

**Medizinische Fakultät der  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg**

**Einfluss von hyperbarem Luftdruck und Störgeräusch auf  
das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

von: Christopher Schmidtbauer

geboren am: 19.09.1992 in Herdecke

Betreuer\*in: apl. Prof. Dr. rer. nat., rer. medic. habil. Torsten Rahne

Gutachter\*innen:

- apl. Prof. S. Watzke
- Prof. T. Hummel, Dresden

(12.07.2021)

(18.05.2022)

## Referat

Zu den Sinneswahrnehmungen des Menschen gehören der Schmecksinn (gustatorische Wahrnehmung) und der Riechsinn (olfaktorische Wahrnehmung). In der Literatur gibt es Hinweise, dass diese Sinneswahrnehmungen durch Luftdruckänderungen (Kühn et al., 2007) und auditive Reize (Seo et al., 2012) beeinflusst werden können.

Die Komprimierbarkeit von Gasen bei einer Steigerung des Luftdruckes könnte mit einer Erhöhung der Konzentration an Duftstoffen pro Volumen der Atemluft einhergehen. Zusätzlich könnte eine verbesserte Löslichkeit der Schmeck- und Duftstoffe die Wechselwirkung mit den Sinneszellen erhöhen und somit zu einer erhöhten Empfindlichkeit führen. Weiterhin könnte die Überlagerung auf neuronaler Ebene zwischen olfaktorischen oder gustatorischen Reiz und dem Störgeräusch in einer reduzierten Empfindlichkeit resultieren. Schließlich scheinen komplexe Zusammenhänge bei der Verarbeitung der unterschiedlichen Sinnesmodalitäten zu existieren. Diese multimodale, neurogen sowie psychologisch geprägte Sinnesverarbeitung ist für das Verständnis der Funktionsweise der Sinne von Bedeutung und findet hauptsächlich abseits der Rezeptorzellen in der zentralen Verarbeitung der Sinnesreize statt.

In einer prospektiven, einfachblinden Beobachtungsstudie sollte der Einfluss des Schalldruckpegels und des statischen Luftdrucks auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen untersucht werden. Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt: Erstens, dass hyperbarer Luftdruck die Wahrnehmung für olfaktorische und gustatorische Reize im Vergleich zum normobaren Atmosphärendruck erhöht und zweitens, dass Störgeräusche sich negativ auf den Riech- und Schmecksinn auswirken (reduzieren die Empfindlichkeit).

An 16 Probanden wurde in der HBO-Druckkammer des Universitätsklinikums Halle (Saale) eine Riechprüfung mittels Sniffin' Sticks und Schmeckprüfung mittels Taste Strips in vier Umgebungsbedingungen, in Stille oder unter Einfluss eines Störgeräusches (70 dB SPL) jeweils bei normalen Druckverhältnissen (1 bar) oder bei erhöhtem Luftdruck (2 bar) durchgeführt.

Es konnte weder ein Einfluss von hyperbarem Luftdruck noch von Störgeräuschen auf den Riech- und Schmecksinn gemessen werden. Damit weichen die Ergebnisse von denen der aktuellen Literatur ab, welche eine verbesserte olfaktorische Wahrnehmung bei erhöhtem Luftdruck postulieren. Neben dem potentiellen Einfluss durch Änderung des physikalischen Luftdruckes könnten auch Einflüsse durch die multimodale Sinnesverarbeitung auf den Riech- und Schmecksinn gewirkt haben. In den Untersuchungen konnte diese Interaktion zwischen einem auditiven Reiz in Form eines Störgeräusches als weißes Rauschen nicht bestätigt werden.

Teile dieser Arbeit wurden im Online-Journal PLOS ONE mit dem Titel „Contribution of ambient noise and hyperbaric atmosphere to olfactory and gustatory function“ publiziert (Fischer et al., 2020).

---

Schmidtbauer, Christopher: Einfluss von hyperbarem Luftdruck und Störgeräusch auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen, Halle (Saale), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Med. Fak., Diss., 80 Seiten, 2021

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung	1
1.1	Der Riechsinn	2
1.2	Der Schmecksinn	6
1.3	Der Hörsinn	9
1.4	Hyperbare Atmosphäre und ihre Auswirkung auf den menschlichen Organismus	13
1.5	Einflüsse auf die olfaktorische Sinneswahrnehmung	18
1.6	Einflüsse auf die gustatorische Sinneswahrnehmung	23
1.7	Einflüsse auf den Riech- und Schmecksinn	26
1.7.1	Einfluss einer Infektion mit SARS-CoV-2	26
1.7.2	Einfluss des hypobaren Luftdruckes	27
1.7.3	Einfluss durch eine Hypoxie	28
1.7.4	Einfluss des hyperbaren Luftdruckes	29
1.7.5	Einfluss von Störgeräuschen	31
2	Zielstellung	32
3	Probanden, Material und Methodik	33
3.1	Studiendesign	33
3.2	Probanden	33
3.3	Voruntersuchungen	34
3.4	Studienmessungen	35
3.4.1	Schmeckprüfung	35
3.4.2	Riechprüfung	35
3.4.3	Druckkammer	39
3.4.4	Störgeräusch	40
3.4.5	Untersucher	40
3.4.6	Sonstige Materialien	40
3.5	Methodik	41
3.5.1	Untersuchungsablauf	41
3.5.2	Auswertung der Untersuchungsergebnisse	42
3.5.3	Statistische Auswertung	43
4	Ergebnisse	44
4.1	Probanden und Untersuchungsbedingungen	44
4.2	Riechtest	44
4.3	Schmecktest	49
5	Diskussion	54
5.1	Einfluss von hyperbarem Luftdruck	54
5.2	Einfluss von Störgeräuschen	56

5.3	Einfluss durch die veränderte Löslichkeit der Atemgase	58
5.4	Bewertung der Ergebnisse	59
5.4.1	Riechprüfung	59
5.4.2	Schmeckprüfung	60
5.5	Bewertung der Methodik	61
5.5.1	Alter der Probanden	61
5.5.2	Geschlecht der Probanden	61
5.5.3	Einfluss durch Medikamente	62
5.5.4	Druckkammer	62
5.5.5	Sniffin' Sticks	63
5.5.6	Taste Strips	64
5.6	Überlegungen zur Tauchtiefe und den gesundheitlichen Risiken	65
5.7	Biometrische Limitationen	67
5.8	Schlussfolgerung	68
6	Zusammenfassung	69
7	Literaturverzeichnis	70
8	Thesen	80
9	Anhang	VI
9.1	Probandeninformation	VI
9.2	Kontaktformular	X
9.3	Tauchmedizinischer Untersuchungsbogen nach GTÜM	XI
9.4	Dokumentationsbogen Schmeckprüfung mit Taste Strips	XVI
9.5	Dokumentationsbogen Schwellentest	XVII
9.6	Dokumentationsbogen Diskriminationstest	XVIII
9.7	Dokumentationsbogen Identifikationstest	XIX
9.8	Beispiel Dokumentation Schwellentest	XX
10	Erklärungen	XXI
11	Publikationshinweis	XXII

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
%	Prozent
§	Paragraph
&	und
€	Euro
±	Plusminuszeichen
α	Alpha
β	Beta
γ	Gamma
μl	Mikroliter
AC	Adenylatzyklase
ACE-2-Rezeptor	Angiotensin-I-converting-enzyme-2-receptor
AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse
ATA	Druckeinheit `technische Atmosphäre absolut`
ATP	Adenosintriphosphat
bzw.	beziehungsweise
C	Konzentration
Ca <sup>2+</sup>	Kalzium-Ion (zweifach positive Ladung)
cAMP	Zyklisches Adenosinmonophosphat
CD	Compact disk
cGMP	Zyklisches Guanosinmonophosphat
cm	Zentimeter
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
CNG-Kanäle	Zyklische Nukleotid-gesteuerte Ionenkanäle
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
DAG	Diacylglycerol
DAN	Divers Alert Network
dB	Dezibel
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DruckLV	Verordnung über Arbeiten in Druckluft
et al.	et alii (lateinisch), und andere (deutsch)
EKG	Elektrokardiogramm
e.V.	eingetragener Verein
GTÜM	Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin

H <sup>+</sup>	Wasserstoff-Ion/Proton (einfach positive Ladung)
HBO	Hyperbare Oxygenation
HG	Hyperbar Geräusch
hPa	Hektopascal
HS	Hyperbar Stille
IP <sub>3</sub>	Inositoltriphosphat
K	Löslichkeitskoeffizient
K <sup>+</sup>	Kalium-Ion (einfach positive Ladung)
l	Liter
log	Logarithmus
L <sub>p</sub>	Schalldruckpegel
m	Meter
mbar	Millibar
min	Minute
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
ml	Milliliter
MS4A	Transmembranprotein `membrane-spanning 4 A´
n	Fallzahl
N.	Nervus
Na <sup>+</sup>	Natrium-Ion (einfach positive Ladung)
NaCl	Natriumchlorid
NG	Normobar Geräusch
nm	Nanometer
Nr.	Nummer
NS	Normobar Stille
Nucl.	Nucleus
Nucll.	Nuclei
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OP	Operation
p	Signifikanzwert
P	Druck
p <sub>x</sub>	zu beschreibender Schalldruckpegel
p <sub>0</sub>	Bezugsschalldruckpegel
PDE	Phosphodiesterase
PIP <sub>2</sub>	Phosphatidylinositol-4,5-biphosphat
PLC	Phospholipase C

r	Effektgröße
SARS-CoV-2	Severe acute respiratory syndrome-coronavirus-2
SD	Standardabweichung
SGB	Sozialgesetzbuch
SI	Système international d'unités
SNOT-20	Sino-nasal outcome test-20
SPL	Sound pressure level
T	Temperatur
T1-Rezeptor	Taste receptor type 1
T2-Rezeptor	Taste receptor type 2
TAAR	Trace amine associate receptor
TMT-A	Trail-making-test-A
US	United States
USA	United states of America
V	Volumen
ZNS	Zentrales Nervensystem

## **1 Einleitung**

Zu den Sinneswahrnehmungen des Menschen gehören der Schmecksinn (gustatorische Wahrnehmung) und der Riechsinn (olfaktorische Wahrnehmung). Diese können als chemische Sinne zusammengefasst werden, welche Reize der äußeren Umwelt mittels Rezeptoren registrieren, auf verschiedenen Wegen umwandeln und an zentrale Verarbeitungsstellen weiterleiten. Diese spezifische Chemosensibilität kommt durch die Wechselwirkung von chemischen Substanzen mit Membranmolekülen zustande, welche ein Rezeptorpotential der Sinneszellen der Schmeckpapillen oder des Riechepithels auslösen (Pape et al., 2019a).

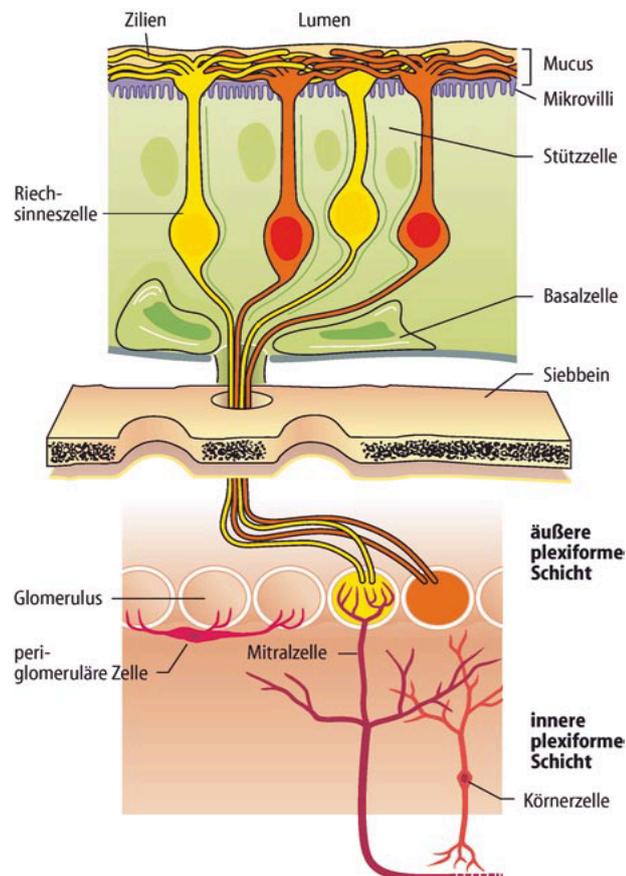
Die Komplexität dieser Sinne kann alltäglich erlebt werden. Manchmal wird sie bewusst erlebt, wenn ein Duft mit einem bestimmten Erlebnis der Vergangenheit verknüpft ist und bei erneuter Wahrnehmung in die Kindheit zurückversetzt. Düfte können mit Gefühlen assoziiert sein und zum Erleben dieser Sinnlichkeit beispielsweise beim Betreten einer Bäckerei oder Kaffeerösterei führen. Zudem ist der Riech- und Schmecksinn ein wesentlicher Bestandteil verschiedener Berufe wie dem des Sommeliers oder Kochs. Die beiden Sinne können geschult werden und dennoch sind sie von Individuum zu Individuum verschieden.

In der wissenschaftlichen Forschung wurde das Thema am 4. Oktober 2004 mit einer der höchsten Auszeichnungen, dem Nobelpreis, gewürdigt. Für ihre wissenschaftliche Forschung zur Entschlüsselung des Riechsinn verließ das Karolinska-Institut den amerikanischen Wissenschaftlern Linda Buck und Richard Axel den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin. In der Pressemitteilung schrieb das Komitee, dass die Diskrimination und das Erinnerungsvermögen von ungefähr 10.000 verschiedenen Düften lange nicht verstanden wurde. Als Nutzen für die Menschheit wird der Wert des Riechsinn für die Lebensqualität und seine Notwendigkeit für das Überleben der meisten Spezies erwähnt. Buck und Axel publizierten im Jahr 1991 die fundamentale Arbeit über die Entdeckung einer großen Gen-Familie mit ungefähr 1.000 Genen, welche drei Prozent des menschlichen Genoms darstellen und in ihrer Funktion für die Codierung der gleichen Anzahl von Riechrezeptoren stehen könnten (L. Buck & Axel, 1991).

In ihrer Arbeit untersuchten sie die genetischen Ursachen für die Diversität und Spezifität des Riechsinn. Sie konnten nachweisen, dass die Genfamilie mit ihren Subfamilien einen entscheidenden Einfluss auf die Sequenz- und Struktureigenschaften von Riechrezeptoren nehmen. Die Riechsinnzellen weisen deshalb eine signifikante Diversität der Expression von Rezeptoren auf. Doch gibt es noch weitere Einflüsse auf den Riech- und Schmecksinn? Um dies genauer zu untersuchen, sollten zuerst die anatomischen, physiologischen und biochemischen Grundlagen erörtert werden.

## 1.1 Der Riechsinn

Die Rezeptorzellen für die olfaktorische Wahrnehmung sind beim Menschen im Riechepithel der Regio olfactoria zu finden. Diese befindet sich im Bereich der oberen Concha, sowie der Nasenscheidewand und umfasst ungefähr eine Fläche von 2,5 cm<sup>2</sup> mit ungefähr 50 Millionen verschiedenen Sinneszellen (Sharma et al., 2018). Das menschliche Riechepithel besteht aus Basalzellen, Stützzellen und Sinneszellen. Dieses ähnelt zumindest in den Grundzügen der mikroskopischen Bauweise dem Epithel des Schmecksinnes. Die Stützzellen isolieren benachbarte Sinneszellen voneinander, produzieren zusammen mit den Bowman-Drüsen der Nasenschleimhaut den nasalen Schleim, sorgen für die Aufrechterhaltung des Ionengleichgewichtes und synthetisieren neuromodulatorische Substanzen (Lucero, 2013; Schwob, 2002). Die olfaktorischen Sinneszellen sind bipolare Neurone, welche einen apikalen Dendriten und ein basales Axon ausbilden. Die Rezeptoren befinden sich auf den 5–30 Zilien der Riechsinneszelle, welche in den Schleim hineinragen und dort ein Geflecht bilden. Die Zilien entspringen einer Verdickung des einzigen Stammdendriten und werden als Riechkegel bezeichnet (Pape et al., 2019a). Diese Sinneszellen sind eines der wenigen Beispiele für regenerationsfähige Neurone beim Menschen. Ihre mittlere Lebensspanne wird mit ungefähr 40 Tagen angegeben (Sharma et al., 2018).



**Abbildung 1:** Aufbau Riechepithel mit Verbindung zum Bulbus olfactorius (Schmidt et al., 2007a). »Reprinted/adapted by permission from Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer Nature, [Geschmack und Geruch by Hanns Matt](#), Copyright © 2007«

Die im nasalen Schleim gebundenen Duftstoffe lösen ein Rezeptorpotential über Bindung an G-Protein gekoppelte Proteine in der Zellmembran der Zilien der Sinneszellendriten aus. Diese Rezeptorfamilie ist unter anderem auch bei der Geschmacks- und Schmerzwahrnehmung zu finden (Dong et al., 2001). Das G-Protein ist aus drei Untereinheiten aufgebaut, der  $\alpha$ -Untereinheit (wird auch als  $G\alpha$ -olf aufgrund der Spezifität für Riechzellen bezeichnet), der  $\beta$ -Untereinheit und der  $\gamma$ -Untereinheit. Bei der  $\alpha$ -Untereinheit handelt es sich um die aktive Einheit, während die anderen beiden Untereinheiten die Aktivität von  $G\alpha$ -olf regulieren (Sharma et al., 2018). Die Bindung eines Duftstoffes an das G-Protein führt zu einer Aktivierung der Adenylatzyklase Typ III, welches zyklisches Adenosinmonophosphat (cAMP) synthetisiert (Breer et al., 1990). Dieses sorgt für eine Öffnung der nicht-selektiven, zyklischen Nukleotid-gesteuerten Ionenkanäle (CNG-Kanäle) und die in der Riechschleimhaut vorhandenen Kalzium- und Natriumionen können in das Zellinnere strömen (Bradley et al., 2005; Kato & Touhara, 2009). Der Einstrom von Kalziumionen sorgt wieder für die Öffnung von Chloridionen-Kanälen, worauf Chloridionen aus der Zelle strömen und eine Depolarisation erzeugen (Bradley et al., 2005). Erreicht die Depolarisation einen gewissen Schwellenwert, wird ein Aktionspotential ausgelöst. Ein außerordentlich niedriger Schwellenwert wird erreicht aufgrund der Produktion von 1.000 bis 2.000 cAMP-Molekülen bei der Aktivierung eines einzigen Rezeptorproteins durch einen Duftstoff und der Öffnung entsprechend vieler Ionenkanäle (Schmidt et al., 2007a). Zur Wiederherstellung der für die Signaltransduktion notwendigen Ionengradienten befinden sich in der Zellmembran Natrium-/Kalium-/2Chloridionen-Cotransporter und Chloridionen/Hydrogencarbonat-Austauscher, welche Chloridionen wieder ins Zellinnere transportieren, als auch Natrium-/Kalziumionen-Austauscher, die Kalziumionen aus dem Zellinnere hinaus transportieren (Manzini et al., 2014).

Es wurden weitere Transduktionsmechanismen abseits der zuvor Erläuterten vermutet (Rawson et al., 1997). Im Jahr 2001 wurden G-Protein gekoppelte Rezeptoren der Klasse der „*Trace amine-associate Receptors*“ (TAARs) entdeckt (Borowsky et al., 2001), welche ebenfalls als Riechrezeptoren funktionieren (Horowitz et al., 2014; Liberles & Buck, 2006). Es gibt auch nicht G-Protein gekoppelte Rezeptoren in den Membranen der Riechzellen. Zum Beispiel wurden in der Plasmamembran der Dendritenzilien Guanylylcyclasen mit extrazellulären Rezeptordomänen oder das Transmembranprotein „*Membrane-spanning 4A*“ (*MS4A*) mit chemosensitiver Funktion gefunden (Gibson & Garbers, 2000; Greer et al., 2016).

Glusman et al. konnten über 900 Gene und Pseudogene für die Riechrezeptoren nachweisen, welche sie zu einer der größten Genfamilien im Genom von Wirbeltieren macht (Glusman et al., 2000, 2001). Außerdem wurden über die Jahre verschiedene Muster zur genetischen Entschlüsselung verwendet (Olender et al., 2004). Bei Untersuchungen der Gencodierung für

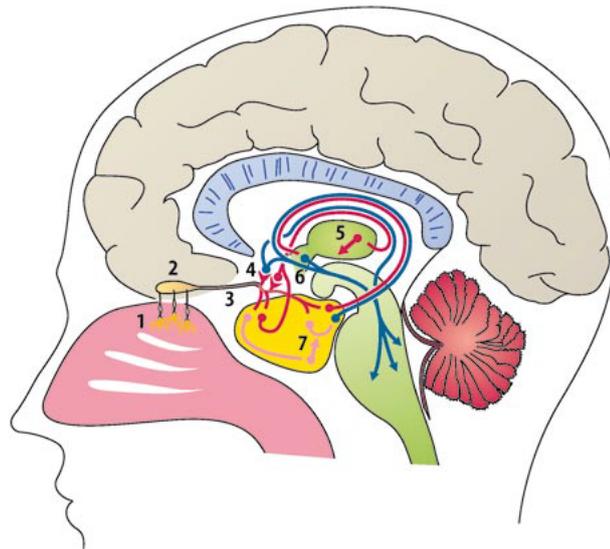
olfaktorische Sinneszellen wurde herausgefunden, dass 72% Pseudogene sind, also DNA-Abschnitte die nicht mehr als Vorlage für ein funktionelles Proteine dienen (Rouquier et al., 1998, 2000). Erklärt wird dies durch eine geringere Notwendigkeit zur Verwendung des Riechsinn im Zuge der Evolution.

Die Axone der primären Sinneszellen bündeln sich unterhalb der Lamina cribrosa zu den Fila olfactoria, durchziehen die Lamina cribrosa der Siebbeinplatte und bilden in den Glomeruli des bilateral angelegten Bulbus olfactorius (siehe Abbildung 2, Beschriftung 2) die synaptische Schaltstelle mit den Axonen der zentralen Rezeptorneuronen. Dabei sei zu erwähnen, dass der Bulbus olfactorius eine phylogenetische Ausstülpung des Vorderhirns darstellt und somit nur eine einzige synaptische Verschaltung zwischen Rezeptorzelle und Hirnrinde vorhanden ist (Schmidt et al., 2007a). Innerhalb des Bulbus olfactorius werden sieben, mikroskopisch zu unterscheidende Zellschichten beschrieben (Sharma et al., 2018). Auf eine detailliertere Schilderung wird im Folgenden verzichtet.

Die Untereinheit des Glomerulus stellt ein rundliches Nervenfaserknäuel dar, welches von den Endungen der Axonen der Rezeptorzellen und den Dendriten von Mitralzellen gebildet wird. Es kommt zur Konvergenz, indem mehr als 1.000 Axone der Sinneszellen auf die Dendriten einer einzelnen Mitralzelle projizieren (Schmidt et al., 2007a). Jeder Glomerulus erhält Afferenzen von Riechzellen mit demselben Rezeptortyp (Pape et al., 2019a). Da einzelne Duftstoffe in der Regel mehrere Glomeruli aktivieren und einzelne Glomeruli von mehreren Duftstoffen aktiviert werden, erfolgt die Erkennung eines Duftstoffes über ein komplexes Aktivitätsmuster (Manzini et al., 2014). Neben den Dendriten von Mitralzellen, bilden die Axone der Sinneszellen auch Synapsen mit Büschelzellen und periglomeruläre Zellen, welche inhibierend wirken. Ein weiterer wichtiger Zelltyp sind Körnerzellen, welche durch rekurrente Verschaltung Mitralzellen und auch benachbarte Glomeruli hemmen können (Pape et al., 2019a). Dies sorgt für eine Kontrastverstärkung, welche aufgrund der Reorganisationsfähigkeit der neuronalen Interaktionen Zeit lebens angepasst werden kann (Friedrich, 2006). Eine Kombination aus zeitlicher und räumlicher Kodierung ermöglicht es mehr Duftstoffe zu unterscheiden als es verschiedene Riechrezeptoren gibt (Mori & Sakano, 2011).

Im weiteren Verlauf bildet sich aus dem Bulbus olfactorius der Tractus olfactorius (siehe Abbildung 2, Beschriftung 3), welcher Axone der Mitral- und Büschelzellen enthält. Dieser gibt im Verlauf Kollateralen zum Nucleus olfactorius anterior ab, welcher den kontralateralen Tractus olfactorius hemmt und zieht zum primären olfaktorischen Kortex. Zu diesem auch als primäre Riechrinde bezeichneten Bereich zählt der Nucleus corticalis amygdalae der Amygdala, der rostrale entorhinale Kortex, das Tuberculum olfactorium und der präpiriforme Kortex (Gottfried, 2006; Price, 1973). Diese Hirnregionen zählen zum limbischen System (siehe Abbildung 3, Beschriftung 7), welches neben der Verarbeitung von olfaktorischen Reizen weitere Aufgaben wie zum Beispiel der Verarbeitung von Gefühlen erfüllt (Manzini et al., 2014). Die weitere

Verarbeitung findet im sekundären Riechkortex statt, dessen Aufgaben ebenfalls über die Riechverarbeitung hinausgehen (Arias-Carrián et al., 2010; Small et al., 2003). Zu diesem Bereich zählen der orbitale Anteil des präfrontalen Kortex, der agranuläre Teil der Inselrinde, verschiedene andere Kerne der Amygdala, der Hippocampus, der Thalamus (siehe Abbildung 2, Beschriftung 5) und Hypothalamus sowie die Basalganglien (Carmichael & Price, 1995; Gottfried, 2006). Die kortikalen Bereiche des Gehirns haben weitreichende und wichtige Verknüpfungen zu Hirnarealen, welche unter anderem für das Gedächtnis, die Sprache und neurovegetative Funktionen wichtig sind (Sarafoleanu et al., 2009).



**Abbildung 2:** Zentrale Verschaltung der olfaktorischen Sinneswahrnehmung (Schmidt et al., 2007a). »Reprinted/adapted by permission from Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer Nature, [Geschmack und Geruch by Hanns Matt](#), Copyright © 2007«

Ähnlich zum Schmecksinn ist die Wahrnehmungsschwelle für Duftstoffe unter der Erkennungsschwelle. Insgesamt ist die zur Identifikation benötigte Konzentration pro Kubikmeter Luft geringer als die für den Schmecksinn notwendige Konzentration gelöster Moleküle (Pape et al., 2019a).

Der Riechsinn besitzt die Fähigkeit zur Adaptation binnen Sekunden, welche zu einer reduzierten Wahrnehmung von Duftstoffen führt. Dies beruht zum Beispiel bei den Sinneszellen in der Peripherie darauf, dass die durch cAMP geöffneten unspezifischen CNG-Kanäle eine Bindungsstelle für Kalziumionen/Calmodulin-Komplexe haben und nach Bindung dieser die Sensitivität für cAMP abnimmt (Kurahashi & Menini, 1997). Ebenfalls aktiviert der Kalziumionen/Calmodulin-Komplex das Enzym Phosphodiesterase, welche cAMP zu 5'AMP abbaut. Diese Umwandlung findet trotz Anwesenheit des Duftstoffes statt und reduziert die Erregbarkeit der Sinneszelle (Barnea et al., 2004; L. B. Buck, 2004). Der Zustand der Adaptation

wird durch den Abbau der intrazellulären Kalziumionenkonzentration beendet (Antunes et al., 2014).

Zur Desensibilisierung zählt eine reduzierte Empfänglichkeit für einen olfaktorischen Reiz. Dies ist zum Beispiel durch eine Veränderung der Proteinstruktur der Riechrezeptoren und der intrazellulären Kinasen möglich (Benovic et al., 1987; Boekhoff et al., 1994; Mashukova et al., 2006; Peppel et al., 1997).

Im Vergleich zur hohen Anzahl an erkennbaren Düften fällt ein ausgeprägter Mangel an verbalen Duftklassen auf (Bushdid et al., 2014). Über die Jahre wurde versucht verschiedene Duftklassen zu klassifizieren, welche sich weder mit biochemischen, physiologischen oder psychologisch-physiologischen Methoden bestätigen lassen (Schmidt et al., 2007a).

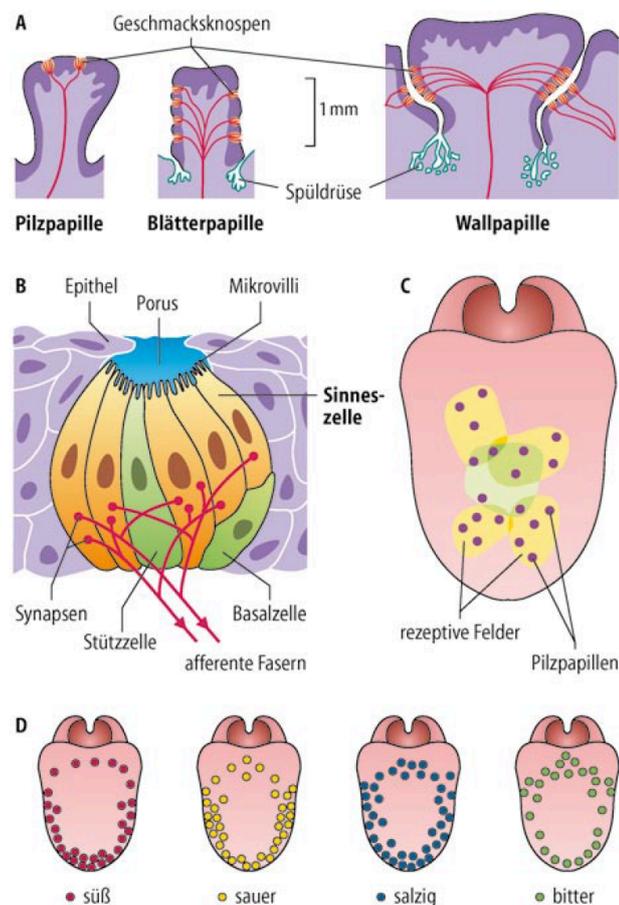
**Tabelle 1:** Klassifikation der Primärgerüche in Qualitätsklassen (Schmidt et al., 2007a).

Duftklasse	Repräsentative Verbindungen	Assoziierter Geruch	Weitere Verbindungen
blumig	Geraniol	Rosen	d-1-β-Phenyläthylmethylcarbinol
ätherisch	Benzylacetat	Birnen	1,2-Dichloräthan
moschusartig	Moschus	Moschus	1,5-Hydroxy-pantadecansäurelacton
kampherartig	Cineol, Kampher	Eukalyptus	1,8-Cineol
faulig	Schwefel-Wasserstoff	faule Eier	Dimethylsulfid
schweißig	Buttersäure	Schweiß	Isovaleriansäure
stechend	Ameisensäure, Essigsäure	Essig	Ameisensäure

## 1.2 Der Schmecksinn

Die Rezeptorzellen für die gustatorische Wahrnehmung befinden sich beim Erwachsenen hauptsächlich im Epithel der Zunge und des Gaumens (Chandrashekar et al., 2006). Es wurden auch Rezeptorzellen im Dünndarm (Young et al., 2009), im Magen (Hass et al., 2010) oder in den oberen Atemwegen (Shah et al., 2009; Tizzano et al., 2011) nachgewiesen. Der Schmecksinn wird in fünf Qualitäten unterteilt: süß, sauer, salzig, bitter und umami (japanisch für *wohlschmeckend*). Die Zunge weist regionale Unterschiede in der Verteilung der Qualitäten auf, wobei alle Geschmacksqualitäten grundsätzlich in allen Zungenbereichen wahrgenommen werden können (siehe Abbildung 3 D). Die funktionelle Einheit stellt die Geschmacksknospe (Caliculi gustatorii) dar, welche über 10–50 Sinneszellen sowie zusätzliche Basal- und Stützzellen verfügt (Pape et al., 2019a). Die Sinneszellen sind modifizierte Epithelzellen, welche am apikalen Ende mit Mikrovilli ausgestattet sind. In der Membran der Mikrovilli befinden sich die Schmeckrezeptoren. Im Verbund der Geschmacksknospe bilden diese eine Öffnung, in welche die Schmeckstoffe gelangen müssen um einen Reiz auszulösen (siehe Abbildung 3 B). Die makroskopisch übergeordnete Einheit, in dessen Wänden und Gräben sich die Geschmacksknospen befinden, ist die Papille (siehe Abbildung 3 A). Es gibt ungefähr 7–12

Wallpapillen (Papillae vallatae) an der Grenze zum Zungengrund, 15–20 Blätterpapillen (Papillae foliatae) am hinteren Zungenrand, 200–400 Pilzpapillen (Papillae fungiformes) am Zungenrand und an der Zungenspitze (Jung et al., 2004). Die Anzahl der Geschmacksknospen variiert zwischen den Papillen (Pape et al., 2019a). Die Anzahl und das Muster der Schmeckpapillen variiert zusätzlich innerhalb der menschlichen Individuen und Säugetieren (Barlow, 2015; Petersen et al., 2011).



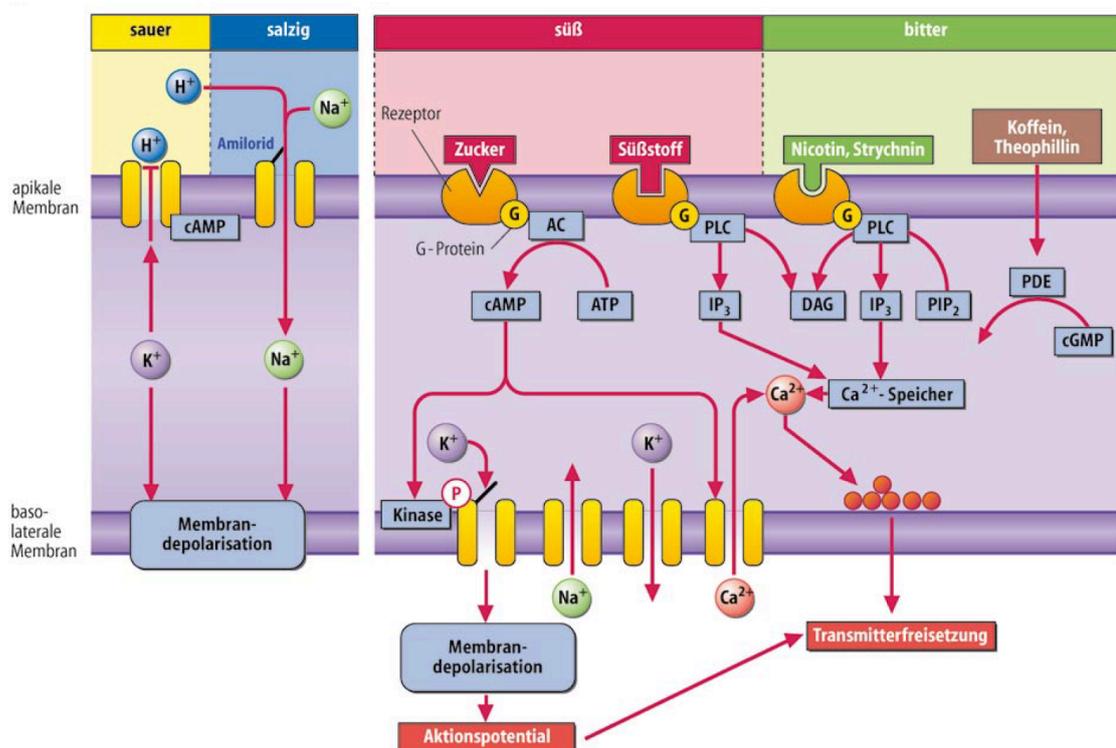
**Abbildung 3:** Aufbau und Lokalisation der Geschmacksknospen (Schmidt et al., 2007a). »Reprinted/adapted by permission from Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer Nature, [Geschmack und Geruch](#) by Hanns Matt, Copyright © 2007«

Die Rezeptorzellen sind sekundäre Sinneszellen, welche über kein Axon verfügen. Sie werden durch afferente Fasern der Hirnnerven versorgt. Die Papillae vallatae und Papillae foliatae werden überwiegend durch den Nervus glossopharyngeus (IX. Hirnnerv) und die Papillae fungiformes durch den Nervus facialis (VII. Hirnnerv) innerviert. An einer Geschmacksknospe enden bis zu 50 Fasern. Die verteilten Geschmacksknospen im Gaumen- und Rachenbereich werden durch Fasern des Nervus vagus (X. Hirnnerv) und Nervus trigeminus (V. Hirnnerv) versorgt (Schmidt et al., 2007a).

Das erste Neuron der weiteren Reizverarbeitung befindet sich als bipolare Nervenzelle mit ihrem Soma im zugehörigen Ganglion des Hirnnerven. Am Beispiel des Versorgungsgebietes des

Nervus facialis ziehen die Fasern aus den vorderen zwei Drittel der Zunge über den Nervus intermedius und der Chorda tympani in das Ganglion geniculi. Alle Geschmacksnervenfasern enden im Nucleus tractus solitarii der Medulla oblongata, wo die Umschaltung auf das zweite Neuron erfolgt. Es kommt zur Konvergenz, da die Anzahl an zweiten Neuronen der zentralen Geschmacksbahn sehr viel kleiner ist als die der Sinneszellen. Ein Teil der Fasern der Axone des zweiten Neurons vereinigen sich mit dem Lemniscus medialis und enden mit anderen Sinnesmodalitäten (Schmerz, Temperatur, Berührung) in den spezifischen Relais-Kernen des ventralen Thalamus. Hier findet die Umschaltung auf das dritte Neuron statt, welches zum Gyrus postcentralis projiziert. Der andere Teil der Faser umgeht den Thalamus und projiziert zum Hypothalamus, zur Amygdala und der Striata terminalis. Dort befinden sich gemeinsame Projektionsgebiete mit olfaktorischen Afferenzen (Schmidt et al., 2007a).

Es existieren für jede der fünf Geschmacksqualitäten eigene Signaltransduktionsmechanismen. Dabei kann eine einzelne Schmeckzelle an ihrer Membran mehrere dieser Transduktionsmöglichkeiten aufweisen (Schmidt et al., 2007a).



**Abbildung 4:** Die Signaltransduktionsmechanismen der Geschmacksqualitäten (Schmidt et al., 2007a). »Reprinted/adapted by permission from Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer Nature, [Geschmack und Geruch by Hanns Matt](#), Copyright © 2007«

Bei süßen Schmeckstoffen findet die Transmitterfreisetzung über T1-Rezeptoren statt, welche zur Gruppe der G-Protein gekoppelte Rezeptoren gehören. Es sind drei Isoformen T1R1, T1R2 und T1R3 bekannt, wobei für die Wahrnehmung von süßen Schmeckstoffen nur die Isoformen T1R2+3 relevant sind. Die Geschmacksqualität Umami wird ebenfalls durch G-Protein

gekoppelte Rezeptoren der T1-Rezeptoren ausgelöst. Im Unterschied zu süßen Schmeckstoffen sind hier die Isoformen T1R1+3 von Bedeutung. Neben Sacchariden, Zuckeraustauschstoffen und Süßstoffen sind beim Menschen zwei Aminosäuren (Glutamat und Aspartat) bekannt, welche zu einem Rezeptorpotential führen können (Chandrashekar et al., 2006).

Die Aktivierung des G-Proteins gekoppelten Rezeptors bewirkt entweder einen Einstrom von Kalziumionen oder eine Blockade der Kalium-Ionen-Kanäle, welches eine Membrandepolarisation auslöst und schlussendlich zur Transmitterfreisetzung führt (Pape et al., 2019a; Schmidt et al., 2007a). Für die Depolarisation bei sauren Schmeckstoffen wird eine direkte Blockierung der Kalium-Ionen-Kanäle an der apikalen Zellmembran vermutet. Es wurde eine große Anzahl von Zelltypen, Rezeptoren und Mechanismen gefunden (Chandrashekar et al., 2006). Im Tierexperiment konnte nachgewiesen werden, dass das Fehlen des Rezeptorproteins PKD2L1 zum kompletten Verlust der sauren Geschmackswahrnehmung führt (Huang et al., 2006). Ihm wird daher eine besondere Rolle zugesprochen.

Bei salzigen Schmeckstoffen wird ein Einstrom von Natriumionen aufgrund einer erhöhten extrazellulären Natrium-Ionen-Konzentration angenommen, in dessen Folge es zu einer Zelldepolarisation kommt (Pape et al., 2019a; Schmidt et al., 2007a). Die Identifikation eines speziellen „salzigen“ Rezeptors gilt allerdings als spekulativ und wird kontrovers diskutiert (Heck et al., 1984; Lyall et al., 2004). Die Wahrnehmung von bitteren Schmeckstoffen wird von einer Gruppe von über 30 sehr unterschiedlichen G-Protein gekoppelte Rezeptoren (T2Rs) vermittelt (Adler et al., 2000; Matsunami et al., 2000). Die große Variation lässt sich mit dem Schutz vor bitteren Gefahrenstoffen erklären (Dulac, 2000). Diese Rezeptoren sorgen für eine verstärkende Signalkaskade, an deren Ende sich eine Erhöhung der intrazellulären Kalziumionenkonzentration befindet, welche wiederum die Transmitterfreisetzung bewirkt (Schmidt et al., 2007a).

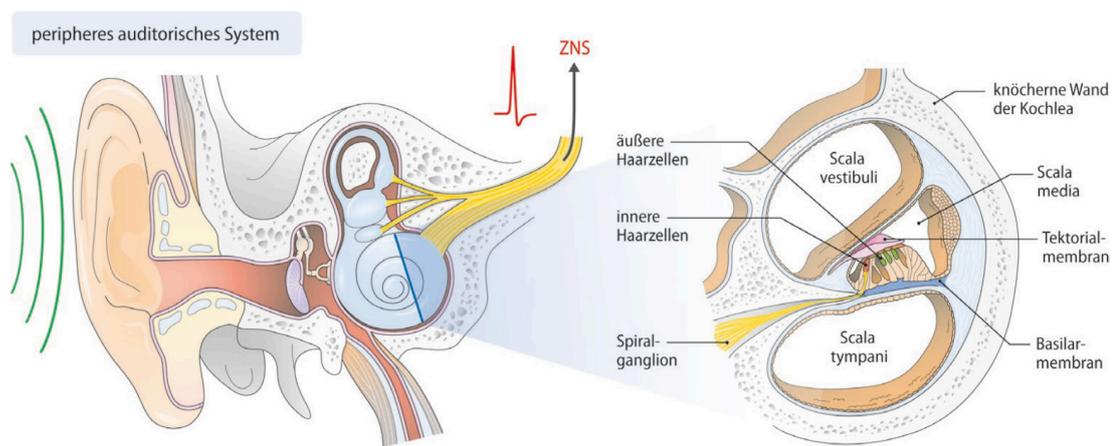
Die Zellen der Geschmacksknospen werden auch im Erwachsenenalter stetig erneuert. Die durchschnittliche Lebensdauer der Schmeckzellen beträgt 10–14 Tage bei Nagern (Beidler & Smallman, 1965; Farbman, 1980). Dabei sind die Lebensspannen heterogen, von zwei Tagen bis zu drei Wochen (Hamamichi et al., 2006). Die Dauer der Differenzierung der neuen Zellen aus den Basalzellen beträgt zwei bis drei Tage (Nguyen et al., 2012; Perea-Martinez et al., 2013). Wenn die Lebensdauer der Geschmackszellen homogen wäre, würden schätzungsweise 10% der Zellen täglich verloren gehen, ungefähr 20–30% der Zellen die Differenzierung durchlaufen und 60–70% der Zellen wären Sinneszellen in Funktion (Barlow, 2015).

### **1.3 Der Hörsinn**

Der Hörsinn umfasst die Wahrnehmung und Verarbeitung von Schallwellen und kann in ein peripheres auditorisches System und eine zentrale auditorische Verarbeitung unterteilt werden. Die Schallaufnahme erfolgt über das periphere auditorische System. Es besteht aus dem äußeren Ohr, dem Mittelohr und dem Hörsinnesorgan im Innenohr (Schmidt et al., 2007b).

Die Ohrmuschel nimmt den Schall wie ein Trichter auf und leitet ihn über den Gehörgang an das Trommelfell weiter. Dabei bildet Trommelfell die Grenze zum Mittelohr (Pape et al., 2019b). Die Lokalisation von Schallquellen wird durch die Reflexionen der Schallwellen an der Ohrmuschel verbessert (Rønne et al., 2016).

Durch den eintreffenden Schall wird das Trommelfell in Bewegung versetzt. Über die bewegliche Gehörknöchelchenkette, bestehend aus Malleus (Hammer), Incus (Amboss) und Stapes (Steigbügel), wird die Energie des Schalls an das Innenohr weitergeleitet. Das Flächenverhältnis von Trommelfell und Steigbügelfußplatte am ovalen Fenster zum Innenohr beträgt 14:1. Zusammen mit der Hebelwirkung der Gehörknöchelchen wird der Schalldruck um mindestens das 18fache verstärkt. Gleichzeitig findet eine Impedanzenanpassung statt, um den hohen Schalldruckwiderstand des Innenohres zu überwinden. Ohne das Mittelohr würden 98 Prozent der Schallenergie das Innenohr nicht erreichen (Pape et al., 2019b; Schmidt et al., 2007b).

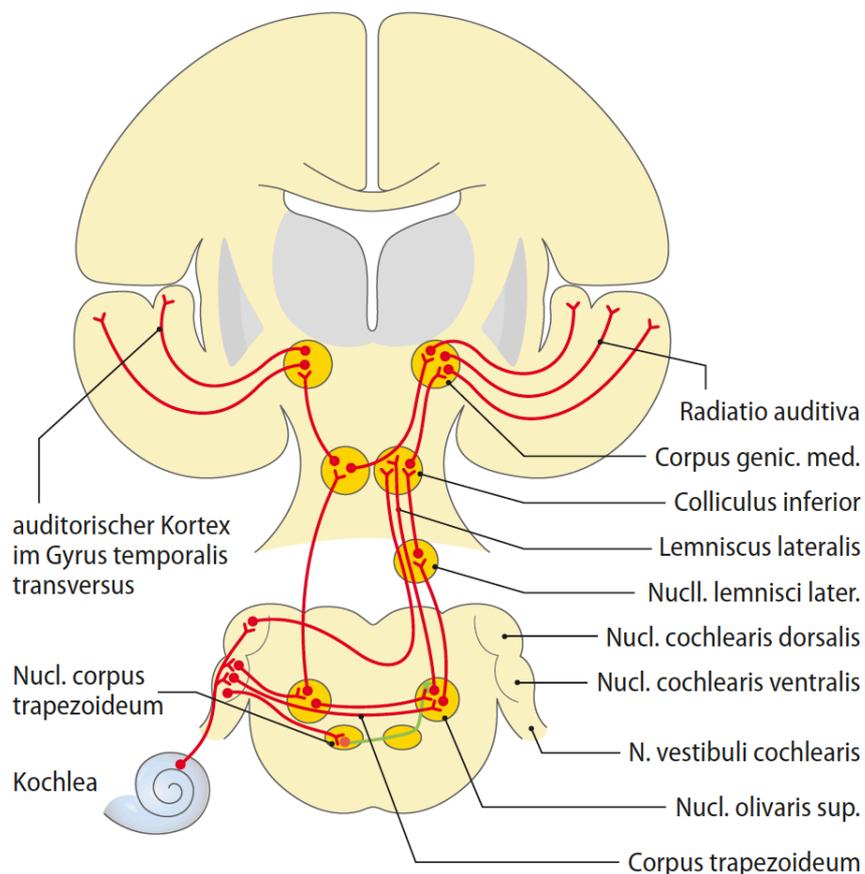


**Abbildung 5:** Aufbau des peripheren auditorischen Systems (Schmidt et al., 2007b). »Reprinted/adapted by permission from Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer Nature, [Die Kommunikation des Menschen: Hören und Sprechen by Hans-Peter Zenner](#), Copyright © 2007«

Das Hörsinnesorgan im Innenohr ist die Cochlea, auch Hörschnecke genannt. Sie ist aus mehreren schlauchförmigen Kammern aufgebaut, welche die Form eines Schneckenhauses mit zweieinhalb Windungen bilden und mit Peri- beziehungsweise Endolymphe gefüllt sind. Die Scala vestibuli und die Scala tympani bilden zwei dieser Kammern, welche sich an der Spitze der Cochlea (Helicotrema) verbinden. Die Scala vestibuli ist über das ovale Fenster mit der Steigbügelfußplatte des Mittelohres verbunden, die Scala tympani endet am runden Fenster des Mittelohres. Zwischen beiden befindet sich die Scala media. Die Scala media und die Scala tympani begrenzen wiederum das Corti-Organ. Dort befinden sich die Sinneszellen der auditiven Wahrnehmung, welche als Haarzellen bezeichnet werden. Zusätzlich sind dort gliartige Stützzellen, afferente und efferente Nervenzellen sowie ihre synaptischen Kontakte mit den Haarzellen zu finden. Die Grenzmembran des Corti-Organes zur Scala tympani wird als Basilarmembran bezeichnet.

Kommt es zu einer Schwingung des Trommelfells durch beispielsweise ein Geräusch, wird dies über die Gehörknöchelchen an die Perilymphe der Scala vestibuli weitergegeben. Es entsteht eine Wanderwelle, deren Amplitudenmaximum abhängig von der Frequenz des Reizes an einem bestimmten Ort der Basilarmembran entsteht (Pape et al., 2019b; Schmidt et al., 2007b). Es folgt der Transduktionsmechanismus, welcher den mechanischen Schallreiz in eine zelluläres Rezeptorpotential umwandelt.

Die Transmitterfreisetzung löst eine neuronale Erregung aus, welche über Hörnerv, Nucleus cochlearis, obere Olive, Nucleus lemniscus lateralis, Colliculus inferior und Corpus geniculatum mediale zum vorwiegend kontralateralen auditorischen Kortex weitergeleitet wird. Dies wird als afferente Hörbahn bezeichnet. Die afferenten Informationen werden über fünf bis sechs meist glutaminerge Synapsen der Neuronen weitergeleitet, welche auch inhibitorische Verbindungen unterhalten. Nach dem primären auditorischen Kortex folgen die sekundären auditorischen Areale und die Assoziationskortexes (Pape et al., 2019b; Schmidt et al., 2007c).



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der afferenten Hörbahn des rechten Ohrs (Schmidt et al., 2007c). »Reprinted/adapted by permission from Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer Nature, [Die Kommunikation des Menschen: Hören und Sprechen by Hans-Peter Zenner](#), Copyright © 2007«

Regelmäßige Schwingungen werden als Ton empfunden. Der für Menschen hörbare Frequenzbereich liegt ungefähr zwischen 20 und 20.000 Hertz und wird als Tonhöhe

wahrgenommen (Lüders & Pohl, 2017b). Die Lautstärke ist mit der Amplitude der Druckschwankungen korreliert, welche als Schalldruck bezeichnet wird. Nach dem Weber-Fechner-Gesetz steht ein linearer Zuwachs der subjektiven Lautheitswahrnehmung des Schalldrucks, einem logarithmischen Zuwachs der objektiv messbaren Intensität des Reizes gegenüber. Deshalb wird häufig das logarithmische Maß verwendet, der Schalldruckpegel (im Englischen *sound pressure level*, kurz *SPL*). Er wird in Dezibel (kurz *dB SPL*) angegeben (Schmidt et al., 2007b).

**Formel 1:** Die Definition des Schalldruckpegels.

$$\text{Schalldruckpegel } L_p = 20 \log_{10} \frac{\text{zu beschreibender Schalldruckpegel } p_x}{\text{Bezugsschalldruck } p_0} \text{ dB}$$

### **Rauschsignale**

Als Klang werden regelmäßige, periodische Schwingungen eines Schallereignisses bezeichnet. Das Geräusch beschreibt unregelmäßige, nicht periodisch verlaufende Schwingungsvorgänge. Bei solchen Schwingungsvorgängen wird häufig auf den zeitlichen Schwingungsverlauf verzichtet und es erfolgt nur die Darstellung des Spektrums (Lüders & Pohl, 2017a).

Als Rauschen werden statistisch auftretende Störsignale definiert, welche als eine Überlagerung von mehreren harmonischen Schwingungen unterschiedlicher Amplitude und Frequenz verstanden werden können (Bernstein, 2019a). Bei nicht periodischen Signalen wie Rauschen wird der Begriff der spektralen Leistungsdichte anstelle des Spektrums verwendet.

Abhängig vom Frequenzspektrum des Rauschens werden diese beschreibenden Farben zugeordnet. Als rosa Rauschen wird ein Rauschen bezeichnet, dessen Amplitude mit steigender Frequenz abnimmt. Die Rauschleistungsdichte wird um den Faktor zwei je Frequenzverdopplung reduziert. Dagegen ist das braune Rauschen ein Rauschen, dessen Leistungsdichte umgekehrt proportional zum Quadrat der Frequenz verhält. Eine Frequenzverdopplung führt somit zu einer Reduktion der Rauschleistungsdichte um den Faktor vier.

Eine weitere Form ist das weiße Rauschen, welches im Amplitudenspektrum alle Frequenzen mit der gleichen Amplitude enthält (Bernstein, 2019b). Es hat somit ein konstantes Leistungsdichtespektrum. Weißes Rauschen erzeugt in der Perzeption eine ruhige Umgebung mit geringer auditiver Stimulation und wird emotional als angenehm bzw. entspannend bewertet (Lin et al., 2018). Es kann auch verwendet werden um Umgebungsgeräusche suffizient zu maskieren (Kawase et al., 2012). Aufgrund seiner Bedeutung in der Psychoakustik ist es von besonderem Interesse und wird häufig verwendet um Störungen in einem sonst idealen Modell abzubilden.

Das weiße Rauschen kann als Therapiemittel bei verschiedenen Erkrankungen angewendet werden. Die therapeutischen Ansätze bei der Verwendung von weißem Rauschen liegen zum

Beispiel in der Verbesserung des Schlafverhaltens und kognitiver Prozesse. Spencer et al. fanden in ihrer Studie heraus, dass 80 Prozent der untersuchten Säuglinge durch weißes Rauschen innerhalb von fünf Minuten nach Exposition einschliefen im Vergleich zu 25 Prozent in der Kontrollgruppe (Spencer et al., 1990). Andere Untersuchungen zu Kindern mit Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung konnten eine Verbesserung der Aufmerksamkeit feststellen (Pickens et al., 2019). Auch konnte bei Erwachsenen ein verbesserter Lerneffekt von neuen Wörtern unter weißer Rauschen nachgewiesen werden (Angwin et al., 2017, 2019).

#### **1.4 Hyperbare Atmosphäre und ihre Auswirkung auf den menschlichen Organismus**

Hyperbare Atmosphäre kann sich auf den menschlichen Organismus pathophysiologisch auswirken, indem die Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigt wird (Doolette & Mitchell, 2010). Was macht den hyperbaren Druck besonders und wo begegnet der Mensch diesem? Unter hyperbarer Atmosphäre versteht man den Druck, welcher den normalen Atmosphärendruck übersteigt. Die Einheit für den Druck nach dem Internationalen Einheitssystem SI ist Pascal. Ein Pascal entspricht dem Druck, welcher von der Kraft eines Newtons auf eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  ausgeübt wird. Eine weitere und ebenfalls dem internationalen Einheitssystem SI konforme Einheit für den Druck ist das Bar. Dabei entspricht der atmosphärische Luftdruck auf Höhe des Meeresspiegels annähernd 1 bar. Der Druck einer Wassersäule von 10 Meter entspricht ebenfalls 1 bar und verdeutlicht den unterschiedlichen Einfluss zwischen Wasser und Luft auf den Umgebungsdruck. Als Faustregel lässt sich festhalten, dass je 10 Meter Wassertiefe der Druck um 1 bar steigt. Ein bar entspricht 100.000 Pascal.

Praktische Relevanz erhält die Thematik bei beruflichen Tätigkeiten im Überdruck. Die deutsche Gesetzgebung würdigt den Überdruck mit einer eigenen Verordnung. Laut §2 (2) der Verordnung über Arbeiten in Druckluft (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017) ist Druckluft als Luft mit einem Überdruck von 0,1 bar definiert. Dies lässt die mögliche Gefahr von Arbeiten unter hyperbaren Bedingungen erkennen, wenn äquivalent ab einer Wassersäule von einem Dezimeter strickte Vorschriften zur Anwendung kommen. Ab Druckluftwerten von 3,6 bar dürfen Arbeitnehmer nach §9 (1) DruckLV nicht mehr beschäftigt werden. Somit sind die grundlegenden rechtlichen Grenzen für Druckluftarbeiten vom Gesetzgeber festgelegt. Doch welche Personen setzen sich beruflich einer solchen potentiell gesundheitsschädlichen Umgebung aus?

Einige Beispiele für die praktische Anwendung von Überdruck finden sich im Bereich des Reinraumes in Biowissenschaften, Pharmakologie oder Lasertechnologien, im Tunnelbau um das Eindringen von Wasser zu verhindern, im Brückenbau bei der Verwendung von Senkkästen (auch Caissons genannt) um Wasser zu verdrängen und trockenes Arbeiten zu gewährleisten, dem Sättigungstauchen oder in der Medizin bei der Verwendung von therapeutischen Druckkammern.

Drei der genannten beruflichen Überdruckexpositionen sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

In der Reinraumtechnik werden erhöhte Luftdrücke verwendet, um eine reine und kontrollierte Umgebung zu erzeugen. Der erhöhte Druckgradient im Vergleich zu den umliegenden Räumen verhindert eine Kontamination von außen (Jackson & Wilson, 2006). Dies ist bei der Erzeugung von Medikamenten, wie Infusionen von Bedeutung.

Meist werden relativ geringe Umgebungsdrücke verwendet. Nach den europäischen GMP-Richtlinien (Good Manufacturing Practice) muss zwischen verschiedenen Reinheitsklassen ein Druckunterschied von 10–15 Pascal gewährleistet werden (Ernst et al., 2012). Daraus resultieren große Schwankungen je nach Konstruktion. So werden Barriersysteme wie Isolatoren mit einem Überdruck von 20 Pascal (Allwood et al., 2002), wenn sie komplett geschlossen sind, sogar mit einem Überdruck von 35 Pascal (Crauste-Manciet et al., 2005) betrieben.

Es werden in der Reinraumtechnik auch potentielle Gefahrenstoffe verwendet. Trotz speziellen Belüftungssystemen oder Isolatoren besteht eine potentielle Gefahr für die Gesundheit des Personals (Graham, 2019). Deshalb sollte der Riechsinn intakt sein, um Gefährdungen rechtzeitig zu bemerken und abwenden zu können.

Ein weiteres Beispiel mit einer bedeutend höheren Überdruckbelastung stellt das Sättigungstauchen dar. Hierbei handelt es sich um einen speziellen Tauchvorgang, welcher sich zum Nutzen macht, dass der Inertgasanteil (z.B. Stickstoff) des verwendeten Atemgasgemisches im menschlichen Gewebe gelöst wird um anschließend im erhöhten Überdruck zu verbleiben (Brubakk et al., 2014). Ist eine 100-prozentige Sättigung erreicht, bleibt die Dekompressionszeit konstant. Durch die Verwendung von Druckkammern zur Dekompression und Gasgemischen aus Helium, Stickstoff und Sauerstoff kann somit die Aufenthaltszeit in großen Tauchtiefen verlängert werden. Die Anwendung ist zum Beispiel bei Berufstauchern in der Offshore-Ölindustrie zu finden (Doolette & Mitchell, 2010). Mehrtägige Aufenthalte in hyperbarer Umgebung sind beim Sättigungstauchen die Regel und können zu verschiedenen Veränderungen im menschlichen Organismus führen. So wird über eine Veränderung des visuellen und gustatorischen Sinnes, sowie eine verstärkte physiologische und psychologische Belastung berichtet (O'Reilly et al., 1977).

Die hyperbare Oxygenierung in einer Druckkammer, abgekürzt HBO, stellt ein therapeutisches Beispiel für die Überdruckexposition in der Medizin dar. Die 'Undersea and Hyperbaric Medical Society' definiert die hyperbare Oxygenierung als eine Therapie bei der Patienten fast 100-prozentigen Sauerstoff innerhalb einer Druckkammer mit einem Umgebungsdruck höher als auf Meeresniveau atmen (Moon, 2019). Die hyperbare Oxygenierung ist ein wesentlicher Bestandteil der medizinischen Fachbereiche hyperbare Medizin und Tauchmedizin.

Alle genannten Beispiele verbinden, dass der Überdruck physiologische Veränderungen im menschlichen Körper hervorruft. Um diese zu verstehen, ist die Kenntnis von drei physikalischen Gesetzen erforderlich.

Das Gesetz von Boyle-Mariotte beschreibt, dass bei idealen Gasen bei konstanter Temperatur das Volumen des Gases indirekt proportional zu dessen Druck ist. Eine Verdoppelung des auf die Gasmenge wirkenden Druckes führt somit zu einer Halbierung des Volumens, eine Verdreifachung des Druckes zu einer Volumenreduktion auf ein Drittel (Maurer, 2016).

**Formel 2:** Das Gesetz von Boyle-Mariotte.

$$\frac{P (\text{Druck}) \times V (\text{Volumen})}{T (\text{Temperatur})} = \text{konstant}$$

Diese Gegebenheit bedingt einige zu beachtenden Faktoren der HBO. Unter anderem führt die Kompression zu einer Temperaturerhöhung in einer Druckkammer in Abhängigkeit vom erreichten Umgebungsdruck. Zusätzlich könnten gesundheitliche Komplikationen durch Barotraumata luftgefüllter Körperhöhlen entstehen. Zu diesen Räumen gehört das Mittelohr (Blutung, Trommelfellrupturen), das Innenohr (Rundfensterrupturen), die Nasennebenhöhlen aber auch die Lunge. Deren Druckausgleichsvermögen kann durch einen Verschluss der jeweiligen Öffnungen, z.B. bei einer Dysfunktion der Eustachischen Tube, bei geschwollenen Nasenschleimhäuten oder einem Laryngospasmus, beeinträchtigt werden (Gill & Bell, 2004).

Nach dem Partialdruckprinzip von Dalton ist der Gesamtdruck eines Gasgemisches gleich der Summe der einzelnen Partialdrücke (Gill & Bell, 2004; Maurer, 2016). Dabei gilt es zu erwähnen, dass der Sauerstoffanteil der Atemluft 21 Prozent und sein Partialdruck auf Höhe des Meeresspiegels 160 mmHg beträgt (Jain, 2017).

**Formel 3:** Das Partialdruckprinzip von Dalton.

$$P (\text{Druck})_{\text{gesamt}} = P_{\text{Gas 1}} + P_{\text{Gas 2}} + P_{\text{Gas 3}} \dots$$

Unter den atmosphärischen Druckbedingungen (Gesamtdruck von 1 bar) ergibt dies einen Sauerstoffpartialdruck von 0,21 bar und einen Stickstoffpartialdruck von 0,78 bar. Steigt der Umgebungsdruck in zum Beispiel 20 m Wassertiefe auf 3 bar, folgt daraus ein konsekutiver Partialdruckanstieg des Sauerstoffs auf 0,63 bar und des Stickstoffs auf 2,34 bar. Für den menschlichen Organismus können dadurch Gase, die unter atmosphärischen Bedingungen als

unbedenklich gelten, in bestimmten Tauchtiefen zu Intoxikationen führen. In diesem Zusammenhang seien die Möglichkeiten einer Sauerstofftoxizität und Stickstoffnarkose erwähnt.

Das dritte grundlegende Gesetz ist das Löslichkeitsprinzip von Gasen in Flüssigkeiten nach Henry. Die Konzentration eines in einer Flüssigkeit gelösten Gases ist bei konstanter Temperatur proportional zum Partialdruck des Gases über der Flüssigkeit (Maurer, 2016).

**Formel 4:** Das Henry-Gesetz.

$$C \text{ (Konzentration)}_{\text{Gas/Flüssigkeit}} = K \text{ (Lösungskoeffizient)} \times P \text{ (Druck)}_{\text{Gas}}$$

Die gelöste Gasmenge steht in Abhängigkeit zur Dauer der Druckexposition. Wird der wirksame Partialdruck durch eine Dekompression wieder verringert, dann geht das gelöste Gas in seine ursprüngliche Form über. Erfolgt die Druckentlastung zu schnell, überschreitet dies das Löslichkeitsprodukt, es kommt zu einem massiven Ausperlen von Gasblasen, ähnlich einer überschäumenden Sektflasche. Diese Blasen können im Gewebe oder in der Blutbahn verschiedene Symptome der Taucherkrankheit auslösen.

Einen medizinischen Nutzen zieht man aus der Tatsache, dass Sauerstoff im Blut nicht nur chemisch an Hämoglobin gebunden, sondern auch physikalisch im Plasma gelöst werden kann. Dies ermöglicht bei ungefähr drei bar Überdruck und der Gabe von 100-prozentigen Sauerstoff eine Oxygenierung des Gewebes ohne Hilfe von Hämoglobin (Gill & Bell, 2004).

Die therapeutischen Effekte einer solchen HBO sind vielseitig und werden zum Beispiel für die Behandlung von Wundheilungsstörungen eingesetzt. So kann die bei der Wundheilung eintretende Hypoxie des Gewebes verringert und die Wundheilung gefördert werden, da die Kapillaren durch Blutplasma besser erreicht werden, als durch Hämoglobinkörperchen (Adkinson, 2011). Bei einer akuten Kohlenstoffmonoxidvergiftung kommt es unter anderem durch die erhöhte Bindungsaffinität von Kohlenstoffmonoxid zum Hämoglobin im Vergleich zum Sauerstoff zu einer Linksverschiebung der Sauerstoff-Bindungskurve des Blutes, welches sich klinisch als generalisierte Gewebshypoxie darstellt (Lampl et al., 2009). Hier ist der erste therapeutische Schritt die 100-prozentige Sauerstoffgabe und eine zeitnahe hyperbare Oxygenierung, um die Sauerstoffversorgung des Gewebes zu gewährleisten, Kohlenstoffmonoxid zu verdrängen und einem zentralen Hirnödem vorzubeugen (Kuo et al., 2018).

Als letztes therapeutisches Beispiel sei die Dekompressionskrankheit genannt, welche unter anderem bei Tauchunfällen auftreten kann. Wie im Gesetz von Henry beschrieben, ist die Löslichkeit von Gasen im Körper vom Umgebungsdruck abhängig. Beim zu schnellen Auftauchen sorgt die abrupte Druckänderung für eine Freisetzung von gelösten Gasen, welche

intravasal für eine Unterbrechung der Durchblutung sorgen können. Die HBO-Behandlung ermöglicht eine Rekompensation und einen kontrollierbaren Zustand, womit der Patient stufenweise therapiert werden kann (Muth et al., 2000). Der verwendete therapeutische Überdruck ist je nach Indikation unterschiedlich. So wird bei der Behandlung von Wundheilungsstörungen ein Druckbereich zwischen 2 und 2,5 ATA ein oder zweimal am Tag für 90 Minuten angewendet (Niinikoski, 2004). Dabei entspricht 1 ATA exakt 0,980665 bar (Kurzweil, 2013; Matthys, 1978).

Bei jeder Überdruckexposition besteht das Risiko für eine gesundheitliche Schädigung. Neben der Dekompressionskrankheit und dem Barotrauma, kann es auch zum Auftreten einer arteriellen Gasembolie kommen. Die Grundlage für die arterielle Gasembolie ist das Gesetz von Boyle-Mariotte. Bei Entlüftungsstörungen der Lunge und Volumenzunahme der Luft innerhalb der Lunge durch Abnahme des Umgebungsdruckes kann es zu einer Verletzung des Lungengewebes kommen. Sind auch Lungengefäße von der Schädigung betroffen, kann eine schwere Gasembolie entstehen. Die Folgen sind häufig schwerwiegend und beinhalten, neurologische Symptome inklusive Halbseiten- und Querschnittslähmungen, Sprach-, Seh- und Gleichgewichtsstörungen sowie Bewusstlosigkeit, Herz-/Kreislaufstörungen bis hin zum vollständigen Stillstand mit Todesfolge.

Das 'Divers Alert Network' (DAN) berichtete in ihrem Jahrestauchbericht von 2019 (Nochetto et al., 2019) über die Sterbefälle, Verletzungen und Zwischenfälle beim Tauchen aus dem Jahr 2017. Insgesamt wurden in Kanada und den USA 2069 tauchbedingte Verletzungen gemeldet. Davon stellten das Barotrauma mit 1.037, die Dekompressionskrankheit mit 576, die Vergiftung mit 214, der Tod mit 58, das Lungenödem mit 55 und die arterielle Gasembolie mit 34 Fällen die sechs häufigsten Zwischenfälle dar.

In ihrem Review zählen Vann et al. die Dekompressionskrankheit zu den seltenen Vorkommnissen (Vann et al., 2011). Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten wich bei Freiwassertauchgängen von wenigen Minuten bis Stunden innerhalb der verschiedenen Taucher ab. Sie wird mit 0,015% beim wissenschaftlichen Tauchen, 0,01 bis 0,019% bei Freizeittauchern, 0,03% bei Tauchern der US Navy und 0,095% bei Berufstauchern angegeben.

Im Abschlussbericht des Ausschusses Krankenhaus nach § 137c SGB V wurde die Anzahl schwerster Tauchunfälle in Deutschland auf über 200 Fälle pro Kalenderjahr geschätzt. Zusätzlich kommt mindestens die doppelte Anzahl an behandlungsbedürftigen, weniger schweren Fällen hinzu. Außerdem wird die Zahl der minimalen Symptome nach dem Tauchen, welche eine prophylaktische Behandlung benötigen und die Einzelbehandlung bei fraglichen Tauchunfällen bei den in Deutschland bis zu 1 Millionen aktiven Sporttaucher auf mehrere 100 Fälle pro Jahr geschätzt (Ausschuss Krankenkasse nach §137c SGB V, 2003).

Die Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) erklärt in der Leitlinie Tauchunfall, dass eine Statistik über die Häufigkeit von Dekompressionsunfällen in Deutschland nur eingeschränkt zur Verfügung steht (Jüttner, 2014). Es existieren keine evidenzbasierten Daten und die erhobenen Statistiken zu Tauchunfällen weisen statistische Unterschiede und Mängel auf. Für berufliche Drucklufterkrankungen verweisen sie auf die Daten der gesetzlichen Unfallversicherung. Demnach sind von 1993–2012 insgesamt 267 Anzeigen vorgelegt worden und 126 Fälle als Berufskrankheit anerkannt worden.

Pouget et al. werteten in ihrem Review die Literatur über die gesundheitliche Beeinträchtigung von Druckkammerpersonal aus (Pouget et al., 2018). Das Ereignis der Dekompressionskrankheit wird als sehr selten angegeben und die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Studien variieren. Als geringste Wahrscheinlichkeit wurde 0% angegeben, als höchster Wert 4 Fälle bei 26.900 vorgenommenen Druckkammerfahrten im Zeitraum 1990 bis 2013. Bei der Auswertung zum Auftreten der arteriellen Gasembolie wurden die Ergebnisse von zwölf Druckkammerzentren im Zeitraum von 2005 bis 2011 ausgewertet, mit einer errechneten Eintrittswahrscheinlichkeit von 37 Fällen pro 100.000 Druckexponierten. Die Inzidenz für das Auftreten eines Barotraumas wird mit 173 von 100.000 Druckkammerfahrten angegeben.

Auch wenn Abweichungen in der Literatur vorhanden sind und die Daten nur eingeschränkt verglichen werden können, scheint das Risiko für gesundheitliche Komplikationen bei der Verwendung von Druckkammern geringer zu sein als bei Freiwassertauchgängen. Die Gründe dafür sind zum Beispiel die Immersionseffekte, welche durch den hydrostatischen Druck des Wassers hervorgerufen werden und bei der „trockenen“ Exposition von Überdruck in Druckkammern geringer ausfallen sowie die kontrollierte und überwachte Umgebung der Druckkammer (Vann et al., 2011).

### **1.5 Einflüsse auf die olfaktorische Sinneswahrnehmung**

Die subjektive Bewertung eines Duftes als angenehm oder unangenehm wird als Hedonik bezeichnet (Pape et al., 2019a). Sie ist kulturell und erzieherisch geprägt. Abgesehen davon gibt es auch Einflussfaktoren, welche die Geruchswahrnehmung objektiv beeinträchtigen.

Die Riechstörungen können anhand ihrer Verlaufsform unterteilt werden. Ein kompletter Verlust der olfaktorischen Sensorik wird als Anosmie bezeichnet. Eine partielle Anosmie ist die Unfähigkeit eine bestimmte Gruppe von Gerüchen wahrzunehmen. Eine verminderte Riechleistung wird als Hyposmie bezeichnet (Schmidt et al., 2007a). Eine normale Geruchswahrnehmung wird Normosmie und eine überdurchschnittlich gute Wahrnehmungsfähigkeit von Gerüchen wird Hyperosmie genannt.

Die Folgen einer beeinträchtigten Geruchswahrnehmung können weitreichend sein. So kann eine reduzierte Geruchswahrnehmung mit einem verringerten Appetit einhergehen, welcher wiederum

zu einer mangelhaften Nährstoffaufnahme und schlussendlich zu einer Schwächung des Immunsystems führt (Schiffman & Wedral, 1996). Die Betroffenen neigen zu einem übermäßigen Konsum von Zucker und Salz, welches das Risiko für Diabetes und Bluthochdruck erhöht (Passali et al., 2008). Zusätzlich entfällt ein Schutzmechanismus vor potenziell gefährlichen Lebensmitteln und Umweltfaktoren wie Rauch oder Gas (Boesveldt et al., 2017; Croy et al., 2014). Es wird ein dreimal höheres Risiko für ein potenziell gefährliches Erlebnis bei Menschen mit Anosmie angenommen im Vergleich zu olfaktorisch Gesunden (Pence et al., 2014). Außerdem berichten 25 bis 50 Prozent der von einer Anosmie betroffenen Patienten über den Konsum von verrotteten oder verdorbenen Lebensmitteln (Stevenson, 2009).

Des Weiteren ist eine reduzierte Geruchswahrnehmung assoziiert mit einem erhöhten Risiko an einer Depression zu erkranken, wobei als Ursache unter anderem die soziale Komponente der Nahrungsmittelaufnahme vermutet wird (Gopinath et al., 2011).

Alle diese Faktoren können zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität führen. Dabei ist die subjektive Wahrnehmung in der Beeinträchtigung der Lebensqualität abhängig von der Ursache und Verlauf der Geruchsstörung. Eine vorübergehende Beeinträchtigung in Form einer Anosmie aufgrund einer Infektion der oberen Atemwege wird eher als moderat bewertet (Toledano et al., 2011). Bei Tumorpatienten, welche im Rahmen der Therapie eine Geruchsstörung entwickelt haben, fällt die dauerhafte Beeinträchtigung eher ins Gewicht (Alvarez-Camacho et al., 2016).

Die Angaben zur Prävalenz sind in zweierlei Hinsicht zu betrachten. So werden die subjektiv empfundenen Geruchsstörungen von den messbaren bzw. objektivierbaren Geruchsstörungen unterschieden. In einer Studie mit über 1.000 Probanden wurde die subjektiv empfundene Einschränkung in der Geruchswahrnehmung abhängig von der Altersgruppe mit 9–14 Prozent angegeben. Die anschließende Untersuchung der olfaktorischen Identifikationsfähigkeit durch einen modifizierten Test mit Sniffin' Sticks zeigte bei den 18 bis 35 jährigen Teilnehmern eine 3,7-prozentige, bei den 36 bis 55 jährigen Teilnehmern eine 17,4-prozentige und bei den über 55 jährigen Teilnehmern eine 35,6-prozentige Häufigkeit einer olfaktorischen Dysfunktion (Doty & Cameron, 2009).

Eine überarbeitete Datenauswertung von Untersuchungen zur Geruchswahrnehmung mittels Sniffin' Sticks an 9.139 Probanden ergab die in Tabelle 2 aufgeführten Zahlen für die Häufigkeitsverteilung nach Altersgruppe und Verlaufsform (Oleszkiewicz et al., 2019). Es sei zusätzlich erwähnt, dass nach Aussage des Autors alle Probanden angegeben hatten eine normale Geruchswahrnehmung zu besitzen.

**Tabelle 2:** Verteilung der Dysosmien nach Altersgruppe (Oleszkiewicz et al., 2019).

Altersgruppe (Jahre)	Anosmie (%)	Hyposmie (%)	Normosmie (%)	Hyperosmie (%)
5 – 10	0,0	90,7	9,3	0,0
11 – 20	0,0	19,5	77,1	3,4
21 – 30	0,0	9,6	79,4	11
31 – 40	0,0	10,7	83,5	5,9
41 – 50	0,3	20,7	75,2	3,8
51 – 60	0,5	28,8	68,1	2,9
61 – 70	0,4	38,5	59,4	1,6
71 – 80	3,5	60	36,5	0,0
Über 80	22,2	61,1	16,7	0,0

Für die Geruchswahrnehmung ist die Lösung der Duftstoffe im nasalen Schleim nötig, um an die Rezeptorproteine der olfaktorischen Sinneszelle binden zu können. So ist die Freisetzung flüchtiger Duftstoffe von der Temperatur abhängig. Je höher die Temperatur, desto mehr Duftstoffe können in den gasförmigen Zustand übergehen. Außerdem erhöht sich die kinetische Energie der Gasteilchen mit zunehmender Temperatur, welches wiederum die Wahrscheinlichkeit für einen Kontakt mit der nasalen Schleimhaut steigert. So fanden Pangborn et al. signifikant bessere Ergebnisse der olfaktorischen Wahrnehmung von Duftstoffen bei 22°C im Vergleich zu 0°C (Pangborn et al., 1978). Allerdings konnten Drews et al. diesen Einfluss der Temperatur in einem Bereich von 20 bis 35°C auf die Geruchswahrnehmung von gesunden, jungen Probanden nicht nachweisen (Drews et al., 2020).

Ein weiterer wichtiger physikalischer Einflussfaktor ist die Luftfeuchtigkeit. Die Luftfeuchtigkeit beschreibt den Anteil des Wasserdampfes am Gasgemisch der Luft. In Abhängigkeit von Luftdruck und Temperatur kann das Gasvolumen nur eine bestimmte Menge an Wasserdampf enthalten. Die relative Luftfeuchtigkeit ist das Maß dieses Zustandes. Ist die Höchstmenge an Wasserdampf erreicht, beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100 Prozent.

Die Anzahl der Publikationen zu diesem Thema ist überschaubar. Kühn et al. konnten in ihrer Studie zur Veränderung des Riechvermögens feststellen, dass eine geringere Riechschwelle bei 80 Prozent im Vergleich zu 30 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit vorlag (Kühn et al., 2009). Damit bestätigten Kühn et al. das Ergebnis einer seiner vorherigen Studie (Kühn et al., 2007). Als Grund vermuteten sie eine erhöhte Duftstoffaufnahmekapazität der Luft bei erhöhter Luftfeuchtigkeit.

Dagegen konnten Collado et al. keinen signifikanten Einfluss von Variationen der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 42 und 67 Prozent auf die menschliche Geruchswahrnehmung von Pyridin feststellen (Collado & Varela, 2008). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Philpott et al.

in ihrer Untersuchung (Philpott et al., 2004). Auch die Studie von Drews et al. konnte keinen Einfluss der Luftfeuchtigkeit nachweisen (Drews et al., 2020).

Obwohl die Literatur widersprüchliche Antworten auf die Frage nach dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit gibt, ist eine Beeinflussung denkbar. Dieser Schluss ließe sich zumindest aus der repräsentativeren Methodik der Untersuchungen von Kühn et al. folgern (Kühn et al., 2007, 2009). Eine höhere relative Luftfeuchtigkeit könnte die Geruchswahrnehmung verbessern, die genauen Vorgänge und die Luftfeuchtigkeitsbereiche erfordern allerdings weitere Untersuchungen.

Zusätzliche physikalische Einflüsse auf die menschliche Sinneswahrnehmung könnten durch Änderungen des Luftdrucks bzw. Umgebungsdrucks hervorgerufen werden. Aufgrund des zentralen Charakters für diese Arbeit erfolgt die ausführliche Abhandlung in Kapitel 1.7.

Das Alter scheint antiproportional mit der Geruchssensitivität zu korrelieren (Venstrom & Amoores, 1968). Eine weitere Arbeit zeigte eine deutliche Progredienz der olfaktorischen Dysfunktionen mit steigendem Lebensalter, welche in Tabelle 2 dargestellt ist (Oleszkiewicz et al., 2019). Dies deckt sich mit Beobachtungen, dass mehr als die Hälfte der 65 bis 80 Jährigen unter einer Beeinträchtigung der Geruchswahrnehmung, bei den über 80 Jährigen sogar mehr als 75 Prozent zu leiden scheinen (Doty et al., 1984). Verstärkenden Einfluss haben vermutlich jahrelanger Nikotinabusus, gehäufte Infekte der oberen Atemwege, sowie strukturelle Veränderungen des Riechepithels mit einer reduzierten Anzahl von Mitralzellen im Bulbus olfaktorius und neurodegenerative Erkrankungen (Kondo et al., 2020).

Auch das Geschlecht könnte einen Einfluss auf die olfaktorische Sinneswahrnehmung haben. So scheinen Frauen eine verbesserte Geruchswahrnehmung im Vergleich zu Männern zu haben. Allerdings wird ebenfalls eine Abhängigkeit vom weiblichen Hormonzyklus diskutiert. Die Studienlage ist freilich noch gering und nicht eindeutig. Sowohl der Zeitpunkt innerhalb des Zyklus, der Einfluss von oralen Kontrazeptiva, die erhöhte Sensitivität und die Art der einzelnen Gerüche zeigten Abweichungen zwischen den Untersuchungen und Probandinnen (Doty & Cameron, 2009).

Das Riechepithel der Nase wird von 5–10 Prozent der eingeatmeten Luft erreicht (Åkerlund et al., 1995). Der Prozess des olfaktorischen Sinnes ist komplex und kann durch Änderung des Nasenluftstroms unterschiedlich beeinflusst werden (Hornung, 2006). Im Folgenden soll ein Überblick über mögliche respiratorische und konduktive Ursachen für eine Änderung der Nasenatmung behandelt werden, welche mit der Reduktion oder dem Verlust der Geruchswahrnehmung einhergehen können.

Der Nasenluftstrom kann unter anderem durch inflammatorische Erkrankungen der Nasenschleimhäute beeinträchtigt werden. Dabei beschränkt sich die Rhinitis auf eine Infektion der Nasenschleimhaut. Die Sinusitis beschreibt die Entzündung der Schleimhäute einer oder mehrerer Nasennebenhöhlen. Die Abgrenzung der Lokalisationen ist meist schwierig, sodass im Folgenden von der Rhinosinusitis gesprochen wird.

Sie wird charakterisiert durch zwei oder mehr der folgenden Symptome, Nasenatmungsbehinderung, nasaler Ausfluss, frontaler Kopfschmerz und die Reduktion des Geruchssinnes (Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde Kopf- und Hals-Chirurgie e.V. & Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin e.V., 2017). Entsprechend des zeitlichen Verlaufs, wird die Rhinosinusitis in eine akute und chronische Form unterschieden.

Ab einer Krankheitsdauer von 12 Wochen, wird nicht mehr von einem akuten, sondern von einem chronischen Krankheitsgeschehen gesprochen. Die chronische Form wird dabei nochmals in zwei Subtypen unterteilt, mit und ohne Vorkommen von Schleimhautpolypen. Eine Polyposis nasi et sinuum stellt eine gutartige Gewebewucherung dar, welche bei 1–4 Prozent der amerikanischen Bevölkerung (Stevens et al., 2016) und bei 2,7 Prozent der schwedischen Bevölkerung vorkommt (Johansson et al., 2003). In Abhängigkeit ihrer Lokalisation können sie den nasalen Luftstrom und somit die Luftzufuhr zum Riechepithel verringern, welches zu einer reduzierten Geruchswahrnehmung führen kann (Nishijima et al., 2018). Man spricht dann von einer respiratorischen Geruchsminderung. Mögliche Ursachen der chronischen polypösen Rhinosinusitis scheinen allergische Komponenten zu haben. Wobei die aktuelle Literatur noch einige Fragen offen lässt (Marcus et al., 2019). Die Analgetikaintoleranz ist hingegen für einen weiteren Teil der chronisch polypösen Rhinosinusiden verantwortlich (Weber et al., 2012).

Es wird geschätzt, dass Erwachsene jährlich an zwei bis fünf Episoden und Kinder an sieben bis zehn Episoden einer akuten Rhinosinusitis erkranken. Die Prävalenz für die chronische Rhinosinusitis beträgt bei der europäischen Bevölkerung durchschnittlich 10,9 Prozent mit lokalen Unterschieden von 6,9 bis 27,1 Prozent. Die akute Rhinosinusitis ist überwiegend viraler Genese, kann aber auch bakterieller Genese sein. Außerdem besteht bei einer viralen Rhinosinusitis die Möglichkeit einer bakteriellen Superinfektion im Krankheitsverlauf (Fokkens et al., 2012).

Eine weitere häufige Ursache für eine Verschlechterung des Geruchssinnes bei Kindern und Jugendlichen ist die Hypertrophie der Rachen tonsille und des benachbarten lymphatischen Gewebes. Ihre Prävalenz wird zwischen 42 bis 70 Prozent angegeben (Pereira et al., 2018). In dessen Folge kann es ebenfalls zu einer Behinderung der Nasenatmung und einer erhöhten Infektanfälligkeit der oberen Atemwege kommen (Brambilla et al., 2014). Als weitere

Möglichkeiten für die Verlegung der Nasenhöhle bzw. Riechrinne seien noch Fremdkörper, Nasenscheidewandverkrümmungen und andere Neoplasien genannt.

Der Tabakkonsum betrifft nach Schätzungen des deutschen Krebsforschungsinstituts rund ein Viertel der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland. Die gesundheitlichen Folgen sind weitreichend und zahlreich. Tabakkonsum erhöht nicht nur das Risiko für respiratorische Erkrankungen wie COPD, kardiovaskuläre Erkrankungen oder die Entwicklung von Tumoren (Bartal, 2001), sondern führt auch zu einer verminderten Geruchswahrnehmung (Katotomichelakis et al., 2007). Des Weiteren ist das Risiko zur Entwicklung einer olfaktorischen Dysfunktion um 59 Prozent erhöht (Ajmani et al., 2017). Die Beeinträchtigung scheint zumindest teilweise reversibel zu sein. So wurde 45 Tage nach Beendigung des Tabakkonsum eine signifikante Verbesserung der olfaktorischen Diskriminations- und Identifikationsfähigkeit sowie einer Erniedrigung der Geruchsschwelle festgestellt (Dinc et al., 2020). Als Ursache wird unter anderem eine erhöhte Apoptose olfaktorischer Sinneszellen vermutet (Vent et al., 2004).

### **1.6 Einflüsse auf die gustatorische Sinneswahrnehmung**

Die Geschmacksstörung, auch Dysgeusie genannt, kann unterteilt werden in quantitative und qualitative Störungen. Die häufigste qualitative Geschmacksstörung ist die Parageusie, eine abweichende Wahrnehmung von Schmeckreizen (Pape et al., 2019a). Davon abzugrenzen sind Phantogeusien, bei welchen ein Geschmackseindruck ohne adäquaten Reiz entsteht. Die Einteilung nach quantitativen Kriterien unterscheidet zwischen einer totalen Ageusie, wenn die Sensorik aller Geschmacksqualitäten nicht vorhanden ist oder einer partiellen Ageusie, wenn die Empfindung einer oder mehrerer Geschmacksqualitäten fehlt. Eine vermehrte Geschmackswahrnehmung wird als Hypergeusie und eine reduzierte Geschmackswahrnehmung als Hypogeusie bezeichnet (Pape et al., 2019a; Schmidt et al., 2007a).

Weiterhin kann man Geschmacksstörungen nach ihrem Ursprung unterteilen, welche zwischen physiologischen, genetischen, epithelialen, nervalen und zentralen Dysgeusien unterscheiden (Lenarz & Boenninghaus, 2012).

Die Folgen einer gestörten Geschmackswahrnehmung können weitreichend sein. So führen sie unter anderem zu einer Mangelernährung und einer erhöhten Gefährdung durch zum Beispiel den Verzehr verdorbener Lebensmittel (Pape et al., 2019a). Auch eine Beeinträchtigung der Lebensqualität ist häufig vorhanden. So wurde in mehreren Studien eine signifikante Reduzierung der Lebensqualität aufgrund einer Geschmacksstörung nach Radio- und/oder Chemotherapie nachgewiesen (Ponticelli et al., 2017). Hovan et al. verweisen in ihrem Review zu Geschmacksstörungen zwar auf die Schwierigkeit der Interpretation dieser Ergebnisse aufgrund der weiteren Tumorthherapie-assoziierten Begleiterscheinungen (Schluckstörungen, Xerostomie, Schmerzen, Dysphagie und weitere), jedoch wurden auch bei anhaltender Dysgeusie nach

Behandlung von einer Halitosis von einer Beeinträchtigung der Lebensqualität der Patienten berichtet (Carvalho et al., 2019; Hovan et al., 2010).

Welge-Lüssen et al. fanden in ihrer Vergleichsstudie zur Krankheitsprävalenz bei 82,3% der Probanden eine physiologische Sensorik für vier der Geschmacksqualitäten (süß, sauer, salzig, bitter) und bei 5,3% eine Hypogeusie (Welge-Lüssen et al., 2011). Fark et al. fanden in ihrer retrospektiven Studie bei 10,5% der Patienten Geschmacksstörungen. Mit 34% trat sich die idiopathische Genese am häufigsten auf. Ihr folgten posttraumatische und postoperative Ursachen mit 24 und 15% (Fark et al., 2013).

Erwähnenswert sei an dieser Stelle auch, dass Störungen der Geruchswahrnehmung häufig mit Störungen der Geschmackswahrnehmung assoziiert sind. Deems et al. berichteten, dass 57,7% der Probanden mit Einschränkungen der Geruchswahrnehmung ebenfalls über Störungen der Geschmackswahrnehmung klagten (Deems et al., 1991).

Im Alter treten Dysguesien gehäuft auf, was im gewissen Umfang als physiologisch gilt. Welge-Lüssen et al. bestätigten einen verschlechterten Geruchssinn mit zunehmendem Alter (Welge-Lüssen et al., 2011). Drei wesentliche Forschungsthemen werden derzeit im Zusammenhang mit veränderten Geschmackswahrnehmung im Alter untersucht: die physiologischen Änderungen der Sinnesorgane, individuelle Faktoren im Alter und das Ernährungsverhalten (Ogawa et al., 2017). So können verschiedene Medikamente den Schmecksinn negativ beeinflussen (Mortazavi et al., 2018). Auch orale Candidosen kommen als Ursache in Frage, welche bei 13–47% der Bewohner von Altersheimen oder Pflegeeinrichtungen auftreten (Laurent et al., 2011; Osaki et al., 1996). Eine altersbedingte Veränderung des Epithels insbesondere Papillen wird kontrovers diskutiert. Saito et al. untersuchten unter Verwendung eines Laser-Scanning-Mikroskop die Veränderungen der Anzahl der Geschmacksknospen abhängig vom Alter und die Funktion der gustatorischen Sinneswahrnehmung (Saito et al., 2016). Sie fanden keine Abweichung in der Anzahl der Geschmackspapillen im Vergleich zwischen den Altersgruppen (20–83 Jahre). Jedoch ermittelten sie eine reduzierte Geschmackswahrnehmung ausschließlich der 20–29-jährigen Studienteilnehmern bei der Elektrogustrometrie. Andere Autoren fanden eine reduzierte Funktion der Geschmacksknospen mit zunehmenden Alter, verweisen aber auch auf eine mögliche Beteiligung des zentralen Nervensystems (Iannilli et al., 2017).

Weitere Störungen des Geschmackssinnes können durch die Schädigung von Hirnnerven, insbesondere des Nervus facialis, verursacht werden.

Die Gründe sind vielfältig und können beispielsweise infolge einer chronisch entzündlichen Erkrankung des Mittelohres mit struktureller Degeneration der Chorda tympani, dem nervalen Geschmacksanteil des Nervus facialis, entstehen (Berling et al., 2015; Krishna et al., 2017).

Eine traumatisch bedingte Schädigung der Fazialisnervenfasern kann sowohl zentral als auch peripher bedingt sein (Cecchini et al., 2018). Sie kann begleitend zu Störungen der Geruchswahrnehmung oder seltener isoliert nach maxillofazialen Traumata oder bei Schädel-Hirn-Traumata auftreten (Drareni et al., 2020; Wienke & Walter, 2001).

Die iatrogene Nervschädigung als weitere mögliche Ursache ist bei verschiedenen operativen Eingriffen möglich. So kann es zu Schädigung der Chorda tympani bei Operationen im Bereich des Stapes, bei Chochleaimplantaten oder der Mastoidektomie kommen (Kiverniti & Watters, 2012; Maeda et al., 2018; McManus et al., 2012). Eine iatrogene Verletzung der sensorischen Anteile des Nervus trigeminus ist ebenfalls durch die Verletzung des Nervus lingualis möglich. Die topografische Nähe des Nervus lingualis zu den Weisheitszähnen stellt ein mögliches Risiko für eine iatrogene Schädigung bei Weisheitszahnentfernung dar, wobei abhängig von der Studie und dem Untersuchungszeitraum die Häufigkeiten variieren können (Du Toit, 2003). So wurde ein Monat postoperativ bei 1,9% der Probanden eine Parästhesie des Nervus lingualis festgestellt, welche sich nach 18 bis 24 Monaten auf 1,1% reduzierte (Jerjes et al., 2010). In einer prospektiven Studie in Neuseeland wurden nach 7 Jahren bei 0,9% der Probanden Beeinträchtigungen des Nervus lingualis festgestellt (Black, 1997). Auch ist es möglich bei einer Leitungsanästhesie des Nervus mandibularis oder der Anästhesie des Nervus lingualis eine iatrogene Schädigung des Nervus lingualis hervorzurufen (Pippi et al., 2018). Die Häufigkeit variiert je nach Studie mit bis 0,27% (Moore & Haas, 2010). Außerdem kann als Komplikation bei einer Tonsillektomie eine Schädigung des Nervus glossopharyngeus auftreten (Goins & Pitovski, 2004; Soldatova & Doty, 2018).

Es findet sich auch zahlreiche Untersuchungen zum Einfluss von Tabakkonsum auf die gustatorische Sinneswahrnehmung, auch wenn sie nicht ganz einheitlich im Ergebnis sind.

Die meisten Autoren konnten eine signifikante, negative Beeinträchtigung der Geschmackswahrnehmung durch das Rauchen nachweisen (Chéruel et al., 2017; Vennemann et al., 2008). Andere Autoren vermuten nur einen geringen Einfluss (Gromysz-Kałkowska et al., 2002), während manche gar keinen Einfluss nachweisen konnten (Konstantinidis et al., 2010). Ein negativer Effekt auf die gustatorische Sinneswahrnehmung könnte durch eine Änderung der Dichte, Morphologie und Vaskularisation der Geschmackspapillen begründet sein (Pavlidis et al., 2014).

## **1.7 Einflüsse auf den Riech- und Schmecksinn**

### **1.7.1 Einfluss einer Infektion mit SARS-CoV-2**

Die SARS-CoV-2 („severe acute respiratory syndrome-coronavirus-2“) Pandemie hat die Bedeutung von viral bedingten Geschmacks- und Geruchseinschränkungen herausgestellt. SARS-CoV-2 zählt zu der Gruppe der Coronaviridae, welche 60 bis 140 nm groß sind und eine Virushülle mit nach außen gerichteten spitzenartigen Vorsprüngen besitzen. Diese verleihen dem einzelsträngigen RNA-Virus unter dem Elektronenmikroskop ein kronenartiges Aussehen und geben dem Virus seinen Namen (lateinisch *corona* – Kranz, Krone) (Singhal, 2020).

Neben der Inflammation des respiratorischen Atemwegsepithels bis hin zu schwerwiegenden Systemerkrankungen, zeigten sich eine Anosmie und Ageusie als charakteristisch für das Virus (Gautier & Ravussin, 2020). Zwar ist ein vorübergehender Geruchsverlust auch bei einer Erkältung ein gängiges Symptom (Kohli et al., 2017). Allerdings kamen Printza et al. in ihrem systemischen Review zu der Erkenntnis, dass Anosmien häufiger bei SARS-CoV-2 Patienten vorkommen als bei Patienten mit anderen respiratorischen Erkrankungen (Printza & Constantinidis, 2020). Eine multizentrische Studie in Europa untersuchte das Vorkommen des Geschmacks- und Geruchsverlustes bei 417 SARS-CoV-2 Patienten mit leichten bis moderaten Symptomen. Dabei berichteten 85,6% der Teilnehmer von Geruchsstörungen und 88% von Geschmacksstörungen, wobei die Geruchsstörung bei 11,8% vor allen anderen Symptomen auftrat. 18,2% der Patienten hatten keine Nasenobstruktion oder Rhinorrhoe. Frauen waren von den Sinneseinschränkungen signifikant häufiger betroffen als Männer (Lechien et al., 2020). Andere Autoren bestätigten das Auftreten der Symptome, allerdings schwankte die Häufigkeit von 5 bis 98% in Abhängigkeit von Methodik, Land und Studie (Mullol et al., 2020).

Die Erkenntnisse sind insofern interessant, weil sie als Frühsymptome gewertet werden und unabhängig von Symptomen der oberen Atemwege wie Nasenobstruktion oder Rhinorrhoe auftreten könnten (Eliezer et al., 2020). Ursächlich kommen mehrere Mechanismen in Frage. Zum Beispiel könnte es zur Entstehung von konduktiven Defiziten durch Schwellung der Mukosa, erhöhter Schleimsekretion oder Veränderungen der Schleimzusammensetzung kommen (Åkerlund et al., 1993, 1995). Ebenso wäre eine Änderung der Signalweiterleitung innerhalb des Riechepithels durch die lokale Ausschüttung von Zytokinen möglich (Chen et al., 2019; Victores et al., 2018). Schließlich könnte die inflammatorische Wirtsantwort zu einer Obstruktion der Geruchsspalte führen (Besser et al., 2020; Eliezer et al., 2020).

Die nach außen gerichteten spitzenartigen Vorsprünge des SARS-CoV-2 interagieren mit dem menschlichen ACE-2-Rezeptor (angiotensin-I-converting-enzyme-2-receptor) und verschaffen sich über weitere Mechanismen Zugang zum Wirt (Walls et al., 2020). Dieser Rezeptor findet sich verstärkt im Riechepithel wieder (Sungnak et al., 2020). Allerdings nicht an den olfaktorischen Rezeptorzellen sondern an den Unterstützungszellen wie Bowman-Drüsen oder Stützzellen und in den Stammzellen (Cooper et al., 2020). Einige Patienten haben eine über die

Virusinfektion hinausgehende Anosmie, für welche eine direkte Schädigung des Riechepithels oder die in ihm enthaltenen Stammzellen vermutet wird (Cavazzana et al., 2018).

Auch wird in diesen Fällen eine direkte Schädigung des zentralen Nervensystems diskutiert. Beispielsweise sind Influenza-A-Viren, Herpesviren, Parainfluenzaviren und Adenoviren dafür bekannt, dass sie ins zentrale Nervensystem über den Nervus olfactorius gelangen können (Riel et al., 2015). Auch für das menschliche Coronavirus OC43 konnte eine Vermehrung von Viruspartikel durch passive Diffusion und axialen Transport im Bulbus olfactorius nachgewiesen werden (Dubé et al., 2018). Über eine Ödembildung des Bulbus olfactorius wurde auch bei SARS-CoV-2 Infizierten berichtet (Laurendon et al., 2020; Politi et al., 2020). Auch wenn die Literatur bisher überschaubar ist, scheint bei persistierender Anosmie oder Hyposmie eine Atrophie des Bulbus olfactorius möglich zu sein (Tsivgoulis et al., 2020).

Die Untersuchungen zum Geschmacksverlust fokussierten sich bisher auf die Ausprägung von ACE-2-Rezeptoren in Zellen der Mundschleimhaut, den Speicheldrüsen, den Geschmacksknospen bzw. in deren unterstützenden Zellen. Auch hier konnte eine Expression des ACE-2-Rezeptors nachgewiesen werden (Han et al., 2020). Die möglichen Schäden sind beispielsweise ein Kollaps der Geschmacksknospen aufgrund mangelnder Unterstützung oder die Reduktion der Zellerneuerung durch Schädigung der Stammzellen, welche zu einem Verlust des Geruchsinnes führen (Cooper et al., 2020).

Dieser Exkurs über SARS-CoV-2 und seine Auswirkungen auf den menschlichen Geruchs- und Geschmackssinn verdeutlicht, welche komplexen Mechanismen ursächlich für eine Beeinträchtigung sein können.

### 1.7.2 Einfluss des hypobaren Luftdruckes

Als Umwelteinfluss wird der Einfluss von Umgebungsbedingungen auf den menschlichen Organismus bezeichnet. Im Rahmen dieser Arbeit sollten der hyperbare Umgebungsdruck und das Störgeräusch als mögliche Umwelteinflüsse auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung untersucht werden. Daneben gibt es mit dem hypobaren Luftdruck und Sauerstoffmangel noch zwei weitere Umwelteinflüsse, die an dieser Stelle zuerst abgehandelt werden sollen.

Der hypobare Luftdruck ist der Druck, welcher niedriger als der normale Atmosphärendruck ist. Der maximal erreichbare Unterdruck wird als Vakuum definiert. Annäherungsweise gilt, dass der Luftdruck je acht Meter Höhe umgekehrt proportional um 1hPa abnimmt. Allerdings ist durch Wetterdynamiken und andere Einflussfaktoren eine genauere Berechnung schwierig. Wenn bei Normalnull 100% Luftdruck herrschen würden, wären es bei 1.000 m Höhe nur noch rund 88% und bei 5.400 m etwa 50%. Es sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Geschmacks- und Geruchsperezeption vielleicht auch nur auf eine unterdruckbedingte Hypoxie zurückzuführen sei. Darauf verweisen nahezu alle Autoren der im entsprechenden Kapitel 1.5.2 zitierten Studien.

Hinsichtlich des Einflusses von hypobaren auf die Geschmackswahrnehmung zeigt sich die verfügbare Literatur übersichtlich. Singh et al. untersuchten den Einfluss der hypobaren Hypoxie auf das Ernährungsverhalten und den Geschmackssinn von Ratten (Singh et al., 1997). Die Nager wurden einer Höhe von 7.620 m täglich für 21 Stunden über 18 Tage ausgesetzt. Die Nahrungsaufnahme, die Flüssigkeitsaufnahme und das Körpergewicht reduzierten sich über den Untersuchungszeitraum signifikant. Des Weiteren wurde eine süße Flüssigkeitslösung Wasser bevorzugt, was auf eine verbesserte Wahrnehmung auf süße Reize deuten könnte. Rahne et al. untersuchten den Einfluss von hypobarem Luftdruck und Störgeräuschen auf die menschliche Geruchs- und Geschmackswahrnehmung. Sie konnten eine signifikante Reduktion der Geschmackswahrnehmung im Gesamten durch hypobaren Luftdruck feststellen (Rahne et al., 2018). Bei den Geschmacksqualitäten konnte eine Reduktion der Wahrnehmung für 'sauer' und 'salzig' sowie eine reduzierte Reizschwelle für die Qualität 'süß', welches sich mit dem Ergebnis von Singh et al. deckte.

In derselben Studie von Rahne et al. wurde auch ein Einfluss auf die Geruchswahrnehmung festgestellt. So ergab sich in den Untersuchungen eine erhöhte Geruchsschwelle unter hypobaren Bedingungen. Es konnte kein Einfluss auf die olfaktorische Identifikations- und Diskriminationsfähigkeit ermittelt werden (Rahne et al., 2018). Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch Kühn et al. in zwei Studien mit ähnlicher Methodik (Kühn et al., 2007, 2009). Altundag et al. konnten zusätzlich zu einer Erhöhung der Geruchsschwelle, eine Abnahme der olfaktorischen Identifikationsfähigkeit nachweisen (Altundag et al., 2014).

Zusammenfassend ist also festzustellen, dass ein Einfluss des hypobaren Luftdrucks auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung vorhanden zu sein scheint. Das Schmeckvermögen wird im Unterdruck geringer, wobei die Fähigkeit zur Wahrnehmung von süßen Reizen steigt. Die Geruchsschwelle nimmt mit hypobarem Luftdruck ab, wobei ein signifikanter Einfluss auf die olfaktorische Identifikations- und Diskriminationsfähigkeit nicht nachweisbar war.

### 1.7.3 Einfluss durch eine Hypoxie

Bei der Hypoxie tritt ein Sauerstoffmangel auf, der beim Menschen durch verschiedene Umstände hervorgerufen werden kann. Grundsätzlich ist ein solcher Zustand durch die Abnahme des arteriellen Sauerstoffgehaltes bzw. Sauerstoffpartialdrucks messbar und führt schlussendlich zu einem Sauerstoffmangel im Gewebe. Neben Einschränkungen der äußeren Atmung, wie zum Beispiel Atemwegsverlegungen kann auch ein niedriger Sauerstoffpartialdruck der Atemluft zu einer Hypoxie führen. Bei letzterer Ursache lässt sich wiederum die hypobare Hypoxie von der normobaren Hypoxie unterscheiden. Die hypobare Hypoxie ist durch einen hypobaren Umgebungsdruck bei konstanter Sauerstoffkonzentration gekennzeichnet. Die normobare Hypoxie zeigt eine verringerte Sauerstoffkonzentration bei konstantem Luftdruck. Als Beispiel

der letztgenannten Form (synonym: toxische Hypoxämie) kann die Kohlenstoffmonoxidintoxikation genannt werden.

In der Literatur finden sich in Bezug auf hypoxische Einflüsse der Geruchs- und Geschmackswahrnehmung nur wenige Arbeiten mit direkter Zuordnung. Denn die meisten Arbeiten werden durch den gleichzeitig vorliegenden hypobaren Umgebungsdruck in ihrer Aussagekraft geschwächt, da die einzelnen Effekte beziehungsweise Synergieeffekte schwer voneinander zu unterscheiden sind.

Huppertz et al. untersuchten den Einfluss der normobaren Hypoxie auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung (Huppertz et al., 2018). Zur Diagnostik wurden Sniffin' Sticks und Taste Strips in zwei unterschiedlichen Umgebungszuständen verwendet. Sie fanden im Zustand einer normobaren Hypoxie eine erhöhte Schwelle für die olfaktorische Wahrnehmung. Die Ergebnisse der Identifikation einzelner Gerüche wichen voneinander ab. So wurden einige Gerüche unter hypoxischen Bedingungen schlechter erkannt, andere hingegen besser. Sie konnten keinen Einfluss auf die olfaktorische Diskriminationsfähigkeit feststellen. Für die gustatorische Wahrnehmung konnte kein Einfluss der Hypoxie festgestellt werden. Die Ergebnisse zur veränderten Schwelle der Geruchswahrnehmung deckten sich mit den Ergebnissen anderer Autoren (Stepanek, 2002).

#### 1.7.4 Einfluss des hyperbaren Luftdruckes

Ay et al. untersuchten 40 gesunde Probanden (17 weibliche und 23 männliche Probanden) hinsichtlich der olfaktorischen Funktion bei atmosphärischem Umgebungsdruck im Vergleich zu hyperbaren Druckverhältnissen von 2,43 bar (Ay et al., 2014).

Es konnte eine signifikante Verbesserung der Riechschwelle im Überdruck festgestellt werden, jedoch waren keine Veränderungen im olfaktorischen Diskriminations- oder Identifikationsvermögen feststellbar. Die weiblichen Probanden hatten im Vergleich zu den männlichen Probanden im normobarem Umgebungsdruck eine niedrigere Riechschwelle ( $p=0,02$ ), was unter hyperbaren Bedingungen nicht festgestellt werden konnte. Die ebenfalls verwendeten Fragebögen TMT-A und SNOT-20 zur Bestimmung der subjektiven olfaktorischen Funktion und Lebensqualität ergaben keine signifikanten Ergebnisse oder Korrelationen.

Kühn et al. untersuchten 77 gesunde Probanden, fünf weibliche und 72 männliche, hinsichtlich des Einflusses von hyperbarem und hypobarem Luftdruck und Luftfeuchtigkeit auf die olfaktorische Sinnesfunktion (Kühn et al., 2009). Die Messungen fanden in einer Überdruckkammer und Höhen-Klima-Simulationsanlage statt. Die olfaktorische Funktion wurde mittels Sniffin' Sticks untersucht. Dabei wurden zwei verschiedene Tests verwendet, jeweils ein Test zur Ermittlung der Riechschwelle und der olfaktorischen Diskriminationsfähigkeit.

Der Schwellenwert lag im hypobaren Luftdruck in einer Höhe von  $2.700 \pm 20$  Metern signifikant höher als im hyperbaren Luftdruck von 2 bar. Im Vergleich zu einer erhöhten Luftfeuchtigkeit

von 70% bei normobaren Bedingungen zeigte sich der Schwellenwert ebenfalls im hypobaren Umgebungsdruck erhöht. Ein Unterschied zwischen hyperbaren Luftdruck und erhöhter Luftfeuchtigkeit in normobarer Umgebung konnte nicht festgestellt werden. Beim Diskriminationstest wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Außerdem konnte keine Relation zwischen den Ergebnissen der Riechtests und dem TMT-A ermittelt werden.

Kühn et al. untersuchten in einer weiteren Studie den Einfluss von Luftdruckveränderungen und Luftfeuchtigkeit auf die Geruchswahrnehmung (Kühn et al., 2007). In diese wurden 75 gesunde Probanden (4 weibliche und 71 männliche Probanden) mit einem durchschnittlichen Alter von  $25 \pm 8$  Jahren (von 18 bis 53 Jahren) eingeschlossen.

Es wurden drei verschiedene Experimente durchgeführt. In den ersten beiden Experimenten wurde der Einfluss des Luftdrucks in drei verschiedenen Zuständen untersucht: Basiszustand (in einer Höhe von 185m, einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $50 \pm 5\%$  und einer Temperatur von  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) im Vergleich zu hypobaren Bedingungen (in einer Höhe von  $2700 \pm 20$  m, relative Luftfeuchtigkeit  $50 \pm 5\%$  und einer Temperatur von  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) und im Vergleich zu hyperbaren Bedingungen (äquivalent einer Tauchtiefe von  $10 \pm 0,5$  m, einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $40 \pm 10\%$  und einer Temperatur von  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Im dritten Experiment wurde der Einfluss der Luftfeuchtigkeit im Zustand von 30% oder 80% relativer Luftfeuchtigkeit bei  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  und normobaren Umgebungsdruck untersucht.

Vor den olfaktorischen Tests wurde ein TMT-A durchgeführt, um die kognitive Funktion zu überprüfen. Die olfaktorische Funktion wurde mittels Sniffin' Sticks untersucht. Dabei wurden im jeweils separaten Test die Riechschwelle und die Diskriminationsfähigkeit ermittelt.

Das Ergebnis war ein signifikanter Einfluss des Umgebungsdruckes auf die Riechschwelle im hypobaren Zustand (erhöhte Schwelle, verringerte Sensitivität) und im hyperbaren Zustand (reduzierte Schwelle, erhöhte Sensitivität) als auch bei erhöhter, relativer Luftfeuchtigkeit (reduzierte Schwelle bei erhöhter Luftfeuchtigkeit). Es konnte kein Einfluss auf die olfaktorische Diskriminationsfähigkeit oder den TMT-A festgestellt werden.

Zusammenfassend ließ sich trotz der relativ geringen Stichprobe (oder Probandenzahl) eine Tendenz des Einflusses von hyperbaren Umgebungsdruck erkennen: Die Geruchsschwelle sank (das Riechvermögen verbesserte sich) mit zunehmenden Umgebungsdruck. Ein Einfluss auf die olfaktorische Diskriminations- und Identifikationsfähigkeit war nicht zu erkennen.

Halbreich et al. untersuchten den Einfluss von hyperbarem Umgebungsdruck auf die Geschmackserkennung von 22 gesunden, männlichen Probanden im Alter zwischen 19 und 23 Jahren (Halbreich & Steiner, 1977). Die doppelt verblindete Studie wurde in einer Druckkammer mit Aufrechterhaltung des normalen  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ -Verhältnisses durchgeführt. Die Probanden mussten die vier Grundgeschmacksqualitäten in Wasser gelöst in fünf verschiedenen Konzentrationen erkennen. Zusätzlich wurden Probanden sieben Proben mit filtriertem Wasser angeboten. Die Untersuchungen wurden bei Druckverhältnissen von 1, 2, 3, 4 und 5 ATA durchgeführt. Dabei

entspricht 1 ATA exakt 0,980665 Bar (Kurzweil, 2013; Matthys, 1978). Es wurde festgestellt, dass die Fehler in der Geschmackserkennung bei allen Geschmacksmodalitäten mit steigenden Druckverhältnissen zunahmten. Es konnte kein Zusammenhang zur Konzentration der Lösungen hergestellt werden (Halbreich & Steiner, 1977).

#### 1.7.5 Einfluss von Störgeräuschen

Der Geschmackssinn wird von vielen anderen Sinnesmodalitäten beeinflusst. Um den Geschmack vollumfänglich zu erfassen, werden weitere Informationen aus der visuellen, olfaktorischen und somatosensorischen Sinneswahrnehmung benötigt. Auch psychologische Einflüsse sind vorhanden. Es wird angenommen, dass eine Beeinflussung der einzelnen Sinne auf neuronaler Ebene stattfindet.

Shimemura et al. zeigten in ihrem neuronalen Model zur Geschmacksverarbeitung, dass die Variabilität der neuronalen Aktivität im gustatorischen Kortex, darüber bestimmt, inwieweit kongruente Gerüche die Geschmackswahrnehmung verstärken (Shimemura et al., 2016). Visuelle emotionale Informationen werden von der Area piriformis vor olfaktorischen Reizen vorverarbeitet, anschließend in ein erweitertes neuronales Netzwerk der olfaktorischen Netzwerk übertragen und in die Verarbeitung integriert (Schulze et al., 2017). Es gibt eine solide Evidenz für die Komplexität der Interaktionen zwischen den fünf Sinneswahrnehmung Riechen, Schmecken, Sehen, Fühlen und Hören (Spence, 2015).

Seo et al. fanden in ihrer Untersuchung eine signifikante Beeinträchtigung der Geruchssensitivität in Abhängigkeit der Art des Hintergrundgeräusches und des Grades an Extraversion der Teilnehmer (Seo et al., 2012). Die verbalen Reize verbesserten die Ergebnisse der extrovertierten Teilnehmer oder reduzierten die Ergebnisse beim Test zur Geruchsschwelle der introvertierten Teilnehmer.

Valesco et al. untersuchten den Einfluss von Schallreizen auf die Geruchswahrnehmung und differenzierte zwischen Geruchsintensität, Geruchsqualität und ob ein Geruch als angenehm empfunden wurde (Velasco et al., 2014). Die Ergebnisse zeigten, dass weißes Rauschen einen stärkeren Einfluss hatte als konsonante oder dissonante Musik. Die Probanden bewerteten die Gerüche als weniger angenehm und nahmen sie weniger intensiv wahr. Rahne et al. konnten in ihrer Untersuchung keinen Einfluss von weißem Rauschen auf die Geruchswahrnehmung feststellen (Rahne et al., 2018). Aber sie stellten eine verringerte Sensitivität für die Geschmacksqualität 'sauer' und 'süß' fest.

Auch wenn die Studienlage nicht eindeutig ist, scheint ein Einfluss auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung durch das auditive Sinnessystem möglich zu sein.

## **2 Zielstellung**

Das Ziel dieser Arbeit war es den Einfluss von hyperbarem Luftdruck und Störgeräuschen auf das menschliche Riech- und Schmeckvermögen in einer prospektiven, einfach verblindeten Beobachtungsstudie zu untersuchen. Folgende Hypothesen wurden explorativ untersucht:

1. Hyperbarer Luftdruck erhöht das Geschmacks- und Geruchsempfinden im Vergleich zum normobaren Atmosphärendruck.
2. Störgeräusche wirken sich negativ auf den Riech- und Schmecksinn aus (reduzieren die Empfindlichkeit).

### **3 Probanden, Material und Methodik**

#### **3.1 Studiendesign**

In einer prospektiven, einfachblinden Beobachtungsstudie sollte der Einfluss von Schalldruckpegel und statischem Luftdruck auf den Riechindex (Schwellen-, Diskriminations- und Identifikations-Index) und die Schmeckschwelle gemessen werden. Für die Studie sollte ein homogenes Kollektiv von insgesamt sechzehn gesunden männlichen, jungen Versuchspersonen ohne bekannte Riech- oder Schmeckstörungen rekrutiert werden. Die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität bestätigte das Forschungsvorhaben in ihrem Votum (2017-121) vom 13.09.2017. Im Folgenden werden die genaueren Details über Probanden, Material und Methodik beschrieben.

#### **3.2 Probanden**

Die Rekrutierung der Versuchsteilnehmer erfolgte in Halle (Saale) und Umgebung. Die Ein- und Ausschlusskriterien zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3:** Ein- und Ausschlusskriterien.

<b>Einschlusskriterien</b>	<b>Ausschlusskriterien</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alter: 18–35 Jahre</li><li>• Geschlecht: männlich</li><li>• keine bekannten Ohrerkrankungen</li><li>• keine OPs im Kopfbereich</li><li>• keine bekannten Riech- und Schmeckstörungen</li><li>• Taucherfahrung: mindestens zwei erfolgreiche Tauchgänge tiefer 10 Meter im vergangenen Jahr</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• unzureichendes Druckausgleichsvermögen des Mittelohrs</li><li>• bekannte Taucherkrankheit oder vergleichbare Symptome</li><li>• Raucher</li><li>• Platzangst</li><li>• bekannte Allergien auf Gerüche</li><li>• aktuelle Einnahmen von: Streptomycin, D-Penicillamin, Diltiazem, Nifedipin, Amitriptylin, Methotrexat, Amphetamine, Alkohol, lokale vasokonstriktive Substanzen, Strychnin, Codein, Lidocain</li></ul>

Es wurden otologisch gesunde, männliche Probanden im Alter von 18–35 Jahre rekrutiert. Die Beschränkung auf männliche Probanden erfolgte, weil bei weiblichen Studienteilnehmer durch den Hormonzyklus eine deutliche Schwankung des Riechsinn bekannt ist und die hierdurch zu erwartende größere Streuung der Daten vermieden werden sollte.

Anamnestisch durften keine otologischen Vorerkrankungen, keine OPs im Kopfbereich und keine bekannten Riech- und Schmeckstörungen bekannt sein.

Des Weiteren benötigten die Probanden eine Tauchtauglichkeit nach der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) und eine Taucherfahrung von mindestens zwei erfolgreichen Tauchgängen tiefer als zehn Meter im vorherigen Jahr.

Alle Probanden erhielten rechtzeitig einen Informationsbogen mit den Risiken sowie Ein- und Ausschlusskriterien, so dass die schriftliche Einverständniserklärung zur Studienteilnahme von jedem Probanden vorlag. Außerdem erhielt jeder Studienteilnehmer eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 15 € pro Stunde und eine Aktualisierung der Tauchtauglichkeit. Zur Absicherung vor Gesundheitsschädigungen wurde im Vorfeld eine „Probandenversicherung für eine nicht der Versicherungspflicht unterliegende klinische Prüfung“ und eine Gruppen-Unfallversicherung abgeschlossen.

Die Stichprobengröße basierte auf der Annahme einer mittleren Effektgröße von  $d = 0,5$  sowie  $\alpha = 0,05$  und  $\beta = 0,2$ . Mit Hilfe des Kalkulationsprogrammes G\*Power (Version 3.1, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland) ergab sich eine Stichprobengröße von  $n = 17$ , dabei wurde eine Ausfallrate von einem Probanden einkalkuliert. Die mittlere Effektgröße von  $d = 0,5$  ist auf die Annahme eines mittelgradigen Effektes von Luftdruck und Störgeräusch zurückzuführen. Der praktische Nutzen eines kleinen Effektes bzw. Einflusses von Luftdruck und Störgeräusch wäre kritisch zu hinterfragen und eine größere Stichprobengröße würde notwendig sein. Ist der Effekt jedoch stärker als erwartet, wird er bei der verwendeten mittleren Effektgröße erfasst.

### **3.3 Voruntersuchungen**

Die Voruntersuchungen wurden von einem zertifizierten Taucherarzt der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) durchgeführt. Es erfolgte eine versuchsspezifische Anamnese (Teil A des tauchmedizinischen Untersuchungsbogen nach (Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V., 2017)), sowie eine allgemeine und spezielle tauchmedizinische körperliche Untersuchung (siehe Anhang 9.3). Diese beinhaltete neben der körperlichen Untersuchung, eine Hals-Nasen-Ohrenärztliche Untersuchung. Hierbei erfolgte die Ohrmikroskopie zur Feststellung eines intakten und reizfreien Trommelfells und eines positiven Druckausgleichsvermögens mittels Valsalvamanöver. Zudem wurde die Nase auf Vorliegen einer schwerwiegenden Nasenscheidewandverkrümmung und geruchsbeeinflussender Pathologien, wie zum Beispiel Schleimhautpolypen, untersucht. Zur ergänzenden Prüfung eines ausreichenden Hörvermögens wurde ein Tonaudiogramm erstellt. Eine Tympanometrie sollte pathologische Mittelohrbelüftungen ausschließen. Ferner wurden folgende weitere für die Tauchtauglichkeit obligate Untersuchungen durchgeführt: Lungenfunktionstest, Messung des Blutdruckes und ein 12 Kanal Ruhe-EKG.

### 3.4 Studienmessungen

#### 3.4.1 Schmeckprüfung

Die Schmeckprüfung fand mittels Schmeckstreifen (im Folgenden als Taste Strips bezeichnet) statt. Die Taste Strips (Burghart Messtechnik, Wedel, Deutschland) gelten als validiertes Untersuchungsverfahren zur Ermittlung des Schmeckvermögens (Landis et al., 2009). Es wurden die vier gustatorischen Qualitäten süß, sauer, bitter und salzig untersucht. Je Geschmacksqualität kamen vier unterschiedliche Konzentrationen zur Anwendung und zusätzlich zwei geschmacklose Schmeckstreifen (auch 'Blanks' genannt). Die gewählten Konzentrationen der Lösungen auf den Teststreifen sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Prüfung erfolgt durch die Ermittlung des Schmeckvermögens der gesamten Mundhöhle durch Auflegen der Teststreifen auf die Zunge und Schließen des Mundes. Die Probanden wurden gebeten die Schmeckstreifen mit der Zunge zu bewegen, um die gustatorische Stimulation aller Areale der Schmeckrezeptoren der Zunge zu gewährleisten. Im Anschluss sollten sie eine der fünf möglichen Antwortmöglichkeiten mündlich mitteilen. Zur Dokumentation der Ergebnisse wurde ein spezielles Testblatt verwendet (siehe Anhang 9.4).

Die Dauer des Tests belief sich auf ungefähr 15 Minuten. Zwischen den einzelnen Taste Strips konnten die Probanden stilles Mineralwasser (Volvic Naturelle, Danone Waters GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland) trinken, um die Geschmacksstoffe von der Zunge zu verdrängen. Es wurde eine pseudo-randomisierte Reihenfolge der verschiedenen Taste Strips durch den Untersucher gewählt. Die Aufbewahrungsbehälter waren einheitlich und mit unterschiedlichen Buchstaben verschlüsselt, so dass auf eine Verblindung der Probanden mittels Schlafmaske verzichtet werden konnte.

**Tabelle 4:** Konzentrationen der Lösungen der Geschmacksprüfung.

<b>Süß</b>	<b>Sauer</b>	<b>Salzig</b>	<b>Bitter</b>
<i>Saccharose (%)</i>	<i>Zitronensäure (%)</i>	<i>NaCl (%)</i>	<i>Chininhydrochlorid (%)</i>
3	1	2,5	0,02
10	5	7,5	0,05
40	10	15	0,1
66,7 (gesättigt)	15	34 (gesättigt)	1

#### 3.4.2 Riechprüfung

Zur Prüfung des Riechsinn kamen Sniffin' Sticks (Burghart Messtechnik, Wedel, Deutschland) zum Einsatz. Dabei handelt es sich um mit Duftstoffen befüllte Filzstifte, welche den Duftstoff nach Abnehmen der Kappe freisetzen. Die Riechstifte haben eine Länge von 14 cm, einen Durchmesser von 1,3 cm und eine Füllmenge von 4 ml für flüssige Geruchsstoffe oder gelöste Geruchsstoffe in Propylenglykol.

Bei der Untersuchung wurde jeder Riechstift für ungefähr drei Sekunden zentral in einem Abstand von ungefähr zwei Zentimetern unter den Naseneingängen in leicht kreisender Bewegung positioniert. Das Ziel war es den Geruchsstoff in den Bereich des Riechepithels beider Nasenhöhlen zu bewegen. Zwischen den Darbietungen fanden kurze Pausen von einigen Sekunden statt, um eine Verflüchtigung des Geruchsstoffes zu gewährleisten.

Es wurden drei verschiedene Tests durchgeführt. Ein Schwellentest, ein Diskriminationstest und ein Identifikationstest bestimmten den SDI-Index, welcher als Standard in der wissenschaftlichen Praxis gilt und ausreichend validiert ist (Göktas et al., 2018).

Die Unterscheidung der Stifte während der ersten beiden Untersuchungen wurde durch eine farbliche Kodierung der Kappe auf der Rückseite des Stiftes, einer darunter gedruckten Zahl und eines farbigen Bandes gewährleistet. Die Stifte des Diskriminationstestes besitzen ein grünes, die des Schwellentestes ein rotes Band und je Zahl drei farbige Kappen (rot, grün und blau). Der gesuchte Riechstift wies eine Übereinstimmung der Farbe des Bandes und der Kappe auf.



**Abbildung 7:** Diskriminationstest der Sniffin' Sticks (Burghart Messtechnik, Wedel, Deutschland).

Der Test zur Ermittlung der olfaktorischen Diskriminationsfähigkeit enthält jeweils 16 Triplets an Sniffin' Sticks, also insgesamt 48 Riechstifte. Die Ermittlung des Diskriminationsvermögens, also der Unterscheidung von Gerüchen, erfolgte durch Darbietung von drei Sniffin' Sticks. Dabei hat ein Riechstift des Triplets einen zu den anderen beiden Riechstiften abweichenden Duft. Die Reihenfolge der Darbietung wurde zufällig gewählt. Der Proband entschied nach kurzer Überlegungszeit, welcher der drei Stifte einen anderen Duft gehabt hat. Dieser Vorgang wurde mit allen 16 Stift-Triplets durchgeführt. Die ermittelten Ergebnisse wurden auf einem speziellen Dokumentationsbogen notiert (siehe Anhang 9.6).



**Abbildung 8:** Schwellentest der Sniffin' Sticks (Burghart Messtechnik, Wedel, Deutschland).

Auch der Test zur Ermittlung der Riechschwelle enthält 16 Triplets an Sniffin' Sticks. Wobei ein Stift des Triplets mit n-Butanol in bestimmten Konzentrationen aufbereitet war und die anderen zwei Stifte nur das Lösungsmittel enthielten. Der Stift Nr. 1 enthält die höchste Konzentration von 4 Prozent n-Butanol und der Stift Nr. 16 die niedrigste Konzentration von 0,00012 Prozent n-Butanol. Es wurde bei hohen Konzentrationen begonnen, um einen Grundwert festzulegen und den Probanden an den gesuchten Geruch zu gewöhnen. Im Anschluss wurde die Riechschwelle im Staircase-Verfahren ermittelt (Lötsch et al., 2004).

Dabei wurde die Reihenfolge der verwendeten Stifte eines Triplets zufällig gewählt. Nach kurzer Überlegungszeit sollte der Proband den Stift nennen, welcher nach n-Butanol gerochen hat. Die Konzentration des nächsten Stiftes wurde anhand des Ergebnisses des vorherigen Stiftes gewählt. Bei der Wahl des korrekten Riechstiftes erfolgte eine Konzentrationsenkung, bei Auswahl des falschen Stiftes eine Konzentrationssteigerung. Nachdem mindestens vier Wendepunkten und eine absehbare Riechschwelle erreicht wurde, wurde der Test beendet. Die Daten wurden ebenfalls auf ein für die Messung entworfenes Blatt eingetragen (siehe Anhang 9.5).



**Abbildung 9:** Beispiel für den Identifikationstest der Sniffin' Sticks im Modul Screening 12.

Der Identifikationstest beinhaltet 16 Riechstifte mit alltäglichen Gerüchen. Die Stifte wurden wie oben beschrieben angereicht und der Proband sollte im Multiple-Choice-Verfahren den identifizierten Duftstoff auf einem dafür entworfenen Dokumentationsbogen ankreuzen (siehe Anhang 9.7). In Tabelle 5 sind die möglichen Antwortmöglichkeiten sowie der richtige Geruch des Stiftes aufgelistet.

Die Dauer von allen drei Untersuchungen des Riechsinn belief sich auf ungefähr 30 Minuten, bei erschwerter Ermittlung der Riechschwelle konnte sich die Dauer um einige Minuten verlängern.

**Tabelle 5:** Antwortmöglichkeiten des Identifikationstests, die richtige Antwort ist grau markiert.

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

### 3.4.3 Druckkammer

Die Untersuchungen fanden in der Kammer für hyperbare Oxygenierung (HBO-Druckkammer) der Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Universitätsklinikums Halle (Saale) statt. Es handelt sich um eine Druckkammer des Typ HBO1 (Sayers/Hebold, Cuxhaven, Deutschland), hergestellt im Jahr 1999. Sie besteht aus einer Hauptkammer mit einem Rauminhalt von 22.150 Litern und einer Vorkammer mit einem Rauminhalt von 6.855 Litern. Außerdem ist sie mit einer Schleuse mit einem Rauminhalt von 35 Litern ausgestattet. Die zulässige Betriebstemperatur beträgt 24°C und der maximale zulässige Überdruck entspricht gemäß Herstellerangaben 5,5 bar. Die maximale Personenanzahl in beiden Kammern beträgt 13,9 Personen in der Hauptkammer und 4 Personen in der Vorkammer.

Die Druckkammer ist mit einer Klimaanlage beziehungsweise Spülung (Luftaustausch) ausgestattet.

**Formel 5:** Berechnung des maximalen Luftaustausches der Klimaanlage der Druckkammer.

$$\frac{30 \text{ Liter} \times \text{Anzahl der Personen} \times \text{Umgebungsdruck in bar}}{\text{Minute}}$$

Die Steuerung der Druckkammer, Luftzufuhr und Klimaanlage wurde mittels speziell für die Druckkammer konzipierter Software und einen ausgebildeten Techniker durchgeführt. Die

Sauerstoffsättigung, die relative Luftfeuchtigkeit und die durchschnittliche Temperatur konnten über das digitale Interface am Computer überwacht werden.

#### 3.4.4 Störgeräusch

Als Störgeräusch für die Untersuchungen wurde ein weißes Rauschen gewählt. Es wurde über das Softwareprogramm MATLAB (Version 9.2, 2017, The MathWorks, Natick, MA, USA) generiert und auf einer Compact Disk (CD) gespeichert.

Das Einspielen des Störgeräusches erfolgte über das Audiointerface der Druckkammer, welches außerhalb mit einem digitalen CD-Spieler verbunden wurde. Die Übertragung des akustischen Signales an den Probanden erfolgte mittels in-ear Kopfhörern (Ohrstöpsel Einmal Schaumgummi 13mm, GVB-geliMED GmbH, Bad Segeberg, Deutschland), welche eine gute Abdichtung des äußeren Gehörganges und somit eine gute Schallübertragung gewährleisteten. Die Kalibrierung des Schalldruckpegels von 70 dB wurde vor der ersten Untersuchung mittels künstlichen Ohres (Type 4152, Brüel & Kjaer, Bremen, Deutschland) und des digitalen Lautstärkereglers vorgenommen. Die Einstellungen konnten somit vor jeder Untersuchung reproduziert werden. Das weiße Rauschen wurde in Dauerschleife während des gesamten Untersuchungszeitraumes abgespielt.

#### 3.4.5 Untersucher

Die Untersuchungen wurden ausschließlich durch zwei Personen durchgeführt, um die Homogenität der Untersuchungsbedingungen zu gewährleisten. Neben dem Verfasser war dies Herr Dr. med. Hans-Georg Fischer als begleitenden Facharzt für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde und Taucharzt, welcher zusätzlich die medizinische Überwachung übernahm. Im Vorfeld der Untersuchungen erfolgte eine Tauchtauglichkeitsprüfung beider Untersucher in Form der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung G31. So konnte durch dessen Anwesenheit die optimale Voraussetzung geschaffen werden um das Gesundheitsrisiko der Probanden so gering wie möglich zu halten und eine qualifizierte Voruntersuchung gewährleistet werden.

#### 3.4.6 Sonstige Materialien

Als weitere Materialien wurden geruchslose Baumwollhandschuhe verwendet, welche mögliche Duftstoffe der Hand minimieren sollten, sowie Schlafmasken bei den Riechtests zur Verhinderung von Verfälschungen der Ergebnisse durch die optische Erkennung des korrekten Riechstiftes.

Zur Reduzierung der umgebenden Störgeräusche und zur Erzeugung des Untersuchungszustandes 'Stille' wurden Gehörstöpsel (E-A-R Classic II, 3M, St. Paul, MN, USA) und zusätzlich circumaurale Kopfhörer (HDA 200, Sennheiser, Wedemark, Deutschland) verwendet.

Zur Dokumentation dienten vorgefertigte Papierbögen und Bleistifte. Das Mineralwasser für die Probanden wurde während der Untersuchung in einfachen Plastikbechern dargereicht.

### **3.5 Methodik**

#### **3.5.1 Untersuchungsablauf**

Zur Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien erfolgten Voruntersuchungen im Tagesdienst der HNO- und internistischen Universitätsklinik Halle (Saale) in einem zwei bis drei Stunden dauernden Zeitraum. Parallel dazu wurden die Vorbereitungen für die Messungen in der Druckkammer getroffen.

Es konnten pro Tag maximal zwei Probanden untersucht werden, welche sich zeitgleich mit den Untersuchern in der Druckkammer befanden. Die Hälfte der insgesamt rekrutierten Probanden wurde zuerst unter normobaren und anschließend unter hyperbaren Bedingungen untersucht, die andere Hälfte umgekehrt.

Die Ausführung der subjektiven Riech- und Schmecktests fand wie im vorherigen Kapitel beschrieben statt. Eine Kalibrierung und Rücksprache beider Untersucher fand im Vorfeld der ersten Untersuchung statt, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

Die drei Untersuchungen der olfaktorischen Funktion und die Untersuchung der gustatorischen Funktion fanden unter Einstellung von zwei Variablen statt, dem hyperbaren Luftdruck und dem Störgeräusch.

Zur Untersuchung des Einflusses von hyperbarem Luftdruck wurden zwei Bedingungen erzeugt, 'Hyperbar' und 'Normobar'. Für die Bedingung 'hyperbarer Luftdruck' wurde mittels der Druckkammer ein Überdruck von 2 bar erzeugt. Dies entspricht einer Wassertiefe von zehn Metern. Dabei beliefen sich die Zeiten zum Einleiten des erhöhten Umgebungsdruckes und die Dekompressionszeit zum Auftauchen auf jeweils ungefähr vier Minuten.

Die Bedingung 'normobarer Luftdruck' wurde in der geschlossenen Druckkammer ohne Änderung des Umgebungsdruckes erzeugt. Die Druckkammer des Universitätsklinikums Halle (Saale) befindet sich ungefähr 90 m über den Meeresspiegel. Vereinfacht wurde von einem Umgebungsluftdruck von 1 bar ausgegangen, welcher ebenfalls von den Messgeräten der Druckkammer angezeigt wurde. In beiden Bedingungen wurde die Druckkammer mit maximaler Luftumspülung durch die Klimaautomatik betrieben.

Zur Untersuchung des Einflusses von Störgeräuschen wurden ebenfalls zwei Bedingungen erzeugt, 'Stille' und 'Geräusch'. Dabei diente das weiße Rauschen als Störgeräusch, welches unter den oben geschilderten Druckbedingungen angewendet wurde. Um 'Stille' mit einem möglichst hohen Maß an Ruhe zu erzeugen, kam eine Kombination aus Gehörstöpsel und circumauralen Kopfhörern zur Anwendung.

Eine Übersicht über alle vier Messbedingungen, in welchen die Untersuchungen durchgeführt wurden, sind in Tabelle 6 aufgeführt.

**Tabelle 6:** Darstellung der unterschiedlichen Messbedingungen.

Messbedingungen	Luftdruck (mbar)	Schalldruckpegel (dB)	Untersuchungszeit (min)
Normobar/Stille	1000	0	45
Normobar/Geräusch	1000	70	45
Hyperbar/Stille	2000	0	45
Hyperbar/Geräusch	2000	70	45

Die Abfolge der Tests erfolgte pseudorandomisiert. Eine Ausnahme erfolgte ausschließlich bei der Durchführung des Identifikationstestes. Dieser wurde nicht zeitgleich mit der Schwellentestung des anderen Probanden untersucht und möglichst als letzte Messung der vier Tests durchgeführt. Grund war die vergleichsweise ausgeprägte Geruchsentwicklung innerhalb der Druckkammer. Die Auswahl der Messbedingung 'Geräusch' oder 'Stille' erfolgte ebenfalls pseudorandomisiert für jeden Probanden bzw. jedes Probandenpaar und wurde nach Vollendung der vier Tests gewechselt.

Die Gesamtnettomesszeit pro Probanden betrug  $2 \times 90 = 180$  Minuten, zuzüglich einer Pause von ungefähr 15 Minuten zwischen der Änderung des Umgebungsluftdruckes und Verzögerungen im Betriebsablauf.

Die Sauerstoffsättigung, die relative Luftfeuchtigkeit und die durchschnittliche Temperatur wurden über die digitale Benutzerschnittstelle durch das Druckkammerpersonal überwacht, konstant gehalten und in regelmäßigen Abständen notiert. Um dies zu gewährleisten, lief während der gesamten Untersuchung die Klimaanlage bzw. Luftumspülung auf maximaler Rate (unter normobaren Bedingungen 420 l/min, unter hyperbaren Bedingungen 840 l/min).

### 3.5.2 Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Für die Auswertung des Schwellentests wurde Excel (Version 16.16.19, Microsoft, Redmond, WA, USA) zusammen mit dem Tool für logistische Regression (Version 2\_16, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Interdisziplinäre Zentrum für Schmecken und Riechen, Dresden, Deutschland) verwendet. Als Chance-Rate wurde, weil bei einer Auswahlmöglichkeit von drei Stiften die Wahrscheinlichkeit für ein falsch positives Ergebnis bei 33,3% liegt, 0,33 verwendet. Für nicht gemessene, schwellenferne höhere und niedrige Konzentrationen wurden Werte von 1 bzw. 0 angenommen. Im Anschluss wurde die Riechschwelle mittels 'Solver' ermittelt. Die Schwellenmessung wurde wie beschrieben im Staircase-Verfahren durchgeführt bis mindestens vier Wendepunkte erreicht wurden.

Die Auswertung des Identifikationstestes und des Diskriminationstestes erfolgte über die Summation der Einzelergebnisse. Die resultierende Gesamtpunktzahl hatte einen Maximalwert von 16 Punkten. Schließlich wurde die Summe aus den erreichten Punktzahlen der einzelnen

olfaktorischen Messungen gebildet und entsprachen dem SDI-Index. Dessen Maximalwert lag bei 48 zu erreichenden Punkten.

Zur Auswertung der gustatorischen Messergebnisse wurden die richtigen Antworten der Probanden addiert. Das erfolgte je Geschmacksqualität und als Gesamtwert je Messung. Dieser gustatorische Gesamtwert enthielt auch die Messergebnisse der geschmacklosen Teststreifen. So konnte für jede Geschmacksqualität ein maximaler Wert von je 4 sowie ein kumulativer Maximalwert von insgesamt 18 erreicht werden.

Die erhobenen Daten wurden zur weiteren statistischen Auswertung in einer Excel-Tabelle zusammengefasst.

### 3.5.3 Statistische Auswertung

Die statistische Datenanalyse wurde mit der Software SPSS (Version 23, IBM, Ehningen, Deutschland) durchgeführt.

Die deskriptive Statistik ermittelte den Mittelwert mit Standardfehler, das 95% Konfidenzintervall des Mittelwertes, das 5% getrimmte Mittel, den Median, die Varianz, die Standardabweichung, das Minimum und Maximum, die Spannweite, den Interquartilbereich, sowie die Schiefe und Kurtosis mit Standardfehler.

Die Normalverteilung der Daten wurde durch den Shapiro-Wilk-Test geprüft. Sofern die Daten normalverteilt waren, erfolgte die Auswertung der Mittelwertunterschiede durch eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung. Wenn die Daten nicht oder teilweise nicht normalverteilt waren, kam der nicht-parametrische Friedman-Test zur Anwendung. Wenn der Mauchly-Test ein signifikantes Ergebnis erzielte, erfolgte die Reduzierung der Freiheitsgrade mittels Greenhouse-Geisser-Korrektur. Für alle Vergleiche wurde ein  $\alpha$ -Wert von 95% angenommen.

Die Verteilungen der Schwellen- und Diskriminationstests sowie des SDI-Index waren normalverteilt und wurden auf Mittelwertunterschiede zwischen den Bedingungen 'Druck' (Normobar, Hyperbar) und 'Störgeräusch' (Stille, Geräusch) mittels einer Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung geprüft. Die Verteilungen des Schmecktests für die Geschmacksqualitäten 'süß', 'sauer', 'salzig' und 'bitter' sowie des gustatorischen Gesamtwerts und des olfaktorischen Identifikationstests waren nicht normalverteilt. Mittelwertunterschiede dieser Verteilungen wurden zwischen den Bedingungen 'Druck' (Normobar, Hyperbar) und 'Störgeräusch' (Stille, Geräusch) mittels eines nicht-parametrischen Friedman-Tests geprüft.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Probanden und Untersuchungsbedingungen

An den Untersuchungen nahmen insgesamt 17 Probanden teil. Ein Studienteilnehmer (Probandennummer 7) musste aufgrund seines Alters von 38 Jahren nachträglich ausgeschlossen werden. Das durchschnittliche Alter betrug 26,44 Jahre mit einer Standardabweichung von 4,43. Die Alterspanne lag zwischen 22 und 35 Jahren.

Die Voruntersuchungen erhoben keine relevanten Auffälligkeiten oder gesundheitlichen Einschränkungen. Die Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima der aufgezeichneten Umgebungsparameter während der Untersuchungen sind in Tabelle 7 dargestellt.

**Tabelle 7:** Darstellung einzelner Einflussparameter (potentielle Störfaktoren).

	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Rel. Luftfeuchtigkeit (%)</b>	47	8	37,1	59,15
<b>Temperatur (°C)</b>	28,4	1,1	27,1	30
<b>Sauerstoffanteil (%)</b>	20,9	0,13	20,81	20,98

### 4.2 Riechtest

Die Ergebnisse der Untersuchungen für den Schwellentest, Diskriminationstest, Identifikationstest und deren Summe (SDI-Index) lassen sich aus der Tabelle 8 entnehmen. Hierbei wurden die Werte für den Schwellentest als Schwellen-Index mittels logistischer Regression ermittelt und angegeben wie bereits in Kapitel 3.5.2 beschrieben. Für jeden Proband und Test/Index wurden die ermittelten Werte den vier verschiedenen Untersuchungsbedingungen zugeordnet: normobarer Umgebungsdruck mit jeweils akustischer Stille (NS = Normobar Stille) und weißem Rauschen (NG = Normobar Geräusch), sowie hyperbarer Umgebungsdruck mit jeweils akustischer Stille (HS = Hyperbar Stille) und weißem Rauschen (HG = Hyperbar Geräusch).

**Tabelle 8:** Schwellen-Index, sowie die Einzelergebnisse des Diskriminationstests, Identifikationstests und SDI-Index.

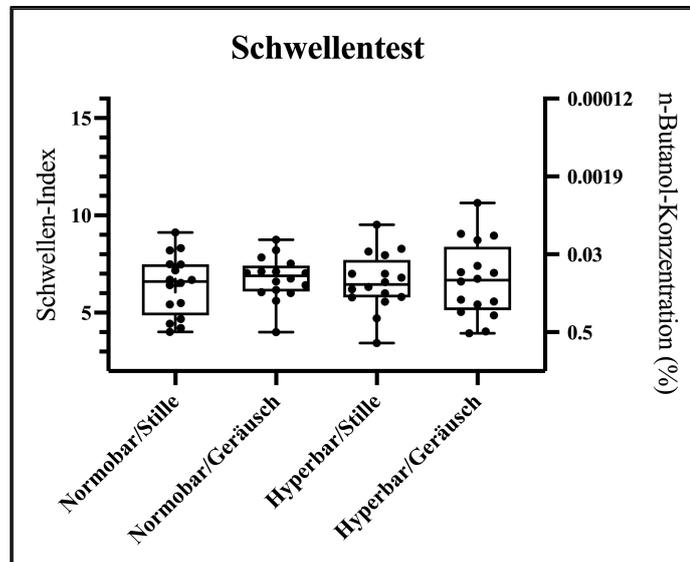
Proband	Schwellen-Index				Diskriminationstest				Identifikationstest				SDI-Index			
	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG
1	4,43	8,75	6,57	7,04	11	14	13	13	14	14	13	13	29,43	36,75	32,57	33,04
2	4,68	5,61	4,71	3,94	9	12	11	13	13	13	13	14	26,68	30,61	28,71	30,94
3	6,68	7,03	7	10,64	13	13	14	14	13	13	12	13	32,68	33,03	33,00	37,64
4	7,49	7,52	9,52	8,96	13	11	12	12	12	14	13	13	32,49	32,52	34,52	33,96
5	8,2	7,11	7,95	5,43	15	15	16	12	15	15	15	15	38,20	37,11	38,95	32,43
6	4,21	6,41	6,32	4,86	11	13	14	10	13	13	14	15	28,21	32,41	34,32	29,86
7	7,5	5,16	6,62	8,5	8	15	10	12	14	14	15	15	29,50	34,16	31,62	35,50
8	7,18	6,76	7	6,6	11	12	15	16	14	13	13	14	32,18	31,76	35,00	36,60
9	7,48	7,11	6,8	8,72	13	13	10	13	12	13	12	13	32,48	33,11	28,80	34,72
10	5,49	7,84	6,21	7,08	12	13	11	10	15	15	14	13	32,49	35,84	31,21	30,08
11	8,32	6,06	5,56	5,04	15	13	13	14	12	14	13	10	35,32	33,06	31,56	29,04
12	6,53	6,01	5,78	4,03	13	15	13	11	14	12	13	12	33,53	33,01	31,78	27,03
13	9,12	8,21	8,28	9,05	15	14	13	13	13	13	14	13	37,12	35,21	35,28	35,05
14	5,43	6,17	5,81	6,74	13	14	12	11	15	15	15	14	33,43	35,17	32,81	31,74
15	6,69	6,6	8,14	7,41	14	14	16	13	16	15	15	15	36,69	35,60	39,14	35,41
16	6,42	7,05	6	5,57	14	13	15	14	14	15	13	14	34,42	35,05	34,00	33,57
17	4,01	4	3,44	5,67	11	12	11	11	15	15	15	15	30,01	31,00	29,44	31,67

In Tabelle 9 wurden die Mittelwerte der einzelnen Riechtests und deren Standardabweichung (SD) dargestellt. Die Mittelwerte des Schwellentests zeigten hierbei eine Tendenz, indem die Geruchsschwelle im Zustand 'Stille', sowohl in hyperbarer als auch in normobarer Umgebung, niedriger zu liegen schien als bei einer Beeinflussung durch weißes Rauschen. Die Mittelwerte des Identifikationstests ließen eine Tendenz im normobaren Zustand erhöhter Werte gegenüber den Messwerten im hyperbaren Zustand vermuten. Ein Einfluss durch die Zustände 'Stille' und 'Geräusch' war nicht zu messen.

**Tabelle 9:** Mittelwerte der Riechtests mit der dazugehörigen Standardabweichung.

	NORMOBAR		HYPERBAR	
	STILLE Mittelwert (SD)	GERÄUSCH Mittelwert (SD)	STILLE Mittelwert (SD)	GERÄUSCH Mittelwert (SD)
<b>Schwellentest</b>	6,4 (1,6)	6,8 (1,3)	6,6 (1,5)	7 (2)
<b>Diskriminationstest</b>	12,7 (1,8)	13,2 (1,2)	13,1 (1,9)	12,5 (1,7)
<b>Identifikationstest</b>	13,8 (1,3)	13,9 (1,1)	13,6 (1,1)	13,5 (1,4)
<b>SDI</b>	33 (4)	33,8 (2,1)	33 (4)	32,7 (2,9)

Die Daten des Identifikationstestes zeigten in der Bedingung 'Normobar-Stille' eine Normalverteilung ( $p > 0,05$ ) und waren in den anderen drei Bedingungen nicht normalverteilt ( $p < 0,05$ ). Hier wurde ebenfalls für die weitere Datenanalyse keine Normalverteilung im Gesamten angenommen. Die erhobenen Daten des Diskriminations- und Schwellentests sowie des SDI-Index waren in allen Bedingungen normalverteilt ( $p > 0,05$ ).



**Abbildung 10:** Individuelle Messergebnisse des Schwellen-Index als Boxplot.

Die Analyse der Mittelwertunterschiede beim Schwellen-Index durch eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte, dass weder 'Druck' ( $F(1,15) = 0.022$ ,  $p = 0.883$ ,  $n = 16$ ) noch 'Störgeräusch' ( $F(1,15) = 0.64$ ,  $p = 0.436$ ,  $n = 16$ ) einen signifikanten Einfluss hatten. Die Wechselwirkung der Bedingungen 'Druck' und 'Störgeräusch' war nicht signifikant ( $F(1,15) = 0.255$ ,  $p = 0.621$ ,  $n = 16$ ).

Die Abbildung 10 zeigt die Messergebnisse des durch logistische Regression ermittelten Schwellen-Index und die dazugehörige n-Butanol-Konzentration für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.

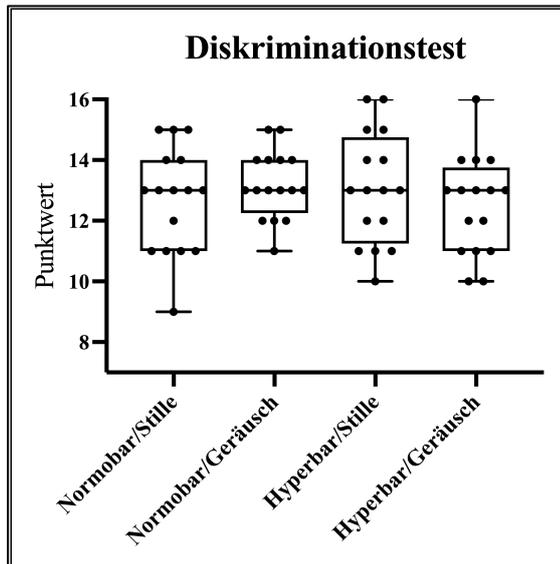


Abbildung 11: Individuelle Messergebnisse des Diskriminationstests als Boxplot.

Die Analyse der Mittelwertunterschiede der Daten des Diskriminationstests durch eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte, dass weder 'Druck' ( $F(1,15) = 0.153, p = 0.701, n = 16$ ) noch 'Störgeräusch' ( $F(1,15) = 0.011, p = 0.919, n = 16$ ) einen signifikanten Einfluss hatten. Die Wechselwirkung der Bedingungen 'Druck' und 'Störgeräusch' war nicht signifikant ( $F(1,15) = 2.684, p = 0.122, n = 16$ ).

Die Abbildung 11 zeigt die individuellen Messergebnisse des Diskriminationstests für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.

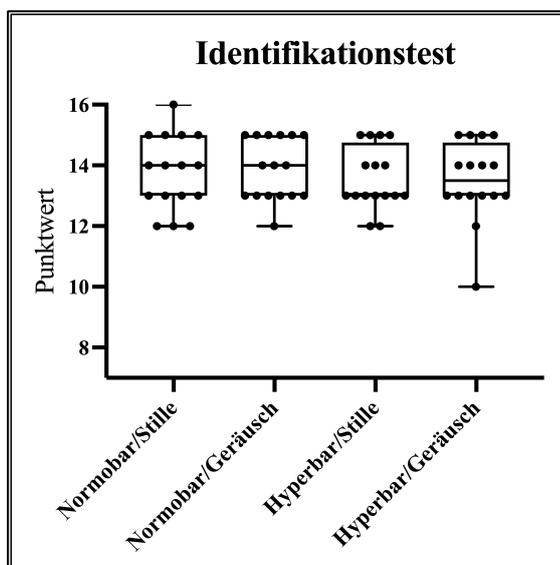
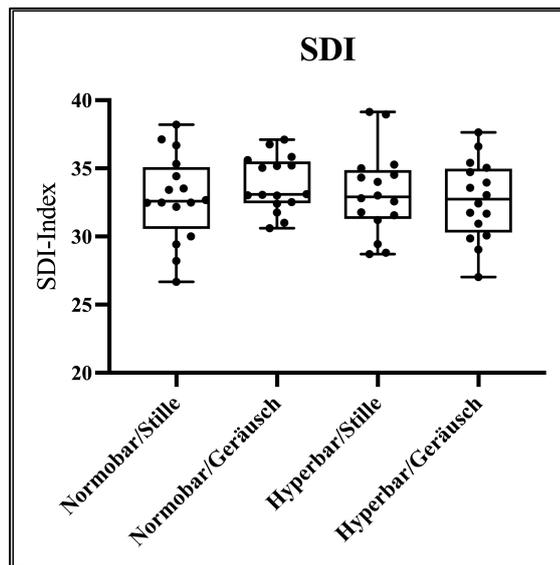


Abbildung 12: Individuelle Messergebnisse des Identifikationstests als Boxplot.

Die Analyse der Mittelwertunterschiede der Daten des Identifikationstests mittels Friedman-Test zeigte, dass anhand der mittleren Ränge eine Tendenz der Werte zur Reduktion in der Bedingung 'Stille' zu 'Geräusch', sowohl innerhalb der Bedingung 'Hyperbar' und 'Normobar' zu vermuten war. Ebenfalls waren die Werte in der Bedingung 'Normobar' zu 'Hyperbar' erhöht. Diese Tendenzen zeigten allerdings keine statistische Signifikanz ( $F(3) = 2.2, p = 2.202, n = 16$ ). Die Abbildung 12 zeigt die individuellen Messergebnisse des Identifikationstests für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.



**Abbildung 13:** Individuelle Messergebnisse des SDI-Index als Boxplot.

Die Analyse der Mittelwertunterschiede der Daten des SDI-Index durch eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte, dass weder 'Druck' ( $F(1,15) = 0.472, p = 0.503, n = 16$ ) noch 'Störgeräusch' ( $F(1,15) = 0.17, p = 0.686, n = 16$ ) einen signifikanten Einfluss hatten. Die Wechselwirkung der Bedingungen 'Druck' und 'Störgeräusch' war nicht signifikant ( $F(1,15) = 2.418, p = 0.141, n = 16$ ).

Die Abbildung 13 zeigt die individuellen Messergebnisse des SDI-Index für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.

### 4.3 Schmecktest

Die Ergebnisse der Untersuchungen der gustatorischen Sinneswahrnehmungen 'süß', 'sauer', 'salzig' und 'bitter' mittels Taste Strips sowie deren Summenwert (Gustatorischer Gesamtwert) wurden in der Tabelle 10 zusammengefasst. Auch hier wurden die Messergebnisse des jeweiligen Probanden den vier verschiedenen Untersuchungsbedingungen zugeordnet: normobarer Umgebungsdruck mit jeweils akustischer Stille (NS = Normobar Stille) und weißem Rauschen (NG = Normobar Geräusch), sowie hyperbarer Umgebungsdruck mit jeweils akustischer Stille (HS = Hyperbar Stille) und weißem Rauschen (HG = Hyperbar Geräusch).

**Tabelle 10:** Einzelergebnisse für die Geschmacksqualitäten und den gustatorischen Gesamtwert.

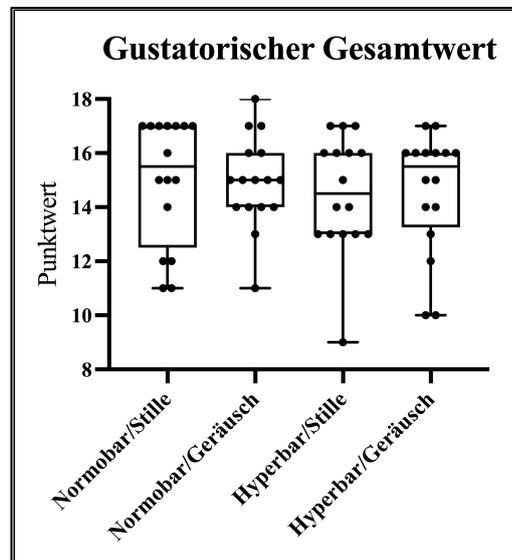
Proband	Süß				Sauer				Salzig				Bitter				Gustatorischer Gesamtwert				
	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG	NS	NG	HS	HG	
1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	15	17	17	16
2	4	3	4	3	3	2	3	3	4	4	3	4	4	3	1	3	17	14	13	15	
3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4	4	17	16	17	16	
4	2	3	2	2	2	2	2	1	2	3	4	2	3	3	3	3	11	13	13	10	
5	4	4	4	4	3	2	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	17	14	16	16	
6	2	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	14	14	16	15	
7	3	3	3	3	2	3	3	3	1	2	2	0	2	4	2	1	10	14	12	9	
8	3	4	4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	3	4	3	15	15	16	13	
9	2	4	4	4	2	3	1	2	2	2	3	4	4	4	4	4	12	15	14	16	
10	4	3	3	4	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	17	14	15	17	
11	4	4	4	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	17	17	17	14	
12	4	3	2	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	17	15	13	16	
13	4	3	4	4	3	4	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	15	15	13	16	
14	4	4	4	4	3	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	16	18	16	17	
15	4	3	2	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2	1	1	1	11	11	9	10	
16	3	4	4	3	2	2	2	3	3	3	3	2	3	4	3	3	12	15	13	12	
17	4	4	3	4	3	3	3	2	4	4	2	3	4	4	4	4	17	16	14	14	

In Tabelle 11 wurden die Mittelwerte der einzelnen Schmecktests und deren Standardabweichung (SD) dargestellt. Der gustatorische Gesamtwert scheint die Tendenz aufzuweisen in hyperbarer Umgebung, sowohl in 'Stille' als auch in 'Geräusch', reduziert zu sein. Bei den Tests der einzelnen Geschmacksqualitäten scheint dieses Muster auch bei 'sauer' vorhanden zu sein.

**Tabelle 11:** Mittelwerte der Schmecktests mit der dazugehörigen Standardabweichung.

	NORMOBAR		HYPERBAR	
	STILLE	GERÄUSCH	STILLE	GERÄUSCH
	Mittelwert (SD)	Mittelwert (SD)	Mittelwert (SD)	Mittelwert (SD)
<b>Gustatorischer Gesamtwert</b>	15 (2,4)	14,9 (1,7)	14,5 (2,2)	14,6 (2,6)
<b>Süß</b>	3,5 (0,9)	3,6 (0,6)	3,5 (0,9)	3,5 (0,7)
<b>Sauer</b>	2,8 (0,5)	2,8 (0,7)	2,5 (0,7)	2,6 (0,7)
<b>Salzig</b>	3 (1)	3,5 (0,7)	3,3 (0,8)	3,3 (0,8)
<b>Bitter</b>	3,6 (0,7)	3,4 (0,9)	3 (1)	3,4 (0,9)

Die erhobenen Werte der einzelnen Geschmacksqualitäten (‘süß’, ‘sauer’, ‘salzig’ und ‘bitter’) waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test in allen Bedingungen (‘Normobar-Stille’, ‘Normobar-Geräusch’, ‘Hyperbar-Stille’ und ‘Hyperbar-Geräusch’) nicht normalverteilt ( $p < 0,05$ ). Die Werte des Gustatorischen Gesamtwertes waren bis auf die Bedingung ‘Normobar-Geräusch’ nicht normalverteilt ( $p < 0,05$ ). Eine Normalverteilung der Werte wurden daher in Bezug zum gesamten gustatorischen Gesamtwert für die weitere Analyse nicht angenommen.



**Abbildung 14:** Individuelle Messergebnisse des Gustatorischen Gesamtwertes als Boxplot.

Bei der Analyse der Mittelwertunterschiede des gustatorischen Gesamtwertes ließ der Friedman-Test zunächst vermuten, dass die mittleren Ränge eine Tendenz zur Reduktion in der Bedingung ‘Geräusch’ zu ‘Stille’, sowohl innerhalb der Bedingung ‘Hyperbar’ und ‘Normobar’ vorlag. Diese Tendenzen waren allerdings ebenfalls nicht signifikant ( $F(3) = 0.902$ ,  $p = 0.825$ ,  $n = 16$ ).

Die Abbildung 14 zeigt die individuellen Messergebnisse des Gustatorischen Gesamtwertes für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.

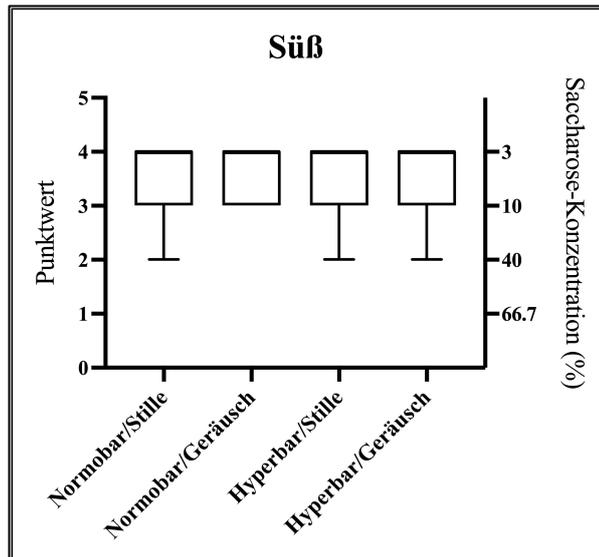


Abbildung 15: Individuelle Messergebnisse der Geschmacksqualität 'süß' als Boxplot.

Auch bei der Analyse der Mittelwertunterschiede der Geschmacksqualität 'süß' zeigte der Friedman-Test eine Tendenz zur Reduktion in der Bedingung 'Hyperbar' zu 'Normobar'. Diese Tendenzen war allerdings nicht signifikant ( $F(3) = 0.303, p = 0.959, n = 16$ ).

Die Abbildung 15 zeigt die individuellen Messergebnisse für die Geschmacksqualität 'süß' und die dazugehörige Saccharose-Konzentration für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.

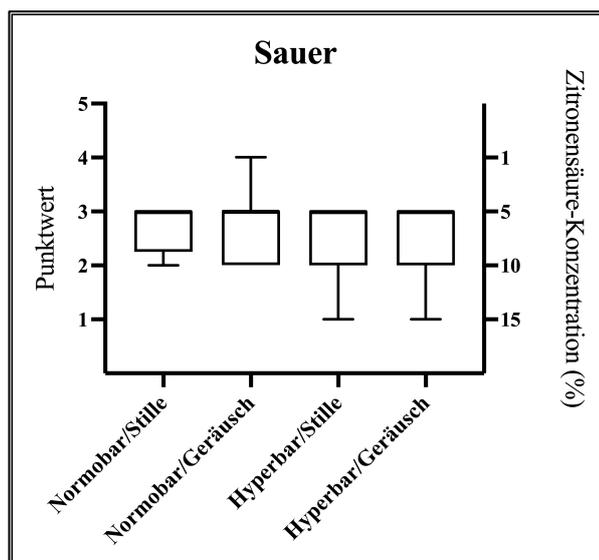
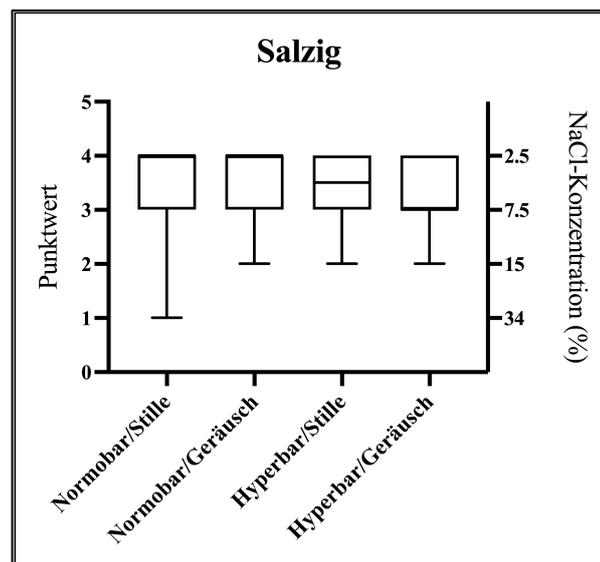


Abbildung 16: Individuelle Messergebnisse der Geschmacksqualität 'sauer' als Boxplot.

Bei der Analyse der Mittelwertunterschiede der Geschmacksqualität 'sauer' ergab der Friedman-Test, dass die mittleren Ränge eine Tendenz zur Reduktion in der Bedingung 'Hyperbar' zu 'Normobar' vermuten ließen. Diese Tendenzen waren ebenfalls nicht signifikant ( $F(3) = 2.455$ ,  $p = 0.484$ ,  $n = 16$ ).

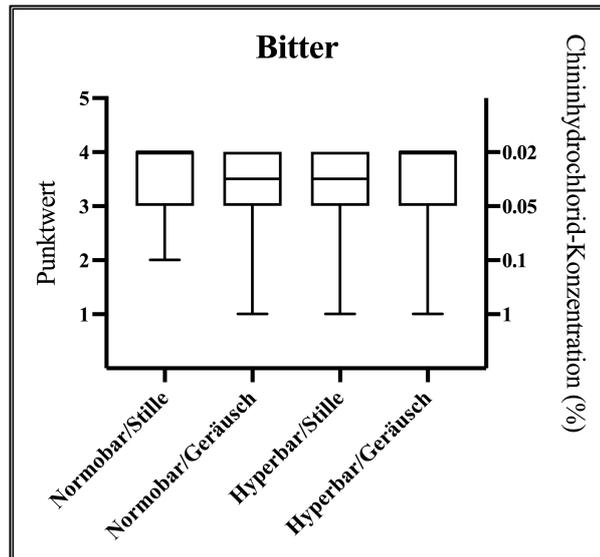
Die Abbildung 16 zeigt die individuellen Messergebnisse für die Geschmacksqualität 'sauer' und die dazugehörige Zitronensäure-Konzentration für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.



**Abbildung 17:** Individuelle Messergebnisse der Geschmacksqualität 'salzig' als Boxplot.

Die Auswertung der Mittelwertunterschiede bei der Geschmacksqualität 'salzig' ergab der Friedman-Test keine signifikanten Tendenzen ( $F(3) = 1.879$ ,  $p = 0.598$ ,  $n = 16$ ).

Die Abbildung 17 zeigt die individuellen Messergebnisse für die Geschmacksqualität 'salzig' und die dazugehörige Natriumchlorid-Konzentration für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.



**Abbildung 18:** Individuelle Messergebnisse der Geschmacksqualität 'bitter' als Boxplot.

Ebenso ergab die Auswertung der Mittelwertunterschiede mittels Friedman-Test bei der Geschmacksqualität 'bitter' keine signifikanten Tendenzen ( $F(3) = 4.292, p = 0.232, n = 16$ ).

Die Abbildung 18 zeigt die individuellen Messergebnisse für die Geschmacksqualität 'bitter' und die dazugehörige Chininhydrochlorid-Konzentration für alle Probanden und Untersuchungsbedingungen als Boxplot. Dargestellt sind der Medianwert, der Bereich zwischen 1. und 3. Quartil, sowie der Minimal- und Maximalwert.

Da der Friedman-Test bei allen Untersuchungen keine Unterschiede feststellen konnte, wurden keine Post-hoc-Tests durchgeführt.

## 5 Diskussion

### 5.1 Einfluss von hyperbarem Luftdruck

Die vorliegende Arbeit konnte nicht zeigen, dass hyperbarer Luftdruck das Geschmacks- und Geruchsempfinden im Vergleich zum normobaren Atmosphärendruck verändert. Die Ergebnisse zeigen bei den untersuchten Normalpersonen keinen Einfluss von hyperbarem Luftdruck auf die Identifikation und Diskrimination von Gerüchen und die Riechschwelle. Damit entspricht das Ergebnis in Teilen dem von Kühn et al., welche ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen den Riechschwellen bei hyperbaren und normobaren Luftdruck feststellen konnten (Kühn et al., 2009). Allerdings berichtet dieselbe Autorengruppe zwei Jahre zuvor über einen Einfluss von Überdruck auf die Riechschwelle im Sinne einer erhöhten Sensitivität (Kühn et al., 2007). Eine reduzierte Riechschwelle im Überdruck wurde auch von Ay et al. gemessen (Ay et al., 2014).

Die größten Unterschiede zwischen den genannten Studien fanden sich in der Anzahl der eingeschlossenen Probanden. So wurden bei Kühn et al. jeweils 23 Probanden eingeschlossen (Kühn et al., 2007, 2009). Ay et al. schlossen mit 40 Teilnehmern ebenfalls mehr Probanden ein als in der vorliegenden Arbeit. Die Mittelwertunterschiede unterliegen trotz Anwendung derselben Untersuchungsmethode (Sniffin' Sticks) einer gewissen Schwankung. So wurden die Mittelwerte für die Riechschwelle von Ay et al. unter normobaren Umgebungsdruck mit 7,95 (Standardabweichung 1,4) und unter hyperbaren Umgebungsdruck mit 11,6 (Standardabweichung 2,7) angegeben. Ein signifikanter Einfluss des hyperbaren Luftdrucks auf den Riechsinn ist vorhanden ( $p < 0,001$ ). Zusätzlich wird der Korrelationskoeffizient mit  $r = 0,7$  angegeben. Es wäre somit von einer starken Effektgröße ( $r > 0,5$ ) für den Einfluss von hyperbarem Luftdruck auf die Riechschwelle auszugehen. Dagegen fallen die Mittelwertunterschiede bei Kühn et al. geringer aus (Kühn et al., 2007). Unter normobaren Umgebungsdruck wurde ein Mittelwert von 7,0 (Standardabweichung 2,4) und unter hyperbaren Umgebungsdruck ein Mittelwert von 8,0 (Standardabweichung 2,8) angegeben. Ein signifikanter Zusammenhang wird nur zwischen den Messungen in hypobaren und hyperbaren Umgebungsdruck erwähnt ( $p = 0,030$ ), aber nicht zwischen normobaren und hyperbaren Umgebungsdruck. Auch der errechnete Korrelationskoeffizient von  $r = 0,2$  stellt im Vergleich zu Ay et al. eine schwache Effektgröße ( $r < 0,3$ ) dar. Die Fallzahlschätzung der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Effektgröße wurde auf der Grundlage der diskutierten Ergebnisse mit  $d = 0,5$  ( $r = 0,24$ ) gewählt und lag damit zwischen den von Ay et al. und Kühn et al. gemessenen Effektgrößen.

In Bezug auf den Einfluss des Umgebungsdrucks ähneln sich die vorgenannten Arbeiten, wobei Ay et al. mit 2,43 bar eine im Vergleich zu den anderen Autoren mit 2 bar nochmals erhöhte Kompression verwendete. Auch wenn die in früheren Arbeiten der anderen Autoren

beschriebenen Effekte sich durch die in dieser Arbeit untersuchten spezifischen Bedingungen nicht nachweisen ließen, scheint der menschliche Riechsinn vom hyperbarem Umgebungsluftdruck moduliert zu werden.

Als Erklärung für eine verbesserte Riechwahrnehmung werden zwei physikalische Gesetze diskutiert, welche bereits in Kapitel 1.4 angesprochen wurden. Ein Gasvolumen, welches eine bestimmte Anzahl von Duftstoffen enthält und nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte durch den erhöhten Umgebungsluftdruck komprimiert wird, würde anschließend eine größere Anzahl von Duftstoffen pro Volumen aufweisen als unter normobaren Bedingungen. Des Weiteren könnte ein erhöhter Umgebungsdruck zu einer verbesserten Löslichkeit von Duftstoffen in den nasalen Schleim führen wie es das Henry-Gesetz beschreibt, so dass die Aktivität der Riechsinneszellen zu nimmt. Beide Effekte würden ein verbessertes Riechvermögen zur Folge haben und könnten auch das reduzierte Riechempfinden im hypobaren Luftdruck erklären.

Es konnte in dieser Arbeit kein Einfluss des hyperbaren Luftdruckes auf das Schmeckvermögen von Normalpersonen nachgewiesen werden. Damit widerspricht das Ergebnis denen von Halbreich et al., welche steigende Fehler bei der Geschmackserkennung in allen Geschmacksmodalitäten mit steigenden Druckverhältnissen feststellten (Halbreich & Steiner, 1977). Allerdings scheinen die Wechselwirkung des Schmecksinns mit den Änderungen des Luftdruckes, sofern sie bei einer so geringen Evidenzlage vorhanden sind, komplexer als beim Riechsinn. So wurde bei Tauchern während einer 17-tägigen Sättigungstauchbelastung bei 18,6 ATA (18,84 bar) eine erhöhte Sensitivität für süße Reize und abnehmende Sensitivität für saure Reize mit zunehmender Aufenthaltszeit, sowie eine erhöhte Sensitivität für bittere Reize und reduzierte Sensitivität für salzige Reize mit zunehmender Tauchtiefe festgestellt (O'Reilly et al., 1977). Die einzelnen Geschmacksqualitäten scheinen unterschiedlich auf die Druckexposition zu reagieren. Dies bestätigen auch Rahne et al. in ihrer Untersuchung im hypobaren Luftdruck, in welcher der gustatorische Gesamtwert und im speziellen die Testung der sauren und salzigen Schmeckwahrnehmung reduziert waren (Rahne et al., 2018).

Aufgrund der überschaubaren Studienlage sind weitere wissenschaftliche Untersuchungen notwendig, um die Frage der Beeinträchtigung durch hyperbaren Luftdruck auf das menschliche Riech- und Schmeckvermögen noch detaillierter beantworten zu können.

## 5.2 Einfluss von Störgeräuschen

In vielen Fällen unterliegen der Riech- und Schmecksinn der multimodalen Sinnesverarbeitung. In den Untersuchungen wurde das weiße Rauschen als Störgeräusch ausgewählt. Deren physikalische Eigenschaften und möglichen Einflüsse auf den Menschen wurden in Kapitel 1.3 bereits besprochen. Es gibt verschiedene Theorien um die Effekten von weißem Rauschen insbesondere die Fähigkeit zur Signalverstärkung zu erklären.

Beim weißen Rauschen als flacher Klang ohne emotionale Wertigkeit wird als zugrundeliegender Mechanismus die stochastische Resonanz vermutet. Dabei handelt es sich um ein statistisches Phänomen, dass sich mit den Effekten von Geräuschen auf die Informationsverarbeitung beschäftigt. Im Gegensatz zu klassischen Theorien der Perzeption mit einer absoluten Reizschwelle für die Wahrnehmung, werden bei der stochastischen Resonanz unterschwellige Reize durch zufällige Signale beeinflusst. Die Wahrnehmungsschwelle auf neuronaler Ebene wird erst durch die Überlagerung des unterschweligen Reizes und der zufälligen Interferenz erreicht (Moss et al., 2004). Es wäre also denkbar, dass ein akustisches Signal wie weißes Rauschen mittels stochastischer Resonanz einen olfaktorischen oder gustatorischen Reiz, welcher unter der Wahrnehmungs- oder Erkennungsschwelle ist, beeinflusst.

Ein weiteres theoretisches Modell aus der Psychologie ist die Erregung (im Englischen *Arousal*), welches an dieser Stelle zur Erklärung hilfreich ist. Demnach wäre der Zustand der optimalen Gehirnfunktion bei einer moderaten Aktivität gewährleistet und durch Wachheit, Wachsamkeit und Aufmerksamkeit charakterisiert. Menschen mit einer reduzierten Aufmerksamkeit würden demnach eine geringere neurale Aktivität aufweisen (Angwin et al., 2018). Das würde erklären, warum bei Menschen mit einer Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung weißes Rauschen zu einer Verbesserung der Aufmerksamkeit führt (Pickens et al., 2019). Im Gegensatz dazu, könnte der Effekt der stochastischen Resonanz von weißem Rauschen bei Menschen mit erhöhter Aufmerksamkeit zu einer Verschlechterung der kognitiven Leistung führen (Angwin et al., 2018). In der vorliegenden Arbeit wurden gesunde Normalpersonen auf ihre Beeinflussung durch Störgeräusche untersucht. Eine detaillierte Voruntersuchung der kognitiven Funktionen erfolgte nicht. Eine normale oder gesteigerte kognitive Leistung der Probanden wurde nach dem Modell des Arousal angenommen. So wurde die Hypothese aufgestellt, dass Störgeräusche sich negativ auf den Riech- und Schmecksinn auswirken, indem die Empfindlichkeit reduziert wird. Eine weitere Theorie für den Einfluss von auditiven Reizen auf den Riech- und Schmecksinn ist der Heiligenschein- und Teufelshörner-Effekt (im Englischen *Halo-effect* oder *Horn-effect*). Der Heiligenscheineffekt beschreibt die Tendenz ein Erlebnis, welches zusammenfällt mit einem oder mehreren positiven Einflüssen, besser zu bewerten als es normalerweise der Fall wäre. Der Teufelshörner-Effekt beschreibt den gegenteiligen, negativen Effekt (Lawless & Heymann, 2010). So würde ein Sinneseindruck bei negativem, begleitendem auditivem Reiz wie zum Beispiel Straßenlärm oder Babygeschrei, negativer bewertet werden als bei Stille. Der Vorteil bei

der Verwendung von weißem Rauschen als flacher Klang ohne emotionale Wertigkeit ist, dass ein möglicher Einfluss durch eine emotionale Bewertung des Geräusches weitergehend reduziert werden konnte.

Dennoch sollte die Betrachtung der Auswirkungen beziehungsweise der vermuteten, zugrundeliegenden Theorien im Kontext des Studienaufbaus erfolgen. In den Untersuchungen dieser Arbeit wurde weißes Rauschen im Vergleich zu Stille untersucht. Seo et al. stellten fest, dass die Probanden bei kongruenten olfaktorischen und auditiven Reizen die Düfte intensiver bewerten (Seo & Hummel, 2011). Valesco et al. zeigten, dass weißes Rauschen einen stärkeren Einfluss hatte als konsonante oder dissonante Musik und die Probanden die Gerüche als weniger angenehm bewerteten oder sie weniger intensiv wahrnahmen (Velasco et al., 2014). Da das Störgeräusch keine Kongruenz zu den olfaktorischen oder gustatorischen Reizen in dieser Arbeit darstellte, wäre ein Heiligenschein- oder Teufelhörner-Effekt zumindest in Teilen plausibel.

Zusätzlich käme eine Beeinflussung durch den Lautstärkeunterschied zwischen Stille und Störgeräusch in Betracht. So wurde weißes Rauschen mit einem Schalldruckpegel von 70 dB präsentiert und könnte zu einer reduzierten Sinneswahrnehmung beigetragen haben. Fjaeldstad et al. konnten in ihrer Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Umgebungslautstärke und Riechschwelle feststellen (Fjaeldstad et al., 2019). Die Probanden hatten eine verbesserte olfaktorische Sensitivität in stiller Umgebung im Vergleich zu der Lärmbelastung bei einer funktionellen Magnetresonanztomographie.

Um weitere Antworten auf die Theorien zu finden, werden die zentralen Anteile der Sinneswahrnehmung untersucht, um funktionelle oder anatomische Zusammenhänge zu finden, welche die multimodale Sinnesverarbeitung erklären könnte. Eine direkte Verbindung scheint zwischen primären olfaktorischen und orbitofrontalen Kortex vorzuliegen, welcher an der hedonischen Bewertung beteiligt ist und bei welchem eine Rolle an der bewussten Wahrnehmung vermutet wird (Keller, 2011). Für die anderen Sinne wie dem Schmecksinn wird davon ausgegangen, dass der Thalamus die entscheidende Rolle bei der Modulation der sensorischen Aufmerksamkeit übernimmt (Halassa & Kastner, 2017). Trotzdem ist der Thalamus auch bei der Koordination der Verschiebung der Aufmerksamkeit zwischen dem Riechsinn und den anderen Sinnesmodalitäten beteiligt (Keller, 2011). So zeigten Plailly et al., dass eine erhöhte funktionelle Aktivität zwischen Thalamus und dem primären olfaktorischen Kortex bei einem olfaktorischen Reiz vorhanden ist und die Aktivität der Verbindung durch einen auditiven Reiz reduziert werden kann (Plailly et al., 2008).

In den Untersuchungen dieser Arbeit konnte kein Einfluss durch das Störgeräusch festgestellt werden. Die zweite Hypothese wurde somit widerlegt. Die Betrachtung des Einflusses von Störgeräuschen auf den Riech- und Schmecksinn von Normalpersonen ist im Rahmen der multimodalen Sinnesverarbeitung komplex. Neben den zentralen Aspekten scheint auch der Typ des Geräusches, die Lautstärke und die individuelle Psyche einen entscheidenden Einfluss auf den

Riech- und Schmecksinn zu haben. In der Literatur sind Hinweise und Erklärung für die Komplexität der Sinnesverarbeitung zu finden. Allerdings ist die Datenlage nicht einheitlich oder zu gering, so dass auch hierzu weitere Untersuchungen notwendig sind.

### **5.3 Einfluss durch die veränderte Löslichkeit der Atemgase**

In Kapitel 1.7.3 wurde über die Möglichkeit einer Hypoxie durch hypobaren Luftdruck und deren Auswirkung auf den Schmeck- und Riechsinn berichtet. Im Bereich des hyperbaren Luftdruckes ist allerdings Stickstoff, welches einen größeren Volumenanteil an der Atemluft hat, zu diskutieren. Kommt es nämlich bei einer Überdruckexposition zu einer gesteigerten Löslichkeit von Gasen nach dem Henry-Gesetz (siehe Kapitel 1.4) und somit zu einer Konzentrationserhöhung von Stickstoff in der Blutbahn, kann es zum Auftreten eines Tiefenrausches, auch Stickstoff- oder Inertgasnarkose genannt, kommen. Es resultieren Beeinträchtigung des zentralen Nervensystems wie Störungen der Konzentrations- und Urteilsfähigkeit als auch des Kurzzeitgedächtnisses. Die Betroffenen können eine euphorische oder stimulierende Gefühlslage entwickeln. Je höher die Druckexposition, desto ausgeprägter sind meist die Symptome. Des Weiteren können eine eingeschränkte motorische Geschicklichkeit, Halluzinationen, Benommenheit und Koma auftreten (Kirkland & Cooper, 2019). Der Tiefenrausch tritt in der Regel ab einer Tauchtiefe von 30 Metern auf, allerdings sind erste Symptome bereits bei 20 Meter möglich (Brubakk et al., 2014). Sie können auch bei Überdruckexpositionen in Druckkammern auftreten. Bei Untersuchungen mit größeren Druckexpositionen sollte der Tiefenrausch als potentielle Beeinträchtigung berücksichtigt werden. Für überschwellige Riechtests (Diskriminations- und Identifikationstest) ist bisher nicht bekannt, ab welchem Überdruckgrenzwert die stickstoffassoziierte, kognitive Einschränkung das Ergebnis beeinflussen kann.

Um dies kontrollieren zu können, wäre ein zusätzlicher Screeningtest zur allgemeinen Überprüfung der Hirnfunktionsleistung, wie der 'Trail Making Test', zur Detektion einer Beeinträchtigung durch den Tiefenrausch sinnvoll. In den Untersuchungen dieser Arbeit wurde auf einen Screeningtest verzichtet, weil andere Studien mit ähnlicher Überdruckexposition und verwendeten Materialien keinen Einfluss auf einen kognitiven Funktionstest nachweisen konnten (Ay et al., 2014; Kühn et al., 2007, 2009).

Allerdings hätte eine Beeinträchtigung durch den Tiefenrausch den gegenteiligen Effekt zu der vermuteten Auswirkung von hyperbarem Luftdruck der aufgestellten Hypothese. So wäre es denkbar, dass die zentrale Beeinträchtigung die erhöhte Sensibilität kaschierte.

## **5.4 Bewertung der Ergebnisse**

### **5.4.1 Riechprüfung**

Die mittels Sniffin' Sticks erlangten Ergebnisse können mit vorhandenen normativen Daten verglichen werden. Die Arbeit von Oleszkiewicz et al. bot mit 9.139 Probanden eine große Untersuchungsgruppe zum Vergleich (Oleszkiewicz et al., 2019). Die Mittelwerte aus den Untersuchungen dieser Arbeit wurden gebildet aus den Ergebnissen des jeweiligen Riechtests bei normobaren Umgebungsdruck und akustischer Stille, um eine vergleichbare Ausgangssituation zu haben. Außerdem wurden, um die Altersgruppen besser vergleichen zu können, die Mittelwerte für die Altersgruppen 21–30 (13 Probanden) und 31–40 (3 Probanden) ermittelt.

Der Mittelwert für den Diskriminationstest bei männlichen Probanden wird mit 12,89 in der Altersgruppe 21–30 und 12,67 in der Altersgruppe 31–40 angegeben. In den Untersuchungen ergaben sich die Mittelwerte 13 für die Altersgruppe 21–30 und 12,67 für die Altersgruppe 31–40. Somit war die Diskriminationsfähigkeit von Gerüchen durchschnittlich geringfügig erhöht bei der überwiegenden Anzahl der Probanden (13 Probanden im Alter von 22 bis 29 Jahren) und gleich innerhalb der Altersgruppe 31–40. Beim Identifikationstest verhielt es sich ähnlich. Hier zeigte der Vergleich der Altersgruppe 21–30 einen Anstieg des Mittelwertes um 0,37 von 13,63 bei Oleszkiewicz et al. und 14 bei der vorliegenden Arbeit. Bei der Altersgruppe 31–40 war eine Reduktion zu den Normwerten von 13,63 zu 13,33 festzustellen. Jedoch können die ermittelten Abweichungen als eher gering eingestuft werden und lagen innerhalb der jeweiligen Standardabweichung. Da die statistische Analyse der Daten keinen signifikanten Einfluss auf die olfaktorische Identifikations- und Diskriminationsfähigkeit durch hyperbaren Luftdruck oder Störgeräuschen feststellen konnte, ist von einer regelrechten Funktion der kognitiven Anteile des Riechsinnens auszugehen.

Der Mittelwert für den Schwellentest wurde von Oleszkiewicz et al. in der Altersgruppe 21–30 mit 9,11 bei einer Standardabweichung von 2,96 und in der Altersgruppe 31–40 mit 8,66 bei einer Standardabweichung von 2,87 angegeben. Im Vergleich dazu weichen die Daten der vorliegenden Arbeit mit einem Mittelwert von 6 in der Altersgruppe 21–30 und 6,55 in der Altersgruppe 31–40 zum Teil erheblich ab. Somit liegen die Daten für den Schwellentest in der Altersgruppe 21–30 außerhalb der Standardabweichung. Der überwiegende Anteil der Probanden scheint eine Hyposmie bei der Erkennung von n-Butanol im Vergleich zu den Normalwerten gehabt zu haben.

Die Abweichung ließe sich durch Unterschiede in der Methodik oder beim Material erklären. Bei der Ermittlung der Riechschwelle sollte der Riechstift mit der nächst geringeren Konzentration von n-Butanol nach zwei richtigen Antworten des Probanden auf dieselbe Konzentration erhöht werden. Bei einer falschen Antwort wurde die Konzentration des Riechstiftes erhöht (Lötsch et al., 2004). In der vorliegenden Studie wurde abweichend dazu bereits nach einer korrekten

Antwort die Konzentration reduziert, so dass bei einer falsch positiven Antwort von 33,3% ein höheres Ergebnis möglich gewesen wäre. Die Daten zeigen aber das Gegenteil.

Eine weitere Erklärung für die Abweichung wäre in einem veränderten Testmaterial zu suchen, da die gesamte Untersuchungsgruppe betroffen war. Beispielsweise könnten eine zu häufige Verwendung der Sniffin' Stick Testbatterie für die Riechschwelle, eine falsche Lagerung oder eine Verwendung über das Ablaufdatum hinaus zu einer Verflüchtigung der Duftstoffe geführt haben und somit niedrigere Ergebnisse (reduzierte Geruchswahrnehmung) zur Folge gehabt haben. Auch eine verstärkte Freisetzung der Duftstoffe durch den hyperbaren Luftdruck wäre denkbar. Eine Beurteilung ist retrospektiv nicht mehr möglich und erscheint im Vergleich zu den Ergebnissen der anderen Studien im hyperbaren Luftdruck auch unwahrscheinlich.

Auch beim SDI-Index waren die Normalwerte von Oleszkiewicz et al. höher als die ermittelten Werte. In der Altersgruppe 21–30 ist der Mittelwert 32,9 im Vergleich zu 35,7 bei einer Standardabweichung von 4,35 und in der Altersgruppe 31–40 ist der Mittelwert 32,55 im Vergleich zu 35,05 bei einer Standardabweichung von 4,12. Die Ergebnisse des SDI-Index sind damit noch mit diesen Referenzwerten vergleichbar.

Zusammenfassend stellten sich die erhobenen Daten des Diskriminations- und Identifikationstest innerhalb der Untersuchungsgruppe homogen dar und waren mit den normativen Daten vergleichbar. Bei der Riechschwelle unterlagen die Werte innerhalb der Untersuchungsgruppe starken, interindividuellen Abweichungen (Minimum 4, Maximum 10,64) und waren im Vergleich zu den normativen Daten reduziert.

#### 5.4.2 Schmeckprüfung

Da der Schmecksinn von Normalpersonen untersucht wurde, hätte man Werte erwartet, die mit den Daten der Normalbevölkerung vergleichbar sind. Eine multizentrische Studie von Landis et al. untersuchte die normativen Werte für den gustatorischen Gesamtwert für Taste Strips an 537 Probanden (davon 318 Frauen und 219 Männer), welche subjektiv einen normalen Schmecksinn hatten (Landis et al., 2009). Die publizierten Ergebnisse wurden in drei Altersgruppen aufgeteilt, wobei die Altersgruppe 18–40 Jahre als eine gute Vergleichsgruppe der vorliegenden Arbeit verwendet werden konnte.

Im Unterschied zur vorliegenden Arbeit, wurden bei Landis et al. die linke und rechte Zungenhälfte getrennt voneinander untersucht und deren Mittelwerte addiert. Da in bei den Probanden der vorliegenden Studie das Schmeckvermögen der gesamten Mundhöhle geprüft wurde, mussten für den Vergleich die addierten Mittelwerte und die Standardabweichungen von Landis et al. halbiert werden. So ergab sich ein Mittelwert von 12,15 bei einer Standardabweichung von 2,65. Die erhobenen Daten der vorliegenden Untersuchung erreichten einen Mittelwert von 15 und einer Standardabweichung von 2,4. Das Schmeckvermögen der Probanden scheint im Vergleich zur Normalbevölkerung überraschend besser zu sein. Eine

Ursache könnten die strengen Ein- und Ausschlusskriterien gewesen sein und eine daraus folgende im Vergleich zur Normalbevölkerung gesündere Untersuchungsgruppe. Außerdem könnte das geringere Durchschnittsalter von 26,44 Jahren, verglichen mit Landis et al. einen Einfluss gehabt haben.

## **5.5 Bewertung der Methodik**

Im Folgenden wird die für die vorliegende Studie verwendete Methodik hinsichtlich möglicher Effekte auf die Ergebnisse und deren Aussagekraft diskutiert.

### 5.5.1 Alter der Probanden

Als obere Altersgrenze für Probanden wurde das 35. Lebensjahr gewählt, weil die physiologischen Veränderungen der Sinnesorgane im Laufe des Lebens den Riech- und Schmecksinn, sowie den Hörsinn negativ hätten beeinflussen können. Die in Tabelle 2 aufgeführten Daten der Untersuchung von Oleszkiewicz et al. für die Altersverteilung der Normosmie, Anosmie, Hyposmie und Hyperosmie zeigten einen optimalen Altersbereich zwischen 21 und 40 Jahren (Oleszkiewicz et al., 2019). Hinsichtlich der Dysgeusie scheint die Häufigkeit in den frühen Lebensdekaden am geringsten, die Anzahl nimmt scheinbar ab dem 60. Lebensjahr zu und steigert sich deutlich bei der Altersgruppe der über 70-Jährigen (Schiffman, 1993). Das bestätigte auch eine andere Untersuchung, gemäß derer sich der optimale Altersbereich für Untersuchungen der gustatorischen Wahrnehmung mittels 'Taste Strips' zwischen dem 10. und 40. Lebensjahr finden ließe (Welge-Lüssen et al., 2011). Auch beim altersbedingten Verlust der Hörfähigkeit, welcher überwiegend den höheren Frequenzbereich betrifft, ist eine Tendenz der Zunahme der verminderten auditiven Wahrnehmung ab dem 35. Lebensjahr erkennbar (Valiente et al., 2015). Mit einem durchschnittlichen Alter der Probanden von 26,44 Jahren waren damit gute Voraussetzung für Untersuchungen des Riech-, Schmeck- und Hörsinnes gegeben.

### 5.5.2 Geschlecht der Probanden

Der Ausschluss weiblicher Probanden erfolgte aufgrund der Tatsache, dass Schwankungen des Riech- und Schmecksinns abhängig vom Hormonzyklus sein könnten (Martin & Sollars, 2017). Zusätzlich zeigten Venstrom et al., dass Frauen im Vergleich zu Männern unabhängig vom Alter einen verbesserten olfaktorischen Schwellenwert haben (Venstrom & Amoore, 1968). Doty et al. gaben in ihrem Review an, dass Frauen überwiegend bessere Ergebnisse bei der Erkennung und Identifikation von Duftstoffen, sowie bei den Untersuchungen zum olfaktorischen Gedächtnis erzielten und eine bessere Geruchsschwelle im Vergleich zu den männlichen Probanden hatten (Doty & Cameron, 2009).

Auch wenn, wie teilweise in Literaturverweise beschrieben, Frauen als geeignete Probanden für eine Studie in Frage gekommen wären, ist die Literatur nicht eindeutig wie am Beispiel der hormonellen Beeinflussung beschrieben. Die Beschränkung auf männliche Probanden erfolgte, weil für weibliche Studienteilnehmer eine deutliche Schwankung des Riechsinn durch ihren Hormonzyklus bekannt ist und die hierdurch zu erwartende größere Streuung der Daten vermieden werden sollte. Bei der relativ kleinen Untersuchungsgruppe mit 16 Teilnehmern wurden deshalb nur männliche Probanden rekrutiert. Bei größeren Untersuchungsgruppen könnte ein solch potentieller Einfluss vernachlässigbar gering ausfallen und auch Frauen miteingeschlossen werden.

### 5.5.3 Einfluss durch Medikamente

Diverse Medikamente könnten einen Einfluss auf die gustatorische, olfaktorische oder auditive Sensorik haben und somit wurde ihre Einnahme in den Ausschlusskriterien aufgelistet. Ein Blick auf die Analysen zum Arzneimittelverbrauch durch das wissenschaftliche Institut der AOK zeigt, dass die medikamentöse Tagesdosis in den Altersgruppen 20–24 und 25–29 im Jahr 2019 am niedrigsten lag und in der Altersgruppe 30–34 vergleichsweise nur gering anstieg (Wissenschaftliches Institut der AOK, 2020). Somit war in Anbetracht des durchschnittlichen Probandenalters von 26,44 Jahren und einer Altersspanne von 22 bis 35 Jahren mit einem geringen Einfluss durch versehentlich verschwiegene Medikamente zu rechnen.

### 5.5.4 Druckkammer

Die Verwendung einer Druckkammer zur definierten Veränderung von Umweltbedingungen bietet einerseits die Möglichkeiten zur exakten Kontrolle, andererseits aber auch räumliche Einschränkungen.

Wie bereits im Kapitel 4.1 beschrieben lag der minimale Temperaturwert während der Untersuchungen bei 27,1 °C und der maximale Wert 30 °C. Drews et al., welche den Einfluss der Temperatur auf die Geruchswahrnehmung im Bereich von 20 bis 35 °C untersuchten, konnte keinen Einfluss feststellen (Drews et al., 2020). Die dabei genutzten Temperaturbereiche waren mit denen der vorliegenden Untersuchung vergleichbar. Auch aufgrund einer nur geringen Temperaturschwankung von maximal 2,9 °C kann ein potentieller Einfluss als vernachlässigbar angesehen werden.

Abgesehen vom Luftdruck ließen sich die größten Schwankungen von Umgebungsbedingungen noch am ehesten bei der relativen Luftfeuchtigkeit feststellen. Wie ebenfalls im Kapitel 4.1 erwähnt, lag die minimale relative Luftfeuchtigkeit bei 37,1% und die maximale relative Luftfeuchtigkeit bei 59,15%. Untersuchungen von Kühn et al. legten nahe, dass die

Luftfeuchtigkeit das Geruchsvermögen beeinflussen könnten (Kühn et al., 2009). So zeigte sich eine geringere Riechschwelle bei 80% im Vergleich zu 30% relativer Luftfeuchtigkeit. In einer vorherigen Studie von Kühn et al. konnte auch bei einer geringeren Differenzen ( $50\pm 5\%$  gegenüber  $40\pm 10\%$  relative Luftfeuchtigkeit) eine Verbesserung der Geruchswahrnehmung nachgewiesen werden (Kühn et al., 2007). Andere Autoren konnten dagegen keinen Nachweis feststellen (Collado & Varela, 2008; Drews et al., 2020; Philpott et al., 2004).

Auch wenn der Einfluss in der Literatur kontrovers diskutiert wird, ist eine mögliche Beeinträchtigung der Geruchs- und Geschmackswahrnehmung nicht auszuschließen. Um einen potentiellen Einfluss auf die Geruchswahrnehmung durch Schwankungen der Luftfeuchtigkeit so gering wie möglich zu halten, empfiehlt es sich die Untersuchungen in einem zusammenhängenden zeitlichen Fenster durchzuführen. Dies war aufgrund der Auslastung der Druckkammer durch die zwischenzeitliche HBO-Therapie von Patienten nicht möglich. Es könnte aber als eine Möglichkeit in Betracht gezogen werden, den potentiellen Einfluss durch die Luftfeuchtigkeit zu reduzieren.

Des Weiteren konnte eine komplett geräuschlose Umgebung aufgrund der Hintergrundgeräusche im Druckkammerbetrieb nicht vollständig erreicht werden. Alle Probanden gaben an, trotz Gehörstöpsel und zusätzlich circumauralen Kopfhörern noch Geräusche wahrgenommen zu haben. Die Verwendung beider geräuschreduzierter Utensilien bot bei den begrenzten Anwendungsmöglichkeiten innerhalb der Druckkammer die besten Voraussetzungen, den Zustand 'Stille' zu erreichen. Inwieweit diese subjektiven Empfindungen das Ergebnis verzerrten oder als vernachlässigbar ausfielen, ist aufgrund der nicht nachvollziehbaren Quantifizierung schwer zu beurteilen.

Die zum Teil sehr intensiven Gerüche des Identifikationstestes wurden während der Untersuchungen teilweise vom anderen Untersucher oder Probanden wahrgenommen. Ein möglichst großer Abstand zwischen den Probanden innerhalb der Druckkammer konnte dies zwar reduzieren aber nicht gänzlich verhindern. Daher wurde der olfaktorische Schwelltest und der Identifikationstest nicht zur selben Zeit durchgeführt und eine Pause nach jedem Identifikationstest eingelegt. Der zunächst relativ klein erscheinende Rauminhalt der Hauptkammer mit einem Volumen von 22.150 Litern stellte jedoch keine Limitation dar, weil auch sonst übliche, normobaren Raumvolumina mit weniger Luftaustausch kaum größer sind (zum Beispiel 28.800 Liter bei 12 Quadratmeter Grundfläche und 2,4 Meter Höhe).

#### 5.5.5 Sniffin' Sticks

Die Untersuchung der olfaktorischen Sinneswahrnehmung mittels Riechstiften wird seit mehr als 20 Jahre wissenschaftlich überprüft und hat eine hohe Reliabilität, um Geruchsstörungen zu detektieren (Kobal et al., 1996). Die drei Testkategorien Schwellentest, Diskriminationstest und

Identifikationstest bieten mit einer einfachen Anwendung die Möglichkeit der klinischen Routineuntersuchung der Geruchsfähigkeit (Hummel et al., 1997).

Einige Autoren empfehlen mindestens einen überschwelligen Test (Diskriminations- oder Identifikationstest) neben dem Schwellentest zu verwenden. Denn der Schwellentest überprüft hauptsächlich die Funktion des Riechsinnes, während die überschwelligen Tests eher mit der kognitiven Funktion in Verbindung gesetzt werden (Göktas et al., 2018). In der vorliegenden Arbeit wurden alle drei zur Verfügung stehenden Testkategorien verwendet. Da der Identifikationstests dabei innerhalb weniger Stunden viermal angewendet wurde, könnte dies dazu geführt haben, dass sich die Probanden an das Ergebnis erinnern. Dadurch hätte das Ergebnis potentiell zunehmend besser ausfallen können, ohne dass eine reale Verbesserung der olfaktorischen Funktion vorlag. Um den Einfluss eines Lerneffektes zu reduzieren, wäre die Verwendung eines erweiterten Identifikationstests mit 32 statt 16 Gerüchen möglich gewesen (Sorokowska et al., 2015). Hierdurch hätte sich die Testdauer und damit auch die erheblich Überdruckbelastung verlängert. Die Abwägung nach Nutzen und Risiko hätte ein Missverhältnis zu Lasten der Probandensicherheit ergeben.

Ebenso wurde die Anwendung von objektiv quantifizierbaren Methoden, wie der Olfaktometrie, in Betracht gezogen. Aufgrund einer fehlenden Zulassung für hyperbare Umgebungen, wäre eine störungsfreie Funktion des Gerätes nicht gewährleistet gewesen. Außerdem wäre der Kosten-Nutzen-Faktor für die grundlegende Überprüfung der These, dass hyperbarer Luftdruck den Riechsinne verbessert, zu hoch gewesen. Ähnlich verhielt es sich für die Möglichkeit zur Durchführung von elektrophysiologischen Methoden, wie der Messung von olfaktorisch ereigniskorrelierten Potentialen, welche nur in spezialisierten Zentren durchgeführt werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von Sniffin' Sticks eine validierte und zuverlässige Untersuchungsmethode zur Überprüfung von Thesen im hyperbaren Milieu darstellen.

#### 5.5.6 Taste Strips

Die Untersuchung des Schmecksinns erfolgte mittels Taste Strips. Dieser psychophysikalische Test wird im klinischen Alltag angewendet und gilt als validiertes Untersuchungsverfahren zur Ermittlung des Schmeckvermögens (Landis et al., 2009).

Die alternativen Prüfmethode wären Schmecksprays und die Elektrogustrometrie gewesen. Bei Schmecksprays werden ebenfalls die vier Geschmacksqualitäten süß, sauer, bitter und salzig überprüft. Die Applikation eines Sprühstoßes von ca. 150 µl mit einer bestimmten Konzentration von gelösten Stoffen (zum Beispiel Zitronensäure) erfolgt in die Mundhöhle. Bei auffälligen Befunden sind weitere Testverfahren wie die diagnostisch genaueren Schmeckstreifen indiziert. Bei der Elektrogustrometrie wird die Zunge der Probanden elektrisch gereizt. Dies erzeugt eine Schmeckempfindung, welche mit metallischem oder saurem Charakter angegeben wird. Trotz der

abweichenden Geschmacksqualität besteht eine Korrelation zum chemischen Schmecken. Auf diese Weise können lokale Unterschiede auf der Zunge und dem Gaumen erfasst werden (Göktas et al., 2018).

Die Vorteile der Taste Strips liegen in der langen Haltbarkeit der Schmeckstreifen, der einfachen Anwendung, der Reliabilität, der relativ kurzen Untersuchungsdauer und der Möglichkeit der einseitigen Untersuchung einer Zungenhälfte (Mueller et al., 2003). Eine einfache Anwendbarkeit, insbesondere in hyperbarer Umgebung der Druckkammer, war durch die Taste Strips gewährleistet und sinnvoll. Eine hohe Sensitivität war bei der grundlegenden Fragestellung nicht gefordert und somit wurden die Taste Strips als geeignetes Verfahren bewertet. Retrospektiv kann sich allerdings die Frage gestellt werden, ob der hyperbare Luftdruck und die Störgeräusche einen so geringeren Effekt auf den Schmecksinn hatten, dass sich Abweichungen der Detektion durch Taste Strips entzogen. Diese Vermutung wurde durch das Vorhandensein eines Deckeneffekt bei der Schmeckprüfung bestätigt. In Abschnitt 5.7 wird diese statistische Limitation ausführlich besprochen. Eine Prüfmethode mit höherer Sensitivität wäre demnach besser geeignet gewesen.

#### **5.6 Überlegungen zur Tauchtiefe und den gesundheitlichen Risiken**

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einfluss von hyperbarem Luftdruck auf den Riech- und Schmecksinn geringer ausfallen könnte als zunächst angenommen wurde. Eine Erhöhung der Effektgröße im Sinne einer Steigerung des Überdruckes könnte das Erfassen eines Einflusses erleichtern. Die Forderung der Ethikkommission für die Untersuchungen dieser Arbeit ausschließlich erfahrene Taucher zu rekrutierten und die Überdruckexposition auf 2 bar zu beschränken, diene dem Schutz der Gesundheit der Probanden vor den Risiken der Exposition von hyperbarem Luftdruck. In der Einleitung im Kapitel 1.4 wurde versucht das Risiko für das Auftreten einer gesundheitlichen Schädigung anhand der aktuellen Literatur abzuschätzen.

Wäre eine höhere Druckexposition in Anbetracht der möglichen gesundheitlichen Risiken zu verantworten gewesen?

Das Auftreten potentieller Risiken ist grundsätzlich als gering einzustufen, wobei das Barotrauma nach der Statistik die häufigste Verletzung bei Überdruckexposition darstellt. In den Untersuchungen konnte das Risiko für ein Barotrauma im Rahmen der Voruntersuchung durch die Otoskopie und überprüfen des Valsalva-Manövers reduziert werden. Risikofaktoren wie eine Erkältung wurden im Vorgespräch und durch die Anamnese abgeklärt. Während der Druckkammerfahrten war eine dauerhafte Überwachung durch das Druckkammerpersonal sowie eines anwesenden Taucharztes gewährleistet, so dass jederzeit bei Unwohlsein oder Schmerzen die weitere Druckexposition gestoppt werden konnte. Das Rekrutieren von ausschließlich Tauchern, welche Erfahrung im Umgang mit dem Druckausgleich im Mittelohr haben, hat das

Risiko zusätzlich gemindert und sollte bei zukünftigen Studien im hyperbaren Luftdruck beibehalten werden. So lässt sich das Risiko für ein Barotrauma während der Untersuchungen reduzieren und es kann als relativ gering eingeordnet werden.

Die Dekompressionskrankheit stellt eine seltene Komplikation dar und kann unter Einhaltung der Dekompressionszeiten durch das Druckkammerpersonal auf ein Minimum reduziert werden. Die Dekompressionszeiten orientieren sich an den Druckkammer- und Austausch Tabellen des 'US Navy Diving Manual' (Direction of Commander, 2018) und könnten zur weiteren Risikoreduktion modifiziert werden. Diese Sicherheitsvorkehrungen würden sich auch positiv auf die Eintrittswahrscheinlichkeit einer arteriellen Gasembolie, als sehr seltene Komplikation, auswirken. Ein Restrisiko ist allerdings nicht auszuschließen.

In Anbetracht der bei regulären Therapien verwendeten Überdrücken, wie bei der Behandlung von Wundheilungsstörungen im Bereich von 2 bis 2,5 ATA (Niinikoski, 2004) und unter Einschluss von im Umgang mit hyperbarem Druck geübten Probanden wäre eine Untersuchung bis 2,45 bar (2,5 ATA) unter Einbehaltung der Sicherheitsvorkehrungen durchaus denkbar. So untersuchten Ay et al. das Geschmacks- und Geruchsempfinden bei 2,43 bar (Ay et al., 2014).

Die Literatur zeigt sich in Bezug auf das gesundheitliche Risiko von Tauchern und Druckkammerpersonal uneinheitlich (siehe Kapitel 1.4). Falls höhere Druckexpositionen erfolgen, sollte ein besonderes Augenmerk auf die Prävention der Barotraumata gelegt werden. Dafür könnten die Druckkammer und die passenden Sicherheitsvorkehrungen ein gesundheitliches Risiko weitestgehend reduzieren. Die Voruntersuchungen im Rahmen des Tauchmedizinischen Untersuchungsbogen (siehe Anhang 9.3) mit Anamnese, Krankengeschichte, körperlichen Untersuchung, Ruhe-EKG und Lungenfunktionstest konnten im Vorfeld der Druckkammerfahrt potentielle Beeinträchtigung der Probanden detektieren und trugen somit ebenfalls zur Risikoreduktion bei. Allerdings ist der praktische Nutzen solcher Untersuchungen zu hinterfragen, wenn der Einfluss von hyperbarem Luftdruck fragwürdig oder zu gering ist und die Risiken unverhältnismäßig hoch sind.

## 5.7 Biometrische Limitationen

Wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, basiert die Stichprobengröße auf der Annahme einer mittleren Effektgröße von  $d = 0,5$  sowie  $\alpha = 0,05$  und  $\beta = 0,2$ . Die mittlere Effektgröße von  $d = 0,5$  wurde auf der Annahme eines mittelgradigen Effektes von Luftdruck und Störgeräusch zurückgeführt. Da kein Effekt von Luftdruck und Störgeräusch nachgewiesen werden konnte, könnte die Effektgröße geringer gewesen sein als angenommen. Aufgrund des grundlegenden Charakter der Studie, der mit einer Druckkammerfahrt verbundenen gesundheitlichen Risiken und den fragwürdigen praktischen Nutzen eines kleinen Effektes von Luftdruck und Störgeräusch wurde eine Stichprobengröße von 16 Probanden gewählt. Es kann nicht ausgeschlossen, dass signifikante Unterschiede bei einer größeren Stichprobengröße erkennbar gewesen wären, der klinische Effekt würde in diesem Fall jedoch eher eine untergeordnete Bedeutung haben.

Eine weitere statistische Limitation dieser Arbeit könnte die Beeinflussung durch Untersucher oder Probanden gewesen sein. Trotz der Verblindung konnten bestimmte Experimentalbedingungen, wie zum Beispiel der vorherrschende Umgebungsdruck vom Probanden erkannt werden. Eine Schlafmaske wurde bei den Riechtesten für Diskrimination und Identifikation verwendet, um eine Erkennung des korrekten Riechstiftes zu vermeiden. Währenddessen erfolgte die Kommunikation der Untersucher mit den Probanden über taktile Reize. Die Kenntnis des korrekten Riechstiftes durch den Untersucher hätte das Ergebnis verzerren können. Grundsätzlich lässt die Methodik der Untersuchungen ein verblindetes Studiendesign nicht zu. Eine Verblindung reduziert im Normalfall die Wahrscheinlichkeit für Verzerrungen durch psychische und physikalische Einflüsse der Probanden beziehungsweise die Wahrscheinlichkeit der Übertragung von Informationen durch den Untersucher (Schulz & Grimes, 2007).

Die Ergebnisse der Schmeckprüfung zeigten einen Deckeneffekt (im Englischen *ceilling effect*). Dieser ist in den Abbildungen 15, 17 und 18 im Kapitel 4.3 bei den gustatorischen Sinneswahrnehmungen für 'süß', 'salzig' und 'bitter' zu erkennen. Der Deckeneffekt tritt auf, wenn die Tests relativ einfach sind, so dass der wesentliche Anteil der Probanden entweder die maximale oder nahezu maximale Punktzahl erreichen und das Ausmaß der Fähigkeiten der Probanden nicht ermittelt werden kann (Wang et al., 2008). Dies zeigte sich bereits daran, dass die Daten der Schmeckprüfung nicht normal verteilt waren. Die Mittelwertunterschiede wurden deshalb mittels nicht-parametrischen Friedman-Test überprüft. Deckeneffekte können die Detektion von signifikanten Unterschieden verhindern und sorgen so zu einem falsch-negativen Ergebnis. Ein sensitiverer Schmecktest hätte eventuell einen Effekt von hyperbarem Luftdruck oder Störgeräuschen erkennen können, allerdings wäre dann der klinische Nutzen zu hinterfragen. Zum anderen könnte wegen der Deckeneffekte und einer vermuteten Verbesserung der gustatorischen Wahrnehmung durch hyperbaren Luftdruck die Schmeckprüfung mittels Taste Strips für die Fragestellung nicht geeignet gewesen sein.

## **5.8 Schlussfolgerung**

Die Untersuchungen über den Einfluss von Umwelteinflüssen auf den Riech- und Schmecksinn waren notwendig, um ein besseres Verständnis zur Sinnesphysiologie zu erhalten. Praktisch relevant ist dies vor allem für die Gruppe der beruflich exponierten Menschen im Überdruck, zum Beispiel Berufstaucher, Tunnelarbeiter oder Kabinenpersonal. Die Gewährleistung einer suffizienten Sinnesfunktion zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken ist insbesondere bei Tiefseearbeiten mit extremen Umweltbedingungen notwendig. Auch für den Arbeitsschutz im Umgang mit Gefahrstoffen, ist eine unbeeinträchtigte olfaktorische Wahrnehmung erforderlich. Entsprechend der vorgenannten Abhandlung scheint der Einfluss von hyperbarem Luftdruck keinen oder allenfalls nur einen geringen Effekt auf die olfaktorische und gustatorische Sinneswahrnehmung zu haben. Diese Feststellung ist jedoch auf Umgebungsdrücke bis 2 bar einzugrenzen. Die auditive Beeinflussung durch weißes Rauschen mit einem Schallpegel von 70 dB scheint ebenfalls keinen relevanten Einfluss auf die chemische Sinneswahrnehmung zu haben. Im Rahmen weiterer Untersuchungen könnte der Einfluss höherer Überdrücke, anderer auditiver Reize mit höheren Schalldruckpegeln überprüft werden.

Hierbei sollten einige Hinweise berücksichtigt werden. Eine strenge Auswahl von Ein- und Ausschlusskriterien wie Alter oder Geschlecht können eine größere Streuung der Daten vermeiden, würde dann jedoch die klinisch-praktische Relevanz der Ergebnisse deutlich begrenzen. Der potentielle Einfluss von Schwankungen der Umgebungsbedingungen wie der Luftfeuchtigkeit oder Temperatur sollte so gering wie möglich gehalten werden. Dies könnte durch ein zeitlich zusammenhängendes Untersuchungsintervall oder wie in dieser Arbeit durch die Verwendungen von Druck- und Klimasimulationskammern erreicht werden, welche eine kontrollierbare Umgebung erzeugen können. Um eine Beeinträchtigung des zentralen Nervensystems durch die Inertgasnarkose zu reduzieren, könnten Gasgemische ähnlich zum Sättigungstauchen sowie ein Test zur allgemeinen Überprüfung der Hirnfunktionsleistung verwendet werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn der hyperbare Luftdruck weiter gesteigert werden sollte, um einen potentiellen Effekt des hyperbaren Luftdruckes zu erhöhen. Die Sniffin' Sticks als Extended Test mit Schwellen-, Identifikations- und Diskriminationstest stellen eine validierte und zuverlässige Untersuchungsmethode zur Überprüfung von Thesen im hyperbaren Milieu darstellen. Die Taste Strips scheinen aufgrund der geringen Sensitivität für solche Untersuchungen ungeeignet und es sollten genauere Testverfahren für die Schmeckprüfung angewendet werden. Außerdem könnte die Änderung der Charakteristik des Störgeräusches für die Forschung der multimodalen Sinnesverarbeitung sinnvoll sein.

## **6 Zusammenfassung**

Die menschlichen Sinne sind essenziell für die Wahrnehmung und Interaktionen mit der Umwelt. Veränderungen der Umweltbedingungen können zu einer Veränderung der Sinneswahrnehmung führen. So gibt es Hinweise, dass die Änderung des Luftdruckes den Riechsinn beeinflussen könnte. In der Mehrzahl der bisherigen Arbeiten bewirkte ein erhöhter Luftdruck eine verbesserte und ein geringerer Luftdruck eine reduzierte olfaktorische Wahrnehmung. Gleichwohl ist die vorhandene wissenschaftliche Datenlage zur Beeinflussung des Schmecksinns durch Luftdruckänderung gering und umfasst hauptsächlich die hypobare Umgebung. Die vorliegende Untersuchung konnte im Vergleich zu anderen Autoren jedoch keinen Einfluss von hyperbarem Luftdruck auf den Riech- oder Schmecksinn nachweisen.

Möglicherweise sind die Unterschiede zu bisherigen Studien auch auf die komplexen Zusammenhänge bei der Verarbeitung von mehreren Sinnesmodalitäten zurückzuführen. Diese multimodale Sinnesverarbeitung ist für das Verständnis der Funktionsweise der Sinne von Bedeutung und findet hauptsächlich abseits der Rezeptorzellen in der zentralen Verarbeitung der Sinnesreize statt. Eine Interaktion zwischen auditiven Reizen und dem Riech- sowie Schmecksinn wurde auch in der vorliegenden Arbeit überprüft. Hierbei ließ sich keine signifikante Beeinflussung der Riech- und Schmeckwahrnehmung finden, zumindest nicht durch den auditiven Reiz des weißen Rauschens. Weitere Untersuchungen sind nötig, um die Vielzahl der vorhandenen theoretischen Erklärungsmodelle zu bestätigen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Adkinson, C. (2011). Hyperbaric oxygen for treatment of problem wounds. *Minnesota Medicine*, 94(9), 41–46.
- Adler, E., Hoon, M. A., Mueller, K. L., Chandrashekar, J., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2000). A novel family of mammalian taste receptors. *Cell*, 100(6), 693–702.
- Ajmani, G. S., Suh, H. H., Wroblewski, K. E., & Pinto, J. M. (2017). Smoking and olfactory dysfunction: A systematic literature review and meta-analysis. *Laryngoscope*, 127(8), 1753–1761.
- Åkerlund, A., Bende, M., & Murphy, C. (1995). Olfactory threshold and nasal mucosal changes in experimentally induced common cold. *Acta Oto-Laryngologica*, 115(1), 88–92.
- Åkerlund, A., Greiff, L., Andersson, M., Bende, M., Alkner, U., & Persson, C. G. A. (1993). Mucosal exudation of fibrinogen in coronavirus-induced common colds. *Acta Oto-Laryngologica*, 113(3), 642–648.
- Allwood, M. C., Stanley, A., & Wright, P. (2002). *The cytotoxics handbook*. (p. 19). Radcliffe Medical Press.
- Altundağ, A., Salihoglu, M., Çayönü, M., Cingi, C., Tekeli, H., & Hummel, T. (2014). The effect of high altitude on olfactory functions. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 271(3), 615–618.
- Alvarez-Camacho, M., Gonella, S., Ghosh, S., Kubrak, C., Scrimger, R. A., Chu, K. P., & Wismer, W. V. (2016). The impact of taste and smell alterations on quality of life in head and neck cancer patients. *Quality of Life Research*, 25(6), 1495–1504.
- Angwin, A. J., Wilson, W. J., Arnott, W. L., Signorini, A., Barry, R. J., & Copland, D. A. (2017). White noise enhances new-word learning in healthy adults. *Scientific Reports*, 7(1).
- Angwin, A. J., Wilson, W. J., Copland, D. A., Barry, R. J., Myatt, G., & Arnott, W. L. (2018). The impact of auditory white noise on semantic priming. *Brain and Language*, 180–182, 1–7.
- Angwin, A. J., Wilson, W. J., Ripollés, P., Rodriguez-Fornells, A., Arnott, W. L., Barry, R. J., Cheng, B. B. Y., Garden, K., & Copland, D. A. (2019). White noise facilitates new-word learning from context. *Brain and Language*, 199.
- Antunes, G., Sebastião, A. M., & Simoes De Souza, F. M. (2014). Mechanisms of regulation of olfactory transduction and adaptation in the olfactory cilium. *PLoS ONE*, 9(8).
- Arias-Carrián, O., Stamelou, M., Murillo-Rodríguez, E., Menéndez-González, M., & Pöppel, E. (2010). Dopaminergic reward system: A short integrative review. *International Archives of Medicine*, 3(1).
- Ausschuss Krankenkasse nach §137c SGB V. (2003). *Abschlussbericht: Hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) - Dekompressionskrankheit*. Bundesanzeiger Nr. 72, Seite 7583.
- Ay, H., Salihoglu, M., Altundag, A., Tekeli, H., Memis, A., & Cayonu, M. (2014). The effect of hyperbaric conditions on olfactory functions. *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 41(3), 203–207.
- Barlow, L. A. (2015). Progress and renewal in gustation: New insights into taste bud development. *Development (Cambridge)*, 142(21), 3620–3629.
- Barnea, G., O'Donnell, S., Mancia, F., Sun, X., Nemes, A., Mandelsohn, M., & Axel, R. (2004). Odorant receptors on axon termini in the brain. *Science*, 304(5676), 1468.
- Bartal, M. (2001). Health effects of tobacco use and exposure. *Monaldi Archives for Chest Disease - Pulmonary Series*, 56(6), 545–554.
- Beidler, L. M., & Smallman, R. L. (1965). Renewal of cells within taste buds. *The Journal of Cell Biology*, 27(2), 263–272.
- Benovic, J. L., Kühn, H., Weyand, I., Codina, J., Caron, M. G., & Lefkowitz, R. J. (1987). Functional desensitization of the isolated beta-adrenergic receptor by the beta-adrenergic receptor kinase: potential role of an analog of the retinal protein arrestin (48-kDa protein). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 84(24), 8879–8882.
- Berling, K., Mannström, P., Ulfendahl, M., Danckwardt Lillieström, N., & Von Unge, M. (2015). The chorda tympani degenerates during chronic otitis media: An electron microscopy study.

- Acta Oto-Laryngologica*, 135(6), 542–548.
- Bernstein, H. (2019a). Grundlagen der Akustik. In *Elektroakustik: Mikrofone, Klangstufen, Verstärker, Filterschaltungen und Lautsprecher* (2nd ed., pp. 1–40). Springer Verlag.
- Bernstein, H. (2019b). Rausch- und Störabstand. In *Elektroakustik: Mikrofone, Klangstufen, Verstärker, Filterschaltungen und Lautsprecher* (2nd ed., pp. 215–215). Springer-Verlag.
- Besser, G., Liu, D. T., Renner, B., Hummel, T., & Mueller, C. A. (2020). Reversible obstruction of the olfactory cleft: impact on olfactory perception and nasal patency. *International Forum of Allergy and Rhinology*, 10(6), 713–718.
- Black, C. G. (1997). Sensory impairment following lower third molar surgery: a prospective study in New Zealand. *The New Zealand Dental Journal*, 93(413), 68–71.
- Boekhoff, I., Inglese, J., Schleicher, S., Koch, W. J., Lefkowitz, R. J., & Breer, H. (1994). Olfactory desensitization requires membrane targeting of receptor kinase mediated by beta gamma-subunits of heterotrimeric G proteins. *J Biol Chem.*, 269(1), 37–40.
- Boesveldt, S., Postma, E. M., Boak, D., Welge-Luessen, A., Schöpf, V., Mainland, J. D., Martens, J., Ngai, J., & Duffy, V. B. (2017). Anosmia-A clinical review. *Chemical Senses*, 42(7), 513–523.
- Borowsky, B., Adham, N., Jones, K. A., Raddatz, R., Artymyshyn, R., & Gerald, C. (2001). Trace amines: Identification of a family of mammalian G protein-coupled receptors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(16), 8966–8971.
- Bradley, J., Reisert, J., & Frings, S. (2005). Regulation of cyclic nucleotide-gated channels. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(3), 343–349.
- Brambilla, I., Pusateri, A., Pagella, F., Caimmi, D., Caimmi, S., & Marseglia, G. L. (2014). Adenoids in children: Advances in immunology, diagnosis, and surgery. *Clinical Anatomy*, 27(3), 346–352.
- Breer, H., Boekhoff, I., & Tareilus, E. (1990). Rapid kinetics of second messenger formation in olfactory transduction. *Nature*, 345(6270), 65–68.
- Brubakk, A. O., Ross, J. A. S., & Thom, S. R. (2014). Saturation diving; Physiology and pathophysiology. *Comprehensive Physiology*, 4(3), 1229–1272.
- Buck, L., & Axel, R. (1991). A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition. *Cell*, 65(1), 175–187.
- Buck, L. B. (2004). The search for odorant receptors. In *Cell* (Vol. 116, Issue 2 Suppl). Cell.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2017). <https://www.gesetze-im-internet.de/drucklv/index.html#BJNR019090972BJNE000401308>.
- Bushdid, C., Magnasco, M. O., Vossall, L. B., & Keller, A. (2014). Humans can discriminate more than 1 trillion olfactory stimuli. *Science*, 343(6177), 1370–1372.
- Carmichael, S. T., & Price, J. L. (1995). Limbic connections of the orbital and medial prefrontal cortex in macaque monkeys. *Journal of Comparative Neurology*, 363(4), 615–641.
- Carvalho, B. F. D. C., Alves, M. G. O., Dutra, M. T. D. S., Balducci, I., Nicodemo, D., & Almeida, J. D. (2019). Persistent dysgeusia post-halitosis treatment: How does it impact the patients' quality of life? *Medicina Oral Patologia Oral y Cirugia Bucal*, 24(3), 319–325.
- Cavazzana, A., Larsson, M., Münch, M., Hähner, A., & Hummel, T. (2018). Postinfectious olfactory loss: A retrospective study on 791 patients. *Laryngoscope*, 128(1), 10–15.
- Cecchini, M. P., Cardobi, N., Sbarbati, A., Monaco, S., Tinazzi, M., & Tamburin, S. (2018). Post-traumatic taste disorders: a case series. *Journal of Neurology*, 265(4), 836–844.
- Chandrashekar, J., Hoon, M. A., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2006). The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*, 444(7117), 288–294.
- Chen, M., Reed, R. R., & Lane, A. P. (2019). Chronic Inflammation Directs an Olfactory Stem Cell Functional Switch from Neuroregeneration to Immune Defense. *Cell Stem Cell*, 25(4), 501–513.
- Chéruel, F., Jarlier, M., & Sancho-Garnier, H. (2017). Effect of cigarette smoke on gustatory sensitivity, evaluation of the deficit and of the recovery time-course after smoking cessation. *Tobacco Induced Diseases*, 15(1).
- Collado, J. I. A., & Varela, H. V. (2008). Estudio de la sensibilidad olfativa a la piridina en población sana: Influencia de las variaciones de humedad. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 59(10), 475–479.

- Cooper, K. W., Brann, D. H., Farruggia, M. C., Bhutani, S., Pellegrino, R., & Di Pizio, A. (2020). COVID-19 and the Chemical Senses: Supporting Players Take Center Stage. *Neuron*, *107*(2), 219–233.
- Crauste-Manciet, S., Sessink, P. J. M., Ferrari, S., Jomier, J.-Y., & Brossard, D. (2005). Environmental contamination with cytotoxic drugs in healthcare using positive air pressure isolators. *The Annals of Occupational Hygiene*, *49*(7), 619–628.
- Croy, I., Nordin, S., & Hummel, T. (2014). Olfactory disorders and quality of life-an updated review. *Chemical Senses*, *39*(3), 185–194.
- Deems, D. A., Doty, R. L., Settle, R. G., Moore-Gillon, V., Shaman, P., Mester, A. F., Kimmelman, C. P., Brightman, V. J., & Snow, J. B. (1991). Smell and Taste Disorders, A Study of 750 Patients From the University of Pennsylvania Smell and Taste Center. *Archives of Otolaryngology--Head and Neck Surgery*, *117*(5), 519–528.
- Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., & Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin e.V. (2017). *Rhinosinusitis (S2k-Leitlinie)* (pp. 1–94).
- Dinc, A. S., Sengezer, T., Cayonu, M., & Sahin, M. M. (2020). Smoking cessation improves olfactory functions. *Laryngoscope*, *130*(2), 35–38.
- Direction of Commander, N. S. S. C. (2018). *US Diving Manual Rev. 7*.
- Dong, X., Han, S. kyoun, Zylka, M. J., Simon, M. I., & Anderson, D. J. (2001). A diverse family of GPCRs expressed in specific subsets of nociceptive sensory neurons. *Cell*, *106*(5), 619–632.
- Doolette, D. J., & Mitchell, S. J. (2010). Hyperbaric Conditions. In *Comprehensive Physiology* (Vol. 1, Issue 1). John Wiley & Sons, Inc.
- Doty, R. L., & Cameron, E. L. (2009). Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception. *Physiology and Behavior*, *97*(2), 213–228.
- Doty, R. L., Shaman, P., Applebaum, S. L., Giberson, R., Siksorski, L., & Rosenberg, L. (1984). Smell identification ability: Changes with age. *Science*, *226*(4681), 1441–1443.
- Drareni, K., Hummel, T., Bensafi, M., Serex, C. A., Hugentobler, M., Rimmer, J., Friedrich, H., Voruz, F., Terzic, A., & Landis, B. N. (2020). Olfactory and Gustatory Function in Patients With Different Types of Maxillofacial Trauma. *Laryngoscope*.
- Drews, T., Nehring, M., Werner, A., & Hummel, T. (2020). The sense of smell is not strongly affected by ambient temperature and humidity: a prospective study in a controlled environment. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*.
- Du Toit, D. F. (2003). Nervus lingualis: applied anatomical relevance to dental practice and oral surgery. *SADJ: Journal of the South African Dental Association*, *58*(5).
- Dubé, M., Le Coupanec, A., Wong, A. H. M., Rini, J. M., Desforges, M., & Talbot, P. J. (2018). Axonal Transport Enables Neuron-to-Neuron Propagation of Human Coronavirus OC43. *Journal of Virology*, *92*(17).
- Dulac, C. (2000). The physiology of taste, vintage 2000. *Cell*, *100*(6), 607–610.
- Eliezer, M., Hautefort, C., Hamel, A. L., Verillaud, B., Herman, P., Houdart, E., & Eloit, C. (2020). Sudden and Complete Olfactory Loss of Function as a Possible Symptom of COVID-19. *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *146*(7), 674–675.
- Ernst, C., Schmauz, G., & Kreck, G. (2012). Systeme und Konzepte der Reinraumtechnik. In *Reinraumtechnik* (1st ed., p. 32). Springer Verlag.
- Farbman, A. I. (1980). Renewal of taste bud cells in rat circumvallate papillae. *Cell Proliferation*, *13*(4), 349–357.
- Fark, T., Hummel, C., Hähner, A., Nin, T., & Hummel, T. (2013). Characteristics of taste disorders. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *270*(6), 1855–1860.
- Fischer, H. G., Schmidtbauer, C., Seiffart, A., Bucher, M., Plontke, S. K., & Rahne, T. (2020). Contribution of ambient noise and hyperbaric atmosphere to olfactory and gustatory function. *PLoS ONE*, *15*(10 October).
- Fjaeldstad, A. W., Nørgaard, H. J., & Fernandes, H. M. (2019). The Impact of Acoustic fMRI-Noise on Olfactory Sensitivity and Perception. *Neuroscience*, *406*, 262–267.
- Fokkens, W. J., Lund, V. J., Mullol, J., Bachert, C., Alobid, I., & Wormald, P. J. (2012). EPOS 2012: European position paper on rhinosinusitis and nasal polyps 2012. A summary for

- otorhinolaryngologists. *Rhinology*, 50(1), 1–12.
- Friedrich, R. W. (2006). Mechanisms of odor discrimination: Neurophysiological and behavioral approaches. *Trends in Neurosciences*, 29(1), 40–47.
- Gautier, J. F., & Ravussin, Y. (2020). A New Symptom of COVID-19: Loss of Taste and Smell. *Obesity*, 28(5), 848.
- Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. (2017). <https://www.gtuem.org/223/downloadbereich>.
- Gibson, A. D., & Garbers, D. L. (2000). Guanylyl Cyclases as a Family of Putative Odorant Receptors. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), 417–439.
- Gill, A. L., & Bell, C. N. A. (2004). Hyperbaric oxygen: its uses, mechanisms of action and outcomes. *QJM: Monthly Journal of the Association of Physicians*, 97(7), 385–395.
- Glusman, G., Bahar, A., Sharon, D., Pilpel, Y., White, J., & Lancet, D. (2000). The olfactory receptor gene superfamily: Data mining, classification, and nomenclature. *Mammalian Genome*, 11(11), 1016–1023.
- Glusman, G., Yanai, I., Rubin, I., & Lancet, D. (2001). The complete human olfactory subgenome. *Genome Research*, 11(5), 685–702.
- Goins, M. R., & Pitovski, D. Z. (2004). Posttonsillectomy taste distortion: A significant complication. *Laryngoscope*, 114(7), 1206–1213.
- Göktas, Ö., Frädorf, S., Walliczek-Dworschak, U., Han, P., & Hummel, T. (2018). Assessment of olfactory and gustatory function with validated tests. *Laryngo- Rhino- Otologie*, 97(5), 344–356.
- Gopinath, B., Anstey, K. J., Sue, C. M., Kifley, A., & Mitchell, P. (2011). Olfactory impairment in older adults is associated with depressive symptoms and poorer quality of life scores. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 19(9), 830–834.
- Gottfried, J. A. (2006). Smell: Central nervous processing. *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, 63, 44–69.
- Graham, S. (2019). Cytotoxic handling: isolators versus cabinets? *Hospital Healthcare Europe*.
- Greer, P. L., Bear, D. M., Lassance, J. M., Bloom, M. L., Tsukahara, T., & Datta, S. R. (2016). A Family of non-GPCR Chemosensors Defines an Alternative Logic for Mammalian Olfaction. *Cell*, 165(7), 1734–1748.
- Gromysz-Kałkowska, K., Wójcik, K., Szubartowska, E., & Unkiewicz-Winiarczyk, A. (2002). Taste perception of cigarette smokers. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio D: Medicina*, 57(2), 143–154.
- Halassa, M. M., & Kastner, S. (2017). Thalamic functions in distributed cognitive control. *Nature Neuroscience*, 20(12), 1669–1679.
- Halbreich, U., & Steiner, J. E. (1977). An interaction between hyperbaric pressure and taste in man. *Archives of Oral Biology*, 22(4), 287–289.
- Hamamichi, R., Asano-Miyoshi, M., & Emori, Y. (2006). Taste bud contains both short-lived and long-lived cell populations. *Neuroscience*, 141(4), 2129–2138.
- Han, Q., Peng, J., Xu, H., & Chen, Q. (2020). Taste cell is abundant in the expression of ACE2 receptor of 2019-nCoV. *Preprints*, 2020040424.
- Hass, N., Schwarzenbacher, K., & Breer, H. (2010). T1R3 is expressed in brush cells and ghrelin-producing cells of murine stomach. *Cell and Tissue Research*, 339(3), 493–504.
- Heck, G. L., Mierson, S., & Desimone, J. A. (1984). Salt taste transduction occurs through an amiloride-sensitive sodium transport pathway. *Science*, 223(4634), 403–405.
- Hornung, D. E. (2006). Nasal anatomy and the sense of smell. *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, 63, 1–22.
- Horowitz, L. F., Saraiva, L. R., Kuang, D., Yoon, K. H., Buck, L. B., Horowitz, L. F., Saraiva, L. R., & Yoon, K. H. (2014). Olfactory receptor patterning in a higher primate. *Journal of Neuroscience*, 34(37), 12241–12252.
- Hovan, A. J., Williams, P. M., Stevenson-Moore, P., Wahlin, Y. B., Ohrn, K. E. O., Elting, L. S., Spijkervet, F. K. L., & Brennan, M. T. (2010). A systematic review of dysgeusia induced by cancer therapies. *Supportive Care in Cancer*, 18(8), 1081–1087.
- Huang, A. L., Chen, X., Hoon, M. A., Chandrashekar, J., Guo, W., Tränkner, D., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2006). The cells and logic for mammalian sour taste detection. *Nature*,

- 442(7105), 934–938.
- 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. *Chemical Senses*, 22(1), 39–52.
- Huppertz, T., Freiherr, J., Olzowy, B., Kissner, U., Stephan, J., Fesl, G., Haegler, K., Feddersen, B., Fischer, R., Mees, K., & Becker, S. (2018). Reduction of olfactory sensitivity during normobaric hypoxia. *Auris Nasus Larynx*, 45(4), 747–752.
- Iannilli, E., Broy, F., Kunz, S., & Hummel, T. (2017). Age-related changes of gustatory function depend on alteration of neuronal circuits. *Journal of Neuroscience Research*, 95(10), 1927–1936.
- Jackson, C. A., & Wilson, D. A. (2006). World at work: Hospital pharmacy clean-rooms. *Occupational and Environmental Medicine*, 63(1), 68–70.
- Jain, K. K. (2017). *Textbook of Hyperbaric Medicine*. Springer International Publishing.
- Jerjes, W., Upile, T., Shah, P., Nhembe, F., Gudka, D., & Hopper, C. (2010). Risk factors associated with injury to the inferior alveolar and lingual nerves following third molar surgery-revisited. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 109(3), 335–345.
- Johansson, L., Åkerlund, A., Holmberg, K., Melén, I., & Bende, M. (2003). Prevalence of nasal polyps in adults: The Skövde population-based study. *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 112(7), 625–629.
- Jung, H. S., Akita, K., & Kim, J. Y. (2004). Spacing patterns on tongue surface-gustatory papilla. *International Journal of Developmental Biology*, 48(2–3), 157–161.
- Jüttner, B. (2014). *Leitlinie Tauchunfall*. Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V.
- Kato, A., & Touhara, K. (2009). Mammalian olfactory receptors: Pharmacology, G protein coupling and desensitization. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 66(23), 3743–3753.
- Katotomichelakis, M., Balatsouras, D., Tripsianis, G., Davris, S., Maroudias, N., Danielides, V., & Simopoulos, C. (2007). The effect of smoking on the olfactory function. *Rhinology*, 45(4), 273–280.
- Kawase, T., Maki, A., Kanno, A., Nakasato, N., Sato, M., & Kobayashi, T. (2012). Contralateral white noise attenuates 40-Hz auditory steady-state fields but not N100m in auditory evoked fields. *NeuroImage*, 59(2), 1037–1042.
- Keller, A. (2011). Attention and olfactory consciousness. *Frontiers in Psychology*, 2.
- Kirkland, P. J., & Cooper, J. S. (2019). *Nitrogen Narcosis In Diving*. StatPearls Publishing.
- Kiverniti, E., & Watters, G. (2012). Taste disturbance after mastoid surgery: Immediate and long-term effects of chorda tympani nerve sacrifice. *Journal of Laryngology and Otolaryngology*, 126(1), 34–37.
- Kobal, G., Hummel, T., Sekinger, B., Barz, S., Roscher, S., & Wolf, S. (1996). “Sniffin” Sticks’: Screening of olfactory performance. *Rhinology*, 34(4), 222–226.
- Kohli, P., Naik, A. N., Harruff, E. E., Nguyen, S. A., Schlosser, R. J., & Soler, Z. M. (2017). The prevalence of olfactory dysfunction in chronic rhinosinusitis. *Laryngoscope*, 127(2), 309–320.
- Kondo, K., Kikuta, S., Ueha, R., Suzukawa, K., & Yamasoba, T. (2020). Age-Related Olfactory Dysfunction: Epidemiology, Pathophysiology, and Clinical Management. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12.
- Konstantinidis, I., Chatziavramidis, A., Printza, A., Metaxas, S., & Constantinidis, J. (2010). Effects of smoking on taste: Assessment with contact endoscopy and taste strips. *Laryngoscope*, 120(10), 1958–1963.
- Krishna, A., Babu, S. V., Mohiyuddin, S. M. A., & Naseeruddin, K. (2017). Gustatory function in chronic otitis media (mucosal type) before and after tympanoplasty. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 274(1), 95–99.
- Kühn, M., Welsch, H., Zahnert, T., & Hummel, T. (2007). *Changes of pressure and humidity affect olfactory function*. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology.
- Kühn, M., Welsch, H., Zahnert, T., & Hummel, T. (2009). Verschlechtert sich das Riechvermögen beim Aufenthalt in moderater Höhe? *Laryngo- Rhino- Otologie*, 88(9), 583–586.

- Kuo, S. C., Hsu, C. K., Tsai, C. T., & Chieh, M. J. (2018). Hyperbaric oxygen therapy and acute carbon monoxide poisoning. *Journal of Nursing*, 65(4), 11–17.
- Kurahashi, T., & Menini, A. (1997). Mechanism of odorant adaptation in the olfactory receptor cell. *Nature*, 385(6618), 725–729.
- Kurzweil, P. (2013). *Das Vieweg Einheiten-Lexikon: Begriffe, Formeln und Konstanten aus Naturwissenschaften, Technik und Medizin* (2nd ed.). Springer-Verlag.
- Lampl, L., Frey, G., Fischer, D., & Fischer, S. (2009). Hyperbare Oxygenation - Stellenwert in der Intensivtherapie Teil 1. In *Anesthesiologie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie* (Vol. 44, Issue 9, pp. 578–585).
- Landis, B. N., Welge-Luessen, A., Brämerson, A., Bende, M., Mueller, C. A., Nordin, S., & Hummel, T. (2009). “taste Strips” - A rapid, lateralized, gustatory bedside identification test based on impregnated filter papers. *Journal of Neurology*, 256(2), 242–248.
- Laurendon, T., Radulesco, T., Mugnier, J., Gérard, M., Chagnaud, C., El Ahmadi, A. A., & Varoquaux, A. (2020). Bilateral transient olfactory bulb edema during COVID-19-related anosmia. *Neurology*, 95(5), 224–225.
- Laurent, M., Gogly, B., Tahmasebi, F., & Paillaud, E. (2011). Les candidoses oropharyngées des personnes âgées. *Geriatric et Psychologie Neuropsychiatrie Du Vieillessement*, 9(1), 21–28.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food*. Springer New York.
- Lechien, J. R., Chiesa-Estomba, C. M., De Siati, D. R., Horoi, M., Le Bon, S. D., & Saussez, S. (2020). Olfactory and gustatory dysfunctions as a clinical presentation of mild-to-moderate forms of the coronavirus disease (COVID-19): a multicenter European study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277(8), 2251–2261.
- Lenarz, T., & Boenninghaus, H.-G. (2012). Mundhöhle und Pharynx. In *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde* (14th ed., pp. 225–267). Springer-Verlag.
- Liberles, S. D., & Buck, L. B. (2006). A second class of chemosensory receptors in the olfactory epithelium. *Nature*, 442(7103), 645–650.
- Lin, L. W., Weng, S. C., Wu, H. S., Tsai, L. J., Lin, Y. L., & Yeh, S. H. (2018). The Effects of White Noise on Agitated Behaviors, Mental Status, and Activities of Daily Living in Older Adults with Dementia. *Journal of Nursing Research*, 26(1), 2–9.
- Lötsch, J., Lange, C., & Hummel, T. (2004). A simple and reliable method for clinical assessment of odor thresholds. *Chemical Senses*, 29(4), 311–317.
- Lucero, M. T. (2013). Peripheral modulation of smell: Fact or fiction? *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 24(1), 58–70.
- Lüders, K., & Pohl, R. O. (2017a). Akustik. In *Pohls Einführung in die Physik* (21st ed., p. 253). Springer Verlag.
- Lüders, K., & Pohl, R. O. (2017b). Vom Hören. In *Pohls Einführung in die Physik* (21st ed., Vol. 1, p. 365). Springer Verlag.
- Lyall, V., Heck, G. L., Vinnikova, A. K., Ghosh, S., Phan, T. H. T., Alam, R. I., Russell, O. F., Malik, S. A., Bigbee, J. W., & DeSimone, J. A. (2004). The mammalian amiloride-insensitive non-specific salt taste receptor is a vanilloid receptor-1 variant. *Journal of Physiology*, 558(1), 147–159.
- Maeda, E., Katsura, H., Nin, T., Sakaguchi-Fukunaga, A., Mishiro, Y., & Sakagami, M. (2018). Change of somatosensory function of the tongue caused by chorda tympani nerve disorder after stapes surgery. *Laryngoscope*, 128(3), 701–706.
- Manzini, I., Frasnelli, J., & Croy, I. (2014). Wie wir riechen und was es für uns bedeutet: Grundlagen des Geruchssinns. *HNO*, 62(12), 846–852.
- Marcus, S., Roland, L. T., DelGaudio, J. M., & Wise, S. K. (2019). The relationship between allergy and chronic rhinosinusitis. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 4(1), 13–17.
- Martin, L. J., & Sollars, S. I. (2017). Contributory role of sex differences in the variations of gustatory function. *Journal of Neuroscience Research*, 95(1–2), 594–603.
- Mashukova, A., Spehr, M., Hatt, H., & Neuhaus, E. M. (2006).  $\beta$ -arrestin2-mediated internalization of mammalian odorant receptors. *Journal of Neuroscience*, 26(39), 9902–9912.
- Matsunami, H., Montmayeur, J. P., & Buck, L. B. (2000). A family of candidate taste receptors

- in human and mouse. *Nature*, 404(6778), 601–604.
- Matthys, H. (1978). *Medizinische Tauchfibel* (2nd ed.). Springer.
- Maurer, D. (2016). *Hyperbare Oxygenation und Tauchmedizin: Einführung in Geschichte, Physik, Wirkungsweise und Anwendung*. Springer Fachmedien.
- McManus, L. J., Stringer, M. D., & Dawes, P. J. D. (2012). Iatrogenic injury of the chorda tympani: A systematic review. *Journal of Laryngology and Otology*, 126(1), 8–14.
- Moon, R. E. (2019). *Hyperbaric Oxygen Therapy INDICATIONS* (14th ed.). Undersea and Hyperbaric Medical Society.
- Moore, P. A., & Haas, D. A. (2010). Paresthesias in Dentistry. *Dental Clinics of North America*, 54(4), 715–730.
- Mori, K., & Sakano, H. (2011). How Is the Olfactory Map Formed and Interpreted in the Mammalian Brain? *Annual Review of Neuroscience*, 34(1), 467–499.
- Mortazavi, H., Shafiei, S., Sadr, S., & Safiaghdam, H. (2018). Drug-related dysgeusia: A systematic review. *Oral Health and Preventive Dentistry*, 16(6), 499–507.
- Moss, F., Ward, L. M., & Sannita, W. G. (2004). Stochastic resonance and sensory information processing: A tutorial and review of application. *Clinical Neurophysiology*, 115(2), 267–281.
- Mueller, C., Kallert, S., Renner, B., Stiassny, K., Temmel, A. F. P., Hummel, T., & Kobal, G. (2003). Quantitative assessment of gustatory function in a clinical context using impregnated “taste strips.” *Rhinology*, 41(1), 2–6.
- Mullol, J., Alobid, I., Mariño-Sánchez, F., Izquierdo-Domínguez, A., Marin, C., Klimek, L., Wang, D. Y., & Liu, Z. (2020). The Loss of Smell and Taste in the COVID-19 Outbreak: a Tale of Many Countries. *Current Allergy and Asthma Reports*, 20(10).
- Muth, C. M., Shank, E. S., & Larsen, B. (2000). Severe diving accidents: physiopathology, symptoms, therapy. *Anaesthetist*, 49(4), 302–316.
- Nguyen, H. M., Reyland, M. E., & Barlow, L. A. (2012). Mechanisms of taste bud cell loss after head and neck irradiation. *Journal of Neuroscience*, 32(10), 3474–3484.
- Niinikoski, J. H. A. (2004). Clinical Hyperbaric Oxygen Therapy, Wound Perfusion, and Transcutaneous Oximetry. *World Journal of Surgery*, 28(3), 307–311.
- Nishijima, H., Kondo, K., Yamamoto, T., Nomura, T., Kikuta, S., Shimizu, Y., Mizushima, Y., & Yamasoba, T. (2018). Influence of the location of nasal polyps on olfactory airflow and olfaction. *International Forum of Allergy and Rhinology*, 8(6), 695–706.
- Nochetto, M., Nord, D., Saraiva, C., & Chimiak, J. (2019). DIVING INJURIES. *DAN Annual Diving Report 2019 Edition: A Report on 2017 Diving Fatalities, Injuries, and Incidents*.
- O’Reilly, J. P., Respicio, B. L., Kurata, F. K., & Hayashi, E. M. (1977). Hana Kai II: a 17 day dry saturation dive at 18.6 ATA. VII: Auditory, visual, and gustatory sensations. *Undersea Biomedical Research*, 4(3), 307–314.
- Ogawa, T., Annear, M. J., Ikebe, K., & Maeda, Y. (2017). Taste-related sensations in old age. *Journal of Oral Rehabilitation*, 44(8), 626–635.
- Olender, T., Feldmesser, E., Atarot, T., Eisenstein, M., & Lancet, D. (2004). The olfactory receptor universe - From whole genome analysis to structure and evolution. *Genetics and Molecular Research*, 3(4), 545–553.
- Oleszkiewicz, A., Schriever, V. A., Croy, I., Hähner, A., & Hummel, T. (2019). Updated Sniffin’ Sticks normative data based on an extended sample of 9139 subjects. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 276(3), 719–728.
- Osaki, T., Ohshima, M., Tomita, Y., Matsugi, N., & Nomura, Y. (1996). Clinical and physiological investigations in patients with taste abnormality. *Journal of Oral Pathology and Medicine*, 25(1), 38–43.
- Pangborn, R. M., Gibbs, Z. M., & Tassan, C. (1978). Effect of hydrocolloids on apparent viscosity and sensory properties of selected beverages. *Journal of Texture Studies*, 9(4), 415–436.
- Pape, H.-C., Kurtz, A., & Silbernagl, S. (2019a). Geruchs- und Geschmackssinn. In *Physiologie* (9th ed., pp. 809–824). Georg Thieme Verlag KG.
- Pape, H.-C., Kurtz, A., & Silbernagl, S. (2019b). Hören und Sprechen. In *Physiologie* (9th ed., pp. 740–759). Georg Thieme Verlag KG.
- Passáli, G. C., Ralli, M., Galli, J., Caló, L., & Paludetti, G. (2008). How relevant is the impairment

- of smell for the quality of life in allergic rhinitis? *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 8(3), 238–242.
- Pavlidis, P., Gouveris, C., Kekes, G., & Maurer, J. (2014). Changes in electrogustometry thresholds, tongue tip vascularization, density and form of the fungiform papillae in smokers. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 271(8), 2325–2331.
- Pence, T. S., Reiter, E. R., DiNardo, L. J., & Costanzo, R. M. (2014). Risk factors for hazardous events in olfactory-impaired patients. *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 140(10), 951–955.
- Peppel, K., Boehhoff, I., McDonald, P., Breer, H., Caron, M. G., & Lefkowitz, R. J. (1997). G protein-coupled receptor kinase 3 (GRK3) gene disruption leads to loss of odorant receptor desensitization. *Journal of Biological Chemistry*, 272(41), 25425–25428.
- Perea-Martinez, I., Nagai, T., & Chaudhari, N. (2013). Functional Cell Types in Taste Buds Have Distinct Longevities. *PLoS ONE*, 8(1), e53399.
- Pereira, L., Monyor, J., Almeida, F. T., Almeida, F. R., Guerra, E., Flores-Mir, C., & Pachêco-Pereira, C. (2018). Prevalence of adenoid hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 38, 101–112.
- Petersen, C. I., Jheon, A. H., Mostowfi, P., Charles, C., Ching, S., Thirumangalathu, S., Barlow, L. A., & Klein, O. D. (2011). FGF Signaling Regulates the Number of Posterior Taste Papillae by Controlling Progenitor Field Size. *PLoS Genetics*, 7(6), e1002098.
- Philpott, C., Goodenough, P., Passant, C., Robertson, A., & Murty, G. (2004). The effect of temperature, humidity and peak inspiratory nasal flow on olfactory thresholds. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*, 29(1), 24–31.
- Pickens, T. A., Khan, S. P., & Berlau, D. J. (2019). White noise as a possible therapeutic option for children with ADHD. *Complementary Therapies in Medicine*, 42, 151–155.
- Pippi, R., Spota, A., & Santoro, M. (2018). Medicolegal Considerations Involving Iatrogenic Lingual Nerve Damage. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 76(8), 1651.e1–1651.e13.
- Plailly, J., Howard, J. D., Gitelman, D. R., & Gottfried, J. A. (2008). Attention to odor modulates thalamocortical connectivity in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 28(20), 5257–5267.
- Politi, L. S., Salsano, E., & Grimaldi, M. (2020). Magnetic Resonance Imaging Alteration of the Brain in a Patient with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) and Anosmia. *JAMA Neurology*, 77(8).
- Ponticelli, E., Clari, M., Frigerio, S., De Clemente, A., Bergese, I., Scavino, E., Bernardini, A., & Sacerdote, C. (2017). Dysgeusia and health-related quality of life of cancer patients receiving chemotherapy: A cross-sectional study. *European Journal of Cancer Care*, 26(2).
- Pougnnet, R., Pougnnet, L., Lucas, D., Henckes, A., Loddé, B., & Dewitte, J. D. (2018). Health effects of hyperbaric exposure on chamber attendants: A literature review. *International Maritime Health*, 69(1), 58–62.
- Price, J. L. (1973). An autoradiographic study of complementary laminar patterns of termination of afferent fibers to the olfactory cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 150(1), 87–108.
- Printza, A., & Constantinidis, J. (2020). The role of self-reported smell and taste disorders in suspected COVID-19. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 277(9), 2625–2630.
- Rahne, T., Köppke, R., Nehring, M., Plontke, S. K., & Fischer, H. G. (2018). Does ambient noise or hypobaric atmosphere influence olfactory and gustatory function? *PLoS ONE*, 13(1).
- Rawson, N. E., Gomez, G., Cowart, B., Brand, J. G., Lowry, L. D., Pribitkin, E. A., & Restrepo, D. (1997). Selectivity and response characteristics of human olfactory neurons. *Journal of Neurophysiology*, 77(3), 1606–1613.
- Riel, D. Van, Verdijk, R., & Kuiken, T. (2015). The olfactory nerve: A shortcut for influenza and other viral diseases into the central nervous system. *Journal of Pathology*, 235(2), 277–287.
- Rønne, F. M., Laugesen, S., Jensen, N. S., & Pedersen, J. H. (2016). Minimum audible angles measured with simulated normally-sized and oversized pinnae for normal-hearing and hearing-impaired test subjects. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 894, 207–217.

- Rouquier, S., Blancher, A., & Giorgi, D. (2000). The olfactory receptor gene repertoire in primates and mouse: Evidence for reduction of the functional fraction in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(6), 2870–2874.
- Rouquier, S., Taviiaux, S., Trask, B. J., Brand-Arpon, V., Van den Engh, G., Demaille, J., & Giorgi, D. (1998). Distribution of olfactory receptor genes in the human genome. *Nature Genetics*, 18(3), 243–250.
- Saito, T., Ito, T., Ito, Y., Manabe, Y., & Sano, K. (2016). Comparison of fungiform taste-bud distribution among age groups using confocal laser scanning microscopy in vivo in combination with gustatory function. *European Journal of Oral Sciences*, 124(2), 135–140.
- Sarafoleanu, C., Mella, C., Georgescu, M., & Perederco, C. (2009). The importance of the olfactory sense in the human behavior and evolution. *Journal of Medicine and Life*, 2(2), 196–198.
- Schiffman, S. S. (1993). Perception of taste and smell in elderly persons. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(1), 17–26.
- Schiffman, S. S., & Wedral, E. (1996). Contribution of taste and smell losses to the wasting syndrome. *Age & Nutrition*, 7(2), 106–120.
- Schmidt, R. F., Lang, F., & Heckmann, M. (2007a). Geruchs- und Geschmackssinn. In *Physiologie des Menschen* (30th ed., pp. 421–436). Springer Verlag.
- Schmidt, R. F., Lang, F., & Heckmann, M. (2007b). Peripheres auditorisches System. In *Physiologie des Menschen* (30th ed., pp. 685–700). Springer Verlag.
- Schmidt, R. F., Lang, F., & Heckmann, M. (2007c). Zentrale auditorische Verarbeitung. In *Physiologie des Menschen* (30th ed., pp. 701–706). Springer Verlag.
- Schulz, K. F., & Grimes, D. A. (2007). Reihe Epidemiologie 8: Verblindung in randomisierten Studien: Wie man verdeckt, wer was erhalten hat. *ZaeFQ*, 101, 630–637.
- Schulze, P., Bestgen, A. K., Lech, R. K., Kuchinke, L., & Suchan, B. (2017). Preprocessing of emotional visual information in the human piriform cortex. *Scientific Reports*, 7(1).
- Schwob, J. E. (2002). Neural regeneration and the peripheral olfactory system. *Anatomical Record*, 269(1), 33–49.
- Seo, H. S., Hähner, A., Gudziol, V., Scheibe, M., & Hummel, T. (2012). Influence of background noise on the performance in the odor sensitivity task: Effects of noise type and extraversion. *Experimental Brain Research*, 222(1–2), 89–97.
- Seo, H. S., & Hummel, T. (2011). Auditory-olfactory integration: Congruent or pleasant sounds amplify odor pleasantness. *Chemical Senses*, 36(3), 301–309.
- Shah, A. S., Yehuda, B. S., Moninger, T. O., Kline, J. N., & Welsh, M. J. (2009). Motile cilia of human airway epithelia are chemosensory. *Science*, 325(5944), 1131–1134.
- Sharma, A., Kumar, R., Aier, I., Semwal, R., Tyagi, P., & Varadwaj, P. (2018). Sense of Smell: Structural, Functional, Mechanistic Advancements and Challenges in Human Olfactory Research. *Current Neuropharmacology*, 17(9), 891–911.
- Shimemura, T., Fujita, K., & Kashimori, Y. (2016). A neural mechanism of taste perception modulated by odor information. *Chemical Senses*, 41(7), 579–589.
- Singh, S. B., Sharma, A., Panjwani, U., Yadav, D. K., Chandra, K., Sharma, K. N., & Selvamurthy, W. (1997). Hypobaric hypoxia and hedonic matrix in rats. *Japanese Journal of Physiology*, 47(4), 327–333.
- Singhal, T. (2020). A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19). *Indian Journal of Pediatrics*, 87(4), 281–286.
- Small, D. M., Jones-Gotman, M., & Dagher, A. (2003). Feeding-induced dopamine release in dorsal striatum correlates with meal pleasantness ratings in healthy human volunteers. *NeuroImage*, 19(4), 1709–1715.
- Soldatova, L., & Doty, R. L. (2018). Post-tonsillectomy taste dysfunction: Myth or reality? *World Journal of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*, 4(1), 77–83.
- Sorokowska, A., Albrecht, E., Haehner, A., & Hummel, T. (2015). Extended version of the “Sniffin” sticks” identification test: Test-retest reliability and validity.” *Journal of Neuroscience Methods*, 243, 111–114.
- Spence, C. (2015). Multisensory Flavor Perception. *Cell*, 161(1), 24–35.

- Spencer, J. A. D., Moran, D. J., Lee, A., & Talbert, D. (1990). White noise and sleep induction. *Archives of Disease in Childhood*, 65(1), 135–137.
- Stepanek, J. (2002). *Influence of hypobaric hypoxia on the human sense of smell*. Galvestone: The University of Texas.
- Stevens, W. W., Schleimer, R. P., & Kern, R. C. (2016). Chronic Rhinosinusitis with Nasal Polyps. *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 4(4), 565–572.
- Stevenson, R. J. (2009). An initial evaluation of the functions of human olfaction. *Chemical Senses*, 35(1), 3–20.
- Sungnak, W., Huang, N., Bécavin, C., Berg, M., Queen, R., & Figueiredo, F. (2020). SARS-CoV-2 entry factors are highly expressed in nasal epithelial cells together with innate immune genes. *Nature Medicine*, 26(5), 681–687.
- Tizzano, M., Cristofolletti, M., Sbarbati, A., & Finger, T. E. (2011). Expression of taste receptors in Solitary Chemosensory Cells of rodent airways. *BMC Pulmonary Medicine*, 11.
- Toledano, A., Rodríguez, G., Martín, A. M., Onrubia, T., & Galindo, N. (2011). Quality of life in patients with smell loss due to upper respiratory tract infections. *American Journal of Otolaryngology - Head and Neck Medicine and Surgery*, 32(6), 504–510.
- Tsvigoulis, G., Fragkou, P. C., Lachanis, S., Palaiodimou, L., Lambadiari, V., & Tsiodras, S. (2020). Olfactory bulb and mucosa abnormalities in persistent COVID-19 induced anosmia: a Magnetic Resonance Imaging study. *European Journal of Neurology*.
- Valiente, A. R., Fidalgo, A. R., Berrocal, J. R. G., & Camacho, R. R. (2015). Hearing threshold levels for an otologically screened population in Spain. *International Journal of Audiology*, 54(8), 499–506.
- Vann, R. D., Butler, F. K., Mitchell, S. J., & Moon, R. E. (2011). Decompression illness. *The Lancet*, 377(9760), 153–164.
- Velasco, C., Balboa, D., Marmolejo-Ramos, F., & Spence, C. (2014). Crossmodal effect of music and odor pleasantness on olfactory quality perception. *Frontiers in Psychology*, 5.
- Vennemann, M. M., Hummel, T., & Berger, K. (2008). The association between smoking and smell and taste impairment in the general population. *Journal of Neurology*, 255(8), 1121–1126.
- Venstrom, D., & Amooore, J. (1968). Olfactory Threshold, in Relation to Age, Sex or Smoking. *Journal of Food Science*, 33(3), 264–265.
- Vent, J., Robinson, A. M., Gentry-Nielsen, M. J., Conley, D. B., Hallworth, R., Leopold, D. A., & Kern, R. C. (2004). Pathology of the olfactory epithelium: Smoking and ethanol exposure. *Laryngoscope*, 114(8), 1383–1388.
- Victores, A. J., Chen, M., Smith, A., & Lane, A. P. (2018). Olfactory loss in chronic rhinosinusitis is associated with neuronal activation of c-Jun N-terminal kinase. *International Forum of Allergy and Rhinology*, 8(3), 415–420.
- Walls, A. C., Park, Y. J., Tortorici, M. A., Wall, A., McGuire, A. T., & Velesler, D. (2020). Structure, Function, and Antigenicity of the SARS-CoV-2 Spike Glycoprotein. *Cell*, 181(2), 281–292.
- Wang, L., Zhang, Z., McArdle, J. J., & Salthouse, T. A. (2008). Investigating ceiling effects in longitudinal data analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 43(3), 476–496.
- Weber, R., Trautmann, A., Randerath, W., Heppt, W., & Hosemann, W. (2012). ASS-Toleranzinduktion: Therapieoption bei Patienten mit analgetikainduzierter Erkrankung der Atemwege. *HNO*, 60(4), 369–383.
- Welge-Lüssen, A., Dörig, P., Wolfensberger, M., Krone, F., & Hummel, T. (2011). A study about the frequency of taste disorders. *Journal of Neurology*, 258(3), 386–392.
- Wienke, A., & Walter, O. (2001). Zum Verlust des Geschmacks- und Geruchssinnes nach Schädel-Hirn-Trauma. *Laryngo- Rhino- Otologie*, 80(12), 752–753.
- Wissenschaftliches Institut der AOK. (2020). *Der GKV-Arzneimittelmarkt: Klassifikation, Methodik und Ergebnisse*.
- Young, R. L., Sutherland, K., Pezos, N., Brierley, S. M., Horowitz, M., Rayner, C. K., & Blackshaw, L. A. (2009). Expression of taste molecules in the upper gastrointestinal tract in humans with and without type 2 diabetes. *Gut*, 58(3), 337–346.

## 8 Thesen

- (1) Ein erhöhter Luftdruck könnte nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte zu einer größeren Anzahl von Duftstoffen pro Volumen und nach dem Henry-Gesetz zu einer verbesserten Löslichkeit von Duftstoffen in den nasalen Schleim führen. Trotz Hinweise in der Literatur auf eine Verbesserung der Riechschwelle unter hyperbaren Luftdruck, konnte die vorliegende Arbeit keinen Einfluss auf das Riechvermögen von Normalpersonen feststellen.
- (2) Auch das Schmeckvermögen von Normalpersonen wurde durch den hyperbaren Luftdruck nicht beeinflusst. Allerdings könnten einzelne Geschmacksqualitäten verschieden auf die Luftdruckänderungen reagieren.
- (3) Um eine Beeinträchtigung durch den Tiefenrausch auszuschließen, ist bei Untersuchungen von Probanden unter hyperbarer Atmosphäre eine Überprüfung der Hirnfunktionsleistung sinnvoll.
- (4) Sniffin' Sticks sind eine validierte Untersuchungsmethode der olfaktorischen Wahrnehmung und stellen eine zuverlässige Untersuchungsmethode zur Überprüfung von Thesen im hyperbaren Milieu dar.
- (5) Die Ergebnisse der Schmeckprüfung zeigten bei den Geschmacksqualitäten 'süß', 'sauer' und 'bitter' einen Deckeneffekt. Die Taste Strips könnten deshalb als Untersuchungsmethode unter hyperbarer Atmosphäre ungeeignet sein.
- (6) In der Literatur gibt es Hinweise für eine multimodale Sinnesverarbeitung. Neben den zentralen Aspekten scheint auch der Typ des Geräuschs, die Lautstärke und die individuelle Psyche einen entscheidenden Einfluss auf den Riech- und Schmecksinn zu haben. In unseren Untersuchungen konnte die Hypothese, dass Störgeräusche sich negativ auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen auswirken, nicht bestätigt werden.
- (7) Weißes Rauschen, welches in der Perzeption eine ruhige Umgebung mit geringer auditiver Stimulation erzeugt und emotional als angenehm beziehungsweise entspannend bewertet wird, könnte einen potentiellen Einfluss durch den Heiligenschein- oder Teufelhörner-Effekt reduzieren.

## 9 Anhang

### 9.1 Probandeninformation

Universitätsklinik und Poliklinik für  
Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde,  
Kopf- und Hals-Chirurgie  
Ernst-Grube-Straße 40  
06120 Halle (Saale)



#### **Probandeninformation**

zum Projekt

#### **Einfluss von hyperbarem Luftdruck und Störgeräusch auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen (HYPERBAR)**

Sehr geehrter Proband,

Riechen (olfaktorische Wahrnehmung) und Schmecken (gustatorische Wahrnehmung) sind Sinneswahrnehmungen des Menschen, die für die Lebensqualität bedeutend sind.

Die Rezeptorzellen für das Schmecken sind beim Menschen auf der Zunge angeordnet, aber daneben auch in den Schleimhäuten von Mundhöhle, Rachen und Schlund. Aktuell wird von zumindest vier Grundqualitäten des Geschmacks ausgegangen:

- süß – ausgelöst durch Zucker und Zuckerderivate
- salzig – ausgelöst durch Speisesalz sowie durch einige andere Mineralsalze
- sauer – ausgelöst durch saure Lösungen und organische Säuren
- bitter – ausgelöst durch eine Vielzahl verschiedener Bitterstoffe

Am Riechen können verschiedene sensorische Systeme beteiligt sein. Er ist ein sehr komplexer Sinn. Die Sinneszellen des Geruchs sind mit spezifischen Geruchsrezeptoren ausgestattet und beim Menschen in der Nase lokalisiert.

Riechen und Schmecken lassen, zusammen mit anderen Eigenschaften wie Konsistenz und Aussehen der Speisen, die subjektive „Geschmacks“-wahrnehmung von Speisen entstehen.

Beim Tauchen oder im Tiefbau steigt der Umgebungsdruck. Dies merkt man durch ein auftretendes Druckgefühl im Ohr, welches durch den Druckausgleich behoben werden muss. Aus der zivilen Luftfahrt wird von verändertem Geschmack der Nahrungsmittel beim Fliegen berichtet (An Bord gereichte Speisen schmecken unter normalen Luftdruckbedingungen, wie sie am Boden herrschen, überwürzt). Dies lässt vermuten, dass der Umgebungsdruck Einfluss auf den Geschmacks- oder Geruchssinn haben könnte. Es wird aber auch vermutet, dass Lärm den Geschmackssinn negativ beeinflussen kann. Um diese Effekte getrennt voneinander zu untersuchen, führen wir eine Studie durch.

An Normalpersonen sollen diese Hypothesen systematisch untersucht werden. Wir würden uns freuen, wenn Sie an dieser Studie teilnehmen.

Zu den Messungen vereinbaren wir einen Termin mit Ihnen. Die Messungen finden in den Räumen des Universitätsklinikums Halle (Saale), in der sogenannten Druckkammer, die für medizinische Behandlungen genutzt wird, statt.

Seite 1

Während der Messungen nehmen Sie in der großen, geräumigen Überdruckkammer zusammen mit einem weiteren Probanden und dem Versuchsleiter Platz. Zuvor werden Sie körperlich untersucht (sog. Tauchtauglichkeit incl. Lungenfunktionstest). In der Kammer führen Sie einen Riech- und Schmecktest durch. Beim Riechtest sollen Sie verschiedene Gerüche, die wir Ihnen mit Riechstiften („Sniffin Sticks“) präsentieren, erkennen und unterscheiden. Beim Schmecktest legen wir Ihnen mit Lösungen getränkte Streifen auf die Zunge, dessen Geschmack (Bitter, Süß, Sauer, Salzig) Sie erkennen sollen.

Diese Tests führen wir viermal durch: unter normalen Luftdruckbedingungen mit und ohne ein über Kopfhörer präsentiertes Rauschen und im Überdruck wie er in einer Tauchtiefe von 10 Metern herrscht mit und ohne das Rauschen.

Die Luftdruckveränderung in der Kammer geschieht langsam (5 Minuten). Die Bedingungen in der Kammer werden ständig von einem Taucherarzt und einen Techniker überwacht. Sie können jederzeit Unwohlsein oder den Wunsch, abzubrechen, anzeigen.

Für die notwendigen Untersuchungen unter hyperbarer Exposition bestehen die allgemeinen Risiken einer Druckkammerfahrt. Diese sind unter den Begriffen „Dekompressionserkrankung“, „Arterielle Gasembolie“ und „Barotrauma“ bekannt:

- Die *Dekompressionskrankheit* ist Folge von ausperlendem Inertgas (in der Regel Stickstoff) im Gewebe oder Blut. Physikalischer Hintergrund ist das Henry-Gesetz, das dazu führt, dass beim Aufenthalt unter Druck eine erhöhte Menge des Atemgases im Körper gelöst wird. Abhängig von Druck, Aufenthaltsdauer und Atemgas findet diese Sättigung des Körpers unterschiedlich schnell und umfangreich statt. Beim Auftauchen muss dieses aufgenommene Gas wieder abgegeben werden, da es sonst zum Ausperlen von kleinen Gasbläschen kommt, da das Löslichkeitsprodukt des Inertgases übersteigen wird. Der Körper hat eine unterschiedliche Toleranz für Gasbläschen. Kleine Mengen Gasbläschen treten bei fast jedem Tauchgang auf und werden gut toleriert. Sie treten entweder lokal auf und verursachen keine Beschwerden und gehen nach und nach wieder in Lösung oder sie werden über das venöse Blut zur Lunge transportiert und werden dort abgeatmet. Übersteigt die Menge an lokal auftretenden Bläschen einen kritischen Wert, kommt es zu Symptomen einer DCS: Hautrötung, Juckreiz, Schwellung, bläulich-rötliche Schwellung der Haut bei Ansammlung von Gasbläschen im Lymphsystem, aber auch Schmerzen in Gelenken und Muskel und allgemeine Abgeschlagenheit und Müdigkeit. Treten die Bläschen im zentralen Nervensystem auf, kommt es zu neurologischen Symptomen: Gefühlsstörungen, Muskelschwäche, Lähmung bis hin zur Querschnittslähmung, Sprachstörungen, Sehstörungen, Migräneanfälle, Hör- und Gleichgewichtsstörungen. Diese Symptome können innerhalb weniger Minuten auftreten, entstehen aber manchmal auch erst Stunden später, zum Beispiel während einer heißen Dusche, beim Sport, bei Fahrt über einen Bergpass oder im Flugzeug. Symptome innerhalb 48 Stunden nach dem Tauchen sind immer verdächtig auf das Vorliegen einer DCS.
- Bei der *arteriellen Gasembolie (AGE)* liegt das Gasgesetz von Boyle-Mariotte zugrunde. Bei der AGE sind Dauer und Tiefe des Tauchgangs nicht ausschlaggebend, denn sie kann auch schon in Schwimmbadtiefe auftreten und auch in dieser Tiefe tödlich verlaufen. Hintergrund sind Entlüftungsstörungen der Lunge oder ein willentliches Luftanhalten beim Aufstieg oder ein zu schneller Notaufstieg. In der Folge dehnt sich die Luft in einem oder mehreren Lungenbläschen aus und kann nicht schnell genug abströmen. Es resultiert eine Verletzung des Lungengewebes, so dass ein Lungenbarotrauma entsteht. Kommt es gleichzeitig zu einer Verletzung der Lungengefäße und wird die sich ausdehnende Luft aus der Lunge in die Lungengefäße gedrückt, kann eine schwere Gasembolie resultieren. Da die Gefäße von der Lunge zum Herzen im Durchmesser zunehmen und erst wieder in der Endstrombahn in den Körpergeweben kleiner wird, wird die Luft im Blutgefäßsystem nicht gefiltert und kann so lebenswichtige Versorgungsgebiete von der Blutversorgung abschneiden. Die Symptome einer AGE sind meist sehr stark ausgeprägt, treten unmittelbar während des Aufstiegs oder an der Oberfläche auf und sind als sehr lebensbedrohlich einzustufen. Symptome können Herz/Kreislaufstörungen bis zum Herz/Kreislaufstillstand sein, neurologische Symptome inklusive Halbseiten- und Querschnittslähmung, Sprach-, Seh- und Gleichgewichtsstörungen

und Bewusstseinsverlust. Therapie der Wahl ist eine intensivmedizinische Behandlung und falls möglich und medizinisch vertretbar eine schnellstmögliche hyperbare Sauerstofftherapie.

- Unter den Begriff *Barotrauma* fallen druckveränderungsbedingte Verletzungen des Mittelohres (Schmerzhafte Rötung, Einblutung bis hin zur Trommelfellruptur), der Zähne (Zahnschmerzen durch Kavitäten) und des Innenohres (Hörverlust durch Rundfensterruptur). Diese treten bei großen Druckveränderungen auf.

Da der maximale Druck (2 bar, Tauchtiefe von 10 m) aber für den Menschen medizinisch unbedenklich ist, werden keine relevanten Risiken für die Probanden gesehen. Die Druckänderung erfolgt sehr langsam, sodass ausreichend Zeit für ein Druckausgleichsmanöver ihrer Wahl eingeplant werden kann. Die am häufigsten durchgeführten Druckausgleichsmanöver werden durch Unterkieferbewegung oder das Valsalva-Manöver erreicht. Letztgenanntes erfolgt durch den Verschluss der vorderen Nase bei gleichzeitigem Druckaufbau durch das Pressen von Luft in den Nasenrachen. Um das Risiko eines Mittelohrbarotraumas zu minimieren, sollten Sie während der Abtauchphase den Druckausgleich lieber zu häufig als zu wenig durchführen. Sollten Sie Symptome wie Druck oder Schmerz auf dem Ohr spüren, dann geben Sie dem Druckkammerpersonal sofort ein Hand- und Rufzeichen. Die Druckkammerfahrt wird hierauf angehalten und bei persistierenden Beschwerden abgebrochen.

Dekompressionszeiten sind nicht notwendig. Zur Absicherung der medizinischen Risiken wurde eine Probandenversicherung abgeschlossen.

Theoretisch besteht noch das Risiko für unvorhergesehene Komplikationen (wie Engegefühl, Brand oder anderer technischer Defekte) wird durch einen die Druckkammerfahrt überwachenden Techniker (technische Aspekte) und erfahrenen Taucherarzt vor Ort (medizinische Komplikationen) reagiert. Hierbei bitten wir Sie den Anweisungen des Druckkammerpersonals folge zu leisten.

Die Messungen dauern ungefähr 3 Stunden. Diese werden in Blöcke zu je 1,5 Stunden aufgeteilt, wobei nur ein Block im Überdruck erfolgt.

Durch die Teilnahme an den Messungen entstehen Ihnen keine medizinischen Vorteile. Für Ihren Zeitaufwand erhalten Sie eine Vergütung von 15 EUR / Stunde. Eine Probandenversicherung wurde abgeschlossen (Police Nr.: .....). Auszug aus den Vertragsbedingungen:

### 3.1.1 Versicherungsleistung

(1) Der Versicherer leistet im Rahmen der vereinbarten Versicherungssummen nach Maßgabe von Ziffer 3.1.2 den Geldbetrag, der zum Ausgleich des durch die Gesundheitsschädigung der versicherten Person oder durch deren Tod eingetretenen materiellen Schadens im Sinne der Absätze (2) bis (4) erforderlich ist. Immaterielle Schäden (z.B. Schmerzensgeld) bleiben vom Versicherungsschutz ausgeschlossen.

(2) Materieller Schaden ist der Unterschiedsbetrag zwischen der tatsächlichen Vermögenslage der versicherten Person und der Vermögenslage, die bestehen würde, wenn die Gesundheitsschädigung nicht eingetreten wäre. Folgende von Dritten zu gewährende Leistungen sind beim Vergleich der Vermögenslagen mildernd zu berücksichtigen: Ansprüche der versicherten Person oder ihrer Hinterbliebenen auf Leistung aus einer Sozialversicherung, gegen einen Krankenversicherer oder ein gesetzlicher Anspruch auf Lohn- und Gehaltsfortzahlung, auf Fortzahlung von Dienst- oder Amtsbezügen oder auf Gewährung von Versorgungsbezügen. Bei Streit über die Entstehung solcher Ansprüche wird der Versicherer gegen Abtretung der strittigen Ansprüche die Leistung vorab gewähren. Im Übrigen finden bei der Berechnung des Schadens die Grundsätze der §§ 249, 843 BGB entsprechende Anwendung. Das heißt, die versicherte Person wird so gestellt, wie sie stehen würde, wenn ein Schädiger ihr gegenüber nach deutschem Recht haftpflichtig wäre.

(3) Im Falle der Verletzung des Körpers oder der Gesundheit leistet der Versicherer im Rahmen des Angemessenen

a) Heilbehandlungskosten;

b) eine Geldrente, wenn infolge der Gesundheitsschädigung die Erwerbsfähigkeit der versicherten Person aufgehoben oder gemindert wird, oder eine Vermehrung ihrer Bedürfnisse eintritt. Im

Einvernehmen von Versicherer und versicherter Person kann anstelle einer Rentenleistung eine Kapitalabfindung gewährt werden;

c) sonstige vermehrte Aufwendungen.

(4) Im Falle des Todes der versicherten Person ersetzt der Versicherer demjenigen die Kosten der Beerdigung, welchem die Verpflichtung obliegt, die Kosten zu tragen. Stand die versicherte Person zu diesem Zeitpunkt zu einem Dritten in einem Verhältnis, aufgrund dessen sie diesem gegenüber kraft Gesetzes unterhaltspflichtig war oder unterhaltspflichtig werden konnte, und ist dem Dritten infolge der Tötung das Recht auf den Unterhalt entzogen, so erbringt der Versicherer Unterhaltsleistungen insoweit, als die versicherte Person während der mutmaßlichen Dauer ihres Lebens zur Gewährung des Unterhalts verpflichtet gewesen sein würde. Der Versicherer erbringt die Leistungen auch dann, wenn der Dritte zur Zeit des Todes der versicherten Person gezeugt, aber noch nicht geboren war.

(5) Mögliche Ansprüche auf Grundlage ausländischen Rechts bleiben vom Versicherungsschutz ausgeschlossen. Für die Berechnung des Umfangs des versicherten Schadens gelten ausschließlich die bei Schäden in Deutschland geltenden Regelungen.

Ihre persönlichen Daten sowie Ihre Ergebnisse werden entsprechend den Bestimmungen der Datenschutzgesetze nur in pseudonymisierter Form für 10 Jahre archiviert. Dazu vergeben wir den Datensätzen Nummern, deren Zuordnung zu Ihrem Namen nur dem Projektleiter und somit Dritten nicht zugänglich ist.

Soweit erforderlich, dürfen die erhobenen Daten pseudonymisiert (verschlüsselt) weitergegeben werden:

- a) an externe wissenschaftlich kooperierende Einrichtungen (z.B. externer Statistiker)
- b) ggf. an Drittmittelgeber im Rahmen der Berichterstattung, ggf. an die Ethikkommission
- c) im Rahmen der wissenschaftlichen Publikation der Ergebnisse, ohne der Möglichkeit zum Rückschluss auf Ihre Person (anonymisiert)

Sie nehmen an der Studie freiwillig teil und können die Messungen jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen ohne dass Ihnen irgendwelche Nachteile dadurch entstehen. Beim Widerruf der Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, habe Sie das Recht, die Löschung aller Ihrer bis dahin gespeicherten personenbezogenen Daten zu verlangen.

Wir würden uns über Ihre Mitarbeit freuen.

**Projektleiter:**

Prof. Torsten Rahne  
Universitätsklinikum Halle (Saale),  
Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde,  
Kopf- und Hals-Chirurgie  
Ernst-Grube-Straße 40,  
06120 Halle (Saale)  
Tel.: 0345-557 5362  
e-mail: torsten.rahne@uk-halle.de

## 9.2 Kontaktformular

Universitätsklinik und Poliklinik für  
Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde,  
Kopf- und Hals-Chirurgie  
Ernst-Grube-Straße 40  
06120 Halle (Saale)



### **Probanden für klinische Studie gesucht!**

Wir suchen im Rahmen des Projektes „Einfluss von hyperbarem Luftdruck und Störgeräusch auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen“ Probanden, welche folgende Kriterien erfüllen:

#### **Einschlusskriterien**

- Alter: 18-35 Jahre
- Geschlecht: männlich
- keine bekannten Ohrerkrankungen
- keine OPs im Kopfbereich
- keine bekannten Riech- und Schmeckstörungen
- Taucherfahrung: mindestens 2 erfolgreiche Tauchgänge tiefer 10 Meter im vergangenen Jahr

#### **Ausschlusskriterien**

- Unzureichendes Druckausgleichsvermögen Mittelohr
- Bekannte Taucherkrankheit oder vergleichbare Symptome
- Raucher
- Platzangst
- bekannte Allergien auf Gerüche
- aktuelle Einnahme von: Streptomycin, D-Penicillamin, Diltiazem, Nifedipin, Amitriptylin, Methotrexat, Amphetamine, Alkohol, lokale vasokonstriktive Substanzen, Strychnin, Codein, Lidocain

Mit dieser Studie soll erstmals der Einfluss von Störschall und Überdruck auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen untersucht werden. Nähere Information zum Hintergrund und zum Ablauf der Studie können Sie der beigefügten Probandeninformation entnehmen. Die Dauer der Untersuchung beläuft sich auf ungefähr 3 Stunden.

Neben einer Probandenversicherung werden Sie für ihren Zeitaufwand mit 15 Euro pro Stunde vergütet. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Ausstellung einer neuen Tauchtauglichkeit nach GTÜM.

Falls Sie Interesse haben, würden wir uns über eine Nachricht zwecks Terminvereinbarung an eine der nachfolgenden E-Mail-Adressen freuen.

Mit freundlichen Grüßen,

Christopher Schmidtbauer

E-Mail: [c.schmidtbauer@gmx.de](mailto:c.schmidtbauer@gmx.de)

## 9.3 Tauchmedizinischer Untersuchungsbogen nach GTÜM

### Tauchmedizinischer Untersuchungsbogen



gemäß den Empfehlungen der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. (GTÜM) und der Österreichischen Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin (ÖGTH).

Der untersuchende Arzt muss über tauchmedizinische Kenntnisse verfügen, wie sie z.B. in den von GTÜM e.V. und ÖGTH anerkannten Tauchmedizin-Kursen vermittelt werden.

Weitere Informationen finden Sie auf den Webseiten der Gesellschaften unter [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) und [www.oegth.at](http://www.oegth.at). Empfehlungen zu relativen und absoluten Kontraindikationen finden Sie in der „Checkliste Tauchtauglichkeit“, 2. Auflage, Gentner Verlag, 2014



untersuchender Arzt  
Adresse / Stempel:

#### Teil A – vom Taucher auszufüllen

##### Persönliche Angaben

Name, Vorname: \_\_\_\_\_ Geb.-Datum: \_\_\_\_\_  
Osterreich: SV-Nummer

Adresse (PLZ, Stadt, Strasse, Nr.): \_\_\_\_\_

Telefon (dienstl./privat): \_\_\_\_\_ Hausarzt: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Beruf: \_\_\_\_\_

Tauchausbildung: \_\_\_\_\_ Jahr: \_\_\_\_\_ Bisherige Tauchgänge (Anzahl): \_\_\_\_\_

Tauchverfahren (Art / Häufigkeit): \_\_\_\_\_  
z.B. SCUBA, Nitrox, Technisches Tauchen, Höhlen-/Eis-/Wrack-Tauchen, Apnoe, Tauchausbilder, Einsatztaucher

Sonstige Sportarten: \_\_\_\_\_ x pro Woche Schwimmen:  Schwimmer  Nichtschwimmer

##### Krankheitsvorgeschichte

GESAMTE Krankheitsvorgeschichte oder  ERGÄNZUNGEN seit letzter Untersuchung vom: \_\_\_\_\_  
nur möglich, wenn letzter Untersuchungsbogen dem Arzt vorliegt

Familienanamnese: \_\_\_\_\_

z.B. plötzl. Todesfälle, vererbl. Krankheiten, Krebserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Bluthochdruck, Stoffwechselkrankheiten, Zuckerkrankheit

Komplikationen während Schwangerschaft u. Geburt, Krankenhausaufenthalte als Kleinkind:

\_\_\_\_\_

Krankenhausbehandlungen, Operationen, schwere Verletzungen, Unfälle, Knochenbrüche (was / wann / wo):

\_\_\_\_\_

Hatten Sie jemals einen Tauchzwischenfall oder Tauchunfall? (was/wann): \_\_\_\_\_  
Deko-Unfall mit Schmerzen, Gefühlsstörungen, Hautsymptome nach Tauchen, Gasembolie, Panikreaktion, Tiefenrausch, Erschöpfung, extreme Müdigkeit, Barotrauma, Trommelfellriss, Schwindel oder häufiger Kopfschmerz beim Tauchen

## Bisherige Beschwerden und Erkrankungen (was/wann)

**Kopf, Gehirn, Nervensystem:** \_\_\_\_\_

Schädelhirnverletzung, inkl. Gehirnerschütterung, Drehschwindel, Gleichgewichtsstörungen, häufiger Kopfschmerz, Migräne, Anfall mit Bewußtlosigkeit, Blackout, epileptische Anfälle, Seekrankheit, Hexenschuss, irgendwelche sonstigen neurologischen Erkrankungen

**Psyche:** \_\_\_\_\_

Neigung zu Angstreaktion, Beklemmung in engen Räumen / auf freien Plätzen, Panikattacke, Depression / depressive Phasen, sonstige psychische Erkrankungen, ADS/ADHS, Burnout, Höhenangst, Abhängigkeit von Drogen, Alkohol oder Medikamenten, Behandlungen bei Psychiater / Neurologen

**Augen:** \_\_\_\_\_

Herabsetzung des Sehvermögens, Brillenträger, Kontaktlinsen, Stärke der Visuskorrektur, erhöhter Augeninnendruck, Laser-OP, gestörtes Farbsehen

**Nase, Nasennebenhöhlen:** \_\_\_\_\_

häufige Erkältungen, Heuschnupfen, häufig Nasenbluten nach dem Tauchen, Stim- oder Kieferhöhlenentzündungen

**Ohren:** \_\_\_\_\_

Mittelohrentzündung, Trommelfellriß, Ohrensausen, Schwindel, Hörstörung, Schwerhörigkeit, Hörgerät, Paukenröhrchen, Ohrinfektionen

**Zähne:** \_\_\_\_\_

Zahnprobleme, Prothesen

**Atmungsorgane:** \_\_\_\_\_

Tuberkulose, Lungen-/Rippenfell-Entzündung, Asthma, chron. Bronchitis, Pneumothorax, Atemnot bei Anstrengung/kalter Luft, Brustkorb-OP, Blutsputten

**Herz-Kreislauf-System:** \_\_\_\_\_

Herzfehler, Herzmuskelentzündung, Engegefühl / Schmerz im Brustkorb, Herzrhythmusstörung, erhöhter Blutdruck, Venenentzündung, Durchblutungsstörungen, Operationen, Thrombosen, Embolien

**Verdaungsorgane:** \_\_\_\_\_

Aufstoßen/Sodbrennen, Magen-/Zwölffingerdarm-Geschwür, Koliken, Bauchwand-/ Leistenbruch, Gallensteine, chron. Darm-Erkr., Neigung zu Durchfällen

**Nieren, Harnwege, Geschlechtsorgane:** \_\_\_\_\_

Nierenentzündungen, Nierenbecken- oder Blasenentzündung, Nierensteine, urologische OPs / gynäkologische OPs

**Knochen, Gelenke:** \_\_\_\_\_

Rheumatisches Fieber, Gelenkentzündungen, Arthrosen, Ischias, Hexenschuß, Bandscheibenschäden, häufige Gelenkluxationen, Knochenbrüche, Bewegungseinschränkungen, Unfallfolgen

**Muskulatur:** \_\_\_\_\_

angeborene oder erworbene Muskelschwäche, Muskelzerrungen, Sehnenrisse

**Haut:** \_\_\_\_\_

Hauterkrankungen, Ausschläge, Entzündungen, Pilzkrankungen, allergische Reaktionen

**Stoffwechsel:** \_\_\_\_\_

Zuckerkrankheit, Über- oder Unterfunktion der Schilddrüse / Nebenniere, Gicht, Fettstoffwechselstörungen

## Aktueller Status

Hatten Sie **fiebrhafte Erkrankungen oder sonstige Infektionskrankheiten** in den letzten Monaten? (was/wann): \_\_\_\_\_

Hatten oder haben Sie sonstige **Krankheiten oder Beschwerden**, nach denen nicht ausdrücklich gefragt ist? (was/wann): \_\_\_\_\_

z.B. Krebs-Erkrankungen

Sind Sie **aktuell** oder waren Sie im letzten Jahr in ärztlicher Untersuchung oder Behandlung? \_\_\_\_\_

Trinken Sie **Alkohol**? (Art/Menge: nie/gelegentlich/regelmäßig): \_\_\_\_\_ **Rauchen** Sie? (Art/Menge): \_\_\_\_\_

Nehmen Sie **Medikamente** ? (Drogen, Nahrungsergänzungsmittel; regelmäßig/gelegentlich): \_\_\_\_\_

**Allergien** (evtl. Medikamenten-Nebenwirkungen)?: \_\_\_\_\_

Frauen: besteht die Möglichkeit einer **Schwangerschaft**? \_\_\_\_\_

Letzte **Röntgenaufnahme der Lunge** (wann / wo / weshalb): \_\_\_\_\_

Letztes **Ruhe- oder Belastungs-Ekg** (wann / wo / weshalb): \_\_\_\_\_

Letzte **Tauchtauglichkeits-Untersuchung** (wann / wo): \_\_\_\_\_

**Ich erkläre**, dass ich alle Angaben wahrheitsgemäß, nach bestem Wissen und Gewissen gemacht habe.

\_\_\_\_\_  
Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Tauchers / des/der Erziehungsberechtigten

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des untersuchenden Arztes

## Teil B – vom Arzt auszufüllen

Name, Vorname des Untersuchten

Geb.-Datum

Untersuchungs-Datum

### Körperliche Untersuchung

Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

Größe: \_\_\_\_\_ cm

Gewicht: \_\_\_\_\_ Kg

BMI: \_\_\_\_\_

Bauchumfang: \_\_\_\_\_ cm

**Allgemeinzustand:** \_\_\_\_\_

Ernährungszustand, Ödeme, Mißbildungen, Amputationen, Gewichtsänderung in letzter Zeit

**Haut:** \_\_\_\_\_

Dermatosen, allergische Erscheinungen, Pilzkrankungen

**Kopf:**

**- Augen:** \_\_\_\_\_

Pupillenreaktionen, Sehschärfe r / l (nicht korrigiert / korrigiert), bei Brillenträgern Dioptriezahl

**- Nase, NNH:** \_\_\_\_\_

unbehinderte Nasenatmung? Anhalt für purulente oder allergische Rhinitis / Sinusitis?

**- Ohren:** \_\_\_\_\_

Gehörgänge, Trommelfellbefunde: Perforation? Atrophe Narbe? Belastbarkeit während Valsalva-Manöver? Tubendurchgängigkeit? Hörvermögen r / l ?

**- Mundhöhle/Tonsillen/Rachenraum:** \_\_\_\_\_

Zahnstatus, chron. Tonsillitis? Pharyngitis?

**Hals:** \_\_\_\_\_

Struma, Lymphknotenvergrößerung, Carotisstenose?

**Thorax:** \_\_\_\_\_

symmetrische Atemexkursion? Thoraxform

**Lunge:** \_\_\_\_\_

Perkussion und Auskultation

**Herz/Kreislauf:** \_\_\_\_\_

Perkussion und Auskultation, patholog. Herzgeräusche? Schrittmacher / ICD? periphere Pulse?

**Blutdruck (Oberarm) re:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ mmHg, **li:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ mmHg

**Puls:** \_\_\_\_\_ / min

**Abdomen:** \_\_\_\_\_

Leber- oder Milzvergrößerung? pathologische Resistenzen? Hernien?

**Urogenitaltrakt:** \_\_\_\_\_

Nierenlager-Klopfeschmerz? Harnableitung?

**Bewegungsapparat:** \_\_\_\_\_

Skoliose? Kyphose? Wirbelsäulenblockierung? Klopfeschmerz der Wirbelsäule? Gelenksinstabilität, Bewegungseinschränkung? Muskulatur? Gang? Stand?

**Neurostatus (Hirnnerven / obere Extremitäten / untere Extremitäten / Sensibilität):**

\_\_\_\_\_

Optomotorik incl. Pupillomotorik, Gesichts- und Schluckmotorik, Extremitätenmotorik - Atrophien, Paresen, Reflexstatus, path. Reflexe - Koordination der Motorik, Fingertremor, Romberg, verschärfter Romberg (SRT), Sensibilität - halbseitiger, radikulärer, peripherer Ausfall, frontale Zeichen, Tiefensensibilität

**Psyche (Antrieb / Bewusstsein / Orientierung / Vigilanz / Gedächtnis / Konzentration / Stimmung):**

\_\_\_\_\_

Angstreaktionen, Klaustro- oder Agoraphobie, Paniksyndrom, psychotische Zeichen, Suchtkrankheit - inkl. Alkohol, paranoide Reaktionen, Halluzinationen, Stimmungslage - gehoben, depressiv, Antriebsminderung, Reaktionsverlangsamung, sonstige Verhaltensstörungen, posttraumat. Stress-Syndrom, Aufmerksamkeit / Konzentration, Demenz, Kommunikationsfähigkeit

## Spezielle Untersuchungen

### Lungenfunktion (obligat)

		Istwert	Sollwert	% der Norm
Ruhe-Vitalkapazität	VC			
Forcierte Vitalkapazität	FVC			
Expirator. Sek. Kapazität	FEV 1			
Quotient FEV 1/ FVC	[%]			

Beurteilung: \_\_\_\_\_  
obstruktive oder restriktive Ventilationsstörung? Ggf. Bodyplethysmographie

### Ruhe-Ekg (obligat)

Beurteilung: \_\_\_\_\_  
Rhythmus, Frequenz, Lagetyp, Blockbilder, Rhythmusstörungen, Präexcitationssyndrom

### Ergometrie/Belastungs-Ekg (symptomlimitiert, ab 40. Lebensjahr obligat)

Belastungsart: \_\_\_\_\_  
Fahrrad-Ergometrie sitzend oder liegend / Laufband / Sollleistung / Belastungsschema

Beurteilung der Ergometrie: \_\_\_\_\_

Abbruchkriterien, Leistungsfähigkeit, Blutdruck- und HF-Verhalten, Pulserholung nach Belastungsende, Trainingsempfehlung

Beurteilung des Belastungs-Ekg's: \_\_\_\_\_  
Rhythmusstörungen? Ischämiezeichen?

### Fakultative weitere Untersuchungen, wenn klinisch angezeigt:

#### Rö-Thorax

Beurteilung: \_\_\_\_\_

#### Labor

Beurteilung: \_\_\_\_\_

#### Herz-Ultraschall

Beurteilung: \_\_\_\_\_

#### Tympanometrie

Beurteilung: \_\_\_\_\_

#### Audiometrie

Beurteilung: \_\_\_\_\_

#### Sehtests

Beurteilung: \_\_\_\_\_

### Weitere symptombezogene Untersuchungsbefunde

---



---



---



---



---



---



---

Name, Vorname: \_\_\_\_\_ Geb.-Datum: \_\_\_\_\_

### Zusammenfassende Beurteilung und Aufklärung

Risikofaktoren / Einschränkungen:

---

---

Aufklärung wurde durchgeführt zu:

---

---

**Mir ist bewusst,**

- dass Tauchen stets ein gesundheitliches Risiko birgt und die Feststellung der Tauchtauglichkeit einen Tauchunfall nicht ausschließen kann.
- dass die Beurteilung der Tauchtauglichkeit nur auf Basis der aktuell erhobenen Krankengeschichte und Untersuchungsbefunde erfolgen kann.
- dass zwischenzeitlich auftretende Erkrankungen zur Nicht-Tauglichkeit für das Tauchen führen können und im Zweifelsfall ein tauchmedizinisch qualifizierter Arzt zu kontaktieren ist.

Datum

Unterschrift des Untersuchten / des/der Erziehungsberechtigten

Unterschrift des untersuchenden Arztes

Seite 5 von 5

© Copyright GTÜM/ÖGTH 2017



Gesellschaft für Tauch- u. Überdruckmedizin e.V. (Deutschland)  
& Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin

**Ärztliches Zeugnis - Tauglichkeit für das Sporttauchen**  
**Certificat Médical - Aptitude à la plongée loisir**  
**Certificado Médico - Aptitud para el buceo deportivo**  
**Medical Certificate - Fitness for Recreational Diving**



Name / name /  
Nom / Nombre: \_\_\_\_\_

Geb.Dat. / d.o.b. / né(e) le  
/ Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_

Oben genannte Person wurde heute gemäß den Empfehlungen der GTÜM / ÖGTH für die Tauglichkeit zum Sporttauchen untersucht.

This person has been examined following the fitness-to-dive-guidelines of the GTÜM / ÖGTH for recreational diving.

La personne désignée ci-dessus a été examinée aujourd'hui selon les recommandations de la GTÜM / ÖGTH.

Se ha practicado un examen de aptitud médica a la persona previamente indicada siguiendo las recomendaciones de la GTÜM / ÖGTH.

**Tauchtauglich**  
**Fit to dive**  
**Absence de contre-indication pour la plongée**  
**Apto para bucear**

**Tauchtauglich mit Einschränkungen**  
**Fit to dive with restrictions**  
**Absence de contre-indication avec restrictions**  
**Apto para bucear pero con restricciones**

Ergänzung/Einschränkung / Specification  
/Restriction / Especificación de la restricción: \_\_\_\_\_

Nächste Untersuchung / next examination  
/ prochain contrôle médical / próximo examen: \_\_\_\_\_

Ort/Datum / Place/Date / Lieu/Date / Lugar/Fecha: \_\_\_\_\_

Arzt (Unterschrift/Stempel) / Physician (Signature/Stamp)  
/ Médecin (Signature/cachet) / Médico (Firma/Sello): \_\_\_\_\_

Mit seiner Unterschrift bestätigt der Arzt, die Tauglichkeits-Untersuchung gemäß den Empfehlungen von GTÜM / ÖGTH in der jeweils aktuellen Fassung durchgeführt und beurteilt zu haben. Weitere Informationen auf dem Untersuchungsbogen und auf [www.gtuem.org](http://www.gtuem.org) & [www.oegth.at](http://www.oegth.at).

© Copyright GTÜM/ÖGTH 2017

## 9.4 Dokumentationsbogen Schmeckprüfung mit Taste Strips

Universitätsklinikum  
Halle (Saale)  
Universitätsklinik und Poliklinik für  
HNO-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie



Patient (Aufkleber)

Name \_\_\_\_\_  
 Vorname \_\_\_\_\_ geb. \_\_\_\_\_  
 Straße \_\_\_\_\_  
 PLZ, Ort \_\_\_\_\_  
 Krankenkasse \_\_\_\_\_

Funktionsabteilung \_\_\_\_\_

Schmeckprüfung mit Taste-Strips

Datum: ..... Untersucher: .....

Testung: mittig  rechts  links

	süß	sauer	salzig	bitter	nichts
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					
K					
L					
M					
N					
O					
P					
U					
V					

Summe:      süß      sauer      salzig      bitter      gesamt

--	--	--	--

--

Ergebnis:    Normalbereich:     $\geq 9$   
 V.a. Hypogeusie:     $< 9$   
 V.a. Ageusie:        0

anlab2017-AudMe    gppr/05/2017    Version:1.8    HNO-303

## 9.5 Dokumentationsbogen Schwellentest

Proband:
Druck:
Geräusch:

### Schwellentest

Rote Schrift, Target=R

#	Stift	+/-
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

#	Stift	+/-
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		

## 9.6 Dokumentationsbogen Diskriminationstest

Proband:

### Diskriminationstest

Grüne Schrift, Target=G

Normobar / ohne  
Rauschen

Normobar / mit  
Rauschen

Hyperbar / ohne  
Rauschen

Hyperbar / mit  
Rauschen

	R	G	B
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

	R	G	B
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

	R	G	B
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

	R	G	B
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

## 9.7 Dokumentationsbogen Identifikationstest

### Identifikationstest 16, blau

Proband:
Druck:
Geräusch:

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

## 9.8 Beispiel Dokumentation Schwellentest

Proband: <i>Beispiel</i>
Druck: <i>nein</i>
Geräusch: <i>nein</i>

### Schwellentest

Rote Schrift, Target=R

#	Stift	+/-
1	5	+
2	6	+
3	7	+
4	8	+
5	9	+
6	10	+
7	11	+
8	12	-
9	11	-
10	10	+
11	11	-
12	10	-
13	9	-
14	8	+
15	9	+
16	10	-
17	9	-
18	8	-
19	7	+
20		

#	Stift	+/-
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		

## **10 Erklärungen**

Sehr geehrte Damen und Herren,

(1) Ich erkläre, dass ich mich an keiner anderen Hochschule einem Promotionsverfahren unterzogen bzw. eine Promotion begonnen habe.

(2) Ich erkläre, die Angaben wahrheitsgemäß gemacht und die wissenschaftliche Arbeit an keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht zu haben.

(3) Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Alle Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis wurden eingehalten; es wurden keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Bad Wildungen, 4.5.2021

Christopher Schmidtbauer

## 11 Publikationshinweis

Teile dieser Arbeit wurden im Online-Journal PLOS ONE im peer-review-Verfahren mit dem Titel „Contribution of ambient noise and hyperbaric atmosphere to olfactory and gustatory function” am 13.10.2020 publiziert.

### Contribution of ambient noise and hyperbaric atmosphere to olfactory and gustatory function

Hans-Georg Fischer\*, Christopher Schmidtbauer\*, Annett Seiffart, Michael Bucher, Stefan K. Plontke, Torsten Rahne

*\*contributed equally to this work*

Link: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0240537>

DOI: [10.1371/journal.pone.0240537](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240537)

Pubmed ID: 33048988