region befindet sich in der Riechspalte entlang des oberen Meatus nasi und erstreckt sich bis auf die mittlere Concha nasalis. Bei einem Erwachsenen ist sie über 500 mm² groß (Hummel et al., 2000). Dem Epithel lagert eine Schleimschicht auf, die von den Bowman-Drüsen sezerniert wird. Diese

fungiert nicht nur als Schutz- und Immunbarriere, sondern interagiert mit Hilfe von duftstoffbindenden Proteinen mit den ORN im Riechepithel (Getchell et al., 1984; Pelosi, 2001). Das mehrreihige olfaktorische Epithel besteht neben den ORN zusätzlich aus den Riechsinneszellen, den Stützzellen und den Basalzellen. Die zuletzt genannten Zellen bilden die Vorläuferzellen der ORN und der Stützzellen, welche die einzelnen ORN voneinander trennen und durch Tight Junctions stabilisiert werden (siehe Abbildung 1). Dies ist einer der wenigen Orte des Nervensystems, in dem in regelmäßigen Abständen und nach Schädigung ständig neue Neurone nachkommen können. Dieser im adulten Organismus seltene Vorgang wird auch als Neurogenese bezeichnet (Graziadei und Metcalf, 1971; Hummel et al., 2000).

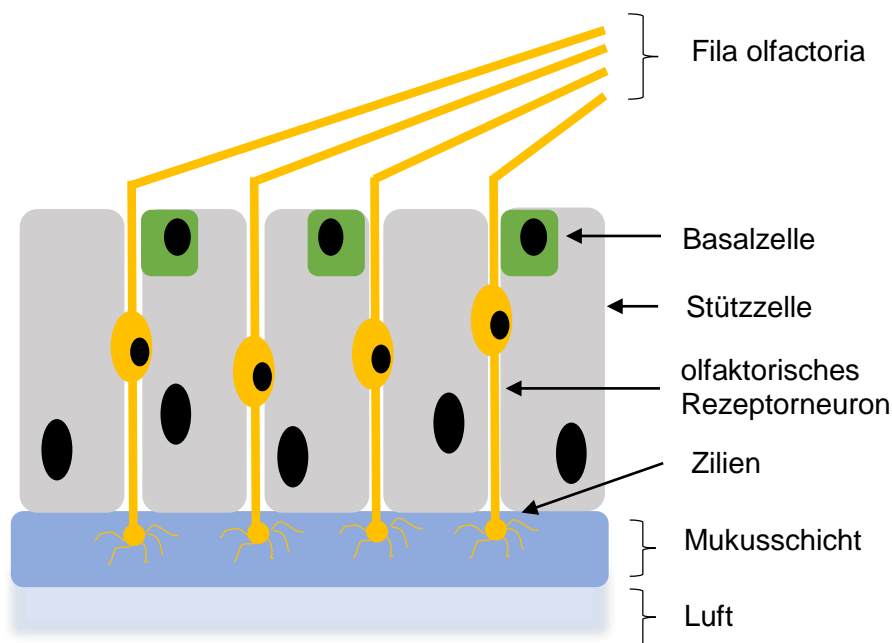


Abbildung 1: Aufbau des olfaktorischen Epithels, welches sich aus den olfaktorischen Rezeptorneuronen (ORN), den Basalzellen und den Stützzellen bildet (modifiziert nach Schmidt und Lang, 2010: Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie, Aufl. 29, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, S. 416).

2.1.2 Physiologie des Riechens

Die bipolaren ORN stellen das erste Neuron der Riechbahn dar. Sie werden als primäre Sinneszellen bezeichnet, da die ORN die einzigen sensorischen Neurone des Menschen sind, die in direktem Kontakt mit der Umwelt stehen (Weismann et al., 2001). Bipolar bedeutet, dass diese Neurone, von ihrem Zellkern ausgehend, zwei Fortsätze besitzen. Der kürzere Fortsatz,

welcher als Dendrit bezeichnet wird, stellt den rezeptorischen Abschnitt dar und befindet sich im äußeren Teil der Riechschleimhaut. Das Axon, welches den längeren Fortsatz bildet, zieht hingegen zum inneren Teil (Aumüller et al., 2014). Die ORN zeichnen sich durch Zilien aus, die Duftmoleküle aufnehmen und durch spezifische Rezeptorproteine in der Schleimschicht nach Schlüssel-Schloss-Prinzip binden. Es existieren schätzungsweise 200 - 400 verschiedene Typen von Rezeptoren. Einerseits enthält ein Duftstoff verschiedene Moleküle, die an unterschiedliche Rezeptoren binden können, andererseits können mehrere Düfte einen bestimmten Rezeptortyp aktivieren. Geht man davon aus, dass Pflanzen oder Nahrungsmittel zahlreiche verschiedene Duftnoten enthalten, so wird die Herausforderung auf das olfaktorische System deutlich (Hummel et al., 2000).

Damit der chemische Reiz in ein für die Axone notwendiges elektrisches Signal umgewandelt werden kann, wird eine Signalkaskade ausgelöst. Ein spezifisches olfaktorisches G-Protein (G_{olf}) wird durch die Vernetzung von dem Duftstoff und Rezeptor aktiviert und gibt den nötigen Impuls für die Adenylzyklase III (Firestein et al., 1991). Letztere kann nun das zyklische Adenosinmonophosphat (cAMP) bilden und als Second Messenger olfaktorische Kationenkanäle öffnen. Natrium und Calcium strömen daraufhin in die Zelle ein, wodurch sich kalziumaktivierende Chloridkanäle öffnen und Chloridionen aus der Zelle herausströmen (siehe Abbildung 2). Dadurch steigt das negative Membranpotential der Zelle von -70 mV auf bis zu +30 mV an, woraufhin sich ein Aktionspotential bildet (Hummel et al., 2000).

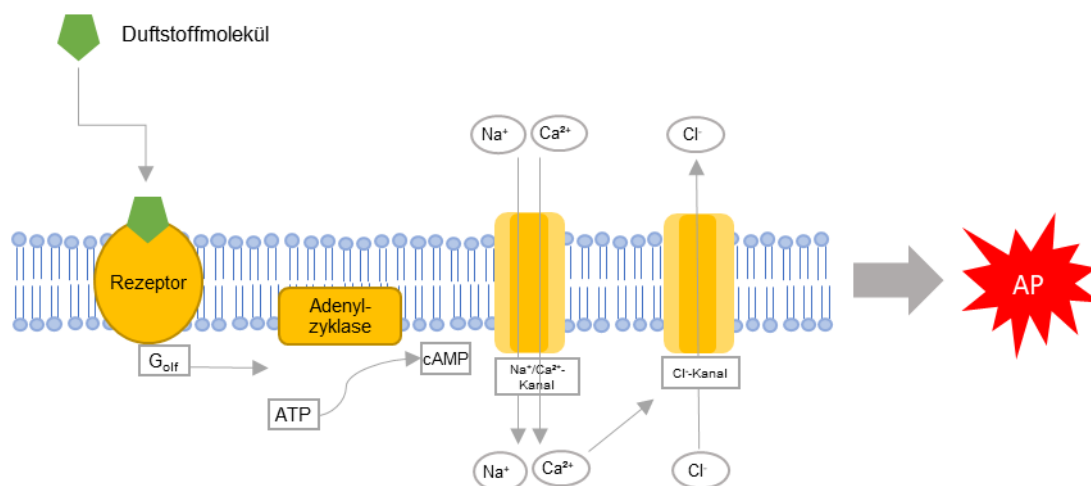


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Signalkaskade durch Bindung eines Duftstoffmoleküls an ein Rezeptorprotein (modifiziert nach Hummel et al., 2000). (AP = Aktionspotential, ATP = Adenosintriphosphat, cAMP = zyklisches Adenosinmonophosphat, Golf = olfaktorisches G-Protein)

Die Axone der ORN werden in ca. 10-15 „Fila olfactoria“ gebündelt und die Gesamtheit aller Bündel als Nervus olfactorius (I. Hirnnerv) bezeichnet. Diese ziehen durch die Lamina cibrosa des Siebbeins zur ersten Anlaufstation, dem paarig angelegten Bulbus olfactorius (Ausstülpungen der Vorderhirnbläschen). Die ORN sind durch den Bulbus olfactorius direkt mit dem Gehirn verschaltet. In den Glomeruli (lat. Glomus „Knäuel“) bilden sich synaptische Verbindungen zwischen den Axonen der ORN und dem zweiten Neuron der Riechbahn, den pyramidenförmigen Mitralzellen des Bulbus olfactorius (Müller et al., 2005). Nur Axone mit den gleichen Rezeptorproteinen bilden mit den dazugehörigen Mitralzellen ein Glomerulus. Letztere sind über Körnerzellen und Interneurone, den periglomerulären Zellen, miteinander verbunden und wirken über eine laterale Hemmung auf die Mitralzellen ein. Dadurch reduzieren sich eingehende Informationen der Riechrezeptoren und es kommt zur Kontrastbildung der Düfte (Witt und Hansen, 2009).

Die Axone der Mitralzellen lassen sich zum Tractus olfactorius zusammenfassen, welcher die Informationen zum olfaktorischen Kortex an das basale Vorderhirn leitet. Diese sekundären olfaktorischen Strukturen bestehen aus dem Nucleus olfactorius anterior, welcher Daten an den kontralateralen Bulbus olfactorius, dem piriformen Kortex, der Amygdala und dem enthorinalem Kortex weitergibt. Von diesen Strukturen ausgehend werden die Informationen weiter an die tertiären olfaktorischen Strukturen, der Insel und dem orbitofrontalen Kortex, geleitet (siehe Abbildung 3). Die Bahnen zum kontralateralen Bulbus, welche über die Kommissura anterior ziehen, kreuzen und inhibieren sich gegenseitig, sodass es wiederum zur Kontrastierung des Riecheindrucks kommt. In der dem Neokortex zugehörigen Insel erfolgt die Integration verschiedener Sinnesmodalitäten, wie z. B. die Vernetzung von gustatorischen und olfaktorischen Reizen (Witt und Hansen, 2009). Der orbitofrontale Kortex, in welchem verschiedene sekundäre olfaktorische Strukturen hineinprojizieren, spielt eine wichtige Rolle beim Arbeitsgedächtnis, Belohnungsvorgängen und nicht zuletzt bei der Erkennung von Gerüchen (Rolls, 2004). Außerdem kann durch die enge Verschaltung mehrerer vegetativer Zentren erklärt werden, warum der Duft von frisch gebackenem Brot den Speichelfluss anregt oder weniger angenehme Gerüche zum Brechreiz führen können. Auch die räumliche Verbindung der Amygdala zum Hippocampus verdeutlicht, warum Menschen mit bestimmten Düften eine emotionale Verbindung herstellen können (Hummel und Welge-Lüssen, 2009).

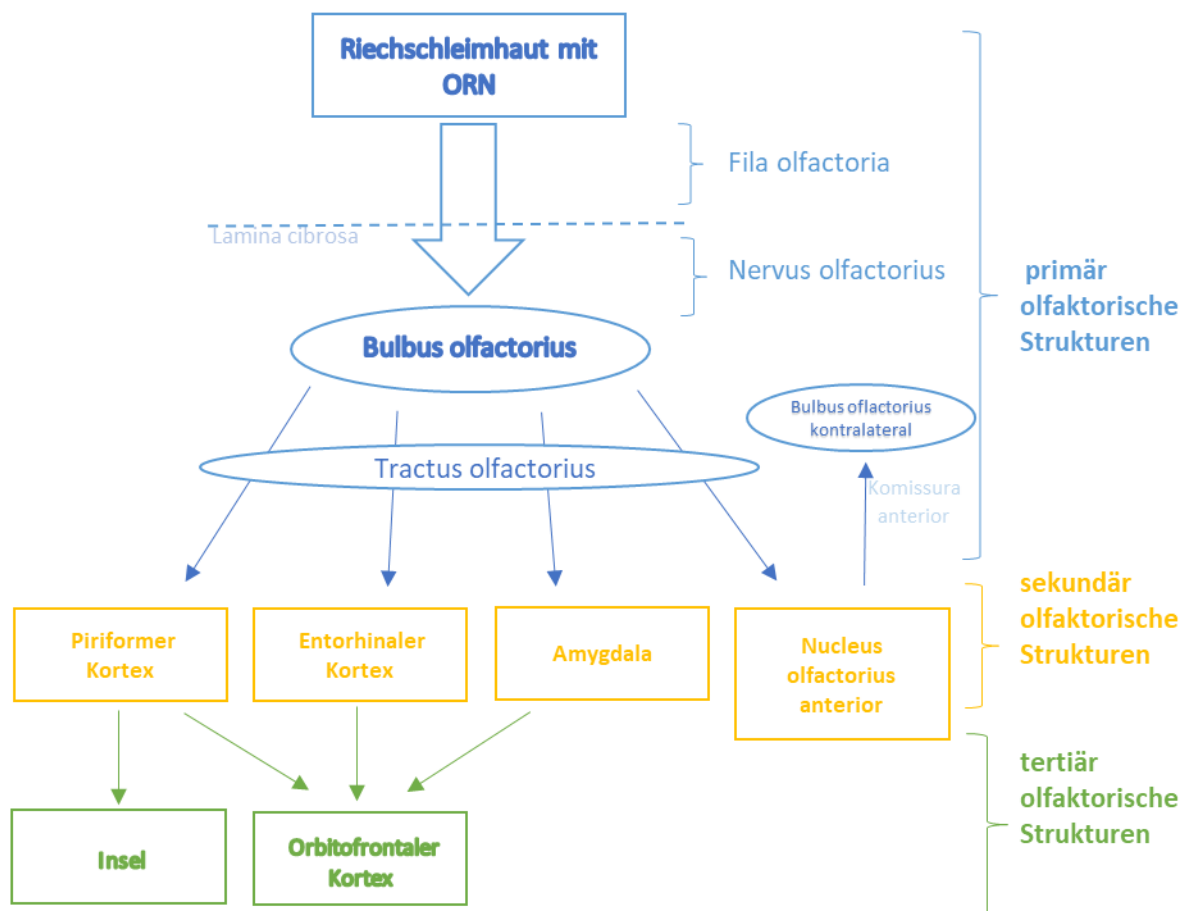


Abbildung 3: Schematische Darstellung der primären, sekundären und tertiären Strukturen der Riehbahn (ORN = olfaktorische Rezeptorneurone). Die Axone der ORN laufen gebündelt als Fila olfactoria zum Bulbus olfactorius. Von dort aus laufen Mitralzellen zum Tractus olfactorius zusammen, welcher die Informationen zum olfaktorischen Kortex an die sekundären olfaktorischen Strukturen (Nucleus olfactorius anterior, piriformer Kortex, Amygdala, entorhinaler Kortex) leitet. Von diesen Strukturen ausgehend werden die Informationen weiter an die tertiären olfaktorischen Strukturen (Insel, orbitofrontaler Kortex) gebahnt. Die Bahnen zum kontralateralen Bulbus, welche über die Kommissura anterior ziehen, kreuzen und inhibieren sich gegenseitig, sodass die Gerüche einer Kontrastbildung unterzogen werden.

2.2 Elektrophysiologische und psychophysische Testverfahren

Um das Riechvermögen eines Menschen und dessen Vorgang beurteilen zu können, existieren zum einen subjektive, zum anderen aber auch objektive Verfahren (Hummel et al., 2000).

Zu der Gruppe der subjektiven Testverfahren zählt zum Beispiel der Identifikationstest (siehe 3.2.1), bei dem die Probanden mittels der „forced choice“ Methode den dargebotenen Duft anhand von vier Auswahlmöglichkeiten in Schrift und Bild identifizieren müssen (Hummel et al., 1997). Diese Tests werden allgegenwärtig benutzt, um Riechstörungen zu detektieren. Der Nachteil dieser Verfahren besteht jedoch darin, dass der Untersucher von den kognitiven Fähigkeiten, der Compliance und der Kooperation der Versuchspersonen abhängig ist (Hummel et al., 2007).

Im Gegensatz dazu stehen die objektiven Testverfahren der olfaktorischen Verarbeitung, wie das fMRT (Yousem et al., 1999), die PET (Zald und Pardo, 2000) oder das EOG (Lapid et al., 2011). Auch mittels elektrophysiologischer Untersuchungen kann das Riechvermögen eines Einzelnen unabhängig von äußeren oder inneren Faktoren bestimmt werden. Diese Verfahren haben sich als Standardmethode aufgrund niedriger Kosten und geringem Aufwand etabliert. Dazu zählt das Elektroenzephalogramm, auch als „EEG“ bezeichnet (Kobal und Hummel, 1988).

2.2.1 Ereigniskorrelierte Potentiale

Anfang des 20. Jahrhunderts bewertete Berger erstmals rhythmische Hirnaktivität beim Menschen und schuf somit die Grundlage der wissenschaftlichen Elektroenzephalographie (Altenmüller, 1996). Durch Elektroden an der Kopfoberfläche kann ein graphisches Muster von Potentialänderungen des elektromagnetischen Feldes abgeleitet werden, welches durch die elektrische Aktivität der kortikalen Neuronen im Gehirn entsteht. Mit Hilfe eines EEGs wird diese Darstellung als „Spontan-EEG“ und „ereigniskorrelierte Potentiale“ (engl. event related potential, ERP) sichtbar. Ersteres umfasst die Aufzeichnung von Gehirnströmen, die ereignisunabhängig auftreten und den Grundrhythmus des Gehirns, abhängig vom Schlaf-Wach-Rhythmus, darstellen. Es ist durch ein charakteristisches Amplitudenbild mit einer Frequenz zwischen 0 und 50 Hz, sowie einer Amplitude bis 200 μ V gekennzeichnet. Dagegen wird das

ERP unterschieden, welches vom Spontan-EEG überlagert wird und die Verarbeitung von endogenen sowie exogenen Reizen im Gehirn widerspiegelt (Lutzenberger et al., 1985). Diese lassen sich in Motorpotentiale, sensorisch evozierte Potentiale und langsame Potentiale einteilen (Lutzenberger et al., 2013; Thompson und Patterson, 2013). Die sensorisch evozierten Potentiale zeichnen sich durch einen schnellen und steilen Amplitudenanstieg mit anschließender rascher Normalisierung aus. Wie der Name schon andeutet, treten diese Potentiale unmittelbar im Zusammenhang mit einem sensorischen Stimulus auf. Ob visuell, olfaktorisch, somatosensorisch oder akustisch ausgelöst, die Potentialschwankungen sind stark abhängig von der Intensität und Modalität, nicht jedoch von der kognitiven Verarbeitung. Deshalb werden diese Potentiale in der Literatur auch als exogene Potentiale beschrieben und treten ca. 100 ms nach dem Stimulus auf (Birbaumer et al., 1981, 2003). Die langsamen Potentiale hingegen beruhen auf komplexen psychologischen Vorgängen. Sie werden aufgrund dessen als die kognitiv-emotionale Komponente beschrieben und gehören zu den endogenen Potentialen (Birbaumer et al., 1981; Trimmel, 1990).

Für gewöhnlich ist die einzelne Antwort der Kortexzellen im EEG als randomisiertes Rauschen dargestellt, sehr klein (10 μ V Bereich) und nicht klar ersichtlich. Um die ERPs vom überlagerten Grundrhythmus im EEG herausfiltern zu können, müssen Wiederholungen des Signals erfolgen (Kobal, 1981). Das hat zur Folge, dass die sich nicht synchronisierende Grundaktivität aufgehoben wird und sich die verbleibenden ERPs aufaddieren. Um ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen, sollte eine große Anzahl an Neuronen aktiviert und synchronisiert werden (Kobal und Hummel, 1988). Um dieses Ziel zu erreichen, sollte das Blinzeln mit den Augen auf ein Minimum reduziert werden, da der Lidverschluss EEG-Veränderungen hervorrufen kann. Außerdem sollte ein schneller Stimulanstieg von ca. 20 ms und eine ausreichende Konzentration des Probanden, zum Beispiel durch eine Aufgabe während der Messung, sichergestellt werden (Hummel et al., 2000).

2.2.2 Das akustisch ereigniskorrelierte Potential

Im Alltag scheint die auditorische Wahrnehmung eine bedeutende Rolle in der Alarm- und Wachfunktion einzunehmen (Miwa et al., 2001; Ache und Young, 2005). So ist das Klingeln des Weckers am Morgen eine zuverlässige Methode, um den Tag pünktlich beginnen zu können. Auch der schrille Feuersalarm von Brandmeldern stellt ein zuverlässiges Hilfsmittel für das rasche Einschreiten in kritischen Situationen dar (Moerman et al., 1993). Zusätzlich zu den

praktischen Gesichtspunkten, nämlich der guten Steuerbarkeit mittels Kopfhörer, haben wir uns aus diesen Gründen für die akustisch evozierten Potentiale (AEP) als Stimulus entschieden.

Tritt nun ein akustischer Reiz auf die Ohren, entsteht in der Cochlea ein Potential, welches vom Akustikusnerv über den Hirnstamm bis hin zum Kortex weitergeleitet wird. Die nun im EEG sichtbaren AEP lassen sich in Abhängigkeit von ihrem zeitlichen Auftreten in einen frühen, mittleren und späten Anteil einteilen. Jeder Anteil ist außerdem mit einer bestimmten anatomischen Struktur assoziiert (Thornton et al., 1989).

Der auch als „Hirnstammpotentiale“ bezeichnete frühe Anteil des AEPs findet vor allem in der Diagnostik von Hörstörungen Anwendung und umfasst den Nucleus cochlearis, den Akustikusnerv und die Hörbahn (Komplexus olivarius superior, Lemniscus lateralis, Kollikulus inferior, Corpus geniculatum mediale). Es tritt bis 10 ms nach dem akustischen Reiz auf (Hashimoto et al., 1981). Dagegen wird das mittlere AEP, welches auch als „middle latency acoustic evoked potential“ bekannt ist, in den Temporallappen weitergeleitet. Es konnte in der Vergangenheit gezeigt werden, dass dieses Potential, welches in der Zeit zwischen 10-50 ms nach Stimulus erkennbar ist, die Hörverarbeitung widerspiegelt. Diesem folgt das späte akustische Potential, welches auch als „long latency acoustic potential“ bezeichnet wird. Es entsteht im Kortex und stellt die kognitive und emotionale Verarbeitung des Stimulus dar (Picton et al., 1974; Thornton et al., 1989). In der vorliegenden Studie setzten wir den Schwerpunkt auf genau dieses zuletzt genannte Potential.

Das AEP zeichnet sich durch ein charakteristisches Amplitudenbild aus, welches nach der Anordnung der Signalgipfel in den negativen oder positiven Bereich benannt und nummeriert wird. Aufgrund internationaler Richtlinien werden Amplituden mit positivem Ausschlag nach unten und mit negativem nach oben dargestellt (Buchner, 2014). Wie in Abbildung 4 veranschaulicht, werden die negativen Ausschläge mit einem „N“, positive mit einem „P“ gekennzeichnet und nach dem Auftreten ihrer Reihenfolge durchnummeriert (Evans et al., 1993). Die Amplitude zwischen N1 und P2 (N1P2) wurde in der vorliegenden Studie detektiert und analysiert.

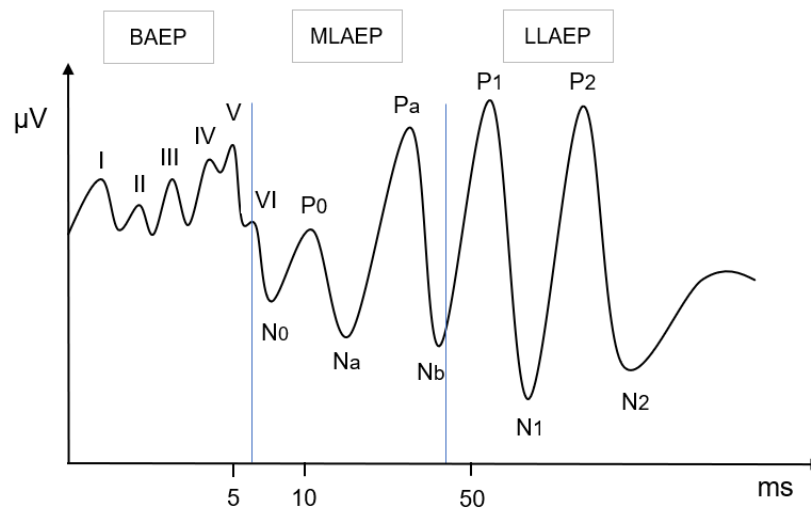


Abbildung 4: Kurvenverlauf des akustisch evozierten Potentials mit frühem, mittlerem Anteil und spätem Anteil (BAEP = brainstem acoustic evoked potential, MLAEP = middle latency acoustic evoked potential, LLAEP = long latency acoustic potential, modifiziert nach Picton et al., 1974)

2.2.3 Die kontingent negative Variation

Eine Möglichkeit zur Beurteilung der Gefälligkeit eines Geruchs und dem damit einhergehenden Wohlbefinden einer Person ist die Verwendung der CNV. Bereits Gerull und Kollegen (1981) befanden es für sinnvoll, die CNV als sicheres Mittel der Wahl für die zentrale Wahrnehmung eines Sinnesreizes zusätzlich zum ERP bei der Olfaktometrie aufzunehmen und auszuwerten. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass mit Hilfe einer gleichzeitigen Registrierung der ERP und der CNV sowohl die Riechempfindung, als auch das Geruchsunterscheidungsvermögen detektieren werden können (Matern et al., 1995).

Die CNV muss von den ERP abgegrenzt werden und gehört zur Gruppe der langsamen Potentiale. Typischerweise dauert diese Änderung der elektrischen Hirnaktivität über mehrere Sekunden an. Auch in ihrer Form unterscheidet sie sich von den ERP, indem statt von einer gipfelförmigen Amplitude eher von einem rampenförmigen Aussehen gesprochen werden kann (Walter et al., 1964; Kropp et al., 1996).

Die CNV wurde bereits 1964 von Gray Walter als eine der ersten evozierten Antworten beschrieben, die vom EEG durch Mittelung von Stimulus-korrelierten EEG-Abschnitten erhalten wurde. Sie besteht aus einem langsamen kortikalen, durch ein Ereignis hervorgerufenen Po-

tential, welches von der Kopfhaut aus nach Präsentation eines Stimulus (Warnreiz) in Erwartung eines zweiten Ereignisses (imperative Reiz) aufgezeichnet wird (S1 / S2). Letzteres Signal beendet die CNV daraufhin schlagartig. Aufgrund der damit einhergehenden Vorwarnung für den zweiten Stimulus lässt sich auch der englische Begriff „expectancy wave“ (Erwartungswelle) erklären. Die Form des Reizes kann beliebig gewählt werden, z. B. akustisch oder visuell. Die Probanden bereiten sich währenddessen darauf vor, eine bestimmte Aufgabe in Bezug auf den zweiten Stimulus zu erfüllen. Die Tätigkeit besteht darin, sofort nach der Präsentation des zweiten Reizes z. B. einen Knopf zu drücken (Walter et al., 1964; Walter, 1967; Kropp et al., 1996).

Ist der Interstimulusintervall größer als drei Sekunden, lässt sich die CNV in eine frühe und eine späte Phase unterscheiden. Die frühe Komponente, welche unmittelbar auf den Warnreiz folgt, spiegelt die Orientierungsreaktion (O-Welle) wieder und verkörpert die ausgelöste Aufmerksamkeit und Erwartung. Davon abzugrenzen ist der darauffolgende späte Anteil der CNV, der sich direkt vor dem imperativen Reiz als E-Welle präsentiert. Er ist durch die Schätzung, Vorbereitung und motorischer Verarbeitung der Reaktion auf den zweiten Stimulus charakterisiert (Birbaumer et al., 1981; Yazawa et al., 1997). Entspricht der zeitliche Abstand zwischen den Reizen S1 und S2 jedoch weniger als drei Sekunden, entwickelt sich ein ansteigendes monophasisches CNV (Walter et al., 1964).

Das Ausmaß der Amplitude wird allerdings nicht nur durch Intensität, Modalität, Dauer und Abstand zwischen den beiden Reizen beeinflusst, sondern auch durch Motivation, Konzentration und Wachheit (Segalowitz und Davies, 2004). Die CNV-Amplitude repräsentiert die auf einen Stimulus folgende Erregung dendritischer Äste von neurokortikalen Pyramidenzellen der kortiko-striato-thalamo-kortikalen Schleife. Je ausgeprägter die Erregung der Pyramidenzellen, desto höher ist die messbare Amplitude der CNV (Elbert, 1993). Auch das katecholaminerge und dopaminerge System stehen in engem Zusammenhang mit der CNV und bestimmen über das Ausmaß der Negativierung (Kropp et al. 1996). Eine hohe CNV-Amplitude korreliert mit einem Überwiegen noradrenerger und dopaminerger Transmitter (Timsit-Berthier et al., 1987). Bereits in einer Vielzahl von Studien wurde die CNV in Hinblick auf ihre Modulation untersucht und in Beziehung zu körperlichen und seelischen Auswirkungen auf verschiedene Substanzen und Krankheiten gesetzt (Tecce, 1972). So wurde eine erhöhte CNV bei Angstpatienten und depressiven Patienten mit psychomotorischer Agitiertheit registriert (Rizzo et al., 1985; Ashton et al., 1988). Eine Verminderung der Amplitude konnte dagegen bei Erkrankungen wie z. B. Schädel-Hirn-Trauma oder Morbus Parkinson detektiert werden (Rizzo et al.,

1978; Amabile et al., 1986). Hiruma und Kollegen (2002) hingegen bewiesen die stimulierende Wirkung von Hiba-Öl (mit den Hauptbestandteilen Terpinolen und 4-Terpineol) auf die Stressmodulation, was eine höhere CNV-Amplitude zur Folge hatte. Auch durch die unmittelbare Sedierung oder Erregung des Gehirns mittels Koffein oder einem Depressivum kann dieses Erwartungspotential beeinflusst werden (Ashton et al., 1974). Torii und Kollegen (1988) fanden heraus, dass der stimulierende Geruch Jasmin zu einer erhöhten Amplitude der CNV führte. Lavendel, dem eine eher sedierende Wirkung nachgesagt wird, verringerte hingegen den Anstieg im EEG. Es wurde daraufhin vorgeschlagen, dass die CNV eingesetzt werden könnte, um Einblicke in die stimmungserhellenden Eigenschaften von Gerüchen zu gewinnen (Torii et al., 1988).

2.3 Persönlichkeit

Bereits seit der Antike wurde sich mit der Frage beschäftigt, was den Charakter oder das Wesen eines Menschen bestimmt. Schon der Arzt Hippokrates (460 bis 377 v. Chr.) unterschied vier verschiedenen Temperamentstypen: phlegmatisch, sanguinisch, melancholisch und cholisch (Jung, 2014). Trotz dessen, dass der Begriff „Persönlichkeit“ in unserem Wortschatz häufig auftaucht und allgegenwärtig bekannt ist, lässt sich keine einheitliche Definition finden. In der Persönlichkeitsforschung werden die Persönlichkeitszüge häufig als „enduring tendencies or habitual patterns of behaviour, thought and emotion“ – überdauernde Tendenzen oder gewohnte Muster des Verhaltens, des Denkens und des Fühlens beschrieben (McCrae und Costa, 2003).

Die Merkmale der Persönlichkeit sind einerseits genetisch angelegt, andererseits erworben im Laufe des frühen Lebens eines Menschen. Die Qualität der Persönlichkeitseigenschaften bleiben über einen Lebenszyklus hinweg relativ konstant (McCrae und Costa, 1989, 2003). Somit sind Einstellung und Verhalten der Persönlichkeit in verschiedenen Situationen zeitlich vorgelegt. Welche Stimuli eine Person in ihrer Umwelt als wichtig erachtet, welche Ziele sie verfolgt und wie sie auf einen bestimmten Stimulus reagiert, können somit beeinflusst werden. Tiefverankerte Persönlichkeitsdimensionen führen im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Umwelteinflüssen zur Anpassung eines Menschen und somit zur Ausprägung bestimmter Einstellungen, Gewohnheiten und Verhaltensmuster (McCrae und Costa, 1997).

Es wurden in der Persönlichkeitsforschung viele Modelle entwickelt, um die verschiedenen Dimensionen beschreiben zu können. Eines davon ist das Fünffaktoren-Modell der Persönlichkeit, welches eine etablierte Möglichkeit darstellt, die Persönlichkeit mittels fünf Eigenschaften zu beschreiben (Goldberg, 1990). Zu diesen „Big Five“ zählen Neurotizismus, Offenheit für Erfahrung, Extraversion, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit. Dieses Modell eignete sich hervorragend für die vorliegende Arbeit, da die „Big Five“ eine hohe Stabilität aufgrund ihrer Unabhängigkeit von Alter und sozialem oder kulturellem Hintergrund versprechen (McCrae und Costa, 1989).

2.3.1 Fragebogen – Der NEO-FFI

Der NEO-Fünf-Faktoren-Inventar ist ein Fragebogenverfahren, welches der Erhebung von individuellen Merkmalsausprägungen in den Dimensionen Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrung, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit, auch als die „Big Five“ bekannt, dient (Borkenau und Ostendorf, 2008).

Die Beschreibung der „Big Five“ basiert auf den psycho-lexikalischen Ansatz, welcher sich aus der Sedimentationshypothese von Cattell (1943) und Klages (1926) herleiten lässt. Diese Hypothese besagt, dass charakterliche Unterschiede zwischen den Menschen, die interessant, bedeutsam oder nützlich waren, in der Sprache Eingang gefunden haben. Je bedeutsamer eine dieser Eigenschaften waren, desto wahrscheinlicher setzte sie sich als eigenständiges Wort in der Sprache durch. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die in Lexika niedergeschriebenen Merkmale das Universum aller bedeutsamen Persönlichkeitseigenschaften abdecken. Im deutschsprachigen Raum sammelten Allport und Odbert in den 1930er Jahren fast 18.000 Eigenschaften, die sich zur Beschreibung von Persönlichkeitsmerkmalen eignen. Im Jahr 1943 wurden diese von Raymond B. Cattell in den Vereinigten Staaten mittels faktorenanalytischer, korrelationsanalytischer und inhaltsanalytischer Methoden auf 4504 Wörter reduziert. Diese konnten wiederum aufgrund ihrer semantischen Ähnlichkeiten auf 171 Clustern von Antonymen und Synonymen zusammengefasst werden. Im nächsten Schritt reduzierte Cattell die Sammlung auf 35 Variablencluster und analysierte diese mittels faktorenanalytischer Methoden. Auf Basis dieser Methoden erfolgte eine Vielzahl weiterer Studien, die letztendlich das Modell der stabilen und kulturübergreifenden „Big Five“ hervorbrachten (Borkenau und Ostendorf, 2008). Die „Big Five“ sind Grundlage des Persönlichkeitsfragebogens NEO-FFI, welcher von Costa und McCrae (1989) entwickelt wurde. Der Fragebogen konzentriert sich auf die fünf Persönlichkeitseigenschaften bei psychisch gesunden Erwachsenen und Jugendlichen und umfasst insgesamt 60 Items. Aus diesen Items lassen sich jeweils 12 zu einer Persönlichkeitseigenschaft zuordnen. Der Proband soll verschiedene Aussagen prüfen und ankreuzen, indem er zwischen fünf Antwortmöglichkeiten von „starker Ablehnung“ bis hin zu „starker Zustimmung“ auswählt. Anhand des Ergebnisses kann er anschließend einer der fünf Charaktereigenschaften zugeordnet werden (Borkenau und Ostendorf, 2008).

In dem von Ostendorf und Borkenau herausgebrachtem deutschen Manual sind die fünf Faktoren des Modells klar definiert (Borkenau und Ostendorf, 2008). Für jedes Persönlichkeitsmerkmal wurde zur Veranschaulichung je ein Beispiel in der folgenden Tabelle aufgelistet

(siehe Tabelle 1). Dennoch ist es sinnvoll, die Bedeutung der verschiedenen Faktoren einmal aufzuschlüsseln:

Der Faktor Neurotizismus zeichnet sich durch hohe Werte von Ängstlichkeit, Nervosität, Unsicherheit, Verlegenheit und Traurigkeit aus. Außerdem neigen Probanden mit dieser Eigenschaft dazu, sich viele Sorgen um die Gesundheit zu machen, können weniger adäquat auf Stresssituationen reagieren und entwickeln oft unrealistische Ideen.

Die Extraversion dagegen ist eine Eigenschaft, die sich besonders gesellig, aktiv, gesprächig, herzlich, optimistisch und heiter gegenüber den Mitmenschen zeigt. Teilnehmer mit diesem Faktor mögen Anregungen und Aufregungen.

Menschen mit hohen Werten in der Dimension Offenheit für Erfahrung schätzen neue Erkenntnisse, sind kreativ, phantasievoll und bevorzugen Abwechslung. Außerdem sind sie unabhängig in ihrem Urteil und sehr wissbegierig.

Die Dimension Verträglichkeit beinhaltet Personen, die mitfühlend, altruistisch, verständnisvoll und besonders wohlwollend sind. Zwischenmenschliches Vertrauen, Nachgiebigkeit, Kooperativität und ein starkes Harmoniebedürfnis sind die Eigenschaften, die sie besonders auszeichnen.

Gewissenhaftigkeit fasst die Merkmale Ordentlichkeit, Zuverlässigkeit, Disziplin, sowie Pünktlichkeit und Ehrgeiz. Dieser Faktor unterscheidet hart arbeitende und penible Menschen von eher gleichgültigen und nachlässigen Personen (Borkenau und Ostendorf, 2008).

Faktoren	Itembeispiel
Neurotizismus	Ich fühle mich oft einsam oder traurig.
Extraversion	Ich bin leicht zum Lachen zu bringen.
Offenheit für Erfahrung	Mich begeistern Motive aus der Kunst und Natur.
Verträglichkeit	Ich versuche zu jedem freundlich zu sein.
Gewissenhaftigkeit	Ich halte meine Sachen ordentlich und sauber.

Tabelle 1: Die fünf Persönlichkeitsdimensionen des NEO-FFI aufgelistet unter den Faktoren mit jeweils einem Beispiel aus dem Fragebogen (Borkenau und Ostendorf, 2008).

2.4 Zielstellung

Bereits Torii und Kollegen (1988) beobachteten, dass der stimulierende Geruch Jasmin zu einer erhöhten Amplitude der CNV führte. Lavendel, dem hingegen eine sedierende Wirkung zugeschrieben wird, reduzierte den Anstieg im EEG. Eine weitere Studie von Hiruma (2002) führte ebenfalls zu einem höheren CNV-Gipfel und belegte die stimulierende Wirkung von Hiba-Öl auf die Stressmodulation. Der vorliegenden Arbeit liegt die Frage zugrunde, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Gefälligkeit von Gerüchen und dem CNV in seiner Modulation finden lässt. Zum Einsatz kamen dabei vier Gerüche, die normalerweise als angenehm eingestuft werden, aber dennoch verschiedene Bereiche des Duftspektrums abdecken (Pfefferminze, Vanille, Orange und Moschus). Zur Kontrolle wurde den Probanden zusätzlich Luft dargeboten. Diese fünf Stimuli untersuchten wir zusätzlich im Hinblick auf die Hedonik (angenehm / unangenehm), beruhigender Wirkung und Intensität. In der Vergangenheit konnte bereits in verschiedenen Studien Geschlechtsunterschiede in Bezug auf die Bewertung von Düften gezeigt werden. Diese hängen jedoch möglicherweise davon ab, welche Gerüche verwendet werden (Brand und Jacquot, 2007; Doty und Cameron, 2009). So bewerteten Frauen den Geruch von Pyridin als unangenehmer, sowie den Duftstoff Hedion intensiver als Männer (Olofsson und Nordin, 2004; Wallrabenstein et al., 2015).

Da jüngere Personen im Vergleich zur älteren Bevölkerung im Allgemeinen einen besseren Geruchssinn in Bezug auf das chemosensorisch ereignisbezogene Potential besitzen (Hummel et al., 1998), stellten wir zusätzlich die Hypothese auf, dass sich diese Tatsache in der Umformung des CNV widerspiegeln würde. Bei den jüngeren Probanden sollte dieses Potential im Vergleich zur Versuchsgruppe der über 40-Jährigen folglich stärker ausgeprägt sein. Außerdem konnte in Studien gezeigt werden, dass Frauen im Vergleich zu Männern dem Riechen eine höhere Bedeutung zumessen und eine bessere olfaktorische Funktion besitzen (Larsson et al., 2000). Aus diesem Grund untersuchten wir die Modulation der CNV zusätzlich in Bezug auf das Geschlecht.

Bereits frühere Forschungsarbeiten bewiesen außerdem, dass die Reaktionszeit auf den zweiten Stimulus durch Umweltbedingungen beeinflusst werden kann. So konnte in einer Studie von Takagi und Watanabe (1999) gezeigt werden, dass die Messwerte in einer Unterdruckkammer unter hypobaren, hypoxischen Bedingungen, wie sie in Höhen von bis zu 6000 m zu finden sind, verlängert ausfielen. Es wurde dabei postuliert, dass die Ableitung der CNV als

Parameter für die höheren zerebralen Verarbeitungsprozesse unter hypoxischen Bedingungen genutzt werden können. Wir stellten uns daraufhin die Frage, ob die Reaktionszeit bei gleichzeitiger Modulation der CNV durch unterschiedliche Gerüche beeinflusst wird.

Zusätzlich stellten wir uns die Frage, ob eine Korrelation zwischen der Gefälligkeit von Gerüchen und verschiedenen Charaktereigenschaften in Hinblick auf die Modulation der CNV gefunden werden kann und ob die Bedeutung der Geruchswahrnehmung im Alltag beeinflussende Effekte besitzt.

3 Material und Methoden

3.1 Stichprobenbeschreibung

3.1.1 Studienplanung

Im Zeitraum August 2018 bis einschließlich Dezember 2019 erfolgte die Datenerhebung dieser klinisch-experimentellen Querschnittsstudie. Die Versuchsdauer pro Proband betrug ca. zwei Stunden.

Die Studie wurde entsprechend der „Deklaration von Helsinki – Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen“ der World Medical Association (World Medical Association, 2013) durchgeführt und durch die Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus der Technischen Universität Dresden positiv begutachtet (EK-Nr. 340082017). Alle Probanden wurden sowohl mündlich als auch schriftlich über den Ablauf der Studie aufgeklärt. Dabei wurde verdeutlicht, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig geschieht und jederzeit abgebrochen werden kann. Weiterhin erhielten die Teilnehmer eine Aufwandsentschädigung.

Der Versuch wurde in zwei Abschnitte gegliedert (siehe Abbildung 5). Die Voruntersuchung bestand aus dem Geruchsidentifikationstest mittels Sniffin' Sticks (Hummel et al., 1997) und einer standardisierten Anamnese (Hummel und Welge-Lüssen, 2013), um Normosmie sicherzustellen. Außerdem wurden den Teilnehmern mittels des Fragebogens NEOFFI (McCrae et al., 2005) fünf verschiedene Charaktereigenschaften zugeordnet (Offenheit für Erfahrungen, Gewissenhaftigkeit, Extraversion, Neurotizismus und Verträglichkeit). Die individuelle Bedeutung der Geruchswahrnehmung konnte ebenfalls anhand eines weiteren Fragebogens erfasst werden (Croy et al., 2010). Mittels der nasalen Endoskopie konnten Pathologien in der Nasenanatomie ausgeschlossen werden.

Der Voruntersuchung folgte die Hauptsitzung, in der eine präzise Stimulation des Geruchssystems mit einem computergesteuerten Olfaktometer (Gesamtluftstrom 2l/min) erreicht wurde (Sommer et al., 2012). Es ermöglichte eine Geruchspräsentation ohne gleichzeitige mechanische Stimulation. Über Kopfhörer konnten die Teilnehmer zwei verschiedene Töne wahrneh-

men, wobei die Aufgabe darin bestand, bei dem zweiten hohen Ton die Maustaste in der rechten Hand zu betätigen. Damit konnte die Reaktionszeit registriert werden. Gleichzeitig wurde ein EEG aufgezeichnet. Zum Schluss sollten die Probanden anhand einer visuellen Analogskala die fünf Gerüche nach Intensität, Hedonik und beruhigender Wirkung einschätzen.

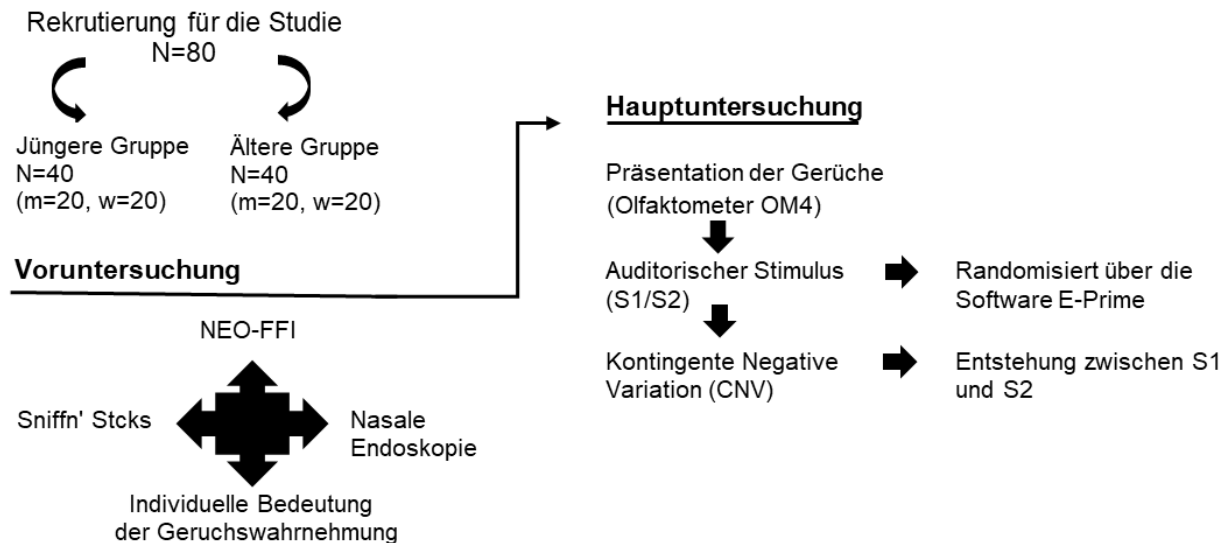


Abbildung 5: Experimenteller Arbeitsablauf. Die Studie wurde in eine Vor- und Hauptuntersuchung unterteilt. Während der Voruntersuchung füllten die Teilnehmer Fragebögen, wie den Fragebogen zur individuellen Bedeutung der Geruchswahrnehmung und einen Persönlichkeitstest (NEO-FFI) aus. Außerdem wurde eine Endoskopie der Nase durchgeführt und die Sniffin' Sticks zur Geruchsidentifikation präsentiert. Während der Hauptsitzungen wurde die EEG-bezogene CNV als Reaktion auf auditive Stimuli, welche von der E-Prime Software erzeugt wurden, aufgezeichnet.

An der Studie nahmen insgesamt 80 Personen teil. Diese ordneten wir in zwei Altersgruppen. Für die abschließende Auswertung konnten insgesamt 62 Teilnehmer eingeschlossen werden. Die Ergebnisse der ausgeschlossenen 18 Teilnehmer mussten aufgrund zahlreicher Artefakte und der damit verbundenen geringen Datenqualität entfernt werden. Eine Gruppe beinhaltete Personen unter 30 Jahre ($N = 30$, $M = 23,1 \pm 3,0$ Jahre, $m = 18$, $w = 12$), welche in den folgenden Ausführungen als „jüngere Gruppe“ bezeichnet wird. Die „ältere Gruppe“ dagegen umfasst Personen über 40 Jahre ($N = 32$, $M = 52,3 \pm 11,6$ Jahre, $m = 17$, $w = 15$).

Als Einschlusskriterium sollten die Probanden Normosmie besitzen, welche mittels eines Identifikationstests durch Sniffin' Sticks erfasst werden konnte (Hummel et al., 1997). Als Ausschlusskriterium galt das Alter außerhalb der zuvor definierten Grenzen. Weiterhin wurden Probanden mit einer akuten oder chronischen Entzündung der Nase und Nasennebenhöhlen,

Schwangerschaft oder Stillzeit und wesentlichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, die mit Störungen der olfaktorischen Funktion einhergehen können, z.B. Morbus Parkinson oder Niereninsuffizienz (Rahayel et al., 2012), ausgeschlossen. Außerdem sollten die Teilnehmer Nichtraucher sein. In einer Studie von Hummel konnte gezeigt werden, dass die Händigkeit eines Menschen die Lateralisation bei der Diskrimination von Gerüchen beeinflussen kann (Hummel et al., 1998). Um dies ausschließen zu können, durften nur rechtshändige Probanden an der Studie teilnehmen. Sie wurden erfasst, indem die Teilnehmer zu Beginn des Experiments den Anamnese-Fragebogen der HNO ausfüllten (siehe Anhang A).

3.2 Psychophysische Untersuchung

3.2.1 Geruchsidentifikationstest

Zur umfassenden Prüfung des Geruchvermögens wurden die Sniffin' Sticks verwendet (Hummel et al., 1997). Jedem Probanden wurden 16 verschiedene Düfte in Stiftform von der handschuhtragenden Studienleiterin dargeboten (siehe Abbildung 6). Die Spitze des zu testenden Filzstiftes wurde ca. zwei Zentimeter unter der Nase des Teilnehmers gehalten. Bei Bedarf wurde die Darbietung des Geruchs wiederholt. Zu jedem Duft wurde eine Karte mit vier verschiedenen Antwortmöglichkeiten, sowohl in Bild- als auch in Schriftform, vorgelegt. Die Testperson wählte nun die für sie subjektiv zutreffende Antwort aus. Es wurde nach der „forced-choice-procedure“ vorgegangen, sodass der Teilnehmer auch bei Unsicherheit eine Antwortmöglichkeit auswählen musste (siehe Tabelle 2). Dadurch musste sich der Proband mit dem dargebotenen Duft verstärkt auseinandersetzen, was dazu führt, dass die Gerüche doch öfter richtig erkannt werden (Hummel et al., 2009). Für jede richtige Antwort gab es einen Punkt. Die zu erreichende Punktzahl des Identifikationswerts (I-Wert) liegt folglich zwischen 0 und 16. Jede Testperson musste mindestens 12 Punkte erlangen, um als normosmisch zu gelten und im Anschluss an der Studie teilnehmen zu können.



Abbildung 6: Testbatterie mit Sniffin' Sticks der Firma Burghart und den dazugehörigen Karten mit jeweils vier Auswahlmöglichkeiten in Abbildungen und Schriftform.

Nr. der Sniffin' Sticks	Auswahlmöglichkeit 1	Auswahlmöglichkeit 2	Auswahlmöglichkeit 3	Auswahlmöglichkeit 4
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	Gummibär	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 2: Die vier Auswahlmöglichkeiten der jeweiligen Sniffin' Sticks von 1 - 16 (grün = richtige Antwort) sind dargestellt.

3.2.2 Fragebogen - Bedeutung der Geruchswahrnehmung

Um die individuelle und subjektive Bedeutung der Riechfunktion eines Menschen zu messen, wurde der Fragebogen „Bedeutung der Geruchswahrnehmung“ oder auch „Importance of Olfaction“ (IOQ) von Croy und Kollegen (2010) an der Technischen Universität Dresden entwickelt. Dieser wurde in der vorliegenden Studie in Zusammenhang mit der CNV gesetzt, um eine mögliche Korrelation der Amplitudenmodulation durch Gerüche mit deren Bedeutung im Alltag herauszufinden. Der Fragebogen setzt sich aus drei Kategorien zusammen: (A) = Anwendung des Riechens, (B) = Assoziationen und Bewertung der olfaktorischen Wahrnehmung und (K) = daraus gezogene Konsequenz (siehe Anhang B). Die Skala der Anwendung des Riechens beschreibt den Grad der bewussten Nutzung von Gerüchen im Alltag, z. B. „Wenn ich einen Blumenstrauß bekomme, rieche ich daran“. Dagegen beschäftigt sich die Assoziationskala mit den Emotionen, der Bewertung und den Erinnerungen, die Düfte auslösen können. Ein Beispiel hierfür wäre: „Ich fühle mich schnell durch Gerüche in meiner Umgebung gestört“. Schließlich weist die Konsequenzskala darauf hin, in welchem Maß der Geruchssinn das Handeln im Alltag beeinflusst, z. B. „Stellen Sie sich vor, Sie besuchen ein Museum. Es wird angeboten, für den Aufpreis von 2,00 € zusätzlich Geruchsdarbietungen zu erhalten, die den Gesamteindruck unterstreichen. Würden Sie sich für dieses Angebot entscheiden?“

In diesen Kategorien werden jeweils sieben Aussagen postuliert. Diese bewertet der Teilnehmer mit „trifft vollkommen zu“, „trifft überwiegend zu“, „trifft eher nicht zu“ oder „trifft überhaupt nicht zu“. Die Aussagen werden anschließend bepunktet und für jede Skala die Summe ermittelt. Je höher die erreichte Punktzahl, desto höher stellt sich die subjektive Bedeutung des Riechens dar (Croy et al., 2010).

3.2.3 Fragebogen – NEO-FFI

Mit dem Fragebogen „NEO-Fünf-Faktoren-Inventar“ nach Costa und McCrae konnte bei den Probanden die Ausprägung von fünf unterschiedlichen Persönlichkeitsdimensionen bestimmt werden. Diese lassen sich in Offenheit für Erfahrungen, Neurotizismus, Gewissenhaftigkeit, Verträglichkeit und Extraversion einteilen (McCrae und Costa, 1989). Die Versuchsteilnehmer mussten 60 Fragen beantworten, indem sie zwischen den Möglichkeiten „starke Ablehnung“,

„Ablehnung“, „Neutral“, „Zustimmung“ und „starke Zustimmung“ auswählen konnten. Sie wurden zusätzlich instruiert möglichst alle Fragen der Reihe nach zu beantworten und keine auszulassen. Es wurde eine Durchführungszeit von 15 – 20 Minuten vorgegeben.

Die Auswertung erfolgte mittels zugehöriger Schablone. Jeder Frage wurde je nach Beantwortung eine bestimmte Punktezahl zugeordnet. Mittels der Schablone wurden die Ziffern addiert, die den Beantwortungen der Items entsprachen. Die Summe wurde in die Tabelle für die jeweilige Persönlichkeitsdimension eingetragen (Testwert). Mithilfe der Normwertstichprobe, die das Manual der NEO-FFI bereitstellt, wurden die Testwerte nun in T-Werte umgewandelt, um die Vergleichbarkeit der Werte zwischen den Gruppen sicherzustellen (McCrae und Costa, 1989).

3.2.4 Reaktionszeit

Um die CNV erfolgreich messen zu können, mussten die Teilnehmer wach sein und ihre Aufmerksamkeit auf die Stimuli richten können. Eine verminderte Vigilanz und Unaufmerksamkeit lässt die Amplitude der CNV schrumpfen (Segalowitz und Davies, 2004). Demnach sollte das Verhalten der Probanden möglichst genau erfasst und beobachtet werden. Nur so ist es möglich unspezifische Effekte, die durch Fluktuationen von Wachheit und Aufmerksamkeit bedingt sind, von spezifischen Veränderungen der Informationsverarbeitung abzugrenzen. Zur objektiven Kontrolle wurde die Reaktionszeit erfasst. Diese wurde zwischen dem Auftreten von S2 und dem Betätigen des Knopfes mit der dominanten Hand gemessen und ausgewertet. Zusätzlich wurde der Proband während des gesamten Versuchs beobachtet.

3.2.5 Hedonik

Im Anschluss des Versuchs sollten die Versuchsteilnehmer die verschiedenen Gerüche nach Intensität, beruhigender Wirkung und Gefälligkeit bewerten. Dafür wurden den Probanden fünf identisch aussehende Gläser mit Schraubverschluss zur Verfügung gestellt. In diesen befanden sich die Düfte in jeweils gleicher Intensität wie im Versuch als Erinnerungsstütze (Orange, Pfefferminze, Moschus, Vanille, Luft). Anschließend sollten die Probanden jeweils mit Hilfe von drei visuellen Analogskalen von 0 bis 100 die jeweiligen Gerüche von „kein Geruch – sehr intensiv“, „nicht beruhigend – extrem beruhigend“ und „sehr unangenehm – sehr angenehm“ bewerten (siehe Anhang C). Lag der Wert bei 50, so entsprach dies einem neutralen Ergebnis.

3.3 Elektrophysiologische Untersuchung

3.3.1 Training der velopharyngealen Atemtechnik

Bevor der Versuch gestartet werden konnte, wurden die Teilnehmer mit der velopharyngealen Atemtechnik nach Kobal (1981) vertraut gemacht. Durch diese Technik verschließt sich der Nasopharynx durch den weichen Gaumen, sodass die Atmung nur über den Mund erfolgt und keine zusätzliche Luft durch die Nase strömen kann. Somit wurde sichergestellt, dass nur die verschiedenen Düfte über das Nasenstück des Olfaktometers in die Nase strömen und eine Verfälschung der Intensität durch die zusätzliche Umgebungsluft ausgeschlossen werden konnte (Leopold et al., 2000). Dafür wurde die Atemtechnik von der Versuchsleiterin an dem Gerät Analog Oszilloskop 630-2 (VOLTCRAFT, Conrad Electronic AG, Wollerau, Schweiz) erklärt und demonstriert. Danach erfolgte die Übung zusammen mit dem Probanden. War die Anwendung der velopharyngealen Atmung erfolgreich, so konnte dies mittels eines Thermistors (Heinemann, Starnberg) in der Spitze des Messgerätes kontrolliert werden. Dieser misst die Änderung der Temperatur und kann somit einen vorhandenen Luftstrom in der Nase detektieren. Die velopharyngeale Atmung wurde während des gesamten Versuches angewendet.

3.3.2 CNV- und AEP-Gewinnung

Ziel der elektrophysiologischen Untersuchung war die Aufzeichnung von zentralen Potentialänderungen im Gehirn, den sogenannten akustisch ereigniskorrelierten Potentialen (AEP), sowie der kontingent negativen Variation (CNV).

Dazu nahmen die Versuchsteilnehmer auf dem Untersuchungsstuhl in möglichst bequemer Position Platz. Die Elektroden (Grass Technologies, Astro-Med, Inc. Product Group, West Warwick, RI, USA) wurden nach dem standardisierten 10/20-System am Kopf angebracht (Klem et al., 1999). Dafür wurde zunächst der Kopf abgemessen, um die genaue Position von der frontalen (Fz), der zentralen (Cz) sowie der posterioren (Pz) EEG-Elektrode zu bestimmen. Mittels einer farblosen Paste (Skin pure, Nihon Koden, Tokyo, Japan) wurde die Kopfhaut zunächst gereinigt, um anschließend die Kopfelektroden mit Hilfe der Elektrodencreme (EC2TM, Grass Instruments Division, Astro Med Inc., Warwick, RI, USA) zu befestigen. Es wurden außerdem zwei Elektroden zur Referenz an den Ohrläppchen (A1 und A2) platziert und zwei am

Mastoid zur Erdung (M1 und M2). Zusätzlich wurde eine Elektrode über eine Augenbraue (Fp2) angebracht, um Artefakte durch häufiges Augenzwinkern oder Augenbewegungen detektieren zu können (siehe Abbildung 7). Diese konnten später in der Auswertung leichter erkannt und eliminiert werden.

EEG-Segmente von 5120 ms Länge (einschließlich einer Pretrigger-Periode von 500 ms vor dem ersten akustischen Stimulus) wurden mit einer Abtastfrequenz von 250 Hz unter Verwendung eines Bandpassfilters von 0,2-30 Hz (16-Kanal-Verstärker; SIR: Röttenbach, Deutschland) von den Positionen Fp2 (frontopolar, Aufzeichnung vertikaler Augenbewegungen) und den Mittellinienpositionen Fz (frontal), Cz (zentral) und Pz (posterior) aufgezeichnet.

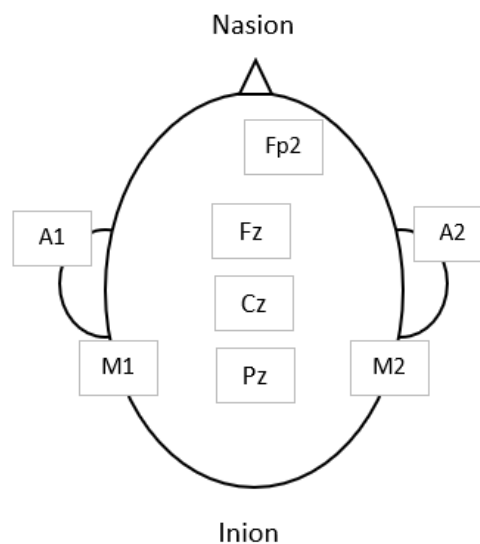


Abbildung 7: Darstellung der Elektrodenpositionen nach dem 10/20-System von Nasion zu Inion (Fp2 = über den Augenbrauen, Fz = frontal, Cz = central, Pz = posterior, A1/A2 = Ohrläppchen, M1/M2 = Mastoid).

3.3.3 Olfaktometer

Mittels eines computergesteuerten Olfaktometers (siehe Abbildung 8) erfolgte die Geruchsdarbietung (Sommer et al., 2012). Dieses Gerät gliedert sich in drei Sektionen: 1) eine Lufteinlass-, Kontroll- und Verteilungssektion, 2) eine Geruchsstoffsektion sowie 3) eine Darbietungssektion.

Die Luft gelangt über einen sauberen, geruchlosen Teflonschlauch zu den Geruchsstoff- bzw. Kontrolllösungen enthaltenden Glaskolben. Mittels eines Flussmeters wurde vor der Sitzung

der Gesamtluftstrom auf ca. 2 l/min, die relative Luftfeuchte auf 80% und die Temperatur auf 36,5°C eingestellt. In dem Glaskolben kommt es durch den Luftstrom zur Bläschenbildung in der Flüssigkeit. Somit reicherte sich die ausströmende Luft mit dem jeweiligen Geruchsmolekülen an. Über ein Ventilsystem konnte die angereicherte Luft schließlich weitergeleitet werden und über eine Y-Konstruktion über eine Nasenbrille dem Teilnehmer dargeboten werden. Eine speziell hierfür angefertigte Software ermöglichte es, die entsprechende Stimulationsdauer von jeweils 120 Sekunden für einen Duft festzulegen. Mittels der Dreivegeähne wurden diese manuell umgestellt, sodass stets nur einer der fünf Gerüche durch die Nase strömen konnte.



Abbildung 8: Das Olfaktometer. Eine Probandin mit Nasenbrille zur Geruchsdarbietung (links), Kopfhörern (Stimulus 1 und Stimulus 2) und einer Maus in der rechten Hand. Das Olfaktometer OM4 (Burghart, Wedel, Deutschland), über welches die Geruchsdarbietung gesteuert wird (rechts). Die fünf Gerüche sind zur Verblindung des Probanden mit Buchstaben gekennzeichnet (A = Orange, B = Pfefferminze, C = Moschus, D = Vanille und E = Luft).

3.3.4 Gasmischungen

Zur Anwendung kamen vier verschiedene Gerüche, die typischerweise als angenehm empfunden werden, aber dennoch unterschiedliche Bereiche des Riechens abdecken (Pfefferminze, Vanille, Moschus und Orange). Außerdem wurde als Kontrolllösung Propylenglykol (2-

Propanediol) eingesetzt, mit welcher „Luft“ gleichgestellt werden kann (Takasago, Tokyo, Japan). Damit sich alle verwendeten Düfte in ihrer Intensität als identisch darstellten, wurden diese vor Beginn der Testungen von zehn erfahrenen Mitarbeitern des Labors evaluiert und mit Hilfe von Propylenglykol (2-Propanediol) verdünnt. Im Ergebnis stellten sich vor allem die Düfte Orange und Pfefferminze als besonders kräftig dar. Daher wurde letzterer in einem Verhältnis von 1/10 und Orange in einem Verhältnis von 1/20 verdünnt. Die übrigen zwei Gerüche wurden in ihrer Intensität als gleichwertig bewertet und bedurften daher keiner Verdünnung (alle Gerüche von Takasago, Tokyo, Japan; Bestellnummer: Pfefferminze ICC#016019; Vanille ICC#022007; Moschus ICC#013113; Orange ICC#015026). Es wurden jeweils 30 ml in einen Glaskolben gefüllt, der luftdicht verschlossen und mit den Buchstaben A - E beschriftet wurde (A = Orange, B = Pfefferminze, C = Moschus, D = Vanille und E = Luft).

3.3.5 Versuchsablauf

Wie Tabelle 3 zeigt, wurden alle Teilnehmer zufällig einem der fünf Schemata zugeordnet und erhielten die Geruchsgabe nach unten genannter Reihenfolge (A = Orange, B = Pfefferminze, C = Moschus, D = Vanille und E = Luft). Jedes Gasgemisch wurde dem Teilnehmer für jeweils 120 Sekunden zugeführt. Ein Durchlauf aller Gerüche dauerte 600 Sekunden und wurde zweimal wiederholt, sodass das gesamte Experiment pro Proband 30 Minuten dauerte.

Schema-Nummer	Reihenfolge
1	A B C D E
2	B A E C D
3	C D A E B
4	D E B A C
5	E C D B A

Tabelle 3: Randomisiertes Schema zur Geruchsdarbietung von 1-5 (A = Orange, B = Pfefferminze, C = Moschus, D = Vanille und E = Luft).

Während der Geruchsapplikation wurden den Probanden über Kopfhörer Tonpaare zur auditive Stimulation vorgespielt. Der erste Ton (S1) hatte eine Tonfrequenz von ca. 500 Hz, der zweite (S2) dagegen fiel randomisiert über das Programm E-Prime 3.0 (Psychology Software Tools, Inc. (2016) <https://www.pstnet.com>) entweder in gleicher Frequenz oder höher, bis ca. 700 Hz, aus.

Das Interstimulusintervall (ISI) zwischen den zwei Tönen S1 und S2 betrug 2400 ms. Das Intervall zwischen den Tonpaaren dagegen betrug 9600 ms. Grundlage für die Wahl der ISI-Dauer war die Studie von Lorig und Kollegen (1995), in der ein längeres ISI empfohlen wurde, um die CNV korrekt erkennen zu können. Die Reaktionszeit wurde erfasst, indem die Probanden die Maustaste bei Wahrnehmung von S2 betätigten. Als Software verwendeten wir dazu ebenfalls E-Prime 3.0 (Psychology Software Tools, Inc. (2016) <https://www.pstnet.com>).

3.3.6 Signalanalyse und Datenauswertung

Es wurde die Software EP Evaluate (Kobal, Erlangen), welches auf LabVIEW 6.1 (National Instruments, Austin, TX, USA) basiert, zur Auswertung der Daten der EEG-Elektroden verwendet. Die Daten für die CNV wurden offline mit einem Tiefpassfilter von 15 Hz gefiltert. Alle Messungen, die durch Augenbewegungen oder Zwinkern Artefakte erhielten, wurden aussortiert und nicht in die Wertung mit einbezogen. Es mussten mindestens drei Messungen vorliegen, die daraufhin gemittelt wurden. Waren weniger Messungen als die oben genannte Anzahl vorhanden, so wurden diese als Artefakt gewertet und ebenfalls verworfen.

Die Anfangs- und Endpunkte der CNV wurden mit Hilfe von auf der Kurve platzierten Markern gemessen, wobei der erste Marker an der EEG-Kurve nach dem akustischen ERP (ca. 200 ms nach Beginn von S1) und der zweite Marker am Ende der Negativität, beim Auftreten von Stimulus 2 (ca. 2400 ms nach Beginn von S1), platziert wurde (siehe Abbildung 9). Um zu untersuchen, wie fokussiert die Teilnehmer während der Aufgabe waren, zeichneten wir die Reaktionszeiten auf.

Wir analysierten auch die Daten der akustisch ereigniskorrelierten Potentiale (AEP). AEP bestehen größtenteils aus der negativen N1-Komponente, auf die die positive Komponente P2 folgt. Wir waren an den Amplituden zwischen P2 und N1 (N1P2) interessiert. Bevor die Daten in einem Textverarbeitungsprogramm (Editor, Microsoft, Redmond, WA, USA) gelesen werden konnten, wurden sie mittels des Programms Labum (Kobal, Erlangen) umgewandelt. Anschließend wurden die Editor Dateien in Excel (Office Excel 2007, Microsoft, Redmond, WA, USA) überführt, um sie in einer Tabelle formatieren zu können.

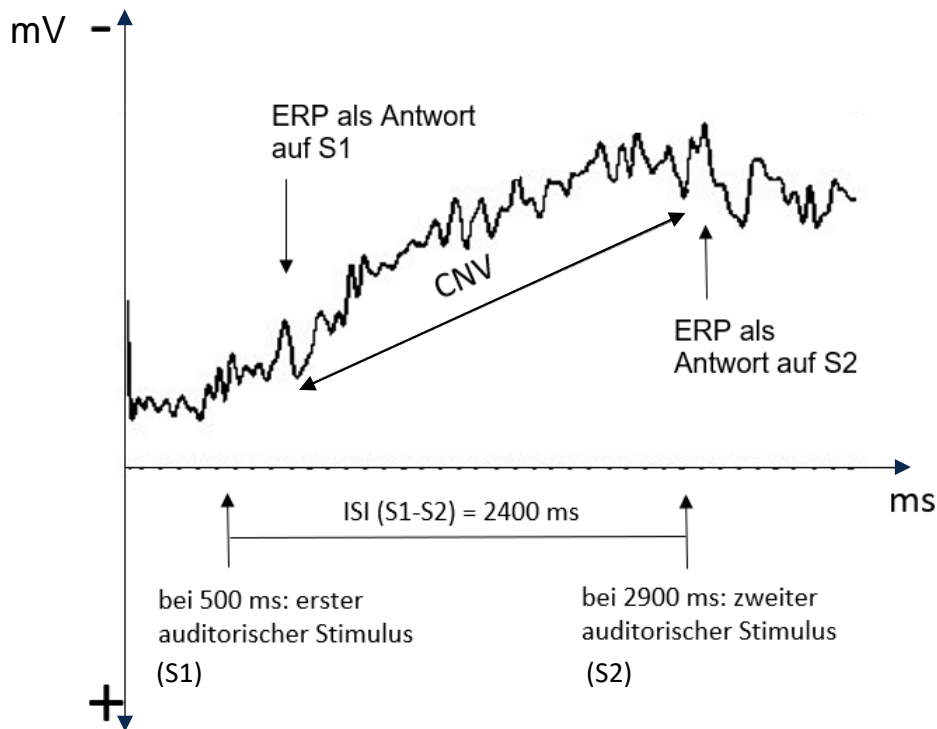


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Entstehung von CNV. Der S1-Ton bei 500 ms (hoher Ton) führt zum ersten auditorischen ERP. Daraufhin entsteht eine Negativität (CNV), gefolgt von einem weiteren hohen oder tiefen Ton S2 nach 2400 ms. Dieser führt zum zweiten auditorischen ERP. Die CNV wurde zwischen zwei auditorischen ERPs gesehen (zwischen S1 und S2). Der Interstimulusintervall (ISI) zwischen den auditorischen ERPs beträgt 2400 ms.

3.3.7 Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit Hilfe des Programmpakets SPSS (SPSS Statistics for Windows, vs. 27; IBM, Armonk, NY, USA) statistisch ausgewertet. Mittels des Shapiro-Wilk-Tests wurde festgestellt, dass die Daten normalverteilt waren, wobei $p = 0,12$ ermittelt wurde. Wir führten auch einen Test auf gleiche Varianz (Levene-Test) durch und fanden keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Varianz zwischen unseren Gruppen Jung und Alt für CNV-Messungen an verschiedenen Aufnahmeorten. Ein gemischtes Modell der ANOVA mit wiederholten Messungen (vollfaktoriell) zur Analyse der Varianz innerhalb der Probandengruppe unter Verwendung der beiden Faktoren "Geruch" (Orange, Pfefferminze, Vanille, Moschus und Luft) und "Aufnahmeort" (Fz, Cz und Pz) wurde zur Analyse der Daten verwendet. Auch eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA), um die NEO-FFI- und IOQ-Werte zwischen den Gruppen Jung und Alt zu vergleichen, kam zum Einsatz. Wo nötig, wurden Post-hoc-Analysen mit Bonferroni-Korrekturen durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Analyse

Insgesamt wurden 62 Probanden von den ursprünglich 80 Teilnehmern für die endgültige Analyse eingeschlossen. Ein Ausschluss erfolgte aufgrund von zu vielen Artefakten (über 10 für einen Geruch) während der EEG-Aufzeichnungen, die durch Blinzeln der Augen oder größeren Bewegungen des Kopfes mit einhergehenden Störungen der Elektrodenaufzeichnungen zustande kamen. Das Durchschnittsalter der jüngeren Probandengruppe betrug $23,1 \pm 3,1$ Jahre ($N = 30$, $w = 12$, $m = 18$), während die ältere Gruppe ein Durchschnittsalter von $52,3 \pm 11,6$ Jahren hatte ($N = 32$, $w = 15$, $m = 17$). In der Messreihe beider Gruppen wurde eine Gleichverteilung der Geschlechter angestrebt. Aufgrund von Artefakten mussten im Nachgang insgesamt 18 Teilnehmer von der Auswertung ausgeschlossen werden. Dies führte dazu, dass die Anzahl der männlichen Probanden überwog, vor allem in der jüngeren Gruppe (siehe Abbildung 10).

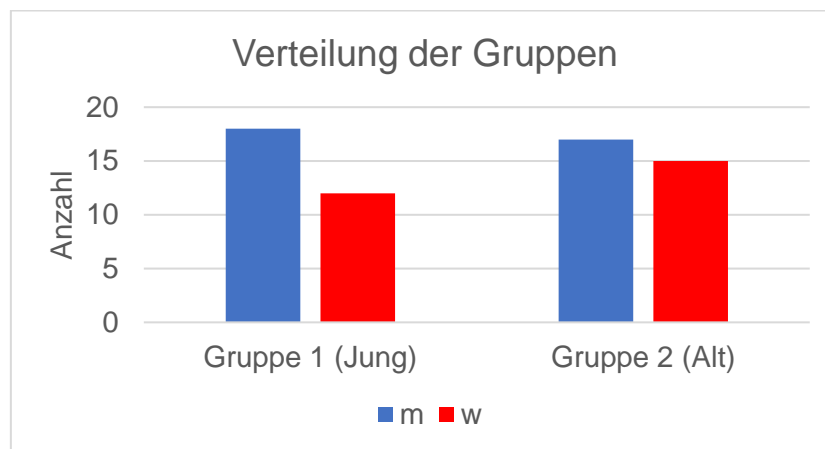


Abbildung 10: Verteilung der zwei Gruppen (Jung und Alt) nach Anzahl der Teilnehmer und Geschlecht (m = männlich, w = weiblich).

4.2 Bewertungen der Gerüche

Es wurden alle vier Gerüche (Orange, Pfefferminze, Moschus und Vanille), sowie der Kontrollduft Luft auf jeweils drei visuellen Analogskalen nach Hedonik, Intensität und beruhigender Wirkung von 0 bis 100 bewertet.

Wie Tabelle 4 veranschaulicht, ließ sich ein signifikanter Unterschied in der Bewertung der Hedonik im Vergleich zum Kontrollduft Luft finden ($p < 0,05$). Luft wurde sowohl von den jüngeren, als auch von den älteren Probanden nahezu neutral wahrgenommen (siehe Tabelle 5). Im Gegensatz dazu wurde Vanille im Vergleich zu allen anderen Stimuli, mit Ausnahme von Orange ($p = 0,306$), als signifikant angenehmer empfunden ($p < 0,01$). Es zeigten sich keine signifikanten Effekte des Faktors Geschlecht bei einem Signifikanzniveau $p < 0,05$. Wie in Tabelle 5 dargestellt, konnten außerdem auch zwischen den Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die Hedonik, der Intensität und der beruhigenden Wirkung gefunden werden. Kein Duft wurde als sehr unangenehm bewertet. Daraus lässt sich ableiten, dass es keine Zwischengruppen-Effekte gibt.

Duft	Duft-Kreuzpaarung	Mittelwert-differenz	Standard-fehler	Signifikanzniveau
Orange	Pfefferminze	5,960	4,302	1,000
	Moschus	8,286	4,229	,546
	Vanille	-6,971	3,150	,306
	Luft	18,089*	4,303	,001
Pfefferminze	Orange	-5,960	4,302	1,000
	Moschus	2,327	3,795	1,000
	Vanille	-12,930*	3,658	,008
	Luft	12,129*	3,875	,027
Moschus	Orange	-8,286	4,229	,546
	Pfefferminze	-2,327	3,795	1,000
	Vanille	-15,257*	3,233	,000
	Luft	9,802*	3,307	,043
Vanille	Orange	6,971	3,150	,306
	Pfefferminze	12,930*	3,658	,008
	Moschus	15,257*	3,233	,000
	Luft	25,060*	3,426	,000
Luft	Orange	-18,089*	4,303	,001
	Pfefferminze	-12,129*	3,875	,027
	Moschus	-9,802*	3,307	,043
	Vanille	-25,060*	3,426	,000

Tabelle 4: Auswertung der Hedonik zwischen den Geruchspaarungen. Die mit * gekennzeichneten Werte lassen sich als signifikant mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ bewerten.

Jüngere Gruppe (N = 30)	Orange	Pfefferminze	Moschus	Vanille	Luft
Hedonik	75.2 ± 23.7	65.6 ± 20.6	59.9 ± 18.1	80.3 ± 14.7	58.0 ± 15.5
Beruhigende Wirkung	55.6 ± 25.7	69.4 ± 27.3	40.7 ± 27.3	57.5 ± 25.5	17.9 ± 22.1
Intensität	56.3 ± 25.1	51.9 ± 26.4	48.2 ± 23.1	73.5 ± 18.7	43.2 ± 24.9

Ältere Gruppe (N = 32)	Orange	Pfefferminze	Moschus	Vanille	Luft
Hedonik	70.0 ± 24.1	67.4 ± 24.9	68.2 ± 23.4	78.6 ± 20.6	51.0 ± 22.0
Beruhigende Wirkung	60.4 ± 29.8	73.8 ± 23.8	39.7 ± 25.1	67.5 ± 17.7	17.0 ± 16.8
Intensität	55.2 ± 28.8	57.7 ± 27.7	56.3 ± 27.4	65.7 ± 21.8	39.1 ± 25.2

Tabelle 5: Geruchsbewertungen in Bezug auf Hedonik, beruhigender Wirkung und Intensität für die jüngere und die ältere Gruppe und die fünf verschiedenen Stimuli (Mittelwert ± SD; alle Werte in willkürlichen Einheiten).

Basierend auf den vorausgegangenen Untersuchungen wurden diese Analysen auch für die Intensität und der beruhigenden Wirkung durchgeführt (siehe Anhang H und I). Die Intensitäten unterschieden sich zwischen den Gerüchen ($F_{4, 244} = 50,4$, $p < 0,001$), was hauptsächlich auf die Bedingungen Luft und Moschus zurückzuführen war. Luft wurde niedriger bewertet als alle anderen Geruchsreize ($p < 0,001$). Allerdings wurde auch Moschus niedrig bewertet ($p < 0,01$). Es zeigten sich keine signifikanten Effekte der Faktoren Altersgruppe oder Geschlecht. Zwischengruppen-Effekte können daher ausgeschlossen werden.

Die Bewertungen für eine beruhigende Wirkung unterschieden sich ebenfalls signifikant zwischen den Stimuli und zeigten ein ähnliches Muster wie die Bewertungen für die Hedonik. Luft wurde als am wenigsten beruhigend bewertet ($p < 0,05$; kein Unterschied zwischen Luft und Moschus), während Vanille als am stärksten mit einer beruhigenden Wirkung assoziiert wurde ($p < 0,05$). Während der Faktor Alter keinen signifikanten Effekt zeigte, gab es eine Interaktion zwischen den Faktoren Geruch und Geschlecht ($F_{4, 232} = 3,49$, $p = 0,011$). Wie in Abbildung 11 dargestellt, erbrachte die Post-hoc-Analyse, dass männliche Probanden Pfefferminze höher bewerteten als weibliche Teilnehmerinnen ($p = 0,04$). Dieses Ergebnis stellte sich bei Moschus genau umgekehrt dar ($p = 0,007$).

Es wurde außerdem festgestellt, dass die Bewertungen der Geruchscharakteristika korrelieren (siehe Anhang E). Die Intensität von Vanille wurde mit zunehmender Hedonik ($r = 0,28$, $p = 0,028$) und beruhigender Wirkung ($r = 0,41$, $p = 0,001$) höher bewertet. Je beruhigender, desto

angenehmer wurden die Düfte Orange ($r = 0,59$), Moschus ($r = 0,65$), Vanille ($r = 0,61$) und Luft ($r = 0,51$) bewertet (alle p 's $< 0,001$). Diese Korrelation stellte sich als statistisch hochsignifikant dar.

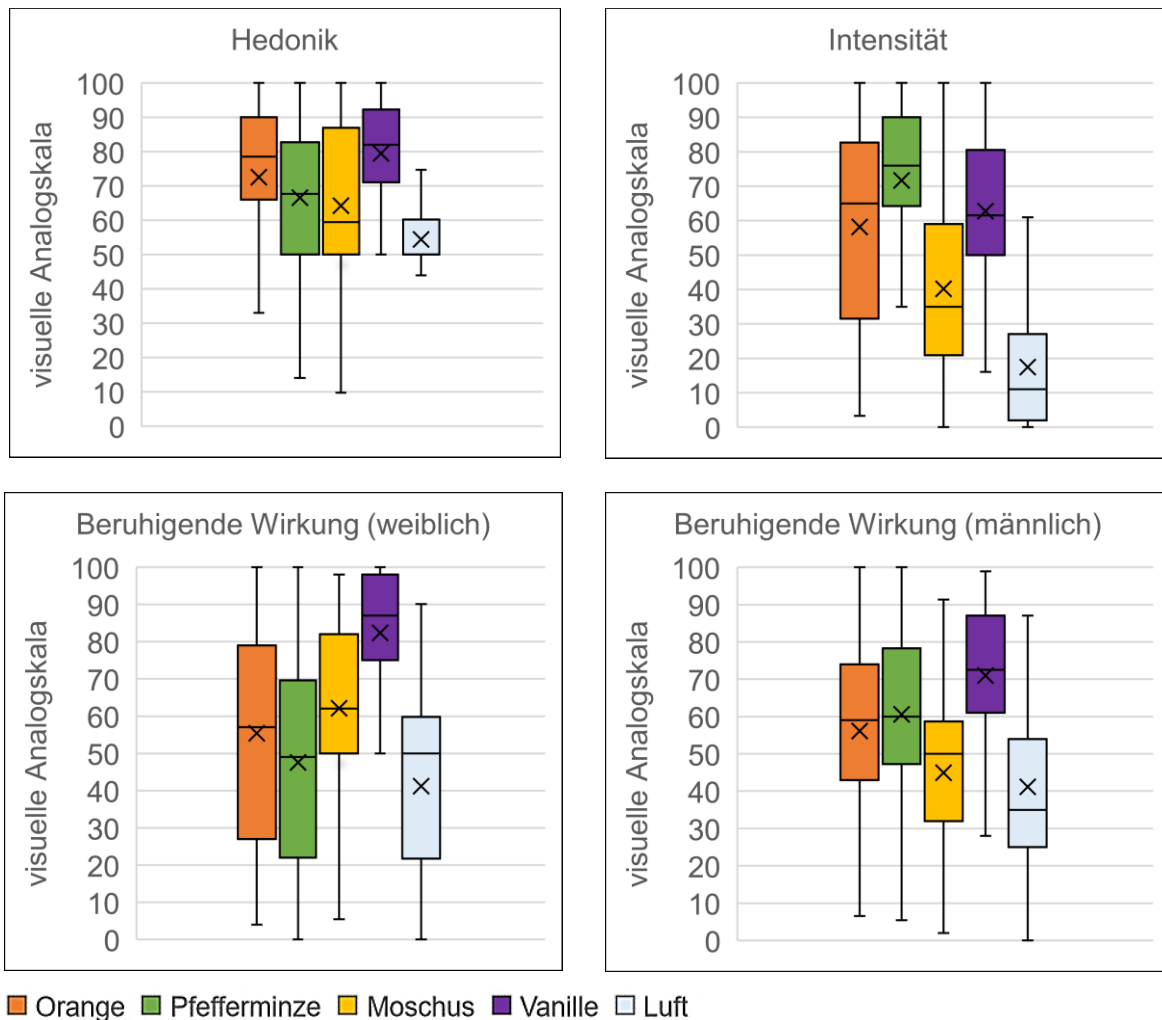


Abbildung 11: Graphische Auswertung der Hedonik, Intensität und beruhigender Wirkung auf der visuellen Analogskala von 0 bis 100. Die vier Gerüche (Orange, Pfefferminze, Moschus, Vanille) und der Kontrollduft Luft unterschieden sich in allen drei Qualitäten signifikant. Während der Faktor Alter keinen signifikanten Effekt zeigte, gab es eine Interaktion zwischen den Faktoren „Geruch“ und „Geschlecht“ im Hinblick auf die beruhigende Wirkung. Männer empfanden Pfefferminze als beruhigender, wohingegen Frauen Moschus höher bewerteten.

4.3 CNV

Die CNV wurde bei allen Teilnehmern beobachtet. Insgesamt 43 von 62 verwendeten Probanden (69 %) wiesen eine konsistente CNV für alle Geruchsbedingungen und an allen Aufnahmepositionen auf.

Hinsichtlich der topographischen Verteilung der CNV-Amplituden ergab eine Varianzanalyse für wiederholte Messungen unter der Verwendung der Faktoren „Geruch“ (Vanille, Moschus, Pfefferminze, Orange, Luft) und „Kanäle“ (Fz, Cz, Pz), dass die CNV-Amplitude an den frontalen und zentralen Elektrodenpositionen größer war als an der posterioren Position (Faktor Kanal: $F_{2,80} = 8,61$, $p = 0,001$). Post-hoc-Tests ergaben, dass die Amplituden an den Positionen Fz ($p = 0,002$) und Cz ($p = 0,006$) im Vergleich zu Pz höher ausfielen. Diese Ergebnisse werden zum besseren Verständnis in Abbildung 13 visuell veranschaulicht.

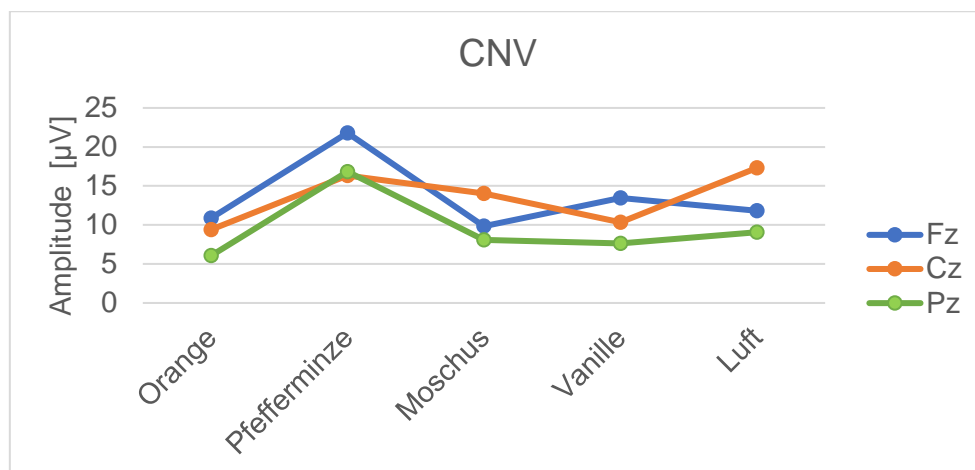


Abbildung 12: Graphische Darstellung der mittleren Amplituden (Mittelwert \pm SD; in μV) der kontingenten negativen Variation (CNV) an den Aufzeichnungsstellen Fz (frontal) Cz (zentral) und Pz (posterior) für die fünf verschiedenen Stimuli (Orange, Pfefferminze, Moschus, Vanille und Luft).

Die exponierten Gerüche erzeugten in den meisten Fällen keine signifikanten Unterschiede in der CNV (Faktor Geruch: $F_{4,160} = 0,88$, $p = 0,48$). Lediglich für den Geruch Vanille konnte ein Effekt in der jüngeren Population an den Positionen Fz ($p = 0,03$) und Cz ($p = 0,03$) nachgewiesen werden (siehe Tabelle 6). Für die übrigen Gerüche ergab sich keine Signifikanz (Faktor Altersgruppe: $F_{1,40} = 0,57$, $p = 0,46$). Der Einfluss des Geschlechts erbrachte in dieser Analyse ebenfalls keinen Hinweis auf signifikante Effekte (Faktor Geschlecht: $F_{1,40} = 0,57$, $p = 0,46$).

Gruppe	Position	Orange	Pfeffer- minze	Moschus	Vanille	Luft
Jung	Position Fz	12,4 ± 10,8	13,9 ± 10,8	12,9 ± 9,4	15,1 ± 11,5*	16,4 ± 16,1
	Position Cz	15,2 ± 11,3	14,3 ± 8,5	13,8 ± 8,9	14,8 ± 9,2*	14,9 ± 11,0
	Position Pz	10,0 ± 5,7	11,6 ± 10,6	9,7 ± 7,2	8,2 ± 6,7	13,1 ± 14,4
Alt	Position Fz	12,9 ± 9,4	12,8 ± 9,3	15,0 ± 10,0	8,2 ± 9,0	15,1 ± 15,6
	Position Cz	11,8 ± 6,9	16,8 ± 18,4	14,1 ± 9,5	9,7 ± 5,4	10,6 ± 11,6
	Position Pz	8,6 ± 7,9	12,1 ± 12,0	9,8 ± 8,9	6,7 ± 3,4	11,8 ± 11,3

Tabelle 6: Mittlere Amplituden (Mittelwert ± SD; in μV) der CNV für die jüngere und ältere Gruppe an den Aufnahmestellen Fz (frontal), Cz (zentral) und Pz (posterior) für fünf verschiedene Reize. Die Werte mit * bedeuten, dass die jüngere Population signifikant höhere CNV-Amplituden für Vanillegeruch an der Position Fz ($p = 0,03$) bzw. Cz ($p = 0,03$) aufzeigte.

4.4 AEP

Für die N1P2-Amplituden des AEPs zeigte sich ein hochsignifikanter Effekt des Faktors Aufnahmeort (Faktor „Kanal“: $F = 12,2$, $p < 0,001$). Ähnlich wie bei der CNV ergaben Post-hoc-Tests, dass sich die Amplituden bei Fz ($p = 0,001$) und Cz ($p = 0,002$) größer darstellten als bei Pz (siehe Abbildung 13). Allerdings zeigten weder das Alter noch das Geschlecht in dieser Analyse signifikante Effekte zu einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$.

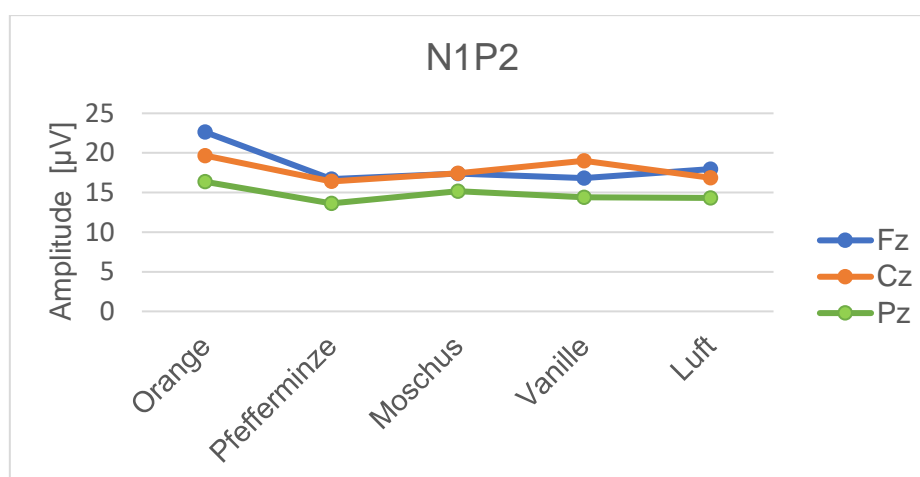


Abbildung 13: Graphische Darstellung der mittleren Amplituden (Mittelwert ± SD; in μV) des ERPs N1P2 an den Aufzeichnungsstellen Fz (frontal) Cz (zentral) und Pz (posterior) für die fünf verschiedenen Stimuli (Orange, Pfefferminze, Moschus, Vanille, Luft).

4.5 Reaktionszeit

Die Reaktionszeit wurde gemessen, indem der Teilnehmer mit der rechten Hand so schnell wie möglich auf einen Knopf drückte, sobald er S2 mit einer Frequenz von ca. 700 Hz wahrgenommen hatte. Zwischen den Geruchsbedingungen war die Reaktionszeit nicht signifikant unterschiedlich ($F_{4, 224} = 1,23, p = 0,30$). Wie in Tabelle 7 dargestellt, korrelierte die Reaktionszeit für die Bedingungen Pfefferminze und Vanille positiv mit dem Alter (Pfefferminze: $r = 0,29, p = 0,028$; Vanille: ($r = 0,26, p = 0,049$). Außerdem war für den Geruch Pfefferminze die Reaktionszeit umso schneller, je größer sich die CNV-Amplitude an der Position Fz darstellte ($r = 0,46, p = 0,001$). Ein ähnlicher Sachverhalt konnte für Moschus mit den Amplituden an den Positionen Fz ($r = 0,42, p = 0,002$) und Pz ($r = 0,30, p = 0,03$) nachgewiesen werden (siehe Anhang G und H).

		Orange	Pfefferminze	Moschus	Vanille	Luft
Alter	Pearson-Korrelation	,15	,28*	,07	,26*	,06
	Sig. (2-seitig)	,26	,03	,61	,05	,68
	N	57	58	58	58	58

Tabelle 7: Auswertung der Reaktionszeit zwischen den Geruchspaarungen in Abhängigkeit vom Alter. Die mit * gekennzeichneten Werte lassen sich als signifikant mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ bewerten.

4.6 IOQ-Score

Die Einteilung der drei Skalen erfolgte in die Assoziations- und Bewertungsskala, die Anwendungsskala und die Konsequenzskala. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hergestellt werden. Wie Tabelle 8 zeigt, wurden alle drei Skalen im Schnitt mit 14 Punkten bewertet. Auch im Hinblick auf das Alter oder Geschlecht konnte kein Effekt zum Signifikanzniveau $p < 0,05$ gefunden werden.

Dagegen wurde deutlich, dass die CNV-Amplituden mit dem IOQ-Konsequenz-Score verbunden waren. Wie Anhang I und J veranschaulichen, konnte bei Orange eine negative Korrelation im Hinblick auf die Konsequenz an der Position Pz ($r = - 0,30, p = 0,033$) und für den Pfefferminzgeruch eine positive Korrelation an Position Fz und Konsequenz gemessen werden ($r = + 0,35, p = 0,012$).

IOQ (Mittelwerte \pm SD)		
Assoziation	Anwendung	Konsequenz
14,8 \pm 3,1	14,3 \pm 4,0	14,2 \pm 2,7

Tabelle 8: Mittelwerte (Mittelwert \pm SD) des IOQ-Fragebogens.

4.7 NEO-FFI-Score

Um festzustellen, ob verschiedene Persönlichkeitszüge einen Einfluss auf die Wertung von Gerüchen und den CNV-Amplituden haben, sollten die Probanden die Fragen des NEO-FFI-Scores beantworten. Pro Persönlichkeitsdimension waren maximal 60 Punkte zu erreichen. Wie in Tabelle 9 veranschaulicht, konnten signifikante Unterschiede zwischen den Persönlichkeitsdimensionen gefunden werden. So wurde die Ausprägung des Persönlichkeitszugs Gewissenhaftigkeit am größten bewertet und Neurotizismus am niedrigsten. Wie in Tabelle 10 verdeutlicht, zeigten die Analysen außerdem, dass sich die Mittelwerte von Neurotizismus und Gewissenhaftigkeit hochsignifikant voneinander unterschieden ($p < 0,001$).

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die CNV-Amplituden positiv mit dem NEO-FFI-Score für Gewissenhaftigkeit (Moschusgeruch, Position Cz: $r = + 0,32$, $p = 0,02$), negativ mit dem NEO-FFI-Score für Verträglichkeit (Luft, Position Pz: $r = - 0,28$, $p = 0,045$) und ebenfalls negativ mit dem NEO-FFI-Score für Extraversion (Pfefferminzgeruch, Position Cz: $r = - 0,30$, $p = 0,031$) korrelierten (siehe Anhang K und L). Ein Bezug auf signifikante Unterschiede im Hinblick auf das Alter oder Geschlecht konnte jedoch nicht hergestellt werden.

Abschließend lassen sich folgende Hauptergebnisse zusammenfassen: 1) in Übereinstimmung mit der Literatur zeigte die CNV eine typische topographische Verteilung mit der größten Amplitude über den frontal-zentralen Aufnahmestellen. 2) 69% der Probanden hatten eine konsistente CNV für alle Bedingungen. 3) Für einige Geruchsbedingungen zeigten die CNV-Amplituden eine schwache Beziehung zur Hedonik eines Geruchs und Assoziationen mit deren beruhigender Wirkung. 4) Die CNV-Amplitude korrelierte negativ mit der Reaktionszeit.

Dimension	Kreuzpaarung	Mittelwert-differenz	Standard-fehler	Signifikanzniveau
Neurotizismus	Extraversion	-9,7*	1,7	,1
	Offenheit für Erfahrungen	-11,6*	1,2	,1
	Veträglichkeit	-13,1*	1,3	,1
	Gewissenhaftigkeit	-17,2*	1,3	,1
Extraversion	Neurotizismus	9,7*	1,7	,1
	Offenheit für Erfahrungen	-1,8	1,1	1,0
	Veträglichkeit	-3,4*	1,1	,1
	Gewissenhaftigkeit	-7,5*	,9	,1
Offenheit für Erfahrungen	Neurotizismus	11,6*	1,2	,1
	Extraversion	1,8	1,1	1,0
	Verträglichkeit	-1,6	,9	,9
	Gewissenhaftigkeit	-5,6*	,9	,1
Veträglichkeit	Neurotizismus	13,1*	1,3	,1
	Extraversion	3,4*	1,1	,1
	Offenheit für Erfahrungen	1,5	,9	,9
	Gewissenhaftigkeit	-4,1*	,9	,1
Gewissenhaftigkeit	Neurotizismus	17,2*	1,3	,1
	Extraversion	7,5*	,9	,1
	Offenheit für Erfahrungen	5,6*	,9	,1
	Veträglichkeit	4,1*	,9	,1

Tabelle 9: Auswertung des NEO-FFI zwischen den Dimensionen. Die mit * gekennzeichneten Werte lassen sich als signifikant mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ bewerten.

NEO-FFI (Mittelwerte \pm SD)				
Neurotizismus	Extraversion	Offenheit für Erfahrungen	Verträglichkeit	Gewissenhaftigkeit
18,7 \pm 7,5*	28,4 \pm 7,5	30,2 \pm 6,2	31,8 \pm 5,7	35,9 \pm 5,4*

Tabelle 10: Mittelwerte (Mittelwert \pm SD) des NEO-FFI-Fragebogens. Die mit * gekennzeichneten Werte lassen sich als hochsignifikant mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,001$ bewerten.

5 Diskussion

Es ist bereits in verschiedenen Studien untersucht worden, dass Gerüche beeinflussende Wirkungen im Hinblick auf die Amplitude der CNV besitzen (Torii et al., 1988; Lorig et al., 1995; Hiruma et al., 2002). In der vorliegenden Arbeit soll beobachtet werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Annehmlichkeit von Gerüchen und dem CNV in seiner Modulation finden lässt und diese alters- oder geschlechtsabhängig ist. Dazu verwendeten wir vier unterschiedliche Gerüche, die ein breites Geruchsspektrum darstellen (Orange, Pfefferminze, Moschus und Vanille). Als Kontrollduft wurde Luft eingesetzt. Zusätzlich stellten wir uns die Frage, ob Gerüche einen Einfluss auf die Reaktionszeit haben und ob sich eine Verbindung der CNV mit verschiedenen Persönlichkeitszügen oder der Bedeutung der Geruchswahrnehmung im Alltag finden lässt. Die Anzahl der analysierten Teilnehmer in den Gruppen Jung und Alt zeigte sich annähernd gleich groß ($N_{\text{Jung}} = 30$, $N_{\text{Alt}} = 32$). Das Durchschnittsalter der Gruppe Jung betrug 23,1 Jahre und das der älteren Gruppe 52,3 Jahre. Es lässt sich feststellen, dass die Probanden der Gruppe Alt sich somit bereits im fortgeschrittenen Lebenszyklus befinden. Dieser Fakt ist von Relevanz, da Studien zeigten, dass die olfaktorische Funktion mit zunehmendem Alter nachlässt (Hummel et al., 2007), die Bedeutung des Riechvermögens jedoch unverändert bleibt (Rouby et al., 2002). Wir stellten dahingehend die Hypothese auf, dass sich dies zwischen den Gruppen im Hinblick auf die Modulation der CNV in Bezug zu Düften unterschiedlicher Hedonik und den Fragebogen „Bedeutung der Geruchswahrnehmung“ widerspiegeln würde. Um Fehlerquellen ausschließen zu können, wurde bei allen Probanden eine nasale Endoskopie durchgeführt, in der sich bei keinem der Teilnehmer relevante Pathologien ergaben. Zusätzlich musste ein Anamnesefragebogen zu Beginn des Experiments ausgefüllt werden, der für diese Studie relevante Erkrankungen festhält. Sowohl die jüngere, als auch die ältere Population befanden sich in einem allgemein guten Gesundheitszustand. Zur umfassenden Prüfung des Geruchvermögens wurden die Sniffin' Sticks verwendet. Alle 80 Teilnehmer erreichten eine Punktzahl von > 12 , sodass Normosmie sichergestellt werden konnte (Hummel et al., 1997). Diese Tatsache ist von entscheidender Bedeutung, da in Studien nachgewiesen werden konnte, dass die Schwierigkeit der Dufterkennung, beispielsweise durch eine verminderte Riechfunktion, zu einer erhöhten CNV-Amplitude führen kann (Auffermann et al., 1993).

5.1 Bewertung der Gerüche

Wenn es um die Bewertung von bestimmten Düften in der Forschung geht, so wird meist die Hedonik, wie angenehm bzw. unangenehm ein Geruch wahrgenommen wird, sowie die subjektive Bewertung der Intensität zu Rate gezogen. In vergangenen Studien konnte gezeigt werden, dass Frauen den stechenden und scharfen Duft von Pyridin als intensiver und unangenehmer wahrnahmen (Olofsson und Nordin, 2004). Der an Jasmin erinnernde Geruch Hedion wurde von Frauen ebenfalls intensiver bewertet. Einen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Bewertung der Hedonik konnte jedoch nicht gezeigt werden (Wallrabenstein et al., 2015). Düfte wie Menthol, Nelke, Rose, Zitronengras oder Baldrian werden von Frauen im Vergleich zu Männern als angenehmer bewertet. Dagegen werden Gerüche wie Tonkabohne, Kiefernadelöl oder Zedernholz von Männern hinsichtlich der Gefälligkeit höher eingestuft (Doty und Cameron, 2009). Dijksterhuis und Kollegen (2002) dagegen verwendeten 16 unterschiedliche Gerüche, bei denen keine signifikanten Unterschiede zwischen Frauen und Männern in der Bewertung der Hedonik festgestellt werden konnten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sich die subjektive Wahrnehmung eines Geruchs sehr komplex darstellt und von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, beispielsweise von der vorrausgegangenen Erfahrung mit dem jeweiligen Duft (Robin et al., 1999; Small et al., 2005). So ist es nicht verwunderlich, dass sowohl Orange, als auch Vanille in der vorliegenden Studie als sehr angenehm und beruhigend bewertet wurden. Beide Düfte werden oft mit Erinnerungen und Emotionen assoziiert, z. B. Plätzchen backen in der Weihnachtszeit (Schicker, 1995). Im Hinblick auf die beruhigende Wirkung eines Dufts bewerteten Männer vor allem Pfefferminze hoch, während Frauen Moschus hingegen als sehr beruhigend empfanden. Eine mögliche Erklärung für diesen Fakt ist die Tatsache, dass es sich bei dem Duft Moschus um die Duftdrüse des männlichen rehgroßen Moschustieres handelt, welches in Asien lebt. Zur Brunftzeit sezerniert es ein stark riechendes Sekret, welches früher als kostbare Arznei galt und zur Anregung der Lebenstätigkeit bei Kranken angewandt wurde. Moschus unterstreicht in winzigen Dosen auch angenehme Düfte und wird deshalb heute noch in der Parfümerie angewendet (Hager, 1872; Buchheister, 1927). Ein Hinweis darauf, dass Parfüme in der Frauenwelt heutzutage einen größeren Stellenwert einnehmen als bei Männern zeigt die Tatsache, dass 80 % der Parfümschüler weiblich sind (Mensing, 2021).

Auffällig ist, dass Moschus trotz des vor Beginn der Studie durchgeführten Intensitätsabgleichs nicht so intensiv wie Orange, Vanille oder Pfefferminze bewertet wurde. Dass die geruchlose

Luft, welche als Kontrollduft diente, in Bezug auf die Geruchsintensität höher als „gar nicht intensiv“ beurteilt wurde, stellt ebenfalls ein interessantes Ergebnis dar. Diese Bewertungen waren jedoch niedrig und lagen deutlich unter den Intensitätsbewertungen der anderen Gerüche. Ähnliche Beobachtungen konnten auch in anderen Studien festgestellt werden, z. B. von Flohr und Kollegen (2017). Diese Berichte deuten jedoch darauf hin, dass die Bewertung von Gerüchen erratisch sein können. Dies wiederum hebt das Interesse an Methoden hervor, die eine objektivere Bewertung der Geruchswahrnehmung ermöglichen würden, z. B. fMRT oder EEG-bezogene Analysen unter Verwendung verschiedener Paradigmen (de Araujo et al., 2005; Sorokowska et al., 2015; Ruser et al., 2021).

Es wurde außerdem festgestellt, dass die Bewertungen der Geruchscharakteristika korrelieren. Mit zunehmender Hedonik und beruhigender Wirkung wurde die Intensität von Vanille höher bepunktet. Je beruhigender, desto angenehmer wurden die Düfte Orange, Moschus, Vanille und Luft bewertet. Dieses Ergebnis geht mit der Studie von Bensafi und Kollegen (2002) einher, dass die Intensität eines Geruches mit der Hedonik positiv korreliert. Dieser Fakt muss jedoch kritisch hinterfragt werden, da keiner der von uns verwendeten Düfte von den Probanden als unangenehm bewertet wurde. So ist es nicht verwunderlich, dass je intensiver ein angenehmer Geruch bewertet wird, die Bewertung der Hedonik höher ausfällt.

5.2 CNV und AEP

In der vorliegenden Studie zeigten alle Probanden durchgängig eine CNV, wie in der Literatur beschrieben (Lorig und Roberts, 1990). Am höchsten stellten sich sowohl die CNV-Amplituden, als auch die N1P2-Gipfel an den frontalen und zentralen Elektroden dar, übereinstimmend mit früheren Beobachtungen von Lorig und Kollegen (1995) und Kobal und Kollegen (1992). Bei den Bedingungen Orange und Luft beobachteten wir eine positive Korrelation zwischen beruhigender Wirkung / Hedonik und den CNV-Amplituden. Dies deutet darauf hin, dass die CNV-Amplitude als Ersatzmarker für die Annehmlichkeit eines Geruchs dienen könnte (Torii et al., 1988; Lignell et al., 2008). Es ist jedoch anzumerken, dass dieser Effekt nicht stabil zu sein scheint, sondern in der vorliegenden Studie nur mit relativ schwachen korrelativen Analysen nachgewiesen werden konnte. Dies steht im Gegensatz zu früheren Ergebnissen von Torii und Kollegen (1988), die berichteten, dass die frühe Komponente der CNV größer ist, wenn ein Jasmin-Duft präsentiert wurde und geringer bei dem Duft Lavendel. Daraufhin

wiederholten Lorig und Roberts (1990) diese Studie und kamen zu dem Ergebnis, dass subjektive Erwartungen in Bezug auf Gerüche eine wichtige Rolle bei der Modulation der CNV spielen. Der Grund für diese Diskrepanzen kann auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass bisher keine Studie eine größere Stichprobe umfasste. Die Arbeit von Lorig und Roberts (1990) hatte sogar nur eine Stichprobengröße von 15. Daher sind beim Vergleich früherer Arbeiten mit der hier vorliegenden Studie, vor allem wegen der unterschiedlichen Ausmaße der Stichprobengrößen, vorsichtige Interpretationen geboten.

Da Frauen sowohl der Riechfunktion eine höhere Bedeutung beimessen, als auch eine bessere olfaktorische Fähigkeit besitzen (Larsson et al., 2000; Hummel et al., 2007), stellten wir zusätzlich die Hypothese auf, dass sich dies in der Modulation der CNV und des AEP widerspiegeln könnte. Auch die olfaktorische Funktion nimmt mit zunehmendem Alter ab (Hummel et al., 2007), woraus wir schlussfolgerten, dass sich ein Unterschied zwischen den zwei Gruppen Jung und Alt ergeben könnte. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch eine Unabhängigkeit der CNV vom Alter und Geschlecht. Bereits in der Vergangenheit wurde angedeutet, dass die Geschlechterverteilung keinen Einfluss auf die CNV hat. Frauen neigen zwar laut früherer Forschungsarbeiten zu etwas höheren Amplituden, jedoch ohne statistische Signifikanz (Nakamura et al., 1975). Ähnliches beobachteten wir für das AEP, welches sich ebenfalls in seiner Ausprägung von den N1P2-Amplituden unabhängig von Geschlecht und Alter darstellte. Dies steht im Gegensatz zu früheren Beobachtungen von Evans und Kollegen (1995), die mit zunehmendem Alter eine signifikante Abnahme des N1P2-Gipfels nachweisen konnten. Auch Hummel und Kollegen (1998) konnten dieses Ergebnis reproduzieren. Da es jedoch generell nicht zu einer Verlangsamung des Hintergrund-EEGs kommt, kann angenommen werden, dass diese Modulationen eher einen Rückgang der sensorischen Funktionen widerspiegeln und nicht als altersbezogene Veränderungen des zentralen Nervensystems anzusehen sind (Duffy et al., 1993). Bezüglich des Geschlechts sind für die AEP in vergangenen Untersuchungen signifikante Unterschiede in der Ausprägung dieses Potentials beschrieben worden (Stockard et al., 1979; Rosenhall et al., 1985; Thivierge und Côté, 1987). Dabei weisen Frauen eine höhere Amplitude und kürzere Interpeaklatenz auf als Männer. Warum die Faktoren Geschlecht und Alter in der vorliegenden Arbeit keinen Einfluss besitzen, lässt sich abschließend nicht genau klären. Ein möglicher Ansatzpunkt wäre die komplexe Aufgabenstellung mit dem zusätzlich verwendeten motorischen Aspekt und dem damit involvierten Motor-kortex, die in der genannten Literatur kein Teil der Untersuchungen darstellte.

5.3 IOQ-Score und NEO-FFI

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf die Bedeutung der Geruchswahrnehmung zwischen den Gruppen Jung und Alt oder den Geschlechtern. Studien belegen, dass die Bedeutung der Riechfunktion im Alter gleichbleibt (Rouby et al., 2002; Shu et al., 2009). Ein möglicher Grund für unser Ergebnis könnte sein, dass vor allem die jüngeren Teilnehmer in der vorliegenden Studie den gleichen Bildungsstand und sozialen Status aufweisen und dem Riechen insgesamt eine höhere Bedeutung zukommen lassen (Rosnow und Rosenthal, 1966). Die CNV-Amplituden waren allerdings mit dem IOQ-Konsequenz-Score je nach verwendetem Geruch und Elektrodenposition verbunden. So konnte bei Orange eine negative Korrelation an der Position Pz und bei dem Duft Pfefferminze eine positive Korrelation an Position Fz gemessen werden.

Die CNV-Amplituden scheinen auch mit bestimmten Persönlichkeitsmerkmalen in Zusammenhang zu stehen, wobei ein positiver Zusammenhang zwischen den CNV-Amplituden und der Gewissenhaftigkeit und ein negativer Zusammenhang mit der Toleranz und der Extraversion festgestellt wurde. In Anbetracht der ebenfalls erhobenen Korrelation zwischen den CNV-Amplituden und dem IOQ-Score, dessen Ergebnisse sich je nach verwendetem Geruch unterschieden, bestätigen diese Resultate, dass die CNV mit den Erwartungen der Versuchspersonen zusammenhängt (Sato und Sugawara, 2003) und daher empfindlich auf die Modulation durch Gerüche reagiert. Mit Hilfe der CNV-Amplituden ist man jedoch offenbar nicht in der Lage, zwischen den Wirkungen von Gerüchen zu differenzieren, die sich zwar in gewissem, aber nicht in hohem Maße in Bezug auf die Hedonik unterscheiden.

Auffällig ist, dass die Dimension Gewissenhaftigkeit im Vergleich zu den anderen Dimensionen höher bewertet wurde. Borkenau und Ostendorf (2008) schreiben diesem Persönlichkeitsmerkmal die Fähigkeit zur Selbstbeherrschung zu, die sich auf Planung, Organisation und Durchführung von Aufgaben bezieht. Menschen, die sich durch einen hohen Punktwerte in dieser Skala auszeichnen, bezeichnen sich selbst als zielstrebig, willensstark, zuverlässig, ausdauernd, pünktlich und ehrgeizig. In der vorliegenden Studie nahmen in der jüngeren Population vor allem Studenten der medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus der technischen Universität Dresden teil. Da eine akademische Laufbahn ein hohes Maß an Gewissenhaftigkeit voraussetzt, ist es nicht verwunderlich, dass dieser Persönlichkeitsdimension eine große Bedeutung beigemessen wurde. Dass die Persönlichkeit und der Berufserfolg in Zusammenhang stehen, wurde bereits von Barrick und Mount (1991) bewiesen. Die Autoren postulierten eine

hohe Punktzahl in der Dimension Gewissenhaftigkeit als entscheidenden Faktor für eine erfolgreiche berufliche Karriere. Anwendung findet dieses Wissen in der Wirtschaftspsychologie, wonach der NEO-FFI als ein Kriterium für die Vergabe von Stellen herangezogen wird (Cohrs und Block, 2015).

5.4 Reaktionszeit

Die CNV wird mit der Ressourcenmobilisation im Sinne von Aufmerksamkeit, Emotion, Motivation und Erwartung in Verbindung gebracht (Siniatchkin und Kuppe, 2011). Die Erwartung des zweiten Reizes spielt dabei eine große Rolle im Hinblick auf die Reaktionszeit. Diese berechnet sich aus der Zeit zwischen dem imperativen Stimulus S2 und der Reaktion des Teilnehmers mittels Tastendruckes. Nach Posner (1980) gelingt die Durchführung einer motorischen Handlung umso schneller, je besser man sich auf diese vorbereitet. Diese mentale Vorphase der Einstellung ist besonders interessant, da sie mit der Leistung korreliert. Die Reaktionsfähigkeit ist verknüpft mit der Bewegungsplanung, Programmierung, der Motivation und der Wachsamkeit. Sie wird im Falle eines kurz vorher gegebenen Warnreizes verkürzt und verlängert sich bei einer Wahlreaktion (Posner, 1966, 1980). Die Reaktionszeit muss jedoch kritisch als neuropsychologisches Maß der Aufmerksamkeit betrachtet werden. Die Zeit während der einfachen CNV-Aufgabe stellt nur einen Teilaspekt der Aufmerksamkeitsleistung dar. Daher sind die Ergebnisse nicht auf andere Bereiche der kognitiven Aufmerksamkeitsleistung übertragbar.

Der Zusammenhang zwischen den CNV-Amplituden und der Aufmerksamkeit wird durch die positive Korrelation zwischen der CNV-Amplitude und der Reaktionszeit angezeigt (Loveless und Sanford, 1975). Dieser Zusammenhang war in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht für alle Geruchsbedingungen existent, sondern nur für Pfefferminze und Moschus, die in Bezug auf ihre Assoziation mit der beruhigenden Wirkung eines Dufts unterschiedlich bewertet wurden (Sato und Sugawara, 2003).

Zusammenfassend bestätigen die vorliegenden Daten, dass die CNV mit der Stimuluserwartung und der Wachsamkeit zusammenhängt. Auch in Bezug auf die Wahrnehmung von Gerüchen wird dieses Potential moduliert. Daher legen die Ergebnisse nahe, dass die CNV als elektrophysiologisches Äquivalent der Kognition nützlich ist. Wir konnten jedoch keine signifi-

kante geruchsmodulierende Wirkung auf die CNV feststellen. In Anbetracht der Stichprobengröße und des soliden Studiendesigns der Studie können wir schlussfolgern, dass Gerüche eine geringe oder gar keine modulierende Wirkung auf die CNV haben.

6 Limitation und Ausblick

Die Interpretation der CNV als kognitives Potential ist gegenüber dem AEP als evoziertes Potential kurzer Latenz kritisch zu diskutieren. Die CNV stellt sich zwischen den Probanden erheblich variabler als das AEP dar (Birbaumer et al., 1981; Trimmel, 1990). Dadurch erschwert sich der Vergleich. Zusätzlich setzt sich die CNV als langsames Potential aus mehreren zeitlich und räumlich überlappenden Komponenten zusammen. Bei der Untersuchung von Krankheitsbildern kann eine modifizierte Wellenform dabei ein recht sensibles Maß darstellen (Tecce, 1972; Rizzo et al., 1978; Ashton et al., 1988). Die Zuordnung von Veränderungen zu einem modulierten Informationsverarbeitungsprozess gelingt aber in der Regel nicht und hat eine geringe Spezifität zur Folge. Diese Tatsache lässt sich auf alle langsamen und ereigniskorrelierten Potentiale im Vergleich zu den evozierten Potentialen kurzer Latenz übertragen (Tecce, 1972; Birbaumer et al., 1981; Trimmel, 1990).

Darüber hinaus ist hinsichtlich des Untersuchungsablaufs die Dauer des Experimentes ein möglicher Diskussionspunkt. Die Sitzungen dauerten durchschnittlich jeweils ca. zwei Stunden. Nach der ca. einstündigen Aufklärung und Vorbereitung wurden die Fragebögen ausgefüllt und anschließend die EEG – Untersuchungen vorgenommen. Bezogen auf die Ergebnisse der psychophysischen Testverfahren und die Wachsamkeit während der CNV – Ableitungen müssen Ermüdungseffekte der Teilnehmer kritisch diskutiert werden und stellen einen möglichen Fehlerfaktor dar. Dagegen muss außerdem erwähnt werden, dass die vorliegende Studie als Laborexperiment unabhängige Störvariablen durch die Umwelt kontrollieren und ggf. verhindern kann und damit eine hohe Validität aufweist (Brosius et al., 2012).

Das Messinstrument NEO-FFI zur Erfassung der Persönlichkeit ist schon seit über 30 Jahren in Gebrauch und hat es damit ermöglicht, Datensätze von über 12.500 Probanden in die Analyse einfließen zu lassen. Diese große Datenmenge erlaubt die repräsentative Darstellung der Normwerttabellen für die Gesamtbevölkerung (Borkenau und Ostendorf, 2008). Zudem ist die schnelle und einfache Durchführung des Fragebogens ein entscheidendes Argument, wenn es um die Erfassung von Persönlichkeitsmerkmalen geht. Dennoch dürfen Grenzen der Interpretation nicht außer Acht gelassen werden. Das Modell der Fünf Faktoren gilt zwar als robust und replizierbar, es gibt jedoch bis heute keine klare Definition der einzelnen Persönlichkeitsmerkmale (Borkenau und Ostendorf, 2008). Ein weiterer Aspekt ist die Frage nach der sozialen

Erwünschtheit. Die fünf unterschiedlichen Dimensionen der Persönlichkeiten sind nicht gänzlich wertungsfrei. Verträglichkeit, Extraversion und die Gewissenhaftigkeit gelten als positive Eigenschaften, während Neurotizismus als negativ bewertet wird (Borkenau und Ostendorf, 1989). Dadurch wird der Fragebogen manipulierbar und das Ergebnis könnte durch Teilnehmer mit höherem Bildungsstatus verfälscht werden (Pauls und Crost, 2005). Dies setzt jedoch eine Motivation des Teilnehmers voraus, z. B. die Daten absichtlich im Hinblick auf das Ergebnis der Studie zu manipulieren oder die eigene Person zu schützen. Da jedoch alle Daten anonymisiert erhoben wurden und die Fragestellung der vorliegenden Arbeit nicht mitgeteilt wurde, ist eine Verschiebung der Daten in Hinblick auf die soziale Erwünschtheit unwahrscheinlich.

Des Weiteren zeigten vergangene Studien, dass Frauen der Riechfunktion nachweislich eine höhere Bedeutung beimessen und zusätzlich eine bessere olfaktorische Sensitivität besitzen (Larsson et al., 2000; Hummel et al., 2007). Es ist jedoch zu beachten, dass diese Studie im Bezug auf die jüngere Population nicht verallgemeinert werden sollte. Es wurden freiwillige weibliche und männliche Probanden über Aushänge an der medizinischen Fakultät der technischen Universität Dresden rekrutiert. Dabei haben sich vor allem jüngere Teilnehmer für das Experiment interessiert. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die untersuchte Population typische Merkmale zeigte, z. B. höhere Bildung und höhere Intelligenz im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung (Rosnow und Rosenthal, 1966). Somit messen junge Männer möglicherweise der Riechfunktion ebenfalls eine höhere Bedeutung bei als die Allgemeinbevölkerung. Folglich könnte diese Tatsache Einfluss auf die erhobenen Ergebnisse gehabt haben und erklärt, warum kein Unterschied zwischen den Geschlechtern im Hinblick auf die Bedeutung der Geruchswahrnehmung im Alltag gefunden werden konnte. Eine weitere Erklärung könnte die unterschiedliche Geschlechterverteilung in den Gruppen gewesen sein. Die Anzahl der Frauen, vor allem in der jüngeren Gruppe, lag deutlich unter der Anzahl der Männer und hatte möglicherweise ebenfalls Einfluss auf das Ergebnis. Sorokowski und Kollegen (2019) führten erst kürzlich zu diesem Thema eine Meta-Analyse durch, in der die Überlegenheit des weiblichen Geruchssinns belegt wurde. Allerdings waren diese Effektstärken nur sehr schwach nachweisbar und stellen ebenfalls eine mögliche Erklärung für unser Ergebnis dar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die CNV sowohl mit der Stimuluserwartung, als auch mit der Wachsamkeit und der Wahrnehmung von Gerüchen zusammenhängt. Diese Resultate deuten darauf hin, dass die CNV als elektrophysiologisches Äquivalent der Kognition nützlich ist. Eine Modulation der CNV durch Gerüche ist jedoch nur sehr gering bis gar nicht

möglich. Bei den Bedingungen Orange und Luft beobachteten wir allerdings eine positive Korrelation zwischen beruhigender Wirkung/ Hedonik und den CNV-Amplituden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die CNV-Amplitude als Ersatzmarker für die Annehmlichkeit eines Geruchs dienen könnte. Es ist jedoch anzumerken, dass dieser Effekt nicht stabil zu sein scheint. In der vorliegenden Arbeit konnte dieser Zusammenhang nur mit relativ schwachen korrelativen Analysen nachgewiesen werden. Möglicherweise wäre eine Wiederholung dieses Versuches mit Düften sinnvoll, die neben dem angenehmen auch ein unangenehmeres Geruchsspektrum (beispielsweise Fisch) zur stärkeren Kontrastbildung darbieten.

7 Zusammenfassung

Hintergrund

Es ist bereits in Studien untersucht worden, dass Gerüche beeinflussende Wirkungen in Hinblick auf die Amplitude der CNV besitzen. In der vorliegenden Arbeit soll beobachtet werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Annehmlichkeit von Gerüchen und dem CNV in seiner Modulation finden lässt und diese alters- oder geschlechtsabhängig ist. Dazu verwendeten wir vier unterschiedliche Gerüche, die ein breites Geruchsspektrum darstellen (Orange, Pfefferminze, Moschus, Vanille). Zusätzlich stellten wir uns die Frage, ob Gerüche unterschiedlicher hedonischer Valenz in Hinblick auf die CNV im Zusammenhang mit der Reaktionszeit stehen.

Material und Methoden

Es wurden die Daten von 62 Teilnehmern (27 Männer, 35 Frauen) einbezogen. Die Teilnehmer wurden in zwei Altersgruppen geteilt. Gruppe 1 (Jung) umfasste 30 Probanden im Alter von 18-30 Jahren und Altersgruppe 2 (Alt) umfasste 32 Probanden im Alter von über 40 Jahren. Der Versuch wurde in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Teil erhielten die Teilnehmer "Sniffin' Sticks"-Geruchsidentifikationstests und eine standardisierte Anamnese zur Feststellung von Normosmie. Darüber hinaus beantworteten sie Fragebögen zur Bedeutung des Geruchssinns und zu Persönlichkeitsmerkmalen. Im zweiten Abschnitt wurde die durch EEG aufgezeichnete CNV mit zwei akustischen Reizen, S1 gefolgt von S2 im Abstand von 2400 ms, ausgelöst. Die Versuchspersonen wurden gebeten, so schnell wie möglich einen Knopf zu drücken, nachdem sie S2 wahrgenommen hatten. Das EEG wurde an vier Positionen des 10-20-Systems aufgezeichnet (Fp2, Fz, Cz und Pz). Vier Gerüche und geruchlose Luft wurden in zufälliger Reihenfolge präsentiert.

Ergebnisse

Es ergaben sich die folgenden Hauptergebnisse:

- 1) In Übereinstimmung mit der Literatur zeigte die CNV eine typische topographische Verteilung mit der größten Amplitude über den frontal-zentralen Aufnahmestellen.
- 2) 69% der Probanden hatten eine konsistente CNV für alle Bedingungen.

- 3) Für einige Geruchsbedingungen zeigten die CNV-Amplituden eine schwache Beziehung zur Hedonik eines Geruchs und Assoziationen mit deren beruhigender Wirkung.
- 4) Die CNV-Amplitude korrelierte negativ mit der Reaktionszeit.

Schlussfolgerung

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Nützlichkeit der CNV als elektroфизиologisches Maß für die Kognition. Im vorliegenden Kontext hatten jedoch gleichzeitig verabreichte Gerüche verschiedener hedonischer Töne nur geringe Auswirkungen auf die CNV.

8 Summary

Background and Aim

It has already been investigated in studies that odors influence the amplitude of the CNV. In the present work we want to investigate whether a correlation can be found between the pleasantness of odors and the CNV and whether this is age- or gender-dependent. For this purpose we used four different odors representing a broad olfactory spectrum (orange, peppermint, musk, vanillin). In addition, we asked ourselves whether odors have an influence on reaction time.

Methodology

Data from 62 participants (27 men, 35 women) were included. The participants were divided into two age groups. Group 1 (Young) included 30 subjects aged 18-30 years and age group 2 (Old) included 32 subjects aged over 40 years. The experiment was divided into two sections. In the first part, participants were given "Sniffin' Sticks" odor identification tests and a standardized history to determine normosmia. In addition, they answered questionnaires on the importance of the sense of smell and on personality traits. In the second section, the CNV recorded by EEG was elicited with two acoustic stimuli, S1 followed by S2 at an interval of 2400 ms. Subjects were asked to press a button as quickly as possible after perceiving S2. The EEG was recorded at four positions of the 10-20 system (Fp2, Fz, Cz, and Pz). Four odors and odorless air were presented in random order.

Results

The following main results emerged:

- 1) CNV showed a typical topographic distribution with the greatest amplitude over the frontal-central recording sites, consistent with the literature.
- 2) 69% of subjects had consistent CNV for all conditions.
- 3) CNV amplitudes showed a weak relation to the pleasantness of an odor and associations with its calming effect for some odor conditions.
- 4) CNV amplitude was negatively correlated with reaction time.

Conclusion

Overall, the results emphasize the usefulness of CNV as an electrophysiological measure of cognition. However, in the present context, simultaneously administered odors of different hedonic tones had little effect on CNV.

9 Literaturverzeichnis

- Ache, B.W., Young, J.M., 2005. Olfaction: diverse species, conserved principles. *Neuron* 48, 417–430. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.10.022>
- Amabile, G., Fattapposta, F., Pozzessere, G., Albani, G., Sanarelli, L., Rizzo, P.A., Morocutti, C., 1986. Parkinson disease: electrophysiological (CNV) analysis related to pharmacological treatment. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 64, 521–524. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(86\)90189-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(86)90189-6)
- Ashton, H., Golding, J.F., Marsh, V.R., Thompson, J.W., Hassanyeh, F., Tyrer, S.P., 1988. Cortical evoked potentials and clinical rating scales as measures of depressive illness. *Psychol Med* 18, 305–317. <https://doi.org/10.1017/s0033291700007856>
- Ashton, H., Millman, J.E., Telford, R., Thompson, J.W., 1974. The effect of caffeine, nitrazepam and cigarette smoking on the contingent negative variation in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 37, 59–71. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(74\)90245-4](https://doi.org/10.1016/0013-4694(74)90245-4)
- Auffermann, H., Gerull, G., Mathe, F., Mrowinski, D., 1993. Olfactory evoked potentials and contingent negative variation simultaneously recorded for diagnosis of smell disorders. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 102, 6–10. <https://doi.org/10.1177/000348949310200102>
- Bensafi, M., Rouby, C., Farget, V., Bertrand, B., Vigouroux, M., Holley, A., 2002. Autonomic nervous system responses to odours: the role of pleasantness and arousal. *Chem Senses* 27, 703–709. <https://doi.org/10.1093/chemse/27.8.703>
- Birbaumer, N., Elbert, T., Lutzenberger, W., Rockstroh, B., Schwarz, J., 1981. EEG and slow cortical potentials in anticipation of mental tasks with different hemispheric involvement. *Biol Psychol* 13, 251–260. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(81\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0301-0511(81)90040-5)
- Borkenau, P., Ostendorf, F., 2008. NEO-FFI: NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae, Manual.
- Borkenau, P., Ostendorf, F., 1989. Descriptive consistency and social desirability in self- and peer reports. *European Journal of Personality* 3, 31–45. <https://doi.org/10.1002/per.2410030105>
- Brand, G., Jacquot, L., 2007. Riechen Frauen anders als Männer?, in: Lautenbacher, S., Gütürkün, O., Hausmann, M. (Eds.), *Gehirn und Geschlecht: Neurowissenschaft des kleinen Unterschieds zwischen Frau und Mann*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 161–174. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71628-0_9
- Brosius, H.-B., Haas, A., Koschel, F., 2012. Experiment III: Varianten und Durchführung, in: Brosius, H.-B., Haas, A., Koschel, F. (Eds.), *Methoden der empirischen Kommunikationsforschung: Eine Einführung, Studienbücher zur Kommunikations- und Medienwissenschaft*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp. 215–230. https://doi.org/10.1007/978-3-531-94214-8_15

- Buchheister, G.A., 1927. Handbuch Der Drogisten-Praxis. Рипол Классик.
- Clark-Gambelunghe, M.B., Clark, D.A., 2015. Sensory development. *Pediatr Clin North Am* 62, 367–384. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2014.11.003>
- Cohrs, C., Block, C., 2015. Personalauswahl, in: Rowold, J. (Ed.), *Human Resource Management: Lehrbuch für Bachelor und Master*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 159–171. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45983-6_15
- Croy, I., Buschhüter, D., Seo, H.-S., Negoias, S., Hummel, T., 2010. Individual significance of olfaction: development of a questionnaire. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 267, 67–71. <https://doi.org/10.1007/s00405-009-1054-0>
- Croy, I., Hummel, T., 2017. Olfaction as a marker for depression. *J Neurol* 264, 631–638. <https://doi.org/10.1007/s00415-016-8227-8>
- de Araujo, I.E., Rolls, E.T., Velazco, M.I., Margot, C., Cayeux, I., 2005. Cognitive Modulation of Olfactory Processing. *Neuron* 46, 671–679. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.04.021>
- Dijksterhuis, G.B., Møller, P., Bredie, W.L.P., Rasmussen, G., Martens, M., 2002. Gender and handedness effects on hedonicity of laterally presented odours. *Brain Cogn* 50, 272–281. [https://doi.org/10.1016/s0278-2626\(02\)00511-0](https://doi.org/10.1016/s0278-2626(02)00511-0)
- Doty, R.L., Cameron, E.L., 2009. Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception. *Physiol Behav* 97, 213–228. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.032>
- Duffy, F.H., McAnulty, G.B., Albert, M.S., 1993. The pattern of age-related differences in electrophysiological activity of healthy males and females. *Neurobiol Aging* 14, 73–84. [https://doi.org/10.1016/0197-4580\(93\)90025-7](https://doi.org/10.1016/0197-4580(93)90025-7)
- Egger, V., 2018. Riechen Sehen. *Blick in die Wissenschaft* 27, 27–33. <https://doi.org/10.5283/bidw.v27i37.24>
- Elbert, T., 1993. Slow Cortical Potentials Reflect the Regulation of Cortical Excitability, in: McCallum, W.C., Curry, S.H. (Eds.), *Slow Potential Changes in the Human Brain*, NATO ASI Series. Springer US, Boston, MA, pp. 235–251. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1597-9_15
- Evans, W.J., Cui, L., Starr, A., 1995. Olfactory event-related potentials in normal human subjects: effects of age and gender. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 95, 293–301. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(95\)00055-4](https://doi.org/10.1016/0013-4694(95)00055-4)
- Evans, W.J., Kobal, G., Lorig, T.S., Prah, J.D., 1993. Suggestions for collection and reporting of chemosensory (olfactory) event-related potentials. *Chemical Senses* 18, 751–756. <https://doi.org/10.1093/chemse/18.6.751>
- Firestein, S., Darrow, B., Shepherd, G.M., 1991. Activation of the sensory current in salamander olfactory receptor neurons depends on a G protein-mediated cAMP second messenger system. *Neuron* 6, 825–835. [https://doi.org/10.1016/0896-6273\(91\)90178-3](https://doi.org/10.1016/0896-6273(91)90178-3)

- Flohr, E.L.R., Erwin, E., Croy, I., Hummel, T., 2017. Sad man's nose: Emotion induction and olfactory perception. *Emotion* 17, 369–378. <https://doi.org/10.1037/emo0000224>
- Frasnelli, J., Hummel, T., 2005. Olfactory dysfunction and daily life. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 262, 231–235. <https://doi.org/10.1007/s00405-004-0796-y>
- Gelstein, S., Yeshurun, Y., Rozenkrantz, L., Shushan, S., Frumin, I., Roth, Y., Sobel, N., 2011. Human tears contain a chemosignal. *Science* 331, 226–230. <https://doi.org/10.1126/science.1198331>
- Getchell, T.V., Margolis, F.L., Getchell, M.L., 1984. Perireceptor and receptor events in vertebrate olfaction. *Prog Neurobiol* 23, 317–345. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(84\)90008-x](https://doi.org/10.1016/0301-0082(84)90008-x)
- Goldberg, L.R., 1990. An alternative “description of personality”: the big-five factor structure. *J Pers Soc Psychol* 59, 1216–1229. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.59.6.1216>
- Graziadei, P.P., Metcalf, J.F., 1971. Autoradiographic and ultrastructural observations on the frog's olfactory mucosa. *Z Zellforsch Mikrosk Anat* 116, 305–318. <https://doi.org/10.1007/BF00330630>
- Hager, H., 1872. *Deutsche Pharmakopöe = Pharmacopoea Germanica / aus dem lateinischen Texte ins Dt. übers. v. Hermann Hager*. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201006171057-0>
- Hashimoto, I., Ishiyama, Y., Yoshimoto, T., Nemoto, S., 1981. Brain-stem auditory-evoked potentials recorded directly from human brain-stem and thalamus. *Brain* 104, 841–859. <https://doi.org/10.1093/brain/104.4.841>
- Hiruma, T., Yabe, H., Sato, Y., Sutoh, T., Kaneko, S., 2002. Differential effects of the hiba odor on CNV and MMN. *Biol Psychol* 61, 321–331. [https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(02\)00091-1](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(02)00091-1)
- Hummel, T., Barz, S., Pauli, E., Kobal, G., 1998. Chemosensory event-related potentials change with age. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 108, 208–217. [https://doi.org/10.1016/s0168-5597\(97\)00074-9](https://doi.org/10.1016/s0168-5597(97)00074-9)
- Hummel, T., Klimek, L., Welge-Lüssen, A., Wolfensberger, G., Gudziol, H., Renner, B., Kobal, G., 2000. [Chemosensory evoked potentials for clinical diagnosis of olfactory disorders]. *HNO* 48, 481–485. <https://doi.org/10.1007/s001060050602>
- Hummel, T., Kobal, G., Gudziol, H., Mackay-Sim, A., 2007. Normative data for the “Sniffin' Sticks” including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 264, 237–243. <https://doi.org/10.1007/s00405-006-0173-0>
- Hummel, T., Rissom, K., Reden, J., Hähner, A., Weidenbecher, M., Hüttenbrink, K.-B., 2009. Effects of olfactory training in patients with olfactory loss. *Laryngoscope* 119, 496–499. <https://doi.org/10.1002/lary.20101>
- Hummel, T., Sekinger, B., Wolf, S.R., Pauli, E., Kobal, G., 1997. “Sniffin” sticks’: olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination

- and olfactory threshold. *Chem Senses* 22, 39–52. <https://doi.org/10.1093/chemse/22.1.39>
- Hummel, T., Stupka, G., Haehner, A., Poletti, S.C., 2018. Olfactory training changes electrophysiological responses at the level of the olfactory epithelium. *Rhinology* 56, 330–335. <https://doi.org/10.4193/Rhin17.163>
- Hummel, T., Whitcroft, K.L., Andrews, P., Altundag, A., Cinghi, C., Costanzo, R.M., Damm, M., Frasnelli, J., Gudziol, H., Gupta, N., Haehne, A., Holbrook, E., Hong, S.C., Hornung, D., Hüttenbrink, K.B., Kamel, R., Kobayashi, M., Konstantinidis, I., Landis, B.N., Leopold, D.A., Macchi, A., Miwa, T., Moesges, R., Mullol, J., Mueller, C.A., Ottaviano, G., Passali, G.C., Philpott, C., Pinto, J.M., Ramakrishnan, V.J., Rombaux, P., Roth, Y., Schlosser, R.A., Shu, B., Soler, G., Stjärne, P., Stuck, B.A., Vodicka, J., Welge-Luessen, A., 2017. Position paper on olfactory dysfunction. *Rhinol Suppl* 54, 1–30. <https://doi.org/10.4193/Rhino16.248>
- Hüttenbrink, K.-B., Hummel, T., Berg, D., Gasser, T., Hähner, A., 2013. Olfactory dysfunction: common in later life and early warning of neurodegenerative disease. *Dtsch Arztebl Int* 110, 1–7, e1. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2013.0001>
- Jung, H., 2014. Persönlichkeitstypologie: Instrument der Mitarbeiterführung. Mit Persönlichkeitstest. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Kadohisa, M., 2013. Effects of odor on emotion, with implications. *Front Syst Neurosci* 7, 66. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00066>
- Khan, R.M., Luk, C.-H., Flinker, A., Aggarwal, A., Lapid, H., Haddad, R., Sobel, N., 2007. Predicting odor pleasantness from odorant structure: pleasantness as a reflection of the physical world. *J Neurosci* 27, 10015–10023. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1158-07.2007>
- Klem, G.H., Lüders, H.O., Jasper, H.H., Elger, C., 1999. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *The International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 52, 3–6.
- Kobal, G., Hummel, C., 1988. Cerebral chemosensory evoked potentials elicited by chemical stimulation of the human olfactory and respiratory nasal mucosa. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 71, 241–250. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(88\)90023-8](https://doi.org/10.1016/0168-5597(88)90023-8)
- Kobal, G., Hummel, T., Van Toller, S., 1992. Differences in human chemosensory evoked potentials to olfactory and somatosensory chemical stimuli presented to left and right nostrils. *Chemical Senses* 17, 233–244. <https://doi.org/10.1093/chemse/17.3.233>
- Kohli, P., Soler, Z.M., Nguyen, S.A., Muus, J.S., Schlosser, R.J., 2016. The Association Between Olfaction and Depression: A Systematic Review. *Chem Senses* 41, 479–486. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjw061>
- Kromer, J., Hummel, T., Pietrowski, D., Giani, A.S., Sauter, J., Ehninger, G., Schmidt, A.H., Croy, I., 2016. Influence of HLA on human partnership and sexual satisfaction. *Sci Rep* 6, 32550. <https://doi.org/10.1038/srep32550>

- Kropp, P., Göbel, H., Dworschak, M., Heinze, A., 1996. Elektrophysiologische Untersuchungen bei Kopfschmerzen: Die "contingent negative variation" (CNV). *Schmerz* 10, 130–134. <https://doi.org/10.1007/s004820050032>
- Lapid, H., Shushan, S., Plotkin, A., Voet, H., Roth, Y., Hummel, T., Schneidman, E., Sobel, N., 2011. Neural activity at the human olfactory epithelium reflects olfactory perception. *Nat Neurosci* 14, 1455–1461. <https://doi.org/10.1038/nn.2926>
- Larsson, M., Finkel, D., Pedersen, N.L., 2000. Odor identification: influences of age, gender, cognition, and personality. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 55, P304-310. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.5.p304>
- Leopold, D.A., Hummel, T., Schwob, J.E., Hong, S.C., Knecht, M., Kobal, G., 2000. Anterior Distribution of Human Olfactory Epithelium. *The Laryngoscope* 110, 417–421. <https://doi.org/10.1097/00005537-200003000-00016>
- Lignell, S., Darnerud, P.O., Aune, M., Cnattingius, S., Hajslova, J., Setkova, L., Glynn, A., 2008. Temporal trends of synthetic musk compounds in mother's milk and associations with personal use of perfumed products. *Environ Sci Technol* 42, 6743–6748. <https://doi.org/10.1021/es800626n>
- Lorig, T.S., Roberts, M., 1990. Odor and cognitive alteration of the contingent negative variation. *Chemical Senses* 15, 537–545. <https://doi.org/10.1093/chemse/15.5.537>
- Lorig, T.S., Turner, J.M., Matia, D.C., Warrenburg, S., 1995. The contingent negative variation in an odor labeling paradigm. *Psychophysiology* 32, 393–398. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb01222.x>
- Loveless, N.E., Sanford, A.J., 1975. The impact of warning signal intensity on reaction time and components of the contingent negative variation. *Biol Psychol* 2, 217–226. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(75\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0301-0511(75)90021-6)
- Lutzenberger, W., Elbert, T., Rockstroh, B., Birbaumer, N., 2013. *Das EEG: Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen*. Springer-Verlag.
- Lutzenberger, W., Elbert, T., Rockstroh, B., Birbaumer, N., 1985. *Das EEG: Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-06459-7>
- Manley, C.H., 1993. Psychophysiological effect of odor. *Crit Rev Food Sci Nutr* 33, 57–62. <https://doi.org/10.1080/10408399309527612>
- Matern, G., Matthias, C., Mrowinski, D., 1995. [Olfactory evoked potentials and contingent negative variation in expert assessment of disordered sense of smell]. *Laryngorhinootologie* 74, 118–121. <https://doi.org/10.1055/s-2007-997702>
- McCrae, R.R., Costa, P.T., 2003. *Personality in Adulthood: A Five-factor Theory Perspective*. Guilford Press.
- McCrae, R.R., Costa, P.T., 1997. Personality trait structure as a human universal. *Am Psychol* 52, 509–516. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.52.5.509>

- McCrae, R.R., Costa, P.T., 1989. The structure of interpersonal traits: Wiggins's circumplex and the five-factor model. *J Pers Soc Psychol* 56, 586–595. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.56.4.586>
- McCrae, R.R., Costa, P.T., Martin, T.A., 2005. The NEO-PI-3: a more readable revised NEO Personality Inventory. *J Pers Assess* 84, 261–270. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8403_05
- Mensing, J., 2021. Die Entstehung des modernen Parfümeurs, in: Mensing, J. (Ed.), *Schöner RIECHEN: Die magische Wirkung von Parfums auf das Wohlbefinden*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 351–359. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62726-6_15
- Miwa, T., Furukawa, M., Tsukatani, T., Costanzo, R.M., DiNardo, L.J., Reiter, E.R., 2001. Impact of olfactory impairment on quality of life and disability. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 127, 497–503. <https://doi.org/10.1001/archotol.127.5.497>
- Moerman, N., Bonke, B., Oosting, J., 1993. Awareness and recall during general anesthesia. Facts and feelings. *Anesthesiology* 79, 454–464. <https://doi.org/10.1097/00000542-199309000-00007>
- Müller, A., Landis, B.N., Zahnert, T., Reichmann, H., Hummel, T., 2005. Riechen: Normale Funktion und Störungen. *Aktuelle Neurologie* 32, 15–27. <https://doi.org/10.1055/s-2004-834578>
- Nakamura, M., Fukui, Y., Kadobayashi, I., Katoh, N., 1975. Effect of motor-response-deprivation on contingent negative variation (CNV). I: Normal adult data. *Folia Psychiatr Neurol Jpn* 29, 321–328. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.1975.tb02350.x>
- Olofsson, J.K., Nordin, S., 2004. Gender differences in chemosensory perception and event-related potentials. *Chem Senses* 29, 629–637. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh066>
- Pauls, C.A., Crost, N.W., 2005. Cognitive Ability and Self-Reported Efficacy of Self-Presentation Predict Faking on Personality Measures. *Journal of Individual Differences* 26, 194–206. <https://doi.org/10.1027/1614-0001.26.4.194>
- Pelosi, P., 2001. The role of perireceptor events in vertebrate olfaction. *Cell Mol Life Sci* 58, 503–509. <https://doi.org/10.1007/PL00000875>
- Pichon, A.M., Coppin, G., Cayeux, I., Porcherot, C., Sander, D., Delplanque, S., 2015. Sensitivity of Physiological Emotional Measures to Odors Depends on the Product and the Pleasantness Ranges Used. *Front Psychol* 6, 1821. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01821>
- Picton, T.W., Hillyard, S.A., Krausz, H.I., Galambos, R., 1974. Human auditory evoked potentials. I. Evaluation of components. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 36, 179–190. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(74\)90155-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(74)90155-2)
- Posner, M.I., 1980. Orienting of attention. *Q J Exp Psychol* 32, 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Posner, M.I., 1966. Components of skilled performance. *Science* 152, 1712–1718. <https://doi.org/10.1126/science.152.3730.1712>

- Rahayel, S., Frasnelli, J., Joubert, S., 2012. The effect of Alzheimer's disease and Parkinson's disease on olfaction: a meta-analysis. *Behav Brain Res* 231, 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2012.02.047>
- Rizzo, P.A., Amabile, G., Caporali, M., Spadaro, M., Zanasi, M., Morocutti, C., 1978. A CNV study in a group of patients with traumatic head injuries. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 45, 281–285. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(78\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(78)90012-3)
- Rizzo, P.A., Pierelli, F., Pozzessere, G., Fattapposta, F., Sanarelli, L., Morocutti, C., 1985. Pain, anxiety, and contingent negative variation: a clinical and pharmacological study. *Biol Psychiatry* 20, 1297–1302. [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(85\)90114-3](https://doi.org/10.1016/0006-3223(85)90114-3)
- Robin, O., Alaoui-Ismaïli, O., Dittmar, A., Vernet-Maury, E., 1999. Basic emotions evoked by eugenol odor differ according to the dental experience. A neurovegetative analysis. *Chem Senses* 24, 327–335. <https://doi.org/10.1093/chemse/24.3.327>
- Rolls, E.T., 2004. The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain Cogn* 55, 11–29. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00277-X](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00277-X)
- Rosenhall, U., Björkman, G., Pedersen, K., Kall, A., 1985. Brain-stem auditory evoked potentials in different age groups. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 62, 426–430. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(85\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0168-5597(85)90052-8)
- Rosnow, R.L., Rosenthal, R., 1966. Volunteer subjects and the results of opinion change studies. *Psychol Rep* 19, 1183–1187. <https://doi.org/10.2466/pr0.1966.19.3f.1183>
- Rouby, C., Schaal, B., Dubois, D., Gervais, R., Holley, A., 2002. *Olfaction, Taste, and Cognition*. Cambridge University Press.
- Ruser, P., Koepfel, C.J., Kitzler, H.H., Hummel, T., Croy, I., 2021. Individual odor hedonic perception is coded in temporal joint network activity. *NeuroImage* 229, 117782. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117782>
- Satoh, T., Sugawara, Y., 2003. Effects on humans elicited by inhaling the fragrance of essential oils: sensory test, multi-channel thermometric study and forehead surface potential wave measurement on basil and peppermint. *Anal Sci* 19, 139–146. <https://doi.org/10.2116/analsci.19.139>
- Schicker, I.L., 1995. *Mentale Repräsentation von Alltagsgerüchen (PhD Thesis)*. Ludwig-Maximilians Universität München.
- Segalowitz, S.J., Davies, P.L., 2004. Charting the maturation of the frontal lobe: an electrophysiological strategy. *Brain Cogn* 55, 116–133. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00283-5](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00283-5)
- Shu, C.-H., Hummel, T., Lee, P.-L., Chiu, C.-H., Lin, S.-H., Yuan, B.-C., 2009. The proportion of self-rated olfactory dysfunction does not change across the life span. *Am J Rhinol Allergy* 23, 413–416. <https://doi.org/10.2500/ajra.2009.23.3343>
- Siniatchkin, M., Kuppe, A., 2011. Neurophysiological determinants of tic severity in children with chronic motor tic disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 36, 121–127. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9155-0>

- Small, D.M., Gerber, J.C., Mak, Y.E., Hummel, T., 2005. Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans. *Neuron* 47, 593–605. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.07.022>
- Sommer, J.U., Maboshe, W., Griebe, M., Heiser, C., Hörmann, K., Stuck, B.A., Hummel, T., 2012. A mobile olfactometer for fMRI-studies. *J Neurosci Methods* 209, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2012.05.026>
- Sorokowska, A., Albrecht, E., Haehner, A., Hummel, T., 2015. Extended version of the “Sniffin’ Sticks” identification test: test-retest reliability and validity. *J Neurosci Methods* 243, 111–114. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2015.01.034>
- Sorokowski, P., Karwowski, M., Misiak, M., Marczak, M.K., Dziekan, M., Hummel, T., Sorokowska, A., 2019. Sex Differences in Human Olfaction: A Meta-Analysis. *Front Psychol* 10, 242. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00242>
- Stockard, J.E., Stockard, J.J., Westmoreland, B.F., Corfits, J.L., 1979. Brainstem auditory-evoked responses. Normal variation as a function of stimulus and subject characteristics. *Arch Neurol* 36, 823–831. <https://doi.org/10.1001/archneur.1979.00500490037006>
- Takagi, M., Watanabe, S., 1999. Two different components of contingent negative variation (CNV) and their relation to changes in reaction time under hypobaric hypoxic conditions. *Aviat Space Environ Med* 70, 30–34.
- Tecce, J.J., 1972. Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin* 77, 73–108. <https://doi.org/10.1037/h0032177>
- Thivierge, J., Côté, R., 1987. Brain-stem auditory evoked response (BAER): normative study in children and adults. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 68, 479–484. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(87\)90060-8](https://doi.org/10.1016/0168-5597(87)90060-8)
- Thompson, R.F., Patterson, M.M., 2013. *Bioelectric Recording Techniques: Electroencephalography and Human Brain Potentials*. Academic Press.
- Thornton, C., Barrowcliffe, M.P., Konieczko, K.M., Ventham, P., Doré, C.J., Newton, D.E., Jones, J.G., 1989. The auditory evoked response as an indicator of awareness. *Br J Anaesth* 63, 113–115. <https://doi.org/10.1093/bja/63.1.113>
- Timsit-Berthier, M., Mantanus, H., Anseau, M., Devoitille, J.M., Dal Mas, A., Legros, J.J., 1987. Contingent negative variation in major depressive patients. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 40, 762–771.
- Torii, S., Fukuda, H., Kanemoto, H., Miyanchi, R., Hamauzu, Y., Kawasaki, M., 1988. Contingent negative variation (CNV) and the psychological effects of odour, in: Van Toller, S., Dodd, G.H. (Eds.), *Perfumery: The Psychology and Biology of Fragrance*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 107–120. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1215-1_6
- Trimmel, M., 1990. Ereigniskorrelierte Potentiale, in: Trimmel, M. (Ed.), *Angewandte und Experimentelle Neuropsychophysiologie, Lehr- und Forschungstexte Psychologie*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 113–254. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75892-8_8

- Wallrabenstein, I., Gerber, J., Rasche, S., Croy, I., Kurtenbach, S., Hummel, T., Hatt, H., 2015. The smelling of Hedione results in sex-differentiated human brain activity. *Neuroimage* 113, 365–373. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.03.029>
- Walter, W.G., 1967. The analysis, synthesis and identification of evoked responses and contingent negative variation (CNV). *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 23, 489.
- Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., Mccallum, W.C., Winter, A.L., 1964. CONTINGENT NEGATIVE VARIATION: AN ELECTRIC SIGN OF SENSORIMOTOR ASSOCIATION AND EXPECTANCY IN THE HUMAN BRAIN. *Nature* 203, 380–384. <https://doi.org/10.1038/203380a0>
- Weismann, M., Yousry, I., Heuberger, E., Nolte, A., Ilmberger, J., Kobal, G., Yousry, T.A., Kettenmann, B., Naidich, T.P., 2001. Functional magnetic resonance imaging of human olfaction. *Neuroimaging Clin N Am* 11, 237–250, viii.
- Wiesmann, M., Kopietz, R., Albrecht, J., Linn, J., Reime, U., Kara, E., Pollatos, O., Sakar, V., Anzinger, A., Fesl, G., Brückmann, H., Kobal, G., Stephan, T., 2006. Eye closure in darkness animates olfactory and gustatory cortical areas. *Neuroimage* 32, 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.03.022>
- Witt, M., Hansen, A., 2009. Strukturelle und funktionelle Grundlagen des Riechens, in: Hummel, T., Welge-Lüssen, A. (Eds.), *Riech- und Schmeckstörungen*. Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-002-33686>
- World Medical Association, 2013. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* 310, 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
- Yousem, D.M., Maldjian, J.A., Hummel, T., Alsop, D.C., Geckle, R.J., Kraut, M.A., Doty, R.L., 1999. The effect of age on odor-stimulated functional MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 20, 600–608.
- Zald, D.H., Pardo, J.V., 2000. Functional neuroimaging of the olfactory system in humans. *Int J Psychophysiol* 36, 165–181. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(99\)00110-5](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(99)00110-5)

